

# 机械零件设计手册

浏览器提醒您：  
本复制品  
请尊重相关知识产权！

(第三版)

下 册

东北大学《机械零件设计手册》编写组 编

主编 蔡春源

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

冶金工业出版社

曹世奇专用

## 目 录

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 第 19 章 摩擦轮和无级变速传动

1 摩擦轮传动 .....	(1)	3.1.2 类型、安装方式及代号说明 .....	(14)
1.1 概 述 .....	(1)	3.1.3 技术参数及外形尺寸 .....	(14)
1.2 摩擦轮传动的设计计算 .....	(1)	3.2 多盘式无级变速器 .....	(17)
2 无级变速传动 .....	(4)	3.2.1 概 述 .....	(17)
2.1 概 述 .....	(4)	3.2.2 类 型 .....	(17)
2.1.1 传动原理 .....	(4)	3.2.3 基本参数及外形尺寸 .....	(17)
2.1.2 特点、应用及类型 .....	(4)	3.3 MWB 型胶带式无级变速器 .....	(22)
2.2 设计基础 .....	(6)	3.3.1 概 述 .....	(22)
2.2.1 失效形式及接触强度计算 .....	(6)	3.3.2 技术参数、装配形式及外形尺寸 .....	(22)
2.2.2 压紧力 $Q$ 和有效圆周力 $F_t$ .....	(9)	3.4 XZW 行星式无级变速器 (沈阳工 矿齿轮厂产品) .....	(23)
2.3 加压装置及其设计 .....	(9)	3.4.1 概 述 .....	(23)
2.3.1 加压装置的类型及配置 .....	(9)	3.4.2 代号表示方法 .....	(23)
2.3.2 自动加压装置的原理及设计 .....	(9)	3.4.3 选用说明及使用注意事项 .....	(23)
3 常用无级变速器 .....	(13)	3.4.4 装配形式和外形尺寸 .....	(24)
3.1 齿链式无级变速器 .....	(13)	3.4.5 无级变速器与减速机的配置 .....	(24)
3.1.1 概 述 .....	(13)		

## 第 20 章 轴及钢丝软轴

1 轴 .....	(30)	1.5 轴的设计实例 .....	(56)
1.1 轴的材料 .....	(30)	1.6 轴的振动稳定性计算 .....	(60)
1.2 轴的结构设计 .....	(33)	1.7 轴的工作图 .....	(62)
1.2.1 轴上零件的轴向固定 .....	(33)	2 钢丝软轴 .....	(62)
1.2.2 提高轴的疲劳强度应采取的结构 措施 .....	(38)	2.1 钢丝软轴的结构型式和规格 .....	(62)
1.2.3 轴的结构工艺性 .....	(39)	2.1.1 钢丝软轴 .....	(62)
1.3 轴的强度计算 .....	(41)	2.1.2 软轴接头及联接 .....	(63)
1.3.1 按转矩估算轴径 .....	(41)	2.1.3 软 管 .....	(64)
1.3.2 按当量弯矩近似计算 .....	(42)	2.1.4 软管接头及联接 .....	(65)
1.3.3 安全系数的精确校核计算 .....	(46)	2.1.5 软轴软管的型号与配套使用 .....	(65)
1.4 轴的刚度校核 .....	(54)	2.2 钢丝软轴的选择与使用 .....	(66)
1.4.1 轴的弯曲刚度校核 .....	(54)	2.2.1 软轴的选择 .....	(66)
1.4.2 轴的扭转刚度校核 .....	(56)	2.2.2 软轴使用时注意事项 .....	(66)

## 第 21 章 滑动轴承

1 概 述 .....	(68)	2.1.2 轴承的验算 .....	(69)
2 非液体摩擦滑动轴承 .....	(68)	2.2 平面推力轴承 .....	(69)
2.1 径向轴承 .....	(68)	2.2.1 平面推力轴承的常用型式和结构 .....	(69)
2.1.1 径向轴承结构和选用 .....	(68)	2.2.2 平面推力轴承的计算 .....	(69)

2.3 润滑方式的选择 .....	(69)	5 轴承材料 .....	(104)
3 液体动压滑动轴承 .....	(71)	6 轴瓦结构 .....	(109)
3.1 径向轴承 .....	(71)	6.1 整体式轴瓦 .....	(109)
3.1.1 性能计算 .....	(72)	6.1.1 卷制轴套 .....	(109)
3.1.2 参数选择 .....	(74)	6.1.2 一般轴套 .....	(111)
3.2 推力轴承 .....	(78)	6.1.3 覆有减摩塑料层的双金属轴套 .....	(113)
3.2.1 固定瓦推力轴承 .....	(78)	6.1.4 轴套的联接 .....	(114)
3.2.2 摆动瓦推力轴承 .....	(81)	6.1.5 轧机油膜轴承轴套技术要求 .....	(114)
4 液体静压轴承 .....	(82)	6.2 对开式轴瓦 .....	(115)
4.1 概 述 .....	(82)	6.2.1 厚壁轴瓦 .....	(115)
4.2 静压轴承的结构设计 .....	(84)	6.2.2 薄壁轴瓦 .....	(117)
4.2.1 径向静压轴承 .....	(84)	6.3 润滑孔和润滑槽 .....	(121)
4.2.2 推力静压轴承 .....	(85)	6.3.1 润滑孔 .....	(121)
4.2.3 静压轴承材料 .....	(87)	6.3.2 润滑槽 .....	(121)
4.2.4 节流器的结构设计 .....	(87)	6.4 粉末冶金轴瓦 .....	(123)
4.3 单腔平面油垫计算 .....	(90)	6.4.1 筒形轴瓦 .....	(123)
4.3.1 单腔平面油垫的流量和液阻 .....	(90)	6.4.2 带挡边的筒形轴瓦 .....	(125)
4.3.2 各种节流器的流量和液阻计算 .....	(91)	6.4.3 球形轴瓦 .....	(126)
4.3.3 单腔平面油垫承载能力 .....	(92)	6.5 尼龙轴套 .....	(127)
4.3.4 单腔平面油垫刚度 .....	(93)	7 滑动轴承座 .....	(128)
4.4 对向油垫计算 .....	(93)	7.1 整体式径向滑动轴承座 .....	(128)
4.4.1 毛细管节流静压轴承计算 .....	(93)	7.2 对开式滑动轴承座 .....	(129)
4.4.2 小孔节流静压轴承计算 .....	(95)	7.2.1 对开式二螺柱正滑动轴承座 .....	(129)
4.4.3 双面薄膜反馈静压轴承计算 .....	(97)	7.2.2 对开式四螺柱正滑动轴承座 .....	(130)
4.4.4 滑阀反馈静压轴承计算 .....	(99)	7.2.3 对开式四螺柱斜滑动轴承座 .....	(131)
4.5 功耗及温升 .....	(102)	7.3 滑动轴承座技术要求 .....	(132)
4.5.1 功 耗 .....	(102)	8 滑动轴承产品 .....	(132)
4.5.2 影响功率消耗的因素 .....	(102)	8.1 YD型四油楔液体动压径向滑 动轴承系列 .....	(132)
4.5.3 油进出口间的最高温升(近似 计算) .....	(102)	8.2 KT型止推可倾瓦轴承系列 .....	(134)
4.6 供油系统设计特点 .....	(103)	8.3 油环式径向滑动轴承系列 .....	(138)
4.6.1 供油系统的元件 .....	(103)	8.4 可调球型径向滑动轴承系列 .....	(139)
4.6.2 供油压力的选择 .....	(103)	8.5 水润滑橡胶轴承系列 .....	(140)
4.6.3 静压轴承的润滑油 .....	(103)		

## 第 22 章 滚动轴承

1 滚动轴承类型、代号方法(摘自 GB/T272—93)和特点 .....	(143)	2 滚动轴承的选择计算 .....	(149)
1.1 轴承代号的构成 .....	(143)	2.1 滚动轴承的失效形式 .....	(149)
1.1.1 基本代号 .....	(143)	2.2 按疲劳寿命选择计算 .....	(149)
1.1.2 滚针轴承基本代号 .....	(147)	2.2.1 径向当量动负荷 $P_r$ 的计算 .....	(150)
1.1.3 基本代号编制规则 .....	(147)	2.2.2 轴向当量动负荷 $P_a$ 的计算 .....	(151)
1.2 前置、后置代号 .....	(147)	2.2.3 当轴承承受力矩负荷时, 当量动负荷 的计算 .....	(151)
1.2.1 前置代号 .....	(148)	2.2.4 当轴承承受冲击负荷时, 当量动负荷 的计算 .....	(151)
1.2.2 后置代号 .....	(148)	2.2.5 一个支点安装两个同型号角接触	

超星阅读器提醒您：  
超星电子书制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆·星球

轴承 .....	(151)	4 轴承零件 .....	(232)
2.2.6 有规律变负荷、变转速工作情况时, 轴承当量动负荷的计算 .....	(152)	5 滚动轴承的配合 .....	(236)
2.3 滚动轴承的静负荷计算 .....	(152)	5.1 负荷的类型 .....	(236)
2.4 滚动轴承的极限转速 .....	(153)	5.2 负荷的大小 .....	(236)
2.5 例题 .....	(154)	5.3 工作温度 .....	(236)
3 常用滚动轴承尺寸、性能参数表 .....	(154)	5.4 轴承的旋转精度 .....	(236)
3.1 调心球轴承 .....	(154)	6 滚动轴承的轴向定位 .....	(240)
3.2 调心滚子轴承 .....	(161)	7 滚动轴承的润滑与密封 .....	(240)
3.3 圆锥滚子轴承 .....	(171)	7.1 润滑油 .....	(241)
3.4 推力轴承 .....	(183)	7.2 润滑脂 .....	(242)
3.5 深沟球轴承 .....	(191)	7.3 轴承的密封 .....	(242)
3.6 角接触球轴承 .....	(200)	8 滚动轴承组合典型结构 .....	(243)
3.7 圆柱滚子轴承 .....	(212)	9 滚动轴承座 .....	(244)
3.8 滚针轴承 .....	(224)	9.1 适用范围 .....	(244)
3.9 外球面球轴承 .....	(230)	9.2 结构类型与型号表示法 .....	(244)
		9.3 型式尺寸 .....	(245)

超星阅读器提醒您：  
使用超星阅读器制品  
请尊重相关知识产权！

### 第 23 章 联轴器、离合器、液力偶合器

1 联轴器 .....	(248)	2.1 常用离合器的性能、特点与应用 .....	(316)
1.1 常用联轴器的性能、特点及应用 .....	(248)	2.2 牙嵌式离合器 .....	(316)
1.2 联轴器的选择 .....	(251)	2.3 多片摩擦离合器 .....	(321)
1.2.1 联轴器的类型选择 .....	(251)	2.4 电磁式离合器 .....	(324)
1.2.2 联轴器的型号选择 .....	(251)	2.5 超越离合器 .....	(328)
1.3 联轴器轴孔型式与键槽型式 .....	(253)	2.6 安全离合器 .....	(330)
1.4 常用联轴器的主要尺寸和性能参数 .....	(255)	3 液力偶合器 .....	(333)
1.4.1 刚性固定式联轴器 .....	(255)	3.1 液力偶合器的分类和特点 .....	(333)
1.4.2 刚性可移式联轴器 .....	(259)	3.2 液力偶合器的选择 .....	(333)
1.4.3 弹性联轴器 .....	(282)	3.3 产品规格 .....	(335)
2 离合器 .....	(316)		

### 第 24 章 飞 轮

1 机械系统的等效模型 .....	(346)	4 飞轮的结构设计 .....	(350)
2 机器运动方程及方程求解 .....	(346)	4.1 飞轮的基本结构型式 .....	(350)
3 飞轮转动惯量的计算 .....	(347)	4.2 飞轮的尺寸确定 .....	(352)
3.1 $[M_{cl}(\phi) - M_{cl}(\phi)]$ 机械系统飞轮 转动惯量的计算 .....	(348)	4.3 飞轮的平衡 .....	(352)
3.2 $[M_{cl}(\omega) - M_{cl}(\phi)]$ 机械系统飞轮 转动惯量的计算 .....	(349)	4.4 飞轮的过载保护装置 .....	(355)
		4.5 飞轮的新材料与新结构 .....	(356)

### 第 25 章 弹 簧

1 圆柱螺旋弹簧 .....	(357)	1.3 弹簧材料及许用应力 .....	(360)
1.1 普通圆柱螺旋弹簧的型式、代号 及应用 .....	(357)	1.4 压缩、拉伸弹簧的设计计算 .....	(366)
1.2 普通圆柱螺旋弹簧尺寸参数系列 .....	(359)	1.4.1 负荷—变形图 .....	(366)
		1.4.2 设计计算 .....	(367)



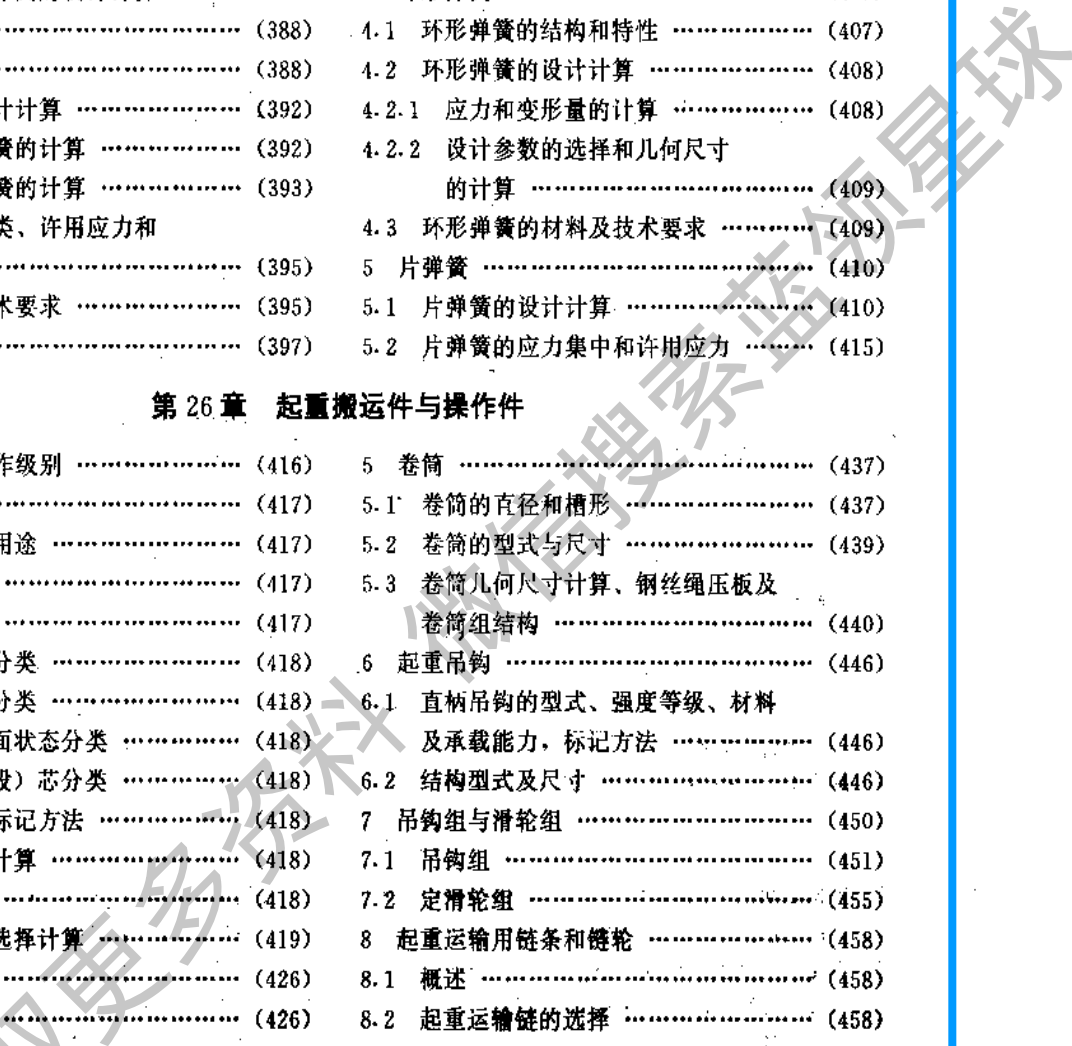


1.4.3 几何尺寸计算 .....	(376)	3 橡胶弹簧 .....	(399)
1.4.4 验 算 .....	(377)	3.1 橡胶弹簧的优缺点 .....	(399)
1.5 组合弹簧设计特点 .....	(377)	3.2 橡胶材料的静弹性特性 .....	(399)
1.6 扭转弹簧的设计 .....	(378)	3.3 橡胶材料的动弹性特性 .....	(400)
1.7 普通圆柱螺旋弹簧制造精度及 极限偏差 .....	(380)	3.4 橡胶弹簧的设计计算 .....	(401)
1.8 设计计算举例 .....	(384)	3.5 橡胶弹簧的材料和使用寿命 .....	(406)
1.9 圆锥螺旋压缩弹簧的设计计算 .....	(386)	3.6 橡胶弹簧设计举例 .....	(407)
2 碟形弹簧 .....	(388)	4 环形弹簧 .....	(407)
2.1 分 类 .....	(388)	4.1 环形弹簧的结构和特性 .....	(407)
2.2 碟形弹簧的设计计算 .....	(392)	4.2 环形弹簧的设计计算 .....	(408)
2.2.1 单片碟形弹簧的计算 .....	(392)	4.2.1 应力和变形量的计算 .....	(408)
2.2.2 组合碟形弹簧的计算 .....	(393)	4.2.2 设计参数的选择和几何尺寸 的计算 .....	(409)
2.3 碟簧的载荷分类、许用应力和 疲劳极限 .....	(395)	4.3 环形弹簧的材料及技术要求 .....	(409)
2.4 碟形弹簧的技术要求 .....	(395)	5 片弹簧 .....	(410)
2.5 例 题 .....	(397)	5.1 片弹簧的设计计算 .....	(410)
		5.2 片弹簧的应力集中和许用应力 .....	(415)

## 第 26 章 起重搬运件与操作件

1 起重机机构的工作级别 .....	(416)	5 卷筒 .....	(437)
2 钢丝绳 .....	(417)	5.1 卷筒的直径和槽形 .....	(437)
2.1 分类、特点与用途 .....	(417)	5.2 卷筒的型式与尺寸 .....	(439)
2.1.1 按结构分类 .....	(417)	5.3 卷筒几何尺寸计算、钢丝绳压板及 卷筒组结构 .....	(440)
2.1.2 按捻法分类 .....	(417)	6 起重吊钩 .....	(446)
2.1.3 按捻制特性分类 .....	(418)	6.1 直柄吊钩的型式、强度等级、材料 及承载能力, 标记方法 .....	(446)
2.1.4 按股的形状分类 .....	(418)	6.2 结构型式及尺寸 .....	(446)
2.1.5 按钢丝的表面状态分类 .....	(418)	7 吊钩组与滑轮组 .....	(450)
2.1.6 按钢丝绳(股)芯分类 .....	(418)	7.1 吊钩组 .....	(451)
2.2 双捻钢丝绳的标记方法 .....	(418)	7.2 定滑轮组 .....	(455)
2.3 钢丝绳的选择计算 .....	(418)	8 起重运输用链条和链轮 .....	(458)
2.3.1 类型选择 .....	(418)	8.1 概述 .....	(458)
2.3.2 钢丝绳直径选择计算 .....	(419)	8.2 起重运输链的选择 .....	(458)
3 绳具 .....	(426)	8.3 起重链的规格 .....	(459)
3.1 钢丝绳夹 .....	(426)	8.4 起重链链轮 .....	(463)
3.2 钢丝绳夹使用方法 .....	(426)	8.5 输送链、附件和链轮 .....	(465)
3.3 钢丝绳用普通套环 .....	(427)	8.5.1 链条 .....	(465)
3.4 钢丝绳用楔形接头 .....	(428)	8.5.2 附件 .....	(467)
3.5 一般起重用锻造卸扣 .....	(430)	8.5.3 标记方法 .....	(468)
4 滑轮 .....	(432)	8.5.4 链轮齿形及公差 .....	(468)
4.1 绳槽断面 .....	(432)	9 车轮和车轮组 .....	(470)
4.2 滑轮、卷筒的卷绕直径 .....	(433)	9.1 车轮 .....	(470)
4.2.1 滑轮、卷筒的卷绕直径计算 .....	(433)	9.2 车轮组 .....	(473)
4.2.2 滑轮直径的选用系列与匹配 .....	(433)		
4.3 滑轮的型式与尺寸 .....	(433)		

超星阅读器提醒您：  
使用本产品请尊重知识产权！



10 停止器.....	(479)	12.1.2 输送带的强度计算.....	(509)
10.1 棘轮停止器.....	(479)	12.1.3 输送带全长计算.....	(510)
10.1.1 棘轮停止器的设计计算.....	(479)	12.2 滚筒.....	(510)
10.1.2 棘轮齿形与棘爪端的外形尺寸 及画法.....	(480)	12.2.1 传动滚筒.....	(510)
10.2 带式停止器.....	(481)	12.2.2 改向滚筒.....	(512)
11 制动器.....	(482)	12.3 托辊.....	(513)
11.1 带式制动器.....	(482)	12.4 清扫器.....	(517)
11.2 外抱块式制动器.....	(485)	13 气垫单元.....	(519)
11.2.1 性能特点、类型及应用范围.....	(485)	13.1 气垫运输的基本原理.....	(519)
11.2.2 外抱块式制动器的性能参数 及主要尺寸.....	(486)	13.2 采用气垫运输所需的条件.....	(519)
11.3 盘式制型动器.....	(498)	13.3 气垫单元的结构与计算.....	(519)
11.3.1 结构形式.....	(498)	13.3.1 气囊.....	(519)
11.3.2 设计计算.....	(505)	13.3.2 承载板.....	(521)
12 带式输送机零部件.....	(506)	13.3.3 支承块.....	(521)
12.1 输送带.....	(507)	14 操作件.....	(522)
12.1.1 输送带的类型及标准规格.....	(507)	14.1 手柄.....	(522)
		14.2 手轮.....	(531)
		14.3 把手.....	(537)

## 第 27 章 润滑和润滑装置

1 润滑状态.....	(541)	2.3 润滑脂.....	(571)
1.1 流体动压润滑.....	(541)	2.3.1 钙基润滑脂.....	(572)
1.2 流体静压润滑.....	(541)	2.3.2 石墨钙基润滑脂.....	(573)
1.3 弹性流体动压润滑.....	(541)	2.3.3 无水钙基润滑脂.....	(573)
1.4 边界润滑.....	(542)	2.3.4 钠基润滑脂.....	(574)
1.5 混合润滑.....	(542)	2.3.5 钙钠基润滑脂.....	(574)
2 润滑剂.....	(542)	2.3.6 通用锂基润滑脂.....	(574)
2.1 润滑剂的主要理化指标.....	(542)	2.3.7 汽车通用锂基润滑脂.....	(575)
2.2 润滑油.....	(543)	2.3.8 半流体锂基润滑脂.....	(576)
2.2.1 L-AN 全损耗系统用油.....	(546)	2.3.9 合成锂基润滑脂.....	(576)
2.2.2 液压油.....	(547)	2.3.10 复合钙基润滑脂.....	(576)
2.2.3 齿轮油.....	(550)	2.3.11 复合铝基润滑脂.....	(577)
2.2.4 内燃机油.....	(555)	2.3.12 复合锂基润滑脂.....	(578)
2.2.5 轴承油.....	(562)	2.3.13 GB-4 润滑脂.....	(578)
2.2.6 车轴油.....	(564)	2.3.14 二硫化钼极压锂基润滑脂.....	(578)
2.2.7 汽轮机油.....	(564)	2.3.15 极压锂基润滑脂.....	(579)
2.2.8 汽缸油.....	(566)	2.3.16 MH-MoS <sub>2</sub> 特种润滑块.....	(580)
2.2.9 压缩机油.....	(566)	2.3.17 HG 高温窑车润滑脂.....	(580)
2.2.10 冷冻机油.....	(567)	2.3.18 7014-1 号高温润滑脂.....	(580)
2.2.11 食品机械润滑油.....	(568)	2.3.19 低温润滑脂.....	(581)
2.2.12 真空泵油.....	(568)	2.3.20 轴承润滑脂.....	(582)
2.2.13 变压器油.....	(569)	2.3.21 精密仪表脂.....	(583)
2.2.14 仪表油.....	(570)	2.3.22 食品机械润滑脂.....	(584)
2.2.15 油膜轴承油.....	(570)	2.3.23 密封润滑脂.....	(584)

超星阅读器提醒您：  
使用本产品  
请尊重知识产权！

2.3.24 工业凡士林.....	(585)	3.3.2 油 枪 .....	(615)
2.4 固体润滑剂 .....	(586)	3.3.3 油 泵 .....	(617)
2.5 机械设备换油、脂周期 .....	(588)	3.3.4 阀 .....	(619)
2.6 国内外润滑油、脂对照表 .....	(592)	3.3.5 油流指示器 .....	(620)
3 润滑方法 .....	(606)	3.3.6 GDQ 型高压单线给油器 .....	(621)
3.1 润滑方法分类 .....	(606)	3.3.7 稀油过滤装置 .....	(621)
3.2 润滑方式 .....	(606)	3.3.8 冷却器 .....	(624)
3.2.1 手工给油润滑 .....	(606)	3.3.9 油 箱 .....	(628)
3.2.2 滴油润滑 .....	(606)	3.3.10 稀油润滑装置.....	(631)
3.2.3 油环或油链润滑 .....	(606)	3.3.11 干油泵及干油站.....	(637)
3.2.4 飞溅(油池)润滑 .....	(607)	3.3.12 干油喷射润滑装置.....	(646)
3.2.5 压力循环润滑 .....	(607)	3.3.13 给油器.....	(647)
3.2.6 集中润滑 .....	(607)	3.3.14 干油过滤器.....	(650)
3.2.7 油雾润滑 .....	(608)	3.3.15 压力操纵阀.....	(650)
3.2.8 覆盖膜润滑 .....	(611)	3.3.16 电磁换向阀.....	(651)
3.3 润滑装置 .....	(612)	3.3.17 油雾润滑装置.....	(651)
3.3.1 油 杯 .....	(612)	3.3.18 油 标.....	(652)

### 第 28 章 密封

1 概述 .....	(656)	3.1.2 厌氧胶 .....	(708)
2 标准件密封 .....	(659)	3.1.3 热熔型密封胶 .....	(709)
2.1 O 型橡胶密封圈 .....	(659)	3.2 金属空心 O 形圈 .....	(709)
2.2 旋转轴唇形密封圈 .....	(663)	3.2.1 金属空心 O 形圈的分类 .....	(709)
2.3 毡圈 .....	(666)	3.2.2 金属空心 O 形圈的沟槽型式与 尺寸 .....	(710)
2.4 单向密封橡胶密封圈 .....	(667)	3.2.3 金属空心 O 形圈的选用 .....	(710)
2.5 双向密封橡胶密封圈 .....	(680)	3.3 填料密封 .....	(711)
2.6 真空动密封 .....	(685)	3.3.1 绞合填料与编结填料 .....	(711)
2.6.1 J 型真空用橡胶密封圈 .....	(685)	3.3.2 塑性填料 .....	(713)
2.6.2 JO 型和骨架型真空用橡胶密 封圈 .....	(688)	3.3.3 硬填料 .....	(714)
2.6.3 O 型真空用橡胶密封圈 .....	(693)	3.3.4 填料腔的结构设计 .....	(717)
2.6.7 橡胶防尘密封圈 .....	(697)	3.4 金属活塞环密封 .....	(719)
2.7 密封垫 .....	(703)	3.4.1 活塞环组的环数 .....	(720)
2.7.1 密封垫的选用 .....	(703)	3.4.2 活塞环的基本尺寸 .....	(720)
2.7.2 选择密封垫应注意的问题 .....	(707)	3.5 节流环形沟槽密封 .....	(720)
3 非标准密封 .....	(707)	3.6 迷宫密封 .....	(721)
3.1 胶密封 .....	(707)	3.7 离心密封 .....	(721)
3.1.1 液态密封胶 .....	(708)	3.8 螺旋密封 .....	(722)

### 第 29 章 电机与电器

1 控制系统线路设计 .....	(723)	1.1.2 电气图中常用图形符号 .....	(726)
1.1 电气技术中常用文字符号和图形 符号 .....	(723)	1.2 低压控制系统线路设计 .....	(732)
1.1.1 电气技术中常用文字符号 .....	(723)	1.2.1 概述 .....	(732)
		1.2.2 电气制图一般规则 .....	(732)

1.2.3 常用典型控制线路 .....	(733)	电机 .....	(778)
1.2.4 可编程控制器简介 .....	(734)	3.3 步进电动机 .....	(779)
2 电气器件 .....	(735)	3.4 伺服电动机及伺服测速机组 .....	(782)
2.1 保护器件 .....	(735)	3.4.1 SL 系列交流伺服电动机 .....	(782)
2.1.1 熔断器 .....	(736)	3.4.2 SZ 系列直流伺服电动机 .....	(785)
2.1.2 热继电器 .....	(737)	3.4.3 SY 系列永磁式直流伺服电动机 .....	(788)
2.1.3 自动开关 .....	(740)	3.4.4 SC 系列交流伺服测速机组 .....	(791)
2.2 控制电路的开关器件 .....	(740)	3.4.5 110 SZ-C 系列伺服测速机组 .....	(792)
2.2.1 转换开关和组合开关 .....	(740)	4 普通驱动电动机 .....	(793)
2.2.2 按钮 .....	(743)	4.1 电动机的工作制、绝缘等级与允许 温升 .....	(793)
2.2.3 行程开关 .....	(746)	4.2 电动机的特点、用途及使用条件 .....	(794)
2.3 控制继电器 .....	(757)	4.3 电动机的选择 .....	(803)
2.4 接触器、磁力起动器 .....	(761)	4.3.1 电动机选择应综合考虑的问题 .....	(803)
2.5 控制变压器 .....	(764)	4.3.2 电动机外壳结构形式及选择 .....	(803)
2.6 电磁铁 .....	(767)	4.3.3 电动机类型选择 .....	(804)
2.7 辅助元器件及常用材料 .....	(769)	4.3.4 电动机电压和转速选择 .....	(805)
2.7.1 信号灯 .....	(769)	4.4 电动机规格 .....	(805)
2.7.2 接线座 .....	(770)	4.4.1 一般异步电动机 .....	(805)
2.7.3 电线 .....	(771)	4.4.2 变速异步电动机 .....	(825)
2.7.4 电缆 .....	(772)	4.4.3 冶金及起重用异步电动机 .....	(837)
3 控制电机 .....	(773)	4.4.4 防爆异步电动机 .....	(850)
3.1 自整角机 .....	(773)	4.4.5 振动电动机 .....	(878)
3.2 测速发电机 .....	(776)	4.4.6 微型电动机 .....	(880)
3.2.1 CK 系列交流测速发电机 .....	(776)	4.4.7 直流电动机 .....	(897)
3.2.2 ZCF 系列直流测速发电机 .....	(777)		
3.2.3 CYD 系列永磁式低速直流测速发			

### 第 30 章 有限元法

1 有限元法概述 .....	(939)	3 空间轴对称结构有限元分析 .....	(953)
1.1 单元位移模式与形函数 .....	(940)	3.1 轴对称结构有限元分析的半解析法 .....	(953)
1.2 单元应变和应力 .....	(943)	3.2 三角形截面环元的有限元基本公式 .....	(953)
1.3 单元刚度方程与单元刚度矩阵 .....	(943)	3.3 空间轴对称结构有限元程序说明 .....	(956)
1.4 单元等效结点载荷 .....	(943)	3.4 空间轴对称结构有限元法算例 .....	(957)
1.5 总刚度矩阵与总结点载荷列阵的 组集 .....	(943)	4 平面刚架和空间刚架有限元分析 .....	(961)
1.6 引入构件约束条件、求解位移和 应力 .....	(944)	4.1 平面梁元的有限元基本公式 .....	(961)
2 用平面三角形单元解平面构件强度 问题 .....	(944)	4.2 空间梁元的有限元基本公式 .....	(965)
2.1 平面问题有限元算式 .....	(945)	4.3 平面刚架和空间刚架有限元程序 说明 .....	(969)
2.2 平面问题有限元粗算演示 .....	(947)	4.4 平面刚架和空间刚架有限元算例 .....	(970)
2.3 平面三结点三角形单元有限元程序 说明 .....	(951)	5 等参数单元 (简称等参元) .....	(973)
2.4 平面问题有限元法工程算例 .....	(952)	5.1 平面与空间等参元有限元计算公式 .....	(973)
		5.2 平面与空间等参元的有限元程序 说明 .....	(979)
		5.3 空间等参元计算实例 .....	(979)

招星阅读器提醒您：  
使用本产品请  
尊重相关知识产权！

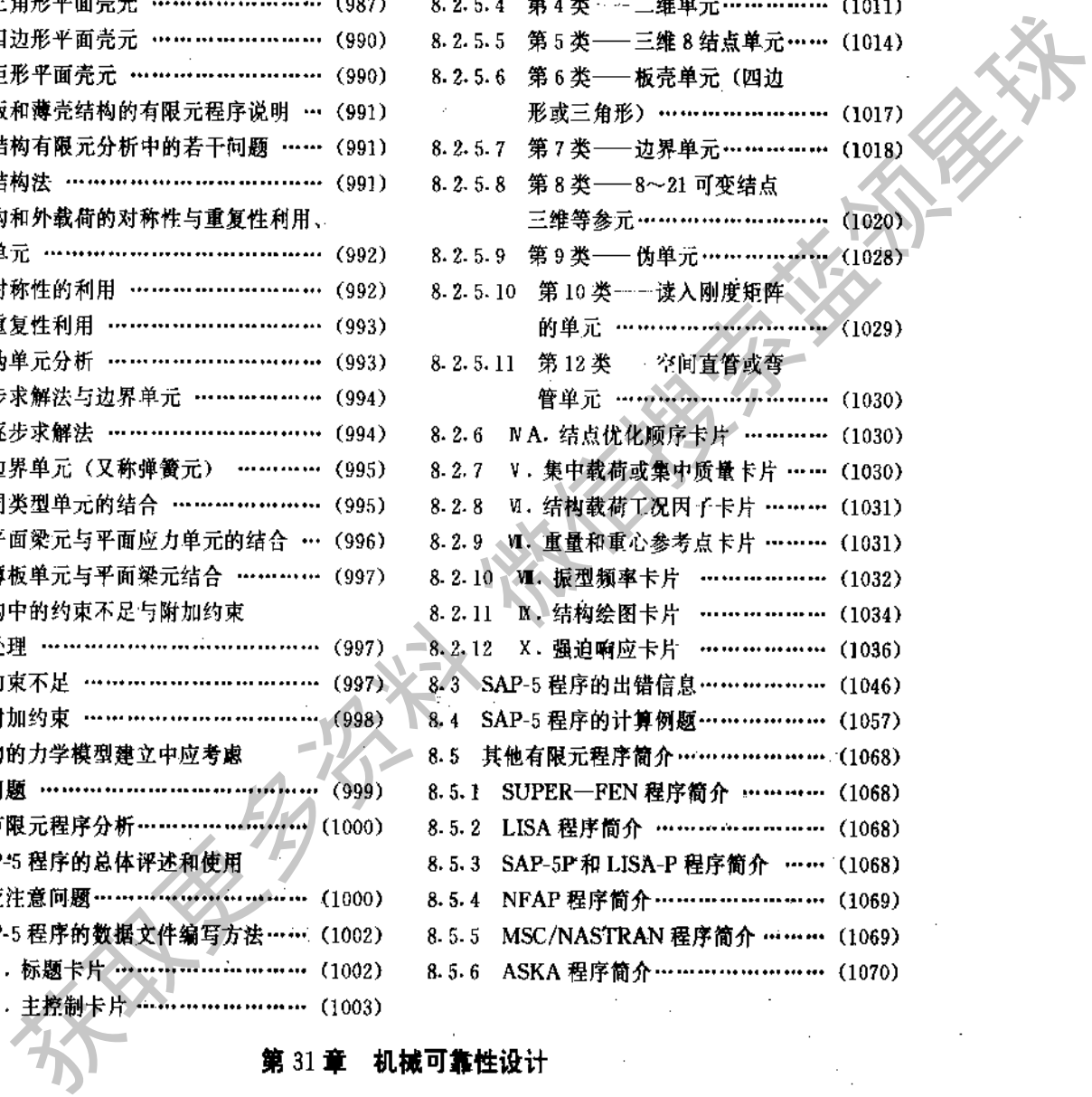


6 薄板和薄壳结构有限元分析 .....	(980)	8.2.3 III. 结点数据卡片 .....	(1005)
6.1 薄板有限元分析 .....	(981)	8.2.4 IIIA. 结点温度修正卡片 .....	(1007)
6.1.1 薄板离散结构的结点分析 .....	(981)	8.2.5 IV. 单元数据卡片 .....	(1007)
6.1.2 四结点矩形板元有限元计算公式 ..	(982)	8.2.5.1 第1类——空间桁架单元 .....	(1007)
6.1.3 三结点三角形板元计算公式 .....	(984)	8.2.5.2 第2类——空间梁单元 .....	(1008)
6.1.4 四结点四边形板元 .....	(986)	8.2.5.3 第3类——平面应力薄	
6.2 薄壳有限元分析 .....	(987)	膜单元 .....	(1009)
6.2.1 三角形平面壳元 .....	(987)	8.2.5.4 第4类——二维单元 .....	(1011)
6.2.2 四边形平面壳元 .....	(990)	8.2.5.5 第5类——三维8结点单元 .....	(1014)
6.2.3 矩形平面壳元 .....	(990)	8.2.5.6 第6类——板壳单元(四边	
6.3 薄板和薄壳结构的有限元程序说明 ..	(991)	形或三角形) .....	(1017)
7 整体结构有限元分析中的若干问题 .....	(991)	8.2.5.7 第7类——边界单元 .....	(1018)
7.1 子结构法 .....	(991)	8.2.5.8 第8类——8~21可变结点	
7.2 结构和外载荷的对称性与重复性利用、		三维等参元 .....	(1020)
伪单元 .....	(992)	8.2.5.9 第9类——伪单元 .....	(1028)
7.2.1 对称性的利用 .....	(992)	8.2.5.10 第10类——读入刚度矩阵	
7.2.2 重复性利用 .....	(993)	的单元 .....	(1029)
7.2.3 伪单元分析 .....	(993)	8.2.5.11 第12类——空间直管或弯	
7.3 逐步求解法与边界单元 .....	(994)	管单元 .....	(1030)
7.3.1 逐步求解法 .....	(994)	8.2.6 IVA. 结点优化顺序卡片 .....	(1030)
7.3.2 边界单元(又称弹簧元) .....	(995)	8.2.7 V. 集中载荷或集中质量卡片 .....	(1030)
7.4 不同类型单元的结合 .....	(995)	8.2.8 VI. 结构载荷工况因子卡片 .....	(1031)
7.4.1 平面梁元与平面应力单元的结合 ..	(996)	8.2.9 VII. 重量和重心参考点卡片 .....	(1031)
7.4.2 薄板单元与平面梁元结合 .....	(997)	8.2.10 VIII. 振型频率卡片 .....	(1032)
7.5 结构中的约束不足与附加约束		8.2.11 IX. 结构绘图卡片 .....	(1034)
的处理 .....	(997)	8.2.12 X. 强迫响应卡片 .....	(1036)
7.5.1 约束不足 .....	(997)	8.3 SAP-5 程序的出错信息 .....	(1046)
7.5.2 附加约束 .....	(998)	8.4 SAP-5 程序的计算例题 .....	(1057)
7.6 结构的力学模型建立中应考虑		8.5 其他有限元程序简介 .....	(1068)
的问题 .....	(999)	8.5.1 SUPER-FEN 程序简介 .....	(1068)
8 典型有限元程序分析 .....	(1000)	8.5.2 LISA 程序简介 .....	(1068)
8.1 SAP-5 程序的总体评述和使用		8.5.3 SAP-5P 和 LISA-P 程序简介 .....	(1068)
中应注意问题 .....	(1000)	8.5.4 NFAP 程序简介 .....	(1069)
8.2 SAP-5 程序的数据文件编写方法 .....	(1002)	8.5.5 MSC/NASTRAN 程序简介 .....	(1069)
8.2.1 I. 标题卡片 .....	(1002)	8.5.6 ASKA 程序简介 .....	(1070)
8.2.2 II. 主控制卡片 .....	(1003)		

### 第31章 机械可靠性设计

1 可靠性设计的基础知识 .....	(1071)	1.1.5 可靠性设计的其他方面 .....	(1074)
1.1 概 述 .....	(1071)	1.2 概率论与数理统计基础 .....	(1074)
1.1.1 可靠性的概念 .....	(1071)	1.2.1 随机事件及其概率 .....	(1074)
1.1.2 可靠性设计程序和手段 .....	(1071)	1.2.2 概率的基本运算法则 .....	(1075)
1.1.3 可靠性设计的目标值 .....	(1071)	1.2.3 随机变量及其分布函数 .....	(1075)
1.1.4 可靠性设计方法 .....	(1073)	1.2.4 随机变量的数字特征 .....	(1075)

招生浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权！



1.2.5 总体、个体和样本 .....	(1076)	和可靠度的估计 .....	(1120)
1.2.6 统计量 .....	(1076)	2.5 威布尔分布的分析法 .....	(1135)
1.2.7 自由度 .....	(1076)	2.5.1 威布尔分布的拟合性检验 .....	(1135)
1.2.8 参数估计 .....	(1077)	2.5.2 威布尔分布的图估计法 .....	(1137)
1.2.9 假设检验 .....	(1077)	2.5.3 威布尔分布的参数估计 .....	(1139)
1.3 可靠性中常用的概率分布 .....	(1077)	2.5.4 威布尔分布的可靠度和可靠 寿命估计 .....	(1140)
1.4 可靠性特征量 .....	(1094)	2.6 中止寿命试验的图分析法 .....	(1154)
1.4.1 可靠度 .....	(1094)	3 概率机械设计 .....	(1158)
1.4.2 累积失效概率 .....	(1094)	3.1 应力-强度模型求可靠度的方法 .....	(1158)
1.4.3 平均寿命 .....	(1094)	3.1.1 应力-强度模型 .....	(1158)
1.4.4 可靠寿命和中位寿命 .....	(1095)	3.1.2 应力-强度模型求可靠度的 一般公式 .....	(1158)
1.4.5 失效率和失效率曲线 .....	(1095)	3.1.3 数值积分法求可靠度 .....	(1159)
1.4.6 可靠性特征量间的关系 .....	(1097)	3.1.4 图解法求可靠度 .....	(1160)
1.5 维修性特征量 .....	(1097)	3.1.5 极限状态法求可靠度 .....	(1161)
1.5.1 维修度 .....	(1097)	3.1.6 可靠度的单侧置信下限 .....	(1164)
1.5.2 修复率 .....	(1097)	3.2 可靠度的近似算法 .....	(1164)
1.5.3 平均修复时间 .....	(1097)	3.2.1 可靠安全系数 .....	(1164)
1.5.4 维修性和可靠性特征量的对应 关系 .....	(1097)	3.2.2 随机变量函数的均值和标准 差的近似计算 .....	(1167)
1.6 有效性特征量 .....	(1098)	3.3 概率机械设计所需的部分数据 和资料 .....	(1168)
1.6.1 有效度的意义 .....	(1098)	3.3.1 几何尺寸 .....	(1168)
1.6.2 有效度的种类 .....	(1098)	3.3.2 材料的强度特性 .....	(1169)
1.6.3 单元有效度 .....	(1099)	3.4 静强度的概率设计 .....	(1180)
2 可靠性试验数据的统计处理方法 .....	(1100)	3.4.1 计算系数 .....	(1180)
2.1 可靠性试验分类 .....	(1100)	3.4.2 正态分布的设计法 .....	(1180)
2.1.1 按试验场所的分类 .....	(1100)	3.4.3 非正态分布的设计法 .....	(1182)
2.1.2 按试验截止情况的分类 .....	(1100)	3.5 疲劳强度的概率设计 .....	(1182)
2.2 分布类型的假设检验 .....	(1100)	3.5.1 变应力和变载荷的类型 .....	(1183)
2.2.1 $\chi^2$ 检验法 .....	(1100)	3.5.2 零件的疲劳强度 .....	(1183)
2.2.2 K-S 检验法 .....	(1101)	3.5.3 按 P-S-N 线图验算疲劳强 度可靠度 .....	(1185)
2.3 指数分布的分析法 .....	(1103)	3.5.4 按 3s-S-N 线图验算疲劳强 度可靠度 .....	(1186)
2.3.1 指数分布的拟合性检验 .....	(1103)	3.5.5 按 $3s-\sigma_m-\sigma_s$ 线图验算疲劳 强度可靠度 .....	(1187)
2.3.2 指数分布的参数估计和可 靠度估计 .....	(1104)	3.5.6 按等效应力验算疲劳强 度可靠度 .....	(1188)
2.4 正态及对数正态分布的分析法 .....	(1104)	3.5.7 受复合应力时疲劳强度可靠 度的验算 .....	(1189)
2.4.1 正态及对数正态分布的拟 合性检验 .....	(1105)	3.5.8 疲劳强度可靠度计算的应 用举例 .....	(1189)
2.4.2 正态及对数正态分布的图 估计法 .....	(1107)		
2.4.3 正态及对数正态分布完全样 本的参数估计 .....	(1119)		
2.4.4 正态及对数正态分布截尾寿命 试验的参数估计 .....	(1120)		
2.4.5 正态及对数正态分布可靠寿命			

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆



3.5.9 疲劳寿命的可靠性预计.....	(1195)	4.5 失效模式、效应及危害度分析.....	(1210)
3.6 其他失效形式的概率设计.....	(1197)	4.5.1 基本概念.....	(1210)
3.6.1 断裂韧性的概率设计.....	(1197)	4.5.2 分析的过程和方法.....	(1211)
3.6.2 刚度的概率设计.....	(1199)	4.6 故障树分析.....	(1213)
3.6.3 磨损的概率设计.....	(1200)	4.6.1 基本概念.....	(1213)
3.6.4 腐蚀的概率设计.....	(1202)	4.6.2 故障树的建立.....	(1216)
3.6.5 摩擦传动的概率设计.....	(1203)	4.6.3 故障树的定性分析.....	(1216)
4 系统可靠性分析.....	(1204)	4.6.4 故障树的定量分析.....	(1219)
4.1 不可修复系统的可靠性.....	(1204)	5 蒙特卡洛模拟法及其应用.....	(1219)
4.1.1 系统可靠性模型.....	(1204)	5.1 蒙特卡洛模拟法.....	(1219)
4.1.2 常用系统的可靠度和平均寿命.....	(1205)	5.1.1 概述.....	(1219)
4.2 可修复系统的可靠性.....	(1206)	5.1.2 随机数的产生方法.....	(1220)
4.3 可靠性预计.....	(1208)	5.1.3 随机数检验.....	(1222)
4.3.1 可靠性预计的目的.....	(1208)	5.1.4 常用分布随机数的产生.....	(1223)
4.3.2 可靠性预计的方法.....	(1208)	5.2 蒙特卡各模拟法的应用举例.....	(1225)
4.4 可靠性分配.....	(1209)	5.2.1 随机变量函数的分布.....	(1225)
4.4.1 可靠性分配的原则.....	(1209)	5.2.2 应力-强度模型验算可靠度.....	(1226)
4.4.2 可靠性分配的方法.....	(1209)	5.2.3 可靠度的置信限.....	(1226)

### 第 32 章 机械优化设计

1 机械优化设计概述.....	(1228)	3.2 罚函数法.....	(1236)
1.1 优化设计的数学模型.....	(1228)	3.2.1 内点罚函数法.....	(1236)
1.1.1 设计变量和设计空间.....	(1228)	3.2.2 外点罚函数法.....	(1237)
1.1.2 目标函数.....	(1228)	3.2.3 混合罚函数法.....	(1237)
1.1.3 约束条件.....	(1228)	4 常用机械零件优化设计的数学模型.....	(1238)
1.1.4 优化设计的数学模型.....	(1228)	4.1 齿轮传动优化设计的数学模型.....	(1238)
1.2 目标函数的等值线和可行域的概念.....	(1228)	4.1.1 渐开线圆柱齿轮传动优化设计的数学模型.....	(1238)
1.2.1 目标函数的等值线.....	(1228)	4.1.2 圆锥齿轮传动优化设计的数学模型.....	(1244)
1.2.2 可行域的概念.....	(1229)	4.2 圆柱螺旋弹簧优化设计的数学模型.....	(1246)
1.3 优化问题数值迭代算法的基本思想和收敛准则.....	(1229)	4.2.1 圆柱螺旋弹簧的主要计算公式.....	(1246)
1.4 关于数学模型的几个问题.....	(1230)	4.2.2 圆柱螺旋弹簧优化设计的数学模型.....	(1249)
1.4.1 关于数学模型的尺度变换.....	(1230)	4.2.3 圆柱螺旋弹簧优化设计实例.....	(1249)
1.4.2 多目标优化设计.....	(1230)	4.3 径向液体动压润滑轴承优化设计的数学模型.....	(1250)
1.4.3 含离散变量问题的优化设计.....	(1230)	4.3.1 径向动压润滑轴承的几何参数和性能计算.....	(1250)
2 无约束优化方法.....	(1231)	4.3.2 径向液体动压润滑圆柱轴承优化设计的数学模型.....	(1252)
2.1 一维搜索.....	(1231)	4.3.3 径向液体动压润滑轴承优化设计实例.....	(1252)
2.1.1 确定搜索区间的进退算法.....	(1231)		
2.1.2 黄金分割法(0.618法).....	(1232)		
2.1.3 二次插值法.....	(1233)		
2.2 无约束优化方法.....	(1233)		
3 约束优化方法.....	(1235)		
3.1 随机方向搜索法.....	(1235)		

超星阅读器提醒您：  
使用本产品  
请尊重有关知识产权！

超星数字图书馆

## 第 33 章 计算机辅助设计

1 概论 .....	(1255)	4.2.1 IGES 标准文件中的单元 .....	(1295)
1.1 基本概念 .....	(1255)	4.2.2 IGES 文件结构 .....	(1296)
1.2 CAD 系统的硬件 .....	(1255)	4.2.3 IGES 文件示例 .....	(1297)
1.2.1 主机 .....	(1255)	4.3 DXF 文件 .....	(1300)
1.2.2 图形输入装置 .....	(1255)	4.3.1 DXF 文件结构 .....	(1300)
1.2.3 图形输出装置 .....	(1257)	4.3.2 DXF 文件实例 .....	(1301)
1.2.4 数据存贮设备——外存贮器 .....	(1258)	4.4 GKS 标准 .....	(1302)
1.3 计算机辅助设计系统的软件 .....	(1258)	4.4.1 GKS 的基本概念 .....	(1302)
2 几何处理和造型 .....	(1260)	4.4.2 GKS 的功能 .....	(1304)
2.1 图形变换 .....	(1260)	5 CAD 数据库 .....	(1306)
2.1.1 点的变换 .....	(1260)	5.1 概述 .....	(1306)
2.1.2 齐次坐标 .....	(1262)	5.1.1 数据的描述 .....	(1306)
2.1.3 二维图形的坐标变换 .....	(1262)	5.1.2 数据的组织形式 .....	(1306)
2.1.4 三维图形的坐标变换 .....	(1264)	5.1.3 数据的组织和管理技术 .....	(1307)
2.2 图形消隐 .....	(1266)	5.2 数据结构 .....	(1307)
2.2.1 边的评价 .....	(1268)	5.2.1 数据的逻辑结构 .....	(1307)
2.2.2 点的评价 .....	(1268)	5.2.2 数据的存贮结构 .....	(1309)
2.2.3 可见面和不可见面的评价 .....	(1268)	5.2.3 数据结构在 CAD 中的应用 .....	(1312)
2.3 图形裁剪 .....	(1269)	5.3 文件组织 .....	(1313)
2.3.1 点的裁剪 .....	(1270)	5.3.1 顺序文件 .....	(1313)
2.3.2 二维线裁剪 .....	(1270)	5.3.2 索引文件 .....	(1313)
2.4 几何造型 .....	(1272)	5.3.3 散列文件 .....	(1314)
2.4.1 外部模型与内部模型 .....	(1272)	5.4 数据库体系结构 .....	(1314)
2.4.2 内部模型的代表型与数据结构 .....	(1273)	5.4.1 数据库模式 .....	(1314)
2.4.3 体素的集合运算与操作 .....	(1275)	5.4.2 层次数据模型 .....	(1314)
2.4.4 SM 的主要技术及典型的 几何造型系统 .....	(1276)	5.4.3 网状数据模型 .....	(1315)
3 CAD 的计算方法 .....	(1279)	5.4.4 关系数据模型 .....	(1316)
3.1 数表和线图的处理 .....	(1279)	5.5 数据库管理系统 .....	(1317)
3.1.1 函数插值 .....	(1279)	5.5.1 DBMS 的基本功能 .....	(1318)
3.1.2 数表公式化 .....	(1281)	5.5.2 DBMS 的主要程序 .....	(1318)
3.2 数值分析方法 .....	(1282)	5.5.3 数据库系统语言 .....	(1318)
3.2.1 数学模型的程序化 .....	(1282)	5.6 数据库系统的建立和使用 .....	(1319)
3.2.2 方程求根 .....	(1284)	5.6.1 建库的工作流程 .....	(1319)
3.2.3 线性方程组的求解 .....	(1287)	5.6.2 数据库系统的使用 .....	(1320)
3.2.4 数值积分 .....	(1289)	5.7 工程数据库与分布数据库 系统简介 .....	(1321)
3.2.5 常微分方程的数值解法 .....	(1292)	5.7.1 工程数据库 .....	(1321)
4 图形软件标准 .....	(1293)	5.7.2 分布式数据库系统 .....	(1322)
4.1 图形软件的标准化 .....	(1293)	参考文献 .....	(1324)
4.2 IGES 标准 .....	(1295)		

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 第19章 摩擦轮和无级变速传动

### 1 摩擦轮传动

#### 1.1 概述

最简单的摩擦轮传动是由两个互相压紧的圆柱摩擦轮组成。如图 19-1 所示。其中一个摩擦轮的轴心可以移动，加压装置使两轮接触面间产生法向压力  $Q$ ，主动轮 1 回转时，由法向压力产生的摩擦力带动从动轮回转。设  $f$  为轮面间的摩擦系数，则在接触面间可产生摩擦力  $fQ$ ，其值应大于或等于带动从动轮工作所需的圆周力  $F$ 。

摩擦轮传动工作时，在两摩擦轮接触面间将产生弹性滑动，严重时会出现打滑。滑动导致传动效率降低，造成严重磨损，因此应控制滑动率在允许的范围之内。

摩擦轮传动结构简单，传动平稳，噪声小，过载打滑防止零件损坏；但传动效率低，磨损快，传动比

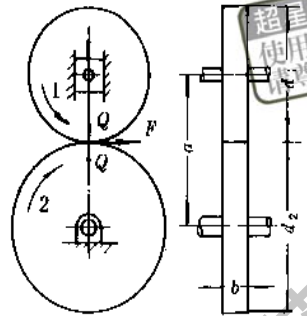


图 19-1 圆柱摩擦轮传动

不严格恒定，不宜传递大功率和大转矩。

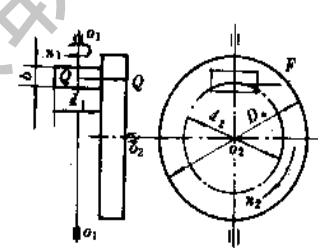
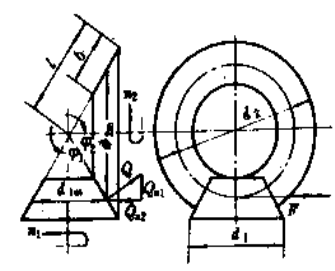
#### 1.2 摩擦轮传动的设计计算

表 19-1、表 19-2 给出了常用摩擦轮传动的设计计算。

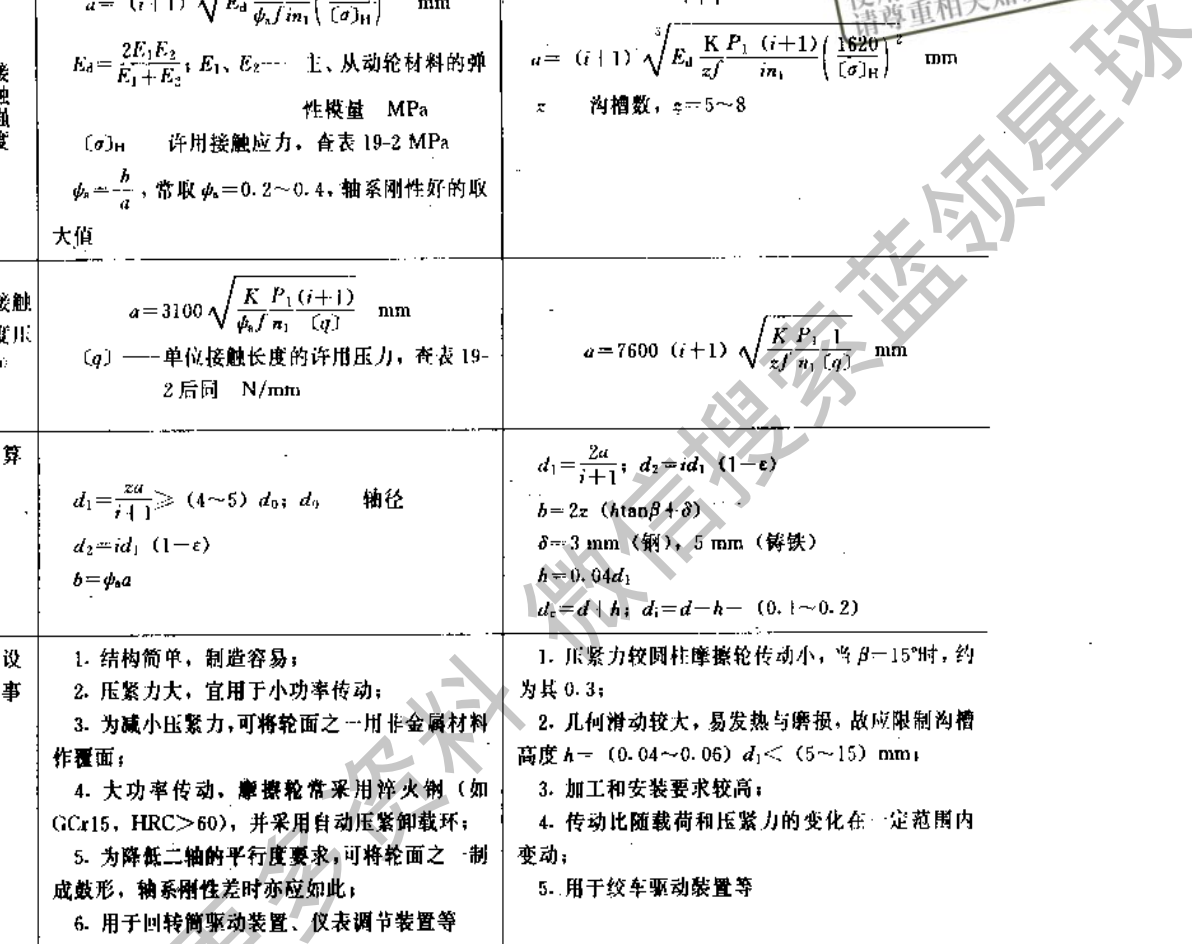
表 19-1 常用摩擦轮传动的设计计算

项 目	圆柱摩擦轮传动	槽形摩擦轮传动
传动简图		
传动比	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1(1-\epsilon)}$ $n_1, n_2$ ——主、从动轮转速 r/min $\epsilon$ ——滑动率，其值见表 19-2，后同	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1(1-\epsilon)}$
压紧力 N	$Q = \frac{KF}{f} = \frac{2 \times 10^3 KT_1}{fd_1} = \frac{19.1 \times 10^6 KP_1}{fd_1 n_1}$	$Q = \frac{10^3 KT_1}{fd_1} = \frac{9.55 \times 10^6 KP_1}{fd_1 n_1}$
	$K$ ——载荷系数，功率传动 $K$ 取 1.25~1.5，仪器传动 $K$ 取 2~3 $f$ ——摩擦系数，查表 19-2 $T_1$ ——传递的转矩 N·m $P_1$ ——传递的功率 kW	

续表 19-1

项 目		圆柱摩擦轮传动	槽形摩擦轮传动
作用在轴上的力	总压力	$R_1 - R_2 = \sqrt{F^2 + Q^2} = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_1} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{f}\right)^2}$	$R_1 = R_2 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_1} \sqrt{1 + \left(\frac{K \sin \beta}{f}\right)^2}$
	径向力 轴向力	$Q_r = Q$ $Q_a = 0$	$Q_r = \frac{2 \times 10^3 K T_1}{f d_1} (\sin \beta + f \cos \beta)$ $Q_a = 0$
强度计算	接触强度	$a = (i+1) \sqrt[3]{E_d \frac{K P_1}{\psi_a f i n_1} \left(\frac{1300}{[\sigma]_H}\right)^2}$ mm $E_d = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ ; $E_1, E_2$ —主、从动轮材料的弹性模量 MPa $[\sigma]_H$ —许用接触应力, 查表 19-2 MPa $\psi_a = \frac{b}{a}$ , 常取 $\psi_a = 0.2 \sim 0.4$ , 轴系刚性好的取大值	$h = 0.04 d_1 = \frac{0.08 a}{i+1}$ ; $\beta = 15^\circ$ $a = (i+1) \sqrt[3]{E_d \frac{K P_1 (i+1)}{z f i n_1} \left(\frac{1620}{[\sigma]_H}\right)^2}$ mm $z$ —沟槽数, $z = 5 \sim 8$
	接触长度压力 <sup>①</sup>	$a = 3100 \sqrt{\frac{K P_1 (i+1)}{\psi_a f n_1 [q]}}$ mm $[q]$ —单位接触长度的许用压力, 查表 19-2 后同 N/mm	$a = 7600 (i+1) \sqrt{\frac{K P_1}{z f n_1 [q]}}$ mm
几何计算	$d_1 = \frac{z a}{i+1} \geq (4 \sim 5) d_0$ ; $d_0$ —轴径 $d_2 = i d_1 (1 - \epsilon)$ $b = \psi_a a$	$d_1 = \frac{z a}{i+1}$ ; $d_2 = i d_1 (1 - \epsilon)$ $b = 2z (h \tan \beta + \delta)$ $\delta = 3$ mm (钢), 5 mm (铸铁) $h = 0.04 d_1$ $d_c = d + h$ ; $d_i = d - h - (0.1 \sim 0.2)$	
特点和设计注意事项	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 结构简单, 制造容易;</li> <li>2. 压紧力大, 宜用于小功率传动;</li> <li>3. 为减小压紧力, 可将轮面之一用非金属材料作覆面;</li> <li>4. 大功率传动, 摩擦轮常采用淬火钢 (如 GCr15, HRC &gt; 60), 并采用自动压紧卸载环;</li> <li>5. 为降低二轴的平行度要求, 可将轮面之一制成鼓形, 轴系刚性差时亦应如此;</li> <li>6. 用于回转筒驱动装置、仪表调节装置等</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 压紧力较圆柱摩擦轮传动小, 当 <math>\beta = 15^\circ</math> 时, 约为其 0.3;</li> <li>2. 几何滑动较大, 易发热与磨损, 故应限制沟槽高度 <math>h = (0.04 \sim 0.06) d_1 &lt; (5 \sim 15)</math> mm;</li> <li>3. 加工和安装要求较高;</li> <li>4. 传动比随载荷和压紧力的变化在一定范围内变动;</li> <li>5. 用于绞车驱动装置等</li> </ol>	
项 目		端面摩擦轮传动	圆锥摩擦轮传动
传动简图			

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



续表 19-1

项 目	端面摩擦轮传动	圆锥摩擦轮传动
传动比	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1(1-\epsilon)}$	当 $\varphi_1 + \varphi_2 = 90^\circ$ 时 $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{2m}}{d_{1m}(1-\epsilon)} = \frac{\tan\varphi_2}{(1-\epsilon)}$ 当 $\varphi_1 + \varphi_2 \neq 90^\circ$ 时 $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin\varphi_2}{(1-\epsilon)\sin\varphi_1}$
压紧力 N	$Q = \frac{2 \times 10^3 K T_1}{f d_1} = \frac{19.1 \times 10^6 K P_1}{f d_1 n_1}$	$Q = \frac{2 \times 10^3 K T_1}{f d_{1m}} = \frac{19.1 \times 10^6 K P_1}{f d_{1m} n_1}$
作用在轴上的力	总压力 $R_1 = R_2 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_1} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{f}\right)^2}$	$R_1 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_{1m}} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{f \cos\varphi_1}\right)^2}$ $R_2 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_{2m}} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{f \cos\varphi_2}\right)^2}$
	径向力 $Q_{r1} = Q$ 轴向力 $Q_{a1} = 0, Q_{a2} = Q$	$Q_{r1} = Q_{r2}; Q_{a2} = Q_{a1}$ $Q_{a1} = Q \sin\varphi_1; Q_{a2} = Q \sin\varphi_2$
强度 计	接触强度 $d_1 = \sqrt[3]{E_d \frac{K P_1}{\psi_d f n_1} \left(\frac{2580}{[\sigma]_H}\right)^2}$ mm $\psi_d = \frac{b}{d_1}$ , 常取 $\psi_d = 0.2 \sim 1.0$	当 $\varphi_1 + \varphi_2 = 90^\circ$ 时 $L = \sqrt{i^2 + 1} \sqrt[3]{E_d \frac{K P_1}{\psi_d f i n_1} \left(\frac{1300}{(1-0.5\psi_d)[\sigma]_H}\right)^2}$ mm $\psi_d = \frac{b}{L}$ , 常取 $\psi_d = 0.2 \sim 0.3$
	接触长度压力 <sup>①</sup> $d_1 = 4370 \sqrt{\frac{K P_1}{\psi_d f n_1 [q]}}$ mm	当 $\varphi_1 + \varphi_2 = 90^\circ$ 时 $L = 3100 \sqrt{\frac{K P_1}{\psi_d f n_1 (1-0.5\psi_d) [q]}} \sqrt{i^2 + 1}$ mm
几何计算	$d_2 = i d_1 (1-\epsilon)$ $b = \psi_d d_1$ $D_e = d_2 + (0.8 \sim 1) d_1$	$d_1 = 2L \sin\varphi_1$ $d_2 = i d_1 (1-\epsilon)$ 或 $d_2 = 2L \sin\varphi_2$ $b = \psi_d L$
特点和设计注意事项	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 结构简单, 容易制造;</li> <li>2. 压紧力大, 几何滑动大, 易发热和磨损;</li> <li>3. 将小轮制成鼓形, 可减少几何滑动, 降低安装精度;</li> <li>4. 轴向移动小轮, 可实现正反向无级变速, 但应避免在 <math>d_2 \approx 0</math> 附近运转;</li> <li>5. 要注意大轮的刚度, 并控制二轴线的垂直度;</li> <li>6. 用于摩擦压力机等</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 结构简单, 容易制造;</li> <li>2. 设计与安装时, 应保证轴线的相对位置正确, 锥顶重合; 否则几何滑动大, 磨损严重;</li> <li>3. 由于 <math>\varphi_1 &lt; \varphi_2</math>, 故 <math>Q_{a1} &lt; Q_{a2}</math>, 应在小轮处施加压紧力;</li> <li>4. 常用大功率摩擦压力机</li> </ol>

注: 表中物理量单位: 力 N; 转矩  $\cdot N \cdot m$ ; 功率 kW; 长度 mm。

①用于非金属材料或用其覆盖的摩擦轮传动。



表 19-2 摩擦轮材料的摩擦系数  $f$ 、滑动率  $\epsilon$ 、许用接触应力  $[\sigma]_H$  和单位接触长度的许用压力  $[q]$

摩擦轮材料	工作条件	$f$	$\epsilon$	$[\sigma]_H$ MPa	$[q]$ N/m
钢-钢	良好润滑	0.04~0.05	0.002	HRC25~30	150~200
铸铁-铸铁	良好润滑	0.05~0.06		1.5~1.8 HBS	105~135
钢-钢	无润滑	0.15~0.20		1.2~1.5 HBS	100~150
铸铁-钢(铸铁)	无润滑	0.10~0.15		$1.5 \sigma_{H\alpha}$	100~135
夹布胶木-钢(铸铁)	无润滑	0.20~0.25	0.01	50~100	40~80
皮革-铸铁	无润滑	0.20~0.35		12~15	15~25
纤维制品-钢(铸铁)	无润滑	0.20~0.25			35~40
木材-铸铁	无润滑	0.30~0.50			2.5~5
橡胶-钢(铸铁)	无润滑	0.45~0.60	0.03		10~30
石棉革材料-钢(铸铁)	无润滑	0.30~0.40			

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 2 无级变速传动

### 2.1 概述

#### 2.1.1 传动原理

机械无级变速机构通常由传动机构，加压机构及调速机构三部分组成。

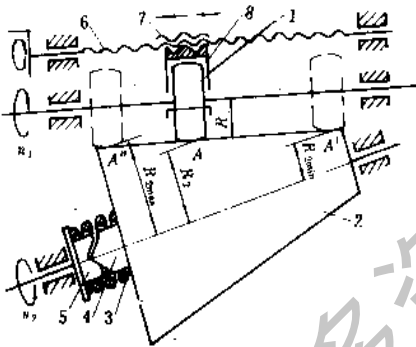


图 19-2 摩擦式无级变速传动的原理

图 19-2 所示的摩擦式无级变速器，是利用主动轮 1，从动轮 2 之间的正压力  $Q$  所产生的摩擦力  $F = fQ$  来传递动力的，压紧力  $Q$  是由弹簧 3、凸轮 4、5 来提供的。为防止因压紧力不足而打滑，应保证有效圆周力  $F_t < F$ 。调速机构是由螺杆 6、螺母 7 和拨叉 8 组成的。通过调速机构来改变两摩擦轮接触点 A 的位置，以调节从动轮 2 的回转半径  $R_2$ ，从而达到无级变速的目的。当接触点由 A' 移至 A 时，其变速比为

$$I_{\min} = \frac{n_{2\min}}{n_1} = \frac{R_1}{R_{2\max}} (1 - \epsilon)$$

$$I_{\max} = \frac{n_{2\max}}{n_1} = \frac{R_1}{R_{2\min}} (1 - \epsilon)$$

其变速范围是  $R = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}} = \frac{R_{2\max}}{R_{2\min}}$

式中  $\epsilon$ ——转差率

$$\epsilon = \left(1 - \frac{n_2/n_1}{n_{02}/n_{01}}\right) \times 100\%$$

$R_1, n_{01}, n_1$ ——主动轮的工作直径、空载及负载时的转速。

$R_2, n_{02}, n_2$ ——从动轮的工作直径、空载及负载时的转速。

转差率  $\epsilon$  说明转速在受载前后的损失情况。它与负载大小、输出转速、摩擦副的材质、表面状况、润滑条件、系统刚度等有关，具体值应由实验测定。其值增大，将导致发热大，磨损快，效率低，限制了无级变速器变速范围的提高。

挠带式无级变速器的变速原理基本同上，但采用了中间挠性构件，如带、链等。

#### 2.1.2 特点、应用及类型

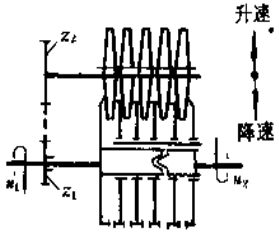
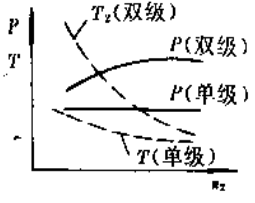
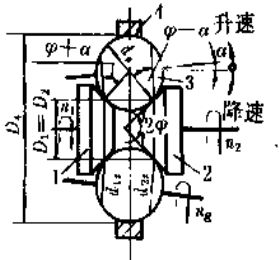
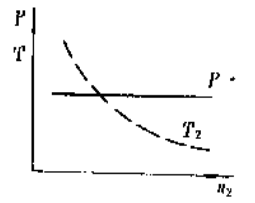
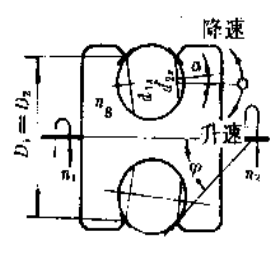
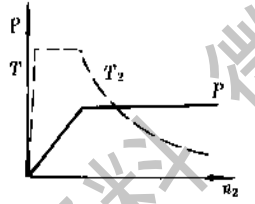

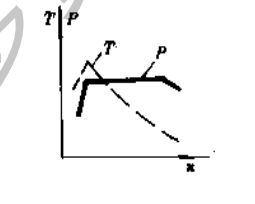
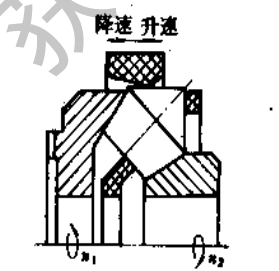

机械式无级变速传动和其他无级变速传动相比，恒功率特性好，可升速、降速，结构简单，维修方便，可制成独立部件，适用性强，变速范围可达 10-40；但压紧力大，寿命稍短，承受过载冲击能力差，转差率较大，对滚动体的材质和工艺要求高。因此主要用于中小功率传动。

无级变速传动主要应用于下列场合。1) 为适应工艺参数多变或连续变化的要求，如切削不同直径的棒料，线、纸、布的卷绕等。2) 探求最佳工作速度，如试验设备、自动线的试调等。3) 儿台机器协调运转。4) 缓速启动



采用无级变速传动有利于简化变速传动系统， 但不应在某一固定转速下长期运转。  
提高生产率和产品质量，合理利用动力和实现遥控，

表 19-3 常用机械无级变速器的类型及机械特性

名称	简图	机械特性	特性参数	特点及应用举例
多盘式 (Beier)			单级: $I=0.2\sim 0.8; R=3\sim 4; \eta=0.80\sim 0.85; \epsilon=2\sim 5\%$ 双级: $I=0.076\sim 0.76; R=10\sim 12; \eta=0.75\sim 0.85; \epsilon=4\sim 9\%$ $P_1=0.2\sim 150$	平行轴线, 降速型; 结构紧凑, 重量轻, 能传递较大的功率, 变速灵活, 方便, 传动效率较高, 冷却润滑条件较好等。 用于化纤、纺织、造纸、橡塑、电缆、搅拌机、旋转泵、机床等
钢球外锥 轮式 (Kopp-B)			$I=0.33\sim 3; R=9; \eta=0.8\sim 0.92; P_1\leq 11; \epsilon=0.4\%$	同轴线, 升、降速型, 对称调速, 结构紧凑, 体积小。 用于纺织、电影机械及机床等
钢球内锥 轮式			$I=0.1\sim 2; R=10\sim 12; \eta=0.85\sim 0.90; P_1=0.2\sim 5$	同轴线, 升、降速型, 可逆转, 结构紧凑, 体积小。 用于机床、电工机械、钟表机械及转速表等
菱锥式 (Kopp-K)			$I=0.14\sim 1.7; R=4\sim 12 (17); \eta=0.80\sim 0.93; P_1=1\sim 88; \epsilon=2\sim 4\%$	同轴线, 升、降速型, 变速范围宽, 传递功率大, 输出转速低, 体积比 Kopp-B 型大。 用于化工、印染、工程机械、机床主传动及试验台等
内锥输出 行星锥式 (BUS)			$I=\frac{1}{115}\sim \frac{1}{3}; R=38.5 (\infty); \eta=0.60\sim 0.70; P_1\leq 2.2; \epsilon=5\sim 10\%$	同轴线, 降速型, 可以在停车变速, 变速范围宽, 结构紧凑, 但制造精度要求高。 用于机床的进给系统, 如坐标镗床、镗床等

续表 19-3

名称	简图	机械特性	特性参数	特点及应用举例
转臂输出 行星锥式 (SCM 型)			$I = \frac{1}{9} \sim \frac{1}{3}; R \leq 4; \eta = 0.60 \sim 0.80$	同轴线, 降速型, 结构简单, 操纵方便。 用于机床及变速电机等
普通三角带、宽三角带、块带式			$I = 0.25 \sim 4$ (宽三角带、块带); $R = 3 \sim 6$ (宽三角带), $P_1 \leq 55$ ; $R = 2 \sim 10$ (块带式), $P_1 \leq 44$ ; $R = 1.6 \sim 2.5$ (普通三角带), $P_1 \leq 40$	平行轴, 对称调速, 结构较简单, 结构尺寸大, 结构不紧凑。 用于机床、印刷、电工、橡胶、农机、纺织、轻工机械等
齿链式			$I = 0.4 \sim 2.5; R = 2.7 \sim 10; \eta = 0.84 \sim 0.96; P_1 = 1 \sim 20; \epsilon < 3\%$	平行轴对称调速, 具有齿轮传动的优点, 工作可靠, 运动稳定, 使用寿命长, 过载能力强, 中心距较大, 结构紧凑。 用于纺织、化工、机床、重型机械等

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 19-3 给出了常用机械无级变速器的类型及机械特性。

## 2.2 设计基础

### 2.2.1 失效形式及接触强度计算

金属摩擦传动的失效形式主要是滚动体的表面疲劳破坏。通常按接触疲劳强度设计。由于变速器的摩擦传动副可能不止一个, 且当量曲率也是变化的, 故应按最薄弱的传动副的最大接触应力计算。

$$\text{点接触: } \sigma_H = \frac{0.024}{ab} \sqrt{QE_d \kappa_d} \leq [\sigma_H] \quad \text{MPa}$$

$$\text{线接触: } \sigma_H = 0.041 \sqrt{\frac{QE_d \kappa_d}{B}} \leq [\sigma_H] \quad \text{MPa}$$

式中  $Q$ ——压紧力  $N$ ;

$\kappa_d$ ——传动副在计算位置时的当量曲率,

$1/mm, \kappa_d = \kappa_{11} + \kappa_{12} + \kappa_{21} + \kappa_{22}$ ,  $\kappa_{ij}$  的第一个下脚标为滚动体号, 第二个下脚标为截面号, 各种常用滚动体的曲率见表 19-4;

$E_d$  — 当量弹性模量 MPa,  $E_d = \frac{2E_1E_2}{E_1+E_2}$ ,  $E_1$ 、 $E_2$  分别为两滚动体材料的弹性模量;

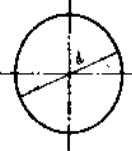
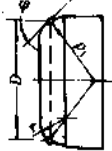
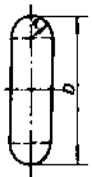
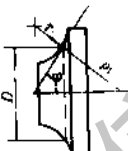
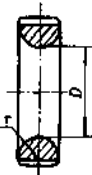

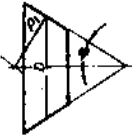
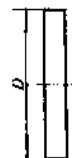

$B$  — 接触宽度 mm;

$a$ 、 $b$  — 系数, 按曲率系数  $\tau$  查表 19-5;

$$\tau = \frac{|\kappa_{11} - \kappa_{12} + \kappa_{21} - \kappa_{22}|}{\kappa_d}$$

$[\sigma_H]$  — 许用接触应力, MPa, 查表 19-6。

表 19-4 机械无级变速器中常用滚动体的曲率

简 图	曲 率	简 图	曲 率
	$\kappa_1 = \kappa_2 = \frac{2}{d}$		$\kappa_1 = \frac{1}{\rho_1} = \frac{2\cos\varphi}{D}$ $\kappa_2 = \frac{1}{r}$
	$\kappa_1 = \frac{2}{D}$ $\kappa_2 = \frac{1}{r}$		$\kappa_1 = \frac{1}{\rho_1} = \frac{2\cos\varphi}{D}$ $\kappa_2 = \frac{1}{r}$
	$\kappa_1 = -\frac{2}{D}$ $\kappa_2 = \frac{1}{r}$		$\kappa_1 = \frac{1}{\rho_1} = -\frac{2\cos\varphi}{D}$ $\kappa_2 = \frac{1}{r}$
	$\kappa_1 = \frac{1}{\rho_1} = \frac{2\cos\varphi}{D}$ $\kappa_2 = 0$		$\kappa_1 = \frac{2}{D}$ $\kappa_2 = 0$
	$\kappa_1 = \frac{1}{\rho_1} = -\frac{2\cos\varphi}{D}$ $\kappa_2 = 0$		

注: 下角标 1、2 系指两不同截面。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

微信搜素 蓝领星球

表 19-5 系数  $\tau$ 、 $a$ 、 $b$  的数值

$\tau$	$a$	$b$	$\tau$	$a$	$b$	$\tau$	$a$	$b$	$\tau$	$a$	$b$
0.9995	23.95	0.163	0.860	2.68	0.498	0.735	2.02	0.587	0.520	1.52	0.707
0.999	18.53	0.185	0.855	2.64	0.502	0.730	2.00	0.590	0.510	1.50	0.712
0.998	14.25	0.212	0.850	2.60	0.507	0.725	1.98	0.593	0.500	1.48	0.718
0.997	12.26	0.228	0.845	2.56	0.511	0.720	1.97	0.596	0.480	1.46	0.728
0.996	11.02	0.241	0.840	2.53	0.515	0.715	1.95	0.599	0.460	1.44	0.738
0.995	10.15	0.251	0.835	2.49	0.519	0.710	1.94	0.602	0.440	1.40	0.751
0.990	7.76	0.287	0.830	2.46	0.523	0.705	1.92	0.605	0.420	1.38	0.759
0.985	6.64	0.310	0.825	2.43	0.526	0.700	1.91	0.607	0.400	1.35	0.771
0.980	5.94	0.328	0.820	2.40	0.530	0.690	1.88	0.614	0.380	1.33	0.780
0.975	5.44	0.343	0.815	2.37	0.534	0.680	1.85	0.620	0.360	1.31	0.790
0.970	5.05	0.357	0.810	2.35	0.537	0.670	1.82	0.625	0.340	1.28	0.801
0.960	4.51	0.378	0.805	2.32	0.541	0.660	1.80	0.631	0.320	1.26	0.812
0.950	4.12	0.396	0.800	2.30	0.544	0.650	1.77	0.637	0.300	1.24	0.820
0.940	3.83	0.412	0.795	2.27	0.548	0.640	1.75	0.642	0.280	1.22	0.833
0.930	3.59	0.426	0.790	2.24	0.551	0.630	1.73	0.648	0.260	1.20	0.844
0.920	3.40	0.438	0.785	2.22	0.555	0.620	1.70	0.653	0.240	1.19	0.855
0.910	3.23	0.450	0.780	2.20	0.558	0.610	1.68	0.659	0.220	1.17	0.866
0.900	3.09	0.461	0.775	2.17	0.561	0.600	1.66	0.664	0.200	1.15	0.878
0.895	3.03	0.466	0.770	2.15	0.565	0.590	1.64	0.670	0.180	1.13	0.889
0.890	2.97	0.471	0.765	2.13	0.568	0.580	1.62	0.675	0.160	1.12	0.901
0.885	2.92	0.476	0.760	2.11	0.571	0.570	1.60	0.680	0.140	1.10	0.912
0.880	2.86	0.481	0.755	2.09	0.574	0.560	1.59	0.686	0.120	1.09	0.924
0.875	2.82	0.485	0.750	2.07	0.577	0.550	1.57	0.690	0.100	1.07	0.938
0.870	2.77	0.490	0.745	2.05	0.581	0.540	1.55	0.696	0.050	1.03	0.969
0.865	2.72	0.494	0.740	2.04	0.584	0.530	1.53	0.701	0.000	1.00	1.000

表 19-6 机械无级变速器滚动体常用材料、热处理及许用应力

材 料	热 处 理 方 式	许用接触应力 ( $\sigma_H$ ) MPa	应 用
GCr15、 GCr15SiMn	C63±1 <sup>①</sup> 金属组织，隐晶或细针状马氏体 +均匀分布的小球状碳化物	线接触：1500~1800 <sup>②</sup> 点接触：2200~2500	各种机械无级变速器的主、从动 轮、滚动体、加压盘；GCr15SiMn 淬 透性好，用于尺寸大于 30mm 者
60SiCrA	C60~63 <sup>③</sup>	500~800	多盘变速器的 T 形盘
CrW5	C55~60		多盘变速器的锥形盘
T10A 20Cr	G55 S1.2C59		加压盘
45、40Cr	C58~60	许用压应力 ( $\sigma_p$ ) = (3~4) HRC	加压凸轮
GCr6、GCr9	C65		加压滚子

- ① 接触循环次数多的零件表面应比配偶件表面的硬度高 2~3 倍。
- ② 用作加压装置零件时，因其为静应力，许用接触应力取此值的 2~2.5 倍。
- ③ T 型盘表面硬度愈高，磨损愈小；硬度低于 55HRC 时，磨损急剧增加；锥盘硬度变化对磨损影响不大。

### 2.2.2 压紧力 $Q$ 和有效圆周力 $F_t$

有效圆周力  $F_t$  是根据无级变速器的传动功率, 外负载、输入输出转速、几何参数、效率等条件通过受力分析计算出来的。压紧力  $Q$  也可根据加压装置的各项参数及外载的大小通过受力分析计算出来。为使摩擦传动副不打滑, 应使传动系数  $K_t = F_t/Q > 1$ , 如  $K_t < 1$ , 应重新设计加压装置。求  $K_t$  时应注意, 应验算无级变速器在整个变速范围内摩擦传动副每一相应位置的传动系数。有时, 摩擦传动副可能不只一个, 这时应分别验算每一传动副的  $K_t$  值。

为保证传动可靠,  $K_{tmin} > 1$ , 但  $K_{tmin}$  也不应太高, 否则会使压紧力  $Q$  过大, 造成无级变速器系统变形过大, 效率和承载能力降低, 通常取  $K_{tmin} = 1.25 \sim 1.5$ 。

摩擦系数  $f$  对无级变速器的性能影响很大, 其与许多因素有关, 但主要决定于润滑油的性能, 因此, 大多数机械式无级变速器都采用了专用润滑油。常用润滑油的摩擦系数  $f$  值见表 19-7。

表 19-7 常见润滑油的摩擦系数

油种	牵引系数 $f$ (平均的最大值)	试验条件
聚酯油	0.035	20.4m/s
二酯油	0.04	984.3 N/mm <sup>2</sup>
硅酸盐酯油	0.045	82.2℃
聚乙二醇油	0.045	
石蜡系矿物油	0.050	
芳香族变速器油	0.055	
磷酸盐酯油	0.060	
环烷系矿物油	0.058~0.065	
硅油	0.075	
合成环烷油	0.09~0.095	
聚异丁烯油	0.043~0.052	5.1 m/s
聚丁烯油	0.042~0.044	3516 N/mm <sup>2</sup>
氢化环烷系矿物油	0.042	98.9℃

## 2.3 加压装置及其设计

### 2.3.1 加压装置的类型及配置

机械无级变速器靠摩擦传递动力, 但由于传动件间的摩擦系数很小, 为传递一定功率, 必须借助于加压装置, 使传动件间产生足够大的压紧力。加压装置可分为恒压加压装置和自动加压装置两类。恒压

加压装置靠弹簧力、离心力等将传动元件压紧, 它是按传递最大转矩时所需的压紧力设计的, 无论是在空载还是满载的情况下, 摩擦元件之间都承受一个不变的很大的压紧力, 因此, 易发热及疲劳破坏, 且效率很低, 但其结构简单, 过载时能打滑。自动加压装置, 应用钢球(柱)V形槽和端面凸轮等, 产生的轴向力使摩擦元件压紧。其工作过程中, 压紧力随外转矩成正比变化, 即随着载荷的变化能自动调节摩擦传动元件之间的压紧力, 既不使摩擦副打滑又不会使压力过大。因此, 可减少滑动, 提高承载能力、传动效率及寿命。但结构复杂, 没有过载保护作用。为保证启动或载荷过小时的最小压紧力, 自动加压装置中常配置有弹簧。

某些机械无级变速器, 如 BUS 型, XZW 型等, 只在输出轴上配置一套自动加压装置即可保证其正常工作。但在升降速型的无级变速器, 如钢球式、菱锥式等, 如果不采用压紧内部平衡装置时, 须在输出输入轴上各配置一套自动加压装置, 才能使无级变速器在整个变速范围内正常工作。为此, 引入转换速度  $n_{ch}$  加以说明。当输出转速  $n_2 < n_{ch}$  时, 输出侧加压装置起作用, 输入侧加压装置被压紧成刚性联轴节, 不起加压作用; 当  $n_2 > n_{ch}$  时, 输入侧起作用, 输出侧不起作用。当  $n_2 = n_{ch}$  时, 两套加压装置同时参加工作。转换速度的表达式为

$$n_{ch} = \frac{d_{p1} \tan \lambda_1}{d_{p2} \tan \lambda_2} n_1$$

式中  $d_{p1}$ 、 $\lambda_1$ ——输入轴加压装置的有效工作直径和槽升角;

$d_{p2}$ 、 $\lambda_2$ ——输出轴加压装置的有效工作直径和槽升角;

$n_1$ ——输入转速。

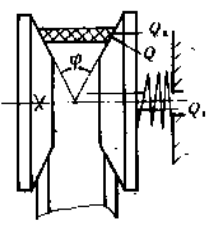
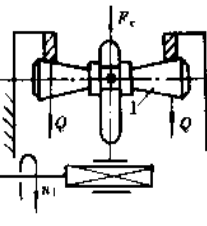
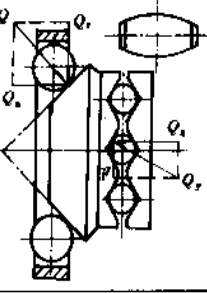
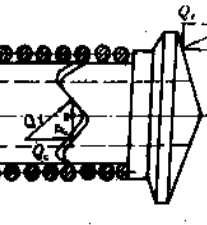
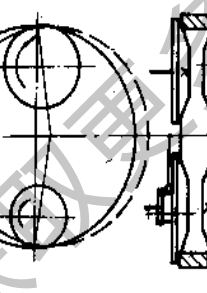
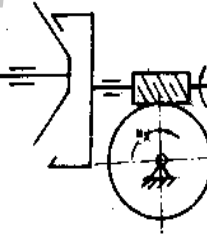
常用的加压装置的工作原理及特点见表 19-8。

### 2.3.2 自动加压装置的原理及设计

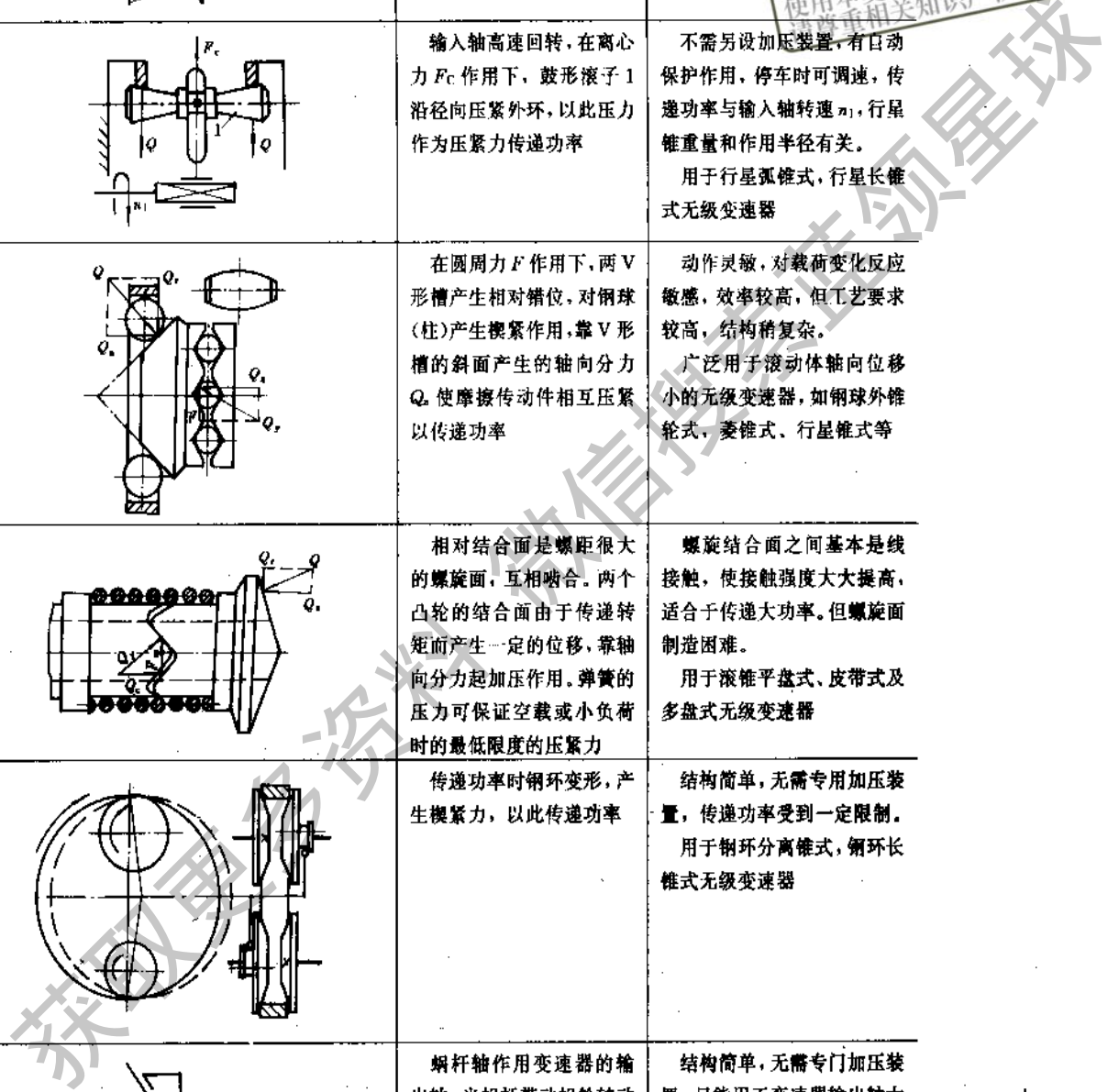
介绍典型的钢球(柱)V形槽式自动加压装置, 其工作原理见图 19-3。加压盘 4 与驱动轴 5 用花键联接, 摩擦轮 1 空套在轴 5 上, 摩擦轮和加压盘上各有数条 V 形槽, 每条内有一加压钢球(柱) 3, 保持架 2 保证钢球的相对位置。摩擦轮和加压盘间装有两个碟形弹簧 6 并衬以调整垫圈 7。改变垫圈厚度即可调整弹簧变形量和预紧力。

空载时, 摩擦轮与加压盘上的 V 形槽对正, 见图 19-3b。与槽底钢球(柱)接触处无压力。作用在摩擦轮上的轴向压紧力等于弹簧的预紧力。传递载

表 19-8 各种机械式无级变速器的加压装置

名称	简图	工作原理	特点及应用举例
恒压装置 弹簧加压式		按预计的功率调整弹簧的压紧力 $Q_s$ ，将摩擦传动件相互压紧	结构简单，工作可靠，压紧力不随载荷变化，效率低，寿命短，停车不可调速。 用于带式、多盘式无级变速器
离心加压式		输入轴高速回转，在离心力 $F_c$ 作用下，鼓形滚子 1 沿径向压紧外环，以此压力作为压紧力传递功率	不需另设加压装置，有自动保护作用，停车时可调速，传递功率与输入轴转速 $n_1$ 、行星锥重量和作用半径有关。 用于行星弧锥式，行星长锥式无级变速器
钢球（柱）V形槽式		在圆周力 $F$ 作用下，两 V 形槽产生相对错位，对钢球（柱）产生楔紧作用，靠 V 形槽的斜面产生的轴向分力 $Q_s$ 使摩擦传动件相互压紧以传递功率	动作灵敏，对载荷变化反应敏感，效率较高，但工艺要求较高，结构稍复杂。 广泛用于滚动体轴向位移小的无级变速器，如钢球外锥轮式，菱锥式，行星锥式等
自动加压装置 端面凸轮式		相对结合面是螺距很大的螺旋面，互相啮合。两个凸轮的结合面由于传递转矩而产生一定的位移，靠轴向分力起加压作用。弹簧的压力可保证空载或小负荷时的最低限度的压紧力	螺旋结合面之间基本是线接触，使接触强度大大提高，适合于传递大功率。但螺旋面制造困难。 用于滚锥平盘式、皮带式及多盘式无级变速器
弹性环自紧式		传递功率时钢环变形，产生楔紧力，以此传递功率	结构简单，无需专用加压装置，传递功率受到一定限制。 用于钢环分离锥式，钢环长锥式无级变速器
蜗杆加压式		蜗杆轴作用变速器的输出轴，当蜗杆带动蜗轮转动时，蜗轮产生的轴向推力使传动件相互压紧	结构简单，无需专门加压装置，只能用于变速器输出轴大幅度减速及无级变速器单向回转的场合。 用于锥盘、环盘、液锥平盘式无级变速器

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！





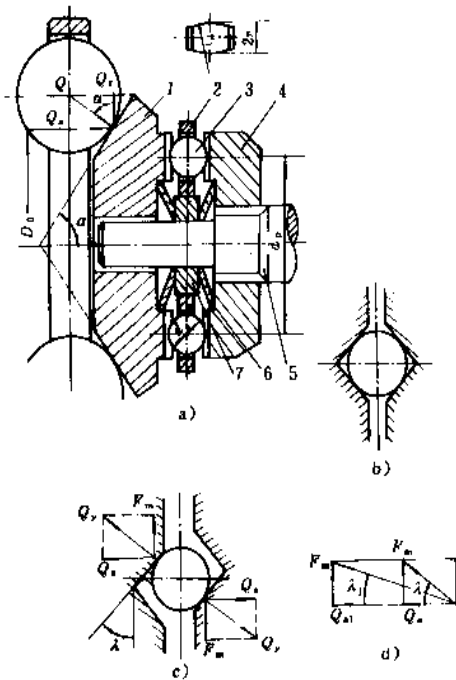


图 19-3 钢球(柱) V形槽式加压装置

1—摩擦轮；2—保持架；3—钢球(柱)；4—加压盘；  
5—驱动轴；6—碟形弹簧；7—调整垫圈

荷时，在载荷转矩  $T$  作用下，摩擦轮与加压盘上的 V 形槽相对转动错开，钢球(柱)从 V 形槽底部向上滚动，仅与两错位 V 形槽的一侧接触，见图 19-3c。由于楔紧作用而产生轴向力  $Q_a$ 。

$$Q_a = \frac{F_m}{\tan \lambda} = \frac{2TK_a}{d_p \tan \lambda}$$

式中  $T$ 、 $F_m$ ——作用于加压盘钢球(柱)中心位

置的载荷转矩和圆周力；

$d_p$ ——加压盘的工作直径；

$\lambda$ ——V形槽的升角。

由上可见，当载荷增大，即圆周力  $F_m$  增大时，轴向力  $Q_a$  也随之增大。当载荷一定 ( $F_m$  一定) 时， $\lambda$  越小， $Q_a$  越大，反之亦然。

端面凸轮式自动加压装置的原理见图 19-4。它由端面凸轮 1、2 和弹簧 3 等组成。凸轮 1 与摩擦锥轮做成一体(也可分开)滑套在轴 6 上，凸轮 2 用键与轴 6 固联。端面凸轮 1、2，以具有一定升角的螺旋面来传递转矩。在传递载荷条件下，当凸轮 1 转动时，在螺旋面上产生了两个大小相等，方向相反的轴向分力，即成为摩擦元件之间的压紧力，而凸轮 2 上的轴向分力则通过轴 6 作用在推力轴承 4 上。弹簧 3 的作用在于空载或最小载荷时保持最低限度的预紧力。

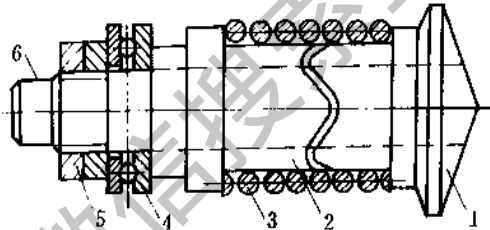
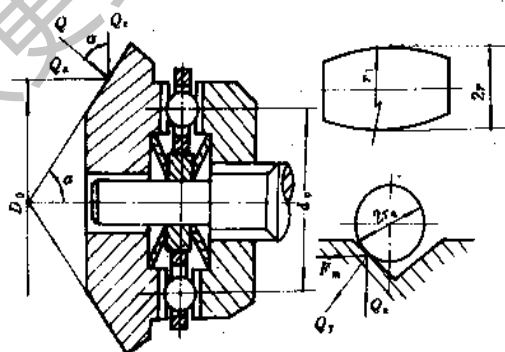


图 19-4 端面凸轮式加压装置

1、2—凸轮；3—弹簧；4—轴承；5—螺母；6—轴

钢球(柱) V 形槽式自动加压装置及端面凸轮式自动加压装置的设计计算分别见表 19-9 和表 19-10。

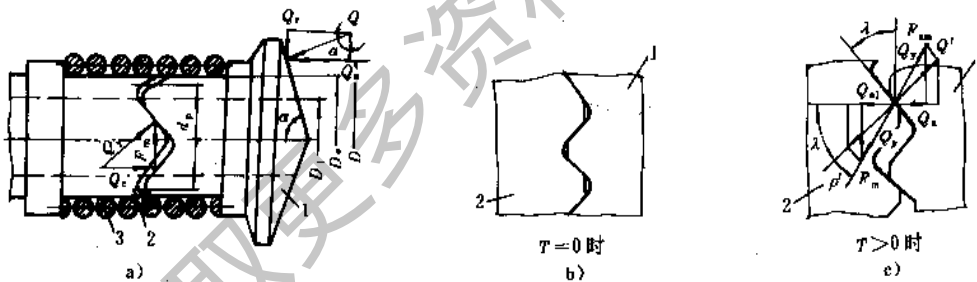
表 19-9 钢球(柱) V形槽式加压装置设计计算



续表 19-9

计算项目	符号	单位	计算公式	说明
转矩	$T$	$N \cdot mm$	$T = 955 \times 10^4 \frac{P_1 \eta}{n}$	$\eta$ —效率 $\eta = 0.85 \sim 0.9$ ; $P_1$ —功率 kW; $n$ —转速 r/min
摩擦轮外法向压紧力	$Q$	N	$Q = \frac{2K_a T}{f D_0}$	$K_a$ —传动可靠性系数, $K_a = 1.2 \sim 1.5$ ; $f$ —摩擦系数, 由表 19-7 查出; $D_0$ —摩擦轮的工作直径 mm
轴向压紧力	$Q_a$	N	$Q_a = Q \sin \alpha$	$\alpha$ —摩擦轮锥顶半角 ( $^\circ$ )
滑动摩擦角	$\rho'$	( $^\circ$ )	$\rho' = \arctan f_c'$	$f_c'$ —滑动摩擦系数 $f_c' = 0.12 \sim 0.20$
V形槽的升角	$\lambda$	( $^\circ$ )	$\lambda = \arctan \frac{f D_0}{d_p \sin \alpha} - \rho'$	$d_p$ —加压盘的工作直径, 按结构 定 mm
每个钢球作用在 V 形槽侧面的正压力	$Q_y$	N	$Q_y = \frac{2K_a T}{z d_p \sin \lambda}$	$z$ —加压钢球(柱)数目, $z = 6 \sim 8$
曲率系数	$r$		$r = \frac{r_1 - r}{r_1 + r}$	$r_1, r$ —腰鼓形滚子在轴向及中心截面内的半径 mm
强度校核	$\sigma_H$	MPa	用钢球加压: $\sigma_{Hmax} = 1370 \sqrt[3]{\frac{K_z Q_y}{r_2^2}} \leq [\sigma_H]$ 用鼓形滚子加压: $\sigma_{Hmax} = \frac{865}{a \cdot b} \sqrt[3]{K_z Q_y \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r} \right)^2} \leq [\sigma_H]$	$K_z$ —载荷分布不均匀系数, $K_z = 1.1 \sim 1.2$ ; $[\sigma_H]$ —查表 19-6; $a, b$ —由 $r$ 从表 19-5 查取; $r_q$ —加压钢球直径 mm
碟形弹簧预紧力	$Q_f$	N	100~500	小功率取小值, 大功率取大值

表 19-10 端面凸轮式自动加压装置设计计算



计算项目	符号	单位	计算公式	说明
输出轴转矩	$T$	$N \cdot mm$	$T = 955 \times 10^4 \frac{P_1 \eta}{n_{2min}}$	$\eta$ —效率 $\eta = 0.8$ ; $P_1$ —功率 kW; $n_{2min}$ —最低转速 r/min
凸轮接触面上滑动摩擦角	$\rho'$	( $^\circ$ )	$\rho' = \arctan f_c'$	$f_c' = 0.12 \sim 0.20$
凸轮接触处螺旋升角	$\lambda$	( $^\circ$ )	$\lambda \approx \arctan \frac{f D}{d_p \sin \alpha} - \rho'$	$D$ —摩擦轮工作直径 mm; $d_p$ —凸轮接触有效工作直径 mm

续表 19-10

计算项目	符号	单位	计算公式	说明
摩擦轮处轴向压紧力	$Q_a$	N	$Q_a = \frac{2K_n T}{fD} \sin \alpha$	$f$ ——摩擦系数 $f=0.03\sim 0.05$ $K_n$ ——传动系数 $K_n=1.2\sim 1.5$
加压装置轴向压紧力	$Q_{a1}$	N	$Q_{a1} = \frac{2K_n T}{d_p \tan(\lambda + \rho')}$	
弹簧压紧力	$Q_s$	N	$Q_s \geq Q_a - Q_{a1}$	
凸轮螺旋面上法向压紧力	$Q'$	N	$Q' = \frac{2K_n T \cos \rho'}{d_p \sin(\lambda + \rho')}$	
强度校核	$\sigma_y$	MPa	$\sigma_y = \frac{8K_n T \cos \rho'}{K_A d_p^3 (D_e - D_i) \sin(\lambda + \rho')}$ $\leq [\sigma_y]$	$K_A$ ——承压面积上变化系数, $K_A = 0.75\sim 0.9$ $[\sigma_y]$ ——许用挤压应力 $[\sigma_y] = (3\sim 4) \text{HRC}$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

### 3 常用无级变速器

其特点如下：

#### 3.1 齿链式无级变速器（大连橡塑机械厂）

a. 滑动率低 出轴转速稳定。当负载由零增至最大时，其滑动率不超过2%。如图19-6所示。

##### 3.1.1 概述

齿链式无级变速器广泛应用于工艺流程中需要稳定而又无级变速的各种传动装置中，如纺织机械、造纸机械、橡胶塑料机械、印染机械、起重运输机械、冶金矿山机械、合成纤维设备、化工设备、食品工业、制糖工业及制革工业等，近年来在机床工业中也推广使用。

其结构主要由滑片型链条、链轮、传动轴、张链机构、调速机构等组成。连续改变链条与主、从动轴上链轮的接触半径，以达到无级变速的目的。其结构如图19-5。

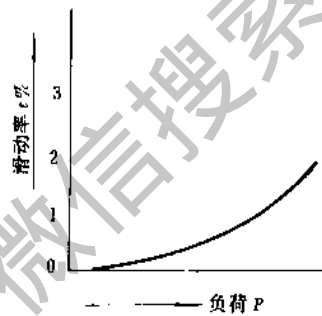


图19-6 滑动率曲线

b. 效率高 机械效率可以达到90%以上，最高可达95%，并且长期使用后效率仍保持不变。如图19-7所示。

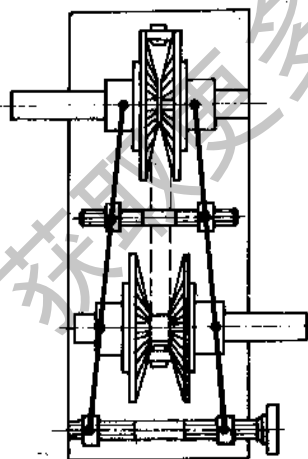


图19-5 齿链式无级变速器

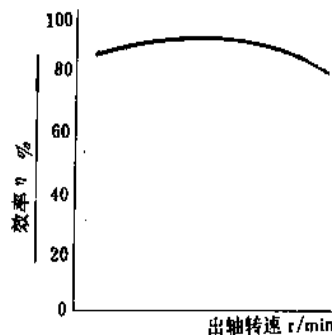
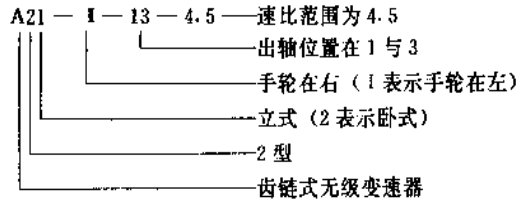


图19-7 效率曲线

- c. 超载能力强 可短时超载 30%。
- d. 寿命长 链轮与链条滑片均采用化学表面热处理, 制造精度很高, 故磨损很小, 正常情况下, 寿命可达 10 年左右。
- e. 使用维护方便 维护只在于按规定更换润滑油、以及调整链条的适宜张紧度。



3.1.2 类型、安装方式及代号说明

有二种类型, 即 A 型 (基本型)、AC 型 (派生型)

基本型的代号表示方法如图 19-8 所示, 手轮左代号为 1, 在右为 I。各出轴的位置分别以 1、2、3、4 表示。图 19-9 为手轮在左时的各种安装方式及代号。当手轮在右时, 1 改为 I。其本型的代号示例如下

图 19-8 A 型代号表示方法

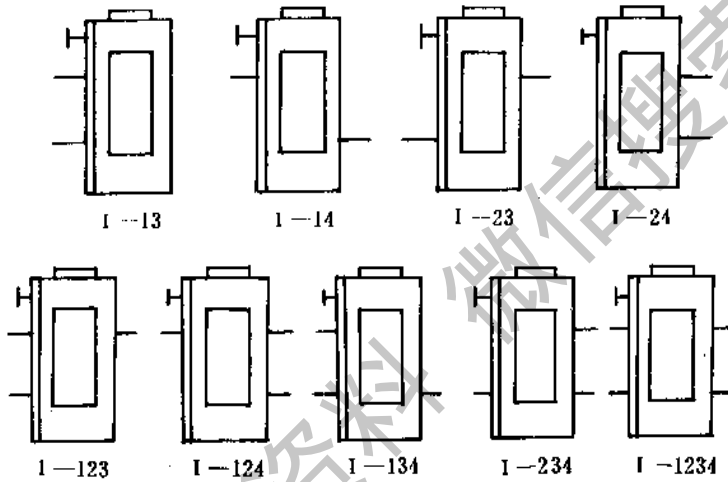
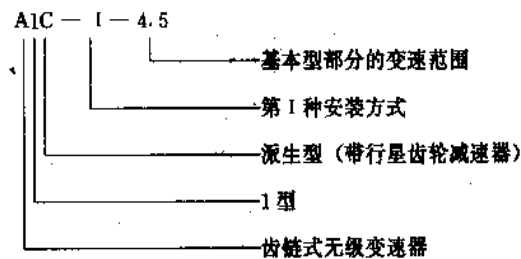


图 19-9 A 型手轮在左时的安装方式

速范围可标注在型号后部。代号示例如下



3.1.3 技术参数及外形尺寸

基本型无级变速器的技术参数及外形尺寸见表 19-11。派生型无级变速器的技术参数及外形尺寸见表 19-12。

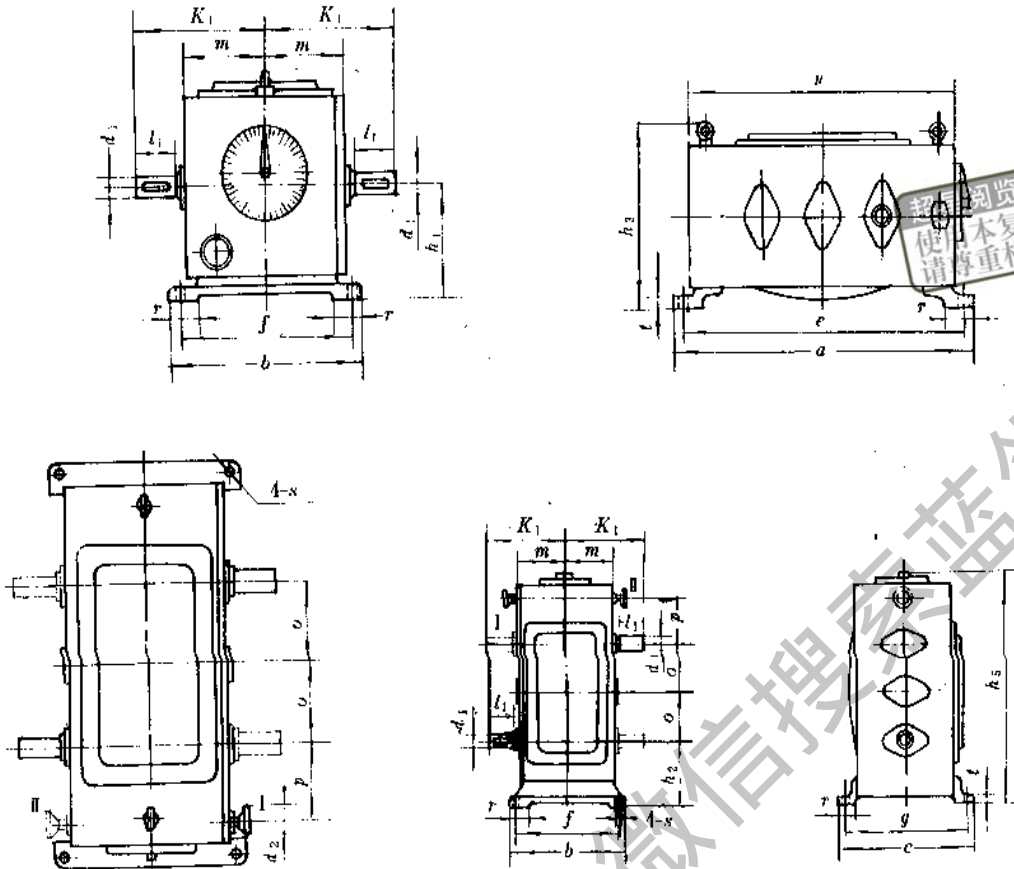
图 19-10 AC 型代号表示方法

派生型的代号表示方法如图 19-10 所示。用 I、II、III、IV 表示手轮的四种安装方式。基本型部分的变

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆 蓝领星球

表 19-11 基本型齿链式无级变速器技术参数及外形尺寸



卧式外形图

立式外形图

技 术 参 数

型号	参数	变速范围	入轴转速 $r/min$	出轴转速 $r/min$	输出功率 $kW$	输出转矩 $N \cdot m$
A1	3		950	550~1650	1.1~1.5	18.64~8.34
			720	415~1245	0.8~1.1	18.64~8.34
	4.5		950	450~2025	0.9~1.5	18.64~6.87
			720	340~1530	0.67~1.1	18.64~6.87
	6		950	388~2330	0.8~1.5	18.64~5.89
			720	295~1770	0.6~1.1	18.64~5.89
A2	3		950	550~1650	2.2~3.0	37.28~16.68
			720	415~1245	1.6~2.2	37.28~16.68
	4.5		950	450~2025	1.8~3.0	37.28~13.73
			720	340~1530	1.3~2.2	37.28~13.73
	6		950	388~2330	1.4~2.6	37.28~11.77
			720	295~1770	1.1~2.2	37.28~11.77

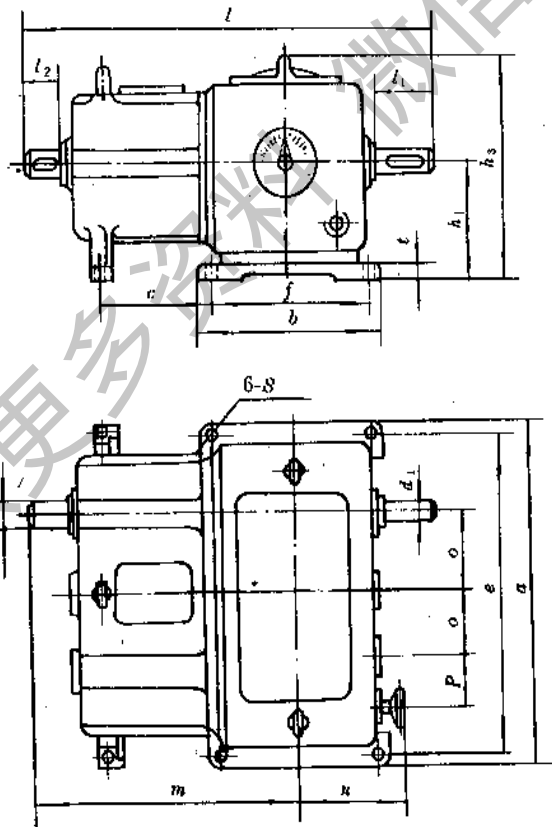
续表 19-11

参数 型号	变速范围	入轴转速 r/min	出轴转速 r/min	输出功率 kW	输出转矩 N·m
A3	3	950	550~1650	3.3~1.8	58.86~28.45
		720	415~1245	2.6~3.7	58.86~28.45
	4.5	950	450~2025	2.8~4.8	58.86~22.56
		720	340~1530	2.1~3.7	58.86~22.56
A4	3	950	550~1650	5.2~7.5	93.20~44.15
		720	415~1245	4.5~6.0	93.20~44.15
	4.5	720	340~1530	3.4~6.0	93.20~36.30
		6	720	295~1770	3.0~6.0

外 形 尺 寸 mm

型号	a	b	c	d <sub>1</sub>	e	f	g	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	k <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>	m	n	o	p	r	s	t
A1	450	185	285	24	410	150	250	132	132	250	430	160	60	85	383	80	84	50	14	18
A2	540	235	345	28	495	200	300	150	150	305	505	180	60	110	460	95	100	60	18	20
A3	660	300	390	32	615	265	350	170	170	365	615	233	80	134	580	124	128	65	18	25
A4	810	345	470	38	755	295	410	215	215	425	755	255	80	155	712	152	152	85	23	30

表 19-12 派生型齿链式无级变速器技术参数及外形尺寸





续表 19-12

技 术 参 数																		
参数	变速范围	入轴转速 $r/min$	出轴转速 $r/min$	输出功率 kW	输出转矩 N·m													
A2C	3	950	48~144	2.00~2.76	392.4~176.6													
		720	36~108	1.50~2.02	392.4~176.6													
	4.5	950	39~176	1.65~2.76	392.4~157.0													
		720	30~135	1.20~2.02	392.4~157.0													
	6	950	34~203	1.47~2.76	392.4~137.3													
		720	26~105	1.00~2.02	392.4~137.3													
外 形 尺 寸 mm																		
尺寸	a	b	c	$d_1$	$d_2$	e	f	$h_1$	$h_2$	l	$l_1$	$l_2$	m	n	o	p	s	t
A2C	540	235	140	28	45	495	200	150	305	595	60	110	415	172	95	100	18	20

### 3.2 多盘式无级变速器

#### 3.2.1 概述

多盘式无级变速器以它的独特优点，被广泛应用于各种需要无级变速的机械传动上，如化工、轻工、冶金、矿山、起重运输及金属切削机床等行业。图 19-11 为多盘式无级变速器的传动原理。

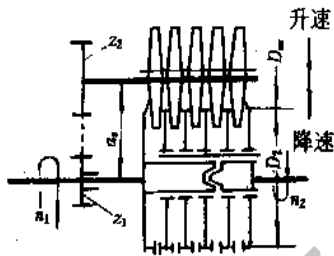


图 19-11 多盘式无级变速器传动原理图

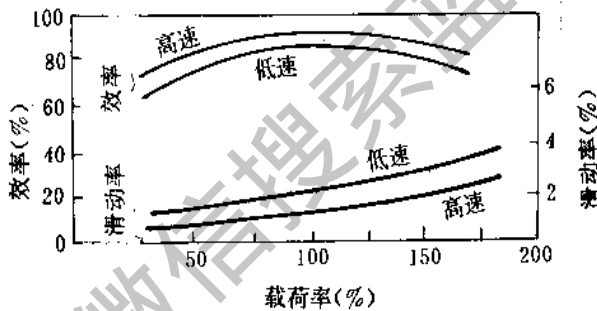


图 19-13 凸轮式之一般特性

其特点是，具有恒功率特性，传动效率较高（最高达 90%），滑动率较小，见图 19-12 及图 19-13。传动平稳，传递的功率大，寿命高等。

#### 3.2.2 类型

多盘式无级变速器按其结构大小分为六种机型，即 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>、P<sub>5</sub>、P<sub>6</sub>，功率由 0.2—22kW。按其驱动型式分为普通型(P型)和电机直联型(DP型)。为了得到较低的输出轴转速，在出轴端附加齿轮减速器，即 PZ 型和 DPZ 型，齿轮减速装置的速比为 2、3、4、5。在出轴端加交换齿轮装置，还可把变速器的变速范围扩大到 10 或 12，即 PH 型和 DPH 型，按其安装方式不同，又可分为立式和卧式两种，立式用“L”表示。

#### 3.2.3 基本参数及外形尺寸

各种多盘式无级变速器的技术参数及外形尺寸见表 19-13 至表 19-15。

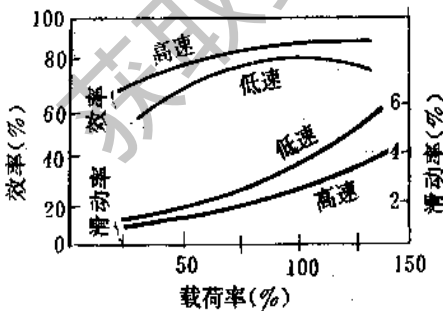
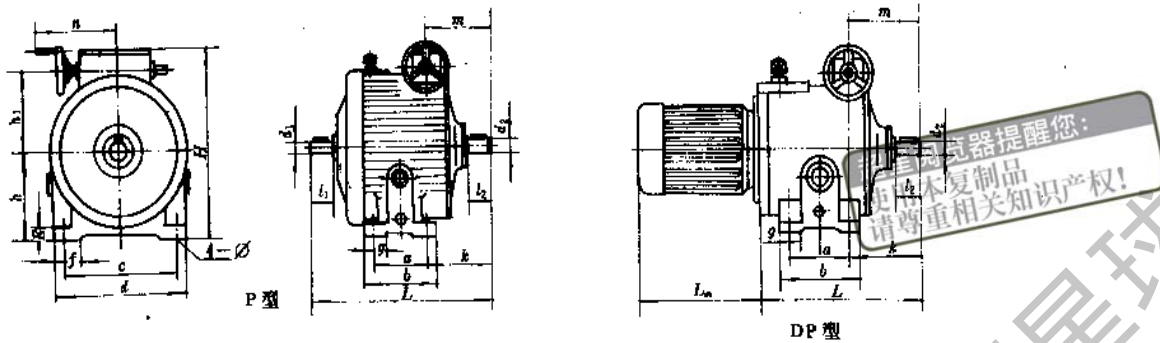


图 19-12 弹簧式之一般特性

表 19-13 P 型 DP 型技术参数及外形尺寸

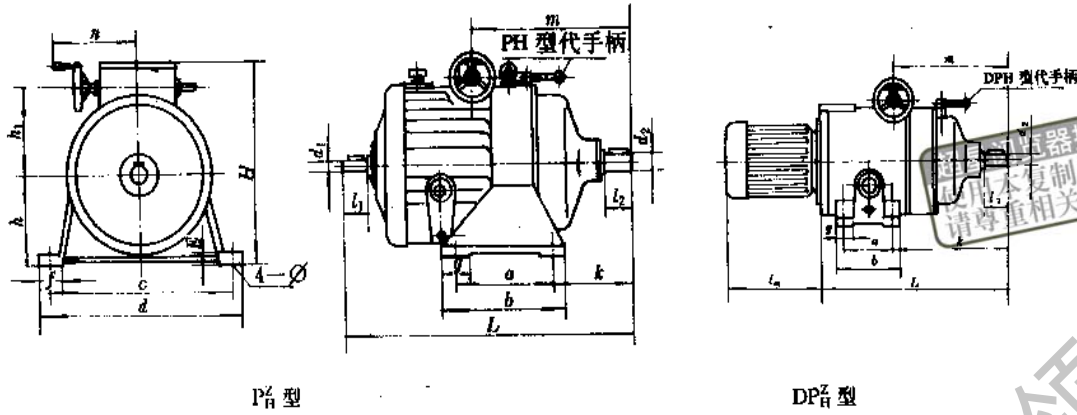


技 术 参 数						
型 号	输 入 轴		变 速 比 $I$	变 速 范 围 $R$	调 速 丝 杆 回 转 数 (转)	输 出 轴 转 速 $r/min$
	功 率 $kW$	转 速 $r/min$				
P <sub>1</sub> DP <sub>1</sub>	0.4 或 0.75	1500	0.23~0.76	3.3	14	345~1140
△ P <sub>2</sub> DP <sub>2</sub>	1.5 或 2.2	1500	0.2~0.8	4	33	300~1200
○ P <sub>3</sub>	4	1500	0.2~0.8	4	28.5	300~1200
P <sub>4</sub>	5.5 或 7.5	1500	0.2~0.8	4	24	300~1200
P <sub>5</sub>	11	1000	0.28~1.12	4	21	280~1120
P <sub>6</sub>	15 (22)	1000	0.27~1.08	4	27	270~1080

外 形 尺 寸																			
机 型	尺 寸																		
	$a$	$b$	$c$	$d$	$E$	$f$	$g$	$H$	$h$	$h_1$	$L$	$m$	$n$	$K$	$d_1$	$d_2$	$l_1$	$l_2$	$\phi$
P <sub>1</sub>	105	135	190	218	20	50	/	275	130	110	280	110	145	119	18	22	35	35	11
P <sub>2</sub>	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	405	153	246	135	25	28	50	60	15
P <sub>3</sub>	150	350	310	350	25	75	55	414	180	170	485	185	300	160	32	40	60	70	15
P <sub>4</sub>	288	358	400	450	36	90	90	517	260	212	610	208	300	180	38	48	85	90	22
P <sub>5</sub>	180	230	500	550	40	95	/	598	270	265	635	208.5	295	198.5	42	50	90	100	22
P <sub>6</sub>	280	330	630	680	50	100	/	726	330	325	795	231.5	261	216.5	48	55	110	120	22
机 型	尺 寸																		
	$a$	$b$	$c$	$d$	$E$	$f$	$g$	$H$	$h$	$h_1$	$L$	$L_m$	$m$	$n$	$K$	$d_2$	$l_2$	$\phi$	
DP <sub>1</sub>	105	135	190	218	20	50	/	275	130	110	299	~250	110	145	119	22	35	11	
DP <sub>2</sub>	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	399	~330	153	246	135	28	60	15	

注：“△”为已生产产品；“○”为暂时不生产的产品；其余为可按订货组织生产的产品。

表 19-14 PZ 型、PH 型、DPZ 型、DPH 型技术参数及外形尺寸



技 术 参 数

型 号	输入轴		全变速 比 $I$	分挡变速 比 $I$		变速 范围 $R$	调速丝杆 回转数 (转)	输出轴	
	功 率 kW	转 速 r/min		高 速 挡	低 速 挡			高 速 挡	低 速 挡
P <sub>1</sub> H Δ DP <sub>1</sub> H	Δ 0.4 (或 0.75)	1500	0.076~0.76	高速挡 0.23~0.76	0.076~0.251	10	14	高速挡 345~1140	低速挡 114~377
P <sub>2</sub> H DP <sub>2</sub> H	1.5 (或 2.2)	1500	0.067~0.8	高速挡 0.2~0.8	0.067~0.267	12	33	高速挡 300~1200	低速挡 100~400
○ P <sub>3</sub> H	4	1500	0.067~0.8	高速挡 0.2~0.8	0.067~0.267	12	28.5	高速挡 300~1200	低速挡 100~400
P <sub>4</sub> H	5.5 (或 7.5)	1500	0.067~0.8	高速挡 0.2~0.8	0.067~0.267	12	24	高速挡 300~1200	低速挡 100~400
P <sub>5</sub> H	11	1000	0.096~1.12	高速挡 0.28~1.12	0.096~0.384	12	21	高速挡 280~1120	低速挡 95~384
Δ P <sub>6</sub> H	15 Δ(或 22)	1000	0.089~1.08	高速挡 0.27~1.08	0.089~0.356	12	27	高速挡 270~1080	低速挡 89~356
型 号	输入轴		出轴侧 传动比 $i$	变速比 $I$	变速 范围 $R$	调速丝杆 回转数(转)	输出轴		
	功率 kW	转速 r/min					转 速 r/min	转 速 r/min	
P <sub>1</sub> Z Δ DP <sub>1</sub> Z	Δ 0.4 Δ(或 0.75)	1500	2	0.116~0.384	3.3	14	174~576	114~377	
			3	0.076~0.251			Δ86~284	69~229	
			Δ4	0.057~0.189					
			5	0.046~0.153					
P <sub>2</sub> Z Δ DP <sub>2</sub> Z	1.5 Δ(或 2.2)	1500	2	0.1~0.4	4	33	150~600	100~400	
			3	0.067~0.267			Δ75~300		
			Δ4	0.05~0.2					

续表 19-14

型号	输入轴		出轴侧 传动比 $i$	变速比 $I$	变速 范围 $R$	调速丝杆 回转数(转)	输出轴 转速 $r/\text{min}$
	功率 kW	转速 $r/\text{min}$					
○ P <sub>3</sub> Z	4	1500	2	0.1~0.4	4	28.5	150~600
			3	0.06~0.267			100~400
			4	0.05~0.2			75~300
P <sub>4</sub> Z	5.5 (或 7.5)	1500	2	0.1~0.4	4	24	150~600
			3	0.067~0.267			100~400
			4	0.05~0.2			75~300
△ P <sub>5</sub> Z	11	1000	2	0.14~0.56	△4	21	140~560
			3	0.096~0.384			96~384
			△4	0.07~0.28			△70~280
P <sub>6</sub> Z	15 (或 22)	1000	2	0.135~0.54	4	27	135~540
			3	0.089~0.356			89~356
			4	0.067~0.268			67~268

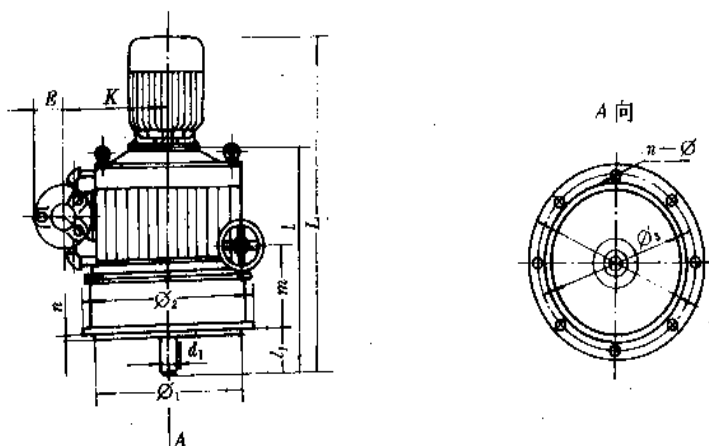
外形尺寸

尺寸 机型	a	b	c	d	E	f	g	H	h	h <sub>1</sub>	L	K	m	n	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	φ
	P <sub>1</sub> Z H	105	135	190	218	20	50		275	130	110	427	251	257	145	18	28	35	60
P <sub>2</sub> Z H	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	560 (910)	290 (340)	310 (360)	246	28	35	50	70	15
P <sub>3</sub> Z H	280	340	300	400	30	100	80	459	225	170	684 (759)	175 (250)	401 (476)	300	32	50	60	100	22
P <sub>4</sub> Z H	300	360	520	570	35	62	70	527	250	212	860 (940)	200 (280)	458 (538)	300	38	55	85	120	22
P <sub>5</sub> Z H	350	430	620	700	50	90	90	640	320	265	880 (960)	180 (260)	460 (540)	275	48	65	90	120	30
P <sub>6</sub> Z H	520	600	700	780	55	90	100	730	350	325	1190 (1280)	230 (320)	635 (725)	312	48	85	110	160	33
尺寸 机型	a	b	c	d	E	f	g	H	h	h <sub>1</sub>	L	L <sub>m</sub>	m	n	K	d <sub>2</sub>	l <sub>2</sub>	φ	
DP <sub>1</sub> Z H	105	135	190	218	20	50	/	275	130	110	414	~250	257	145	251	28	60	11	
DP <sub>2</sub> Z H	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	530 (580)	~330	310 (360)	246	290 (340)	35	70	15	

注:1. ( )内尺寸为大功率。

2. “△”为已生产的产品;“○”为暂时不生产的产品;其余可按订货组织生产的产品。

表 19-15 DPL 型技术参数及外形尺寸



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

技 术 参 数

型 号	输 入 轴		变 速 比 I	变 速 范 围 K	调 速 丝 杆 回 转 数 ( 转 )	输 出 轴 转 速 r/min
	功 率 kW	转 速 r/min				
○ DP <sub>1</sub> L	0.4 (或 0.75)	1500	0.23~0.76	3.3	14	345~1140
○ DP <sub>2</sub> L	1.5 (或 2.2)	1500	0.2~0.8	4	33	300~1200
○ DP <sub>3</sub> L	4	1500	0.2~0.8	4	28.5	300~1200
△ DP <sub>4</sub> L	5.5 (或 7.5)	1500	0.2~0.8	4	24	300~1200
△ DP <sub>5</sub> L	11	1000	0.28~1.12	4	21	280~1120
○ DP <sub>6</sub> L	15 (或 22)	1000	0.27~1.08	4	27	270~1080

外 形 尺 寸

机 型	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	φ <sub>3</sub>	φ	n	h	d <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>	m	l	L	K	E
DP <sub>1</sub> L	225	290	260	15	6	5	20	48	92	259	~520		
DP <sub>2</sub> L	280	350	315	15	6	5	28	34	173	367	~740 (755)		
DP <sub>3</sub> L	370	450	410	17	6	6	40	43	169	471	~820	~260	~85
DP <sub>4</sub> L	400	485	440	22	6	5	45	65	227	673	~1100 (1128)	~342	~140
DP <sub>5</sub> L	460	550	510	18	8	8	50	70	228	735	~1290 (1330)	~400	~140
DP <sub>6</sub> L	520	650	590	22	8	10	85	192	257	875	~1475 (1560)	~480	~168

注:1. ( )内尺寸为大功率

2. “△”为已生产的产品;“○”为暂时不生产的产品;其余为可按订货组织生产的产品。



### 3.3. MWB 型胶带式无级变速器 (沈阳工矿齿轮厂产品)

#### 3.3.1 概述

MWB 型无级变速器是利用特制的 V 型带通过改变摩擦锥体的传动半径而实现无级调速的。它广泛地应用在金属切削机床、纺织机械、造纸机械、印刷机械、木工机械、化学机械、食品工业及造船工业等,起着传递动力和增减速的作用。其特点是 1) 结构简单,制造精细,性能优良,经久耐用。2) 依靠 V 型带与摩擦锥体间的摩擦传递动力,输出轴装有螺旋自动调压装置,在工作负荷变化时,仍能使 V 型带两侧保持一定的压力,故保证了转速均匀,无相

对滑动。3) V 型带由涤纶、橡胶制成,外加金属骨架,刚柔结合,故功率损耗小、耐磨性强。4) 采用封闭式自给润滑,经长时间使用后才需更换润滑油,故维修保养简单。5) 安装不受角度限制。6) 传动平稳,无噪音。

选用、使用时应注意:1) 旋转方向必须和标牌上用箭头表示的方向相一致,否则,将损坏零件并导致不能传递功率。(除 MWB-0.4 型号外,只用于单方向运行)。2) 正确区别输入轴和输出轴(输入轴装置有手轮),否则将导致不能传递功率。3) 当变速器不运转时,切勿转动调速轮。

#### 3.3.2 技术参数、装配形式及外形尺寸

表 19-16 MWB 无级变速器的技术参数、装配形式及外形尺寸

技术参数					装配型式	
规格	电机功率 kW	变速范围	输入转速 min	输出转速 r/min	RL	RR
MWB-0.4	0.4	1:4	800	400~1600		
MWB-0.75	0.75	1:4	800	400~1600		
MWB-1.5	1.5	1:4	800	400~1600		
MWB-2.2	2.2	1:4	800	400~1600		
MWB-3.7	3.7	1:4	700	350~1400		
MWB-5.5	5.5	1:4	600	300~1200		

外形尺寸		外形图	
规格	电机功率 kW	L	W
MWB-0.4	0.4	340	370
MWB-0.75	0.75	393	485
MWB-1.5	1.5	474	583
MWB-2.2	2.2	554	577
MWB-3.7	3.7	655	643
MWB-5.5	5.5	778	731

规格	电机功率 kW	L	W	H	J	A	F	M	R	D	K	G	C	B	S	Q	E	N	d	t	J <sub>c</sub>	Z <sub>c</sub>	质量 kg
MWB-0.4	0.4	340	370	190	205	160	192	222	30	11	M10	15	95	168	130	80	164	190	20	17.5	5	50	23
MWB-0.75	0.75	393	485	232	265	173	210	246	36	14	M12	20	116	221	170	90	201	236	25	20.5	8	70	40
MWB-1.5	1.5	474	583	268	345	220	260	300	40	14	M12	22	133	221	170	103	201	240	27	23	8	70	46
MWB-2.2	2.2	554	577	317	350	242	290	334	44	14	M12	25	160	260	230	130	240	292	30	26	8	80	70
MWB-3.7	3.7	655	643	358	325	318	350	402	52	14	M12	26	180	292	237	165	270	315	35	30.5	10	90	101
MWB-5.5	5.5	778	731	426	420	365	400	456	56	17	M12	30	208	334	315	280	378	420	40	35.5	12	95	150

### 3.4 XZW 行星式无级变速器 (沈阳工矿齿轮厂产品)

#### 3.4.1 概述

如图 19-14 所示,此变速器是由输入圆盘、行星锥轮、调速环、输出圆盘等组合而成的行星差动变速机构。当输入圆盘回转时,行星锥轮自转,并沿着调速环的内圈公转,由自转与公转所形成的差动回转依靠输出圆盘、加压盘传到输出轴上去,通过沿轴向

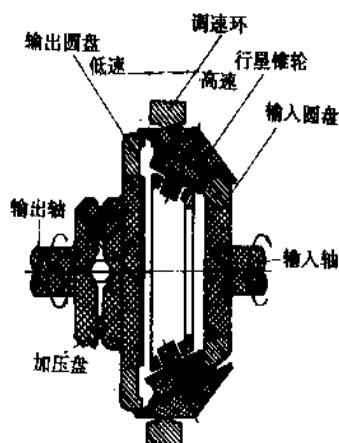
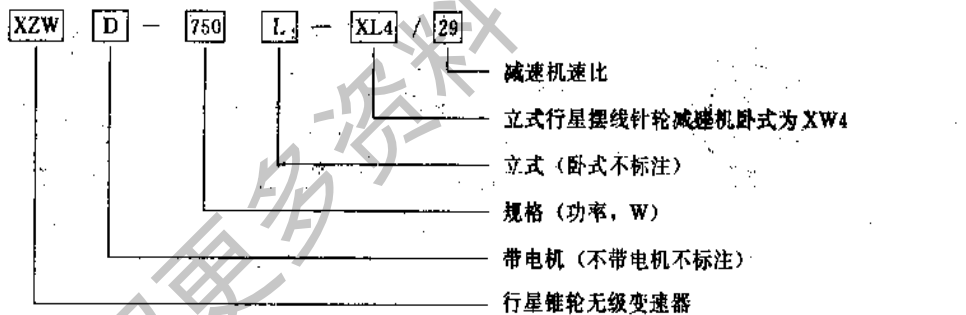


图 19-14 传动原理图

#### b. 无级变速器、减速机直联型



#### 3.4.3 选用说明及使用注意事项

##### 选用说明

1) 由于低速时效率较低(200 r/min 以下),故按额定载荷加载运行时,容易导致温度过高,所以在 200 r/min 以下时,应选用 XZW-X 型变速器。

2) 使用系数  $K$  见表 19-17。

3) 求转矩  $T_c = \frac{9550P}{n} K$

其中  $T_c$ ——转矩  $N \cdot m$ ;

$P$ ——传递的名义功率  $kW$ ;

移动调速环来实现无级变速。

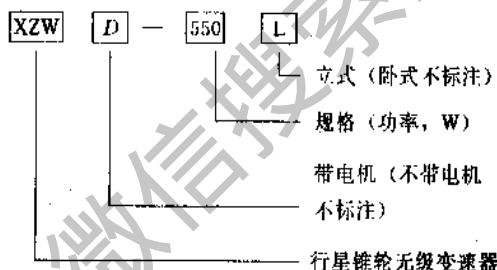
其特点是,恒功率(低速时传递大转矩);变速范围宽(输入转速 1500 r/min 时,输出转速为 0~833 r/min),变速灵活;效率较高,寿命长等。

XZW 无级变速器主要用于下列场合:起动负荷较大时的机械装置(因为可以从零或低速时缓慢起动);转动惯量大的机械装置;起动、停止频繁的机械装置;大转矩、需从零转速起动的机械装置;需无级调速的配套设备。

其应用范围包括各种工作机械(车床、磨床等),各种泵,输送机,搅拌机,反应罐,离心机(分离机,干燥机,铸造机),纺织机,食品加工机,粉碎机,轧钢机,切断机,混炼机,挤压机,送料器,压力机,包装机,卷扬机,建筑机械,印刷造纸机械等。

#### 3.4.2 代号表示方法

##### a. 双轴、电机直联型



$n$ ——转速  $r/min$ ;

$K$ ——使用系数。

4) 参照图 19-15 确定变速器的型号。

表 19-17 使用系数  $K$

运转时间	负荷条件	
	负荷变动小	负荷变动大
8h/d	1.0	1.5
8h/d 以上	1.25	2.0

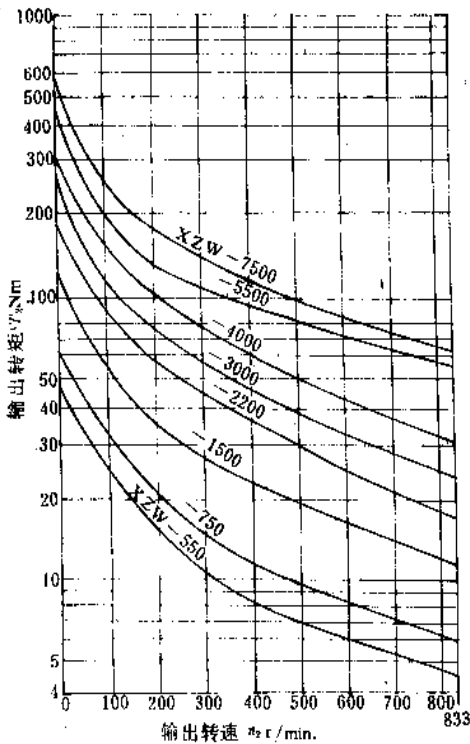


图 19-15 XZW 型无级变速器机械特性曲线图

使用时注意事项如下

- a. XZW 无级变速器使用专用润滑油。如相配摆线针轮减速机，减速机使用 90 号工业齿轮油。
- b. 停机时，绝对不允许转动变速手轮，机器运转后进行调速。
- c. 负载大，惯性大，大转矩而且使用输出为最高段范围（200 r/min 以上）的设备启动时，必须从零或低速开始启动，停止时将变速器输出转速调至低速段或零。
- d. 为防止由于超载损坏机器，应在输出端装置安全离合器。
- e. 长期在 200 r/min 以下工作时，应相联减速机。

3.4.4 装配形式和外形尺寸

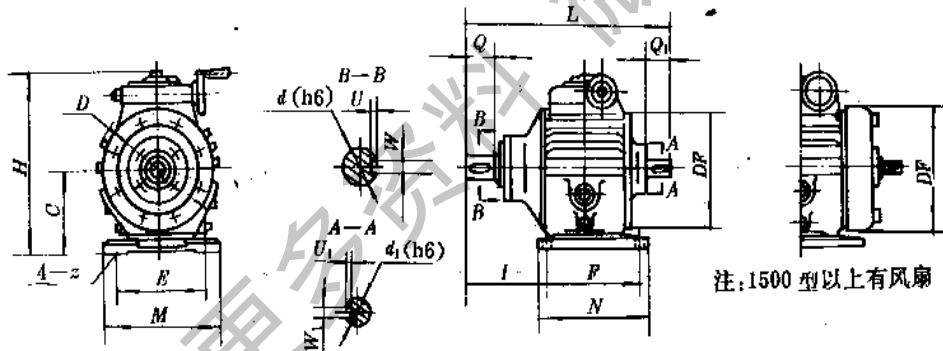
各种形式的无级变速器的外形尺寸见表 19-18 至表 19-22。

3.4.5 无级变速器与减速机的配置

配置表见表 19-23，特性曲线见图 19-15

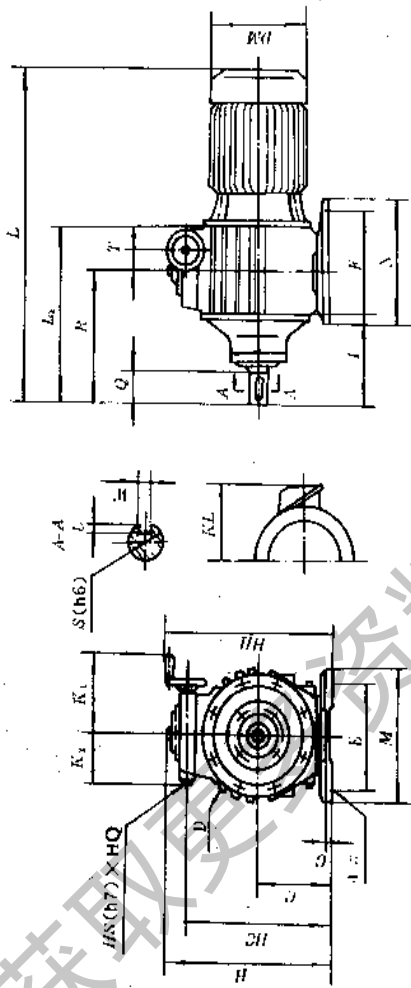
表 19-18 双轴型行星传动无级变速器的外形尺寸

XZW-550/7500



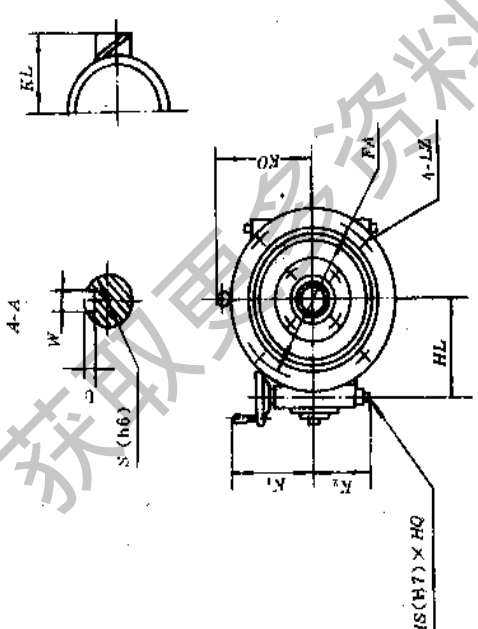
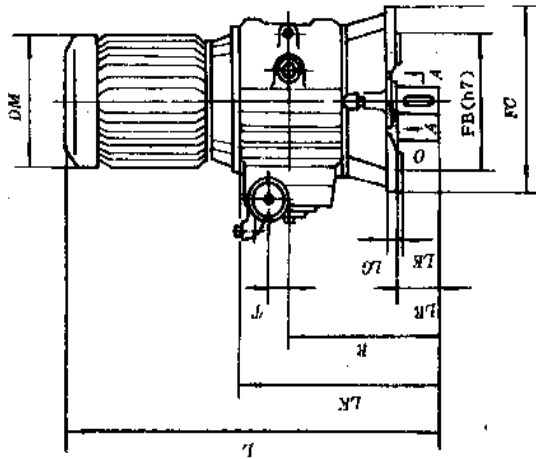
代号 尺寸 型号	长		宽		高		地脚尺寸					输出轴尺寸				输入轴尺寸				质量 kg
	L	D	DF	H	C	I	E	F	M	N	Z	d	W	U	Q	d <sub>1</sub>	W <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	
XZW-550	290	200	—	270	115	85	130	160	160	190	9	24	8	4	34	15	5	1.8	30	25
XZW-750	351	210	—	280	120	125	140	170	170	200	13	24	8	4	50	20	8	4	38	30
XZW-1500	445	254	258	359	154	120	160	230	200	270	11	32	10	5	55	24	8	4	50	48
XZW-2200	500	300	310	385	180	135	210	260	260	310	15	32	10	5	55	24	8	4	50	79
XZW-3000	520	310	320	410	190	150	220	265	270	320	15	36	10	5	60	25	8	4	50	90
XZW-4000	557	325	335	432	196	160	230	270	280	330	15	42	12	5	70	28	9	4	50	150
XZW-5500	705	410	400	515	235	200	290	375	340	425	19	55	16	6	100	40	12	5	80	180
XZW-7500	785	440	410	550	250	225	300	425	365	490	19	55	16	6	100	48	14	5.5	80	220

表 19-19 电机直联型行星传动无级变速器的外形及尺寸



代号 尺寸	长				宽				高				地脚尺寸						输出轴尺寸			手轮尺寸 HS×HQ	质量 kg	油量 l		
	L	LK	R	D	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	DM	KL	HH	H	HC	C	N	F	I	M	E	G	Z	Q	S				W×U	T
XZWD-550	515	278	165	200	108	70	165	150	270	260	228	115	190	160	85	160	130	16	9	34	24(h6)	8×4	21	10×14	35	0.8
XZWD-750	565	325	210	210	125	82	165	150	285	280	232	120	200	170	125	170	140	16	13	50	24(h6)	8×4	26.5	10×14	39	1.0
XZWD-1500	670	378	212	254	175	124	180	155	359	350	295	154	270	230	120	200	160	20	11	55	32(h6)	10×5	40.5	15×20	60	1.5
XZWD-2200	735	418	245	300	180	122	180	155	395	385	345	180	310	260	135	260	210	22	15	55	32(h6)	10×5	40.5	12×20	102	2.5
XZWD-3000	750	435	260	310	180	125	205	180	425	410	362	190	320	265	150	270	220	22	15	60	35(h6)	10×5	40.5	15×20	110	2.6
XZWD-4000	800	458	280	325	180	122	230	190	442	432	375	196	330	270	160	280	230	25	15	70	42(h6)	12×5	40.5	12×20	145	2.8
XZWD-5500	1010	600	398	410	230	160	270	210	525	515	450	235	425	375	200	340	290	30	19	100	55(m6)	16×6	60	30×30	290	4.0
XZWD-7500	1120	690	395	440	235	153	270	210	585	550	498	250	498	425	225	360	300	30	19	100	55(m6)	16×6	60	25×30	310	4.5

表 19-20 立式行星传动无级变速器的外形尺寸

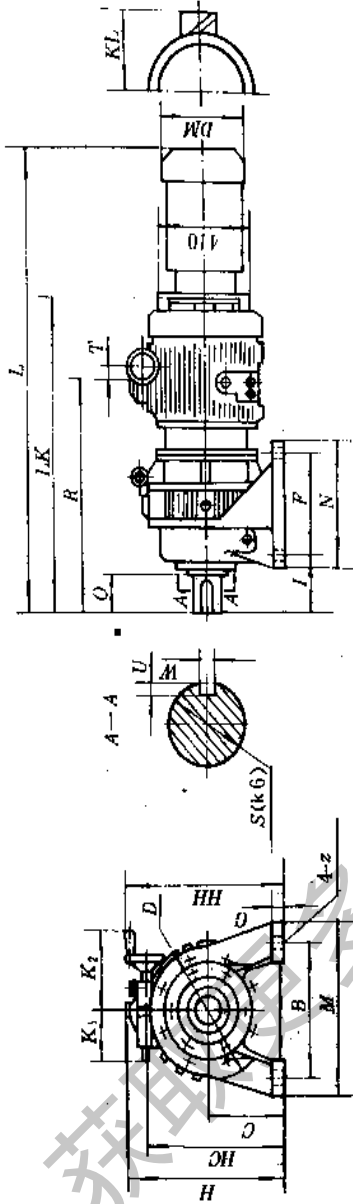


型号	代号		长		宽					高					输出配网尺寸			手轮尺寸			质量 kg	油量 l		
	L	LK	R	D	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	DM	KL	FC	FB	FA	LR	LE	LC	LZ	KO	Q	S	W×U	T			HS×HQ	HL
XZWD-550L	515	278	165	200	108	70	165	150	250	180	215	34	4	16	15	150	34	24(h6)	8×4	21	10×14	113	38	1.0
XZWD-750L	565	325	210	210	125	82	165	150	250	180	215	50	4	16	15	150	50	24(h6)	8×4	26.5	10×14	112	43	1.9
XZWD-1500L	670	378	212	254	175	124	180	166	300	230	265	55	4	20	15	170	55	32(h6)	10×5	40.5	15×20	136	66	2.7
XZWD-2200L	735	418	245	300	180	122	180	155	300	230	265	55	4	20	15	215	55	32(h6)	10×5	40.5	12×20	165	123	4.8
XZWD-3000L	750	435	260	310	180	125	205	180	300	230	265	60	4	20	19	220	60	35(h6)	10×5	40.5	15×20	172	132	5.4
XZWD-4000L	800	458	280	325	180	122	230	190	350	250	300	70	5	20	19	230	70	42(h6)	12×5	40.5	12×20	179	170	5.5
XZWD-5500L	1010	600	396	410	230	160	270	270	400	300	350	100	8	25	19	260	100	55(m6)	16×6	60	30×30	215	290	8.0
XZWD-7500L	1120	690	395	440	235	158	270	270	400	300	350	100	8	25	19	290	100	55(m6)	12×6	60	25×30	248	311	8.8





表 19-22 行星传动无级变速器减速器直联型的外形尺寸



规格型号	减速器的传动比	相配 减速 机号	长			宽			高					轴端尺寸			质量 kg	油量 l							
			L	LK	R	D	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	DM	KL	HH	H	HC	C	N	F			I	M	E	G	Z	O	S
XZWD-550-X	11, 17 23, 29, 35, 43, 59, 71, 87	X3	688	443	333	215	70	165	150	295	285	253	140	150	100	151	290	250	20	15	43	35	10×5	69	0.8
			X4	737	492	382	230	108	82	305	305	295	263	150	195	145	169	330	290	22	15	63	45	14×5.5	
XZWD-750-X	11, 17, 23, 29 35, 43, 59, 71, 87	X4	770	530	415	230	124	180	155	315	310	260	150	195	145	169	330	290	22	15	63	45	14×5.5	84	1.0
			X5	840	600	485	325	125	82	325	325	320	272	160	260	150	206	420	370	25	15	70	55	16×6	
XZWD-1500-X	11, 17, 23, 29, 35, 43, 59, 71, 87	X5	935	643	477	325	175	180	155	356	356	301	160	260	150	206	420	370	25	15	79	55	16×6	143	1.5
			X6	954	662	496	340	175	124	180	405	396	341	200	335	275	125	430	380	30	21	89	65	18×7	
XZWD-2250-X	11, 17 23, 29 35, 43, 59, 71, 87	X5	1015	698	525	325	180	122	180	375	365	325	160	260	150	206	420	370	25	15	79	55	16×6	185	2.5
			X6	1057	740	567	340	180	122	180	415	406	363	220	335	275	125	430	380	30	21	89	65	18×7	
XZWD-3000-X	11 17, 23 29, 35, 43, 59, 71, 87	X7	1095	778	605	370	180	125	205	435	425	385	220	380	320	145	470	420	30	21	100	80	24×9	272	2.6
			X5	1020	705	530	325	180	125	205	395	380	332	160	260	150	206	420	370	25	15	79	55	16×6	
XZWD-4000-X	11, 17 23 29, 35, 43, 59, 71, 87	X6	1060	745	570	340	180	125	205	455	440	392	220	380	320	145	470	420	30	21	100	80	24×9	280	2.8
			X7	1098	783	608	370	180	122	230	416	436	379	200	335	275	125	430	380	30	21	89	65	18×7	
XZWD-5500-X	11 17 23, 29, 35, 43, 59, 71, 87	X6	1140	798	620	340	180	122	230	466	456	399	220	380	320	145	470	420	30	21	100	80	24×9	315	4.0
			X8	1198	856	678	450	230	160	270	476	480	415	200	335	275	125	430	380	30	21	89	65	18×7	
XZWD-7500-X	11, 17, 23, 29 35, 43, 59, 71, 87	X8	1368	958	756	450	235	158	270	540	530	465	250	440	380	155	530	480	30	22	110	90	24×9	540	4.5
			X8	1479	1049	754	450	235	158	270	580	580	496	230	440	380	155	530	480	30	22	110	90	24×9	

表 19-23 XZW--X 行星锥轮无级变速器及摆线针轮减速机配置表

输入转速 1500r/min 输出端变速 范围 r/min	减 速 器 速 比	XZW-550		XZW-750		XZW-1500		XZW-2200		XZW-3000		XZW-4000		XZW-5500		XZW-7500	
		功率 0.55 kW		功率 0.75 kW		功率 1.5 kW		功率 2.2 kW		功率 3.0 kW		功率 4.0 kW		功率 5.5 kW		功率 7.5 kW	
		转矩 N·m	相配 减速 器	转矩 N·m	相配 减速 器	转矩 N·m	相配 减速 器	转矩 N·m	相配 减速 器	转矩 N·m	相配 减速 器	转矩 N·m	相配 减速 器	转矩 N·m	相配 减速 器	转矩 N·m	相配 减速 器
0-75.7	11	167-39	X3	245-49		490-98		647-147		882-206	X5	1176-274		1617-392	X6	2205-529	
0-49	17	245-59		343-78	X4	686-157	X5	980-235	X5	1372-323		1813-431	X6	2499-598	X7	3400-813	
0-36.2	23	343-76		461-108		921-216		1352-323		1842-441	X6	2450-588		3332-803		4410-1097	
0-28.7	29	431-98		588-137		1156-274		1705-402	X6	2323-549		3097-735		4253-1019		4410-1392	
0-23.8	35	490-118		706-167		1401-333		2058-490		2646-666		3724-892		4410-1225		4410-1675	X8
0-19.3	43	490-147	X4	862-206		1725-412		2528-608		2646-823		4410-1098		4410-1519	X8	4410-2088	
0-14	59	490-206		980-284	X5	1960-568	X6	2646-833	X7	2646-1137		4410-1519	X8	4410-2087		4410-2852	
0-11.7	71	490-255		980-343		1960-686		2646-1000		2646-1370		4410-1823		4410-2499		4410-2499	
0-9.75	87	490-304		980-412		1960-833		2646-1225		2646-1670		4410-2225		4410-3058		4410-3058	

注：1. 相配减速机为 X 型行星摆线针轮减速机；

2. 最大转矩为 X 型行星摆线针轮减速机允许输出最大扭矩；

3. 如果转矩符合要求应尽量往接近最高使用转速一档选择，如需要输出转速最高为 30 r/min，应选择 0~36.2 r/min，而不选择 0~49 r/min 和 0~75.7 r/min。

获取更多资料

微信搜索 索蓝球

## 第 20 章 轴及钢丝软轴

### 1 轴

常用的轴是圆截面阶梯形状直轴。它通过轴承与机架联接,装在轴上的零件都围绕轴心线作回转运动,形成了一个以轴为基础的轴系部件。因此,在轴的设计中,不能只考虑轴本身,还必须计及轴系零部件对轴的影响。设计轴时,应满足多方面要求,其中主要问题是轴的材料、结构、强度和刚度,对于高速运转的轴,还要进行稳定性计算,以防止发生共振而破坏。

#### 1.1 轴的材料

轴的材料应满足强度、刚度、耐磨性、耐腐蚀性等方面的要求,设计轴时应按经济合理、适用的原则,根据具体情况来选用轴的材料。

轴的材料主要是经过轧制或锻造的碳钢或合金钢。轴的直径较小和不太重要的轴,可用轧制的圆钢棒制造;对于重要的或直径变化大的阶梯形状的轴,应采用锻坯。由于碳钢比合金钢价廉,对应力集中的

敏感性低,同时也可以热处理或化学热处理的办法提高其耐磨性和抗疲劳强度,故采用碳钢制造的轴尤为广泛,其中最常用的是 45 号钢。不重要的或受力较小的轴,也可用 Q235-A 制造。合金钢比碳钢具有更高的机械性能和更好的淬火性能。因此,在传递大动力,并要求减小尺寸和重量,提高轴颈的耐磨性,以及处于高温或低温条件下工作的轴,常采用合金钢。在一般工作温度下(低于 200℃),各种碳钢和合金钢的弹性模量均相差不多,热处理对钢的弹性模量的影响很小,故为提高轴的刚度而采用合金钢是不适宜的。

高强度铸铁和球墨铸铁,由于铸造性能好,容易铸成复杂的形状,而且吸振性较高,对应力集中敏感性低,适用制造外形复杂的轴,如曲轴和凸轮轴等。

我国研制成功的稀土镁球墨铸铁,冲击韧性好,同时具有减摩、吸振和对应力集中敏感性低等优点,已用于制造汽车、拖拉机、机床上的重要轴类零件。

轴的常用材料及其主要机械性能见表 20-1。

表 20-1 轴的常用材料及其主要机械性能

材料牌号	热 处 理	毛坯直径 mm	机 械 性 能				硬 度 HBS	备 注
			$\sigma_b$	$\sigma_s$	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$		
Q235-A			375~ 460	235~ 185	180	105		用于不重要或载 荷不大的轴
20	正 火	25	410	245	180	100	≤156	用于载荷不大要 求韧性较高的轴
	正 火	≤100	400	220	165	95	103~156	
		>100~300	380	200	155	90		
		>300~500	370	190	150	85		
回 火	>500~700	360	180	145	80			

续表 20-1

材料牌号	热 处 理	毛坯直径 mm	机 械 性 能				硬 度 HBS	备 注
			$\sigma_b$	$\sigma_s$	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$		
			MPa, 不小于					
35	正 火	25	530	315	230	130	$\leq 187$	有好的塑性和适当的强度, 用于有一定强度和加工塑性有一定要求的轴, 如曲轴
	正 火	$\leq 100$	520	270	210	120	143 $\leq 187$	
	正火或正火+回火	$>100\sim 300$	500	260	205	115	143 $\sim 187$	
	正火+回火	$>300\sim 500$	480	240	190	110	143 $\sim 187$	
		$>500\sim 700$	460	230	185	105	137 $\sim 187$	
	调 质	$\leq 100$	560	300	230	130	163 $\sim 207$	
$>100\sim 300$		540	280	220	125	149 $\sim 207$		
45	正 火	25	600	355	260	150	$\leq 241$	应用最广泛
	正 火 回 火	$\leq 100$	600	300	240	140	170 $\sim 217$	
		$>100\sim 300$	580	290	235	135	162 $\sim 217$	
		$>300\sim 500$	560	280	225	130	162 $\sim 217$	
		$>500\sim 700$	540	270	215	125	156 $\sim 217$	
	调 质	$\leq 200$	650	360	270	155	217 $\sim 255$	
40Cr	调 质	25	1000	800	485	280		用于载荷较大而无很大冲击的重要轴
		$\leq 100$	750	550	350	200	241 $\sim 286$	
		$>100\sim 300$	700	500	320	185	241 $\sim 286$	
		$>300\sim 500$	650	450	295	170	229 $\sim 269$	
		$>500\sim 800$	600	350	255	140	217 $\sim 255$	
35SiMn 42SiMn	调 质	25	900	750	445	255		性能接近于40Cr, 用于中小型轴
		$\leq 100$	800	520	355	205	229 $\sim 286$	
		$>100\sim 300$	750	450	320	185	217 $\sim 269$	
		$>300\sim 400$	700	400	295	170	217 $\sim 255$	
		$>400\sim 500$	650	380	275	160	196 $\sim 255$	
40MnB	调 质	25	1000	800	485	280		性能接近于40Cr, 用于重要的轴
		$\leq 200$	750	500	335	195	241 $\sim 286$	
40CrNi	调 质	25	980	785	485	280		用于很重要的轴
35CrMo	调 质	25	980	835	500	285		性能接近于40CrNi, 用于重载荷的轴
		$\leq 100$	750	550	350	200	207 $\sim 269$	
		$>100\sim 300$	700	500	320	185	207 $\sim 269$	
		$>300\sim 500$	650	450	295	170	207 $\sim 269$	
		$>500\sim 800$	600	400	270	155	207 $\sim 269$	

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权



续表 20-1

材料牌号	热 处 理	毛坯直径 mm	机 械 性 能				硬 度 HBS	备 注
			$\sigma_b$	$\sigma_s$	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$		
			MPa, 不小于					
38SiMnMo	调 质	≤100	750	600	360	210	229~286	性能接近于 40CrNi, 用于重载荷的轴
		>100~300	700	550	335	195	217~269	
		>300~500	650	500	310	175	196~241	
		>500~800	600	400	270	155	187~241	
37SiMn2MoV	调 质	25	980	835	495	285		用于高强度, 大尺寸及重载荷的轴 请尊重相关知识产权
		≤200	880	700	425	245	269~302	
		>200~400	830	650	395	230	241~286	
		>400~600	780	600	370	215	241~269	
38CrMoAlA	调 质	30	980	835	495	285	229	用于要求高耐磨性、高强度且热处理变形很小的(氮化)轴
20Cr	渗 碳 淬 火 回 火	15	835	540	375	215	表 面 HRC 56~62	用于要求强度和韧性均较高的轴(如某些齿轮轴、蜗杆等)
		30	650	400	280	160		
		≤60	650	400	280	160		
20CrMnTi	渗 碳 淬 火 回 火	15	1080	835	525	300	表 面 HRC 56~62	
2Cr13	调 质	≤100	635	440	295	170	197~248	用于在腐蚀条件下工作的轴
1Cr18Ni9Ti	淬 火	≤60	550	220	205	120	≤192	用于在高低温及强腐蚀条件下工作的轴
		>60~100	540	200	195	115		
		>100~200	500	200	185	105		
QT400-15			400	250	145	125	130~180	用于制造外形复杂的轴
QT450-10			450	310	160	140	160~210	
QT500-7			500	320	180	155	170~230	
QT600-3			600	370	215	185	190~270	

注: 1. 表中 $\sigma_{-1}$ ,  $\tau_{-1}$ 系按下列关系计算:

钢:  $\sigma_{-1} \approx 0.27(\sigma_b + \sigma_s)$ ;  $\tau_{-1} \approx 0.156(\sigma_b + \sigma_s)$

球墨铸铁:  $\sigma_{-1} \approx 0.36\sigma_b$ ;  $\tau_{-1} \approx 0.31\sigma_b$

2. 钢的等效系数 $\psi_\sigma$ 与 $\psi_\tau$ 的值见下表

应力种类	系 数	表 面 状 态				
		抛 光	磨 光	车 削	热 轧	锻 造
弯 曲	$\psi_\sigma$	0.50	0.43	0.34	0.215	0.14
拉 压	$\psi_\sigma$	0.41	0.36	0.30	0.18	0.10
扭 转	$\psi_\tau$	0.33	0.29	0.21	0.11	

## 1.2 轴的结构设计

轴的结构设计包括定出轴的合理外形和全部结构尺寸。

结构设计应以强度计算为基础，通常按扭转强度初步计算出轴端直径，如果该轴端需要开键槽，应将此轴径加大 3~7%，然后将轴径圆整成标准值并作为轴端最小轴径。在此基础上再合理地定出轴的结构形状。

轴的合理外形应满足：轴和装在轴上的零件要有准确的工作位置，轴上的零件应便于装拆和调整；轴应具有良好的制造工艺性等。

影响轴的结构因素是很多的，如轴在机器中

的安装位置和要求；轴上零件的布置和固定形式；所采用轴承类型和尺寸；轴的受力性质、大小、方向及分布情况；轴的加工工艺等。由于影响轴的结构因素较多，其结构形式又要随着具体情况的不同而异，因此轴的结构没有标准形式。设计时，必须依据轴的具体情况作具体分析。

通常，轴的结构采用阶梯形，这样使轴上零件轴向定位可靠、装拆加工方便。

### 1.2.1 轴上零件的轴向固定

轴上零件在轴向的准确工作位置是靠一定的轴向固定方法来实现的。常见的轴向固定方法及特点见表 20-2。

表 20-2 轴上零件轴向固定方法及特点

固定方法	简 图	特 点
轴肩、轴环、轴伸		<p>结构简单，定位可靠，可承受较大轴向力。常用于齿轮、链轮、带轮、联轴器和轴承等定位。为保证零件紧靠定位面，应使 <math>r &lt; c_1</math> 或 <math>r &lt; R</math>。<math>r</math>、<math>c_1</math>、<math>R</math> 值见第 1 章。</p> <p>轴肩高度 <math>a</math> 应大于 <math>R</math> 或 <math>c_1</math>，通常取 <math>a = (0.07 \sim 0.1) d</math></p> <p>轴环宽度 <math>b \approx 1.4a</math></p> <p>与滚动轴承相配合处的 <math>a</math> 与 <math>r</math> 值应根据滚动轴承的类型与尺寸确定（见第 22 章）</p> <p>圆柱轴伸（GB1569—90），见表 20-3</p>
套 筒		<p>结构简单，定位可靠，轴上不需开槽。钻孔和切制螺纹，因而不影响轴的疲劳强度。一般用于零件间距较小场合，以免增加结构重量。轴的转速很高时不宜采用。</p>
螺钉锁紧挡圈		<p>结构简单，不能承受大的轴向力，不宜用于高速。常用于光轴上零件的固定</p> <p>螺钉锁紧挡圈的结构尺寸见 GB 884—86</p>
圆锥面		<p>能消除轴与轮毂间的径向间隙，装拆较方便，可兼作周向固定，能承受冲击载荷。多用于轴端零件固定，常与轴端压板或螺母联合使用，使零件获得双向轴向固定</p> <p>圆锥形轴伸（GB 1570—90），见表 20-4</p>

续表 20-2

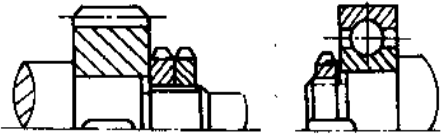
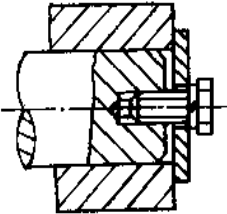
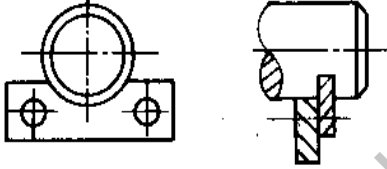
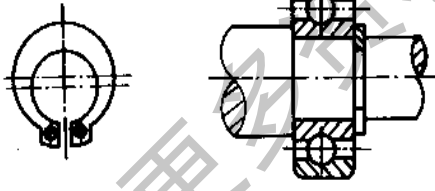
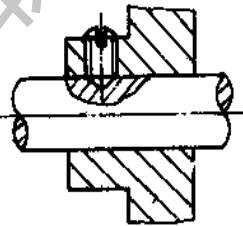
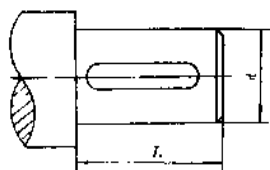
固定方法	简 图	特 点
圆螺母		<p>固定可靠, 装拆方便, 可承受较大轴向力。由于轴上切制螺纹, 使轴的疲劳强度降低。常用双圆螺母或圆螺母与止动垫圈固定轴端零件, 当零件间距较大时, 亦可用圆螺母代替套筒以减小结构重量</p> <p>圆螺母和止动垫圈的结构尺寸见 GB 810—88, GB 812—88 及 GB 858—88</p>
轴端挡圈		<p>适用于固定轴端零件, 可承受剧烈振动和冲击载荷</p> <p>螺栓紧固轴端挡圈的结构尺寸见 GB 892—86 (单孔) 及 JB/ZQ4349—86 (双孔)</p>
轴端挡板		<p>适用于心轴和轴端固定见 JB/ZQ4348—86</p>
弹性挡圈		<p>结构简单紧凑, 只能承受很小的轴向力, 常用于固定滚动轴承</p> <p>轴用弹性挡圈的结构尺寸见 GB 894.1—86</p>
紧定螺钉		<p>紧定螺钉同时起轴向和周向固定作用, 但轴向力和周向力均不能大, 转速也不能高。为防止螺钉松动, 可加锁紧</p>

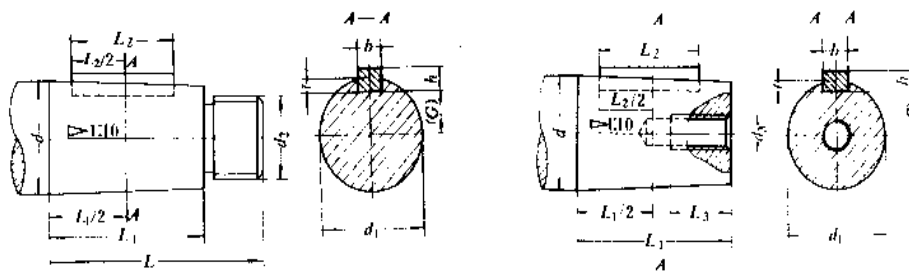
表 20-3 圆柱形轴伸 (摘自 GB 1569—90 参照 ISO/R755—69)



d		L		d		L		d		L	
基本尺寸	极限偏差	长系列	短系列	基本尺寸	极限偏差	长系列	短系列	基本尺寸	极限偏差	长系列	短系列
6	+0.006 +0.002	16	—	48	+0.013	110	82	190	+0.046 +0.017	350	280
7				50	+0.002			200			
8	+0.007	20	—	55	+0.030	140	105	220	+0.052	410	330
9	+0.002			56				+0.011			
10	+0.008 +0.003	23	20	60	+0.035 +0.013	170	130	250	+0.021	550	450
11								63			
12	+0.008 +0.003	30	25	66	+0.035 +0.013	210	165	280	+0.061 +0.011	650	540
14								70			
16	+0.009 -0.004	60	42	71	+0.040 +0.015	250	200	320	+0.070 +0.026	800	680
18								75			
19	+0.013 +0.002	80	56	80	+0.040 +0.015	300	240	360	+0.070 +0.026	800	680
20								85			
22	+0.009 -0.004	56	36	90	+0.040 +0.015	210	165	400	+0.061 +0.011	650	540
24								95			
25	+0.013 +0.002	60	42	100	+0.040 +0.015	250	200	440	+0.070 +0.026	800	680
28								110			
30	+0.013 +0.002	80	56	110	+0.040 +0.015	300	240	480	+0.070 +0.026	800	680
32								120			
35	+0.013 +0.002	110	82	125	+0.040 +0.015	300	240	530	+0.070 +0.026	800	680
38								130			
40	+0.013 +0.002	110	82	130	+0.040 +0.015	300	240	600	+0.070 +0.026	800	680
42								140			
45				140				630			

注：直径大于 630~1250mm 的轴伸直径和长度系列可参见 GB 1569 附录 A。

表 20-4 圆锥形轴伸 (摘自 GB 1570-90, 参照 ISO/R755-69)



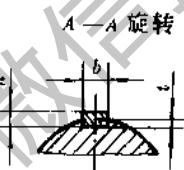
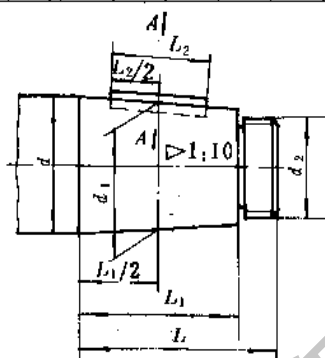
d	L		L <sub>1</sub>		L <sub>2</sub>		b	h	d <sub>1</sub>		t	(G)		M	L <sub>3</sub>
	长	短	长	短	长	短			长	短		长	短		
6	16		10		6				5.5					M4	
7									6.5						
8	20		12		8				7.4						
9									8.4						
10	20		15		12				9.25					M6	
11							2	2	10.25		1.2	3.9			
12	30		18		16				11.1			4.3		M8×1	
14							3	3	13.1		1.8	4.7		M4	10
16									14.6	15.2		5.5	5.8		
18	40	28	28	16	25	14			16.6	17.2		5.8	6.1	M10×1.25	
19							4	4	17.6	18.2		6.3	6.6	M5	13
20									18.2	18.9	2.5	6.6	6.9		
22	50	36	36	22	32	20			20.2	20.9		7.6	7.9	M12×1.25	M6
24									22.2	22.9		8.1	8.4		
25							5	5	22.9	23.8		8.4	8.9		
28	60	42	48	24	36	22			25.9	26.8	3	9.9	10.4	M16×1.5	M8
30									27.1	28.2		10.5	11.1		
32	80	58	58	36	50	32			29.1	30.2		11.0	11.6	M20×1.5	M10
35							6	6	32.1	33.2		12.5	13.1		
38									35.1	36.2	3.5	14.0	14.6		
40									36.9	37.3		12.9	13.6	M24×2	M12
42							10	8	37.9	39.3		13.9	14.6		
45									40.9	42.3		15.4	16.1		
48	110	82	82	54	70	50	12	8	43.9	45.3	5	16.9	17.6	M30×2	M16
50									45.9	47.3		17.9	18.6		
55									50.9	52.3		19.9	20.6	M36×3	
56							14	9	51.9	53.3	5.5	20.4	21.1		
60									54.75	56.5		21.4	22.2		M20
63							16	10	57.75	59.5	6	22.9	23.7	M42×3	42
65									59.75	61.5		23.9	24.7		
70	140	105	105	70	100	63			64.75	66.5		25.4	26.2		
71							18	11	65.75	67.5	7	25.9	26.7	M46×3	M24
75									69.75	71.5		27.9	28.7		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重版权



续表 20-4

d	L		L <sub>1</sub>		L <sub>2</sub>		b	h	d <sub>1</sub>		t	(G)		d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>			
	长	短	长	短	长	短			长	短		长	短						
80									73.5	75.5	7.5	29.2	30.2	M56×4					
85	170	130	130	90	110	80	20	12	78.5	80.5		31.7	32.7						
90							22	14	83.5	85.5		32.7	33.7						
95														88.5	90.5	35.2	36.2	M64×4	
100									91.75	94	9	36.9	38	M72×4					
110	210	165	165	120	140	110	25	14	101.75	104		41.9	43	M80×4					
120															111.75	114	45.9	47	
125															116.75	119	48.8	49.5	M90×4
130									120	122.5	10	50	51.2	M100×4					
140	250	200	200	150	180	125	32	18	130	132.5		54	55.2						
150																140	142.5	59	60.2
160															146	151	62	63.5	M125×4
170	300	240	240	180	220	160	36	20	158	161	11	67	68.5	M140×6					
180							40	22	168	171		71	72.6						
190																176	179.5	75	76.7
200	350	280	280	210	250	180	45	26	186	189.5	12	80	81.7	M160×6					
220																206	209.5	88	89.7



d	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> <sup>⊙</sup>	b	h	d <sub>1</sub>	t	d <sub>2</sub>	d	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> <sup>⊙</sup>	b	h	d <sub>1</sub>	t	d <sub>2</sub>		
240						223.5	17	M180×6	420	650	540	450	80	40	393	25	M320×6		
250	410	330	280	50	28	233.5												440	413
260						243.5												450	423
280									56	32	261	480	433	28	M380×6				
300	470	380	320	63	36	281	480	453											
320						301	500	473											
340											317.5	530	496	31	M420×6				
360	550	450	400	70	40	337.5	560	526											
380						357.5	600	566											
400						373	630	596											

①L<sub>2</sub> 可根据需要选取小于表中的数值。

注：1. 键槽深度 t，可用测量 G 代替；

2. 长——长系列，短——短系列；

3. 圆锥公差按 GB 11334（见表 4-23）中的 AT6 1:10 圆锥角公差选用。

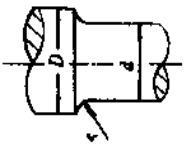
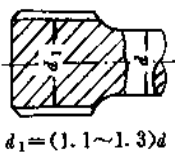
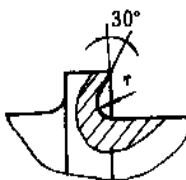
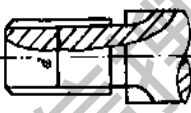
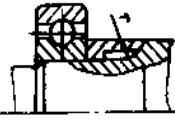
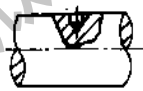
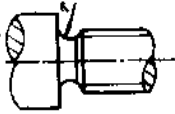
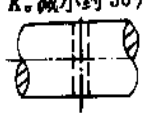

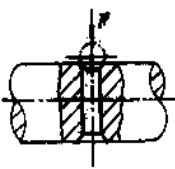
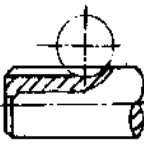
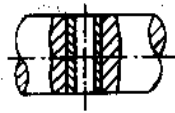
中,在轴的截面变化处(如轴肩、键槽、环槽等),不使轴的疲劳强度受到比较严重的削弱。同时提高轴的表面质量和强化轴的表面也是提高轴的疲劳强度的有力措施。

表 20-5 列出了降低轴上应力集中的主要措施。

1.2.2 提高轴的疲劳强度应采取的结构措施

轴的失效多数属于疲劳断裂。为避免轴因疲劳而断裂,设计轴的结构时,应尽量避免或减小应力集

表 20-5 降低轴上应力集中的主要措施举例

结构名称	简图	措施	结构名称	简图	措施
圆角		加大圆角半径 $r/d > 0.1$ 减小直径差 $D/d < 1.15 \sim 1.2$	花键		增大花键直径 $d_1 = (1.1 \sim 1.3)d$
		加内凹圆角			花键加退刀槽
		加大圆角半径, 设中间环			盲孔改成通孔
		加退刀圆角			
键槽		底部加圆角	孔		孔上倒角或滚珠碾压
		用圆盘铣刀			压入弹性小的衬套

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

微信搜公众号 蓝球网 获取更多资料

续表 20-5

结构名称	简图	措施	结构名称	简图	措施
过盈配合	<p><math>K</math>. 减小约 40%</p> <p><math>d_1 = (1.06 \sim 1.08)d</math></p>	轴上开卸载槽并鞣压	过盈配合	<p><math>K</math>. 减小约 15~25%</p>	轮毂上开卸载槽
	<p><math>K</math>. 减小约 30~40%</p> <p><math>r &gt; (0.1 \sim 0.2)d</math></p>	增大配合处直径		<p><math>K</math>. 减小约 15~25%</p>	
说明			$K$ . 弯曲时的有效应力集中系数		

1.2.3 轴的结构工艺性

设计轴的结构时,应使轴的结构形状便于加工、装配、测量和维修。

1)在同一轴上直径相差不大的轴段上的键槽应尽可能采用同一规格的键槽截面尺寸,并应分布在同一加工直线上。

2)对于需要磨削的轴段,应留有砂轮越程槽(见 GB 4603.5—86);对于需要切削螺纹的轴段,应留有螺纹退刀槽(见 GB 3 79)

3)为便于轴上零件的装配,轴端应加工成  $45^\circ$

(或  $30^\circ, 60^\circ$ )倒角,轴上过盈配合部分的装入端常加工出半锥为  $10^\circ$ 的导向锥面。

4)轴的配合直径应按 GB 2822 81 圆整为标准值。

5)为保证轴向定位可靠,与轮毂配装的轴段长度,应略小于轮毂宽(长)度  $2 \sim 3\text{mm}$ 。

6)为减少加工刀具种类和提高劳动生产率,轴上的倒角、圆角等应尽可能取相同尺寸。

图 20-1 为滚动轴承支承的轴的典型结构。各部分尺寸、公差等的确定办法列于表 20-6。

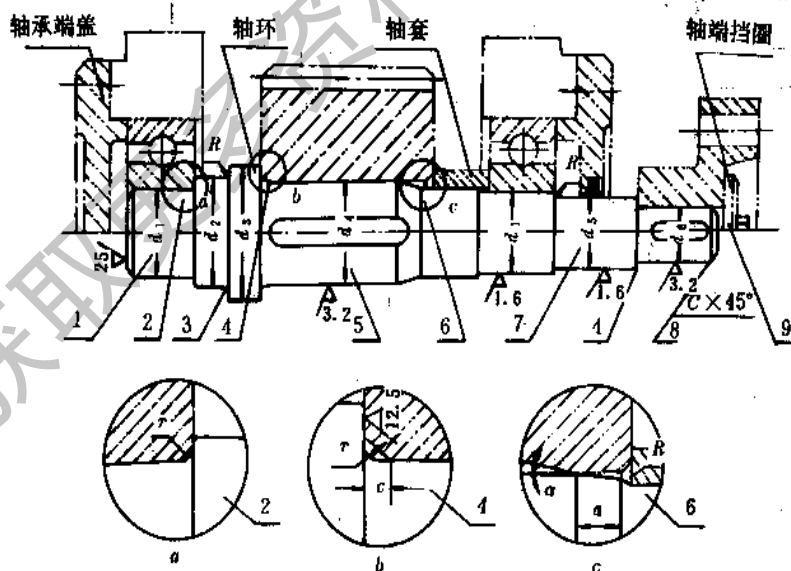


图 20-1 轴的结构

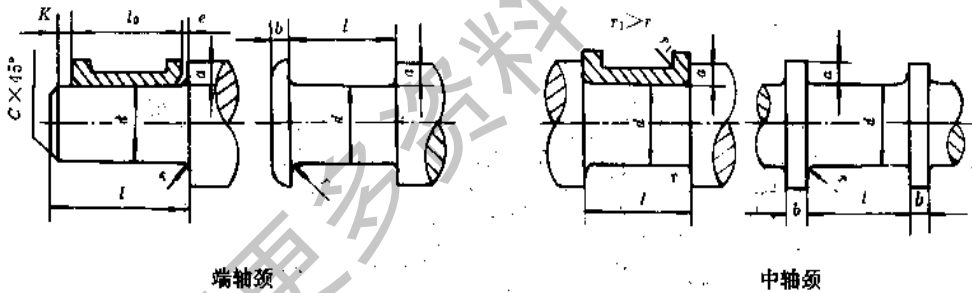
表 20-6 轴的结构 (见图 20-1)

部位	轴的各个部分名称	说 明	部位	轴的各个部分名称	说 明
1	轴颈的直径 $d_1$	依轴的强度和轴承决定直径, 滚动轴承的尺寸见第 22 章, 滑动轴承的轴颈尺寸见表 20-7	6	配合为 $\frac{H7}{S6} \sim \frac{H7}{h6}$ 时 轴的倒角及导锥长度	表 1-32
2	装滚动轴承处的凸肩	见第 22 章	7	密封处轴颈 $d_6$	由轴的结构及密封装置确定尺寸
3	轴径的过渡圆角 (非配合处)	见表 1-32	8	轴端倒角	见表 1-32
4	采用静配合与零件联接时的倒角与圆角, 轴肩	见表 1-32, 31, 表 20-7	9	轴端固定装置	
5	配合部分轴径 $d_4$	尺寸由计算决定, 并取标准直径			

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

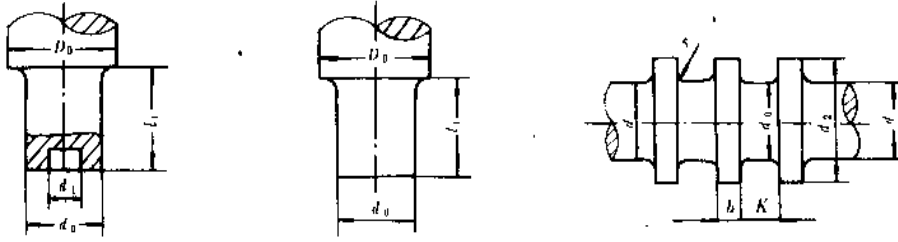
滑动轴承支承的轴的结构, 大体与滚动轴承支承的轴颈的结构尺寸。承的轴相同, 仅轴颈结构不同, 表 20-7 列出滑动轴

表 20-7 滑动轴承的向心轴颈结构尺寸



代 号	名 称	说 明
$d$	轴颈直径	由计算确定, 并按 GB 2822—81 圆整为标准直径
$a$	轴肩 (环) 高度	$a \approx (0.07 \sim 0.1) d$ , $d+2a$ 最好圆整为整数值
$b$	轴环宽度	$b \approx 1.4a$
$r, r_1$	圆角半径	按零件倒角倒圆半径标准取
$l$	轴颈长度	$l = l_0 + k + e + c$ $l_0$ 由轴承工作能力的需要确定, $e$ 和 $k$ 分别由热膨胀量和安装误差确定, $c$ 按标准取, 对于固定轴轴颈 $l = l_0$

表 20-8 滑动轴承的止推轴颈结构尺寸



代号	名称	说明	代号	名称	说明
$D_0$	轴直径	计算确定	$b$	轴环宽度	$b = (0.1 \sim 0.15) d$
$d$	轴直径	计算确定	$K$	轴环距离	$K = (2 \sim 3) b$
$d_0$	止推轴颈直径	计算确定, 按 GB2822 -81 圆整为标准直径	$l_1$	止推轴颈长度	由计算和止推轴承结构确定
$d_1$	空心轴颈内径	$d_1 = (0.4 \sim 0.6) d_0$	$n$	轴环数	$n \geq 1$ , 由计算和止推轴承结构确定
$d_2$	轴环外径	$d_2 = (1.2 \sim 1.6) d$	$r$	轴环根部圆角半径	按标准选取

表 20-9 轴环尺寸

mm

	轴的直径 $d$	28	68	100	175	240	290	320	370	420
	圆角半径 $r$	1.5	2	3	4	6	6	10	12	12
	轴肩高度 $a$	2	3	4	6	9	10	14	16	18

注: 轴环宽度  $b = (0.1 \sim 0.15) d$  或  $b \geq 1.4a$ 。

### 1.3 轴的强度计算

轴的强度计算有三种方法: (1) 按转矩估算轴径; (2) 按当量弯矩近似计算; (3) 安全系数的精确校核计算。

对于仅仅(或主要)承受转矩的传动轴, 应按转矩估算轴径。用这种计算方法简单, 不需先确定轴的跨距(或跨距暂无法确定)和结构, 故常用来做轴的初步计算, 以确定基本直径, 然后进行结构设计。对于不重要的轴, 只用这种方法计算便可; 对于比较重要的轴, 且轴上载荷的大小、方向及作用位置已知, 支承位置已定时, 应按当量弯矩近似计算任一剖面

的强度; 对于重要的轴, 在上述计算和结构设计的基础上, 还应对危险剖面进行安全系数的精确校核计算。

#### 1.3.1 按转矩估算轴径

当轴的长度及跨度未定时, 支座反力及弯矩无法求得, 多支点或不太重要的轴, 常是根据轴所承受的转矩估算轴径。如果轴上还承受弯矩, 则用降低许用应力的方法加以考虑。在此估算轴径的基础上进行轴的结构设计。

用这种方法估算轴危险截面直径的公式见表 20-10。

表 20-10 按转矩计算轴径的计算公式

轴 别	公 式	说 明
实 心 轴	$d \geq A \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad \text{mm}$	式中 $d$ ——计算剖面处轴的直径, mm $P$ ——轴传递的功率, kW $n$ ——轴的转速, r/min $A$ ——与轴的材料及相应的许用扭转应力 $[\tau]$ 有关的设计系数, 见表 20-11 $\beta$ ——空心轴的内径 $d_0$ 与外径 $d$ 之比, 通常取 $\beta=0.5 \sim 0.6$
空 心 轴	$d \geq A \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{1-\beta^4}} \quad \text{mm}$	

表 20-11 几种常用轴材料的  $[\tau]$  与  $A$  值

轴 的 材 料	Q235-A, 20	35	45	40Cr, 35SiMn, 38SiMnMo, 2Cr13, 42SiMn, 20CrMnTi	1Cr18Ni9Ti
$[\tau]$ MPa	12~20	20~30	30~40	40~52	15~25
$A$	160~135	135~118	118~107	107~98	148~125

- 注: 1. 表中  $A$  值已将弯矩的影响考虑在内, 当轴上弯矩较小时取较小  $A$  值, 反之取较大值;  
 2. 当轴径较大或用 Q235、35SiMn 时, 取较大的  $A$  值;  
 3. 当计算的截面上有一个键槽,  $A$  值增大 4~5%, 有两个键槽  $A$  值增大 7~10%。

1.3.2 按当量弯矩近似计算

1) 轴的受力简图

当轴的支承位置和轴所受载荷大小、方向、作用点及载荷种类均已知时, 支点反力和弯矩方可求得, 这时可按当量弯矩近似计算。一般的轴用这种方法计算即可。

通常, 轴上装有一个或数个旋转的传动件, 如齿轮、皮带轮、链轮等, 作用于轴上的载荷系由它们传给。轴与轴上零件的自重通常忽略不计, 对于有不平

衡重量的高速回转轴须计入惯性力。载荷在零件上的作用宽度相对于轴的长度都较小, 故作用到轴上的载荷通常简化为作用在宽度中点的集中载荷。转矩也是从轮缘宽度的中点算起。由斜齿轮、锥齿轮等的轴向力引起的力偶也简化为集中力偶, 力偶所在位置可定在齿宽的中点位置。

轴的支承可简化成较支座, 支座反力的作用点位置, 须根据轴承类型及其组合的不同按图 20-2 确定。

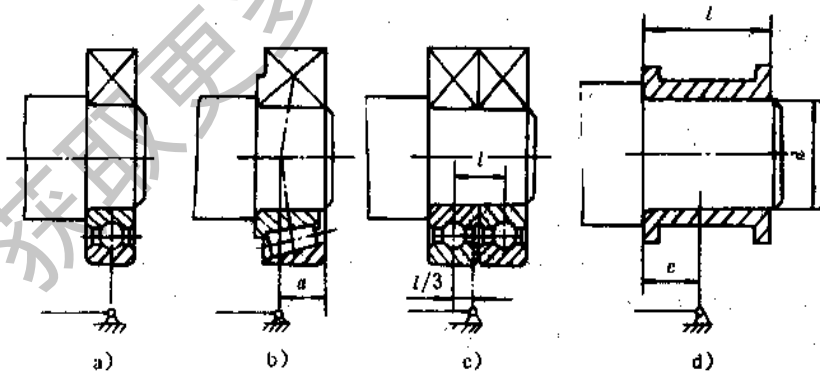


图 20-2 轴的简化支点位置

- a) 深沟球轴承; b) 角接触轴承; c) 两个深沟球轴承; d) 滑动轴承  
 当  $l/d \leq 1, e = 0.5l; l/d > 1, e = 0.5d$ , 但不小于  $(0.25 \sim 0.35)l$ ; 调心轴承  $e = 0.5l$



2)轴的受力分析、弯矩图与转矩图

轴的受力情况取决于轴上传动件的种类、个数和动力传递的顺序,以及作用于传动件上力的大小和方向。以斜齿圆柱齿轮、锥齿轮传动为例,其啮合点受力包括圆周力  $F_t$ 、径向力  $F_r$  和轴向力  $F_x$ 。传动

件对轴作用力的大小、位置和方向确定后,分别画出水平面、垂直面轴的受力简图,求出支反力,再分别画出弯矩图和转矩图,例如图 20-3、图 20-4。再按矢量法求得合成弯矩  $M$ 。

3)轴的强度计算公式见表 20-13。

表 20-12 45 号钢的轴径与功率、转速的关系

P kW	n r/min																					
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160	180	200	250	320	400	500	750	1000	1500
轴 径 d mm																						
0.52	35	30	27	25	24	23	22	21	20	20	19	18	17	17	16	15	14	13	12	10	9	8
0.55	35	31	28	26	24	23	22	21	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	12	11	10	8
0.60	36	32	29	27	25	24	23	22	21	21	20	19	18	17	17	16	14	13	12	11	10	9
0.75	39	34	31	29	27	26	25	24	23	22	21	20	19	19	18	17	16	14	13	12	11	9
0.80	40	35	32	29	28	26	25	24	23	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	12	11	9
1.1	44	39	35	33	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	19	18	16	15	13	12	11
1.5	49	43	39	36	34	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	21	19	18	17	15	13	12
2.2	56	49	44	41	39	37	35	34	33	32	31	29	28	27	26	24	22	21	19	17	15	13
2.7	60	52	47	44	41	39	38	36	35	34	33	31	30	29	28	26	24	22	20	18	16	14
3	62	54	49	46	43	41	39	37	36	35	34	32	31	30	29	27	25	23	21	18	17	15
4	68	60	54	50	47	45	43	41	40	39	37	36	34	33	32	29	27	25	23	20	18	16
5.5	76	66	60	56	53	50	48	46	44	43	42	40	38	36	35	33	30	28	26	23	21	18
7.5	84	73	67	62	58	55	53	51	49	48	46	44	42	40	39	36	33	31	29	25	23	20
10	92	81	73	68	64	61	58	56	54	52	51	48	46	44	43	40	37	34	32	28	25	22
11	95	83	76	70	66	63	60	58	56	54	53	50	48	46	44	41	38	35	33	29	26	23
13	101	90	80	74	70	66	64	61	59	57	56	53	50	49	47	43	40	37	35	30	27	24
17	110	96	88	81	76	73	69	67	64	62	61	58	55	53	51	48	44	41	38	33	30	26
20	116	101	92	86	80	76	73	70	68	66	64	61	58	56	54	50	46	43	40	35	32	28
22	120	105	95	89	83	79	76	73	70	68	66	63	60	58	56	52	48	44	41	36	33	28
25	125	110	100	92	87	83	79	76	73	71	69	66	63	60	58	54	50	46	43	37	34	30
30	133	116	106	98	92	88	84	81	78	76	73	70	67	64	62	57	53	49	46	40	36	32
32	136	119	108	100	94	90	86	82	80	77	75	71	68	65	63	59	54	50	47	41	37	32
40	150	131	119	111	104	99	95	91	86	85	83	78	75	72	70	65	60	55	51	44	40	35
55	163	143	129	120	113	107	103	99	95	92	90	85	82	78	76	70	65	60	56	49	44	39
75	181	158	144	133	125	119	114	110	106	102	100	95	90	87	84	78	72	67	62	54	49	43
100	199	174	158	147	138	131	125	121	116	113	110	104	100	96	92	86	79	73	68	59	54	47

注:本表为实心轴且未考虑键槽的影响。

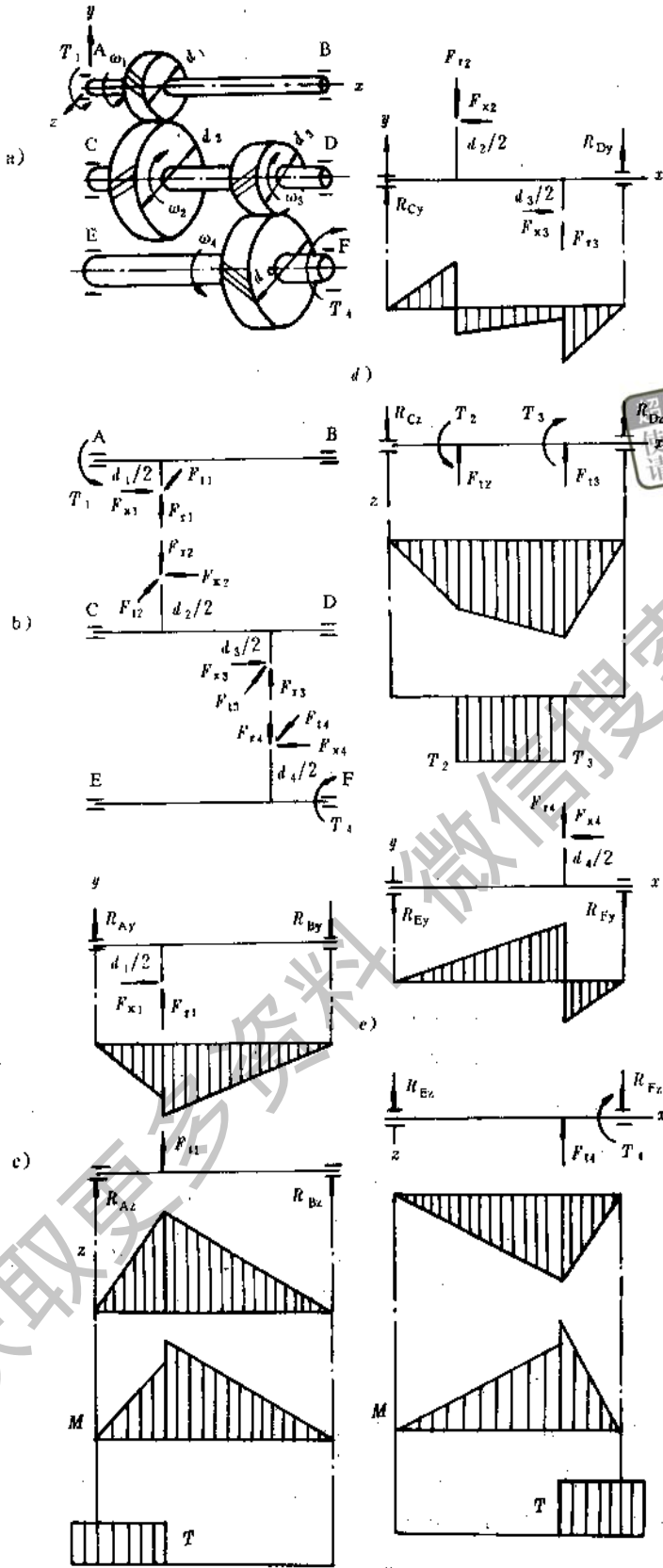


图 20-3 斜齿圆柱齿轮轴的负荷图

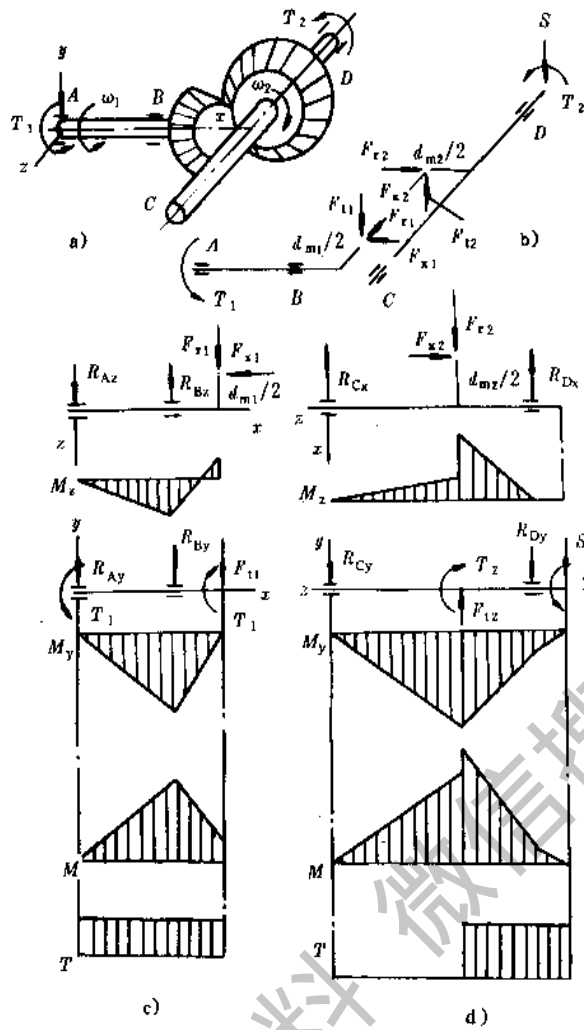


图 20-4 锥齿轮轴的负荷图

表 20-13 按许用弯曲应力计算公式

轴 别	公 式	说 明
实 心 轴	$\sigma = \frac{10^4 \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{d^3} \leq [\sigma] \text{ MPa}$ $d \geq \sqrt[3]{\frac{10^4 \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{[\sigma]}} \text{ mm}$	式中： $\sigma$ ——轴计算截面上的工作应力 MPa $d$ ——轴计算截面上的直径 mm $M$ ——轴计算截面上的合成弯矩 N·m $T$ ——轴计算截面上的转矩 N·m $\alpha$ ——考虑转矩和弯矩的作用性质差异的系数 当扭剪应力按对称循环变化时 $\alpha = 1$ 当扭剪应力按脉动循环变化时 $\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_0]} \approx 0.6$ 当扭剪应力不变化时 $\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_{+1}]} \approx 0.3$ $[\sigma_{-1}]、[\sigma_0]、[\sigma_{+1}]$ ——分别为对称循环、脉动循环、静应力的许用弯曲应力 MPa, 见表 20 14 $\beta$ ——空心轴内径 $d_0$ 与外径 $d$ 之比
空 心 轴	$\sigma = \frac{10^4 \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{d^3} \frac{1}{(1-\beta^4)} \leq [\sigma] \text{ MPa}$ $d \geq \sqrt[3]{\frac{10^4 \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{[\sigma]}} \sqrt[3]{\frac{1}{(1-\beta^4)}} \text{ mm}$	

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识

表 20-14 轴的许用弯曲应力  $[\sigma]$

MPa

材 料	$\sigma_b$	$[\sigma_{+1}]$	$[\sigma_0]$	$[\sigma_{-1}]$
碳 钢	400	130	70	40
	500	170	75	45
	600	200	95	55
	700	230	110	65
合 金 钢	800	270	130	75
	900	300	140	80
	1000	330	150	
	1200	400	180	
铸 钢	400	100	50	30
	500	120	70	40
灰 铸 铁	400	65	35	25

超星浏览器提醒您：  
使用本产品  
请尊重相关知识版权

1.3.3 安全系数的精确校核计算

之后，作用于轴上载荷和支反力均已确定的基础上进行。其校核公式为

对于重要的轴，应精确考虑影响轴强度的有关因素（如应力集中、表面状态和绝对尺寸等），按安全系数校核各危险截面，借以精确评定轴的安全裕度。

$$S = \frac{S_1 S_2}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \geq [S] \quad (20-1)$$

式中  $S_1$ ——只考虑弯矩作用时的安全系数；  
 $S_2$ ——只考虑转矩作用时的安全系数；

1) 疲劳强度的安全系数校核

$[S]$ ——疲劳强度计算的许用安全系数，见表 20-15。

轴的这种校核计算是经过初步计算和结构设计

表 20-15 许用安全系数  $[S]$ 、 $[S_1]$

疲 劳 强 度 计 算		静 强 度 计 算	
计 算 精 确 程 度	$[S]$	计 算 精 确 程 度	$[S_1]$
载荷可以精确计算，材料性能确有把握时；	1.3~1.5	最大载荷作用时间极少，其数值可精确求得时；	
计算不够精确，材质不够均匀时；	1.5~1.8	高塑性材料 ( $\sigma_s/\sigma_b \leq 0.6$ ) 的钢轴；	1.2~1.4
计算的精确性很差，材质均匀性很差时	1.8~2.5	中等塑性 ( $\sigma_s/\sigma_b = 0.6 \sim 0.8$ ) 的钢轴；	1.4~1.8
		低塑性的钢轴；	1.8~2.0
		铸造以及脆性材料的轴；	2.0~3.0
		最大载荷很难准确计算时	3~4

注：当轴的损坏要引起严重事故时，上述安全系数还应适当加大 30%~50%。

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\beta \epsilon_\sigma} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \quad (20-2)$$

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_\tau}{\beta \epsilon_\tau} \tau_a + \psi_\tau \tau_m} \quad (20-3)$$

- $\sigma_{-1}, \tau_{-1}$  分别为对称循环应力时试件的弯曲和扭转疲劳极限, MPa, 见 20-1;
- $\sigma_a, \sigma_m$  分别为弯曲应力的应力幅和平均应力, MPa;
- $\tau_a, \tau_m$  分别为扭剪应力的应力幅和平均应力, MPa;
- $K_\sigma, K_\tau$  分别为弯曲和扭转时的有效应力集中系数, 其值见表 20-16~18;
- $\beta$  表面质量系数, 见表 20-19~21;
- $\psi_\sigma, \psi_\tau$  分别为弯曲和扭转时平均应力折

合为应力幅的等效系数, 见表 20-1 的注;

$\epsilon_\sigma, \epsilon_\tau$  分别为弯曲和扭转时的绝对尺寸的影响系数, 见表 20-22。

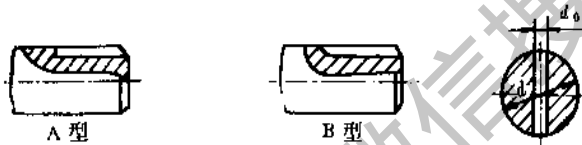
在通常情况下弯矩引起对称循环的弯曲应力, 而转矩引起的剪应力常视为脉动循环变化, 因此:

$$\sigma_a = \frac{M}{W}, \sigma_m = 0;$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{T}{2W_p}$$

式中  $M, T$  分别为计算截面的弯矩和转矩, N·m;  
 $W, W_p$  分别为轴计算截面的抗弯和抗扭截面系数,  $\text{cm}^3$ , 见表 20-23~27。

表 20-16 螺纹、键、花键、横孔处及配合的边缘处的有效应力集中系数



$\sigma_b$ MPa	螺纹 ( $K_r=1$ ) $K_\sigma$	键 槽		花 键		横 孔			配 合							
		$K_\sigma$		$K_\tau$	$K_\sigma$			H7/r6		H7/k6		H7/n6				
		A 型	B 型		A, B 型	矩形	渐开线形	$\frac{d_0}{d}=0.05$ ~0.15	$\frac{d_0}{d}=0.15$ ~0.25	$\frac{d_0}{d}=0.05$ ~0.25	$K_\sigma$	$K_\tau$	$K_\sigma$	$K_\tau$	$K_\sigma$	$K_\tau$
400	1.45	1.51	1.30	1.20	1.35	2.10	1.40	1.90	1.70	1.70	2.05	1.55	1.55	1.25	1.33	1.14
500	1.78	1.64	1.38	1.37	1.45	2.25	1.43	1.95	1.75	1.75	2.30	1.69	1.72	1.36	1.49	1.23
600	1.96	1.76	1.46	1.54	1.55	2.35	1.46	2.00	1.80	1.80	2.52	1.82	1.89	1.46	1.64	1.31
700	2.20	1.89	1.54	1.71	1.60	2.45	1.49	2.05	1.85	1.80	2.73	1.96	2.05	1.56	1.77	1.40
800	2.32	2.01	1.62	1.88	1.65	2.55	1.52	2.10	1.90	1.85	2.96	2.09	2.22	1.65	1.92	1.49
900	2.47	2.14	1.69	2.05	1.70	2.65	1.55	2.15	1.95	1.90	3.18	2.22	2.39	1.76	2.08	1.57
1000	2.61	2.26	1.77	2.22	1.72	2.70	1.58	2.20	2.00	1.90	3.41	2.36	2.56	1.86	2.22	1.66
1200	2.90	2.50	1.92	2.39	1.75	2.80	1.60	2.30	2.10	2.00	3.87	2.62	2.90	2.05	2.5	1.83

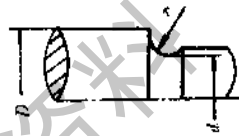
注: 1. 滚动轴承与轴的配合按 H7/r6 配合选择系数;  
 2. 蜗杆螺旋根部有效应力集中系数可取  $K_\sigma=2.3\sim 2.5$ ;  $K_\tau=1.7\sim 1.9$ 。

表 20-17 圆角处的有效应力集中系数



$\frac{D-d}{r}$	$\frac{r}{d}$	$K_\sigma$						$K_\tau$									
		$\sigma_b$ MPa															
		400	500	600	700	800	900	1000	1200	400	500	600	700	800	900	1000	1200
2	0.01	1.34	1.36	1.38	1.40	1.41	1.43	1.45	1.49	1.26	1.28	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31	1.32
	0.02	1.41	1.44	1.47	1.49	1.52	1.54	1.57	1.62	1.33	1.35	1.36	1.37	1.37	1.38	1.39	1.42
	0.03	1.59	1.63	1.67	1.71	1.76	1.80	1.84	1.92	1.39	1.40	1.42	1.44	1.45	1.47	1.48	1.52
	0.05	1.54	1.59	1.64	1.69	1.73	1.78	1.83	1.93	1.42	1.43	1.44	1.46	1.47	1.50	1.51	1.54
	0.10	1.38	1.44	1.50	1.55	1.61	1.66	1.72	1.83	1.37	1.38	1.39	1.42	1.43	1.45	1.46	1.50
4	0.01	1.51	1.54	1.57	1.59	1.62	1.64	1.67	1.72	1.37	1.39	1.40	1.42	1.43	1.44	1.46	1.47
	0.02	1.76	1.81	1.86	1.91	1.96	2.01	2.06	2.16	1.53	1.55	1.58	1.59	1.61	1.62	1.65	1.68
	0.03	1.76	1.82	1.88	1.94	1.99	2.05	2.11	2.23	1.52	1.54	1.57	1.59	1.61	1.64	1.66	1.71
	0.05	1.70	1.76	1.82	1.88	1.95	2.01	2.07	2.19	1.50	1.53	1.57	1.59	1.62	1.65	1.68	1.74
6	0.01	1.86	1.90	1.94	1.99	2.03	2.08	2.12	2.21	1.54	1.57	1.59	1.61	1.64	1.66	1.68	1.73
	0.02	1.90	1.96	2.02	2.03	2.13	2.19	2.25	2.37	1.59	1.62	1.66	1.69	1.72	1.75	1.79	1.86
	0.03	1.89	1.96	2.03	2.10	2.16	2.23	2.30	2.44	1.61	1.65	1.68	1.72	1.74	1.77	1.81	1.88
10	0.01	2.07	2.12	2.17	2.23	2.28	2.34	2.39	2.50	2.12	2.18	2.24	2.30	2.37	2.42	2.48	2.60
	0.02	2.09	2.16	2.23	2.30	2.38	2.45	2.52	2.66	2.03	2.08	2.12	2.17	2.22	2.26	2.31	2.40

表 20-18 环槽处的有效应力集中系数



系 数	$\frac{D-d}{r}$	$\frac{r}{d}$	$\sigma_b$ MPa							
			400	500	600	700	800	900	1000	1200
$K_\sigma$	1	0.01	1.88	1.93	1.98	2.04	2.09	2.15	2.20	2.31
		0.02	1.79	1.84	1.89	1.95	2.00	2.06	2.11	2.22
		0.03	1.72	1.77	1.82	1.87	1.92	1.97	2.02	2.12
		0.05	1.61	1.66	1.71	1.77	1.82	1.88	1.93	2.04
		0.10	1.44	1.48	1.52	1.55	1.59	1.62	1.66	1.73
	2	0.01	2.09	2.15	2.21	2.27	2.37	2.39	2.45	2.57
		0.02	1.99	2.05	2.11	2.17	2.23	2.28	2.35	2.49
		0.03	1.91	1.97	2.03	2.08	2.14	2.19	2.25	2.36
		0.05	1.79	1.85	1.91	1.97	2.03	2.09	2.15	2.27
		4	0.01	2.29	2.36	2.43	2.50	2.56	2.63	2.70
0.02	2.18		2.25	2.32	2.38	2.45	2.51	2.58	2.71	
0.03	2.10		2.16	2.22	2.28	2.35	2.41	2.47	2.59	
6	0.01	2.38	2.47	2.56	2.64	2.73	2.81	2.90	3.07	
	0.02	2.28	2.35	2.42	2.49	2.56	2.63	2.70	2.84	



续表 20-18

系 数	$\frac{D-d}{r}$	$\frac{r}{d}$	$\sigma_b$ MPa							
			400	500	600	700	800	900	1000	1200
$K_r$	任何比值	0.01	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.40
		0.02	1.51	1.60	1.69	1.77	1.86	1.94	2.03	2.20
		0.03	1.44	1.52	1.60	1.67	1.75	1.82	1.90	2.05
		0.05	1.34	1.40	1.46	1.52	1.57	1.63	1.69	1.81
		0.10	1.17	1.20	1.23	1.26	1.28	1.31	1.34	1.40

表 20-19 不同表面粗糙度的表面质量系数  $\beta$ 

加工方法	轴表面粗糙度	$\sigma_b$ MPa		
		400	800	1200
磨 削	$R_a$ 0.4~0.2	1	1	1
车 削	$R_a$ 3.2~0.8	0.95	0.90	0.80
粗 车	$R_a$ 25~6.3	0.85	0.80	0.65
未加工表面		0.75	0.65	0.45

表 20-20 各种强化方法的表面质量系数  $\beta$ 

强化方法	心部强度 $\sigma_b$ MPa	$\beta$		
		光 轴	低应力集中的轴 $K_r \leq 1.5$	高应力集中的轴 $K_r \geq 1.8 \sim 2$
高频淬火	600~800	1.5~1.7	1.6~1.7	2.4~2.8
	800~1000	1.3~1.5		
氮 化	900~1200	1.1~1.25	1.5~1.7	1.7~2.1
渗 碳	100~600	1.8~2.0	3	
	700~800	1.4~1.5		
	1000~1200	1.2~1.3	2	
喷丸强化	600~1500	1.1~1.25	1.5~1.6	1.7~2.1
滚子滚压	600~1500	1.1~1.3	1.3~1.5	1.6~2.0

注：1. 高频淬火系根据直径为10~20mm，淬硬层厚度为(0.05~0.20) $d$ 的试件实验求得的数据；对大尺寸的试件强化系数的值会有某些降低；

2. 氮化层厚度为0.01 $d$ 时用小值；在(0.03~0.04) $d$ 时用大值；

3. 喷丸硬化系根据8~40mm的试件求得的数据。喷丸速度低时用小值，速度高时用大值；

4. 滚子滚压系根据17~130mm试件求得的数据。

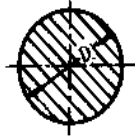
表 20-21 各种腐蚀情况的表面质量系数  $\beta$ 

工 作 条 件	抗拉强度 $\sigma_b$ MPa										
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
淡水中，有应力集中	0.7	0.63	0.56	0.52	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.35	0.33
淡水中，无应力集中	0.58	0.50	0.44	0.37	0.33	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19
海水中，有应力集中											
海水中，无应力集中	0.37	0.30	0.26	0.23	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.12

表 20-22 绝对尺寸影响系数  $\epsilon_d$ 、 $\epsilon_r$

直径 $d$ mm		>20 ~30	>30 ~40	>40 ~50	>50 ~60	>60 ~70	>70 ~80	>80 ~100	>100 ~120	>120 ~150	>150 ~500
$\epsilon_d$	碳 钢	0.91	0.88	0.84	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.60
	合 金 钢	0.83	0.77	0.73	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.54
$\epsilon_r$	各 种 钢	0.89	0.81	0.78	0.76	0.74	0.73	0.72	0.70	0.68	0.60

表 20-23 圆形截面的截面系数

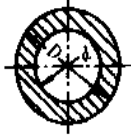


浏览器提醒您：  
抗弯截面系数  
 $W = \frac{\pi D^3}{32} \approx 0.1D^3$   
抗扭断面系数  
 $W_p = \frac{\pi D^3}{16} \approx 0.2D^3$

$D$ mm	$W$	$W_p$	$D$ mm	$W$	$W_p$	$D$ mm	$W$	$W_p$
20	0.785	1.571	52	13.80	27.60	115	149.3	299
21	0.909	1.818	55	16.38	32.7	120	169.6	339
22	1.045	2.090	58	19.16	38.3	125	191.7	383
23	1.194	2.39	60	21.2	42.4	130	216	431
24	1.375	2.71	62	23.4	46.8	135	242	483
25	1.534	3.07	65	27.0	53.9	140	269	539
26	1.726	3.45	68	30.9	61.7	145	299	599
28	2.16	4.31	70	33.7	67.3	150	331	663
30	2.65	5.30	72	36.6	73.3	155	366	731
32	3.22	6.43	75	41.4	82.8	160	402	804
34	3.86	7.72	78	46.6	93.2	165	441	882
35	4.21	8.42	80	50.3	100.5	170	482	965
36	4.58	9.16	82	54.1	108.3	175	526	1053
38	5.39	10.77	85	60.3	120.5	180	573	1145
40	6.28	12.57	88	66.9	133.8	185	622	1243
42	7.27	14.55	90	71.6	143.1	190	673	1347
44	8.36	16.73	92	76.5	152.9	195	728	1456
45	8.96	17.89	95	84.2	168.3	200	785	1571
46	9.56	19.11	98	92.4	184.8			
47	10.19	20.4	100	98.2	196.4			
48	10.86	21.7	105	113.7	220.7			
50	12.27	24.5	110	130.7	261			

cm<sup>3</sup>

表 20-24 空心轴的系数



抗弯截面系数

$$W' = \zeta W$$

抗扭截面系数

$$W'_P = \zeta W_P$$

$W, W_P$  见表 20-23

$d/D$	$\zeta$	$d/D$	$\zeta$	$d/D$	$\zeta$
0	1	0.57	0.895	0.79	0.610
0.20	0.998	0.58	0.888	0.80	0.590
0.25	0.996	0.59	0.879	0.81	0.569
0.30	0.992	0.60	0.870	0.82	0.548
0.35	0.985	0.61	0.862	0.83	0.526
0.40	0.974	0.62	0.852	0.84	0.501
0.41	0.972	0.63	0.842	0.85	0.478
0.42	0.969	0.64	0.833	0.86	0.452
0.43	0.966	0.65	0.822	0.87	0.427
0.44	0.963	0.66	0.811	0.88	0.400
0.45	0.959	0.67	0.800	0.89	0.372
0.46	0.956	0.68	0.787	0.90	0.343
0.47	0.952	0.69	0.773	0.91	0.314
0.48	0.947	0.70	0.760	0.92	0.284
0.49	0.942	0.71	0.747	0.93	0.252
0.50	0.938	0.72	0.731	0.94	0.219
0.51	0.932	0.73	0.718	0.95	0.185
0.52	0.927	0.74	0.701	0.96	0.151
0.53	0.921	0.75	0.684	0.97	0.115
0.54	0.915	0.76	0.666	0.98	0.077
0.55	0.909	0.77	0.648	0.99	0.040
0.56	0.901	0.78	0.630	1.00	0

超星阅读器提醒您：  
使用本产品  
请尊重相关知识产权

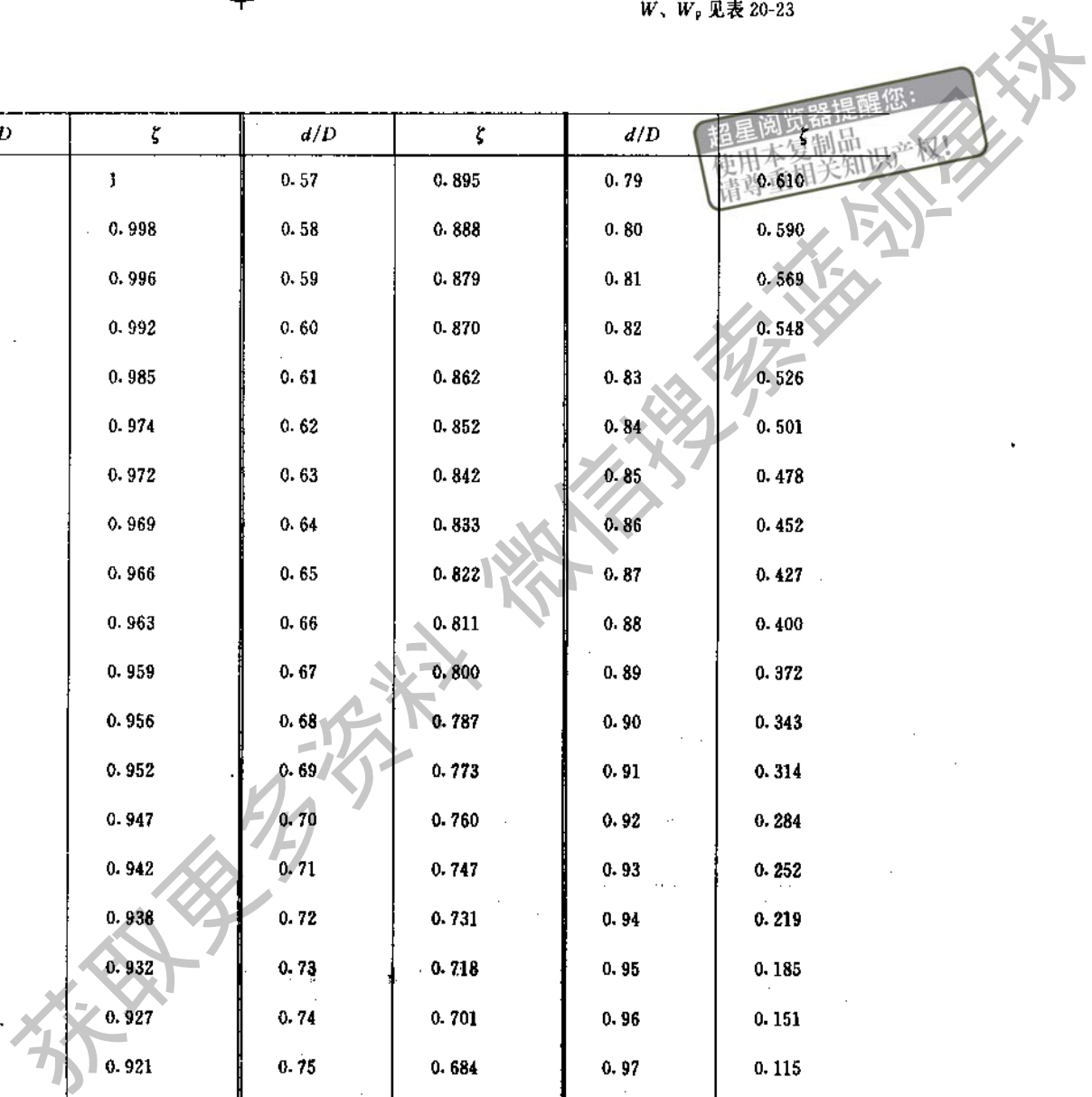
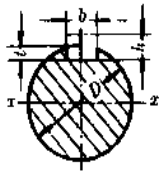


表 20-25 轴上开有平键槽时的截面系数

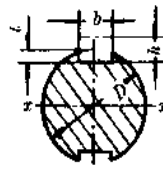
cm<sup>3</sup>



抗弯截面系数  

$$W = \frac{\pi D^3}{32} \frac{bt(D-t)^2}{2D}$$
 抗扭截面系数  

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16} \frac{bt(D-t)^2}{2D}$$



抗弯截面系数  

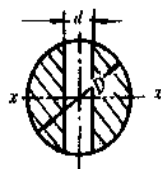
$$W = \frac{\pi D^3}{32} \frac{bt(D-t)^2}{D}$$
 抗扭截面系数  

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16} \frac{bt(D-t)^2}{D}$$

D mm	b×h mm	单 键		双 键		D mm	b×h mm	单 键		双 键	
		W	W <sub>p</sub>	W	W <sub>p</sub>			W	W <sub>p</sub>	W	W <sub>p</sub>
20	6×6	0.643	1.43	0.5	0.28	65	18×11	23.72	50.87	20.44	47.44
21		0.756	1.66	0.603	1.51	70	20×12	29.5	68.18	25.32	58.98
22		0.889	1.92	0.719	1.78	75		36.87	78.3	32.32	73.74
24	8×7	1.06	2.42	0.825	2.13	80	22×14	44.85	94.32	37.78	89.7
25		1.25	2.79	0.97	2.5	85		53.67	114.05	46.98	107.32
26		1.43	3.15	1.13	2.85	90	25×14	63.4	134.9	55.08	126.7
28		1.83	3.98	1.49	3.65	95		75.44	159.63	66.7	150.87
30	2.29	4.94	1.93	4.58	100	28×16	87.89	168.09	77.6	175.76	
32	2.65	5.86	2.08	5.30	105		101.65	215.32	89.68	203.3	
34	3.24	7.14	2.62	6.48	110		118	248.7	105.3	236	
35	3.57	7.78	2.93	7.14	115		132.8	282	116	265.6	
38	4.67	10.05	3.95	9.34	120	32×18	152.3	322	135	304.5	
40	5.36	11.65	4.45	10.72	130		196.5	412	177	393	
42	6.30	13.57	5.32	12.59	140	36×20	244	514	219	488	
45	7.61	16.56	6.29	15.23	150		304	635	276.6	608	
48	9.41	20.27	7.97	18.82	160	40×22	367	769	332	734	
50	10.75	23.02	9.22	21.5	170		444.7	927	407	889	
52	11.85	25.66	9.90	23.7	180	45×25	521	1094	470	1042	
55	14.24	30.58	12.14	28.48	190		619	1293	565	1238	
58	16.92	36.08	14.69	33.84	200		728	1513	670	1455	

注：表中键槽尺寸适用于 GB 1095—90 的平键。

表 20-26 截面上有横孔时的截面系数



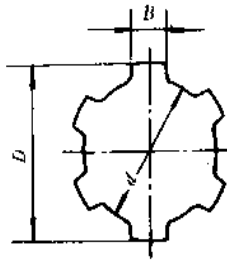
抗弯截面系数  $W' = \frac{\pi D^3}{32} \left( 1 - 1.54 \frac{d}{D} \right) = \zeta W$

抗扭截面系数  $W_p' = \frac{\pi D^3}{16} \left( 1 - \frac{d}{D} \right) = \zeta_p W_p$

W 和 W<sub>p</sub> 值见表 20-23

d/D	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
ζ	1.000	0.925	0.850	0.775	0.700	0.625	0.550	0.475	0.400	0.330	0.270	0.215	0.170
ζ <sub>p</sub>	1.000	0.964	0.926	0.884	0.840	0.791	0.740	0.686	0.630	0.573	0.515	0.458	0.400

表 20-27 矩形花键轴的截面系数



抗弯截面系数

$$W = \frac{\pi d^4 + B \times N (D-d) (D+d)^2}{32D}$$

抗扭截面系数

$$W_p = \frac{\pi d^4 + B \times N (D-d) (D+d)^2}{16D}$$

N——花键键数

规格 N×d×D×B GB 1144-87	W cm <sup>3</sup>	W <sub>p</sub> cm <sup>3</sup>	规格 N×d×D×B GB 1144-87	W cm <sup>3</sup>	W <sub>p</sub> cm <sup>3</sup>
轻 系 列			中 系 列		
—	—	—	6×11×14×3	0.178	0.356
—	—	—	6×13×16×3.5	0.278	0.556
—	—	—	6×16×20×4	0.516	1.036
—	—	—	6×18×22×5	0.741	1.482
—	—	—	6×21×25×5	1.081	2.162
6×23×26×6	1.368	2.736	6×23×28×6	1.504	3.008
6×26×30×6	1.965	3.93	6×26×32×6	2.112	4.224
6×28×32×7	2.476	4.952	6×28×34×7	2.665	5.33
8×32×36×6	3.63	7.26	8×32×38×6	3.869	7.738
8×36×40×7	5.133	10.266	8×36×42×7	5.447	10.894
8×42×46×8	7.987	15.974	8×42×48×8	8.389	16.778
8×46×50×9	10.450	20.90	8×46×54×9	11.473	22.946
8×52×58×10	15.505	31.01	8×52×60×10	16.144	32.288
8×56×62×10	18.941	37.882	8×56×65×10	19.922	39.844
8×62×68×12	28.304	56.608	8×62×72×12	27.629	55.258
10×72×78×12	40.315	80.63	10×72×82×12	43.020	86.04
10×82×88×12	57.829	115.658	10×82×92×12	60.587	121.174
10×92×98×14	81.436	162.872	10×92×102×14	85.095	170.19
10×102×108×16	110.646	221.292	10×102×112×16	115.326	230.652
14×112×120×18	148.917	297.834	10×112×125×18	156.442	312.884

注：d、D、B的单位为mm。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

2) 静强度的安全系数校核

$[S_s]$  静强度计算的许用安全系数, 见表 20-15。

轴的静强度校核的目的在于评定轴对塑性变形的抵抗能力。静强度校核的根据是轴上作用的最大瞬时载荷(包括动载荷和冲击载荷)。对于没有特殊安全保护装置的传动, 其最大瞬时载荷可按电机过载能力一倍来计算。危险截面的位置应是静应力较大的若干截面。

危险截面的安全系数的校核公式为:

$$S_s = \frac{S_{S\sigma} S_{S\tau}}{\sqrt{S_{S\sigma}^2 + S_{S\tau}^2}} \geq [S_s] \quad (20-4)$$

式中  $S_{S\sigma}$ ——只考虑弯曲时静强度的安全系数;

$S_{S\tau}$ ——只考虑扭转时静强度的安全系数;

$$S_{S\sigma} = \frac{\sigma_s}{\frac{M_{\max}}{W}}$$

$$S_{S\tau} = \frac{\tau_s}{\frac{T_{\max}}{W_p}}$$

$\sigma_s, \tau_s$ ——分别为材料的抗拉和抗扭屈服限, MPa; 通常可取  $\tau_s \approx (0.55 \sim 0.62) \sigma_s$ ;

$M_{\max}, T_{\max}$ ——轴的危险截面上所受的最大弯矩和最大转矩, Nm;

1.4 轴的刚度校核

轴的刚度分为弯曲刚度和扭转刚度两种。前者以挠度  $y$  或偏转角  $\theta$  来度量; 后者以扭转角  $\varphi$  来度量。轴的刚度计算的目的在于计算其变形量, 使之不大于允许值。其允许值见表 20-28。

1.4.1 轴的弯曲刚度校核

轴在载荷作用下若产生过大的弯曲变形, 会影响轴上零件的正常工作。例如, 安装齿轮的轴, 如轴的弯曲刚度不足而产生过大的挠度  $y$  和偏转角  $\theta$ , 会使齿轮轮齿啮合发生偏载。在电机中, 轴的过大挠度  $y$  会改变电机转子与定子间的间隙, 使电机性能恶化。在滑动轴承中运转的轴颈, 轴的偏转角  $\theta$  过大, 会使轴承与轴颈发生边缘接触, 加剧磨损和导致胶合。对于用滚动轴承支承的轴, 偏转角  $\theta$  会使轴承内、外套圈互相倾斜, 如偏转角超过滚动轴承的允许转角, 就显著降低滚动轴承的使用寿命。因此, 设计一般机器中的轴时, 通常要对轴的弯曲刚度提出要求。

表 20-28 轴的变形允许值

变形种类	度量参数	名 称	变 形 允 许 值	说 明
弯曲变形	挠度 $y$	一般用途的轴	$[y] = (0.0003 \sim 0.0005) L$	$L$ ——支承间跨度; $\delta$ ——电动机定子与转子间的气隙; $m_n$ ——齿轮法面模数; $m_a$ ——蜗轮端面模数
		刚度要求高的轴 (例如机床的轴)	$[y] = 0.0002L$	
弯曲变形	偏转角 $\theta$ rad	安装齿轮的轴	$[y] = (0.01 \sim 0.03) m_n$	
		安装蜗轮的轴	$[y] = (0.02 \sim 0.05) m_a$	
		感应电动机轴	$[y] \leq 0.1\delta$	
		装齿轮处	$[\theta] = 0.001 \sim 0.002$	
		滑动轴承处	$[\theta] = 0.001$	
		深沟球轴承	$[\theta] = 0.005$	
扭转变形	扭转角 $\varphi$	调心轴承	$[\theta] = 0.05$	
		圆柱滚子轴承	$[\theta] = 0.0025$	
		圆锥滚子轴承	$[\theta] = 0.0016$	
		一般轴	$[\varphi] = 0.5^\circ \sim 1^\circ/m$	
扭转变形	扭转角 $\varphi$	精密传动轴	$[\varphi] = 0.25^\circ \sim 0.5^\circ/m$	
		对于要求不严的轴	$[\varphi] \geq 1^\circ/m$	
		重型机床走刀轴	$[\varphi] = 5^\circ/m$	
		起重机传动轴	$[\varphi] = 15' \sim 20' /m$	



超星阅读器提醒你：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

要精确计算出轴的弯曲变形是比较困难的，由于轴承间隙、箱体刚度、配合在轴上的零件的刚度，以及轴的局部削弱等都影响到轴的变形。因此，在计算中要进行不同程度的简化。

轴的弯曲变形计算，可采用材料力学的图解法、当量直径法或能量法。图解法比较适用于求轴上多点变形量或整根轴的挠度曲线；当量直径法是把阶梯轴当作直径为  $d_m$  的等直径轴来计算，只适用于对各段直径相差很小的阶梯轴的近似计算；当只需比较精确的计算轴上某几个特定点的变形或利用计算机时，可用能量法。

用能量法计算轴的弯曲变形时，需先绘制轴的结构外形和弯矩  $M$  图（图 20-5a, b）；若欲求轴上 A 点的挠度，则在 A 点作用以单位力  $F_i=1$ （与变形方向相同），并绘出弯矩图  $M'$ （图 20-5c）。如欲求 B 点的倾角，则在 B 点作用以单位力矩  $M_i=1$ （与变形方向相同），并绘出其弯矩图  $M'$ （图 20-5d），而后将轴分为若干段，每段的  $M$ 、 $M'$ 、 $I$  均是连续的（如图 a、b、c 分为六段），其变形量可用下式来求：

$$\Delta_i = \sum_{(s)} \int \frac{MM'}{EI} ds \quad (20-5)$$

式中  $\Delta_i$  断面之处的变形量（挠度或倾角）；

$M$ ——轴上载荷产生的弯矩；

$M'$  在  $i$  断面处加单位载荷轴上所产生的弯矩（求挠度时，单位载荷是指单位力；求倾角时单位载荷系指单位力

- 矩）；
- $I$ ——截面的惯性矩；
- $S$ ——将轴分为若干段后，每段的长度；
- $E$  弹性模量；
- $\Sigma$ ——计算中各段积分之和，各种轴段的积分值列于表 20-29。

如果作用力不在同一平面内，应将作用力分解为水平面及垂直面上的力，分别求出水平面与垂直面的变形，然后按向量合成。

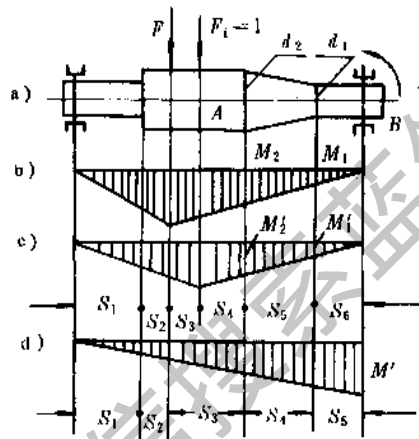


图 20-5 计算轴弯曲变形图

表 20-29  $M$  和  $M'$  弯矩图的积分值

弯矩图	轴段形状	$\int_{(s)} \frac{MM'}{EI} ds$
		$\frac{S}{0.294Ed^4} [M_1 (2M'_1 + M'_2) + M_2 (2M'_2 + M'_1)]$
		$\frac{S}{0.294Ed^3 d_1^2} [2d_1^3 M_1 M'_1 + d_1 d_2 (M_1 M'_2 + M'_1 M_2) + 2d_1^3 M'_2 M_2]$
		$\frac{S}{0.098Ed^4} (M'_1 + M'_2) M$
		$\frac{S}{0.294Ed^3 d_1^2} M' [2d_1^3 M'_1 + d_1 d_2 (M'_1 + M'_2) + 2d_1^3 M'_2]$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！  
续表 20-29

弯矩图	轴段形状	$\int_{(s)} \frac{MM'}{EI} ds$
		$\frac{S}{0.294Ed^4} M' (M_1 + 2M_2)$
		$\frac{S}{0.294Ed^4 d_2^3} (d_2 M_1 M' + 2d_1 M_2 M')$
		$\frac{S}{0.147Ed^4} MM'$
		$\frac{S}{0.147Ed_1 d_2^3} MM'$
		$\frac{S}{0.294Ed^4} MM'$
		$\frac{S}{0.294Ed_1 d_2^3} MM'$

- 注：1. 弯矩图中，其一选为载荷引起的，另一则作为单位载荷所引起的；  
2. 若  $M$  和  $M'$  方向相反，则其中之一取为“正”，另为“负”；  
3. 若空心圆柱形轴段时，则用  $d^4-d_0^4$  代替表中  $d^4$ ， $d_0$ —孔径。

### 1.4.2 轴的扭转刚度校核

轴的扭转刚度校核就是计算轴在工作时的扭转变形量。对于一般机器中的轴，扭转刚度并不是主要考虑的因素。但在某些类型机器中，轴的过大扭转变形会影响机器的性能和工作精度。例如，内燃机凸轮轴的扭转角  $\varphi$  如过大，会影响气门的正确启闭时间；

龙门式起重机运行部分传动轴的扭转角过大会影响驱动轮的同步性；对于有发生扭转振动危险的轴以及操纵系统中的轴都必须具有较大的扭转刚度。  
对于圆轴扭转角  $\varphi$  的计算公式列于表 20-30。

### 1.5 轴的设计实例

表 20-30 圆轴扭转角  $\varphi$  的计算公式

轴的类型	实心轴	空心轴
光轴	$\varphi = 584 \times 10^3 \frac{Tl}{Gd^4}$ 度	$\varphi = 584 \times 10^3 \frac{Tl}{G(d^4 - d_0^4)}$ 度
阶梯轴	$\varphi = \frac{584 \times 10^3}{G} \sum_{i=1}^n \frac{T_i l_i}{d_i^4}$ 度	$\varphi = \frac{584 \times 10^3}{G} \sum_{i=1}^n \frac{T_i l_i}{(d_i^4 - d_{0i}^4)}$ 度

- 注：T—轴传递的转矩 Nm；l—轴受转矩作用的长度 mm；  
d—轴的外直径 mm； $d_0$ —空心轴的内直径 mm；  
G—轴材料的切变模量 MPa；  
 $T_i$ 、 $l_i$ 、 $d_i$ 、 $d_{0i}$ —分别代表阶梯轴第 i 段上所传递的转矩、长度、直径和空心轴的内直径。

**例 20-1** 试设计皮带运输机减速器的主动轴 I (图 20-6)。已知传递的功率  $P=13\text{kW}$ 、转速  $n=200\text{r/min}$ ，齿轮 2 的齿宽  $B=100\text{mm}$ ，齿数  $z=40$ ，模数  $m_n=5\text{mm}$ ，螺旋角  $\beta=9^\circ 22'$ ，轴端装有联轴器 3。

解

### 1. 初步估算轴径和选择联轴器

选择轴的材料为 45 号钢，经调质后， $\sigma_b=637\text{MPa}$ ， $E=210\text{GPa}$ 。按表 20-12 查得轴径  $d=47\text{mm}$ 。考虑装联轴器加键，将其轴径增加 4~5%，故取锥形轴伸的大端直径为 50mm。

由表 23-2 查得  $K=1.25$ ，则计算转矩

$$\begin{aligned} T_c &= KT = K \cdot 9550 \frac{P}{n} \\ &= 1.25 \times 9550 \frac{13}{200} \\ &= 775.93 \text{ Nm} \end{aligned}$$

根据工作要求选择弹性柱销联轴器。依轴径  $d=50\text{mm}$  和  $T_c$  选择联轴器的型号为：HL4 联轴器 ZC50×84 GB 5014-85，允许最大转矩  $[T]=1250\text{YA}50 \times 112$  Nm。

### 2. 轴的结构设计

如图 20-6a 所示，根据轴的受力，选取 0000 型滚动轴承。为便于轴承的装配，取装轴承处的直径  $d_1=55\text{mm}$ ，装齿轮处的轴径  $d_2=60\text{mm}$ ， $a=b=80\text{mm}$ ， $c=170\text{mm}$ ， $D_1=150\text{mm}$ 。初选滚动轴承 311，其宽度  $B=29\text{mm}$ ，根据结构要求取轴环宽度为 15mm。

### 3. 轴上受力分析

轴传递的转矩  $T_1=9550 \frac{P}{n}=9550 \frac{13}{200}=620.75 \text{ N} \cdot \text{m} \approx 620750 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ；

$$\begin{aligned} \text{齿轮圆周力 } F_t &= \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 \times 620750}{40 \times 5 / \cos 9^\circ 22'} \\ &= 6124 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{齿轮的径向力 } F_r &= F_t \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = 6124 \frac{0.364}{0.986} \\ &= 2260 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{齿轮的轴向力 } F_x &= F_t \tan \beta = 6124 \times 0.164 = \\ &= 1004 \text{ N} \end{aligned}$$

联轴器因制造和安装误差所产生的附加圆周力  $F_0$  (方向不定，故图中以假想线表示)：

$$F_0 \approx 0.3 \frac{2T_1}{D_1} = 0.3 \frac{2 \times 620750}{150} = 2483 \text{ N}$$

在水平平面内的支反力 (图 20-6c)。

由  $\Sigma M_A=0$  得

$$R_{Bz}(a+b) - F_r \cdot a + F_x \frac{d_1}{2} = 0$$

$$R_{Bz} = \frac{F_r \cdot a - F_x \frac{d_1}{2}}{a+b}$$

$$= \frac{2260 \times 0.08 - 1004 \times \frac{0.202}{2}}{0.08 + 0.08} = 496 \text{ N}$$

由  $\Sigma F_z=0$ ，得  $R_{Az}=F_r - R_{Bz}=2260 - 496 = 1764 \text{ N}$

在垂直平面的支反力 (图 20-6e)，由图可知

$$R_{Ay}=R_{By}=\frac{1}{2} F_t = \frac{6124}{2} = 3062 \text{ N}$$

由于  $F_0$  的作用，在支点 A、B 处 (图 20-6g) 的支反力为：

$$\text{由 } \Sigma M_B=0 \text{ 得 } R_{A0}(a+b) - F_0 \cdot c = 0$$

$$\text{则 } R_{A0} = \frac{F_0 \cdot c}{a+b} = \frac{2483 \times 0.17}{0.08 + 0.08} = 2638 \text{ N}$$

$$R_{B0} = F_0 + R_{A0} = 2483 + 2638 = 5121 \text{ N}$$

### 4. 弯矩图

由于齿轮的作用力在水平平面的弯矩图 (图 20-6d)， $M_{Dz}=R_{Az} \cdot a = 1764 \times 0.08 = 141 \text{ N} \cdot \text{m}$ ；

$$M'_{Dz} = M_{Dz} - F_x \cdot \frac{d_1}{2} = 141 - 1004 \times \frac{0.202}{2} = 40 \text{ N} \cdot \text{m}$$

由于齿轮的作用力在垂直平面的弯矩图 (图 20-6f)， $M_{Dy}=R_{Ay} \cdot a = 3062 \times 0.08 = 245 \text{ N} \cdot \text{m}$ ；

由于齿轮作用力在 D 截面的最大合成弯矩  $M'_D = \sqrt{M_{Dz}^2 + M_{Dy}^2} = \sqrt{141^2 + 245^2} = 282 \text{ N} \cdot \text{m}$

由于  $F_0$  的作用作出的弯矩图 (图 20-6h)， $M_{B0} = F_0 \cdot c = 2483 \times 0.17 = 422 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。该弯矩图的作用平面不定，但当其与上述合成弯矩图共面时是危险情况。这时其弯矩为二者之和。如截面 D 的最大弯矩为：

$$M_D = M'_D + M_{B0} = 282 + 211 = 493 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 5. 转矩图 (图 20-6k)

$$T_1 = 620.75 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 6. 确定危险截面并计算其安全系数

根据轴的结构尺寸及弯矩图、转矩图，截面 B 处弯矩较大，且有轴承配合引起的应力集中；截面 E 处弯矩亦较大，直径较小，又有圆角引起的应力集中；截面 D 处弯矩最大，且有齿轮配合与键槽引起的应力集中，故属危险截面。下面以截面 D 为例进行其安全系数校核。

由于轴转动，弯矩引起对称循环的弯曲应力，其应力幅为

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

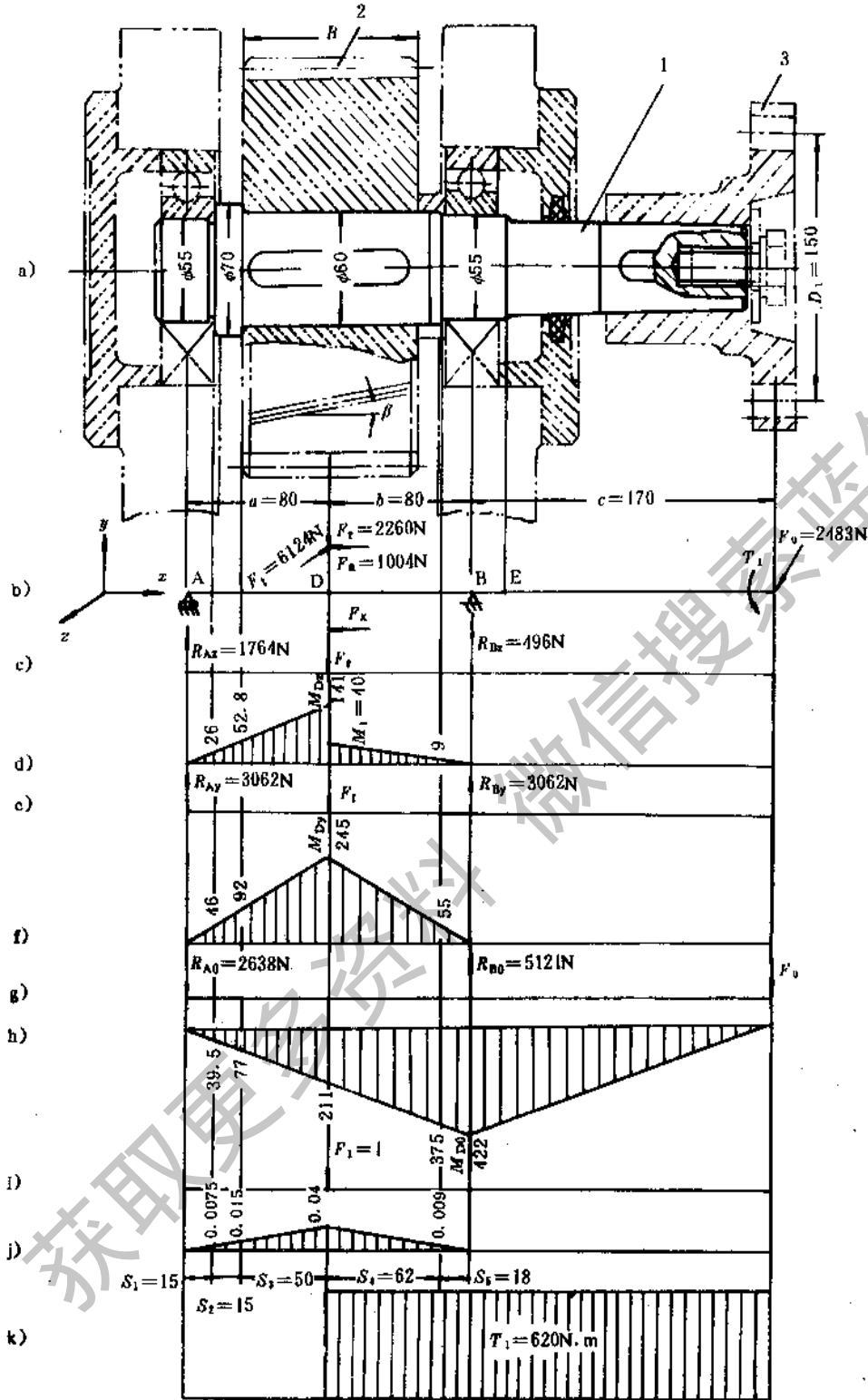


图 20-6 轴的载荷分布图

$$\sigma_a = \frac{M_D}{W} = \frac{493}{18.26} = 27 \text{MPa}$$

式中  $W$ ——抗弯截面系数，由表 20-25 查得。

$$W = 18.26 \text{cm}^3.$$

弯曲正应力的平均应力  $\sigma_m = 0$

根据公式 20-2

$$S_a = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_a}{\beta \epsilon_s} \sigma_a + \phi_s \sigma_m}$$

$$= \frac{268 \times 10^6}{\frac{2.62}{0.92 \times 0.81} \times 27 \times 10^6 + 0}$$

$$= 2.82$$

式中  $\sigma_{-1}$ ——材料在对称循环应力时试件的弯曲疲劳极限，由表 20-1 查得  $\sigma_{-1} = 268 \text{MPa}$ ；

$K_a$ ——正应力的有效应力集中系数，由表 20-16 按键查得  $K_a = 1.82$ ；按配合查得  $K_a = 2.62$ ，此处取  $K_a = 2.62$ ；

$\beta$ ——表面质量系数，轴经车削加工，由表 20-19 查得  $\beta = 0.92$ ；

$\epsilon_s$ ——尺寸系数，由表 20-22 查得  $\epsilon_s = 0.81$

转矩  $T_1 = 620.75 \text{Nm}$ ，考虑到轴上作用的转矩总是有些变动，故单向传递转矩的轴的扭剪应力一般视为脉动循环应力。

$$\tau_m = \tau_a = \frac{T_1}{2W_p} = \frac{620.75}{2 \times 39.47} = 7.86 \text{MPa}$$

式中  $W_p$ ——抗扭截面系数，由表 20-25 查得

$$W_p = 39.47 \text{cm}^3$$

根据公式 (20-3)

$$S_r = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_r}{\beta \epsilon_s} \tau_a + \phi_r \tau_m}$$

$$= \frac{155 \times 10^6}{\frac{1.88}{0.92 \times 0.76} 7.86 \times 10^6 + 0.1 \times 7.86 \times 10^6}$$

$$= 7.07$$

式中  $\tau_{-1}$ ——材料在对称循环应力时试件的扭转疲劳极限，由表 20-1 查得  $\tau_{-1} = 155 \text{MPa}$ ；由表 20-1 查得  $\phi_r = 0.1$ ；

$K_r$ ——剪应力的有效应力集中系数，由表 20-16，按键查得  $K_r = 1.61$ ；按配合查得  $K_r = 1.88$ ，此处取  $K_r = 1.88$ 。

$\beta$  的取值同正应力情况；

$\epsilon_s$ ——尺寸系数，由表 20-22 查得  $\epsilon_s = 0.76$ ，按

公式 (20-1)

$$S = \frac{S_a S_r}{\sqrt{S_a^2 + S_r^2}} = \frac{2.82 \times 7.07}{\sqrt{2.82^2 + 7.07^2}} = 2.62 \quad \text{可以}$$

### 7. 轴的弯曲刚度校核

轴上截面 D 的挠度  $y_D$ ，用能量法计算时，需在该截面上加单位力  $F_i = 1$  (图 20-6i)，其弯矩图如图 20-6j 所示。将轴分成五段，其各段长度、直径和弯矩值如图所示。根据公式 20-5 和表 20-29 计算 D 点之挠度。

由于齿轮作用力在水平平面内 D 截面的挠度为

$$y_{Dx} = \frac{1}{E} \sum \int \frac{MM'}{I} ds$$

$$= \frac{1}{210 \times 10^9} \left\{ \frac{15 \times 10^{-3}}{0.147 \times 55^4 \times 10^{-12}} \right.$$

$$\times 26.4 \times 0.0075 + \frac{15 \times 10^{-3}}{0.294 \times 70^4 \times 10^{-12}}$$

$$\times [26.4 (2 \times 0.0075 + 0.015)$$

$$+ 52.8 (2 \times 0.015 + 0.0075)]$$

$$+ \frac{50 \times 10^{-3}}{0.294 \times 60^4 \times 10^{-12}}$$

$$[52.8 (2 \times 0.015 + 0.04)$$

$$+ 141 (2 \times 0.04 + 0.015)]$$

$$+ \frac{62 \times 10^{-3}}{0.294 \times 60^4 \times 10^{-12}}$$

$$\times [9 (2 \times 0.009 + 0.04)$$

$$+ 40 (2 \times 0.04 + 0.009)]$$

$$\left. + \frac{18 \times 10^{-3}}{0.147 \times 55^4 \times 10^{-12}} \times 9 \times 0.009 \right\}$$

$$= 1.428 \times 10^{-6} \text{m}$$

由于齿轮作用力在垂直平面内 D 截面的挠度

$$y_{Dy} = \frac{1}{E} \sum \int \frac{MM'}{I} ds$$

$$= \frac{1}{210 \times 10^9} \left\{ \frac{15 \times 10^{-3}}{0.147 \times 55^4 \times 10^{-12}} \right.$$

$$\times 46 \times 0.0075 + \frac{15 \times 10^{-3}}{0.294 \times 70^4 \times 10^{-12}}$$

$$[46 (2 \times 0.0075 + 0.015)$$

$$+ 92 (2 \times 0.015 + 0.0075)]$$

$$+ \frac{50 \times 10^{-3}}{0.294 \times 60^4 \times 10^{-12}}$$

$$[92 (2 \times 0.015 + 0.04)$$

$$+ 245 (2 \times 0.04 + 0.015)]$$

$$+ \frac{62 \times 10^{-3}}{0.294 \times 60^4 \times 10^{-12}}$$

$$[55 (2 \times 0.009 + 0.04)$$

$$+ 244 (2 \times 0.04 + 0.009)]$$

$$\left. + \frac{18 \times 10^{-3}}{0.147 \times 55^4 \times 10^{-12}} \times 55 \times 0.009 \right\}$$

$$= 3.88 \mu\text{m}$$

由于齿轮作用力在 D 截面的合成挠度为

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
须知知识产权

$$y'_D = \sqrt{y_{Dz}^2 + y_{Dy}^2} = \sqrt{1.428^2 + 3.88^2} = 4.13 \mu\text{m}$$

由于  $F_0$  力的作用在 D 截面的挠度为

$$y_{DFO} = \frac{1}{E} \sum \int \frac{MM'}{I} ds$$

$$= \frac{1}{210 \times 10^9} \left\{ \frac{15 \times 10^{-3}}{0.147 \times 55^4 \times 10^{-12}} \times 39.5 \times 0.0075 + \frac{15 \times 10^{-3}}{0.294 \times 70^4 \times 10^{-12}} \right.$$

$$\left. (39.5 (2 \times 0.0075 + 0.015) + 79 (2 \times 0.015 + 0.0075)) \right.$$

$$+ \frac{50 \times 10^{-3}}{0.294 \times 60^4 \times 10^{-12}} \times [88 (2 \times 0.015 + 0.04) + 211 (2 \times 0.04 + 0.015)]$$

$$+ \frac{62 \times 10^{-3}}{0.294 \times 60^4 \times 10^{-12}} (211 (2 \times 0.009 + 0.04) + 375 (2 \times 0.04 + 0.009))$$

$$+ \left. \frac{18 \times 10^{-3}}{0.294 \times 55^4 \times 10^{-12}} \right\}$$

$$\times 0.009 (375 + 2 \times 422)$$

$$= 5.56 \times 10^{-6} \text{m}$$

D 截面可能产生的最大挠度为

$$y_D = y'_D + y_{DFO} = 4.13 + 5.56 = 9.69 \mu\text{m}$$

挠度允许量由表 20-28 可知：

$$[y] = (0.01 \sim 0.03) m_0 = (0.01 \sim 0.03) 5 = 0.05 \sim 0.15 \text{mm}$$

>  $y_D$  通过

### 1.6 轴的振动稳定性计算

轴是一个弹性体,当其旋转时,由于轴和轴上零件的材料组织不均匀、制造误差,或对中不好等,就要产生以离心力为表现形式的周期性干扰力,从而引起轴的弯曲振动(或称横向振动)。如果这种干扰力的频率与轴的弯曲自振频率相接近时,就会出现弯曲共振现象。

发生共振时轴的转速称为轴的临界转速。如果轴的转速停滞在临界转速附近,轴的变形将迅速增大,以致达到使轴甚至整个机器破坏的程度。

一根轴的临界转速理论上无穷多个。按其数值由小到大分别称为一阶、二阶、三阶……临界转

速。为了避免由于共振而引起轴或机件的损坏,所设计轴的转速不得与任何一阶临界转速相接近,也不能与一阶临界转速的简单倍数或分数相重合(因为在这种情况下轴也会发生较强烈的振动)。

轴的临界转速的高低取决于材料的弹性特性、轴的形状和尺寸、轴的支承形式和轴上零件的自重等。而与轴的空间位置(垂直、水平或倾斜)无关。

工作转速  $n$  低于一阶临界转速  $n_{c1}$  的轴,为减少共振的危险,应提高轴的刚度,这样的轴常称为“刚性轴”。对于转速很高的轴(如汽轮机、离心机等一类高速机器中的轴),如采用刚性轴,不仅使轴、轴上零件、甚至整个机器的尺寸加大,有时也难以实现,因而常采用工作转速  $n$  高于一阶临界转速  $n_{c1}$  的办法获得轻巧的结构,从结构上降低轴的刚度,使之成为“挠性轴”借以降低轴的一阶临界转速  $n_{c1}$ 。在启动使用挠性轴的机器时,应迅速通过一阶临界转速  $n_{c1}$ ,以免发生过大振动而损坏。

凡满足上述转速要求并避开各阶临界转速的轴,都具有振动稳定性。

对于工作转速  $n$  较高、跨度较大而刚性较小的或外伸端较长的轴,当  $n > 3000 \text{r/min}$  (轴的刚性较差)或  $5000 \text{r/min}$  (轴的刚性较好)时,一般应进行振动稳定性计算。对刚性轴应使  $n < 0.75n_{c1}$ ,对于挠性轴应满足  $1.4n_{c1} < n < 0.7n_{c2}$  ( $n_{c2}$  为二阶临界转速)。

机器中轴的结构多数是阶梯形的,它们的临界转速的精确计算比较复杂,常做近似计算:将阶梯形轴视为当量直径为  $d_v$  的光轴,然后利用光轴临界转速计算公式(表 20-31)进行计算。当量直径  $d_v$  按下式计算:

$$d_v = \xi \frac{\sum d_i l_i}{\sum l_i} \text{ mm} \quad (20-6)$$

式中  $d_i$  —— 第  $i$  段轴的直径 mm;

$l_i$  —— 第  $i$  段轴的长度 mm;

$\xi$  —— 经验修正系数。若阶梯轴最粗一段长度或几段轴的长度超过轴全长的 50% 时,可取  $\xi=1$ ; 小于 15% 时,此段当作轴环,另按次粗轴段考虑。在一般情况下,取  $\xi=1.07$ ; 对压缩机、离心机、鼓风机转子可取  $\xi=1.094$ 。



表 20-31 光轴的一阶临界转速计算公式

简 图	临界转速 $n_{c1}$ r/min
	$n_{c1} = \frac{1.07 \times 10^6 d^2}{\sqrt{W_0 l^3 + 4.12 \sum c_j^3 G_j}}$
	$n_{c1} = \frac{2.99 \times 10^5 d^2}{\sqrt{W_0 l^3 + \frac{32.47}{l} \sum a_i^2 b_i^2 W_i}}$
	$n_{c1} = \frac{4.68 \times 10^5 d^2}{\sqrt{W_0 l^3 + \frac{19.82}{l^3} \sum a_i^2 b_i^2 (3a_i + 4b_i) W_i}}$
	$n_{c1} = \frac{6.79 \times 10^5 d^2}{\sqrt{W_0 l^3 + \frac{166.3}{l^3} \sum a_i^2 b_i^2 W_i}}$
	$n_{c1} = \frac{3.04 \times 10^4 \lambda_1 d^2}{\sqrt{W_0 l^3 + \frac{\lambda_1^2}{3} (\frac{1}{l_0} \sum W_i a_i^2 b_i^2 + \sum G_j c_j^2 (l_0 + c_j))}}$
	<p>一端外伸轴的系数 <math>\lambda_1</math> 值见表 20-32                  两端外伸轴的系数 <math>\lambda_2</math> 值见表 20-33</p>

说 明

$W_i$ ——支承间第  $i$  个圆盘质量 kg;

$G_j$ ——外伸端第  $j$  个圆盘质量 kg;

$W_0$ ——轴的质量 kg。对实心轴  $W_0 = 6.17 \times 10^{-6} d^2 l$ ，对端空心轴应乘以  $1 - a^2$ ;

$a$ ——空心轴的内径  $d_0$  与外径  $d$  之比;

$d$ ——轴的直径 mm;

$l$ ——轴的全长 mm;

$l_0$ ——支承间距离 mm;

$\mu, \mu_1, \mu_2$ ——外伸端长度与轴长  $l$  之比;

$a_i, b_i$ ——支承间第  $i$  个圆盘至左及右支承的距离 mm;

$c_j$ ——外伸端第  $j$  圆盘至支承间的距离 mm

注：1. 表列公式适用于弹性模量  $E = 210 \text{ GPa}$  的钢轴;

2. 当计算空心轴的临界转速时，应将表列公式乘以  $\sqrt{1 - a^2}$ 。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 20-32 一端外伸轴的系数  $\lambda_1$  值

$\mu$	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1
$\lambda_1$	9.87	10.9	12.1	13.3	14.4	15.1	14.6	13.1	11.5	10	8.7	7.7	6.9	6.2	5.6	5.2	4.8	4.4	4	3.7	3.5

表 20-33 两端外伸轴的系数  $\lambda_2$  值

$\mu_2$	$\mu_1$									
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	12.15	13.58	15.06	16.41	17.06	16.32	14.52	12.52	10.30	9.87
0.10	13.58	15.22	16.94	18.41	18.82	17.55	15.26	13.05	11.17	9.70
0.15	15.06	16.94	18.90	20.41	20.54	18.66	15.96	13.54	11.58	10.02
0.20	16.41	18.41	20.41	21.89	21.76	19.56	16.65	14.07	12.03	10.39
0.25	17.06	18.82	20.54	21.76	21.70	20.05	17.18	14.61	12.48	10.80
0.30	16.32	17.55	18.66	19.56	20.05	19.56	17.55	15.10	12.97	11.29
0.35	14.52	15.26	15.96	16.65	17.18	17.55	17.18	15.51	13.54	11.78
0.40	12.52	13.05	13.54	14.07	14.61	15.10	15.51	15.46	14.11	12.41
0.45	10.80	11.17	11.58	12.03	12.48	12.97	13.54	14.11	14.43	13.15
0.50	9.37	9.70	10.02	10.39	10.80	11.29	11.78	12.41	13.15	14.06

1.7 轴的工作图

轴的工作图示例见图 12-29、图 15-13、图 16-53。

2 钢丝软轴

钢丝软轴又称钢丝挠性轴，它的主要特点是具有良好的挠性。主要用于空间传动，两传动件轴线几乎可以是处于任意位置，且允许工作时任意改变位置。也适合于受连续振动的场合以缓和冲击。它具体应用在：可移式机械化工具，混凝土振动器，砂轮机，软轴水泵、医疗器械，里程表及遥控仪等传动中。

钢丝软轴具有结构紧凑、安装简便、工作适应性强。适用于高转速、小转矩场合。当以低转速传递大转矩时，从动端的转速不均匀，且软轴的刚度也不易保证。

钢丝软轴传递功率范围一般不超过 5.5kW，工作转速一般为 1750~3600 r/min。小尺寸的钢丝软轴的工作转速可高达 18000 r/min。

2.1 钢丝软轴的结构型式和规格

钢丝软轴一般由钢丝软轴、软轴接头、软管和软

管接头等几部分组成。

2.1.1 钢丝软轴

如图 20-7 所示，钢丝软轴由几层弹簧钢丝紧绕在一起构成。卷绕时，每层由若干根钢丝并排地紧密缠绕在芯杆上，且相邻两层钢丝的旋向相反。绕完后，芯杆保留或抽出。最外层钢丝的旋向为左旋的称为左旋软轴，为右旋的称为右旋软轴。一般常用左旋，如需要可制成右旋。从动力输入端观察软轴时，其转动方向必须与最外层钢丝的旋向相反；如软轴需双向转动时，则应将所传递的最大转矩提高，依此来选择软轴的直径  $d$ 。

按结构不同，钢丝软轴的中心可以有钢丝为芯，称为有芯软轴；也可没有芯，称为无芯软轴。前者刚性较好，而后者则挠性较好。有芯软轴，经消除内应力处理，称为无内应力软轴。

根据 ZB P95005-89 软轴的直径  $d$  mm 的系列如下：6、8、10、13、16。

部分生产厂生产的钢丝软轴的规格参数见表 20-34。

超星浏览器提醒你：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

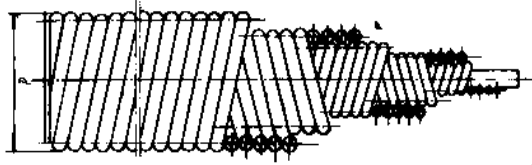


图 20-7 钢丝软轴的结构

表 20-34 钢丝软轴的技术规格

生产厂家	沈阳市金属软管厂										上海公利振动器厂							
公称直径 d/mm	8	10	12	13	16	20	25	30	40	5	6	8	10	12	13	16	19	
最大许用转矩 N·m	29.4	37.24	45.08	49.0	59.78	74.48	94.08	112.7	149.94	14	21	30	38	48	50	61	74	
最小弯曲半径/mm	160	180	190	200	230	280	350	400	600	120	140	160	180	190	200	230	280	
最大轴向拉力 N	901.6	1960	2646	2940	3920	5096	6566	8036	10976									
理论质量 kg/m	0.312	0.535	0.70	0.846	1.246	1.944	3.032	4.362	7.757	0.12	0.18	0.32	0.50	0.72	0.85	1.28	1.81	

2.1.2 软轴接头及联接

软轴接头是用于联接原动机的输出轴和工作部件。其联接方式有固定式和滑动式两种。固定式多用

于软轴较短，或工作中弯曲半径变化不大的场合。当软轴工作时弯曲半径变化较大时，采用滑动式，允许软轴在软管内有较大的窜动，以补偿软轴弯曲时的长度变化。常用软轴接头结构型式见表 20-35。

表 20-35 常用软轴接头结构型式

型式	结构简图	特点	型式	结构简图	特点
固定式		用紧定螺钉联接，装拆方便	滑动式		用鸭舌形插头联接，制造容易，装拆方便
		用螺纹联接，简单可靠，装拆较费时			用键联接，能传递较大扭矩
		用内螺纹联接，简单可靠，装拆较费时			用方形插头联接，制造容易，装拆方便

常用的软轴接头与软轴端的联接方式见表 20-36。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 20-36 常用软轴接头与轴端联接方式

方式	结构简图	特点	方式	结构简图	特点
焊接		接头用锡焊可重复使用，但费工费料，使用渐少	墩压		工艺简单，应用广泛
			滚压		工艺简单，应用广泛

2.1.3 软管

软管亦称护套，用来保护钢丝软轴，以免与外界机件相接触，还可以保护操作者的安全，并可存储润

滑剂和防止尘垢侵入；工作中软管还起支承作用，使软轴便于操作。传动时软管并不随软轴转动。软管的型式见表 20-37。

表 20-37 软管的结构型式

类型	结构简图	特点
金属软管		由镀锌的低碳钢带卷成，钢带镶口内填以石棉或棉纱绳。结构较简单，重量轻，外径小，但强度和耐磨性较差
橡胶金属软管		在上一种软管内衬以衬簧，外面包上橡胶保护层。耐磨性及密封性均较上一种好
衬簧橡胶软管		在橡胶管内衬以衬簧，比上一种结构简单。混凝土振动器多用此种软管
衬簧编织软管		衬簧由弹簧钢带卷成，外面依次包上耐油胶布层、棉纱、钢丝编织层和耐磨橡胶。强度、挠度、耐磨性、密封性均较好
小金属软管		由两层成型钢带卷成；挠性较好，密封性较差 用于控制型软轴

2.1.4 软管接头及联接

有时也是软轴接头的轴承座。其联接方式分固定式和滑动式两种。软管与软管接头常用的联接方式见

软管接头是联接传动装置及工作部件的机件， 表 20-38。

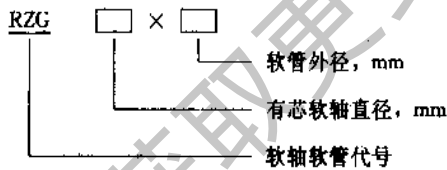
表 20-38 常用软管接头型式及联接方式

方式	结 构 简 图	特 点	方式	结 构 简 图	特 点
固 定 式		用 钢 焊，用于 金属软管 与接头的 联接	固 定 式		工 艺 简 单，用于 有橡胶保 护层的软 管与接头 的联接
		工 艺 简 单，用于 金属软管 与接头的 联接			工 艺 简 单，用于 有橡胶保 护层的软 管与接头 的联接
		装 拆 较 方 便，但 结 构 较 复 杂。用于 有橡胶保 护层的软 管与接头 的联接	滑 动 式		软 管 接 头 为 伸 缩 套 式，用 于 钢 丝 软 轴 两 端 均 为 固 定 式 联 接 的 场 合

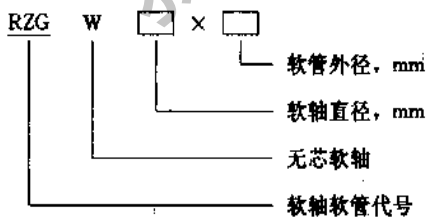
2.1.5 软轴软管的型号与配套使用 (摘自 ZB P95005—89)

软轴软管的型号由结构型式和主参数 (软轴直径)、软管外径组成。

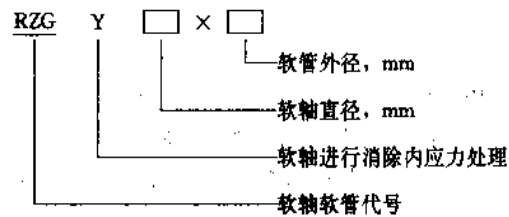
有芯软轴软管



无芯软轴软管



无内应力软轴软管



软轴软管必须按表 20-39 配套使用。在额定转速下,按等转矩传递动力;高于额定转速同时又低于最高转速,按等功率传递动力。

超星浏览器提醒您：  
使用本套制品  
请尊重相关知识产权！

表 20-39 软轴软管型号与基本参数

项 目 型 号	软轴直径	软管内径	软管外径	软轴软管最小弯曲半径	额定转速	允许最高转速
	mm				r/min	
RZGY 6×17 RZG 6×17	6	10	17	100 120	3200 3200	18000 9000
RZGY 8×24 RZG 8×24	8	13	24	120 150	2500 2500	14500 7200
RZGY 10×30 RZG 10×30	10	16	30	160 200	2100 2100	12000 6000
RZGY 13×36 RZGW 13×36 RZG 13×36	13	20	36	200 220 250	1750 1750 1750	9000 6000 4500
RZGY 16×42 RZGW 16×42 RZG 16×42	16	25	42	250 280 300	1350 1350 1350	7200 4800 3600

2.2 钢丝软轴的选择与使用

2.2.1 软轴的选择

钢丝软轴的轴径  $d$  应根据所需传递的扭矩  $N \cdot m$ 、转速  $n$  r/min、工作中的弯曲半径  $R$  mm 等结合生产厂的产品性能、规格进行选定。软轴在额定转速  $n_0$  r/min 下所能传递的最大扭矩  $T_0$   $N \cdot m$  见表 20-40。当工作转速低于额定转速  $n_0$  时，软轴应按恒扭矩传递动力；当工作转速高于额定转速  $n_0$  时，应按恒功率传递动力。

软轴直径  $d$  按下式可从表 20-40 中选定：

$$T_0 \geq T \frac{K_1 K_2 K_3 n}{\eta n_0} \quad (20-7)$$

式中  $T$ ——软轴的工作转矩  $N \cdot m$ ；

$K_1$ ——过载系数，当短时最大转矩小于软轴无弯曲时所能传递的最大转矩时， $K_1 = 1$ ；当大于此值时， $K_1$  可取与此值的比值；

$K_2$ ——软轴的转向系数，当旋转时，软轴外层钢丝如趋于绕紧， $K_2 = 1$ ；如趋于旋松， $K_2 \approx 1.5$ ；

$K_3$ ——软轴支承情况系数，当软轴在软管内，其支承跨距与软轴直径之比小于 50 时， $K_3 \approx 1$ ，当比值大于 150 时， $K_3$

$\approx 1.25$ ；

$\eta$ ——软轴的传动效率，通常  $\eta = 1 \sim 0.7$ ，当软轴无弯曲工作时， $\eta \approx 1$ ，当弯曲半径越小，弯曲段越多，则  $\eta$  值越接近 0.7；

$n$ ——软轴的工作转速 r/min。

2.2.2 软轴使用时注意事项

- 1) 钢丝软轴通常应安排在传动中转速较高的一级，并使其工作转速尽可能接近额定转速  $n_0$ ；
- 2) 传动的长度如超过几米到十几米时，则应只在弯曲处采用钢丝软轴；
- 3) 钢丝软轴工作时，必定期涂适当的润滑脂并定期清洗软管，润滑脂品种按工作温度选择；
- 4) 在运转和安装过程中，不得使软轴的弯曲半径  $R$  小于允许最小半径（一般为钢丝软轴直径的 15~20 倍）。运转时应尽可能使软管夹定位置，并使其在靠近接头部分伸直；
- 5) 钢丝软轴与软管要分别与接头牢固联接。当工作中弯曲半径变化较大时，应使钢丝软轴或软管的接头有一端可以移动，以补偿软轴弯曲时的长度变化；
- 6) 为便于软轴拆卸检查和润滑，应使软轴接头一端的外径小于软管和软管接头的内径。



使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

表 20-40 钢丝软轴在额定转速  $n_0$  时能传递的最大转矩  $T_0$

软轴直径 d mm	无弯曲时	工作中弯曲半径为下列值时 mm									额定转 速 $n_0$ r/min	最高转 速 $n_{max}$ r/min
		1000	750	600	450	350	250	200	150	120		
· $T_0$ N · m												
6	1.50	1.40	1.30	1.20	1.00	0.80	0.60	0.50	0.40	0.30	3200	13000
8	2.40	2.20	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	0.90	0.60	—	2500	10000
10	4.0	3.60	3.30	3.00	2.60	2.30	1.90	1.50	—	—	2100	8000
13	7.0	6.00	5.20	4.60	4.00	3.40	2.80	—	—	—	1750	6000
16	13.0	12.0	10.0	8.00	6.00	4.50	—	—	—	—	1350	4000
19	20.0	17.0	14.0	11.00	8.00	5.50	—	—	—	—	1150	3000
25	33.0	26.0	19.0	13.00	9.00	—	—	—	—	—	950	2000
30	50.0	38.0	25.0	16.50	10.0	—	—	—	—	—	800	1600

获取更多资料 微信搜索 超星球

## 第 21 章 滑动轴承

### 1 概 述

轴承分两大类：滚动轴承和滑动轴承。滚动轴承有很多优点，例如：已实现系列化、标准化、商品化，使用维护简单，互换性能好等，故各工业部门应用很广。在滚动轴承和滑动轴承都能满足使用要求时，宜优先选用滚动轴承。但滑动轴承也有某些独到之处，例如普通滑动轴承构造简单，制造方便，成本低；在高速时滑动轴承比滚动轴承寿命长，运转平稳，对冲击和振动敏感性小等等。这些优点使滑动轴承成功地应用于机床主轴轴承，大型汽轮机轴承，内燃机曲轴的轴承，轧钢机轴承以及其他简单机构的支承。

根据润滑情况，滑动轴承分为液体摩擦轴承和非液体摩擦轴承两大类。液体摩擦轴承又分为液体

动压轴承、液体静压轴承和动静压轴承。凡是本身具备形成动压条件的，应尽量采用动压轴承；只靠本身条件形不成动压油膜，而又要求在液体摩擦条件下工作时，可采用静压轴承。一般说动压轴承能够使用的场合，静压轴承都能胜任，并且常取得良好的效果，但后者需要用压力供油设备，因而增加了投资和厂房面积。

转速低、间歇回转或供油不充分，本身形不成液体摩擦的轴承，以及固体润滑轴承，属于非液体摩擦轴承。精度要求不高和不甚重要的轴承，也没有必要设计成液体摩擦轴承。动压轴承在启动和停车时，也将处于非液体摩擦状态下工作。通用设备中大量应用的还是非液体摩擦轴承。

滑动轴承的分类见表 21-1。

表 21-1 滑动轴承的主要分类

分类方法	类 别	说 明
按载荷方向分	径向轴承	受径向力或主要受径向力，载荷方向与轴中心线基本垂直
	推力轴承	受轴向力，载荷方向与轴中心线平行
	径向—推力轴承	同时受径向和轴向力，如圆锥轴承、球面轴承等
按摩擦状态分	液体摩擦轴承	滑动面完全被油膜分开，摩擦只有在液体分子间产生的轴承称为液体摩擦轴承
	非液体摩擦轴承	滑动表面不能完全被油膜分开的轴承
	干摩擦轴承	滑动面间没有油存在的称为干摩擦轴承；用石墨、二硫化钼、炔膏颜料等粉末作为润滑剂的称为固体润滑轴承；用聚四氟乙烯、聚酰胺等本身有润滑作用的材料制造的轴承称为自润滑轴承
按载荷大小分	轻载轴承	压强在 1 MPa 以下
	中载轴承	压强在 1~10 MPa
	重载轴承	压强大于 10 MPa
按速度分	低速轴承	圆周速度在 5 m/s 以下
	中速轴承	圆周速度在 5~60 m/s
	高速轴承	圆周速度大于 60 m/s

### 2 非液体摩擦滑动轴承

#### 2.1.1 径向轴承结构和选用

#### 2.1 径向轴承

a. 在机器装拆允许条件下，可采用整体式滑动轴承；当机器装拆有困难时，可采用对开式滑动轴

承。

b. 当采用对开式滑动轴承时, 要根据径向载荷的方向来选定正滑动轴承 (图 21-1) 或斜滑动轴承 (图 21-2)。在正常工作情况下, 轴承所受径向载荷的方向应该在轴承中心线左右  $35^\circ$  的范围内, 如图 21-1 中阴影部分所示。

c. 轴颈与轴瓦的配合推荐用  $\frac{H7}{f6}, \frac{H7}{f7}, \frac{H8}{f8}, \frac{H9}{f9}$ 。

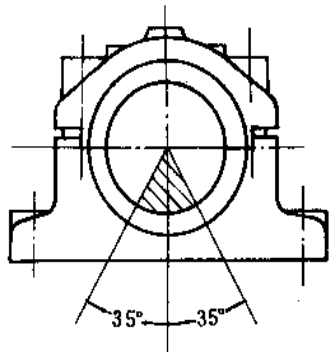


图 21-1 对开式正滑动轴承

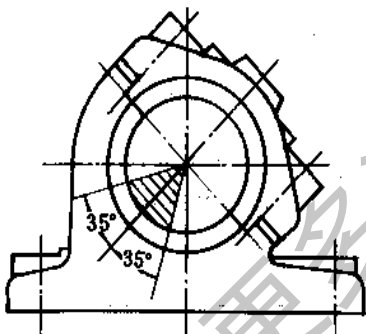


图 21-2 对开式斜滑动轴承

### 2.1.2 轴承的验算

#### (1) 压强 $p$ 的验算

轴颈速度  $v \leq 0.1 \text{ m/s}$  的轴承仅按压强  $p$  来计算。

$$p_{\max} = \frac{F_{\max}}{dB} \leq p_p \text{ MPa} \quad (21-1)$$

式中  $F_{\max}$ ——轴承所受的最大径向载荷 N;

$d, B$ ——轴颈的直径和轴承宽度 mm;

$p_p$ ——轴瓦材料的压强的许用值。

#### (2) $pv$ 值的验算

$$pv = \frac{Fn}{19100l} \leq (pv)_p \text{ W/mm}^2 \quad (21-2)$$

式中  $F$ ——轴承所受的平均径向载荷 N;

$n$ ——轴与轴瓦的相对转速 r/min;

$l$ ——轴承宽度 mm;

$(pv)_p$ ——轴瓦材料的  $pv$  的许用值。

## 2.2 平面推力轴承

### 2.2.1 平面推力轴承的常用型式和结构

平面推力滑动轴承承受轴向载荷, 经常与径向轴承同时使用, 其常用型式和结构见表 21-2。

### 2.2.2 平面推力轴承的计算

#### (1) 比压 $p$ 的验算

$$p = \frac{F_a}{\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)} \leq p_p \text{ MPa} \quad (21-3)$$

式中  $F_a$ ——轴向负荷 N;

$p_p$ ——轴瓦材料的比压的许用值;

$d_2, d_1$ ——端面的外径、内径 mm。

#### (2) $pv$ 值验算

$$pv_m \leq (pv)_p, \text{ W/mm}^2 \quad (21-4)$$

式中  $(pv)_p$ ——轴瓦材料的  $pv$  的许用值;

$v_m$ ——平均速度,  $v_m = \frac{\pi d_m n}{60} \text{ m/s}$ ;

$d_m$ ——平均直径,  $d_m = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) \text{ mm}$ 。

## 2.3 润滑方式的选择

根据  $K$  值决定轴承的润滑方式

$$K = \sqrt{pv} \quad (21-5)$$

式中  $p$ ——轴颈上的平均压强,  $p = \frac{F}{ld} \text{ MPa}$ ;

$v$ ——轴颈的圆周速度 m/s。

当  $K \leq 1.9$ , 可用润滑脂 (可采用干油杯);  $K > 1.9 \sim 16$ , 用润滑油 (可用针阀油杯等); 当  $K > 16 \sim 30$ , 用飞溅式润滑并需用水或循环油冷却;  $K > 30$  时, 必须用循环压力润滑。

润滑油参看表 21-3 选用;

润滑脂按表 21-4 选用。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 21-2 推力滑动轴承的常用型式

型 式	简 图	基本特点及应用	结 构 尺 寸
实心推力轴承		在接触面上压力分布极不均匀, 中心处压力(理论上)可达无限大, 对润滑极为不利	$d_2$ 由轴颈结构决定
空心推力轴承		接触面上压分布比较均匀, 润滑条件有所改善	$d_2$ 由轴结构决定, 若结构上无限制 取 $d_1 = 0.5d_2$ 一般可取 $d_1 = (0.4 \sim 0.6) d_2$
环形推力轴承		可利用轴套的端面止推, 结构简单, 润滑方便, 广泛用于低速、轻载条件	$d_1, d_2$ 出轴的结构设计拟定
			$d_1$ 由结构设计拟定 $b = (0.1 \sim 0.3) d_1$ $h = (0.2 \sim 0.15) d_1$ $d_2 = (1.2 \sim 1.6) d_1$

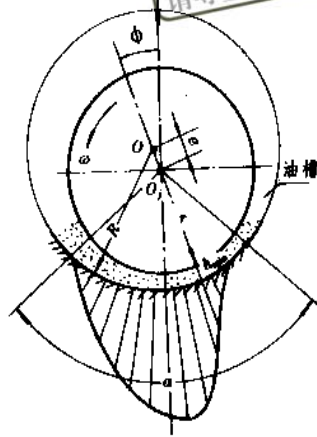
表 21-3 滑动轴承润滑油粘度选择

$v$ m/s	轻 载 $p < 1 \text{ MPa}$ $t = 10 \sim 60^\circ\text{C}$ 运转粘度 $\text{mm}^2/\text{s}, 40^\circ\text{C}$	中 载 $p = 1 \sim 8 \text{ MPa}$ $t = 10 \sim 60^\circ\text{C}$ 运转粘度 $\text{mm}^2/\text{s}, 40^\circ\text{C}$	重 载 $p > 8 \text{ MPa}$ $t = 20 \sim 80^\circ\text{C}$ 运转粘度 $\text{mm}^2/\text{s}, 40^\circ\text{C}$
0.1~1			180~210
1~2.5	50~70	70~90	160~190
2.5~5			100~120
5~10	30~50	50~70	
10~15	20~30		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 21-4 滑动轴承润滑脂的选择

轴承压强 $p$ , MPa	轴颈圆周速度 $v$ , m/s	最高工作温度 $t$ , °C	选用润滑脂 牌 号
<1	到 1	15	3号钙基脂
1~6.5	0.5~5	55	2号钙基脂
6.5	到 0.5	75	3号钙基脂
6.5	0.5~5	120	2号钙基脂
6.5	到 0.5	110	1号钙钠基脂
1~6.5	到 1	100	2号锂基脂
>6.5	到 0.5	60	2号压延机脂



### 3 液体动压滑动轴承

#### 3.1 径向轴承

图 21-3 为径向动压轴承工作原理图。正常运转时轴颈和轴瓦被一层油膜完全隔开，并在油膜中产生流体动压力，借以平衡外载荷，使轴承正常运转。 $\alpha$ 角是轴承包角，其大小随轴承结构确定。常用为 $\alpha=180^\circ$ 和 $\alpha=120^\circ$ ，有时用 $\alpha=360^\circ$ 或 $\alpha=90^\circ$ 。

图 21-3 中  $O$  轴瓦中心；

图 21-3 径向动压轴承工作原理

- $O_1$ ——轴颈中心；
- $e$ ——偏心距 mm；
- $h_{\min}$ ——最小油膜厚度， $h_{\min}=c-e=c(1-\epsilon)$  mm；
- $R$ ——轴瓦半径， $D=2R$  轴瓦直径 mm；
- $r$ ——轴颈半径， $d=2r$ ，轴颈直径 mm；

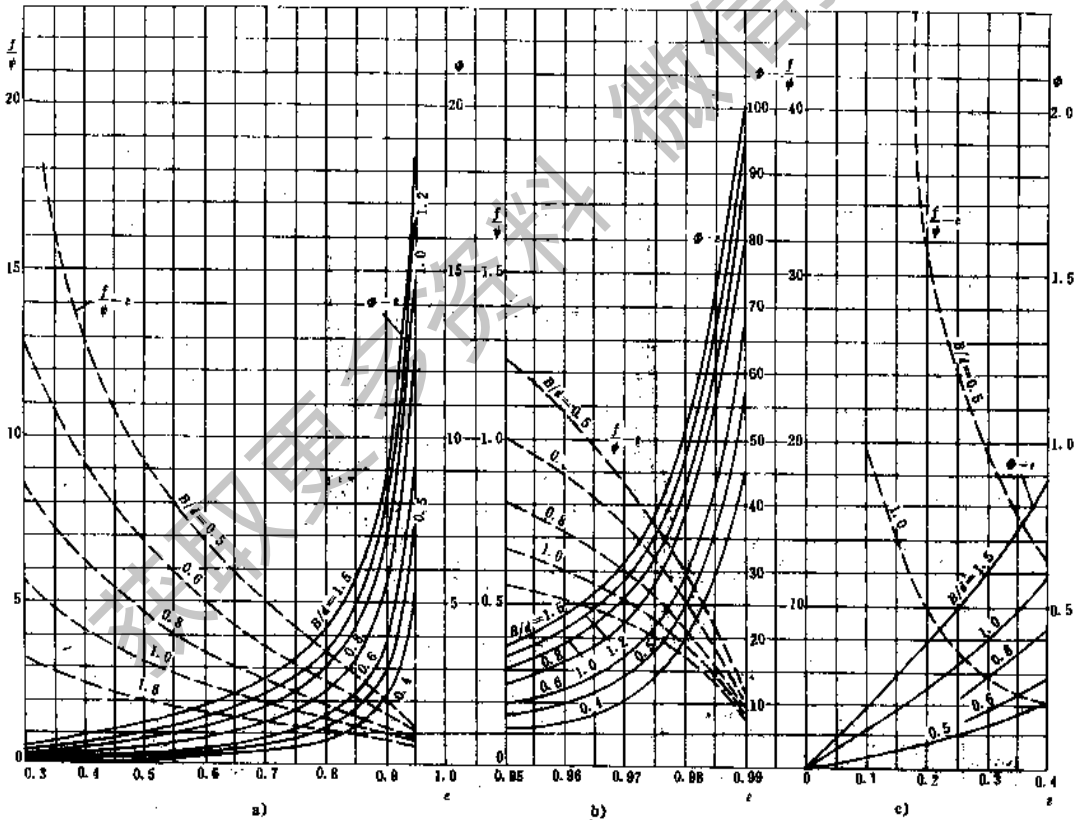


图 21-4 包角为  $360^\circ$  的轴承计算图

a)  $\epsilon=0.3\sim 0.95$ ; b)  $\epsilon=0.95\sim 0.99$ ; c)  $\epsilon=0\sim 0.4$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$c=R-r$  半径间隙 mm;

$\psi=c/r$  相对间隙;

$\varepsilon=e/c$  偏心率;

$\omega$  轴的角速度 rad/s;

$B$ ——轴承宽度 mm;

$F$ ——轴承载荷 N。

在滑动轴承设计中,只有当轴承尺寸、轴承载荷、相对运动速度、油的粘度、轴承间隙以及表面粗糙度之间满足一定关系时,才能实现液体摩擦,否则,将出现非液体摩擦。但是,油膜越厚,也就是偏心率越小,摩擦系数越大,有时还可能引起油膜振荡。因此,将油膜设计得过厚也不好。

### 3.1.1 性能计算

计算的目的是,是确定保证轴承在液体摩擦状态下,安全运转的有关参数。

(1) 承载能力 轴承的承载能力与偏心率  $\varepsilon$ 、宽径比  $B/d$  及轴承包角  $\alpha$  有关,通常用无量纲载荷系数  $\Phi$  表示

$$\Phi = 10^6 \frac{\rho \psi^2}{\eta \omega} = \Phi(\varepsilon, B/d, \alpha) \quad (21-6)$$

式中  $\eta$ ——油的粘度 Pa·s;

$\rho$ ——压强,  $\rho = \frac{F}{Bd}$  MPa。

当轴承包角为  $360^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $120^\circ$  时,分别由图 21-4~6 中查出相应的  $\Phi$  值。

(2) 摩擦系数及功耗 轴承摩擦由两部分组成:承载区摩擦和非承载区摩擦,分别以无量纲的符号  $f/\psi$  和  $f'/\psi$  表示 ( $f$ ——承载区摩擦系数;  $f'$ ——非承载区摩擦系数;  $\psi$ ——相对间隙)。 $\frac{f}{\psi}$  和  $\frac{f'}{\psi}$  称为相对摩擦系数,  $f/\psi$  值根据轴承包角不同分别由图 21-4~6 查出,  $f'/\psi$  值可由下式计算

$$\frac{f'}{\psi} = \frac{\pi}{2} \frac{\xi}{\Phi} \quad (21-7)$$

式中  $\xi$ ——修正系数;

$\alpha=120^\circ$ ,  $\xi=0.75$ ;

$\alpha=180^\circ$ ,  $\xi=1$ ;

$\alpha=360^\circ$ ,  $\xi$  可由图 21-7 查出。

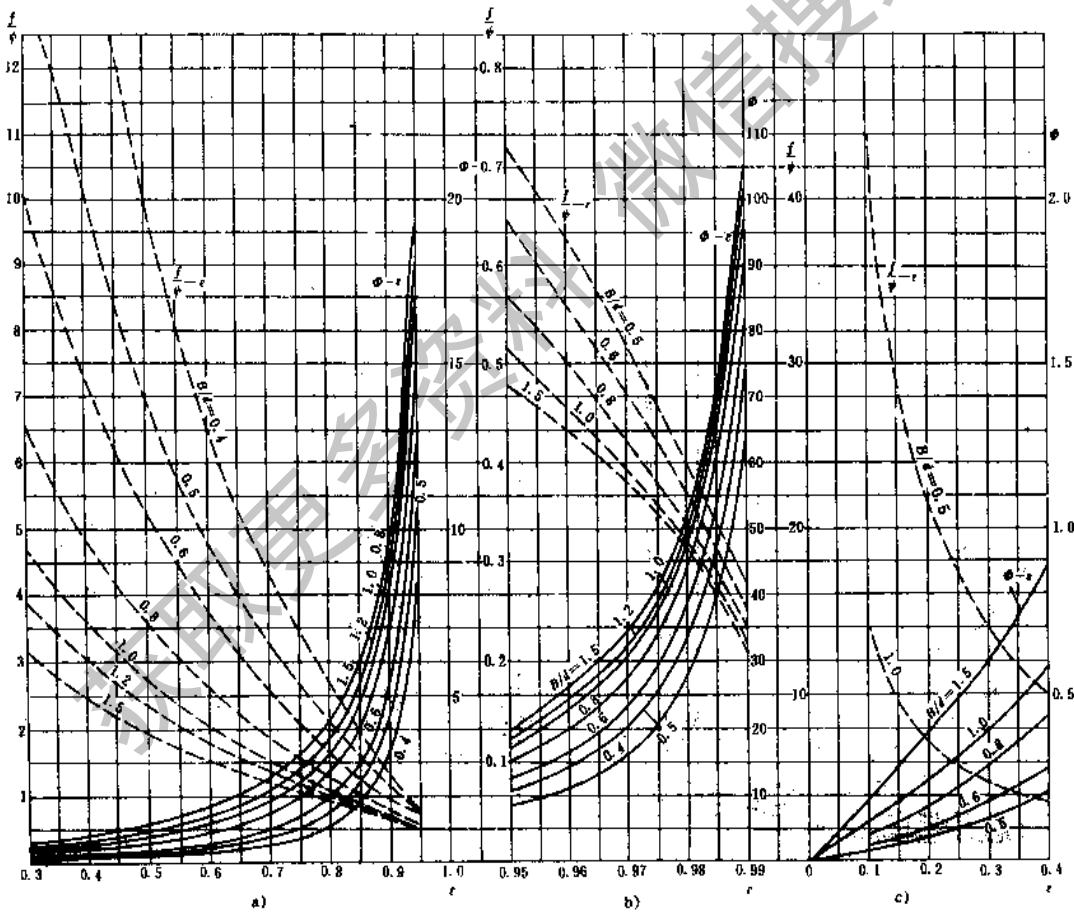


图 21-5 包角为  $180^\circ$  的轴承计算图

a)  $\varepsilon=0.3\sim 0.95$ ; b)  $\varepsilon=0.95\sim 0.99$ ; c)  $\varepsilon=0\sim 0.4$



超星浏览器提醒你：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

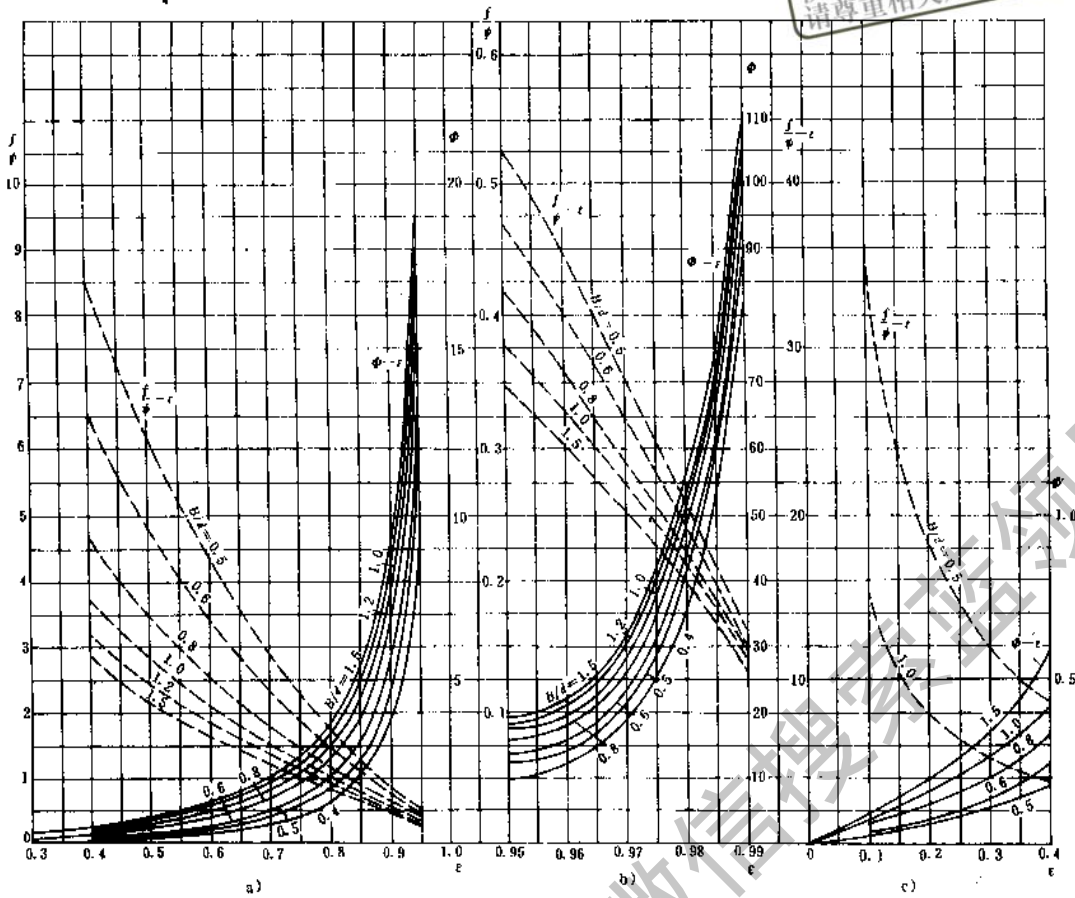


图 21-6 包角为 120° 的轴承计算图

a)  $\epsilon=0.3\sim 0.95$ ; b)  $\epsilon=0.95\sim 0.99$ ; c)  $\epsilon=0\sim 0.4$

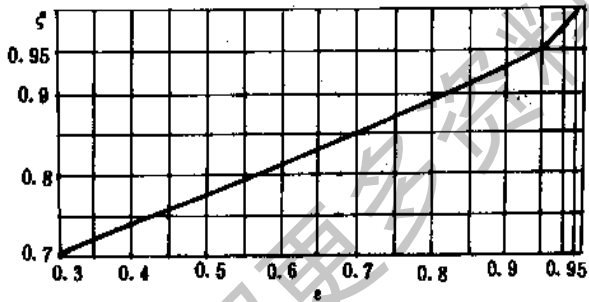


图 21-7 修正系数  $\epsilon$

功耗

$$P = \left( \frac{f}{\psi} + \frac{f'}{\psi} \right) \phi F v \quad \text{W} \quad (21-8)$$

式中  $v$  —— 速度 m/s。

(3) 流量 进入轴承的总流量  $Q$  由三部分组成：承载区端泄流量  $Q_1$ ，非承载区端泄流量  $Q_2$  和轴瓦上供油槽两端流出的附加流量  $Q_3$ 。即

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ = (\phi_{a1} + \phi_{a2} + \phi_{a3}) \phi v B d \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (21-9)$$

式中  $\phi_{a1}$ 、 $\phi_{a2}$ 、 $\phi_{a3}$  分别为相应的流量系数。  
承载区端泄量系数  $\phi_{a1}$  见图 21-8~10。

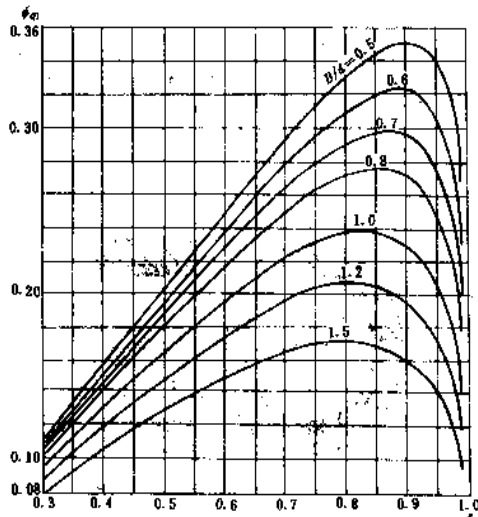


图 21-8 包角为 360° 的轴承油量计算图

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

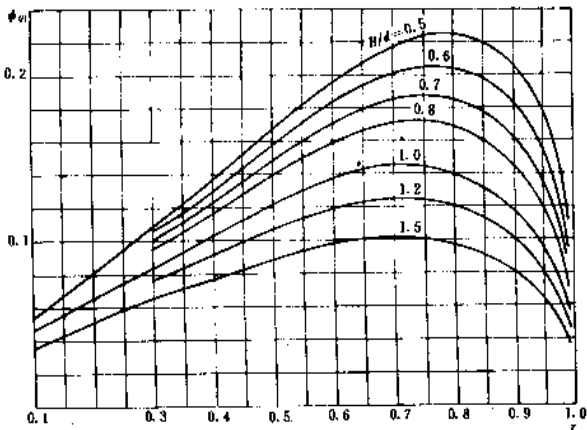


图 21-9 包角为 180° 的轴承油量计算图

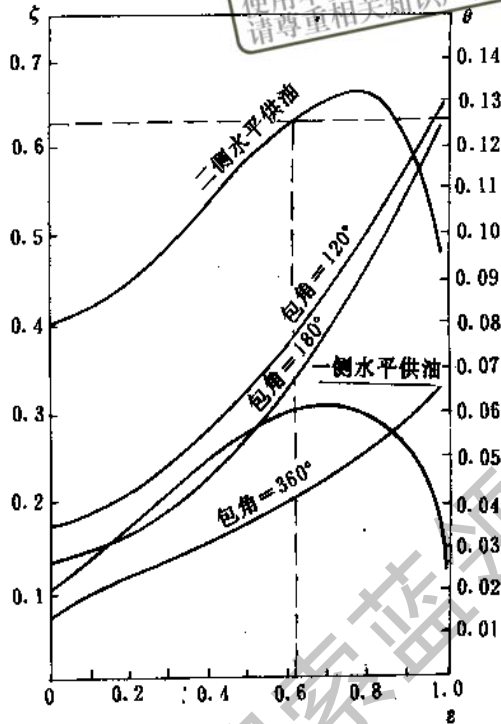


图 21-12 修正系数 ζ 和 θ

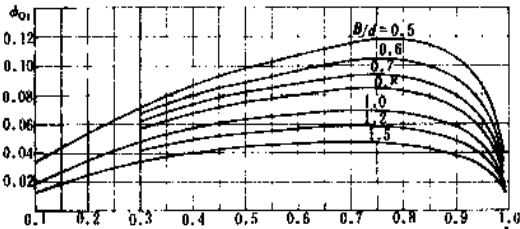


图 21-10 包角为 120° 的轴承油量计算图

非承载区端泄流量系数  $\phi_{Q2}$  为

$$\phi_{Q2} = \zeta \Phi \left( \frac{d}{B} \right)^2 \frac{p_s}{p} \quad (21-10)$$

$p_s$ ——供油压力 MPa；

$\zeta$ ——修正系数，见图 21-12。

轴向供油槽端泄流量系数  $\phi_{Q3}$  为，在轴瓦水平中分面对称布置两个供油槽（见图 21-11）时：

$$\phi_{Q3} = \theta \Phi \left( \frac{d}{B} \right)^2 \frac{K}{d} \left( \frac{B}{a} - 2 \right) \frac{p_s}{p} \quad (21-11)$$

式中  $\theta$ ——修正系数查图 21-12。

$a, K$ ——见图 21-11。

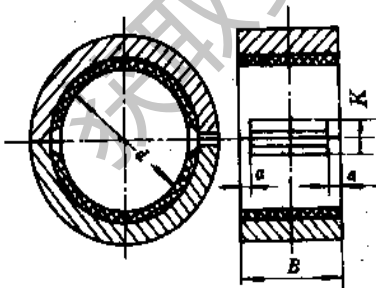


图 21-11 供油槽尺寸

只有一个轴向供油槽时：

$$\phi_{Q3} = \frac{p_s K}{3\eta\phi\omega B^2 d^2} \left( \frac{B}{a} - 2 \right) h_s^3 \quad (21-12)$$

$$h_s = \phi r (1 + \epsilon \cos \theta_s)$$

式中  $\theta_s$ ——供油槽中线的角坐标（从轴颈和轴承连心线量起）。

(4) 温升 压力供油轴承的温升

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{P}{CQ} \quad ^\circ\text{C} \quad (21-13)$$

式中  $C$ ——单位容积热容量  $\text{J/m}^3\text{C}$ ，润滑油可取  $C=1.72 \times 10^6 \text{J/m}^3\text{C}$ ；

$t_1$ ——进油温度  $^\circ\text{C}$ ；

$t_2$ ——出油温度  $^\circ\text{C}$ 。

非压力供油轴承的温升

$$P = CQ_1(t_2 - t_1) + kA(t_p - t_a) \quad (21-14)$$

式中  $Q_1 = \phi_{Q1} \phi v B d \text{ m}^3/\text{s}$ ；

$A$ ——散热面积（与空气接触面积） $\text{m}^2$ ；

$t_a$ ——室温；

$k$ ——传热系数  $\text{W/m}^2\text{C}$ ；一般情况： $k \approx 9 \sim 16 \text{W/m}^2\text{C}$ ，风冷时  $k \approx 16 \sqrt{v_B}$ ；

$v_B$ ——风速  $\text{m/s}$ ；

$t_p$ ——平均油温  $^\circ\text{C}$ ； $t_p = \frac{t_1 + t_2}{2}$ 。

### 3.1.2 参数选择

(1) 平均压强 在可能情况下（如保证一定的油

膜厚度,合适的温升等),压强  $p$  应取较高的值,以保证运转的平稳性,减少轴承尺寸。过高时油膜厚度将过薄,对油质和表面粗糙度的要求将提高,且易于破坏液体摩擦状态,损坏轴瓦。

对于轴承合金轴瓦,轴承平均压强  $p$  一般可取为:

轧钢机  $p=10\sim 20$  (25) MPa

风机  $p=0.2\sim 2$  (4) MPa

汽轮机、发电机、机床  $p=0.6\sim 2$  (2.5) MPa

齿轮变速装置、拖拉机  $p=0.5\sim 3.5$  (4) MPa

铁路车辆  $p=5\sim 15$  MPa

括弧中数值为保证完全液体摩擦时的许用值。

(2) 宽径比  $B/d$  通常取  $B/d=0.5\sim 1.5$ 。高速重载轴承为避免温升过高和边缘接触的危险,  $B/d$  应取小值。低速重载轴承为提高轴承整体刚度,  $B/d$  宜取大值; 高速轻载轴承, 如对轴承无过高要求, 可取小值; 对挠性转子宜取小值; 需要有较大刚性的机床及刚性转子, 宜取较大值; 在航空、汽车发动机上, 受空间位置的限制  $B/d$  应取小值。常用的  $B/d$  值为:

汽轮机、风机  $B/d=0.5\sim 1$

电动机、离心泵、齿轮变速装置  $B/d=$

0.7~1.5

机床、拖拉机  $B/d=0.8\sim 1.2$

轧钢机、铁路车辆  $B/d=0.6\sim 1.5$

(3) 相对间隙  $\psi=\frac{c}{r}$  一般取  $\psi=0.0003\sim$

0.003。 $\psi$  值主要根据载荷和速度选取。速度越高,  $\psi$  值应越大; 载荷越大,  $\psi$  则越小。此外, 直径大、宽径比小, 调心自位性能好, 加工精度高时,  $\psi$  可取小值, 反之, 取大值。

相对间隙  $\psi$  大时, 流量大, 温升低, 承载能力低。间隙大小对工作平稳性影响较大, 一般压强小的轴承, 减小间隙可以提高平稳性; 压强小时增大间隙可以提高工作平稳性。

常用的轴承相对间隙  $\psi$  为:

汽轮机、电动机、齿轮变速装置  $\psi=0.001\sim$

0.002

轧钢机、铁路车辆  $\psi=0.0002\sim 0.0015$

机床、内燃机  $\psi=0.0002\sim 0.001$

风机、离心泵  $\psi=0.001\sim 0.003$

(4) 最小油膜厚度  $h_{\min}$  为确保轴承在液体摩擦条件下安全运转, 应使最小油膜厚度大于轴颈、轴瓦工作表面粗糙度与轴颈挠度之和。

$$h_{\min} \geq [h_{\min}] = (1.5 \sim 1.7) \times (R_{z1} + R_{z2} + y_1 + y_2), \text{ mm} \quad (21-15)$$

式中  $R_{z1}$ ,  $R_{z2}$ ——轴颈和轴瓦表面粗糙度  $R_z$  (十点平均高度);

$y_1$ ——轴颈在轴承中的挠度;  $y_1$  (见图 21-13a) 值可近似地取为

$$y_1 = 1.56 \times 10^{-12} p d \left[ \left( \frac{B}{d} \right)^4 + 1.81 \left( \frac{B}{d} \right)^2 \right] \text{ mm} \quad (21-16)$$

式中  $p = \frac{F}{Bd}$ , 当  $p \leq 3$  MPa 时,  $y_1$  可忽略不计

$y_2$ ——轴的变形和安装误差引起轴在轴承中的偏移量 (见图 21-13b), 对自位轴承  $y_2=0$ ; 一般为

$$y_2 = \frac{B}{2} \tan \beta \text{ mm} \quad (21-17)$$

$\beta$  轴承处轴的转角。

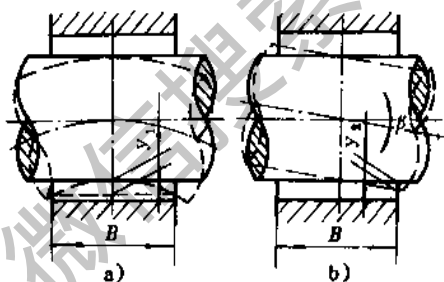


图 21-13 轴在轴承中的变形

a) 轴颈在轴承中的挠度; b) 轴在轴承中的偏移

(5) 油温 轴承的性能计算一般可根据平均油温进行, 平均油温为

$$t_p = t_1 + \frac{1}{2} \Delta t \quad (21-18)$$

一般情况:  $t_p = 50\sim 55^\circ\text{C}$

$t_1 = 35\sim 45^\circ\text{C}$

$\Delta t = 10\sim 20^\circ\text{C}$

为了保证轴承衬材料的机械性能和润滑油的寿命, 需控制轴承的最高油温, 一般最高油温定为  $t_{\max} = 90\sim 100^\circ\text{C}$ 。

(6) 润滑油粘度 润滑油粘度随温度变化很大, 可查油的粘-温图。对一般的矿物油, 可按下列近似计算

$$\ln[\ln(\nu + 0.6)] = A - B \ln(t_p + 273) \quad (21-19)$$

式中  $\nu$ ——润滑油的运动粘度  $\text{mm}^2/\text{s}$ ;

$A$ ,  $B$ ——常数, 可根据润滑油两个温度 (通常为  $40^\circ\text{C}$  和  $100^\circ\text{C}$ ) 下的粘度来确定, 只有  $40^\circ\text{C}$  的粘度数

超星浏览器提醒您：  
使用本套制品  
请务必尊重知识版权！

据时，可近似取  $B \approx 3.5$ 。

$r/\text{min}$  ( $\omega = 314 \text{ rad/s}$ )。轴承为自位调心式，在水平中分面两侧供油，进油温度控制在  $40^\circ\text{C}$  左右。计算结果如下：

例 21-1 设计汽轮机转子的液体摩擦轴承，已知  $d = 300 \text{ mm}$ ；载荷  $F = 65000 \text{ N}$ ；转速  $n = 3000$

序号	项 目	单位	公 式 及 说 明	结 果	
1	轴承载荷 $F$	N	已知	65000	
2	轴径 $d$	mm	已知	300	
3	宽径比 $B/d$		选定	0.8	
4	轴承宽度 $B$	mm	$B = (B/d) d = 0.8 \times 300$	240	
5	轴承转速 $n$	r/min	已知	3000	
6	角速度 $\omega$	rad/s	$\omega = \frac{\pi}{30} n = \frac{\pi}{30} \times 3000$	314	
7	圆周速度 $v$	m/s	$v = \frac{r\omega}{1000} = \frac{1}{2} \times \frac{300}{1000} \times 314$	47.1	
8	相对间隙 $\phi$		预选	0.0015	0.002
9	半径间隙 $c$	mm	$c = \phi r = 0.0015 \times 150$ $c = 0.002 \times 150$	0.225	0.3
10	压强 $p$	MPa	$p = \frac{F}{Bd} = \frac{65000}{240 \times 300}$	0.9	
11	润滑油牌号		选定	N32 液压油	
	40°C 运动粘度 $\nu_{40}$	mm <sup>2</sup> /s		32	
	密度 $\rho$	g/cm <sup>3</sup>		0.9	
12	50°C 运动粘度 $\nu_{50}$	mm <sup>2</sup> /s	$\ln \ln (\nu_{40} + 0.6) = A - 3.5 \ln (40 + 273)$ $\ln \ln (\nu_{50} + 0.6) = A - 3.5 \ln (50 + 273)$	22	
13	润滑油粘度 $\eta$	Pa·s	$\eta = \rho \cdot \nu_{50} = 0.9 \times 22 / 1000$	0.02	
14	载荷系数 $\Phi$		$\Phi = \frac{\rho \phi^2}{\eta \omega}$ $\Phi = \frac{9 \times 10^5 \times (0.0015)^2}{2 \times 10^{-2} \times 314}$ $\Phi = \frac{9 \times 10^5 \times (0.002)^2}{2 \times 10^{-2} \times 314}$	0.32	0.57
15	偏心率 $\epsilon$		查图 21-5 当 $\alpha = 180^\circ$ $\Phi = 0.32$ $\alpha = 180^\circ$ $\Phi = 0.57$	0.325	0.47
16	最小油膜厚度 $h_{\min}$	mm	$h_{\min} = (1 - \epsilon) c$ $h_{\min} = (1 - 0.325) \times 0.225$ $h_{\min} = (1 - 0.47) \times 0.3$	0.152	0.159
17	轴颈表面粗糙度 $R_{a1}$	$\mu\text{m}$	按使用要求选取	3.2	
18	轴瓦表面粗糙度 $R_{a2}$	$\mu\text{m}$	按使用要求选取	6.3	
19	轴颈挠度 $y_1$	mm	因为 $p < 3 \text{ MPa}$ 略去 $y_1$ 的影响	0	
20	轴颈偏移量 $y_2$	mm	因为自位轴承略去	0	
21	许用最小油膜厚度 $[h_{\min}]$	mm	$[h_{\min}] = 1.5 (R_{a1} + R_{a2} + y_1 + y_2)$ $= 1.5 \times (3.2 \times 10^{-3} + 6.3 \times 10^{-3})$	0.0143	
22	比较油膜厚度		$h_{\min} > [h_{\min}]$	通过	
23	承载区摩擦数 $f/\phi$		查图 21-5 当 $\Phi = 0.32$ $\Phi = 0.57$	6	2.9
24	求系数 $\xi$		因为 $\alpha = 180^\circ$	1	

续表

序号	项 目	单位	公 式 及 说 明	结 果
25	非承载区摩擦系数 $f/\psi$		$\frac{f'}{\psi} = \frac{\pi}{2} \frac{\xi}{\Phi} = \frac{\pi}{2} \times \frac{1}{0.32}$ $\frac{f}{\psi} = \frac{\pi}{2} \times \frac{1}{0.57}$	2.75
26	功耗 $P$	W	$P = \left( \frac{f}{\psi} + \frac{f'}{\psi} \right) \psi F v$ $P = (6 + 4.9) \times 0.0015 \times 65000 \times 47.1$ $P = (2.9 + 2.75) \times 0.002 \times 65000 \times 47.1$	$5 \times 10^4$ $3.4 \times 10^4$
27	承载区流量系数 $\phi_{Q1}$		查图 21-9 当 $\epsilon = 0.32$ 当 $\epsilon = 0.47$	0.1 0.13
28	供油压力 $p_k$	MPa	选用	0.1
29	系数 $\xi$		查图 21 12 当 $\epsilon = 0.32$ 当 $\epsilon = 0.47$	0.2 0.26
30	非承载区流量系数 $\phi_{Q2}$		$\phi_{Q2} = \xi \Phi \left( \frac{d}{B} \right)^2 \frac{p_k}{p}$ $= 0.2 \times 0.32 \left( \frac{300}{240} \right)^2 \times \frac{0.1}{0.9}$ $\phi_{Q2} = 0.26 \times 0.57 \left( \frac{300}{240} \right)^2 \times \frac{0.1}{0.9}$	0.011 0.0257
31	系数 $\theta$		查图 21 12 当 $\epsilon = 0.32$ 当 $\epsilon = 0.47$	0.1 0.112
32	供油槽宽度 $K$	mm	一般取 $K = (0.2 \sim 0.25) d$ $= (0.2 \sim 0.25) \times 300$	取 1
33	阻油边宽度 $a$	mm	$a = 0.05d = 0.05 \times 300$	0.015
34	供油槽端泄系数 $\phi_{Q3}$		$\phi_{Q3} = \theta \Phi \left( \frac{d}{B} \right)^2 \frac{K}{d} \left( \frac{B}{a} - 2 \right) \frac{p_k}{p}$ $\phi_{Q3} = 0.1 \times 0.32 \left( \frac{300}{240} \right)^2 \times \frac{60}{300} \left( \frac{240}{15} - 2 \right) \times \frac{0.1}{0.9}$ $\phi_{Q3} = 0.112 \times 0.57 \left( \frac{300}{240} \right)^2 \times \frac{60}{300} \left( \frac{240}{15} - 2 \right) \times \frac{0.1}{0.9}$	0.0155 0.031
35	总流量 $Q$	$m^3/s$	$Q = (\phi_{Q1} + \phi_{Q2} + \phi_{Q3}) \psi v B d$ $Q = (0.1 + 0.011 + 0.0155) \times 0.0015 \times 47.1 \times 240 \times 300 \times 10^{-6}$ $Q = (0.13 + 0.0257 + 0.031) \times 0.002 \times 47.1 \times 240 \times 300 \times 10^{-6}$	$6.4 \times 10^{-4}$ $12.6 \times 10^{-4}$
36	润滑油温升 $\Delta t$	℃	$\Delta t = P / C Q$ $\Delta t = \frac{5 \times 10^4}{1.72 \times 10^6 \times 6.4 \times 10^{-4}}$ $\Delta t = \frac{3.4 \times 10^4}{1.72 \times 10^6 \times 12.6 \times 10^{-4}}$	45.5 15.7
37	进油温度 $t_1$	℃	$t_1 = t_p - \frac{\Delta t}{2}$ $t_1 = 50 - \frac{45.5}{2}$ $t_1 = 50 - \frac{15.7}{2}$	27.25 42.15

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆 超星数字图书馆 超星数字图书馆

续表

序号	项 目	单 位	公 式 及 说 明	结 果
38	出油温度 $t_2$	°C	$t_2 = t_p + \frac{\Delta t}{2} = 50 + \frac{45.5}{2}$ $t_2 = 50 + \frac{15.7}{2}$	72.75 57.85
39	结论			温度过高 合适

### 3.2 推力轴承

#### 3.2.1 固定瓦推力轴承

为了在滑动面间形成液体动压油膜，以便得到必要的承载能力，在轴端和轴瓦之间必须做出楔形间隙。为此（如图 21-14a 所示），需在轴端或轴瓦上

开出几个径向槽，将工作面分成几个相等的区，每区称为扇形瓦。为了减少润滑油径向泄漏，径向槽不应开到头，应在边缘上剩下  $(0.1 \sim 0.2)(r_2 - r_1)$  的宽度。

扇形瓦表面与相对滑动的平面成  $\alpha$  角。有相对运动时，相对滑动面间形成油楔，产生动压力。

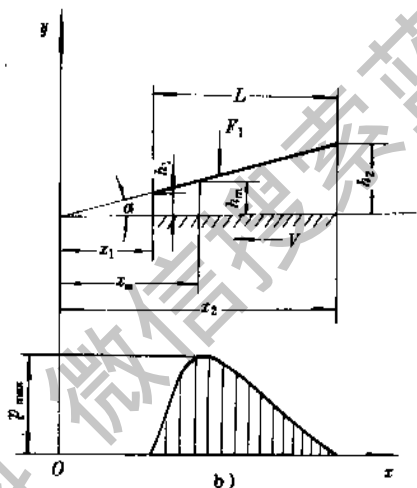
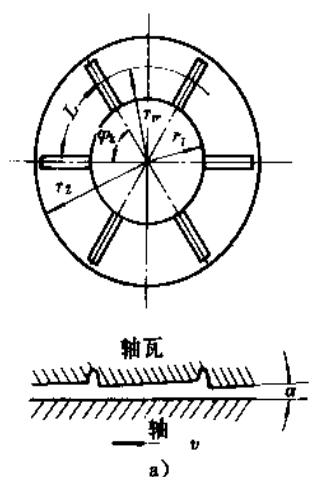


图 21-14 推力轴承

a) 推力轴承；b) 扇形瓦计算简图

(1) 单个扇形瓦承载能力  $F_1$

$$F_1 = \frac{\eta v B L^2}{h_1^2} \Phi_p \times 10^{-3} \text{ N} \quad (21-20)$$

式中  $\eta$ ——润滑油粘度  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；  
 $v$ ——当量半径  $r_m$  处圆周速度  $\text{m/s}$ ；

$$r_m = \frac{1}{3} \left( \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \right) \text{ mm}；$$

$B$ ——轴承宽度  $\text{mm}$ ； $B = r_2 - r_1$ ；

$L$ ——当量半径处扇形瓦长度  $\text{mm}$ ；

$$L = r_c \phi_k； \quad r_c = \frac{1}{2} (r_1 + r_2)$$

$h_1$ ——最小油膜厚度  $\text{mm}$ ；初步计算可取  $h_1 \geq 20 \mu\text{m} = 20 \times 10^{-3} \text{ mm}$ ；

$\Phi_p$ ——考虑了径向泄油后的无量纲载荷系数。看图 21-15。

(2) 推力轴承摩擦力矩

$$T_1 = z r_m \Phi_T \sqrt{10^{-3} F_1 \eta v B} \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} \quad (21-21)$$

式中  $z$ ——扇形瓦数目；  
 $\Phi_T$ ——无量纲系数，图 21-16。

全部扇形瓦消耗的摩擦功

$$P = T_1 \omega \text{ W}$$

(3) 温升  $\Delta t$  通常  $\Delta t = 10 \sim 20^\circ\text{C}$ ；入口油温  $t_1 \approx 35 \sim 45^\circ\text{C}$ ；平均油温  $t_p \approx 45 \sim 55^\circ\text{C}$ 。

$$\Delta t = \frac{P}{CQ} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (21-22)$$

式中  $C = 1.7 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ；  
 $Q$ ——每秒泄油量  $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$$Q = \sqrt{\frac{10^{-3} \eta v B}{F_1}} v B L z \Phi_Q \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21-23)$$

式中  $\Phi_Q$ ——无量纲泄油系数见图 21-17（不考虑离心力对泄油量的影响）。



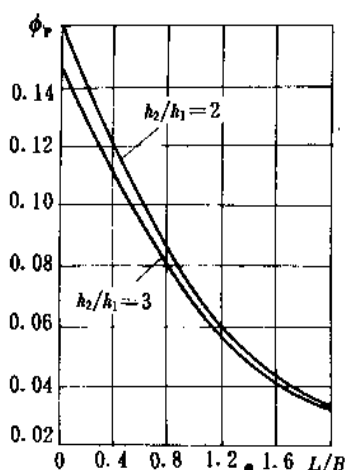


图 21-15 扇形瓦无量纲载荷系数

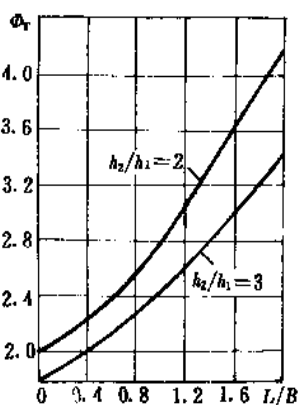


图 21-16 无量纲系数

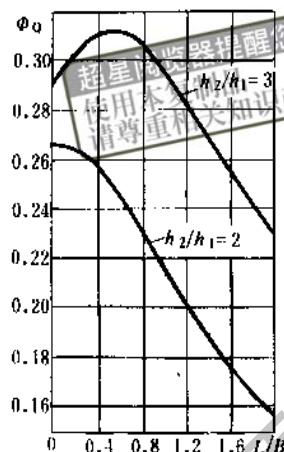


图 21-17 无量纲泄油系数

通常  $\Delta t = 10 \sim 20^\circ\text{C}$ ；进油温度  $t_1 = 35 \sim 45^\circ\text{C}$ ；平均油温  $t_m = 45 \sim 55^\circ\text{C}$ 。

(4) 推荐用轴承参数

$$r_2 \approx (1.5 \sim 2) r_1;$$

$$L \approx (0.5 \sim 1.6) B;$$

$$a \approx (1.4 \sim 1.5) \frac{h_1}{L};$$

$$\text{间隙比 } \frac{h_2}{h_1} = 1.8 \sim 2.8.$$

设计推力轴承时，根据选用润滑油牌号和预期的油温，给出润滑油粘度。根据这个粘度进行计算。其次，根据热平衡，校核假定温度是否正确。如果与假定温度有出入，要重新假定重新计算。直到相差甚微时为止。

当轴向力较大时，将每个扇形瓦的工作面做成斜面和平面的两部分（见图 21-18），由斜面与旋转平面构成油楔。运转时，在整个瓦面上形成动压膜。当斜面长度比平面长度大四倍时，轴承具有最大的承载能力，立式轴承要由平面部分承受全部静载荷，故应校核平面部分的静压强。这时，应当考虑这部分增加的摩擦阻力矩。此摩擦阻力矩为

$$T = \varphi_a z \frac{\eta \omega}{4h_1} (r_2^2 - r_1^2) \times 10^{-9} \text{ N} \cdot \text{m}$$

(21-24)

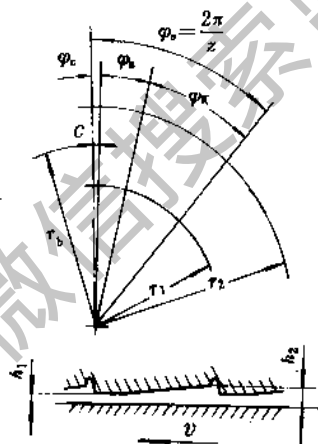


图 21-18 扇形轴瓦示意图

式中  $\varphi_a$ ——平面部分的圆心角 rad；

$z$ ——瓦块数目， $z_{\min} = 3$ ，一般  $z = 6 \sim 12$ ；

$r_p$ ——平均半径， $r_p = \frac{1}{2} (r_1 + r_2)$ 。

**例 21-2** 设计固定瓦推力轴承，其条件如下：载荷  $F_a = 100000 \text{ N}$ ；转速  $n = 240 \text{ r/min}$  ( $\omega = 25 \text{ rad/s}$ )；选用 N100 液压油 ( $40^\circ\text{C}$  运动粘度  $\nu_{40} = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$ )；工作区平均温度  $t_p = 40^\circ\text{C}$ ，轴材料为 55 号钢，轴承材料为 ZCuSn10P。计算结果如下：

序号	项 目	单 位	公 式 及 说 明	结 果
1	轴承载荷 $F_a$	N	已知	100000
2	角速度 $\omega$	rad/s	已知	25
3	半径比 $\beta$		$\beta = \frac{r_2}{r_1} = 1.5 \sim 2$	取 2

续表

序号	项 目	单 位	公 式 及 说 明	结 果
4	许用压强 $p_p$	MPa	按表 21-24 选取	15
5	内半径 $r_1$	mm	$r_1 = \sqrt{\frac{F_s}{\pi(\beta^2-1)p_p}} = \sqrt{\frac{100000}{\pi(2^2-1) \times 15}} = 27$	取 80
6	外半径 $r_2$	mm	$r_2 \approx 2r_1 = 2 \times 80$	160
7	瓦宽 $B$	mm	$B = r_2 - r_1 = 160 - 80$	80
8	平均半径 $r_p$	mm	$r_p = \frac{1}{2}(r_2 + r_1) = \frac{1}{2}(80 + 160)$	120
9	瓦块数 $z$		选取	8
10	瓦块平面部分对应角 $\varphi_a$	rad	$\varphi_a = \frac{F}{r_p z B p_p} = \frac{1 \times 10^5}{120 \times 8 \times 80 \times 15}$	0.087
11	回油槽宽 $c$	mm	选取	4
12	回油槽对应角 $\varphi_c$	rad	$\varphi_c = \frac{c}{r_p} = \frac{4}{120}$	0.033
13	瓦块斜面部分对应角 $\varphi_K$	rad	$\varphi_K = \frac{2\pi}{z} - \varphi_a - \varphi_c = \frac{2\pi}{8} - 0.087 - 0.033$	0.665
14	瓦块平均弧长 $L$	mm	$L = \varphi_K r_p = 0.665 \times 120$	80
15	瓦块长度比		$L/B = \frac{80}{80}$	1
16	间隙比		$h_2/h_1 = 1.8 - 2.8$	取 2.5
17	当量半径 $r_m$	mm	$r_m = \frac{2}{3} \left( \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \right) = \frac{2}{3} \left( \frac{160^3 - 80^3}{160^2 - 80^2} \right)$	125
18	瓦块上平均速度 $v$	m/s	$v = r_m \omega = 0.125 \times 25$	3.13
19	单块瓦上载荷 $F_1$	N	$F_1 = \frac{F_s}{z} = \frac{1 \times 10^5}{8}$	12500
20	无量纲载荷系数 $\Phi_1$		由图 21-15 查得当 $\frac{L}{B} = 1$ 时	0.072
21	温度为 $t_p$ 时润滑油粘度 $\eta$	Pa·s	$\eta = \rho \nu_{40} = 0.9 \times 100 \times 10^{-3}$	0.090
22	最小油膜厚度 $h_1$	mm	$h_1 = L \sqrt{\frac{\eta v B \Phi_1}{1000 F_1}}$ $h_1 = 80 \sqrt{\frac{0.09 \times 3.13 \times 80 \times 0.072}{1000 \times 12500}}$	0.0288
23	瓦块斜度 $\alpha$	rad	$\alpha \approx \frac{h_2 - h_1}{L} = \frac{(2.5 - 1) \times 0.0288}{80}$	$0.54 \times 10^{-3}$
24	无量纲流量 $\Phi_Q$		由图 21-17 查得	0.212
25	流量 $Q$	m <sup>3</sup> /s	$Q = \sqrt{\frac{\eta v B}{1000 F_1}} v B L \Phi_Q \times 10^{-6} = \sqrt{\frac{0.09 \times 3.13 \times 80}{1000 \times 12500}} \times 3.13 \times 80 \times 80 \times 8 \times 0.212 \times 10^{-6}$	$45.6 \times 10^{-6}$
26	无量纲摩擦系数 $\Phi_T$		由图 21-16 查得	2.8
27	斜面部分总摩擦力矩 $T_f$	Nm	$T_f = z r_m \Phi_T \sqrt{F_1 \eta v B} \times 10^{-9} = 8 \times 125 \times 2.8 \times \sqrt{1.25 \times 10^4 \times 0.09 \times 3.13 \times 80 \times 10^{-9}}$	47
28	功耗 $P$	W	$P = T_f \omega = 47 \times 25$	1170
29	温升 $\Delta t$	°C	$\Delta t = \frac{P}{CQ} = \frac{1170}{1.7 \times 10^6 \times 45.6 \times 10^{-6}}$	15.1

超星阅 阅器提醒您：  
使用本 定制  
请尊重 相关知识产权！

球取更 微信搜 索 超星球

续表

序号	项 目	单 位	公 式 及 说 明	结 果
30	进油温度 $t_1$	°C	$t_1 = t_p - \frac{1}{2} \Delta t = 40 - \frac{1}{2} \times 15.1$	32.5
31	出油温度 $t_2$	°C	$t_2 = t_p + \frac{1}{2} \Delta t = 40 + \frac{1}{2} \times 15.1$	47.6
32	瓦块平面部分摩擦力矩 $T_s$	Nm	$T_s = \varphi_s z \frac{\eta \omega}{4h_1} r_1^4 (\beta^4 - 1) \times 10^{-9}$ $= \frac{0.087 \times 8 \times 0.09 \times 25 \times 80^4 (2^4 - 1)}{4 \times 28.8 \times 10^{-3}} \times 10^{-9}$	8.3
33	总功耗 $P_T$	W	$P_T = (T_T + T_s) \omega = (47 + 8.3) \times 25$	1380

### 3.2.2 摆动瓦推力轴承

摆动瓦推力轴承(图 21-19)的瓦块,能随运转情况的变化自动调节斜度,改变最小油膜厚度。

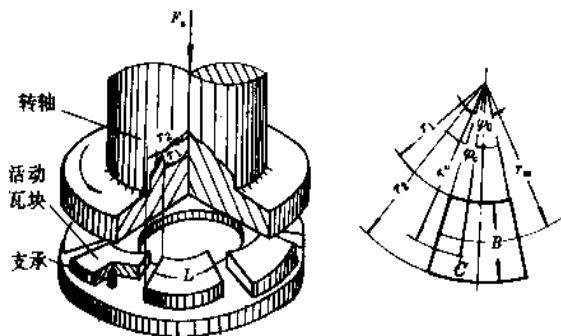


图 21-19 摆动瓦推力轴承

主要参数选择:

(1) 瓦块数  $z$  最少 3 块,一般为 6~12 块。块数多安装和调整困难,同时降低承载能力。

(2) 瓦块长度比  $L/B$  通常取  $L/B = 0.6 \sim 1.2$ 。希望油膜厚度较厚和摩擦系数较低时,建议取  $L/B$  等于或稍大于 1。

(3) 填充系数  $k = 0.7 \sim 0.86$   $k$  值过大时,由一瓦块排出的热油,易于进入下一瓦块,使瓦温和进油温度提高,影响承载能力。

(4) 许用压强  $p_P$  平均许用压强  $p_P \leq 3.5$  MPa。

(5) 内外径比  $r_2/r_1$  通常取  $r_2/r_1 = 1.5 \sim 2.5$ ,  $r_1$  常由结构决定,取  $r_1$  稍大于轴的半径。

(6) 最小油膜厚度  $h_1$  考虑到制造工艺和安全运转的需要,建议取最小油膜厚度  $h_1 \geq 0.025 \sim 0.05$  mm,前者用于中等尺寸的轴承,后者用于大型轴承。

(7) 温升 轴承性能计算,按平均温升进行。通常平均油温  $t_P = 45 \sim 55$  °C;控制进油温度  $t_1 = 35 \sim 45$  °C;温升  $\Delta t = 10 \sim 20$  °C。

一块瓦块承载能力:

$$F_1 = \frac{\eta \omega r_1^4}{h_1^2} \varphi_0 \phi_P \times 10^{-6} \text{ N} \quad (21-25)$$

式中  $\phi_P$ ——瓦块无量纲承载系数;

$\varphi_0$ ——一块瓦对应的圆心角;

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{z} k \text{ rad};$$

$k$ ——填充系数,  $k = \frac{zL}{2\pi r_P}$ ,  $r_P = \frac{1}{2}(r_1 + r_2)$ ,

一般取  $k = 0.7 \sim 0.85$ 。

最小油膜厚度  $h_1$

$$h_1 = \varphi_0 r_1^2 \sqrt{\frac{\eta \omega \phi_P}{10^{-6} F_1}} \text{ mm} \quad (21-26)$$

一块瓦块摩擦力矩  $T_T$

$$T_T = \frac{\eta \omega r_1^4 \varphi_0}{h_1} \phi_T \times 10^{-9} \text{ N} \cdot \text{m} \quad (21-27)$$

总摩擦力矩

$$T_s = z T_T \times 10^{-9} \text{ N} \cdot \text{m}$$

式中  $\phi_T$ ——无量纲摩擦系数

每块瓦泄油量(用于计算供油量)

$$Q_1 = h_1 \omega r_1^2 \phi_Q \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21-28)$$

计算温升时,泄油量按  $Q_m$  计算(因有侧泄,不是所有进来的油都能带走热量)。

$$Q_m = h_1 \omega r_1^2 \phi_{Qm} \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21-29)$$

式中  $\phi_Q$  和  $\phi_{Qm}$  见表 21-5。

压力中心(也就是  $c$  点)所在位置

$$r_c = \theta_r r_1; \quad \varphi_c = \theta_r \varphi_0$$

式中  $\theta_r, \theta_r$  见表 21-5。

温升

$$\Delta t = \frac{T_T \omega}{C Q_m} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (21-30)$$

表 21-5 无量纲系数  $\phi_F$ 、 $\phi_T$ 、 $\phi_Q$ 、 $\phi_{Qm}$

圆 心 角 $\varphi_0$	半 径 比 $r_2/r_1$							
	1.7	2.0	2.5					
无量纲载荷系数 $\phi_F$								
20	0.152	0.332	0.888	1.878				
30	0.113	0.262	0.744	1.620				
40	0.090	0.219	0.636	1.415				
50	0.068	0.176	0.531	1.206				
无量纲摩擦系数 $\phi_T$								
20	1.35	2.76	7.04	14.80				
30	1.33	2.73	6.97	14.68				
40	1.32	2.71	6.92	14.58				
50	1.31	2.69	6.86	14.47				
无量纲总泄油量 $\phi_Q$								
20	0.76	1.18	2.01	3.03				
30	0.81	1.24	2.10	3.11				
40	0.84	1.28	2.16	3.21				
50	0.86	1.33	2.25	3.35				
无量纲平均泄油量 $\phi_{Qm}$								
20	0.66	1.035	1.805	2.745				
30	0.68	1.06	1.84	2.76				
40	0.69	1.08	1.86	2.80				
50	0.69	1.09	1.89	2.85				
系 数								
	$\theta_r$	$\theta_p$	$\theta_s$	$\theta_q$	$\theta_t$	$\theta_e$	$\theta_c$	$\theta_g$
20	1.36	—	1.58	—	1.88	—	2.30	—
30	1.39	0.397	1.58	0.386	1.91	0.367	2.28	0.340
40	1.385	0.415	1.58	0.42	1.90	0.425	2.25	0.43
50	1.38	0.387	1.57	0.37	1.90	0.358	2.23	0.337

## 4 液体静压轴承

### 4.1 概 述

液体静压轴承的基本原理是在轴瓦内表面开出油腔，在启动前，先往油腔内通入高压油，使轴颈与轴瓦间形成油膜，将轴托起。各参数选择得当，可保证轴承在液体摩擦状态下较稳定地运转。

静压轴承系统按供油方式不同可分为两大类：恒压供油方式和恒流量供油方式。恒压供油方式较简单，故常用。

恒压供油静压轴承系统主要由三部分组成：轴承部分，节流器部分和供油装置（见图 21-20）。由供油装置提供的压力油，通过节流器进入油腔，又从油腔流出轴承，然后流回油箱。

径向静压轴承有两种基本型式：有轴向回油槽的轴承和无轴向回油槽的轴承（见图 21-21）。

常用的节流器有两类：固定节流器和可变节流器。属于固定节流器的有小孔节流器（图 21-22a）、毛细管节流器（图 21-22b）等；属于可变节流器的有滑阀反馈节流器（图 21-22c）、薄膜反馈节流器（图 21-22d）等。滑阀反馈节流器由阀体 1，滑阀 2 和弹簧 3 组成；薄膜反馈节流器由盖板及圆台 4 和

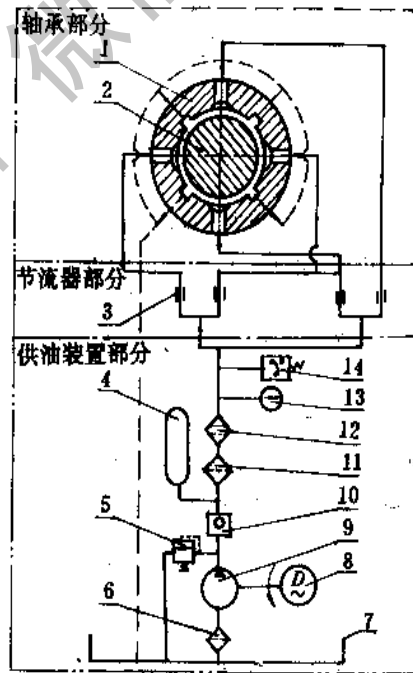


图 21-20 恒压供油静压轴承系统  
1—轴承；2—轴颈；3—节流器；4—蓄能器；5—溢流阀；  
6—吸油滤油器；7—油箱；8—电机；9—油泵；  
10—单向阀；11—粗滤油器；12—精滤油器；  
13—压力表；14—压力继电器

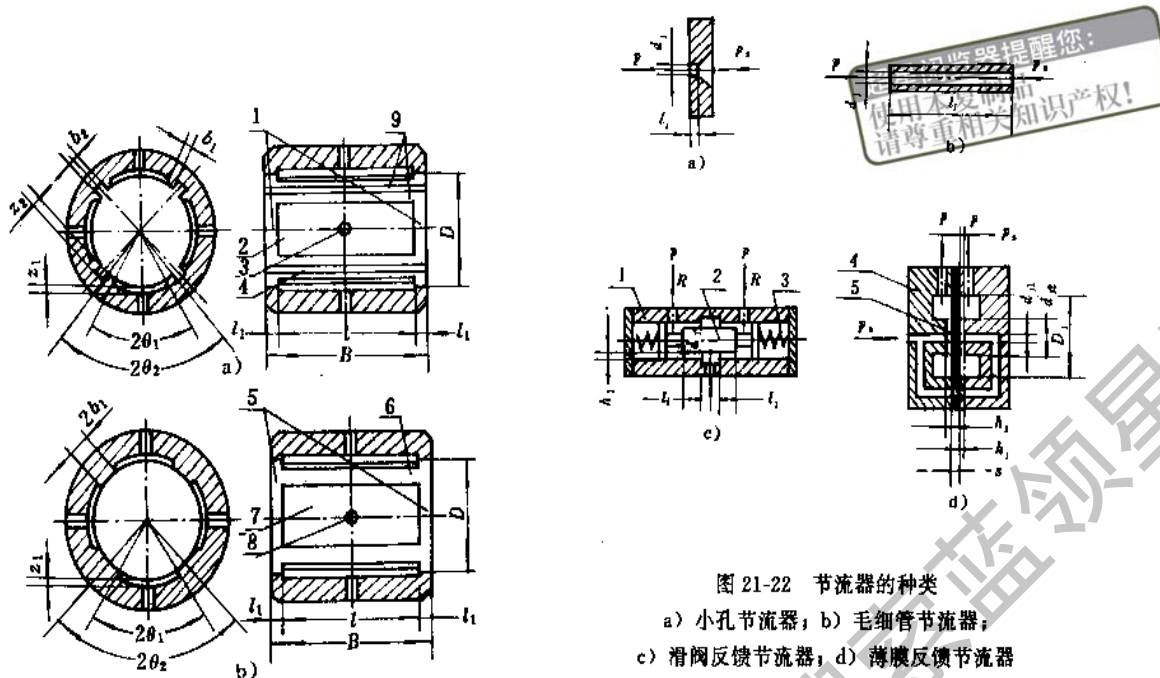


图 21-21 径向静压轴承的基本型式

a) 有轴向回油槽轴承; b) 无轴向回油槽轴承  
 1—轴向封油面; 2—油腔; 3—进油孔; 4—回油槽;  
 5—轴向封油面; 6—周向封油面; 7—油腔;  
 8—进油孔; 9—周向封油面

薄膜 5 组成, 压力油经滑阀间隙(或薄膜间隙)节流后, 流向两个相对油腔。各种节流器的特点和应用列于表 21-6。

表 21-6 各种节流器的特点和应用

节流器种类	固定式节流器		可变式节流器	
	小孔节流器	毛细管节流器	滑阀反馈节流器	薄膜反馈节流器
起节流作用的结构尺寸	小孔直径 $d_1$	毛细管直径 $d_1$ 和长度 $l_1$	滑阀同滑阀体之间的间隙 $h_1$ 和节流长度 $l_1$ , 利用滑阀移动改变滑阀两端的节流长度, 从而起反馈控制作用	圆台同薄膜之间的间隙 $h_1$ 和圆台宽度 $(d_{12} - d_{11})/2$ , 利用薄膜变形改变薄膜两面的节流间隙, 从而起反馈控制作用
节流阻力	节流阻力不随载荷变化		节流阻力随载荷变化而自动变化	
油腔压力差形成条件	在载荷作用下, 需要有一定的轴心线偏移才能形成油腔压力差		在载荷作用下, 一般是由轴心线偏移和滑阀移动或薄膜弹性变形, 以形成压力差。当轴回到中心位置时, 由后者起作用	
轴位移状态	轴位移方向永远同载荷方向一致		轴位移可以是正位移、零位移和负位移	
油膜刚度	较小		很大	
润滑油粘度变化对油膜刚度的影响	有影响		在层流状态下无影响	
润滑油通过节流器后的流量允差	空载下的同一轴承各节流器, 在相同温度下的流量允差为 10%			

续表 21-6

节流器种类	固定式节流器		可变式节流器	
	小孔节流器	毛细管节流器	滑阀反馈节流器	薄膜反馈节流器
突加(阶跃)载荷下轴承的动态过渡特性	无超位移现象		过渡时间较长,超位移量较大	超位移量较小,过渡时间较短。在最佳工作参数下,能接近于无超位移现象
结构	简单		复杂	复杂
应用	用于高速、轻载、精密轴承	用于速度较低、轻载、恒载精密轴承	用于重载或载荷变化范围大的轴承	用于重载或载荷变化范围大的精密轴承

液体静压轴承特点:

- 1) 摩擦阻力小 由于静压轴承实现了液体摩擦,故启动阻力和功耗小,传动效率高;
- 2) 使用寿命长 正常运转和启动时都不发生金属直接接触,故使用寿命长,精度保持好;
- 3) 转速范围广 在各种速度下,甚至在速度为零时,都有较大的承载能力;
- 4) 抗震性能好 润滑油膜有良好的吸振能力,使轴运转平稳;
- 5) 回转精度高 油膜具有补偿误差的作用,能减少主轴和轴承制造误差的影响。故回转精度高;
- 6) 适应性好 设计静压轴承时,只要选用合理的设计参数(如封油面尺寸、节流器形式、供油压力、节流比等等),就能使轴承承载能力、油膜刚度和温升适应从轻载到重载,从低速到高速,从小型到大型各种机器的要求;
- 7) 初置费较贵 因静压轴承需要一套可靠的供油装置,增加了设备空间和重量,初置投资费用较贵。

具有摩擦面积小,摩擦力和功耗小,轴承温升较低等特点,常用于轴转速较高,轴系统自重较小的轴承。圆弧形油腔可以代替等深矩形油腔,且油腔便于加工。油槽形油腔常用于轴转速较低,轴系统自重较大的轴承。轮廓尺寸相同的槽形油腔和矩形油腔两者的有效承载面积相等,轴承计算方法也相同,但槽形油腔在未建立油腔压力之前,轴承的承压面积增加很多。

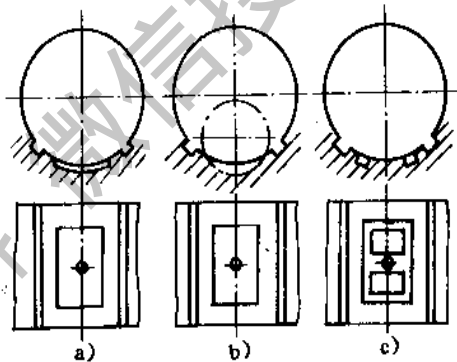


图 21-23 油腔的形式

a) 等深油腔; b) 圆弧矩形油腔; c) 槽形油腔

4.2 静压轴承的结构设计

4.2.1 径向静压轴承

(1) 结构特点和应用 径向静压轴承除分为有轴向回油槽和无轴向回油槽两类外,还可按其结构形式的不同进行分类。

按油腔数目可分为三油腔、四油腔、多油腔。其中四油腔轴承应用最广。当  $D \leq 40 \text{ mm}$  时可采用三油腔;当载荷较大,运转过程中载荷方向经常变化,又要求各位移方向刚度均匀性较好时,宜采用多油腔。

按油腔形式的不同可分为:等深矩形油腔,圆弧矩形油腔,槽形油腔(见图 21-23)。等深矩形油腔

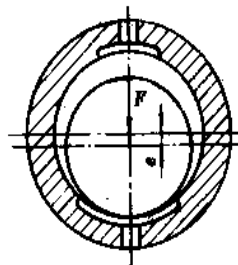


图 21-24 不等面积油腔



按油腔面积等与不等分为等面积油腔和不等面积油腔 (见图 21-24)。绝大多数轴承采用等面积油腔, 只在载荷很大, 载荷方向基本不变的情况下, 为

提高轴承的承载能力, 有时采用不等面积的油腔。

(2) 结构参数 径向静压轴承结构参数的选择见表 21-7, 有关尺寸符号参看图 21-21。

表 21-7 径向轴承结构参数 (参看图 21-21)

名 称	推 荐 数 据		
轴承长度 $L$	$L = (0.8 \sim 1.5) D$		
轴向封油面宽度 $l_1$	$l_1 = 0.1 D$		
周向封油面宽度 $b_1$	$b_1 = l_1$		
油腔深度 $Z_1$	$Z_1 = (30 \sim 60) h_0$		
轴承半径间隙 $h_0$	$D$ mm	$h_0$ mm	
	$\leq 50$	$(0.0003 \sim 0.0005) D$	
	$50 \sim 100$	$(0.00025 \sim 0.0004) D$	
	$100 \sim 200$	$(0.0002 \sim 0.00035) D$	
回油槽宽度 $b_2$ 和深度 $Z_2$	选择间隙时应考虑轴承油膜刚度、流量、温升、加工精度、轴挠度等因素		
	$D$ mm	$b_2$ mm	$Z_2$ mm
	$40 \sim 60$	3	0.6
	$70 \sim 100$	4	0.8
	$110 \sim 150$	5	1.0
	$160 \sim 200$	6	1.2
回油槽尺寸既要保证回油畅通, 又要充满润滑油并保证微小压力, 以防高速时由回油槽引入空气			
主轴与轴承的形位公差	主轴与轴承的形位公差 $\Delta x$ (圆柱度、同轴度) 一般不超过轴承半径间隙的 30% ( $0.3h_0$ )		
轴与轴承表面粗糙度	$R_a = 0.08 \sim 0.63 \mu\text{m}$		
轴承外圆表面同箱孔的配合	对于低压供油, 多采用过盈配合, 对 $D = 40 \sim 200$ mm 的轴承, 其过盈量一般约为 $D/1000$		
轴承外圆表面同箱孔表面的粗糙度	轴承外圆表面 $R_a \leq 0.32 \sim 0.63 \mu\text{m}$ ; 箱孔表面 $R_a \leq 0.63 \sim 2.5 \mu\text{m}$		

#### 4.2.2 推力静压轴承

(1) 结构特点和应用 平面推力静压轴承的油腔形式, 见图 21-25。a) 为环形油腔式, 它结构简单加工方便, 但只能承受轴向中心载荷, 抗倾复力矩能力差, 主要用于倾复力矩由径向轴承承受的一般推力轴承。b) 为多腔式, 结构复杂, 加工困难, 但能承受轴向偏心载荷, 抗倾复力矩能力好, 主要用于大型推力轴承。

推力轴承结构见图 21-26。

常见的几种推力轴承布局见图 21-27~29。调整轴承间隙用的调整环, 以及径向轴承回油槽设置情况均表示于图上。当推力轴承布置在径向轴承的前端 (图 21-27) 和布置在同一径向轴承的两侧 (图 21-28) 时, 轴受热变形对轴承工作情况影响小, 轴承刚度较大。布置在前后两个轴承的两端 (图 21-29) 时, 轴受热变形对轴承工作情况影响较大。两轴承间距离越大, 影响越大。

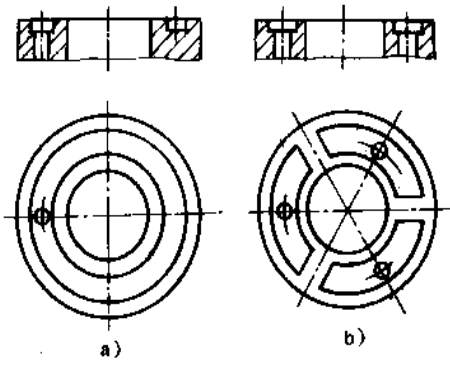


图 21-25 平面推力轴承的油腔形式  
a) 环形油腔式; b) 多腔式

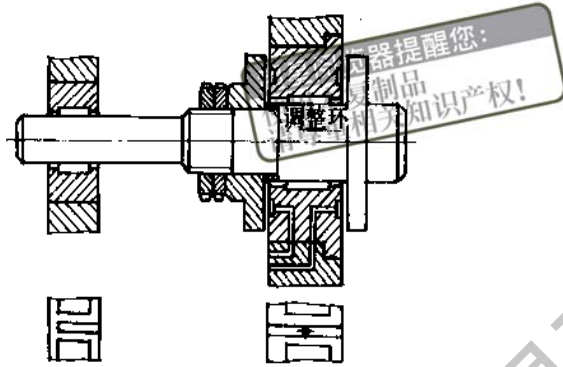


图 21-28 推力轴承布置在同一径向轴承的两侧

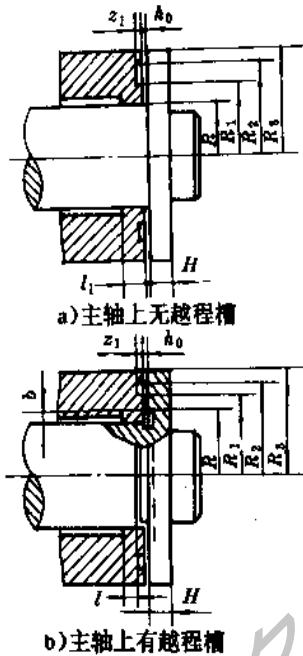


图 21-26 推力轴承的结构

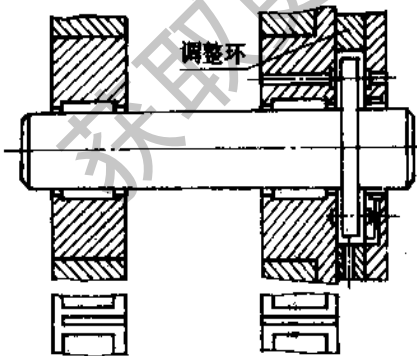


图 21-27 推力轴承布置在径向轴承的前端

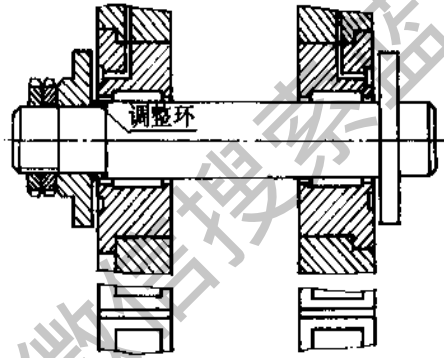


图 21-29 推力轴承布置在两个轴承的两端

(2) 结构参数 推力轴承结构参数见表 21-8, 有关符号参看图 21-26。

(3) 克服油腔压力降低的措施 轴转动后, 推力轴承的油腔压力常较计算为低。转速越高, 相差越多, 从而降低了轴承的承载能力和油膜刚度。造成油膜压降的原因: 一是由于轴转动时的离心力使油外甩; 一是由于热变形使轴承间隙增大。轴承如图 21-27 和图 21-28 布置时, 离心力是主要因素, 如图 21-29 布置时离心力和热变形都有影响。

实验结果证明, 推力轴承外圈的圆周速度在 14 m/s 以上时, 油腔压力将开始严重下降。设计时可采用以下措施:

- a. 增大外边封油面尺寸;
- b. 外边封油面处引入具有适当压力的润滑油;
- c. 设法改变润滑油的流出方式;
- d. 外边封油面上开反向螺旋槽。为减轻轴向间隙增大的影响, 轴承间距离不宜过大, 轴承温升不宜过高。

表 21-8 推力轴承结构参数 (参看图 21-26)

名称	推荐数据
环形油腔尺寸	$R_1=1.2R$ $R_2=1.4R$ $R_3=1.6R$
油腔深度 $Z_1$	$Z_1=(30\sim60)h_0$
轴承单面间隙 $h_0$	选择 $h_0$ 应考虑的因素,基本上与径向轴承相同。推力轴承常采用与径向轴承相同的润滑油、供油压力和节流尺寸。拟定推力轴承结构尺寸后,可以计算出单面间隙 $h$
轴肩(或推力环)厚度 $H$	$D \leq 50 \text{ mm}; H \approx 10 \text{ mm};$ $D \leq 50 \sim 200 \text{ mm}; H \approx 0.2D$ $D$ ——径向轴承直径
轴承配合表面的粗糙度	$R_a=0.08\sim0.63 \mu\text{m}$

### 4.2.3 静压轴承材料

静压轴承在正常工作情况下,不发生金属之间的直接接触,故轴承材料可用组织均匀、无砂眼、无缩孔的铸铁 HT200。但考虑到可能存在瞬时超载、热变形和润滑油突然中断等因素时,为减少轴颈被损坏的危险性,也可以采用 ZCuZn38Mn2Pb2 黄铜或 CuPb5Sn5Zn5 青铜。

对于重型设备的轴承,由轴承系统自行引起的支承表面单位压力,应小于材料的许用比压。

### 4.2.4 节流器的结构设计

(1) 小孔节流器 直径  $d_j$  远远大于长度  $l_j$  的小孔称为薄壁小孔。在理论上,通过薄壁小孔的流量只同压差  $\Delta p$ 、油密度有关,而同孔长度、油粘度无关。在实用中  $l_j=1\sim3 \text{ mm}$ , 润滑油运动粘度在  $3 \text{ cSt}$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) 以下的小孔节流器,具有与薄壁小孔基本相同的性质。为防止堵塞,应取  $d_j \geq 0.45 \text{ mm}$ 。

板式小孔节流器和外锥式小孔节流器的典型工作图见图 21-30 和图 21-31。

外锥式节流器的材料用黄铜或 45 号钢,板式节流器材料用 Q235 钢。

(2) 毛细管节流器 长度  $l_j$  远远大于孔径  $d_j$  的节流器称为毛细管节流器。保证润滑油通过毛细管后为层流,应满足以下条件:

a. 圆截面毛细管的雷诺数  $Re$  应小于或等于 2000; 非圆截面毛细管的雷诺数应小于或等于 500。雷诺数可按式计算

$$\text{圆截面} \quad Re = \frac{v_j d_j}{\nu} \quad (21-31)$$

$$\text{非圆截面} \quad Re = \frac{v_j A_j}{\nu S} \quad (21-32)$$

式中  $d_j$ ——毛细管直径  $\text{m}$ ;

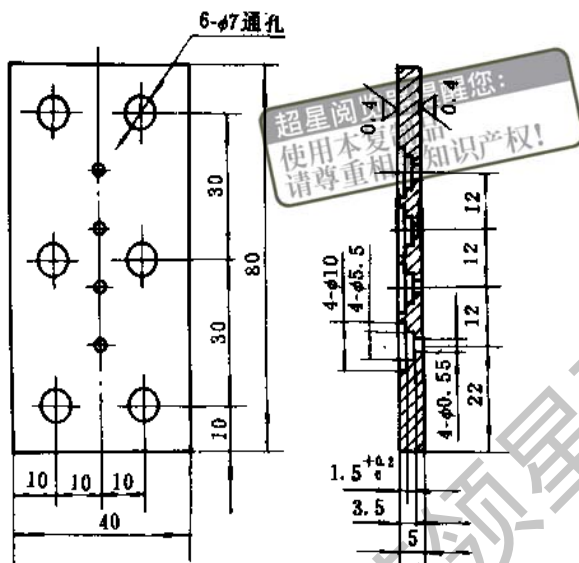


图 21-30 板式小孔节流器

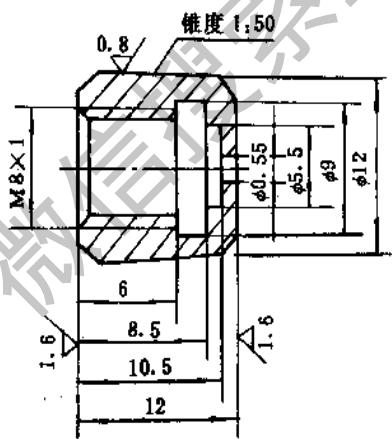


图 21-31 外锥式小孔节流器

$\nu$ ——润滑油运动粘度  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$S$ ——非圆截面周边(湿周)长度  $\text{m}$ ;

$A_j$ ——截面积  $\text{m}^2$ ;

$v_j$ ——润滑油在毛细管中的平均速度  $\text{m/s}$ ,

$$v_j = \frac{(p_s - p_{t0})d_j^2}{32\eta_j l_j} \quad (21-33)$$

式中  $p_s$ ——供油压力  $\text{Pa}$ ;

$p_{t0}$ ——油腔压力  $\text{Pa}$ ;

$\eta$ ——动力粘度  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

b. 毛细管长度  $l_j$  与直径  $d_j$  之比应大于 20;

c. 毛细管长度应大于层流起始长度  $l_0$ 。

$$l_0 = 0.065 d_j Re \leq l_j \quad (21-34)$$

直通式毛细管节流器可以用注射针或玻璃毛细管制成。注射针规格见表 21-9。为了防止堵塞,毛

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

细管孔径（或当量直径） $d_1$  应大于 0.55 mm。注射针毛细管典型工作图见图 21-32。

螺纹表面粗糙度为  $R_a = 0.63 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 。

表 21-9 注射针规格 mm

外径	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4
内径	0.46	0.56	0.71	0.84	1.07

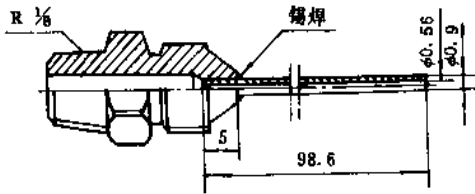


图 21-32 毛细管工作图

螺旋槽式毛细管节流器见图 21-33。图中 a) 和 b) 分别为节流长度不可调式和可调式。螺纹部分的外圆柱面同壳体内孔的配合间隙为 0.008~0.012 mm。c) 为在轴瓦外表面上开出多条螺旋槽，分别与不同的油腔相通，轴承外表面与轴承壳内孔采用过盈配合。螺旋槽截面形状有三角形、矩形、梯形等。

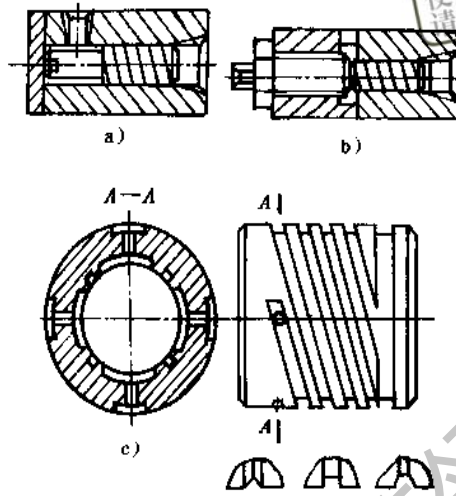


图 21-33 螺旋槽式毛细管节流器

- a) 节流长度不可调式；b) 节流长度可调式；
- c) 多条螺旋槽式

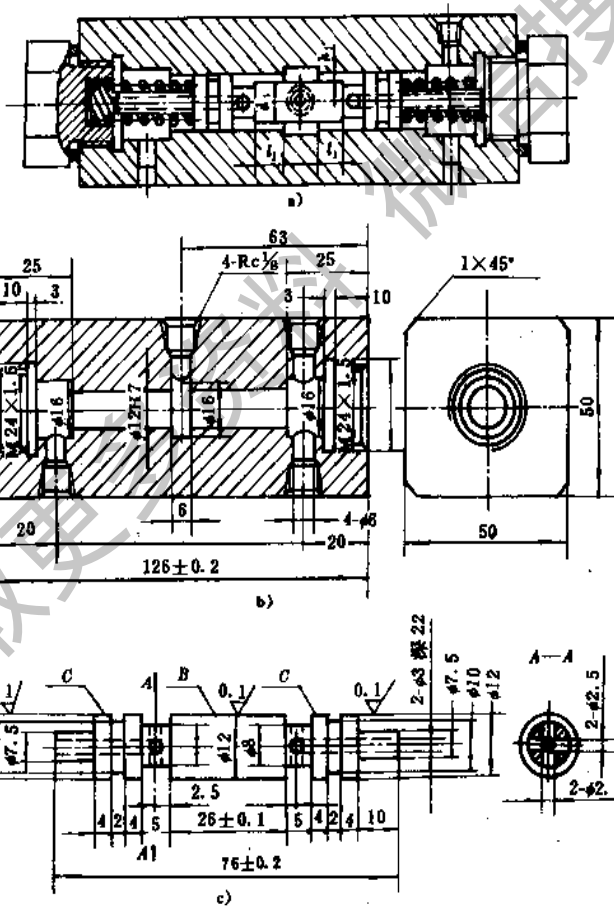


图 21-34 滑阀反馈节流器

- a) 滑阀反馈节流器装配图；b) 阀体工作图；c) 滑阀工作图

(3) 滑阀反馈节流器 (看图 21-34) 通常取滑阀直径  $d_1=12\sim 16\text{ mm}$ 。滑阀同滑阀体间的节流间隙  $h_1$  由计算决定。由于制造有误差, 在安装时将改变滑阀直径作为调整环节, 使其节流比达到设计要求。为防止堵塞, 最小节流间隙应大于  $0.03\text{ mm}$ 。滑阀导向部分同阀体配合的直径间隙可取为  $0.01\sim 0.02\text{ mm}$ 。弹簧刚度需在安装前进行测定, 尽量符合设计要求。滑阀两端应选用刚度、长度相同的弹簧。

为了实现层流条件, 润滑油在最高工作温度下应满足雷诺数要求,  $Re\leq 500$ 。推荐滑阀到极限位置时, 最小节流长度  $l_{\min}>2.5\text{ mm}$ ; 且使  $\frac{l_{\min}}{h_1}>30$ 。

滑阀材料用 40Cr 或 45 号钢, 45~50HRC; 阀体用 HT200 铸铁。

(4) 双面薄膜反馈节流器 常用的节流器尺寸有两种 (看图 21-35a):

$$D_1=32\text{ mm} \quad d_1=40\text{ mm} \quad d_2=12\text{ mm}$$

$$D_1=32\text{ mm} \quad d_1=2.5\text{ mm} \quad d_2=16\text{ mm}$$

薄膜同圆台间的节流间隙  $h_1$  由计算决定。由于制造误差, 需要在安装时, 改变原始节流间隙作为调整环节, 使其节流比达到设计要求。为防止堵塞, 最小节流间隙应大于  $0.04\text{ mm}$ 。控制原始节流间隙的方法是: 研磨加工或垫薄铜片。后者工艺性好, 但在清洗、维修时, 应将铜片分别编号, 不得装错。

为了实现层流条件, 润滑油在最高工作温度下应保证雷诺数  $Re\leq 500$ 。推荐  $\frac{d_2-d_1}{h_0}>60$ 。

薄膜厚度由计算决定, 薄膜厚度小于  $0.6\text{ mm}$  不易磨制, 薄膜平面和两面的平行度不大于  $0.01\text{ mm}$ , 粗糙度  $R_a\leq 0.63\text{ }\mu\text{m}$ 。

薄膜材料用 65Mn, 热处理 42~45HRC。垫片采用薄铜片, 盖板材料用 45 号钢。

单式薄膜反馈节流器的装配图和上、下盖板、薄膜的工作图见图 21-35。用这种节流器控制一个轴承的两个油腔。

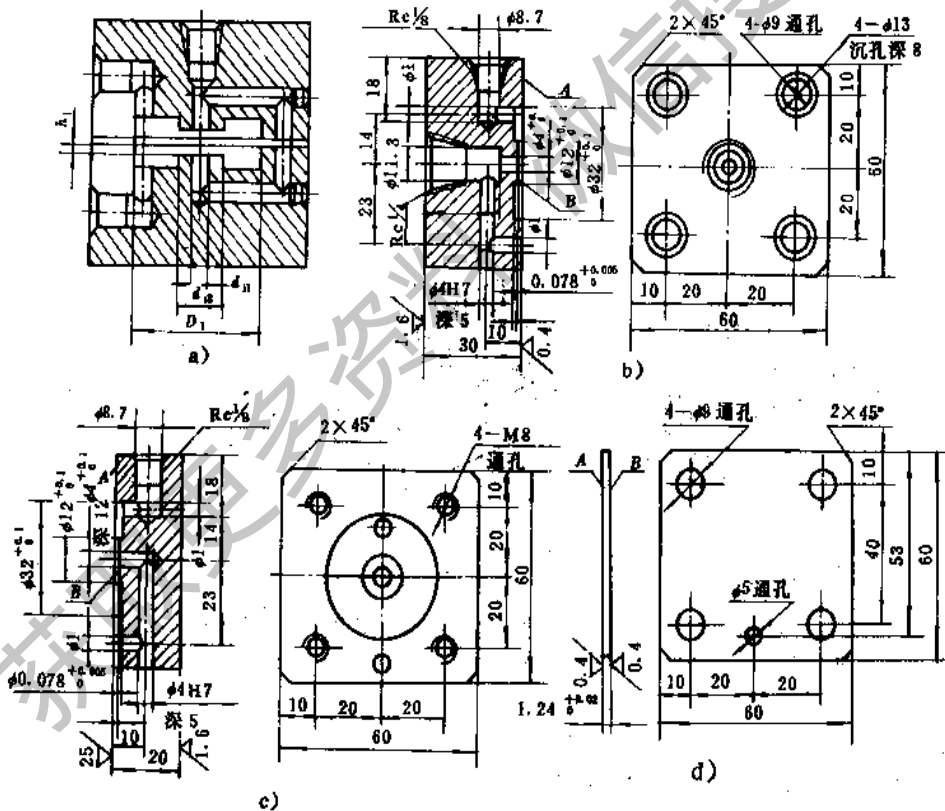


图 21-35 单式薄膜反馈节流器

a) 薄膜节流器装配图; b) 上盖工作图; c) 下盖工作图; d) 薄膜工作图



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

### 4.3 单腔平面油垫计算

#### 4.3.1 单腔平面油垫的流量和液阻

在静压轴承中,各个承载部分叫做油垫,每个油垫又由油腔、封油面和进油孔组成。油垫表面的形状,随被支承件表面的形状而定。推力轴承与平面的轴端或轴肩接触,所以油垫表面是平面;径向轴承与圆柱形轴颈接触,所以油垫表面是圆柱面。

静压轴承大多具有多个油垫,但各个油垫中的油彼此互不沟通,互相独立,所以每个油垫可以单独计算,径向轴承的油垫是圆柱面,但由于油膜厚度远远小于轴的半径,所以径向轴承也可以近似的当作平面油垫计算。

单腔平面油垫的计算是静压轴承计算的基础。

如图 21-36 所示,油泵开动后,压力油进入油腔,当油腔压力增加到足以推动外载荷时(设外载荷  $F$  通过油腔中心),被支承件被顶起,在油腔表面和被支承件表面之间形成油膜,此时油腔中的压力油不断地流经封油面而排出。

(1) 矩形单腔平面油垫 矩形单腔平面油垫的油腔和封油面外周是矩形的见图 21-37。假定在油腔内各点压力相同;在封油面上的压力分布直线变

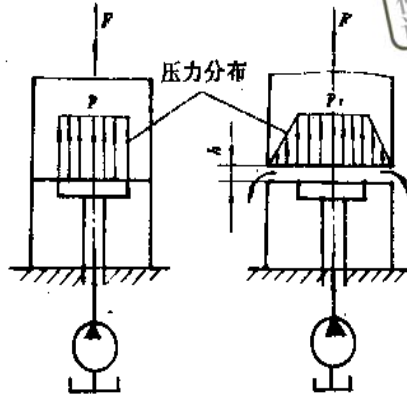


图 21-36 端面压力分布

化,则矩形油垫的承载能力,可用油压分布棱锥台的体积表示,如图 21-37a。为了便于计算,进一步将棱锥台用一个容积与之相等的立方体表示,如图 21-37b。立方体的底面积为封油面中心线所包的矩形面积;其高度为油腔压力  $p_1$ 。因此轴承的承载能力可写成

$$F = p_1(l + l_1)(b + b_1) = p_1 A_e \quad \text{N} \quad (21-35)$$

式中  $A_e = (l + l_1)(b + b_1) \text{ m}^2$ , 为矩形油垫有效支承面积。

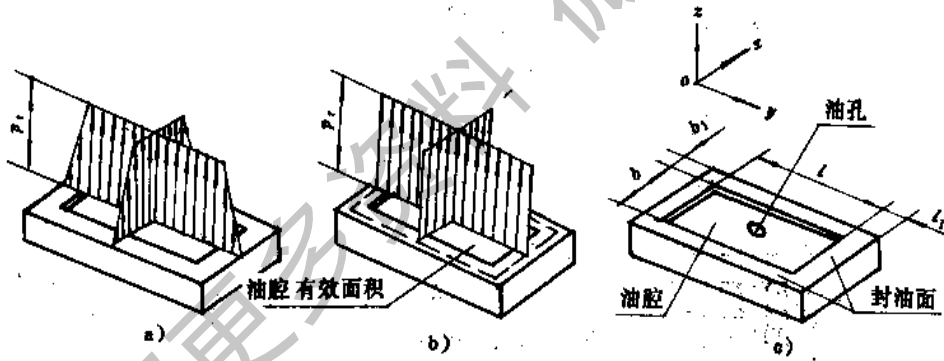


图 21-37 矩形单腔平面油垫

a) 油压分布成棱锥台; b) 油压分布简化成立方体; c) 油腔及封油面尺寸

当油膜厚度为  $h$  时,流经矩形油垫四个封油面的流量,可按二平行板间层流流动的流量公式计算。总的流量是分别沿  $x$  方向和  $y$  方向求得的流量  $Q_x$  和  $Q_y$  之和,流经封油面四个角上的流量忽略不计。

不考虑侧向流量时二平行板间层流(图 21-38)流动的流量计算公式为:

$$Q = \frac{h^3 B \Delta p}{12 \eta L} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21-36)$$

式中  $B$ ——平板宽度  $\text{m}$ ;  
 $L$ ——平板长度  $\text{m}$ ;  
 $\Delta p$ ——压力差  $\text{Pa}$ ;  
 $h$ ——平板间距离  $\text{m}$ ;  
 $\eta$ ——液体动力粘度  $\text{Pa} \cdot \text{s}$

参看图 21-38 对应上式可得:

$$Q_x = 2 \frac{h^3 l \Delta p}{12 \eta b_1} \text{ m}^3/\text{s}$$



超星阅读器提醒您 91  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

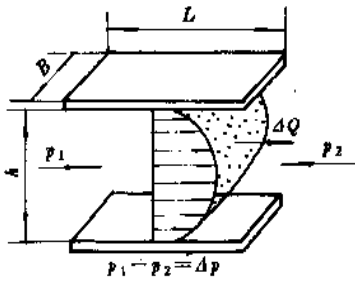


图 21-38 二平行板间层流流动

$$Q_y = 2 \frac{h^3 b \Delta p}{12\eta l_1} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21-37)$$

总流量为

$$Q = Q_x + Q_y = \frac{\Delta p h^3}{6\eta} \left( \frac{l}{b_1} + \frac{b}{l_1} \right)$$

$$= \frac{\Delta p}{R_h} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21-38)$$

式中

$$R_h = \frac{6\eta}{h^3 \left( \frac{l}{b_1} + \frac{b}{l_1} \right)} \quad (21-39)$$

又可写成  $R_h = \frac{\Delta p}{Q}$ 。  $R_h$  的物理意义是：单位流量的液体流经封油面所产生的压力降，称为  $R_h$  为液阻。

(2) 圆形单腔平面油垫 这种油垫的油腔和封油面外周是圆形的，进油孔在中心，如图 21-39 所示，它广泛用于止推轴承和薄膜反馈节流器中。

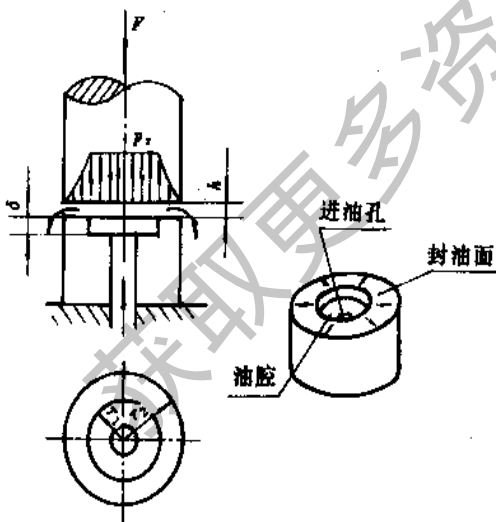


图 21-39 圆形单腔平面油垫

被支承件被顶起后，油从油腔沿半径方向外流，油压沿封油面，按对数曲线规律分布（见图 21-40）。

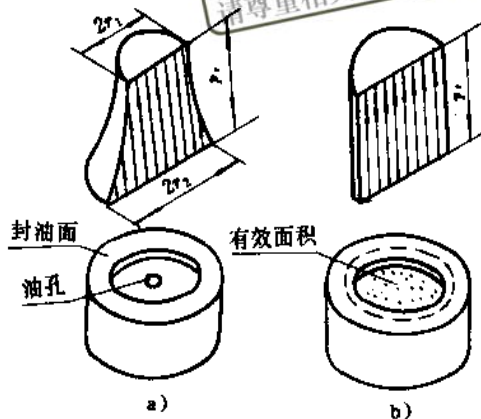


图 21-40 油压沿封油面分布规律

a) 对数曲线旋转体；b) 圆柱体

圆形油垫的承载能力是对数曲线绕中心线旋转所形成的体积。为了方便，可用假想的圆柱体代替，其截面积也就是圆形油垫的有效支承面积，用  $A_e$  表示。

$$A_e = \frac{\pi r_2^2 \left( 1 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right)}{2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \text{ m}^2 \quad (21-40)$$

当油膜厚度为  $h$  时，可求得流量  $Q$  为

$$Q = \frac{\Delta p h^3}{\eta} \times \frac{\pi}{6} \times \frac{1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{\Delta p}{R_h} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21-41)$$

式中  $R_h = \frac{6\eta \ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi h^3}$

#### 4.3.2 各种节流器的流量和液阻计算（见表 21-10）

表 21-10 各种节流器的流量  $Q_i$  和液阻  $R_i$

	流量 $Q_i$ $\text{m}^3/\text{s}$	节流器液阻 $R_i = \frac{\Delta p}{Q}$
毛细管	$\frac{\pi d_i^4 \Delta p}{128\eta l_i}$	$\frac{128\eta l_i}{\pi d_i^4}$
滑阀式（环形缝隙）	$\frac{\pi d_i h_i^3 \Delta p}{12\eta l_i}$	$\frac{12\eta l_i}{\pi d_i h_i^3}$
薄膜式（圆台缝隙）	$\frac{\pi h_i^3 \Delta p}{6\eta \ln \frac{r_{i2}}{r_{i1}}}$	$\frac{6\eta \ln \frac{r_{i2}}{r_{i1}}}{\pi h_i^3}$
薄壁小孔	$\alpha \frac{\pi d_i^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ $\alpha = 0.6 \sim 0.7$ (锐边小孔)	$\frac{8\rho Q}{\alpha^2 \pi^2 d_i^4}$

注：式中  $\rho$ ——密度  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

4.3.3 单腔平面油垫承载能力

承载能力是指在一定油膜厚度下所能承担的载荷。承载能力  $F = A_c p_c$ 。

(1) 基本公式 油腔进口处装上(或做有)节流器以后,高压油流经节流器产生压力降,然后流入油腔,再流经封油面流出油垫。所以,高压油从进节流器到回油池,流经了两个串联的液阻:节流器液阻  $R_j$  和油腔液阻  $R_h$ ;因为油是连续流动而不可压缩的流体,所以流进和流出的油量相等。

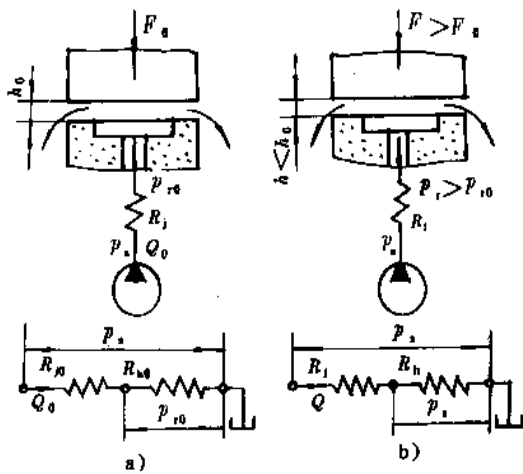


图 21-41 计算原理图

a) 设计状态; b) 工作状态

图 21-41a 表示设计状态下的情况。所谓设计状态是指未受载荷时(空载时),轴承四周间隙均等时的特殊状态,也称为初始状态,这时的各个量用脚标“0”表示。根据图 21-41a 可以写出

$$Q_0 = \frac{p_s - 0}{R_{j0} + R_{h0}} = \frac{p_{s0}}{R_{h0}}$$

整理后得

$$p_{s0} = \frac{p_s}{1 + \frac{R_{j0}}{R_{h0}}} = \frac{p_s}{1 + \lambda_0} \quad (21-42)$$

式中  $\lambda_0 = \frac{R_{j0}}{R_{h0}}$  称为设计状态下液阻比。

令  $\lambda_0 + 1 = \beta_0 = \frac{p_s}{p_{s0}}$ ,  $\beta_0$  称为设计状态下压力比或称节流比。

当油垫的负载发生变化时,参看图 21-41b,在正常工作条件下,流进节流器的油量应等于由油腔返回油池的油量,于是

$$Q = \frac{p_s - 0}{R_j + R_h} = \frac{p_c - 0}{R_h}$$

整理后得

$$p_c = \frac{p_s}{1 + \frac{R_j}{R_h}} = \frac{p_s}{1 + \lambda}$$

式中  $\lambda = \frac{R_j}{R_h}$  又可写成

$$p_c = \frac{p_s}{1 + \lambda_0 \frac{R_{h0}}{R_h} \times \frac{R_j}{R_{j0}}} \quad (21-43)$$

式中  $\frac{R_j}{R_{j0}}$  —— 载荷变化所引起的节流器液阻比变化的程度;

$\frac{R_{h0}}{R_h}$  —— 载荷变化引起的出油液阻比变化的程度。

由于  $\frac{R_{h0}}{R_h} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^3$ , 上式可写成

$$p_c = \frac{p_s}{1 + \lambda} = \frac{p_s}{\beta} = \frac{p_s}{1 + \lambda_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^3 \frac{R_j}{R_{j0}}} \quad (21-44)$$

(2) 毛细管节流式油垫的承载能力 由表 21-10 查得毛细管流量公式为

$$Q_i = \frac{\pi d_i^3 \Delta p}{128 \eta l_i}$$

毛细管液阻

$$R_i = \frac{128 \eta l_i}{\pi d_i^4}$$

所以,使用毛细管节流器的矩形平面油垫和圆形平面油垫的液阻比  $\lambda_0$  分别为:

矩形油垫

$$\lambda_0 = \frac{R_{j0}}{R_{h0}} = \frac{128 l_i h_0^3 \left(\frac{l}{b_1} + \frac{b}{l_1}\right)}{6 \pi d_i^4} \quad (21-45)$$

圆形油垫

$$\lambda_0 = \frac{128 l_i h_0^3}{6 d_i^4 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (21-46)$$

由于毛细管节流器的液阻是常数,由式(21-42)知

$$p_c = \frac{p_s}{1 + \lambda_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^3} \quad (21-47)$$

因为承载能力  $F = p_c A_c$ , 故得

$$F = \frac{p_s A_c}{1 + \lambda_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^3} = \frac{p_s A_c}{1 + (\beta_0 - 1) \left(\frac{h}{h_0}\right)^3} \quad (21-48)$$

当  $h=h_0$  为初始条件时,

$$F = \frac{p_s A_c}{1 + \lambda_0} = \frac{A_c p_s}{\beta_0} \quad (21-49)$$

$$J = - \frac{dF}{dh} = \frac{3p_s A_c \lambda_0 \frac{h^2}{h_0^3}}{\left[1 + \lambda_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^3\right]^2}$$

#### 4.3.4 单腔平面油垫刚度 (以毛细管节流为例)

所谓油膜刚度,是指油膜抵抗载荷变化的能力。当载荷增量相同时,油膜厚度变化小者,就是油膜刚度大。

当  $h=h_0$ , 即在初始状态,

$$J_0 = \frac{3p_s A_c}{h_0} \times \frac{\lambda_0}{(1 + \lambda_0)^2} = \frac{3p_s A_c}{h_0} \times \frac{\beta_0 - 1}{\beta_0^2} \quad (21-50)$$

由上式可见,油膜刚度  $J_0$  与原始间隙  $h_0$  成反比; $h_0$  越小刚度越大。

$J_0$  又与  $\beta_0$  有关,为了在一定条件下(即  $p_s$ 、 $A_c$ 、 $h_0$  为定值时)得到最佳的刚度,  $\beta_0$  必须相应地有一定的大小。根据  $\frac{dJ_0}{d\beta_0} = 0$  的条件,得到最大刚度条件为 ( $\beta_0 = 2$ ;  $\lambda_0 = 1$ ):

$$J_{0max} = \frac{3}{4} \frac{p_s A_c}{h_0} \quad (21-51)$$

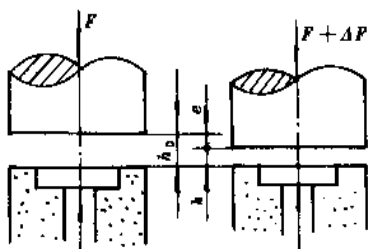


图 21-42 油膜刚度计算简图

如图 21-42,当载荷增大时油膜变薄,即由原来的厚度  $h_0$  减薄到  $h$ ; 令  $e$  代表减薄量, 则:

$$h = h_0 - e = h_0 \left(1 - \frac{e}{h_0}\right) = h_0 (1 - \epsilon)$$

式中  $\epsilon = \frac{e}{h_0}$  相对位移率。

将上式代入式 (21-48) 得

$$F = \frac{p_s A_c}{1 + \lambda_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^3} = \frac{p_s A_c}{1 + \lambda_0 (1 - \epsilon)^3}$$

根据上式可导出毛细管节流静压轴承的油膜刚度  $J$

#### 4.4 对向油垫计算

绝大多数径向轴承,具有上、下、左、右四个对置油垫,主要起作用的是上、下油垫,左、右油垫只起辅助组成,所以对向油垫计算是静压轴承计算的重点。但从本质上来说,对向油垫只不过是单向油垫的灵活运用。所不同的是对向油垫轴承的承载能力是上、下两个单个油垫的承载能力之差;而刚度则是上、下两个油垫的刚度之和。

##### 4.4.1 毛细管节流静压轴承计算

毛细管节流主要用于载荷不大,径向轴承偏心率和推力轴承位移率  $\epsilon \leq 0.3$  的轴承。

表 21-11 毛细管节流 (有轴向回油槽) 径向轴承计算公式 (参看图 21-21)

名 称	计 算 公 式
一个油腔有效承载面积 $A_c$ $m^2$	$A_c = 2R (l + l_1) \sin\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)$ $R = \frac{1}{2} D \text{—— 轴承半径 } m$
空载时通过毛细管流入轴承一个油腔的流量 $Q_0$ $m^3/s$	$Q_0 = \frac{\pi d_j^4 (p_s - p_0)}{128 \eta l_j}$ <p>式中 <math>d_j</math>——毛细管直径 <math>m</math>, 对于非圆截面毛细管, 其当量直径</p> $d_j = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{4A}{C} \pi}$ <p><math>A</math>——非圆毛细管的面积 <math>m^2</math>; <math>C</math>——非圆截面形状系数; 正方形毛细管 <math>C=1.13</math>, 等边三角形截面毛细管 <math>C=1.31</math>, 等腰直角三角形截面毛细管 <math>C=1.36</math>; <math>\eta</math>——液体动力粘度 <math>Pa \cdot s</math></p>

续表 21-11

名 称		计 算 公 式
空载时轴承一个油腔流出的流量 $Q_0$ $\text{m}^3/\text{s}$		$Q_0 = \frac{R h_0^3}{6 l_1 \eta} \left( \frac{l_1}{R b_1} + 2 \theta_1 \right) p_{r0}$
节流比 $\beta_0$		$\beta_0 = \frac{p_s}{p_{r0}} = 1 + \lambda_0$ $\lambda_0$ ——设计参数, $\beta_0 = 2$ 时具有最佳刚度
设计参数 $\lambda_0$		$\lambda_0 = \frac{64 l_1 h_0^3}{3 \pi l_1 d_1^4} \left( \frac{l_1}{R b_1} + 2 \theta_1 \right)$
主轴位移量 $e$ $\text{m}$		$e = \frac{F h_0 \beta_0^2}{6 (\beta_0 - 1) A_c p_s \cos \theta_1}$
轴承刚度 $J$ $\text{N/m}$		$J = \frac{F}{e} = \frac{6 (\beta_0 - 1) A_c p_s \cos \theta_1}{h_0 \beta_0^2}$
雷诺数 $Re$	圆截面	$Re = \frac{v_j d_j}{\nu} = \frac{(p_s - p_{r0}) d_j^3}{32 \eta l_1} < 2000$
	非圆截面	$Re = \frac{v_j R}{\nu} = \frac{v_j A_j}{\nu S} < 580$
毛细管长度 $l_1$ $\text{m}$		$l_1 > l_0 - 0.065 d_1, Re$
毛细管长径比 $\frac{l_1}{d_1}$		$\frac{l_1}{d_1} > 20$
边界条件		$v$ ——润滑油在细管中流动的平均速度 $\text{m/s}$ $\nu$ ——润滑油运动粘度 $\text{m}^2/\text{s}$ $A_j$ ——非圆毛细管截面积 $\text{m}^2$ $S$ ——非圆截面的湿周 $\text{m}$ $l_0$ ——毛细管层流起始段长度 $\text{m}$ $v = \frac{d_j^2 (p_s - p_{r0})}{32 \eta l_1}$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 21-12 毛细管节流推力轴承计算 (参看图 21-26)

名 称		计 算 公 式
一个油腔有效承载面积 $A_c$ $\text{m}^2$		$A_c = \frac{\pi}{2} \left[ \frac{R_3^2 - R_2^2}{\ln \left( \frac{R_3}{R_2} \right)} \frac{R_1^2 - R^2}{\ln \left( \frac{R_1}{R} \right)} \right]$
空载时通过毛细管流入一个油腔的流量 $Q_0$ $\text{m}^3/\text{s}$		$Q_0 = \frac{\pi d_j^4 (p_s - p_{r0})}{128 \eta l_1}$
空载时轴承一个油腔流出的油量 $Q_0$ $\text{m}^3/\text{s}$		$Q_0 = \frac{\pi p_{r0} h_0^3}{6 \eta} \left[ \frac{\ln \frac{R_1 R_3}{R R_2}}{\ln \frac{R_1}{R} \ln \frac{R_3}{R_2}} \right]$
节流比 $\beta_0$		$\beta_0 = 1 + \lambda_0$
设计参数 $\lambda_0$		$\lambda_0 = \frac{64 l_1 h_0^3}{3 d_j^4} \left[ \frac{\ln \frac{R_1 R_3}{R R_2}}{\ln \frac{R_1}{R} \ln \frac{R_3}{R_2}} \right]$
轴向位移 $e$ $\text{m}$		$e \approx \frac{\beta_0}{6 (\beta_0 - 1)} \times \frac{F h_0}{p_s A_c}$
油膜刚度 $J$ $\text{N/m}$		$J = \frac{6 (\beta_0 - 1)}{\beta_0^2} \times \frac{p_s A_c}{h_0}$

## 4.4.2 小孔节流静压轴承计算

表 21-13 小孔节流有周向回油槽的径向轴承计算公式 (参看图 21-21)

名 称	计 算 公 式
一个油腔有效承载面积 $A_e$ $\text{m}^2$	$A_e = 2R (l + l_1) \sin\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)$
空载时通过节流小孔流入一个油腔的流量 $Q_{i0}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{i0} = \alpha \frac{\pi d_j^2}{4} \sqrt{\frac{2(\rho_s - \rho_{r0})}{\rho}}$ $\alpha$ ——小孔流量系数, $\alpha = 0.6 \sim 0.7$ $\rho$ ——润滑油密度 $\text{kg}/\text{m}^3$ $d_j$ ——节流小孔直径 $\text{m}$
空载时一个油腔流出的流量 $Q_o$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_o = \frac{R h_0^3}{6 l_1 \eta} \left( \frac{U_1}{R b_1} + 2\theta_1 \right) \rho_{r0}$
节流比 $\beta_0$	$\beta_0 = \frac{p_s}{p_{r0}} = 1 + \lambda_0$ $\lambda_0$ ——设计参数, 在轴承尺寸已定的条件下, 当 $\lambda_0 = 0.71$ , $\beta_0 = 1.71$ 时, 轴承具有最佳刚度, 但它的最佳值随温度变化而变化。为了使轴承在 $20 \sim 60^\circ\text{C}$ 范围仍能有较大油膜刚度取: $\beta_{20} = 1.5$ ; $\beta_{50} = 2.55$
设计参数 $\lambda_0$	$\lambda_0 = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{8\rho p_s R^2 h_0^6 \left( \frac{U_1}{R b_1} + 2\theta_1 \right)^2}{9\alpha^2 \pi^2 \eta^2 l_1^2 d_0^4}} - 1 \right]$
主轴位移量 $e$ $\text{m}$	$e = \frac{F h_0 \beta_0 (2\beta_0 - 1)}{12 A_e p_s (\beta_0 - 1) \cos\theta_1}$
轴承刚度 $J$ $\text{N}/\text{m}$	$J = \frac{F}{e} = \frac{12 A_e p_s (\beta_0 - 1) \cos\theta_1}{h_0 \beta_0 (2\beta_0 - 1)}$

表 21-14 小孔节流推力轴承计算公式 (参看图 21-26)

名 称	计 算 公 式
油腔有效承载面积 $A_e$ $\text{m}^2$	$A_e = \frac{\pi}{2} \left( \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right) \frac{R_3^2 - R_2^2}{R} + \ln\left(\frac{R_1}{R}\right) \frac{R_1^2 - R^2}{R} \right)$
空载时通过节流器流入一个油腔油量 $Q_{i0}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{i0} = \alpha \frac{\pi d_j^2}{4} \sqrt{\frac{2(\rho_s - \rho_{r0})}{\rho}}$
空载时一个油腔流出的油量 $Q_o$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_o = \frac{\pi p_{r0} h_0^3}{6 \eta} \left[ \frac{\ln \frac{R_1 R_3}{R R_2}}{\ln \frac{R_1}{R} \ln \frac{R_3}{R_2}} \right]$
节流比 $\beta_0$	$\beta_0 = \frac{p_s}{p_{r0}} = 1 + \lambda_0$
设计参数 $\lambda_0$	$\lambda_0 = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{8\rho p_s h_0^6}{9\eta^2 \alpha^2 d_j^4} \left[ \frac{\ln \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}}{\ln \frac{R_2}{R_1} \ln \frac{R_4}{R_3}} \right]} - 1 \right]$
轴向位移 $e$ $\text{m}$	$e \approx \frac{\beta_0 (2\beta_0 - 1)}{12 (\beta_0 - 1)} \times \frac{F h_0}{p_s A_e}$
油膜刚度 $J$ ( $e=0$ ) $\text{N}/\text{m}$	$J = \frac{12 (\beta_0 - 1)}{\beta_0 (2\beta_0 - 1)} \times \frac{p_s A_e}{h_0}$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

**例 21-3** 某磨床主轴轴承采用径向静压轴承。轴颈  $D=60\text{ mm}$ ，要求油膜刚度  $J=280\sim 320\text{ N}/\mu\text{m}$ 。节流方式采用毛细管节流，设计该轴承。

**解** 采用图 21-21a 的结构形式，按表 21-7 推荐值选择结构参数。选取的结构参数如下：

- 轴承长度  $L=1.5D=1.5\times 60=90\text{ mm}$
- 轴向封油面长度  $l_1=0.1D=0.1\times 60=6\text{ mm}$
- 油腔长度  $l=L-2l_1=90-2\times 6=78\text{ mm}$

周向封油面宽度  $b_1=0.1D=0.1\times 60=6\text{ mm}$

回油槽宽度  $b_2=3\text{ mm}$

回油槽深度  $z_2=0.6\text{ mm}$

根据几何关系求得：

油腔角  $2\theta_1=2\times 30^\circ 41'$

相邻回油槽间夹角  $2\theta_2=2\times 42^\circ 8'$

其他项目和结果列表如下：

超星浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权！

序号	项 目	单位	公 式 及 说 明	结 果
1	油腔有效承载面积	$\text{cm}^2$	$A_r=2R(l+l_1)\sin\frac{\theta_1+\theta_2}{2}$ $A_e=2\times 3\times 10^{-2}(7.8+0.6)\times 10^{-2}\sin\frac{30^\circ 41'+42^\circ 8'}{2}$ $=29.9\times 10^{-4}\text{m}^2=29.9\text{ cm}^2$	29.9
2	选择润滑油 动力粘度 $\eta_{50}$ 运动粘度 $\nu_{50}$	$\text{Pa}\cdot\text{s}$ $\text{m}^2/\text{s}$	$\nu_{50}=\frac{\eta_{50}}{\rho_{50}}$	N32 液压油 0.197 $2.2\times 10^{-5}$
3	节流比 $\beta_0$			2
4	选供油压力 $p_s$	Pa		$15\times 10^5$
5	轴承半径间隙 $h_0$	mm	a) 按表 21-7, $h_0=(0.00025\sim 0.0004)D$ $h_0=(0.00025\sim 0.0004)\times 60\times 10^{-3}$ $= (0.015\sim 0.024)\times 10^{-3}\text{ m}$ $=0.015\sim 0.024\text{ mm}$ b) 根据表 21-11, $h_0=\frac{6(\beta_0-1)p_s A_e}{\beta_0^2 J \cos\theta_1}$ $h_0=\frac{6(2-1)15\times 10^5\times 29.9\times 10^{-4}\times 0.86}{2^2\times 3.1\times 10^8}$ $=1.87\times 10^{-5}\text{ m}=0.0187\text{ mm}$	取 0.02
6	油腔深度 $Z_1$	mm	$Z_1=(30\sim 60)h_0=(30\sim 60)\times 0.02$	取 1
7	空载时油腔压力 $p_{r0}$	Pa	$p_{r0}=\frac{p_s}{\beta_0}=\frac{15\times 10^5}{2}$	$7.5\times 10^5$
8	轴承流量 $Q_0$	$\text{m}^3/\text{s}$	$Q_0=\frac{R h_0^3}{6l_1\eta}\left(\frac{l_1}{Rb_1}+2\theta_1\right)p_{r0}\times 4$ $Q_0=\frac{3\times 10^{-2}\times (2\times 10^{-5})^3}{6\times 6\times 10^{-3}\times 0.0197}\left(\frac{78\times 10^{-3}\times 6\times 10^{-3}}{3\times 10^{-2}\times 6\times 10^{-3}}\right. \\ \left.+2\times 0.536\right)\times 7.5\times 10^5\times 4$	$3.73\times 10^{-5}$
9	毛细管直径 $d_1$	mm	选自表 21-9	0.56



续表

序号	项 目	单位	公 式 及 说 明	结 果
10	毛细管长度 $l_1$	mm	$l_1 = \frac{3\pi l_1 (\beta_0 - 1) d_j^4}{64 R h_0^3 \left( \frac{l_1 l}{R b_1} + 2\theta_1 \right)}$ $l_1 = \frac{3\pi \times 6 \times 10^{-3} (2-1) (5.6 \times 10^{-4})^4}{64 \times 30 \times 10^{-3} (2 \times 10^{-5})^3 \left( \frac{78 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^{-3}} + 2 \times 0.536 \right)}$ $= 0.0986 \text{ m} = 98.6 \text{ mm}$	98.6
11	毛细管长径比		$l_1/d_j = \frac{98.6}{0.56} = 176$	176 > 20
12	毛细管雷诺数 $Re$		$Re = \frac{(\rho_s - \rho_o) d_j^3}{32 \eta l_v}$ $= \frac{(15 - 7.5) \times 10^3 \times (0.56 \times 10^{-3})^3}{32 \times 1.97 \times 10^{-2} \times 98.6 \times 10^{-3} \times 2.2 \times 10^{-5}} = 96.3$	96.3 < 2000
13	毛细管层流起始全长度 $l_0$ 要求 $l_0 < l_1$	mm	$l_0 = 0.065 d_j Re = 0.065 \times 0.56 \times 96.3 = 3.51$	3.51 < 98.6

4.4.3 双面薄膜反馈静压轴承计算

双面薄膜反馈径向轴承工作原理见图 21-43。

这样的结构用于载荷较大，刚度要求很高的轴承。

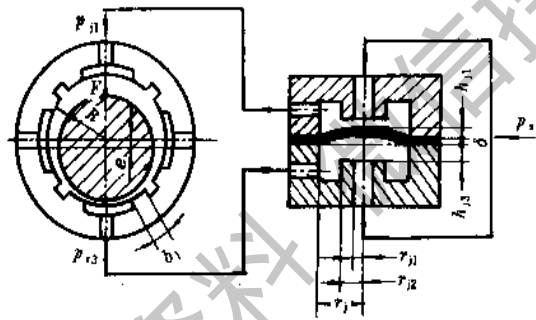


图 21-43 双面薄膜反馈静压轴承工作原理

表 21-15 双面薄膜反馈静压轴承计算公式

名 称	计 算 公 式
一个油腔有效承载面积 $A_e$ $\text{m}^2$	$A_e = 2R (l + l_1) \sin \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right)$
空载时通过节流器流入一个油腔的流量 $Q_{j0}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{j0} = \frac{\pi h_j^3 (\rho_s - \rho_o)}{6 \eta \ln \frac{r_{j2}}{r_{j0}}}$
空载时轴承一个油腔流出量 $Q_0$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_0 = \frac{R h_0^3}{6 l_1 \eta} \left( \frac{l_1}{R b_1} + 2\theta_1 \right) p_{o0}$
设计参数 $\lambda$	$\lambda = \frac{R h_0^3 \ln \frac{r_{j2}}{r_{j1}}}{\pi h_j^3 l_1} \left( \frac{l_1}{R b_1} + 2\theta_1 \right)$
节流比 $\beta_0$	$\beta_0 = \frac{p_s}{p_{o0}} = 1 + \lambda$

续表 21-15

名 称	计 算 公 式
载荷系数 $\omega$	$\omega = \frac{F}{A_c p_s}$
受载荷后薄膜平均变形量 $\bar{u}$	$\bar{u} = \frac{3F(1-\mu^2)}{16EA_c\delta^3} (r_j^2 - r_{j1}^2)^2$ $E$ ——材料弹性模量 Pa $\mu$ ——泊松比
节流器控制系数 $K$	$K = \frac{\bar{u}}{h_j \omega}$ $\bar{u}$ ——受载后薄膜平均变形量 cm $K$ 与 $\beta_0$ (或 $\lambda_0$ ) 的选择原则: 1) 在额定载荷作用下的轴承刚度为无限大, 从 $0 \sim F_{max}$ 的加载过程中, 轴位移均为较小的正刚度, 此时可根据 $\omega_0 = \frac{F_{max}}{A_c P_s}$ 查表 21-21 选出对应于 $\omega_0$ 的 $K$ 、 $\lambda$ 值 2) 在额定载荷作用下, 轴承刚度不是无限大, 从 $0 \sim F_{max}$ 的加载过程中, 轴承均为正刚度, 此时可选择 $K \leq \frac{2}{3}$ 、 $\beta_0 = 2$ 。这种参数便于轴承、节流器的制造和调整
薄膜厚度 $\delta$ m	$\delta = \sqrt[3]{\frac{3p_s(1-\mu^2)(r_j^2 - r_{j1}^2)^2}{16EK h_j}}$
空载时薄膜与圆台之间的间隙 $h_j$ m	$h_j = h_0 \sqrt[3]{\frac{R \ln\left(\frac{r_{j2}}{r_{j1}}\right) \left(\frac{H_1}{R b_1} + 2\theta_1\right)}{\pi \lambda l_1}}$
主轴位移量 $e$ m	$e = e h_0 = \frac{h_0 \omega \{ [1 - K^2 \omega^2]^2 + 2\lambda [1 - 3K + K^2 \omega^2 (3 - K)] + \lambda^2 \}}{6\lambda^2 [1 - 3K \omega^2 (1 - K) - K^3 \omega^4] \cos \theta_1}$ $e$ ——相对偏心率
轴承刚度 $J$ N/m	$J = \frac{F}{e}$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 21-16 不同额定载荷系数  $\omega_0$  对应的  $K$ 、 $\lambda$  值

$\omega_0$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K$	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.75
$\lambda$	0.64	0.62	0.59	0.55	0.49	0.42

注：精密轴承取  $\omega_0 \leq 0.3$ ；重载轴承取  $\omega_0 \leq 0.6$ 。

表 21-17 薄膜反馈节流推力静压轴承计算

名 称	计 算 公 式
油腔有效承载面积 $A_c$ m <sup>2</sup>	$A_c = \frac{\pi}{2} \left[ \frac{R_3^2 - R_2^2}{\ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)} - \frac{R_1^2 - R^2}{\ln\left(\frac{R_1}{R}\right)} \right]$
空载时经节流流入油腔流量 $Q_0$ m <sup>3</sup> /s	$Q_0 = \frac{\pi h_j^3}{6\eta \ln\left(\frac{r_{j2}}{r_{j1}}\right)} (p_s - p_{c0})$

续表 21-17

名 称	计 算 公 式
空载时经油腔排出油量 $Q_0$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_0 = \frac{\pi p_{c0} h_0^3}{6\eta} \left[ \frac{\ln\left(\frac{R_1 R_3}{R R_2}\right)}{\ln\left(\frac{R_1}{R}\right) \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)} \right]$
节流比 $\beta_0$	$\beta_0 = 1 + \lambda_0$ ; $\beta_0$ 在 1.7~2 范围内选取
设计参数 $\lambda_0$	$\lambda_0 = \frac{h_0^4 \ln\left(\frac{R_1 R_3}{R R_2}\right) \ln\left(\frac{r_{j2}}{r_{j1}}\right)}{h_j^3 \ln\left(\frac{R_1}{R}\right) \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)}$
节流器控制系数 $K$	$K = \frac{\bar{u}}{h_j \omega}$ $\omega$ —轴向载荷系数, $\omega = \frac{F}{A_c p_s}$
受载后薄膜平均变形量 $\bar{u}$ $\text{m}$	$\bar{u} = \frac{3F(1-\mu^2)}{16EA_c \delta^3} (r_j^2 - r_{j1}^2)^2$
薄膜厚度 $\delta$ $\text{m}$	$\delta = \sqrt[3]{\frac{3p_s(1-\mu^2)(r_j^2 - r_{j1}^2)^2}{16EKd_j}}$
空载时薄膜与圆台间的间隙 $h_j$ $\text{m}$	$h_j = h_0 \sqrt[3]{\frac{\ln\left(\frac{R_1 R_3}{R R_2}\right) \ln\left(\frac{r_{j2}}{r_{j1}}\right)}{\lambda \ln\left(\frac{R_1}{R}\right) \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)}}$
偏心率 $\epsilon$	$\epsilon = \frac{e}{h_0} = \frac{\left[ \frac{1}{\lambda} (1+K\omega)^3 (1-K\omega)^3 + (2+\lambda+6K^2\omega^2) - 2K(K^2\omega^2+3) \right]}{6 \left[ \frac{1}{\omega} + K\omega (3K - K^2\omega^2 - 3) \right]}$
轴承刚度 $J$ $\text{N/m}$	$J = \frac{6p_s A_c \frac{\beta_0 - 1}{\beta_0^2}}{h_0 \left( 1 - 6 \frac{\beta_0 - 1}{\beta_0^2} \frac{K p_s}{h_c} \right)}$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

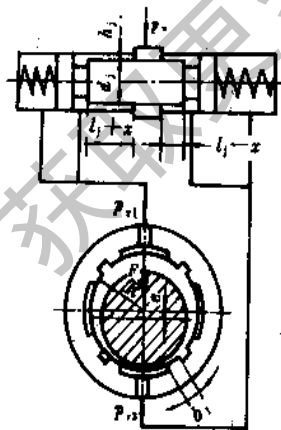


图 21-44 滑阀反馈静压轴承原理

#### 4.4.4 滑阀反馈静压轴承计算

图 21-44 为滑阀反馈静压轴承原理图。滑阀反馈式静压轴承能适应载荷变化大的工作条件，但因反馈作用靠滑阀移动来实现，而移动距离较薄膜变形要大得多，所以反馈速度较慢。要注意，在其他参数已定的情况下， $h_j$  与  $h_0$  必须保持一定关系，以保证  $\beta_0$  为最佳值。在设计、制造和调整时如改变其中一个大小，则另一个也相应改变。

表 21-18 滑阀反馈有周向回油槽的径向轴承计算

名 称	计 算 公 式
一个油腔有效承载面积 $A_e$ $m^2$	$A_e = 2R(l+l_1) \sin\left(\frac{\theta_1+\theta_2}{2}\right)$
空载时通过滑阀进入一个油腔油量 $Q_0$ $m^3/s$	$Q_0 = \frac{\pi d_1^3 (p_e - p_{v0})}{12\eta l_1}$
空载时一个油腔流出量 $Q_0$ $m^3/s$	$Q_0 = \frac{R h_0^3}{6l_1 \eta} \left( \frac{l_1}{R b_1} + 2\theta_1 \right) p_e$
设计参数 $\lambda_0$	$\lambda_0 = \frac{2R h_0^3}{\pi d_1^3 l_1} \left( \frac{l_1}{R b_1} + 2\theta_1 \right)$
节流比 $\beta_0$	$\beta_0 = \frac{p_e}{p_{rv}} = 1 + \lambda_0$
载荷系数 $\omega$	$\omega = \frac{F}{A_e p_e}$
节流器控制系数 $C_j$	$C_j = \frac{A_j p_e}{2K_j l_j} \frac{-1 + \sqrt{1 + \beta_0^2 \omega^2}}{(\beta_0 - 1) \omega^2}$ 式中 $A_j = \frac{\pi}{4} d_j^2$ —— 滑阀弹簧安装处端面积 $m^2$ $K_j$ —— 弹簧刚度 $N/m$
弹簧刚度 $K_j$ $N/m$	$K_j = \frac{A_j p_e}{2C_j l_j}$
受载后滑阀移动量 $x$ $m$	$x = \frac{F A_j}{2K_j A_e}$
主轴位移量 $e$ $m$	$e = e h_0 = \frac{h_0 \left[ \omega \left( 2C_j - \frac{\beta_0^2}{\beta_0 - 1} \right) C_j^2 \omega^2 (\beta_0 - 1) \right]}{6 (C_j \omega^2 - 1) \cdot \cos \theta_1}$
轴承刚度 $J$ $N/m$	$J = \frac{F}{e}$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 21-19 不同额定载荷系数  $\omega_D$  对应的  $C_j$ 、 $\beta_0$  值

$\omega_D = \frac{F_{max}}{A_e p_e}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$\beta_0$	2.02	2.08	2.19	2.38	2.66	3.12
$C_j$	1.98	1.92	1.83	1.72	1.60	1.47

注：1.  $F_{max}$  —— 轴承承受的最大载荷；  
 2. 精密轴承取  $\omega_D \leq 0.3$ ；重载轴承取  $\omega_D \leq 0.6$ 。

**例 21-4** 某车床轴承直径  $D=140$  mm，最大载荷  $F_{max}=9500$  N；采用滑阀反馈节流静压轴承。确定各参数。剪切弹性模量  $G=80$  GPa

**解** 轴承结构形式采用图 21-21a 型式，按表 21-7 选用的结构参数。

轴承长度

$$L=1.5D=1.5 \times 140=210 \text{ mm}$$

轴向封油面宽

$$l_1=0.1D=0.1 \times 140=14 \text{ mm}$$

油腔长度

$$l=L-2l_1=210-2 \times 14=182 \text{ mm}$$

周向封油面宽

$$b_1=0.1D=0.1 \times 140=14 \text{ mm}$$

回油槽宽度

$$b_2=5 \text{ mm}$$

回油槽深度

$$Z_2=1 \text{ mm}$$

根据几何关系求得：

油腔角

$$2\theta_1=2 \times 31^\circ 30' = 2 \times 0.55 \text{ rad}$$

相邻回油槽间夹角

$$2\theta_2=2 \times 42^\circ 57' = 2 \times 0.75 \text{ rad}$$

其他项目和结果列表如下:

序号	项 目	单 位	公 式 及 说 明	结 果
1	油腔有效承载面积 $A_c$	$m^2$	$A_c = 2R(t+l_1) \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ $A_c = 2 \times 7 \times 10^{-2} (1.82 \times 10^{-1} + 1.4 \times 10^{-2}) \sin \frac{31^\circ 30' + 42^\circ 57'}{2}$	$166 \times 10^{-4}$
2	选择润滑油			N46 液压油
3	选择额定载荷系数 $\omega_D$		根据表 21-19 对于精密轴承	取 0.3
4	选择节流比 $\beta_0$		根据表 21-19 选取	2.19
5	选择控制系数 $C_1$		根据表 21-19 选取	1.83
6	确定供油压力 $p_s$	Pa	$p_s = \frac{F_{\max}}{\omega_D A_c} = \frac{9500}{0.3 \times 166 \times 10^{-4}} = 19 \times 10^5$	取 $20 \times 10^5$
7	轴承半径间隙 $h_0$	mm	由表 21-7 $h_0 = (0.0002 \sim 0.00035) D$ $h_0 = (0.0002 \sim 0.00035) \times 140 = 0.028 \sim 0.049$	取 0.035
8	油腔深度 $Z_1$	mm	由表 21-7 $Z_1 = (30 \sim 60) h_0 = (30 \sim 60) \times 0.035 = 1.05 \sim 2.1$	取 2
9	位移 $e$	$\mu m$	$e = \epsilon h_0 = \frac{h_0 \left[ \omega \left( 2C_1 - \frac{\beta_0^2}{\beta_0 - 1} \right) + C_1^2 \omega^2 (\beta_0 - 1) \right]}{6 (C_1 \omega^2 - 1) \cos \theta_1}$ $e = \frac{3.5 \times 10^{-5} \left[ 0.3 \left( 2 \times 1.83 - \frac{2.19^2}{2.19 - 1} \right) + 1.83^2 \times 0.3^2 (2.19 - 1) \right]}{6 (1.83 \times 0.3^2 - 1) \cos 31^\circ 30'}$ $= 2.9 \times 10^{-8} m = 0.029 \mu m$	0.029
	偏心率 $\epsilon$		$\epsilon = \frac{e}{h_0} = \frac{2.9 \times 10^{-5}}{3.5 \times 10^{-2}}$	0.00083
10	空载时油腔压力 $p_{r0}$	Pa	$p_{r0} = \frac{p_s}{\beta_0} = \frac{20 \times 10^5}{2.19} = 9.13 \times 10^5$	$9.13 \times 10^5$
11	轴承流量 $Q_0$	$m^3/s$	$Q_0 = 4 \frac{R p_{r0} h_0^3}{6 \eta l_1} \left( \frac{l_1}{R b_1} + 2 \theta_1 \right) = 4 \frac{70 \times 10^{-3} \times 9.13 \times 10^5 \times (3.5 \times 10^{-5})^3}{6 \times 0.027 \times 14 \times 10^{-3}}$ $\times \left( \frac{182 \times 10^{-3} \times 14 \times 10^{-3}}{70 \times 10^{-3} \times 14 \times 10^{-3}} + 2 \times 0.55 \right)$	$17.8 \times 10^{-6}$
12	滑阀直径 $d_j$	mm	自定	12
13	滑阀长度 $l_j$	mm	自定	10
14	滑阀面积 $A_j$	$mm^2$	$A_j = \frac{\pi}{4} d_j^2 = \frac{\pi}{4} 12^2$	113
15	弹簧刚度 $K_j$	N/m	$K_j = \frac{p_s A_j}{2C l_j} = \frac{20 \times 10^5 \times 113 \times 10^{-6}}{2 \times 1.83 \times 10^{-3} \times 10} = 6.15 \times 10^8$	6.15
16	弹簧材料	自选		碳素弹簧钢丝
17	弹簧丝直径 $d$	mm	自选	1.5
18	弹簧中径 $D_2$	mm	自选	9.5
19	弹簧工作圈数 $n$	圈	$n = \frac{G d^4}{8 D_2^3 K_j} = \frac{8 \times 10^{10} \times (1.5 \times 10^{-3})^4}{8 \times (9.5 \times 10^{-3})^3 \times 6.15 \times 10^8} = 9.6$	取 10
20	弹簧总圈数 $n_1$	圈	$n_1 = n + (1.5 \sim 2.5) = 10 + 1.5 \sim 2.5$	取 11.5
21	弹簧节距 $t$	mm	$t = \left( \frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) D_2 = \left( \frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \times 9.5 = 3.17 \sim 4.75$	取 3.27
22	弹簧自由长度 $H$	mm	$H = (t - d) n + (n_1 - 0.5) d$ $= (3.27 - 1.5) \times 10 + (11.5 - 0.5) \times 1.5$	34.2

续表

序号	项 目	单位	公 式 及 说 明	结 果
23	滑阀间隙 $h_j$	mm	$h_j = h_0 \sqrt[3]{\frac{2Rl_j}{\pi(\beta_0 - 1)l_1 d_j} \left( \frac{l_1}{Rb_1} + 2\theta_1 \right)} = 3.5 \times 10^{-5} \times$ $\sqrt[3]{\frac{2 \times 70 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3}}{\pi(2.19 - 1) \times 14 \times 10^{-3} \times 12 \times 10^{-3}} \left( \frac{182 \times 10^{-3} \times 14 \times 10^{-3}}{70 \times 10^{-3} \times 14 \times 10^{-3}} + 2 \times 0.56 \right)}$ $= 7 \times 10^{-5} \text{m} = 7 \times 10^{-2} \text{mm}$	0.07
24	滑阀最大移动量 $x_{\max}$	mm	$x_{\max} = \frac{F_{\max} A_j}{2K_j A_e} = \frac{9500 \times 113 \times 10^{-2}}{2 \times 6.15 \times 10^3 \times 166 \times 10^{-4}} = 5.2 \times 10^{-3} \text{m}$	5.2

### 4.5 功耗及温升

#### 4.5.1 功耗

(1) 油泵输入功率  $P$

$$P = \frac{p_s Q_p}{\eta_p} = \sum \frac{q h_0^3 p_s^2}{\eta_p \eta \beta_0} \quad \text{W} \quad (21-52)$$

- 式中  $p_s$ ——油泵额定输出压力 Pa;  
 $Q_p$ ——油泵额定输出油量  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  
 $\eta_p$ ——油泵效率;  
 $q$ ——油腔形状决定的流量系数(表 21-20);  
 $\beta_0$ ——节流比;  
 $\eta$ ——润滑油动力粘度  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 主轴回转消耗的摩擦功率

$$P_f = \eta \sum v^2 \frac{A_f}{h_0} \quad \text{W} \quad (21-53)$$

- 式中  $v$ ——径向轴承轴颈圆周速度,推力轴承推力平面平均速度  $\text{m/s}$ ;  
 $A_f$ ——油腔封油边及支承筋面积之和  $\text{m}^2$ 。

(3) 总功耗  $P_t$

$$P_t = P + P_f = \sum \frac{q h_0^3 p_s^2}{\eta_p \eta \beta_0} + \eta \sum v^2 \frac{A_f}{h_0} \quad \text{W} \quad (21-54)$$

#### 4.5.2 影响功率消耗的因素

a. 对于低速,  $P_f$  可不考虑, 因之  $P_t = P =$

$\sum \frac{q h_0^3 p_s^2}{\eta_p \eta \beta_0}$ 。可见, 低速时可以通过增大润滑油粘度  $\eta$ 、减少轴承间隙  $h_0$  来降低系统功耗, 其中最有效的办法是减少  $h_0$ , 但  $h_0$  受加工限制不能过小。

b. 摩擦功率大的情况,  $P_t = P + P_f$ , 理论上可以使  $P_f$  最小, 以此来决定最佳参数。

间隙  $h_0$  的影响:

由  $\frac{\partial P_t}{\partial h_0} = 0$  可得  $3P - P_f = 0$ , 即  $p_t = 3P$  时功耗最小。

润滑油粘度影响:

由  $\frac{\partial P_t}{\partial \eta} = 0$  可得  $P - P_f = 0$ , 即  $p_t = P$ 。

根据以上分析, 最佳条件都在  $P_f = (1 \sim 3)P$  之间, 这说明摩擦功率为泵功率的 1~3 倍时的总功耗最小。

根据式(21-53), 可求得选择润滑油最佳粘度的表达式:

$$\eta = \frac{p_s h_0^2}{v} \sqrt{\frac{q}{\eta_p A_f \beta_0}} \quad \text{Pa} \cdot \text{s} \quad (21-55)$$

#### 4.5.3 油进出口间的最高温升(近似计算)

$$\Delta t = \frac{P_t + P}{CQ} \quad \text{C} \quad (21-56)$$

- 式中  $Q$ ——轴承每个油腔的流量  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  
 $C$ ——润滑油单位容积热容量  $\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{C}$ 。  
 润滑油可取  $C = 1.72 \times 10^6 \text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{C}$ ;

表 21-20 内腔形状决定的流量系数  $q$

轴承名称	推 力 轴 承		向 心 轴 承	
	平面圆支承	环形油腔平面轴承	有轴向回油槽	无轴向回油槽
流量系数 $q$	$\frac{\pi}{6 \ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right)}$	$\frac{\pi}{6} \left[ \frac{1}{\ln \left( \frac{R_2}{R_2} \right)} + \frac{1}{\ln \left( \frac{R_1}{R_2} \right)} \right]$	$\frac{R}{6l_1} \left( \frac{l_1}{Rb} + 2\theta_1 \right)$	轴向: $\frac{2\pi R}{6nl_1}$ ; 径向: $\frac{1}{12b}$ $n$ ——油腔数



#### 4.6 供油系统设计特点

供油系统是保证静压轴承正常使用的关键。对供油系统的基本要求是:保证供应清洁的润滑油;有足够的压力和流量;能起安全保护作用;必要时能控制油温。

常用的恒压供油系统见图 21-20。转速低,轴系统惯性小或有刹车装置的机器,可以不要蓄能器。如能满足以下要求,则供油系统也可与液压系统合并:润滑油粘度相同;供应轴承的润滑油有良好的过滤装置;油箱中不会混入冷却液和其他杂物;能消除压力波动对轴造成的不良影响等。减少供油系统的功耗和选用效率高的油泵对降低轴承温升很重要,故选用的油泵容量不宜过大。若轴承温度要求严格,并控制在一定范围内工作,则需增加冷却和恒温控制装置。

##### 4.6.1 供油系统的元件

(1) 油泵 静压轴承系统的使用寿命不取决于轴承本身,而往往取决于油泵的寿命。故必须选择使用寿命长,运转平稳,供油均匀,压力波动小,噪音小的油泵。目前常用的是定量或变量叶片泵。选择油泵规格时,推荐油泵的实际使用压力不超过油泵额定压力的 2/3;额定流量为计算流量的 1.5~2 倍。

(2) 滤油器 在油泵吸油口,应装网式滤油器,过滤较大的机械杂质,以保护油泵、溢流阀等液压元件。过滤器要有足够大的容量,以免阻力太大,滤油面积应大于油泵进口面积的 80 倍。

在节流器前的粗、精滤油器,推荐用线隙式滤油器作为粗过滤,过滤精度不低于 0.02 mm;纸过滤器作为精过滤,过滤精度不低于 0.01 mm。滤油器应定期清洗和更换。

(3) 蓄能器 当发生突然停电或供油系统发生故障润滑油供应中断时,蓄能器仍能在短时间内供应润滑油,以保护轴在惯性下转动时不致发生磨损、烧瓦事故。

(4) 压力继电器 保证轴承油腔内建立一定的油膜压力后,才能使轴驱动电机启动的保险装置。当供油系统发生故障,系统中压力低于要求的供油压力时,压力继电器控制电机自动停车。

(5) 管路及压力表 应特别注意管路清洁,作到无砂,无氧化皮,无锈蚀等缺陷。管路连接必须严密,无泄漏。管径宜大些,通向各油腔的管路长度应大致

相同。由管路引起的压力损失应小于节流压力的 5%。软管有压力时,容易产生变形。因此,从节流器至轴承油腔之间的管路应避免使用。为了观察供油压力和油腔内的压力变化,可在节流器前后,分别安装压力表。但管路要短,管径要小。对于轴承动态过渡特性有严格要求的轴承,为了消除管路上的空气影响,最好不装观察油腔压力的压力表。整个供油系统内应防止空气贮存,以免影响轴承的工作性能。

(6) 油箱 油箱以及整个循环油路系统必须密闭以防脏物进入。为便于油箱清洗,在结构上应考虑便于装拆。油箱容量应大些,有利于散热,推荐油箱容量不小于轴承所需油量的 10 倍。对于高速轴承,最好采用风冷和水冷油箱。

##### 4.6.2 供油压力的选择

提高供油压力,可以增大轴承的承载能力和固定节流轴承的油膜刚度,但流量和泵的功耗相应增加,造成轴承系统温升过高。采用可变节流器的轴承,当设计参数已定时,不能任意提高供油压力,否则将出现负位移。供油压力过低,除了减少承载能力和油膜厚度外,还对动态性能有不良影响。因此,选择供油压力的原则是:在满足轴承最大承载能力和足够油膜刚度条件下,泵功耗最小,更有利于降低轴承温度和改善轴承动态性能。一般推荐供油压力  $p_s \geq 1 \text{ MPa}$ 。

##### 4.6.3 静压轴承的润滑油

静压轴承使用的润滑油应注意清洁,必须经过严格过滤。尽可能使摩擦功耗和泵功耗之和最小。二者之和最小的理论条件是摩擦功耗等于泵功耗。在一般转速下,有轴向回油槽的径向轴承,润滑油粘度可按 21-57 式计算。若润滑油粘度已定,而摩擦功耗和泵功耗相差太大,也可按 21-57 式调整在关参数。

$$\eta = \frac{p_s h_0^2}{v} \sqrt{\frac{\frac{H_1}{Rb_1} + 2\theta_1}{12\beta_0 l_1 [(l(\theta_2 - \theta_1)) + 2l_1 \theta_2]}} \quad (21-57)$$

式中  $v$ ——轴颈圆周速度 m/s。

在润滑油使用过程中,若发现氧化,泡沫多和零件生锈等现象时,可在润滑油中加适量的化学添加剂。

5 轴承材料

表 21-21 滑动轴承材料的物理性能

轴 承 材 料	抗拉强度 MPa	弹性模量 GPa	硬 度 HB	密 度 kg/m <sup>3</sup>	热 导 率 W/(m·K)	热胀系数 10 <sup>-6</sup> /C
锡基轴承合金	79	52	25	7400	35~45	23
铅基轴承合金	69	29	26	10100	24	25
锡青铜	200	110	70	8800	50~90	18
铅青铜	230	97	60	8900	47	18
铸 铁	240	160	180	7200	52	10
多孔青铜	120	—	40	6400	29	19
多孔铁	170	—	50	6100	28	12
尼 龙	79	2.8	M79HR	1140	0.24	170
酚醛树脂	69	6.9	M100HR	1360	0.28	28
碳-石墨	14	14	75HS	1700	17	3.1
木	8	12	—	680	0.19	5
橡 胶	—	—	—	1200	0.16	77

表 21-22 滑动轴承材料性能比较

性 能 比 较	金 属 材 料				非 金 属 材 料				多 孔 质 金 属 含 油 材 料
	轴承合金	锡青铜	铅青铜	铸 铁	塑 料	木 材	橡 胶	石 墨	
承 载 能 力	一般	良	良	良	一般	差	差	差	一般
减 摩 性	优	较好	良	较好	较好	优	优	良	较好
耐 磨 性	一般	优	较好	优	较好	一般	差	一般	较好
顺 应 性	优	一般	差	差	优	良	优	较好	差
嵌 藏 性	优	一般	差	差	较好	良	优	良	一般
导 热 性	良(锡基) 较好 (铅基)	良	良	良	差	差	差	一般	较好
热 胀 性	较好	良	较好	优	差	一般	差	良	优
高 速 安 全 性	优	较好	较好	差	差	差	差	良	差
高 温 安 全 性	差	较好	差	较好	差	差	差	优	较好
紧 急 安 全 性	优	较好	良	较好	优	一般	差	优	优
用 油、脂 润 滑	优	优	优	优	优	优	较好	优	优
用 水 润 滑	差	差	差	差	优	优	优	优	差
无 润 滑	差	差	差	差	优	差	差	优	差

表 21-23 轴承用合金的特性与用途

合金牌号	制造方法	特 性	般 用 途
CuPb9Sn5 CuPb10Sn10	浇铸或烧结 在钢背上或金 属型浇铸	有高的疲劳强度和承载能力,高的硬度和耐磨性,好的耐腐蚀性。增加含锡量可提高合金的硬度和耐磨性,增加含铅量可改善合金经受装配不良和间歇润滑的能力。适用于中载、中到高速以及由于摆动或旋转运动引起有很大冲击载荷的轴承。与淬硬轴匹配,轴颈硬度一般不低于 250HB	一般用于汽轮机、发动机、机床用轴承、内燃机活塞销、汽车转向器和差速器用轴套、止推垫圈等
CuPb15Sn8		有高的疲劳强度和承载能力,较高的硬度和耐磨性,耐腐蚀。增加锡含量可提高合金的硬度与耐磨性,增加铅含量可改善合金经受装配不良和间歇润滑的能力,可用水润滑。相匹配的轴颈硬度一般不低于 200HB	适用于中载、中到高速的单层、双层金属轴承、轴套和单层金属止推垫圈、冷轧机用轴承
CuSn8Pb2 CuSn7Pb7Zn3		有较高的硬度,耐磨性和好的耐腐蚀性,相匹配轴颈的硬度不低于 280HB	用于低到高载荷的非重要用途的轴承和轴套,需充分润滑
CuSn12Pb2		有高的硬度和耐腐蚀性,好的耐磨性。轴颈要淬硬,硬度一般不低于 300HB,要求良好的润滑和装配	适用于中到重载、高速、有冲击载荷工况条件下工作的轴承
CuPb5Sn5Zn5		有较高的硬度、耐磨性和耐腐蚀性,高的抗冲击和耐高温能力,较差的抗擦伤能力,相匹配的轴颈的硬度一般不低于 205HB	作一般用途的轴承材料,适用于低载非重要工作条件下工作的轴承、止推垫圈,如汽车发动机活塞销、变速箱轴套等
CuPb20Sn5	浇铸或烧结 在钢背(带)上	有较高的承载能力和疲劳强度,较高的含铅量可改善合金在高速下的表面性能,耐腐蚀性却略有下降,增加锡含量可提高合金硬度和耐磨性,可用水润滑,适用于中载、中到高速,以及因摆动或旋转运动引起有中等冲击载荷的轴承。相匹配轴颈的硬度一般不低于 150HB	一般用于汽车的变速箱、农机具和内燃机摇臂轴上的轴套
CuSn10P	浇铸在钢背上或金属型浇铸	有高的硬度的耐腐蚀性,耐磨性好。轴颈要淬硬,硬度一般不低于 300HB。要求良好的润滑和装配	适用于中到重载、高速有冲击载荷工况条件下工作的轴承
CuAl10Fe5Ni5	金属型浇铸	是非常硬的轴承合金,耐海水腐蚀,嵌藏性差。轴颈必须硬化,硬度不低于 300HB	适用于制造作滑动运动的结构元件,及在海洋环境中工作的轴承,高载荷轴套

(摘自 GB10448—89)

使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

续表 21-23

合 金 牌 号		制 造 方 法	特 性	一 般 用 途
锻 造 铜 合 金  (摘自 GB10448—89)	CuSn8P	轧制或挤压	高的硬度、耐磨性和疲劳强度,好的耐腐蚀性,相匹配轴颈的硬度一般不低于 55HRC	适用于重载荷,高滑动速度、冲击载荷或有震动的工况中;与淬硬轴配合,要求充分润滑和良好的装配状态,按其工况条件选择其硬度
	CuZn31Si1		高的机械强度、耐磨性和疲劳强度,相匹配轴颈的硬度一般不低于 55HRC	
	CuZn37Mn2Al2Si			适用于润滑不良工作条件下的轴承,要求与淬火轴配合
	CuAl19Fe4Ni4		高的机械强度和耐磨性,高温下的耐腐蚀和抗氧化性及在大气、淡水和海水中的耐腐蚀性良好,嵌藏性差,轴颈的硬度一般不低于 55HRC	适用于滑动条件下的结构件,在海水中工作的轴承,要求与淬硬轴配合
薄 壁 轴 承 用 金 属 多 层 材 料  (摘自 GB10451—89)	PbSb10Sn6 PbSb15SnAs <sup>①</sup> PbSb15Sn10	静置或连续浇铸在钢、青铜或黄铜背上,或直接浇铸在轴承座孔内	软,耐腐蚀,较低的疲劳强度和承载能力,有较好的顺应性、嵌藏性、相容性。可与软轴或硬轴配合,要求轴颈硬度不低于 180HB	适用于载荷较小的内燃机主轴和连杆轴承、止推垫圈、凸轮轴套
	SnSb8Cu4		软、耐腐蚀。有较好的顺应性、嵌藏性、相容性。低的疲劳强度和承载能力,可与软轴或硬轴配合,要求轴颈硬度不低于 220HB	
铜 基 合 金	CuPb10Sn10	连续浇铸或烧结在钢背(带)上或金属型浇铸	有很高的疲劳强度和承载能力,高的抗冲击能力,好的耐腐蚀性和耐磨性,与淬硬轴配合,轴颈的硬度不低于 53HRC	适用于中载、中到高速,以及有大冲击载荷的轴承,机械设备上用的卷制轴承、止推垫圈、内燃机连杆活塞销轴套
	CuPb17Sn5	连续浇铸或烧结在钢背(带)上	有很高的疲劳强度、承载能力、抗冲击能力、耐腐蚀、耐磨,相匹配轴颈的硬度不低于 50HRC	当轴承滑动表面镀有软合金层时,适用于重载内燃机的主轴和连杆轴承、卷制轴套、止推垫圈、蒸汽机车的浮动轴套等
	CuPb24Sn4		有高的疲劳强度、承载能力、抗冲击能力,耐腐蚀,有较好的轴承表面性能(嵌藏性、顺应性、相容性)、与淬硬轴配合,轴颈硬度不低于 48HRC	适用于高速、摆动和旋转工作条件下的轴承,轴承滑动表面镀有软合金时,可用于高速、重载的内燃机主轴和连杆轴承、止推垫圈、卷制轴套、轧钢机用轴承、蒸汽机轴箱轴承、机床轴承等

续表 21-23

合金牌号		制造方法	特 性	一 般 用 途	
薄壁轴承用金属材料 (摘自 GB10451-89)	铜基合金	CuPb24Sn	连续浇铸或烧结在钢背(带)上,静置或离心浇铸在钢背上	有较高的疲劳强度和承载能力,较好的轴承表面性能,较易受润滑油腐蚀,浇铸合金的疲劳强度较烧结合金高约 20%。有软合金镀层时可以与硬轴或软轴配合,轴颈硬度不低于 45HRC	常用于内燃机主轴和连杆轴承、止推垫圈、卷制轴承套
		CuPb30	轧制到钢背(带)上	有中等疲劳强度和承载能力,较好的轴承表面性能,易受润滑油腐蚀。轴承工作表面必须镀软合金层,相匹配轴颈的硬度不低于 270HB	
	铝基合金	AlSn20Cu	轧制到钢背(带)上	有中等疲劳强度和承载能力,良好的抗腐蚀性,较好的轴承表面性能,可以与软轴配合,轴的硬度不低于 250HB	常用于内燃机主轴和连杆轴承、止推垫圈、卷制轴承套或压气机、制冷机用轴承
		AlSn6Cu		有中等到较高的疲劳强度和承载能力,良好的耐腐蚀性能,镀软合金层可与硬轴配合,轴的硬度不低于 45HRC	常用于内燃机主轴和连杆轴承、止推垫圈、卷制轴承套
		AlSi4Cd		有中等到较高的疲劳强度和承载能力,经热处理可提高疲劳强度。有良好的耐腐蚀性能。镀软合金层可与硬轴配合,轴的硬度一般不低于 48HRC	
		Al1Cd3CuNi		有中等到较高的疲劳强度和承载能力,在合金中添加锰元素后可提高疲劳强度。有良好的耐腐蚀性,要镀软合金层。相匹配的轴的硬度一般不低于 48HRC	
AlSi11Cu		有较高的疲劳强度和承载能力,好的耐腐蚀性和抗穴蚀能力。镀软合金可以与硬轴配合。轴颈的硬度一般不低于 50HRC			
镀层	PbSn10Cu2 PbSn10 PbIn7	电镀到轴瓦滑动表面上	软,有好的减摩性、良好的轴承表面性能和耐腐蚀性,疲劳强度取决于它的厚度	适用于各种轴承合金材料的轴承表面镀层。厚度一般为 0.013~0.025mm。大型柴油机主轴承为 0.05~0.07mm	

注:铝合金 AlSn6CuNi 可作单层轴承用。

①仅浇铸在钢背上。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!



表 21-24 常用金属轴瓦材料的性能和许用值

名称	代号	许用值 <sup>①</sup>			最高工作温度 ℃	硬度 <sup>②</sup> HBS	性能比较 <sup>③</sup>				备注
		$p_p$ MPa	$v_p$ m/s	$(pv)_p$ W/mm <sup>2</sup>			抗咬合性	顺应性 <sup>④</sup>	耐蚀性	耐疲劳性	
锡基轴承合金	ZSnSb12Pb10Cu4	25(40)	平稳载荷	20(100)	150	20~30 (150)	1	1	1	5	用于高速、重载下工作的重要轴承。变载下易疲劳。价贵
	ZSnSb11Cu6		80								
	ZSnSb8Cu4	冲击载荷	15								
	ZSnSb4Cu4	60									
铅基轴承合金	ZPbSb16Sn16Cu2	12	12	10(50)	150	15~30 (150)	1	1	3	5	用于中速、中载轴承。不宜受显著冲击。可作为锡基轴承合金的代用品
	ZPbSb15Sn5Cu3-Cd2	5	8	5							
	ZPbSb15Sn10	20	15	15							
铸造铜合金	CuSn10P1	15	10	15(25)	280	50~100 (200)	5	3	1	1	用于中速、重载及受变载的轴承 用于中速、中载轴承
	CuPb5Sn5Zn5	8	3	15							
	CuPb10Sn10 CuPb30	25	12	30(90)	280	40~280 (300)	3	4	4	2	用于高速、重载轴承，能承受变载和冲击载荷
黄铜	ZCuZn38Mn2Pb2	10	1	10	200	80~150 (200)	3	5	1	1	用于低速中载轴承，耐蚀、耐热
	ZCuZn16Si4	12	2	10							
铝基轴承合金	20 高锡铝合金铝硅合金	28~35	14		140	45~50 (300)	4	3	1	2	用于高速中载的变载荷轴承
三元电镀锌合金	如铝—硅—锡镀层	14~35			170	(200~300)	1	2	2	2	在钢背上镀铅锡青铜作中间层，再镀 10~30μm 三元减摩层。疲劳强度高，顺应性、嵌藏性好
银	银—铜镀层	28~35			180	(300~400)	2	3	1	1	在钢背上镀银，上附薄层铅，再镀铜。常用于飞机发动机、柴油机轴承
铸铁	HT150、HT200 HT250	2~4	0.5~1	1~4	150	160~180 (200~250)	4	5	1	1	用于低速轻载的不重要轴承，价廉

①括号内的数值为极限值，其余为一般值（润滑良好）。对于液体动压轴承，限制  $(pv)_p$  值没有甚么意义（因其与散热等条件关系很大）。

②括号外的数值为合金硬度，括号内的数值为最小轴颈硬度。

③性能比较：1——最佳；2——良好；3——较好；4——一般；5——最差。

④顺应性是指轴承材料补偿对中误差和其他几何形状误差的能力；嵌藏性是指轴承材料嵌藏外来微粒和污物使之不外露，以防磨粒磨损的能力。对金属轴承材料，弹性模量小和塑性好的材料具有良好顺应性。顺应性好，一般嵌藏性也好。



表 21-25 常用非金属和粉末冶金轴瓦材料的性能及用途

材 料	$p_p$ MPa	$v_p$ m/s	$(pv)_p$ W/mm <sup>2</sup>	最高工作 温度 C	特性及用途举例
酚醛塑料	42	12.7	0.53	110	需有充分的水或油润滑及冷却,用于轧钢机轴承等重载大型轴承
聚酰胺(尼龙)	7	5.1	0.11	110	尼龙轴承自润性,耐腐蚀性,耐磨性,减震性等都较好,而导热性不好,吸水性大,线膨胀系数大,尺寸稳定性不好,适用于速度不高或散热条件好的地方
聚四氟乙烯(PTFE)	3.5	0.25	0.036	280	摩擦系数很低,自润滑性能好,耐腐蚀,但成本高,承载能力差.用石墨等材料作填料时,承载能力可大大提高
加强聚四氟乙烯	17.5	5.1	0.36	280	
聚碳酸酯	7	5.1	0.11	120	易于成型,价廉
聚甲醛	7	5.1	0.11	100	
碳—石墨	4.2	12.7	0.53	420	有自润滑性能,常用于高温,要求清洁或腐蚀性介质中工作的轴承
橡 胶	0.35	20.3		83	用于水润滑轴承,能补偿安装误差和吸振,导热性差
木 材	14	10.2	0.43	88	有自润滑性能,耐化学腐蚀,用于要求清洁工作的轴承
多孔铁(1%~3% 石墨,其余为Fe)	21	7.6	1.8	125	粉末冶金含油轴承材料,常用于载荷平稳,低速及加油不方便处,轴颈最好淬火,径向间隙为轴径的0.15~0.2%
多孔青铜(9%~ 10%Sn,1%~4%石 墨,其余为Cu)	14	4	1.6	125	

## 6 轴瓦结构

## 6.1.1 卷制轴套

## 6.1 整体式轴瓦

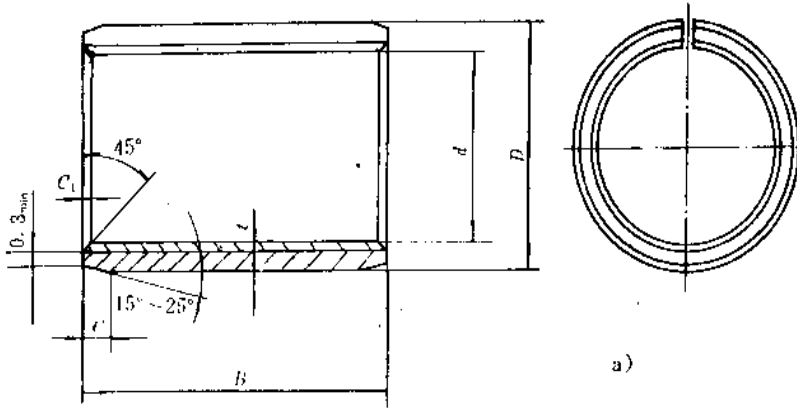
卷制轴套的制造精度分为普通级(P)和高精度级(G),其尺寸公差见表 21-26,基本尺寸见表 21-27 和表 21-28。

整体式轴瓦又称轴套,分为卷制轴套和一般轴套,见图 21-45。

表 21-26 卷制轴套的尺寸公差(摘自 GB2931—82)

精 度 等 级	内 径 $d$	外 径 $D$	与外径相配的座孔	宽 度 $B$
普 通 级 (P)	H8	u8	H7	h13
高 精 度 级 (G)	H7	u8	H6	h12

注:轴套表面粗糙度,外径为  $R_{1.6}$ ,内径为  $R_{1.6}$ ,其余加工部位均为  $R_{2.5}$ 。



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

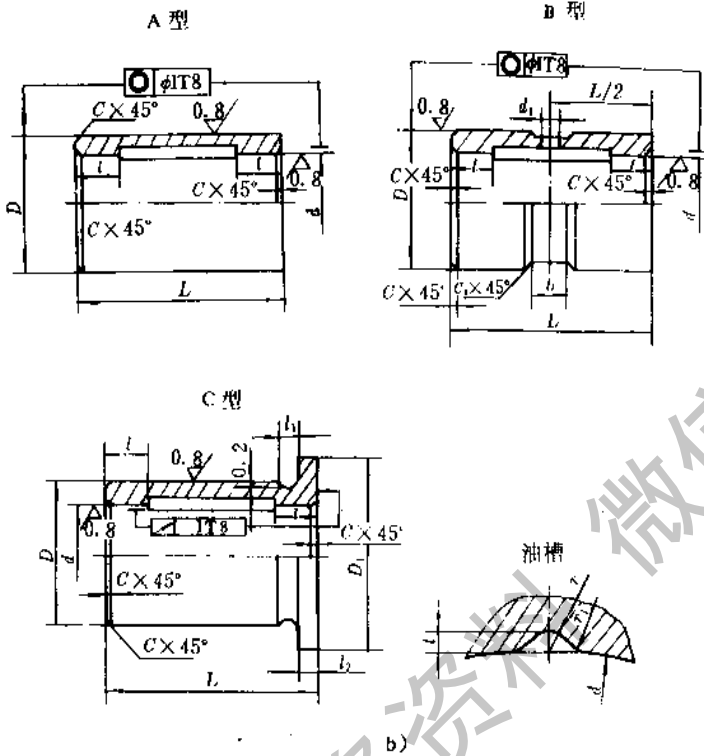


图 21-45 整体式轴瓦  
a) 卷制轴套；b) 一般轴套

表 21-27 卷制轴套基本尺寸 (摘自 GB2931—82)

外径 D	壁 厚 t								C	C <sub>1</sub>
	0.75	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4		
	内 径 d									
6	4.5	4								
7	5.5	5								
8	6.5	6								
9	7.5	7								
10	8.5	8								
11	9.5	9								
12	10.5	10								
13	11.5	11								
14	12.5	12								
15		13	12							
16		14	13							
17		15	14							
18		16	15							
19		17	16							
20		18	17							
21		19	18							
22		20	19							

棱角倒钝

续表 21-27

外径 $D$	壁 厚 $t$								$C$	$C_1$
	0.75	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4		
(23)		21	20						0.7	0.4
24		22	21						0.7	0.4
25		23	22						0.7	0.4
26			23	22					1.2	0.6
(27)			24	23					1.2	0.6
28			25	24					1.2	0.6
30			27	26					1.2	0.6
32			29	28					1.2	0.6
34			31	30					1.2	0.6
36			33	32					1.2	0.6
38			35	34					1.2	0.6
(39)			36	35					1.2	0.6
40			37	36					1.2	0.6
42			39	38					1.2	0.6
(44)			41	40					1.2	0.6
45			42	41	40				1.2	0.6
48			45	44	43				1.2	0.6
50			47	46	45				1.2	0.6
53			50	49	48				1.2	0.6
(55)				51	50	49			1.2	0.6
56				52	51	50			1.2	0.6
(57)				53	52	51			1.2	0.6
60				56	55	54			1.2	0.6
(63)				59	58	57			1.2	0.6
(65)				61	60	59			1.2	0.6
67				63	62	61			1.2	0.6
(70)				66	65	64			1.2	0.6
71				67	66	65			1.2	0.6
75				71	70	69			1.2	0.6
80				76	75	74			1.2	0.6
85					80	79	78		2	1
90					85	84	83		2	1
95					90	89	88		2	1
100					95	94	93		2	1
105					100	99	98		2	1
110					105	104	103		2	1
(115)					110	109	108		2	1
120					115	114	113		2	1
125					120	119	118		2	1
130						124	123	122	2	1
140						134	133	132	2	1
150						144	143	142	2	1

注：括号内应尽量不采用。

表 21-28 卷制轴套式滑动轴承的推荐宽度 (摘自 GB2931-82)

mm

外 径 $D$	宽 度 $B$											
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100
6 和 7	○	○										
8~10		○	○									
11~15		○	○	○								
16~20		○	○	○	○							
21~25		○	○	○	○	○						
26~34		○	○	○	○	○	○					
36~48		○	○	○	○	○	○	○				
50~57					○	×	○	×	○			
60~67						○	×	○	×	○		
70~80							○	×	○	×	○	
85~150								○	×	○	×	○

6.1.2 一般轴套

表 21-29 轴套的尺寸(摘自 JB/ZQ4613—86)

d	D	D <sub>1</sub>	L				d <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub> (h12)	t ( $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ )	b	r	r <sub>1</sub>	C	C <sub>1</sub>	质量 (kg/1000件)					
			A 型		B 型											C 型					
			1	2	3	4										1	2	3			
20	26	32	15	20	30	30	4	3	1.2	2.5	6				28.6	38.2	57.2	57.2	35.8	45.4	61.4
22	28	34			40	40									31.1	41.5	62.2	62.2	38.8	49.2	69.9
25	32	38			50	50									55.2	82.7	110.3	110.3	66.8	94.3	121.9
28	36	42	20	30	40	50	6	4	1.6	3	9	0.5	1	1	70.8	106.2	141.5	176.8	83.7	119.1	154.4
30	38	44			55	55									75.2	112.8	150.4	188.0	88.8	126.4	164.0
32	40	46			60	60									79.6	119.4	159.2	218.9	93.8	133.6	173.4
35	45	50			60	60									165.9	221.2	276.5	304.1	182.3	237.6	292.9
(36)	46	52	30	40											170.0	226.7	283.4	311.7	190.3	247.0	303.7
40	50	58			70	70		5	2	4	12	0.8			186.6	248.8	373.2	373.2	216.4	278.6	403.0
45	55	63			75	75									207.3	276.5	414.7	483.8	239.9	309.1	447.3
50	60	68			80	80	8	2		16				1.5	304	380	456	570	339	415	491
55	65	73	40	50	60	70									332	415	581	664	370	453	619
60	75	83			80	80									580	840	1120	1120	625	905	1185
65	80	88			90	90									752	902	1203	1504	821	971	1272
70	85	95	50	60	70	80	10	7.5	2.5	5	15				803	1125	1446	1606	896	1218	1539
75	90	100			100	100									855	1197	1540	1711	953	1295	1638
80	95	105	60	80	100	100									1089	1451	1814	1814	1192	1554	1917
90	110	120			120	120									1659	2212	3318	3318	1817	2370	3476
100	120	130	80	100	120	120	3	10	3.2	7	21				2433	3041	3649	3649	2605	3213	3820
110	130	140			140	140									2654	3317	3981	4644	2840	3603	4167
120	140	150			150	150									3594	4313	5391	5359	3794	4513	5591
130	150	160	100	120	150	170	12	10	3.2	9	27				3871	4645	5806	6580	4085	4859	6020
140	160	170			180	180									4147	5200	7464	7049	4375	5448	7692
150	170	180			180	180	4								5308	6635	7962		5549	6876	8203
160	185	200	120	150	180			12.5	1	—	27				7153	8942	10730	10730	7651	9440	11228
170	195	210			200										7568	11352	12614		8092	11876	13138
180	210	220	150	180	250										12130	14556	20216		12575	15001	20661
190	220	230			250			15	4	—	27				12751	15302	21258		13217	15768	21719
200	230	240	180	200											16049	17832	22290		16536	18319	22777

注: 1. 当 L 为 15~30 时 t=3; 当 L>30~60 时 t=4; 当 L>60~100 时 t=6; 当 L>100 时 t=10;

2. 轴套的材料: CuAl10Fe5Ni5 (ZQA19-4);

3. B 型轴套适用于 JB2560—79《整体有衬正滑动轴承型式与尺寸》规定的轴承座。

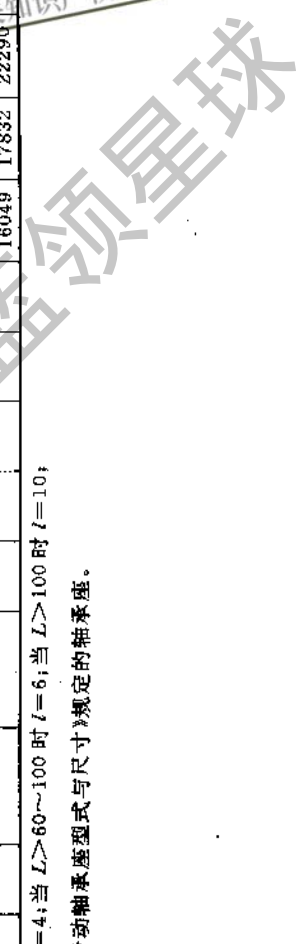


表 21-30 轴套的公差配合 (JB/ZQ4613—86)

装配型式		压 入			粘 合		
尺寸	装入前	G7	E9	D10	H7	H8	E9
	装入后	H7	H8	E9			
	相配轴的公差	g6; f7; e9		h9; h11	g9; f7; e9		h9; h11
D	≤120 mm	s6			g6		
	>120 mm	r6					
轴承座孔的公差		H7					

表 21-31 烧结铜合金和塑料层 (摘自 GB/T12949—91)

名称	化 学 成 分	
	CuSn10/PTFE	CuSn10/POM
Cu	余 量	
Sn	9~11	
P	≤0.3	
其它总量	≤0.5	
覆层塑料	聚四氟乙烯 (PTFE)	聚氧乙烯 (POM)

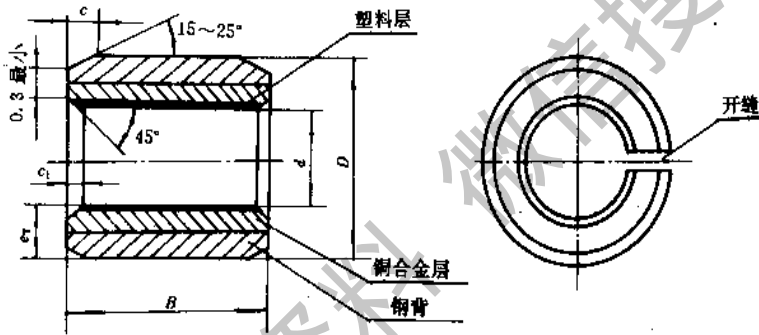
6.1.3 覆有减摩塑料层的双金属轴套

轴套用塑料——烧结铜合金——钢三层复合板材制造, 具有自润滑作用。轴套钢背材料为 08F、08、10 号钢等, 烧结铜合金和减摩塑料见表 21-31。尺寸公差见表 21-32, 结构尺寸见表 21-33。

表 21-32 覆塑料双金属轴套尺寸公差 (摘自 GB/T12949—91)

内 径 $d$	外 径 $D$	与外径相配的座孔	宽 度 $B$
H7	IT7	H7	b13

表 21-33 覆塑料双金属轴套基本尺寸 (摘自 GB/T12949—91)

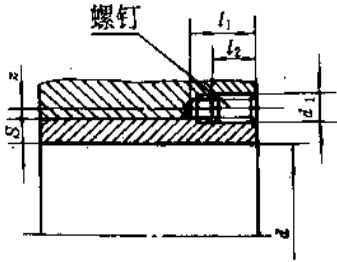


壁厚 $e_T$	1				1.5				2.0				2.5				长 度 $B$
	内 径 $d$				内 径 $d$				内 径 $d$				内 径 $d$				
6	4				4, 6, 8	34				30				12, 15, 20, 25, 30, 40			
7	5				4, 5, 6, 8	36				32				20, 30			
8	6				6, 8, 10	39				35				12, 20, 25, 30, 40, 50			
9	7				10, 12	42				38				30, 40			
10	8				6, 8, 10, 12	44				40				12, 20, 25, 30, 40, 50			
12	10				6, 8, 10, 12, 15	50				45				20, 25, 30, 40, 50			
14	12				6, 8, 10, 12, 15, 20	55				50				20, 30, 40, 60			
16	14				10, 12, 15, 20	60				55				30, 40, 60			
17	15				10, 12, 15, 20, 25	65				60				30, 40, 60			
18	16				10, 12, 15, 20, 25	70				65				30, 40, 60			
20	18				10, 12, 15, 20, 25	75				70				40, 60, 80			
23		20			10, 12, 15, 20, 25, 30	80				75				30, 40, 60, 80			
25		22			10, 12, 15, 20, 25	85				80				40, 60, 80			
27		24			15, 20, 25, 30	90				85				40, 60, 80			
28		25			10, 12, 15, 20, 25, 30	95				90				40, 60, 90			
32			28		20, 30	105				100				50, 95			

6.1.4 轴套的联接

为防止轴套在轴承座中移动；除了轴套与轴承座应采用较小过盈量的配合之外，往往还采用螺钉固定，见表 21-34。

表 21-34 轴套的联接 (摘自 JB/ZQ4616-86)



轴套直径 $d (D)$	壁厚 $S$	螺钉 GB73-85		$l_2$	$Z$
		$d_1 \times l_1$	数量		
>30~50	4	M6×15	1	20	1.5
>50~80	5	M8×20	1	25	2
>80~200	7.5~10	M8×20	2	25	2
>200~300	12.5~15	M10×20	2	26	2
>300~450	17.5~20	M12×25	2	31	3
>450~600	>20~25	M16×30	3	37	4

6.1.5 轧机油膜轴承轴套技术要求 (摘自 GB/T13345-92)

(1) 对轴套主要尺寸公差、形位公差、表面粗糙度要求见表 21-35，其简图见图 21-46。

表 21-35 轧机油膜轴承轴套公差配合

名称	尺寸公差	同轴度	圆柱度	锥度	$R_a$
锥套	h6	5 级	8 级	4 级	0.1
衬套	H6	6 级	8 级	—	0.8

注：锥度见 JB7。

(2) 对材料的要求

a. 锻件衬套钢体材料的性能不低于 GB699 中 20 号钢的规定。

b. 焊接衬套钢体材料用热轧厚钢板，其性能应不低于 GB711 中 20 号钢的规定。

c. 铸造轴承合金的化学成分和布氏硬度应符合 GB1174 中的 2 号、3 号或 4 号锡基轴承合金的规定。

d. 锥套采用合金结构钢锻件，其性能应不低于 GB3077 中的 40Cr 的规定。

(3) 衬套钢体与铸造轴承合金的结合强度应不小于 60 MPa。

(4) 轴承的长径比一般在 0.6~0.9 之间，按优先数 R40 系列选用。

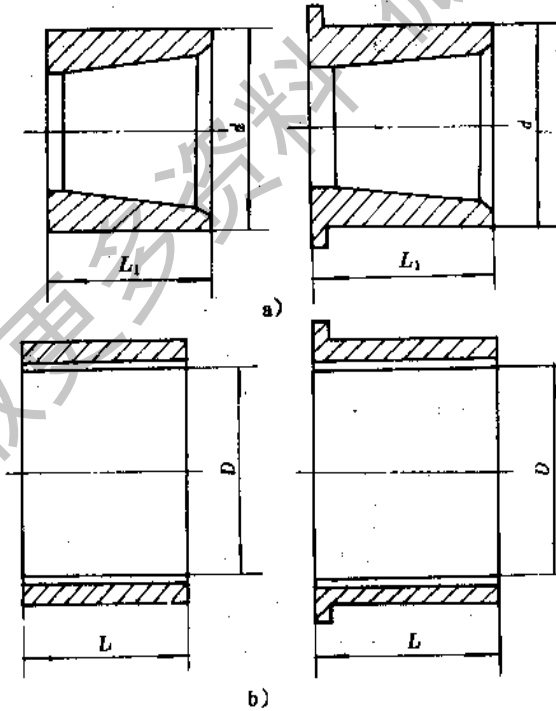


图 21-46 轧机油膜轴承轴套简图

a) 锥套；b) 衬套



(5) 轴承上的压力不大于 25 MPa。

(6) 锥套和衬套钢体锻件的技术要求应符合 YB3220.7 中的有关规定。

(7) 锥套和衬套钢体热处理的技术要求应符合 JB3814 和 JB3877 中的有关规定。

(8) 锥套的锥度一般选用 1:5。

(9) 轴承的装配现场应保持清洁, 在装配前零件应清洗干净, 保持油腔、油路及配合表面洁净的情况

下方可装配。

(10) 润滑油要按设计的要求和使用工况条件选用。使用的润滑油必须严格过滤, 保持其清洁度。

### 6.2 对开式轴瓦

对开式轴瓦有厚壁轴瓦(图 21-47)和薄壁轴瓦(图 21-48)两种。

超星浏览器提醒  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

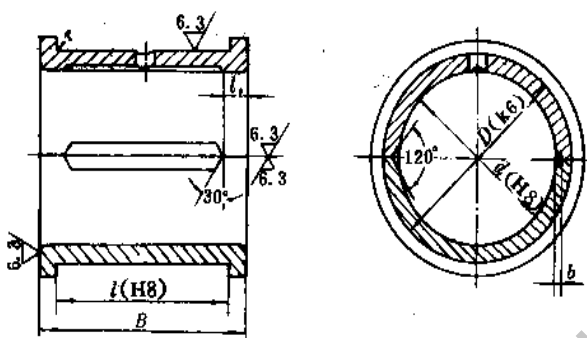


图 21-47 厚壁轴瓦

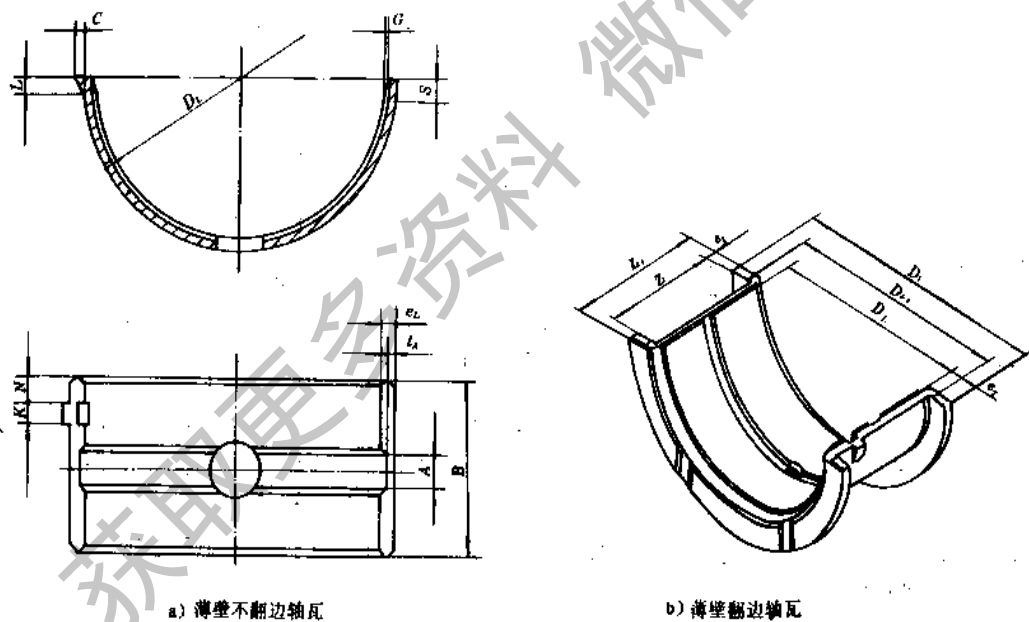


图 21-48 薄壁轴瓦

#### 6.2.1 厚壁轴瓦

厚壁轴瓦壁厚  $\delta$  与外径  $D$  的比值大于 0.05, 一般用铸造法制造, 上轴瓦开有油孔和油沟, 为改善轴

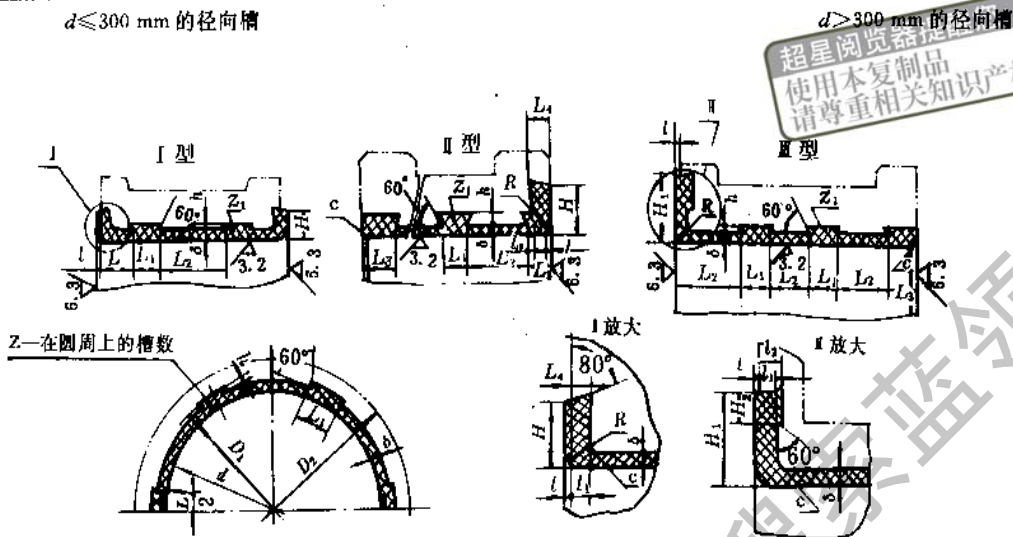
瓦摩擦性能, 常在其内表面浇铸一层减摩材料(如轴承合金), 称为轴承衬。为使轴承衬能牢固地贴在轴瓦上, 需在轴瓦上制出一些沟槽。轴承合金衬层愈薄, 其疲劳强度愈高。

为综合利用各种金属的特性, 也有在轴承衬表面镀一层铜、银等更软的金属, 称之为“三金属轴瓦”。轴承合金层的厚度小于 0.36 mm 时, 其疲劳强度显著高, 其上再加镀一薄层减摩性更好的材料(如

钢等), 也比仅用中间层材料作衬的轴瓦在跑合性和嵌藏性等方面都有很大改善。

轴承合金浇铸用槽的结构尺寸见表 21-36。

表 21-36 轴承合金浇注用槽的结构和尺寸 (摘自 JB/ZQ 4259-86)



比例关系:  $D_2 : D_1 \geq 1.2$ ……铸铁

$D_2 : D_1 \approx 1.1 \sim 1.14$ ……钢

轴 径 $d$	浇 铸 尺 寸															纵向槽数 $Z$	
	$\delta$		$h$	$H$	$H_1$	$H_2$	$L$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$l$	$l_1$	$l_2$	$R$		$c$
	铸铁	钢															
30~50	2.5	2		6							3	1	2		3	1	
>50~80	3	2.5	2	8		20	9	50	10	4	1	3		4	1	2	
>80~100	3.5	3	2	10		25	10	60	12	5	1.5	4		4	2	2	
>100~150	3.5	3	2.5	12		30	10	80	14	6	1.5	5		6	2	3	
>150~200	4	3.5	2.5	16		35	15	90	16	7	1.5	5		8	3	3	
>200~300	5	4	3	20		40	18	100	18	8	2	6		12	5	3	
>300~400	6	4	3	25	35	15	20	110	20	8	2	6	11	15	5	3	
>400~500	7	5	3	30	40	15	25	150	22	10	2	8	12	20	6	3	
>500~650	7	5	3	35	45	15	30	150	22	10	2.5	8	13	25	7	3	
>650~800	7	5	3	40	50	20	30	160	22	12	2.5	9	13	30	10	3	
>800~1000	8	6	4	45	55	20	35	160	24	12	3	9	15	30	10	4	
>1000~1800	8	6	4	50	60	20	40	170	24	15	3	12	17	40	15	4	

- 注: 1. 纵向槽数  $Z$  平均分布于圆周上;  
 2. 径向槽数  $Z_1$  在轴衬全长上, 不许大于 4 个;  
 3.  $Z$  是最少的必要数量;  
 4. 材料为铸铁的轴衬, 径向和纵向的槽数, 应按表内规定的增加 1.5~2 倍;  
 5. 对重要的轴承, 受有相当的轴向力和冲击等情况下, 为取得较大的支承面, 轴端结构形式应按 I 型或 II 型选择;  
 6. 如果轴承不承受轴向力, 可选用一面轴承端带支承面, 或不带轴端支承面;  
 7. 轴衬浇注后的表面粗糙度应不低于  $R_a 25 \mu\text{m}$ ;  
 8. 轴承合金层不应有气泡、气孔、杂质等缺陷。

6.2.2 薄壁轴瓦

薄壁轴瓦是将轴承合金粘附在低碳钢带上,再经冲裁、弯曲成形及精加工制成双金属轴瓦。由于它能用双金属板连续轧制等新工艺进行大量生产,所以质量稳定,成本低廉。但轴瓦刚性小,装配时又不

再修刮轴瓦内孔,故轴瓦受力变形后的形状完全取决于轴承座的形状。因此,轴瓦、轴承座均需精密加工。

薄壁不翻边轴瓦(图 21-48a)见表 21-37~38。

薄壁翻边轴瓦(图 21-48b)见表 21-39~40。

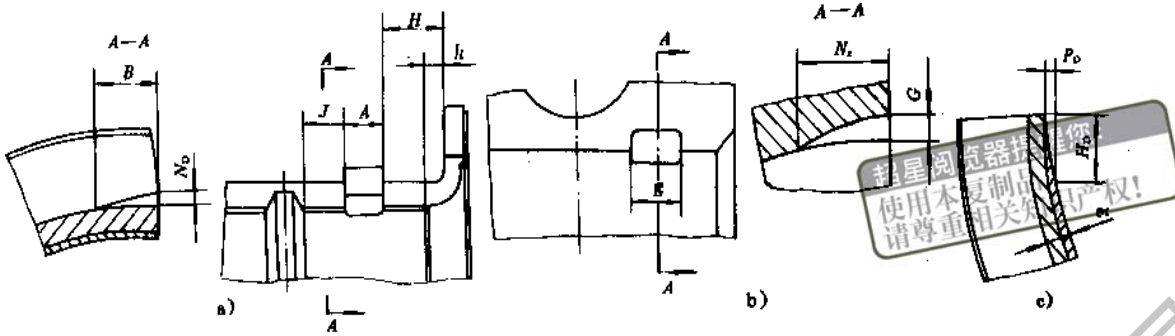
表 21-37 薄壁不翻边轴瓦外径与壁厚(摘自 GB/T3162-91)(参看图 21-48) mm

外 径 $D_L$	壁 厚 $e_L$	外 径 $D_L$	壁 厚 $e_L$
20,21,22,24,25,26,28,30	1.25,1.50,1.75	125,130,140,150,160	3.0,3.5,4.0
		170,180,190,200	3.5,4.0,4.5,5.0
32,34,36,38	1.50,1.75,2.0	210,220,240,250,260	4.0,4.5,5.0,6.0
40,42,45,48,50,53,56,60,63	1.75,2.0,2.5	280,300,320,340	5.0,6.0,8.0
		360,380,400	6.0,8.0,10.0
67,71,75,80,85	2.0,2.5,3.0	420,450,480,500	8.0,10.0,12.0
90,95,100,105,110,120	2.5,3.0,3.5		

表 21-38 薄壁不翻边轴瓦各部位尺寸公差(摘自 GB/T3162-91)(参看图 21-48) mm

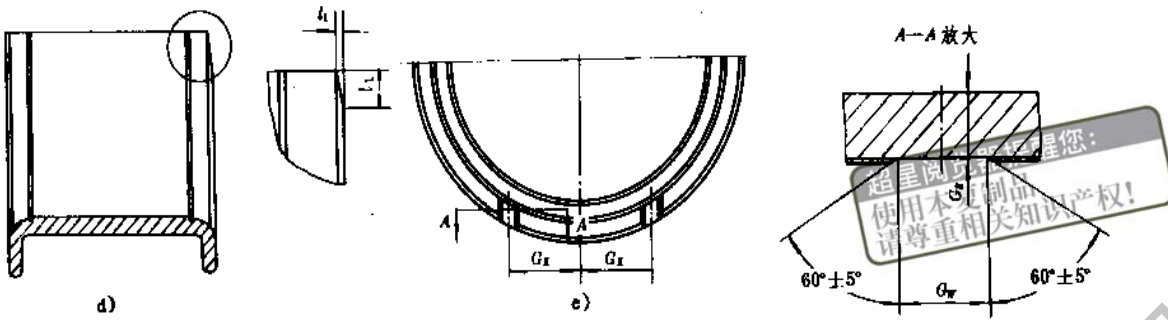
轴瓦外 径 $D_L$	壁厚公差		半长 圆公 周差	宽公 差 度带	定位肩尺寸与公差带			座孔定位槽尺寸与公差带			瓦口削薄尺寸 与公差带	
	双 层 瓦	三 层 瓦			宽 度 $K$	长 度 $L$	高 度 $C$	宽 度 $W$	长 度 $H$	深 度 $P$	削 薄 量 $G$	高 度 $S$
38	0.008	0.013	0.030	$B_{-0.25}^0$	2.8 $_{-0.12}^0$	4.0 $_{-1.2}^0$	1.1 $_{-0.3}^0$	2.9 $_{-0}^{+0.17}$	4.5 $_{-0}^{+1.0}$	1.5 $_{-0}^{+0.4}$	0.035 $_{-0.020}^0$	$S_{-2.0}^0$
38					3.8 $_{-0.12}^0$	6.0 $_{-1.2}^0$	1.2 $_{-0.3}^0$	3.9 $_{-0}^{+0.12}$	7.0 $_{-0}^{+1.5}$	1.6 $_{-0}^{+0.4}$		
45	0.012	0.017	0.035	$B_{-0.25}^0$	4.8 $_{-0.14}^0$	6.0 $_{-1.2}^0$	1.5 $_{-0.3}^0$	4.9 $_{-0}^{+0.14}$	8.0 $_{-0}^{+2.0}$	2.0 $_{-0}^{+0.6}$	0.040 $_{-0.025}^0$	$S_{-3.0}^0$
75	0.013	0.018	0.040		5.8 $_{-0.14}^0$	7.0 $_{-1.2}^0$	1.7 $_{-0.4}^0$	5.9 $_{-0}^{+0.14}$	9.0 $_{-0}^{+3.0}$	2.5 $_{-0}^{+0.8}$	0.045 $_{-0.030}^0$	$S_{-4.0}^0$
110	0.018	0.025	0.045	$B_{-0.40}^0$	7.8 $_{-0.16}^0$	10.0 $_{-1.5}^0$	2.0 $_{-0.5}^0$	7.9 $_{-0}^{+0.16}$	12.0 $_{-0}^{+3.5}$	3.0 $_{-0}^{+1.0}$	0.050 $_{-0.035}^0$	$S_{-5.0}^0$
160												
200	0.025	0.035	0.055	$B_{-0.40}^0$	9.8 $_{-0.18}^0$	13.0 $_{-1.5}^0$	2.5 $_{-0.5}^0$	9.9 $_{-0}^{+0.16}$	15.0 $_{-0}^{+4.0}$	3.5 $_{-0}^{+1.2}$	0.070 $_{-0.040}^0$	$S_{-6.0}^0$
250												
300	0.025	0.035	0.070	$B_{-0.52}^0$	14.7 $_{-0.20}^0$	18.0 $_{-2.0}^0$	3.5 $_{-0.5}^0$	14.90 $_{-0}^{+0.20}$	20.0 $_{-0}^{+5.0}$	4.5 $_{-0}^{+1.5}$	0.080 $_{-0.060}^0$	$S_{-7.0}^0$
340												
400	0.030	0.040	0.080								0.10 $_{-0.06}^0$	$S_{-8.0}^0$

表 21-39 薄壁翻边轴瓦各部位尺寸



各 部 位 尺 寸 公 差	轴 瓦					
	至 45	至 60	45~65	45~75	60~80	65~85
轴瓦壁厚 ( $e_T$ ) 公差	双层瓦	0.008		0.008		
	三层瓦	0.012		0.012		
测量高高度 ( $S_N$ ) 公差		0.030		0.035		
止推边间距 $Z$ 的极限偏差		+0.05 0		+0.05 0		
轴承座孔宽度 $L_1$ 极限偏差		-0.02 -0.07 0		-0.02 -0.07 0		
轴瓦总宽度 $L_1$ 极限偏差		-0.12 0		-0.12 0		
止推边厚度 $e_1$ 极限偏差		-0.05		-0.05		
止推边外径 $D_1$ 极限偏差		$\pm 1$		$\pm 1$		
定位唇宽度 $A$ 的尺寸		2.2~2.35	3.2~3.35			4.2~4.35
定位唇长度 $B$ 的尺寸		3~4	5~6			5~6
定位唇高度 $N_1$ 的尺寸		0.8~1.1	1~1.3			1.2~1.5
定位唇与止推边的间距 $H$ 的极限偏差		+0.15 0	+0.15 0			+0.15 0
轴承座孔定位槽宽度 $E$ 的尺寸		3.06~2.94	4.06~3.94			5.07~4.93
轴承座孔定位槽长度 $N_z$ 尺寸		5.5~4.5	8.5~7			10~8
轴承座孔定位槽深度 $G$ 尺寸		1.75~1.50	2.15~1.75			2.60~2
瓦口削薄长度 $H_D$ 极限偏差		0 -3	0 -3			0 -3
瓦口削薄深度 $P_0$ 尺寸		0.012~0.025	0.012~0.025			0.012~0.025
止推边削薄长度 $l_1$ 公差带		5.5 $\pm$ 2	5.5 $\pm$ 2			5.5 $\pm$ 2
止推边削薄深度 $t_1$ 公差带		0.1 $^{+0.2}_0$	0.1 $^{+0.2}_0$			0.1 $^{+0.2}_0$
止推边上油槽宽度 $G_w$ 的公差带			3.5 $^{+0.5}_0$		4.5 $^{+0.5}_0$	
止推边上油槽位置 $G_s$ 的公差带			12.5 $\pm$ 1.5		17.5 $\pm$ 2.5	
止推边上油槽底壁厚 $G_E$ 极限偏差			0 -0.3		0 -0.3	
轴承座孔直径公差	材料为铸铁或钢的轴承座孔为 H6 或 H7; 对其他材料或由于其他因					

与公差 (摘自 GB7308—87)



外 径 $D_1$										注
75~110	80~100	85~120	100~120	110~160	120~140	140~160	120~200	160~200	200~250	
0.010				0.015				0.015	0.020	
0.015				0.022				0.022	0.020	
0.040				0.045				0.050	0.055	
+0.07 0				+0.07 0				+0.07 0	+0.07 0	
-0.02				-0.02				-0.02	-0.02	
-0.07 0				-0.10 0				-0.10 0	-0.10 0	图 b
-0.12 0				-0.20 0				-0.20 0	-0.20 0	
-0.05				-0.05				-0.05	-0.05	
±1				±1.5				±1.5	±1.5	
		5.2~5.35					6.2~6.35		7.2~7.35	
		6~7					8.5~10		11.5~13	图 a
		1.4~1.7					1.5~2		2~2.5	
		+0.15 0					+0.2 0		+0.2 0	
		6.07~5.93					8.08~7.92		10.08~9.92	
		12~9					15.5~12		20~15	图 b
		3~2.25					4~3		4.70~3.50	
		0 -4					0 -5		0 -6	图 c
		0.015~0.020					0.020~0.040		0.080~0.055	
		5.5±2					8±2		8±2	图 d
		0.1 <sup>+0.2</sup> <sub>0</sub>					0.2 <sup>+0.2</sup> <sub>0</sub>		0.2 <sup>+0.2</sup> <sub>0</sub>	
	4.5 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>		4.5 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>		4.5 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	4.5 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>				
	22.5±2.5		27.5±2.5		32.5±2.5	37.5±2.5				图 c
	0 -0.3		0 -0.3		0 -0.3	0 -0.3				

素其孔亦应达到 IT6~IT7 级

表 21-40 薄壁翻边轴瓦基本尺寸 (摘自 GB7308—87) (参看图 21-48b) mm

外 径 $D_{ba}$	壁 厚 $e_T$							止推边 外 径 $D_1$	止推边间距 $Z$		
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0				
	内 径 $D_i$										
40	36	35						52	15	17	21
42	38	37						54	16	18	22
45	41	40						57	17	19	24
48	44	43						60	18	21	25
50	46	45	—	—	—	—	—	62	18	21	26
53	49	48						65	19	23	28
56	52	51						68	20	24	29
60	56	55						72	22	25	31
63	59	58						79	23	27	33
67		62	61					83	24	28	34
71		66	65					87	25	29	36
75	—	70	69	—	—	—	—	91	26	31	38
80		75	74					96	28	33	41
85		80	79					105	30	35	43
90			84	83				110	31	37	45
95			89	88				115	33	39	48
100			94	93				120	34	41	50
105	—	—	99	98	—	—	—	129	36	43	53
110			104	103				134	38	45	55
120			114	113				144	41	49	60
125				118	117			149	42	50	62
130				123	122			154	44	52	65
140	—	—	—	133	132	—	—	170	47	56	70
150				143	142			180	51	60	75
160				153	152			190	54	64	80
170					162	160		200	57	68	84
180					172	170		210	60	72	89
190					182	180		220	64	76	94
200					192	190		230	67	80	99
210						200	198	250	70	83	103
220						210	208	260	73	87	108
240	—	—	—	—	—	230	228	280	80	95	118
250						240	238	290	83	99	123

超星浏览器提醒您：  
请勿复制、传播、转售！  
尊重知识版权！

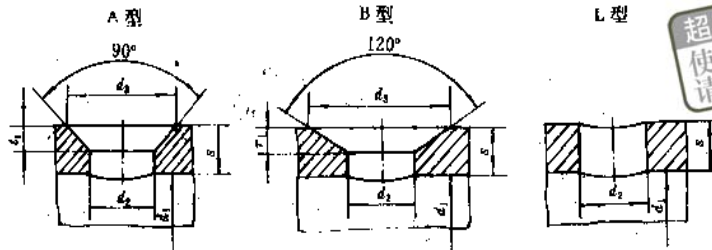
微信资料下载 超星数字图书馆 超星数字图书馆 超星数字图书馆



6.3 润滑孔和润滑槽

6.3.1 润滑孔 (表 21-41~42)

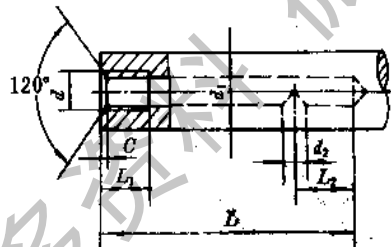
表 21-41 润滑孔 (根据 JB/ZQ4243—86)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$d_2$		2.5	3	4	5	6	8	10	12
$l_1$		1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
$d_3 \approx$	A 型	4.5	6	8	10	12	16	20	24
	B 型	6	8.2	10.8	13.6	16.2	21.8	27.2	32.6
$s$	>	—	21	2.5	3	4	4	7.5	10
	~	2	2.5	3	4	5	7.5	10	—
$d_1 \approx$		$\leq 30$			$> 30 \sim 100$			$> 100$	

表 21-42 轴端润滑油孔 (摘自 JB/ZQ4242—86)



螺 纹 直 径 $d$	$d$	$d_2$	$L_{max}$	$L_{1min}$	$L_{2min}$	$C$
M6—7H	5	5	100	10	15	0.5
M10×1—7H	9		150	12		
M14×1.5—7H	12.5	10	400	20	25	1
M20×1.5—7H	18.5	12	800	25	30	

6.3.2 润滑槽

为了把润滑油导入轴承并分布到整个摩擦表面以利润滑,需在轴瓦表面开设油孔和油槽。几种常用

油槽形式见图 21-49。其尺寸见表 21-43~44。

一般油孔、油槽均不应开在轴瓦的承载区,以免降低轴承承载能力,如图 21-50 所示。

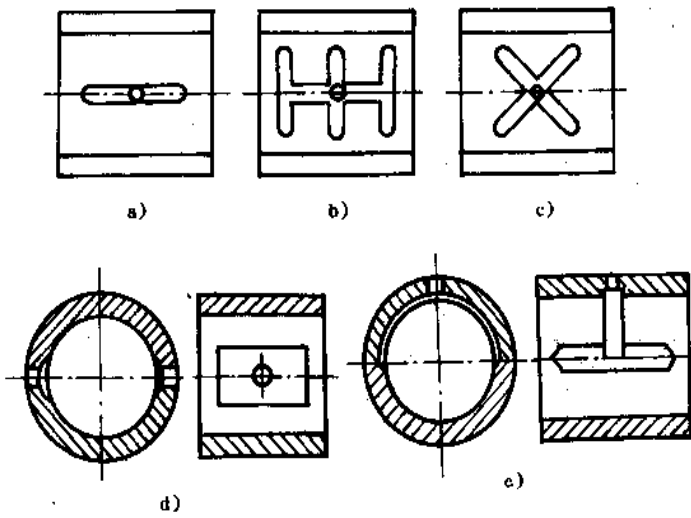


图 21-49 油槽的形式

表 21-43 轴瓦与油槽长度差

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

		mm			
	$b$	15~30	>30~60	>60~100	>100
	$a$	3	4	6	10

表 21-44 润 滑 槽 (摘自 GB6403.2—86)

mm

滑动轴承上用的润滑槽型式	平面上用的润滑槽型式

续表 21-44

滑动轴承上用的润滑槽型式							平面上用的润滑槽型式	
a、b、c、d 用于径向轴承的轴瓦上； e 用于径向轴承的轴上； f、g 用于推力轴承上；h 用于推力轴承端面上								
直 径	$t$	$r$	$R$	$B$	$f$	$b$		
$D$   $d$							$B$ : 4, 6, 10, 12, 16 mm $a$ : 15°, 30°, 45° $t_2$ : 3, 4, 5 mm $f_1$ : 1, 1.6, 2 mm $r_1$ : 1.6, 2.5, 4 mm	
<50	0.8 1.0 1.6	1.0 1.6 3.0	1.0 1.6 6.0	— — 5.0	— — 1.6	— — 4.0		
>50~120	2.0 2.5 3.0	4.0 5.0 6.0	10 16 20	8.0 10 12	2.0 2.0 2.5	6.0 8.0 10		
>120	4.0 5.0 6.0	8.0 10 12	25 32 40	16 20 25	3.0 3.0 4.0	12 16 20		

注：标准中未注明尺寸的棱边，按小于 0.5 mm 倒圆。

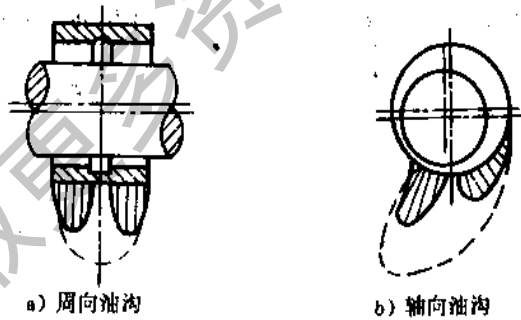


图 21-50 油槽对油膜压力分布的影响

### 6.4 粉末冶金轴瓦

粉末冶金轴瓦常用材料为：铁基，FZ1160，FZ1165，FZ1260，FZ1265，FZ1360，FZ1365，FZ1460，FZ1465；铜基，FZ2170，FZ2175，FZ2265，FZ2270，

FZ2365。

常用型式有筒形和球形两类，筒形轴瓦又有带挡边与不带挡边两种，见图 21-51。

#### 6.4.1 筒形轴瓦 (表 21-45~46)

a) 筒形轴承(GB2685)

b) 带挡边筒形轴承(GB2686)

c) 粉末冶金球形轴承

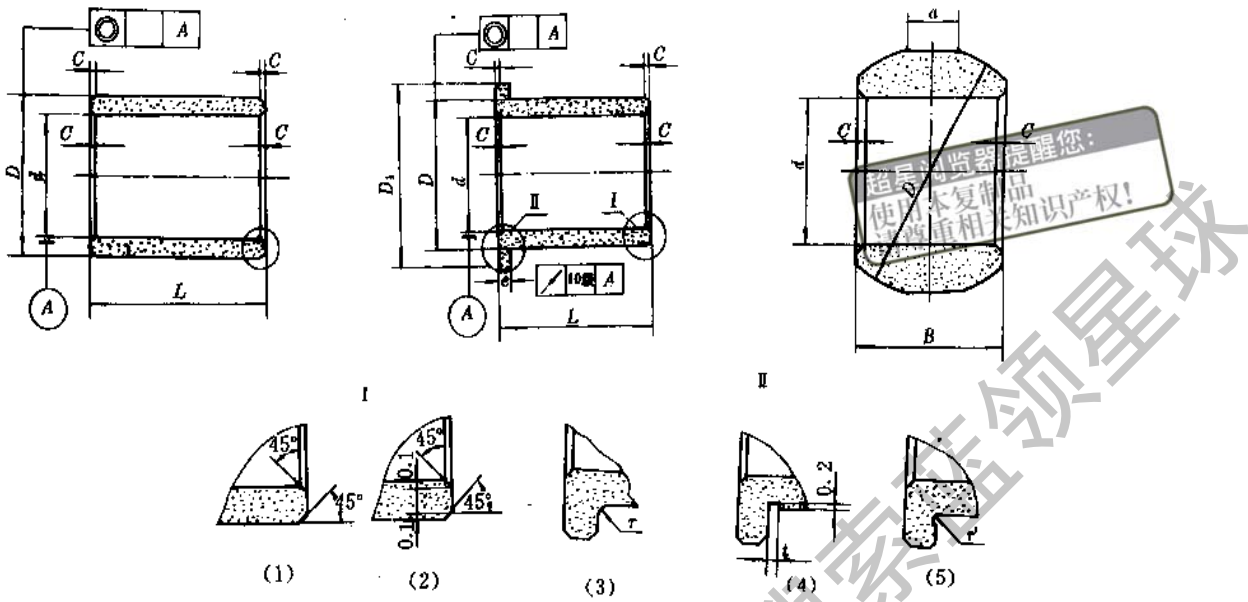


图 21-51 粉末冶金轴瓦

表 21-45 粉末冶金筒形轴瓦尺寸公差

粘度等级	内 径 $d$	外 径 $D$	宽 度 $B$	内 外 径 同 轴 度
7 级	G7	r7	h13	9 级
8 级	E8	s8	h14	10 级
9 级	C9	$\leq 24$ s9 $> 24$ 19	h15	10 级

表 21-46 粉末冶金筒形轴瓦尺寸 (摘自 GB2685—81)

mm

内 径 $d$	外 径 $D$		倒 角 $C$		宽 度 $B$		
	普通系列	薄系列	普通系列	薄系列			
0.8	3		0.2		1, 2		
1					1, 2, 3		
1.5					2, 3, 4		
2							
2.5	6	5	0.3	0.2	3, 4, 5		
3	6				6	4, 5, 6, 8, 10	
4	8				7	0.3	4, 5, 6, 8, 10, 12
5	9				8		5, 6, 8, 10, 12, 14
6	10	8					
7	11	10					

续表 21-46

内 径 $d$	外 径 $D$		倒 角 $C$		宽 度 $B$
	普通系列	薄系列	普通系列	薄系列	
8	12	11	0.3		6, 8, 10, 12, 14, 16
9	14	12			6, 8, 10, 12, 14, 16, 18
10	16	14			8, 10, 12, 14, 16, 18, 20
12	18	16	0.4	0.3	10, 12, 14, 16, 18, 20, 22
14	20	18			12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28
16	22	20			12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30
18	24	22			16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35
20	26	24			20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40
22	28	26			
25	32	30			
28	36	34 (33)			
30	38	36 (35)			
32	40	38			0.6
35	45	42	25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50		
38	48	45	25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 55		
40	50	48	30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60		
42	52	50	30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60		
45	55	53	35, 40, 45, 50, 55, 60, 65		
48	58	56	35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70		
50	60	58	40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75		
55	65	63	40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75		
60	70	68	0.7	0.6	

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

6.4.2 带挡边的筒形轴瓦 (表 21-47~48)

表 21-47 带挡边粉末冶金筒形轴瓦的尺寸公差

精度等级	内 径 $d$	外 径 $D$	宽 度 $B$	挡边外径 $D_1$	挡边厚度 $e$	外径对内径同轴度	挡边内端面对内径圆跳动
7	G7	r7	h13	js13	js13	9 级	10 级
8	E8	s8	h14	js14	js14	10 级	
9	C9	$\leq 24$ s9 $> 24$ t9	h15	js15	js15	10 级	

表 21-48 带挡边粉末冶金筒形轴瓦的主要尺寸 (摘自 GB2686-81)

mm

内 径 $d$	外 径 $D$	挡边外径 $D_1$	挡边厚度 $e$	倒 角 $c$	宽 度 $B$
1	3	5	1	0.2	1, 2
1.5	4	6			1, 2, 3
2	5	8	1.5	0.3	2, 3, 4
2.5	6	9			3, 4, 5, 6
3			8	12	4, 5, 6, 8, 10
4	9	13			4, 5, 6, 8, 10, 12
5			10	14	5, 6, 8, 10, 12, 14
6	11	15			6, 8, 10, 12, 14, 16
7			12	16	6, 8, 10, 12, 14, 16, 18
8	14	19			2.5
9			16	22	
10	18	24			4
12			20	26	
14	22	28			3.5
16			24	30	
18	26	32			5
20			28	34	
22	32	38			5
25			36	44	
28	38	46			5
30			40	48	
32	45	55			5
35			48	58	
38	50	60			5
40			52	62	
42	55	65			5
45			58	68	
48	60	70			5
50			65	75	
55	70	80			6
60					

6.4.3 球形轴瓦 (表 21-49~50)

表 21-49 粉末冶金球形轴瓦尺寸公差

精度等级	内 径 $d$	球 径 $D$	宽 度 $B$	球径对内径圆跳动
7	H7	h11	h13	9 级
8	H8	h12	h14	10 级

表 21-50 粉末冶金球形轴瓦尺寸 (摘自 GB2687-81)

mm

内 径 $d$	球 径 $D$	宽 度 $B$	不完全球 面宽度 $a$	倒 角 $C$	内 径 $d$	球 径 $D$	宽 度 $B$	不完全球 面宽度 $a$	倒 角 $C$
1	3	2	0.7	0.3	8	16	11	4.5	0.7
1.5	4.5	3	1		6	18	12		
2	5		4	1.2	10	22	14	6	0.8
2.5	6	5	1.5	12	24	15			
3	8	9	2	0.4	14	27	20	7	
4	10	8	3		15	30			17
5	12	9	3.5	0.6	16	28	8	8	
6	14	10	4		18	36			14
7	16	11			20	36	25		

标记示例: 内径 20 mm, 球径 36 mm, 宽度 25 mm, 内径精度 7 级的轴瓦;

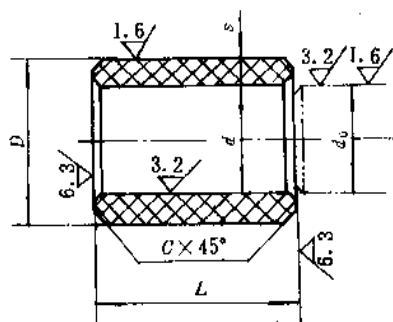
轴承 20H7×36×25 GB2687-81.



6.5 尼龙轴套 (表 21-51~52)

表 21-51 尼龙轴套的结构尺寸及公差

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



硬度 15~18HBS  
 $D_0$  — 轴承座内径  
 $h_0$  — 由于外径的过盈配合使内径缩小的量  
 $d_0$  — 轴径, 公差为 f9, d11, 或 h8, h9, h11 (基轴制)

项 目		尺寸及极限偏差				项 目	尺寸及极限偏差						
轴 套	$d$	<30	30~50	>50		$D$ 对轴承座孔的过盈量	$h \approx 0.008D_0 + (0.05 \sim 0.08)$						
	$S$	1.5~2	2.5~3	3.5~4			尼龙 6 采用下限值 0.05 mm, 尼龙 1010 采用上限值 0.08 mm						
	$C$	0.3	0.4	0.5			$d' \approx d + h' = d + h + \frac{h_0}{d}$						
轴 套 座	$d$	$\leq 6$	>6~12	>12~22	>22~40	保证轴颈在轴套内孔中正常运转时的间隙 (平均值)	$\delta \approx (0.005 \sim 0.01) d$						
		$C$	0.3	0.4	0.5		0.8	1					
轴套长度 $L > 1.5 d$	$L$	$\leq 6$	>6~10	>10~18	>18	轴套直径	$d, D$	$\leq 6$	>6~12	>12~18	>18~30	>30~50	>50~80
		极限偏差	+0 -0.15	+0 -0.25	+0 -0.40		+0 -0.50	极限偏差	+0.045 +0	+0.050 +0	+0.055 +0	+0.065 +0	+0.070 +0

表 21-52 尼龙轴套设计举例(轴套内径  $d=28\text{mm}$ , 壁厚  $S=3\text{mm}$ , 轴颈公差 d11, 材料为尼龙 1010) mm

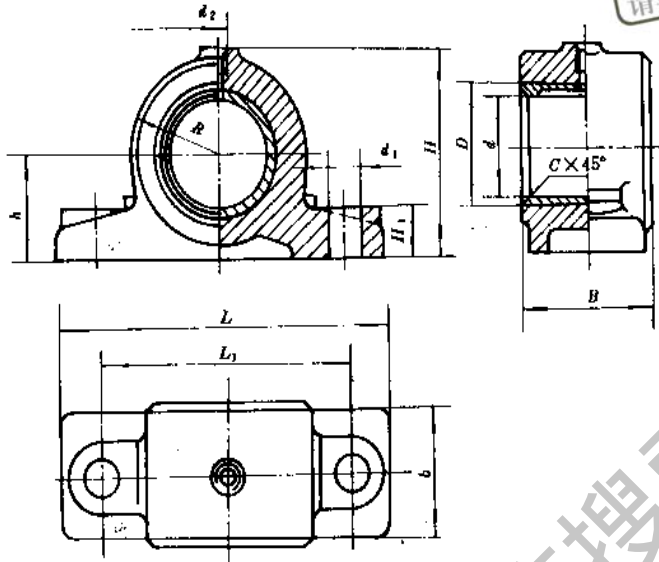
项 目	计 算 结 果
轴承座名义内径	$D_0 = d + 2S = 28 + 2 \times 3 = 34$
轴承座内径制造尺寸	$D$ 采用 H8 配合, $D = 34 \begin{matrix} +0.039 \\ -0 \end{matrix}$
过盈量	$h = 0.008 \times 34 + 0.08 \approx 0.35$
轴套外径	$D' = D_0 + h = 34 + 0.35 = 34.35$ (制造允差: 0.07)
实际过盈量 $h$	$h_{\max} = 0.35 + 0.07 = 0.42, h_{\min} = 0.35 - 0.039 = 0.311$
实际缩小量 $h'$	$h'_{\max} = h_{\max} + h_{\max} \frac{S}{d} = 0.42 + \frac{0.42 \times 3}{28} \approx 0.47, h'_{\min} = h_{\min} + h_{\min} \frac{S}{d} = 0.311 + \frac{0.311 \times 3}{28} \approx 0.344$
轴套的内径	$d' = 28 + 0.47 = 28.47$ (制造允差: 0.065)
轴套压配合后内径	$d_{\max} = d'_{\max} - h'_{\min} = 28.47 + 0.065 - 0.344 = 28.191$ $d_{\min} = d'_{\min} - h'_{\max} = 28.47 - 0 - 0.47 = 28$
轴套与轴颈实际配合间隙	轴颈公差采用 d11 时, 轴颈直径 = $28 \begin{matrix} -0.065 \\ -0.195 \end{matrix}$ $\delta_{\max} = 0.191 + 0.195 = 0.386$ $\delta_{\min} = 0 + 0.065 = 0.065$ $\delta_p = \frac{0.386 + 0.065}{2} = 0.226$
核算配合间隙	$\delta = (0.005 \sim 0.010) d = (0.005 \sim 0.010) \times 28 = 0.14 \sim 0.28$ $\delta_p$ 在此范围内

7 滑动轴承座

7.1 整体式径向滑动轴承座

表 21-53 整体有衬正滑动轴承座 (摘自 JB/T2560—91)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



标记示例：d=30mm 的轴承座：HZ030 轴承座 JB/T2560

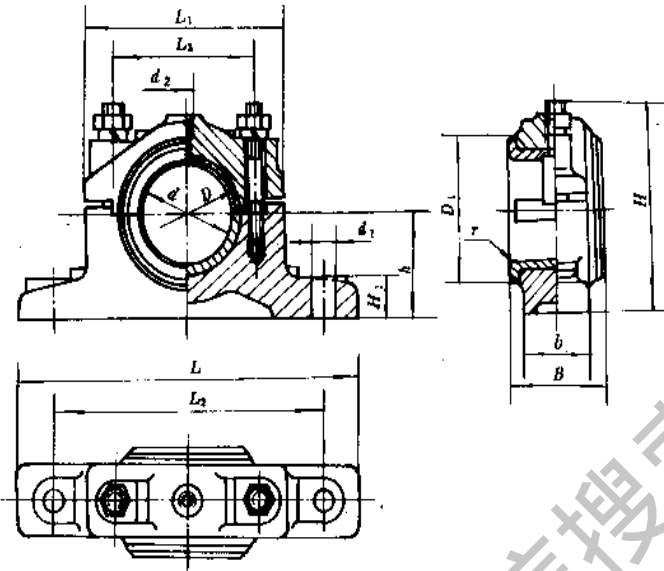
型 号	d (H8)	D	R	B	b	L	L <sub>1</sub>	H ≈	h (h12)	H <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	c	质量 ≈kg
HZ 020	20	28	26	30	25	105	80	50	30	14	12	M10×1	1.5	0.6
HZ 025	25	32	30	40	35	125	95	60	35	16	14.5			0.9
HZ 030	30	38		50	40	150	110	70		20	18.5			1.7
HZ 035	35	45	38	55	45	160	120	84	42	20	18.5	2	1.9	
HZ 040	40	50	40	60	50	165	125	88	45	20	18.5		2.4	
HZ 045	45	55	45	70	60	185	140	90	50	25	24		3.6	
HZ 050	50	60	45	75	65	185	140	100	50	25	24	M14×1.5	2.5	3.8
HZ 060	60	70	55	80	70	225	170	120	60	30	28			6.5
HZ 070	70	85	65	100	80	245	190	140	70	30	28			9.0
HZ 080	80	95	70	100	80	255	200	155	80	30	28	3	10.0	
HZ 090	90	105	75	120	90	285	220	165	85	40	35		13.2	
HZ 100	100	115	85	120	90	305	240	180	90	40	35		15.5	
HZ 110	110	125	90	140	100	315	250	190	95	40	35	M14×1.5	3	21.0
Z 120	120	135	100	150	110	370	290	210	105	45	42			27.0
HZ 140	140	160	115	170	130	400	320	240	120	45	42			38.0

注：1. 轴承座壳体和轴套可单独订货，但在订货时必须说明；  
2. 工作环境温度-20~80℃。

7.2 对开式滑动轴承座

7.2.1 对开式二螺柱正滑动轴承座

表 21-54 对开式二螺柱正滑动轴承座 (摘自 JB/T2561—91)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

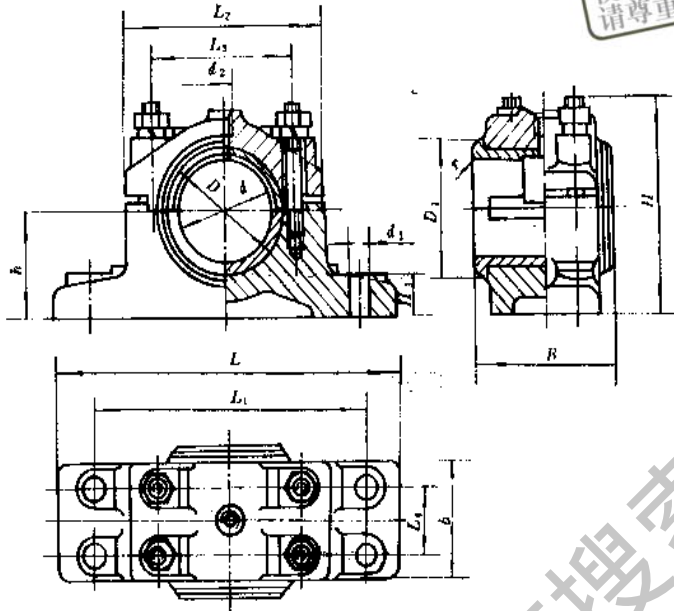
标记示例：d=50mm 的对开式二螺柱正滑动轴承座：H 2050 轴承座 JB/T2561

型 号	d (H8)	D	D <sub>1</sub>	B	b	H ≈ (h12)	h	H <sub>1</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	r	质量 ≈kg
H 2030	30	38	48	34	22	70	35	15	140	85	115	60	10	M10×1	1.5	0.8
H 2035	35	45	55	45	28	87	42	18	165	100	135	75	12		2	1.2
H 2040	40	50	60	50	35	90	45	20	170	110	140	80	14.5			1.8
H 2045	45	55	65	55	40	100	50	20	175	110	145	85	14.5			2.3
H 2050	50	60	70	60	40	105	50	25	200	120	160	90	18.5			2.9
H 2060	60	70	80	70	50	125	60	25	240	140	190	100	24	M14×1.5	2.5	4.6
H 2070	70	85	95	80	60	140	70	30	260	160	210	120	24			7.0
H 2080	80	95	110	95	70	160	80	35	290	180	240	140	28			10.5
H 2090	90	105	120	105	80	170	85	35	300	190	250	150	28		3	12.5
H 2100	100	115	130	115	90	185	90	40	340	210	280	160	35			17.5
H 2110	110	125	140	125	100	190	95	40	350	220	290	170	35	19.5		
H 2120	120	135	150	140	110	205	105	45	370	240	310	190	35	4	25.0	
H 2140	140	160	175	160	120	230	120	50	390	260	330	210	35		33.5	
H 2160	160	180	200	180	140	250	130	50	410	280	350	230	35		45.5	

- 注：1. 工作环境温度-20~80℃；  
 2. 轴肩承受的轴向负荷不大于径向负荷 30%；  
 3. 与轴承座配合的轴颈表面应进行硬化处理。

7.2.2 对开式四螺柱正滑动轴承座

表 21-55 对开式四螺柱正滑动轴承座 (摘自 JB/T2562—91)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

标记示例

$d=80\text{mm}$  的对开式四螺柱正滑动轴承座：

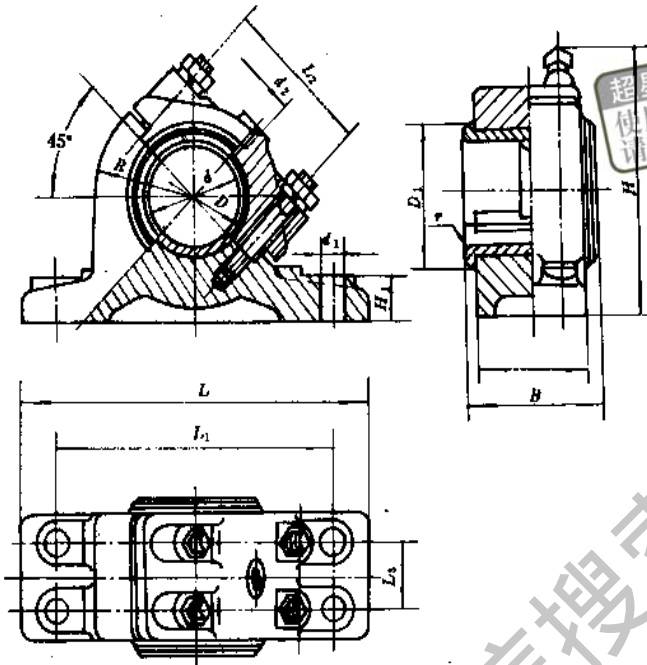
H 4080 轴承座 JB/T2562

型号	$d$ (H8)	$D$	$D_1$	$B$	$b$	$H$ $\approx$	$h$ (h12)	$H_1$	$L$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$d_1$	$d_2$	$r$	质量 $\approx$ kg
H 4050	50	60	70	75	60	105	50	25	200	160	120	90	30	14.5	M 10×1	2.5	4.2
H 4060	60	70	80	90	75	125	60	25	240	190	140	100	40	18.5			6.5
H 4070	70	85	95	105	90	135	70	30	260	210	160	120	45	18.5			9.5
H 4080	80	95	110	120	100	160	80	35	290	240	180	140	55	24	M 14×1.5	3	14.5
H 4090	90	105	120	135	115	165	85	35	300	250	190	150	70	24			18.0
H 4100	100	115	130	150	130	175	90	40	340	280	210	160	80	24			23.0
H 4110	110	125	140	165	140	185	95	40	350	290	220	170	85	24	M 14×1.5	4	30.0
H 4120	120	135	150	180	155	200	105	40	370	310	240	190	90	28			41.5
H 4140	140	160	175	210	170	230	120	45	390	330	260	210	100	28			51.0
H 4160	160	180	200	240	200	250	130	50	410	350	280	230	120	28	M 14×1.5	5	59.5
H 4180	180	200	220	270	220	260	140	50	460	400	320	260	140	35			73.0
H 4200	200	230	250	300	245	295	160	55	520	440	360	300	160	42			98.0
H 4220	220	250	270	320	265	360	170	60	550	470	390	330	180	42	125.0		

注：同表 21-54 注。

7.2.3 对开式四螺柱斜滑动轴承座

表 21-56 对开式四螺柱斜滑动轴承座 (摘自 JB/T2563—91)



标记示例

$d=80\text{ mm}$  的对开式四螺柱斜滑动轴承座:

HX 080 轴承座 JB/T2563

mm

型号	$d$ (H8)	$D$	$D_1$	$B$	$b$	$H$ $\approx$	$h$ (h12)	$H_1$	$L$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$R$	$d_1$	$d_2$	$r$	质量 $\approx$ kg
HX 050	50	60	70	75	60	140	65	25	200	160	90	30	60	14.5	M 10×1	2.5	5.1
HX 060	60	70	80	90	75	160	75	25	240	190	100	40	70	18.5			8.1
HX 070	70	85	95	105	90	185	90	30	260	210	120	45	80	18.5	3		12.5
HX 080	80	95	110	120	100	215	100	35	290	240	140	55	90	24			17.5
HX 090	90	105	120	135	115	225	105	35	300	250	150	70	95	24			21.0
HX 100	100	115	130	150	130	250	115	40	340	280	160	80	105	24	M 14×1.5		29.5
HX 110	110	125	140	165	140	260	120	40	350	290	170	85	110	24			32.5
HX 120	120	135	150	180	155	275	130	40	370	310	190	90	120	28	4		40.5
HX 140	140	160	175	210	170	300	140	45	390	330	210	100	130	28			53.5
HX 160	160	180	200	240	200	335	150	50	410	350	230	120	140	35			76.5
HX 180	180	200	220	270	220	375	170	50	460	400	260	140	160	35	5		94.0
HX 200	200	230	250	300	245	425	190	55	520	440	300	160	180	42			120.0
HX 220	220	250	270	320	265	440	205	60	550	470	330	180	195	42	140.0		

注: 同表 21-54 注。

### 7.3 滑动轴承座技术要求 (摘自 JB/T2564—91)

(1) 轴承座的材料采用 HT 200 灰铸铁或 ZG 200~ZG 400 铸钢制造, 其机械性能应符合 GB 9439 或 GB 11352 的规定。

(2) 轴瓦和轴套采用 CuAl9Fe4Ni4 铝青铜制造, 轴套也可采用 CuPb5Sn5Zn5 锡青铜制造, 其机械性能和化学成分应符合 GB 1176 的规定。

(3) 铸件上的型砂应清除干净, 浇口、冒口、结疤及夹砂等均应铲除或打磨掉, 清理后, 毛坯表面应平整、光洁。

(4) 铸件不允许有裂纹, 无损于强度和外观的其他缺陷, 在下列范围内允许存在。

a. 非加工表面的缩孔、气孔及渣孔等缺陷, 深度不超过铸件壁厚的八分之一, 长×宽不大于 5 mm×5 mm, 缺陷总数不超过 3 个, 但轴承座的主要受力断面 (图 21-52 中 a、b 断面阴影部分) 不允许有铸造缺陷。

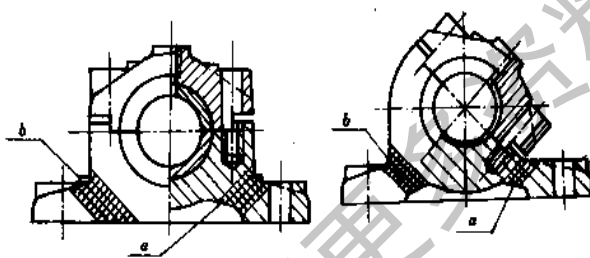
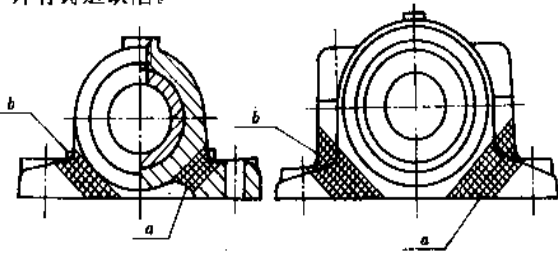


图 21-52 轴承座主要受力处

b. 加工后的表面不允许有砂眼等铸造缺陷。

(5) 轴承座上铸出的字体 (如轴承座型号、制造厂代号或商标) 应保证完整、清晰和光洁。

(6) 轴承座毛坯应在机械加工前进行时效处理。

(7) 加工后的轴承座上盖与底座在自由状态下分合面应贴合良好, 分合面对轴承座内径  $D$  的轴线位置度公差为 0.05 mm

(8) 对开式斜滑动轴承座的 45°分合面的角度公差应符合 GB 11335 中 V 级精度的规定。

(9) 轴承座中心高  $h$  的公差为 h12。

(10) 轴承座底平面的平面度公差应不大于 GB 1184 中规定的 8 级。

(11) 轴承座的内径  $D$  的公差应符合 GB 1801 中的 H7 的规定。

(12) 轴承座的内径  $D$  的表面粗糙度  $R_a$  最大允许值为 1.6  $\mu\text{m}$ 。

(13) 轴承座轴线对底平面的平行度公差应不大于 GB 1184 中规定的 8 级。

(14) 轴承座的内径  $D$  的圆柱度公差应不大于 GB 1184 中规定的 8 级。

(15) 轴承座两端面对内径  $D$  轴线的垂直度公差应不大于 GB 1184 中规定的 8 级。

(16) 轴瓦的外径  $D$  的极限偏差应符合 GB 1801 中的 m6 的规定。

轴套的外径  $D$  的极限偏差应符合 GB 1801 中 S7 的规定。

(17) 轴瓦和轴套的内径  $d$  的极限偏差应符合 GB 1801 中 H8 的规定。

(18) 轴瓦和轴套的内径  $d$ 、外径  $D$  的表面粗糙度  $R_a$  最大允许值为 1.6  $\mu\text{m}$ 。

(19) 轴瓦和轴套外径  $D$  的圆柱度公差应不大于 GB 1184 中规定的 8 级。

(20) 轴瓦油槽棱边应倒钝、圆滑, 内径  $d$  两端的圆角部位应圆滑, 其圆角半径  $R$  应符合图样要求。

## 8 滑动轴承产品

### 8.1 YD 型四油楔液体动压径向滑动轴承系列

四油楔径向轴承由于结构简单、制造方便、稳定性好, 承载能力不受载荷方向的影响, 在透平压缩机、膨胀机等高速、轻载的旋转机械中得到广泛的应用。

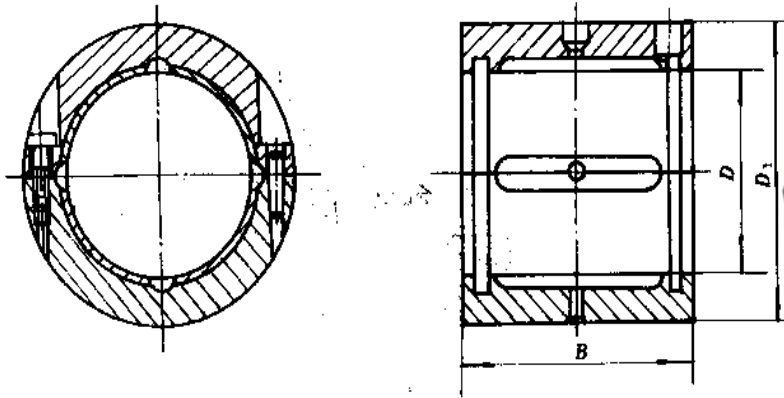
表 21-57 为沈阳滑动轴承厂生产的 YD 型四油楔径向轴承的尺寸规格。该系列轴承的宽径比  $B/D = 1.0$ ; 润滑油采用汽轮机油 20 (GB2537—81, 88 年认可), 进口油温 (供油油温)  $t_1 = 45^\circ\text{C}$ , 出口油温 (排油油温)  $t_2 = 62^\circ\text{C}$ ; 轴瓦采用钢底上浇铸锡磷轴承合金。推荐采用相对间隙  $\phi = c/R = 0.0015$ ; 要求轴颈直径的尺寸偏差见表 21-23; 轴颈表面微观不平度十点高度  $R_z$  不大于 3.2  $\mu\text{m}$ 。

按下列步骤选用轴承: 首先根据轴承所受径向载荷, 从表 21-23 选取相应的轴承直径, 表中所列轴



承最大许用载荷是按压强为 0.2 MPa 所确定的；其次根据查得的轴承直径，按转速  $n$  (r/min)，查图 21-

表 21-57 四油楔液体动压径向滑动轴承尺寸及许用载荷



型 号	$D$ mm	$D_1$ mm	$B$ mm	轴颈下偏差 mm	轴颈上偏差 mm	最大许用 载荷 kN
YD4/40	40	65	42	-0.060	-0.040	0.34
YD4/50	50	78	52	-0.075	-0.055	0.52
YD4/60	60	90	64	-0.085	-0.065	0.77
YD4/70	70	100	75	-0.100	-0.080	1.05
YD4/80	80	110	85	-0.115	-0.095	1.36
YD4/90	90	122	95	-0.130	-0.110	1.71
YD4/95	95	130	100	-0.135	-0.115	1.90
YD4/100	100	140	105	-0.145	-0.125	2.10
YD4/110	110	150	118	-0.160	-0.135	2.59
YD4/120	120	160	128	-0.175	-0.150	3.07
YD4/125	125	170	135	-0.175	-0.150	3.37
YD4/130	130	175	140	-0.185	-0.160	3.64
YD4/140	140	190	150	-0.205	-0.180	4.20
YD4/150	150	200	160	-0.215	-0.190	4.80
YD4/160	160	212	172	-0.235	-0.210	5.50
YD4/180	180	238	195	-0.275	-0.250	7.02
YD4/200	200	260	215	-0.295	-0.265	8.60
YD4/225	225	290	240	-0.330	-0.300	10.80
YD4/250	250	315	265	-0.370	-0.340	13.25
YD4/300	300	370	320	-0.445	-0.410	19.20

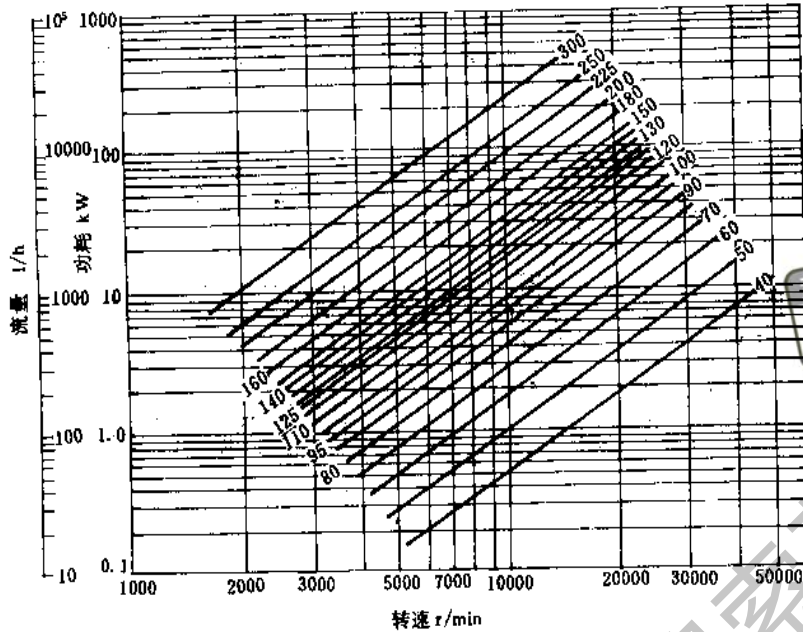


图 21-53 四油楔径向轴承的摩擦功耗与流量

星星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

### 8.2 KT 型止推可倾瓦轴承系列

止推可倾瓦轴承，由于其瓦块可随外界工况的变化而自动调节倾斜角度，以形成最佳润滑油膜，故有广泛的适应性，在汽轮发电机组、水轮发电机组、透平压缩机组、大型鼓风机等高速、中轻载的旋转机械中得到广泛的应用。

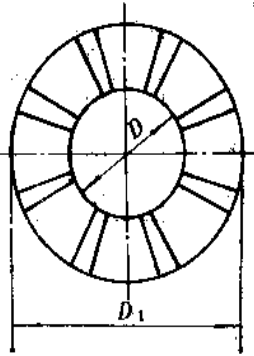
本系列产品由六块和八块瓦块组成。

表 21-58、表 21-59 分别为沈阳滑动轴承厂生产的六块和八块瓦止推可倾瓦轴承的尺寸规格。该系列轴承推荐采用汽轮机油 20 (GB2537—81, 88 年认

可) 润滑，进口油温 (供油油温)  $t_1=40^{\circ}\text{C}$ ，出口油温 (排油油温)  $t_2=60^{\circ}\text{C}$ ，轴瓦采用钢底上浇铸锡铋轴承合金。止推盘表面不平度平均高度不大于  $1.6\mu\text{m}$ 。稳定运转时最大许用压强为  $3.5\text{MPa}$ ，启动时最大许用压强为  $1.5\text{MPa}$ 。

按下列步骤选用轴承：首先，根据轴颈最大直径和轴承所受的轴向载荷，从表 21-58 或表 21-59~60 中选取适当型号的轴承；其次，根据所选取的轴承型号与转速 (r/min) 由图 21-54 和图 21-55 核定轴承的功耗及流量。

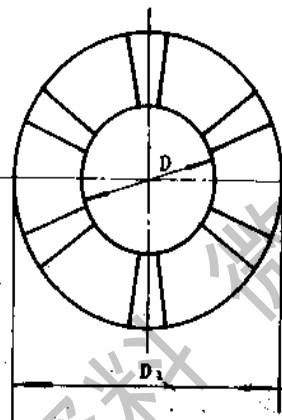
表 21-58 六块瓦的止推可倾瓦滑动轴承尺寸及许用载荷



超星浏览器提醒  
使用本复制品  
请尊重知识产权!  
续表 21-58

型 号	最大轴径 $d$ mm	瓦 内 径 $D$ mm	瓦 外 径 $D_1$ mm	轴 向 间 隙 mm	止 推 面 积 mm <sup>2</sup>	最大载荷 kN	
						启 动	稳 定 运 转
KT6/30	30	35	80	0.30	3048	4.57	10.67
KT6/35	35	40	92	0.30	4013	6.06	14.15
KT6/40	40	45	105	0.35	5300	7.95	18.55
KT6/50	50	55	125	0.40	7422	11.13	25.98
KT6/60	60	68	155	0.40	11428	17.14	40.00
KT6/70	70	78	175	0.50	14455	21.68	50.59
KT6/80	80	90	205	0.50	19983	29.97	69.94
KT6/90	90	100	230	0.50	25270	37.90	88.44
KT6/100	100	110	250	0.60	29698	44.53	103.90
KT6/110	110	125	285	0.60	38640	57.96	135.24
KT6/120	120	135	310	0.60	45872	68.80	160.55
KT6/130	130	145	330	0.70	51762	77.64	181.16
KT6/150	150	165	380	0.70	69020	103.53	241.57
KT6/180	180	200	460	0.70	101080	151.62	353.78
KT6/200	200	220	500	0.70	118752	178.12	415.63

表 21-59 八块瓦的止推可倾瓦滑动轴承尺寸及许用载荷



型 号	最大轴径 $d$ mm	瓦 内 径 $D$ mm	瓦 外 径 $D_1$ mm	轴 向 间 隙 mm	止 推 面 积 mm <sup>2</sup>	最大载荷 kN	
						启 动	稳 定 运 转
KT8/30	30	35	65	0.20	1832	2.75	6.41
KT8/35	35	40	75	0.25	2458	3.68	8.60
KT8/40	40	45	82	0.25	2870	4.30	10.04
KT8/50	50	55	100	0.30	4260	6.39	14.91
KT8/60	60	68	125	0.30	6720	10.08	23.52
KT8/70	70	78	145	0.35	9126	13.68	31.94
KT8/80	80	90	165	0.35	11682	17.52	40.88
KT8/90	90	100	185	0.40	14798	22.19	51.79
KT8/100	100	110	200	0.40	17043	25.56	59.65
KT8/110	110	125	230	0.40	22770	34.15	79.69
KT8/120	120	135	250	0.5	27046	40.56	94.66
KT8/130	130	145	270	0.5	31688	47.53	110.90
KT8/150	150	165	305	0.5	40194	60.29	140.68
KT8/180	180	200	370	0.6	59192	88.78	207.17
KT8/200	200	220	405	0.6	70631	105.95	247.20
KT8/250	250	275	508	0.7	111445	167.18	390.05
KT8/300	300	330	610	0.7	160779	241.19	562.72

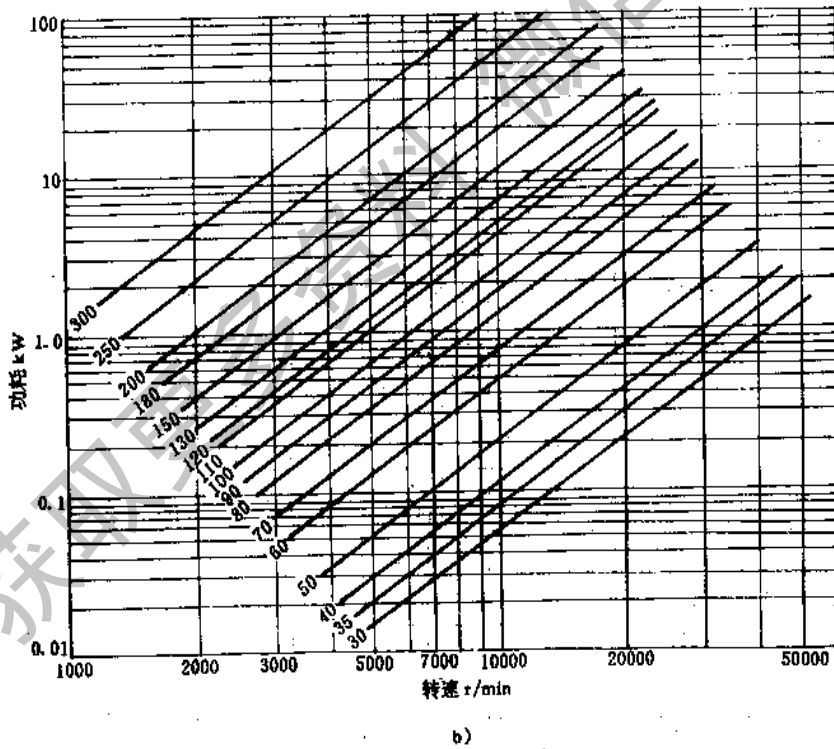
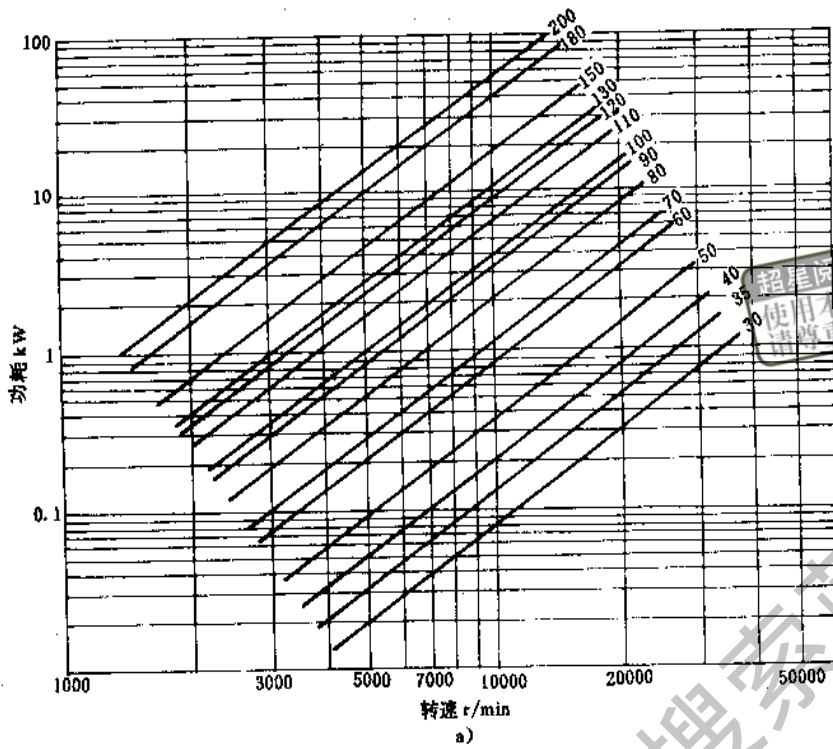


图 21-54 止推可倾瓦轴承功耗与转速的关系曲线  
a) 六块瓦 (KT6) b) 八块瓦 (KT8)

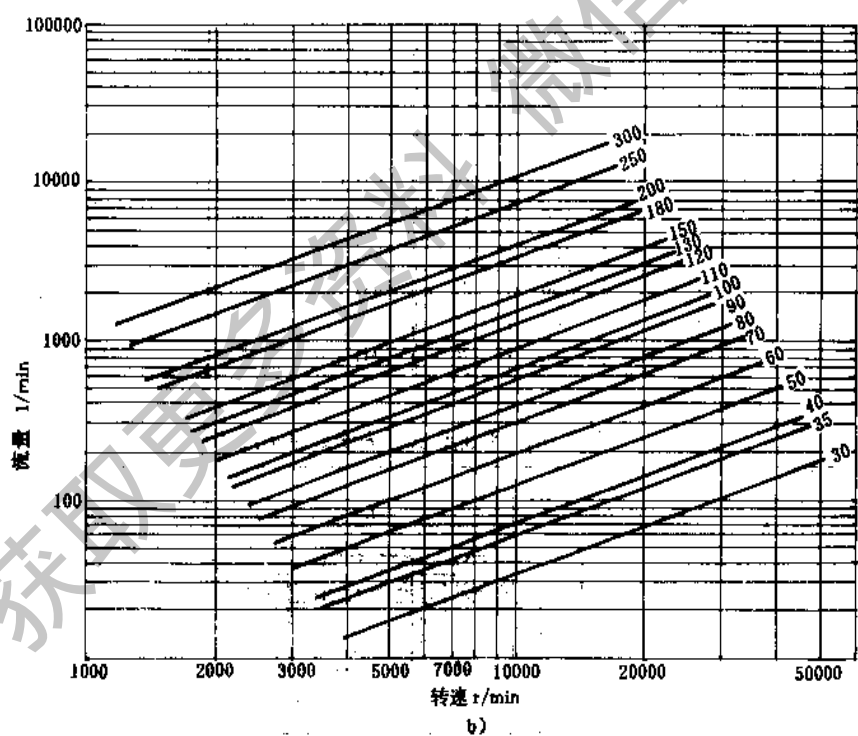
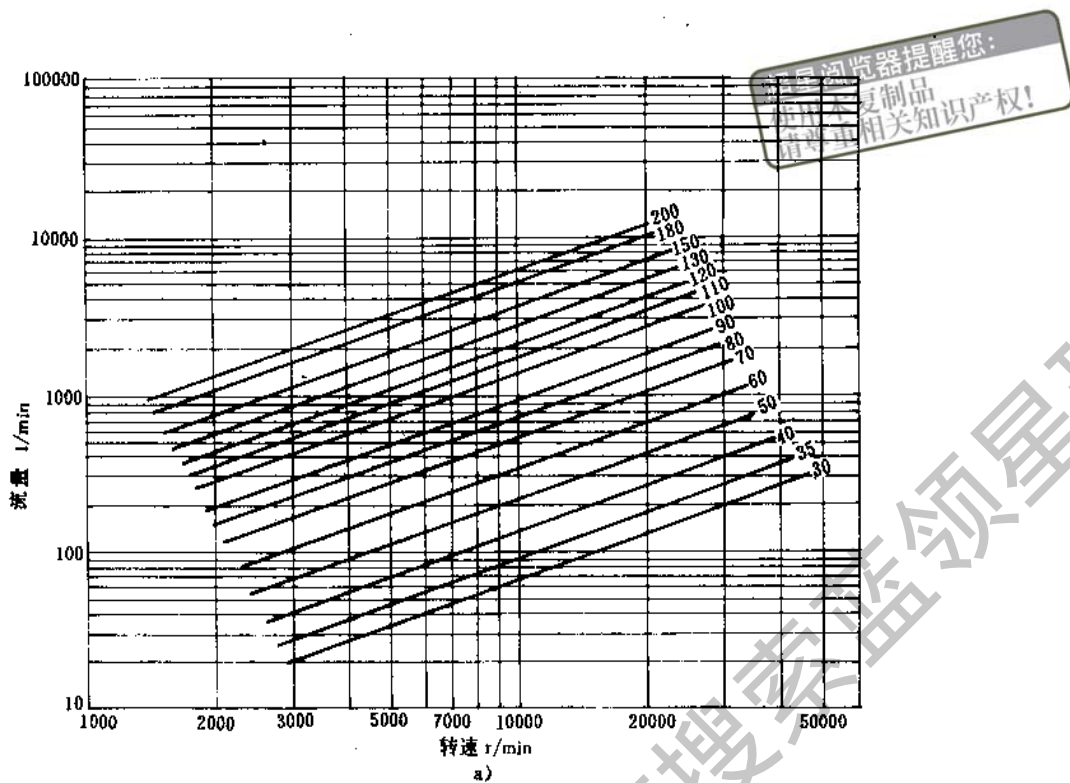


图 21-55 止推可倾瓦轴承流量与转速的关系曲线  
a) 六块瓦 (KT6); b) 八块瓦 (KT8)

8.3 油环式径向滑动轴承系列

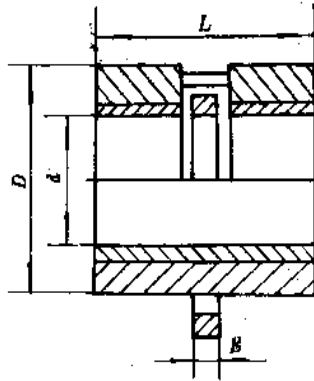
本系列产品适用于转速为 730~3000 r/min, 功率为 50~2000 kW 的离心水泵用油环轴承, 其他回转机械用油环轴承, 也可参照选用。

油环式径向滑动轴承有单油环式和双油环式两种。单油环式径向滑动轴承的尺寸见表 21-60, 双油

环式径向滑动轴承的尺寸见表 21-61。

该系列轴承推荐采用全损耗系统用油 L-AN32 (GB443) 润滑, 进口油温 (供油油温) 不低于 45℃, 出口油温 (排油油温) 不高于 80℃。轴瓦采用钢底上浇铸轴承合金。轴承孔表面的粗糙度  $R_a$  值为  $1.6\mu\text{m}$ , 轴承外径  $D$  的圆柱表面的粗糙度  $R_a$  值为  $3.2\mu\text{m}$ 。 $D$  对  $d$  的径向圆跳动误差精度不低于 8 级。

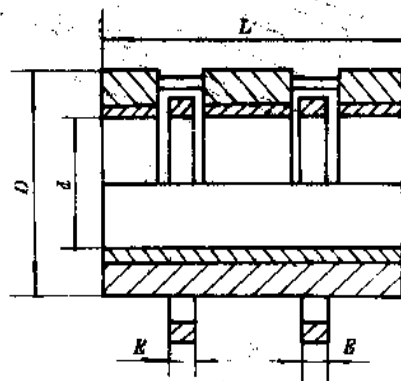
表 21-60 单油环式径向滑动轴承尺寸



mm									
型 号	$d$ (H8)	$D$ (n6)	$L$	$E$	型 号	$d$ (H8)	$D$ (n6)	$L$	$E$
DHJ 55	55	100	110	16	DHJ 110	110	175	180	20
DHJ 60	60	100	110	16	DHJ 120	120	205	180	30
DHJ 70	70	112	120	16	DHJ 125	125	210	200	30
DHJ 75	75	112	120	16	DHJ 140	140	220	200	30
DHJ 80	80	150	150	20	DHJ 150	150	240	220	30
DHJ 85	85	150	150	20	DHJ 160	160	250	220	30
DHJ 90	90	150	150	20	DHJ 180	180	260	240	35
DHJ 95	95	170	180	20	DHJ 200	200	280	270	35
DHJ 100	100	170	180	20	DHJ 220	220	300	290	35

注: 生产厂——沈阳滑动轴承厂。

表 21-61 双油环式径向滑动轴承尺寸



超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

超星索蓝领星球



续表 21-61

mm									
型 号	$d$ (H8)	$D$ (n6)	$L$	$E$	型 号	$d$ (H8)	$D$ (n6)	$L$	$E$
SHJ 60	60	110	100	14	DHJ 110	110	160	180	24
SHJ 70	70	125	116	16	SHJ 120	120	180	180	24
SHJ 80	80	135	125	18	SHJ 140	140	200	200	26
SHJ 85	85	145	136	20	SHJ 150	150	240	240	30
SHJ 90	90	155	136	20	SHJ 160	160	250	260	30
SHJ 100	100	155	140	20	SHJ 180	180	280	280	34
SHJ 105	105	160	140	20	SHJ 200	200	300	300	34

注：生产厂——沈阳滑动轴承厂。

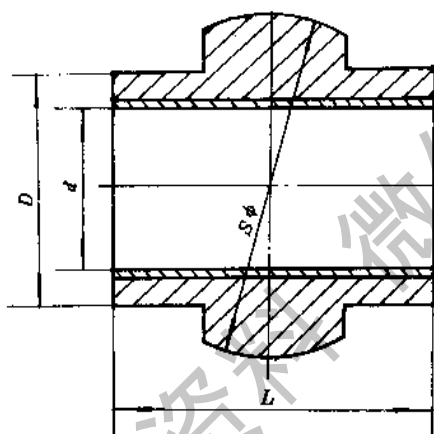
### 8.4 可调球型径向滑动轴承系列

本系列产品适用于转速为 750~5200r/min, 功率为 50~6500kW 的离心水泵用球型轴承, 其他回转机械用球型 (调心型) 轴承, 也可参照选用。

可调球型径向滑动轴承尺寸见表 21-62。

该系列轴承推荐采用汽轮机油 20 (GB2537-81, 88 年认可) 润滑, 进口油温 (供油油温) 不低于 45℃, 出口油温 (排油油温) 不高于 80℃。轴瓦采用钢底上浇铸轴承合金。轴承孔的表面粗糙度  $R_a$  值为 1.6 $\mu$ m, 球面的粗糙度  $R_a$  值为 3.2 $\mu$ m。S $\phi$  对  $d$  的径向圆跳动误差精度不低于 8 级。

表 21-62 可调球型径向滑动轴承尺寸



mm									
型 号	$d$ (H8)	$D$	$S\phi$ (n6, p8)	$L$	型 号	$d$ (H8)	$D$	$S\phi$ (n6, p8)	$L$
QJ 120/50	50	90	120	60	QJ200/120	120	175	200	130
QJ120/55	55	95	120	70	QJ225/130	130	190	225	140
QJ120/60	60	95	120	70	QJ225/140	140	200	225	150
QJ150/65	65	100	150	75	QJ250/150	150	220	250	160
QJ150/70	70	110	150	80	QJ250/160	160	230	250	175
QJ150/75	75	120	150	85	QJ300/180	180	250	300	195
QJ150/80	80	125	150	90	QJ300/200	200	275	300	220
QJ180/85	85	130	180	100	QJ350/225	225	300	350	245
QJ180/90	90	135	180	100	QJ350/250	250	325	350	270
QJ180/95	95	140	180	100	QJ400/275	275	350	400	300
QJ180/100	100	145	180	110	QJ400/300	300	375	400	325
QJ180/110	110	150	180	120					

注：生产厂——沈阳滑动轴承厂。

8.5 水润滑橡胶轴承系列

水润滑橡胶轴承受压面使用软质橡胶，外部采用金属外筒，以强化轴承结构。在金属和橡胶间，用特殊粘剂粘结。有筒式和法兰式两种结构。水润滑橡胶轴承由于具有较小的摩擦系数（0.005 以下），良好的耐磨性，缓冲，抑振和低噪声等特点，因而被广泛用于船舶、水泵、搅拌机等各种不适宜采用其它润滑剂的机械设备中。

为保持轴承的长寿命，建议强制给水，给水量  $Q$  按如下经验公式确定：

$$Q = (8 \sim 10)d \text{ l/min}$$

式中  $d$ ——轴承内径 mm。

轴承能承受的径向载荷可按下式计算：

$$F = dLp_p \text{ N}$$

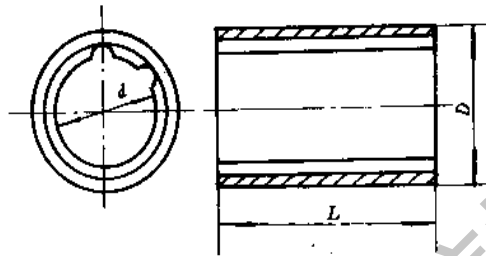
式中  $L$ ——轴承宽度 mm；

$d$ ——轴承内径 mm；

$p_p$ ——许用压强 MPa，一般可取  $p_p = (0.1 \sim 0.15)$  MPa，最大可取  $p_{pmax} = 0.25$  MPa。

筒式橡胶轴承的产品规格尺寸见表 21-63。法兰式橡胶轴承的产品规格尺寸见表 21-64。轴颈与轴承间应保证有适当的间隙，见表 21-65。

表 21-63 筒式橡胶轴承尺寸



型 号	内 径 $d$	外 径 $D$	长 度 $L=d \times n$			
			$d \times 1.5$	$d \times 2$	$d \times 3$	$d \times 4$
CHB1210-50	50	70	75	100	150	200
CHB1210-55	55	80	82	110	165	220
CHB1210-60	60	85	90	120	180	240
CHB1210-65	65	90	98	130	195	260
CHB1210-70	70	95	105	140	210	280
CHB1210-75	75	100	112	150	225	300
CHB1210-80	80	110	120	160	240	320
CHB1210-85	85	115	128	170	255	340
CHB1210-90	90	120	135	180	270	360
CHB1210-95	95	125	142	190	285	380
CHB1210-100	100	135	150	200	300	400
CHB1210-105	105	140	158	210	315	420
CHB1210-110	110	145	165	220	330	440
CHB1210-115	115	150	172	230	345	460
CHB1210-120	120	155	180	240	360	480
CHB1210-125	125	160	188	250	375	500
CHB1210-130	130	165	195	260	390	520
CHB1210-135	135	175	202	270	405	540
CHB1210-140	140	180	210	280	420	560
CHB1210-145	145	185	218	290	435	580
CHB1210-150	150	195	225	300	450	600
CHB1210-160	160	205	240	320	480	640
CHB1210-170	170	215	255	340	510	680

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

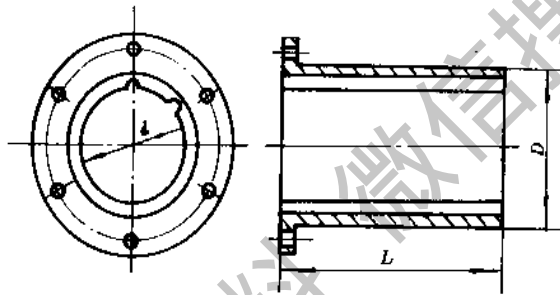
索星球

续表 21-63

型 号	内 径 $d$	外 径 $D$	长 度 $L=d \times n$			
			$d \times 1.5$	$d \times 2$	$d \times 3$	$d \times 4$
CHB1210-180	180	230	270	360	540	720
CHB1210-190	190	240	285	380	570	760
CHB1210-200	200	250	300	400	600	800
CHB1210-210	210	270	315	420	630	840
CHB1210-220	220	280	330	440	660	880
CHB1210-230	230	290	345	460	690	920
CHB1210-240	240	300	360	480	720	960
CHB1210-250	250	310	375	500	750	1000
CHB1210-260	260	325	390	520	780	1040
CHB1210-270	270	335	405	540	810	1080
CHB1210-280	280	345	420	560	840	1120
CHB1210-290	290	355	435	580	870	1160
CHB1210-300	300	370	450	600	900	1200

注：1. 型号说明：CHB1210- $d$ - $n$  其中  $d$  为内径， $n$  为长度系数， $n=1.5$  时为标准长度系列，可省略  $n$ ，即 CHB1210- $d$ ；  
 2. 内径大于 300 的轴承，可根据用户要求另行设计；  
 3. 生产厂——沈阳滑动轴承厂。

表 21-64 法兰式橡胶轴承尺寸



型 号	内 径 $d$	外 径 $D$	长 度 $L$			
			$d \times 1.5$	$d \times 2$	$d \times 3$	$d \times 4$
CHB1210-150	150	190	225	300	450	600
CHB1210-160	160	205	240	320	480	640
CHB1210-170	170	215	255	340	510	680
CHB1210-180	180	230	270	360	540	720
CHB1210-190	190	240	285	380	570	760
CHB1210-200	200	250	300	400	600	800
CHB1210-210	210	270	315	420	630	840
CHB1210-220	220	280	330	440	660	880
CHB1210-230	230	290	345	460	690	920
CHB1210-240	240	300	360	480	720	960
CHB1210-250	250	310	375	500	750	1000
CHB1210-260	260	325	390	520	780	1040
CHB1210-270	270	335	405	540	810	1080
CHB1210-280	280	345	420	560	840	1120
CHB1210-290	290	355	435	580	870	1160
CHB1210-300	300	370	450	600	900	1200

注：1. 法兰尺寸可根据用户要求设计；  
 2. 生产厂——沈阳滑动轴承厂。

表 21-65 橡胶轴承内径公差及装配间隙

轴 径 mm	轴承内径公差 $\mu\text{m}$		装配后的间隙 $\mu\text{m}$	
	min	max	min	max
50~65	+140	+300	+140	+330
>65~80	+180	+340	+180	+370
>80~100	+230	+410	+230	+445
>100~120	+280	+460	+280	+495
>120~140	+370	+590	+370	+630
>140~160	+480	+700	+480	+740
>160~180	+560	+780	+560	+820
>180~200	+630	+910	+630	+956
>200~225	+700	+980	+700	+1026
>225~250	+760	+1040	+760	+1086
>250~280	+820	+1160	+820	+1212
>280~300	+900	+1240	+900	+1292

星星浏览器提醒您：  
使用本产品  
请尊重知识产权！

获取更多资料 微信搜索 星星球

## 第 22 章 滚动轴承

### 1 滚动轴承类型、代号方法(摘自 GB/T272-93)和特点

滚动轴承(简称轴承)代号是用字母加数字表示轴承结构、尺寸、公差等级、技术性能等特征的产品符号。

#### 1.1 轴承代号的构成

轴承代号由基本代号、前置代号和后置代号构成,其排列如下:

前置代号

基本代号

后置代号

#### 1.1.1 基本代号(滚针轴承除外)

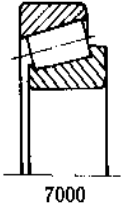
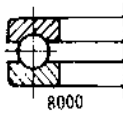
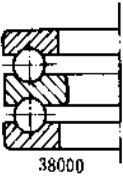
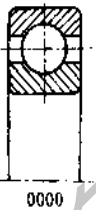

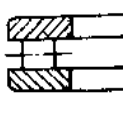
基本代号是轴承代号的基础,是由类型代号、尺寸系列代号(包括宽(高)度系列代号和直径系列代号)和内径代号组成。常用的轴承类型、尺寸系列代号、基本代号和轴承特点见表 22-1。

表 22-1 常用的滚动轴承类型、尺寸系列代号及基本代号和特点

轴承类型及标准号	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	特点
双列角接触球轴承 GB/T 296		(0) (0)	32 33	3200 3300	轴承受较大的以径向负荷为主的径、轴向双向联合负荷和力矩负荷
调心球轴承 GB/T 281		1 (1) 1 (1)	(0)2 22 (0)3 23	1200 2200 1300 2300	主要承受径向负荷,同时亦可承受较小的轴向负荷 轴(外壳)的轴向位移限制在轴承的轴向游隙的限度内
调心滚子轴承 GB/T 288		2 2 2 2 2 2 2	13 22 23 30 31 32 40 41	21300 22200 22300 23000 23100 23200 24000 24100	允许内圈(轴)对外圈(外壳)相对倾斜不大于 3° 的条件下工作(调心滚子轴承允许倾角 2.5°)
推力调心滚子轴承 GB/T 5859		2 2 2	92 93 94	29200 29300 29400	承受轴向负荷为主的轴、径向联合负荷,但径向负荷不得越过轴向负荷的 55% 可限制轴(外壳)一个方向的轴向位移
双列深沟球轴承		4 4	2(2) (2)3	4200 4300	比深沟球轴承承载能力较大

超星阅读器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权!

续表 22-1

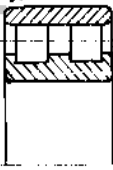
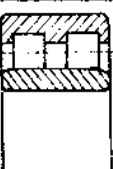
轴承类型及标准号	简图	类型代号	尺寸系列代号 <sup>①</sup>	基本代号 <sup>②</sup>	特点 <sup>③</sup>
圆锥滚子轴承 GB/T 297		3	02	30200	可同时承受以径向负荷为主的 径向与轴向负荷。 不宜同时承受纯轴向负荷。当成 对配置使用时,可承受纯径向负 荷,可调整径向、轴向游隙。 限制轴(外壳)的一个方向的轴 向位移。
		3	03	30300	
		3	13	31300	
		3	20	32000	
		3	22	32200	
		3	23	32300	
		3	29	32900	
		3	30	33000	
		3	31	33100	
3	32	33200			
推力球轴承 GB/T 301		5	11	51100	只能承受一个方向的轴向负荷, 可限制轴(外壳)一个方向的轴向 位移。 极限转速低。
		5	12	51200	
		5	13	51300	
		5	14	51400	
双向推力球轴承 GB/T 301		5	22	52200	能承受两个方向的轴向负荷,可 限制轴(外壳)两个方向的轴向位 移。 极限转速低。
		5	23	52300	
		5	24	52400	
深沟球轴承 GB/T 276 GB/T 4221		6	17	61700	主要用以承受径向负荷,也可承 受一定的轴向负荷,当轴承的径向 游隙加大时,具有角接触球轴承的 性能,可承受较大的轴向负荷。 轴(外壳)的轴向位移限制在轴 承的轴向游隙的限度内。 允许内圈(轴)对外圈(外壳)相 对倾斜 $8' \sim 15'$ 。
		6	37	63700	
		6	18	61800	
		6	19	61900	
		16	(0)0	16000	
		6	(1)0	6000	
		6	(0)2	6200	
		6	(0)3	6300	
6	(0)4	6400			
角接触球轴承 GB/T 292		7	19	71900	可同时承受径向负荷和单向的 轴向负荷,也可承受纯轴向负荷。 将一对轴承外圈同名端面相对 安装在轴上时,可限制轴(外壳)在 两个方向的轴向位移。 接触角 $\alpha$ 越大,承受轴向载荷的 能力越大。极限转速较高。一般应 成对使用。
		7	(1)0	7000	
		7	(0)2	7200	
		7	(0)3	7300	
		7	(0)4	7400	
推力圆柱滚子轴承 GB/T 4663		8	11	81100	承受单向轴向载荷的能力大,要 求轴承刚性大,极限转速低。
		8	12	81200	

超星浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重知识产权！

球取更资料 微信搜 蓝信 星球



续表 22-1

轴承类型及 标准号	简 图	类型代号	尺寸系列 代 号 <sup>①</sup>	基本代号 <sup>②</sup>	特 点 <sup>③</sup>
圆 柱 滚 子 轴 承	外圈无挡边圆 柱滚子轴承 GB/T 283  2000	N	10	N 1000	只承受径向负荷 不限制轴(外壳)的轴向位 移,允许轴倾角 2'~4'
		N	(0)2	N 200	
		N	22	N 2200	
		N	(0)3	N 300	
		N	23	N 2300	
		N	(0)4	N 400	
	内圈无挡边圆 柱滚子轴承 GB/T 283  32000	NU	10	NU 1000	
	NU	(0)2	NU 200		
	NU	22	NU 2200		
	NU	(0)3	NU 300		
	NU	23	NU 2300		
	NU	(0)4	NU 400		
圆 柱 滚 子 轴 承	内圈单挡边圆 柱滚子轴承 GB/T 283	NJ	(0)2	NJ 200	只承受径向负荷 可单向限制轴(外壳)的轴 向移动 允许轴倾角 2'~4'
		NJ	22	NJ 2200	
		NJ	(0)3	NJ 300	
		NJ	23	NJ 2300	
		NJ	(0)4	NJ 400	
圆 柱 滚 子 轴 承	内圈单挡边并 带平挡圈圆柱滚 子轴承 GB/T 283	NUP	(0)2	NUP 200	
		NUP	22	NUP 2200	
		NUP	(0)3	NUP 300	
		NUP	23	NUP 2300	
圆 柱 滚 子 轴 承	外圈单挡边圆 柱滚子轴承 GB/T 283	NF	(0)2	NF 200	
			(0)3	NF 300	
			23	NF 2300	
双列圆柱滚子 轴承 GB/T 285		NN	30	NN 3000	有更大的承受径向载荷的 能力 不限制轴(外壳)轴向位移, 要求轴承刚性大
内圈无挡边双 列圆柱滚子轴承 GB/T 285		NNU	49	NNU 4900	

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权！

超星网 续表 22-1  
 特 点  
 本复制品 请尊重知识产权!

轴承类型及标准号	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	
外球面球轴承 GB/T 3882		UC	2	UC 200	负荷能力与深沟球轴承相当,能承受双向轴向力,轴向限位在轴向游隙范围内,极限转速高,能自动调心,内圈较宽便于装拆,带偏心套的,可以调整中心距。
		UC	3	UC 300	
	带偏心套外球面球轴承 GB/T 3882		UEL	2	
UEL			3	UEL 300	
圆锥孔外球面球轴承 GB/T 3882		UK	2	UK 200	
四点接触球轴承 GB/T 294		QJ	(0)2	QJ 200	
			(0)3	QJ 300	

注:表中用“( )”号括住的数字表示在基本代号中省略。

①尺寸系列代号:十位数字是宽度系列代号,个位数字是直径系列代号。

②内径代号暂用 00 表示,实际代号见表 22-2。

③特点非标准内容,仅供参考。

表 22-2 内径代号

轴承公称内径 mm	内径代号	示例
0.6 到 10(非整数)	用公称内径毫米数直接表示,在其与尺寸系列代号之间用“/”分开	深沟球轴承 618/2.5 $d=2.5\text{ mm}$
1 到 9(整数)	用公称内径毫米数直接表示,对深沟及角接触球轴承 7、8、9 直径系列,内径与尺寸系列代号之间用“/”分开	深沟球轴承 62 5 618/5 $d=5\text{ mm}$
10 到 17	00 01 02 03	深沟球轴承 62 00 $d=10\text{ mm}$
20 到 180 (22, 28, 32 除外)	公称内径除以 5 的商数,商数为个位数,需在商数左边加“0”,如 08	调心滚子轴承 232 08 $d=40\text{ mm}$
大于和等于 500 以及 22, 28, 32	用公称内径毫米数直接表示,但在与尺寸系列之间用“/”分开	调心滚子轴承 230/500 $d=500\text{ mm}$ 深沟球轴承 62/22 $d=22\text{ mm}$

1.1.2 滚针轴承基本代号

配合安装特征的尺寸构成。类型代号用字母表示；轴承配合安装特征的尺寸用尺寸系列、内径代号或者直接用毫米数表示。其基本代号见表 22-3。

表 22-3 滚针轴承的基本代号

轴承类型及标准号	简图	类型代号	配合安装特征尺寸表示	轴承基本代号
滚针和保持架组件 GB/T 5846		K	$F_w \times E_w \times B_c$	$K F_w \times E_w \times B_c$
推力滚针和保持架组件 GB/T 4605		AXK	$D_i D_o$	AXK $D_i D_o$
滚针轴承 GB/T 5801		NA	用尺寸系列代号、内径代号表示 尺寸系列 48 49 69 内径 <sup>②</sup> 代号 按表 22-2	NA 4800 NA 4900 NA 6900
穿孔型冲压外圈滚针轴承 GB/T 290		HK	$F_w B$ <sup>①</sup>	HK $F_w B$
封口型冲压外圈滚针轴承 GB/T 290		BK	$F_w B$ <sup>①</sup>	BK $F_w B$

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

①尺寸直接用毫米数表示时，如是位数，需在其左边加“0”，如 8 mm 用 08 表示。

②内径代号除  $d < 10$  mm 用“/实际公称毫米数”表示外，其余按表 22-2。

注：表中  $F_w$ ——无内圈滚针轴承滚针总径（滚针保持架组件内径）； $E_w$ ——滚针保持架组件外径； $B_c$ ——轴承公称宽度； $B_c$ ——滚针保持架组件宽度； $D_i$ ——推力滚针保持架组件内径； $D_o$ ——推力滚针保持架组件外径。

1.1.3 基本代号编制规则

1.2 前置、后置代号

基本代号中当轴承类型代号用字母表示时，编排时应与表示轴承尺寸的系列代号、内径代号或安装配合特征尺寸的数字之间空半个汉字距。例：NJ 230、AXK 0821。

前置、后置代号是轴承在结构形状、尺寸、公差、技术要求等有改变时，在其基本代号左右添加的补充代号，其排列按表 22-4。

表 22-4 前置、后置代号的排列

前置代号		轴承代号							
成套轴承 分部件	基本代号	后置代号(组)序列							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		内部结构	密封与防尘 套圈变型	保持架 及其材料	轴承材料	公差等级	游隙	配置	其他

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

1.2.1 前置代号

前置代号用字母表示。代号及其含义见表22-5。

表 22 5 前置代号及其含义

前置代号	含 义	示 例
L	可分离轴承的可分离内圈或外圈	LNUJ 207 LN 207
R	不带可分离内圈或外圈的轴承 (滚针轴承仅适用于 NA 型)	RNU 207 RNA 6904
K	滚子和保持架组件	K 81107
WS	推力圆柱滚子轴承轴圈	WS 81107
GS	推力圆柱滚子轴承座圈	GS 81107

1.2.2 后置代号

后置代号用字母(或加数字)表示。

(1)后置代号的编制规则

a 后置代号置于基本代号的右边并与基本代号空半个汉字距(代号中有符号“-”、“/”除外)。当改变项目多,具有多组后置代号,按表 22-4 所列从左至右的顺序排列。

b 改变为 4 组(含 4 组)以后的内容,则在其代号前用“/”与前面代号隔开。

例:6205-2Z/P6 22308/P63

c 改变内容为第 4 组后的两组,在前组与后组代号中的数字或字母表示含义可能混淆时,两代号间空半个汉字距。

例:6208/P63 V1

(2)后置代号及含义

a 内部结构代号按表 22-6。

表 22-6 内部结构代号

代号	含 义	示 例
A, B C, D	1)表示内部结构改变 2)表示标准设计,其含义随不同类型、结构而异	B D)角接触球轴承 公称接触角 $\alpha=40^\circ$ 7210 B 2)圆锥滚子轴承 接触角加大 32310 B C D)角接触球轴承 公称接触角 $\alpha=15^\circ$ 7005 C 2)调心滚子轴承 C 型 23122 C
E		E 加强型 <sup>①</sup> NU 207 E
AC	角接触球轴承 公称接触角 $\alpha=25^\circ$	7210 AC
D	部分式轴承	K 50×55×20 D
ZW	滚针保持架组件 双列	K 20×25×40 ZW

注:①加强型,即内部结构设计改进,增大轴承承载能力。

b 密封、防尘与外部形状变化代号及含义按表 22-7。

表 22-7 密封、防尘、外部形状变化代号

代 号	含 义	示 例
K	圆锥孔轴承 锥度 1:12(外球面球轴承除外)	1210 K
K30	圆锥孔轴承 锥度 1:30	24122 K30
R	轴承外圈有止动挡边(凸缘外圈) (不适用于内径小于 10mm 的向心球轴承)	30307 R
N	轴承外圈上有止动槽	6210 N
NR	轴承外圈上有止动槽,并带止动环	6210 NR
-RS	轴承一面带骨架式橡胶密封圈(接触式)	6210-RS
-2RS	轴承两面带骨架式橡胶密封圈(接触式)	6210-2RS
-RZ	轴承一面带骨架式橡胶密封圈(非接触式)	6210-RZ
-2RZ	轴承两面带骨架式橡胶密封圈(非接触式)	6210-2RZ
-Z	轴承一面带防尘盖	6210-Z
-2Z	轴承两面带防尘盖	6210-2Z
-RSZ	轴承一面带骨架式橡胶密封圈(接触式)、一面带防尘盖	6210-RSZ
-RZZ	轴承一面带骨架式橡胶密封圈(非接触式)、一面带防尘盖	6210-RZZ
-ZN	轴承一面带防尘盖,另 一面外圈有止动槽	6210-ZN
-ZNR	轴承一面带防尘盖,另一面外圈有止动槽并带止动环	6210-ZNR
-ZNB	轴承一面带防尘盖,同一面外圈有止动槽	6210-ZNB
-2ZN	轴承两面带防尘盖,外圈有止动槽	6210-2ZN
U	推力球轴承 带球面垫圈	53210 U

注:密封圈代号与防尘盖代号同样可以与止动槽代号进行多种组合。

c 保持架结构、材料改变及轴承材料改变的代号按 JB/T 2974-93 的规定。

d 公差等级代号按表 22-8。

表 22-8 公差等级代号

代号	含 义	示 例
/P0	公差等级符合标准规定的 0 级,代号中省略不表示。相当于 G	6205
/P6	公差等级符合标准规定的 6 级。相当于 E	6203/P6
/P6x	公差等级符合标准规定的 6x 级。相当于 Ex	30210/P6x
/P5	公差等级符合标准规定的 5 级。相当于 D	6203/P5
/P4	公差等级符合标准规定的 4 级。相当于 C	6203/P4
/P2	公差等级符合标准规定的 2 级。相当于 B	6203/P2

e 游隙代号按表 22-9。

表 22-9 游隙代号

代号	含 义	示 例
/C1	游隙符合标准规定的 1 组	NN 6006 K/C1
/C2	游隙符合标准规定的 2 组	6210/C2
—	游隙符合标准规定的 0 组	6210
/C3	游隙符合标准规定的 3 组	6210/C3
/C4	游隙符合标准规定的 4 组	NN 3006 K/C4
/C5	游隙符合标准规定的 5 组	NNU 4920 K/C5

公差等级代号与游隙代号需同时表示时,可进行简化,取公差等级代号加上游隙组号(0 组不表示)组合表示。

例:

/P63 表示轴承公差等级 P6 级,径向游隙 3 组。

/P52 表示轴承公差等级 P5 级,径向游隙 2 组。

f 配置代号按表 22-10。

表 22-10 配置代号

代号	含 义	示 例
/DB	成对背对背安装	7210 C/DB
/DF	成对面对面安装	32208/DF
/DT	成对串联安装	7210 C/DT

g 其他

在轴承振动、噪声、摩擦力矩、工作温度、润滑等要求特殊时,其代号按 JB/T 2974 的规定。

## 2 滚动轴承的选择计算

### 2.1 滚动轴承的失效形式

滚动轴承的失效形式主要有疲劳剥落、点蚀,过量的永久变形和磨损。疲劳剥落、点蚀使滚道和滚动体表面损伤导致严重磨损,引起振动、噪声,过量永久变形使轴承在运转中产生剧烈的振动和噪声,磨损使轴承游隙、振动、噪声增大,降低轴承的运转精度。

疲劳剥落、点蚀可根据使用寿命由基本额定动负荷限定负荷能力;过量永久变形可由基本额定静

负荷限定负荷能力,磨损尚无统一的计算方法。

此外,还可能有套圈断裂,滚动体压碎,保持架磨损和断裂,电蚀、锈蚀等失效形式。在正常使用情况下,这些失效是应该避免的,因此,为非正常失效。

### 2.2 按疲劳寿命选择计算

在一般条件下工作的轴承,只要类型选择合适,安装、维护的好,绝大多数轴承均因工作表面疲劳点蚀而报废。因此,滚动轴承的尺寸(型号)主要取决于疲劳寿命。

在轴承寿命的计算中常用下列术语:

寿命:单个轴承,其中一个套圈(或垫圈)或滚动体材料首次出现疲劳扩展之前,一套圈(或垫圈)相对于另一套圈或垫圈的转数。

可靠性:在同一条件下运转的一组近于相同的轴承期望达到或超过某一规定寿命的百分率。

单个轴承的可靠性为该轴承达到或超过某一规定寿命的概率。

基本额定寿命:单个轴承或一组在相同条件下运转的近于相同的轴承,其可靠性为 90% 时的寿命。

基本额定动负荷:系指一个轴承假想能承受的一个大小和方向恒定的负荷。在这一负荷作用下,轴承的基本额定寿命为一百万转。对于向心轴承,这一负荷为径向负荷。对于单列角接触轴承,这一负荷为使轴承套圈之间只产生纯径向位移的负荷的径向分量。对于推力轴承,这一负荷为作用于轴承中心的轴向负荷。

当量动负荷:系指一大小和方向恒定的负荷。在这一负荷作用下,轴承寿命与在实际负荷作用下的寿命相等。

平均当量动负荷:平均当量动负荷用于计算在变负荷下工作的轴承。将此负荷作用于轴承,所得寿命与轴承在实际使用条件下达到的寿命相同。

滚动轴承疲劳寿命的基本计算公式为:

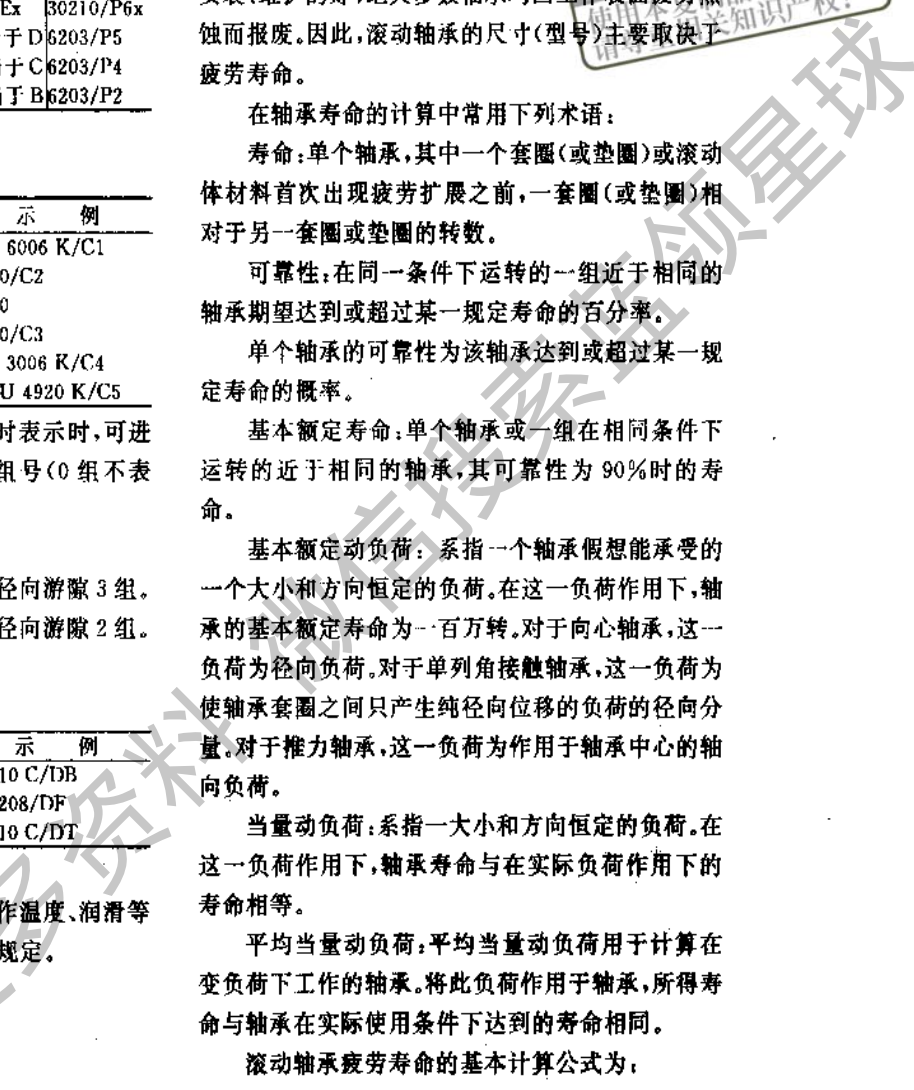
$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^\epsilon \cdot 10^6 r \quad (22-1)$$

对于转速恒定的轴承,可用工作时数来表示:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^\epsilon h \quad (22-2)$$

式中  $L_{10}$ 、 $L_{10h}$  分别为用转数( $10^6 r$ )和小时(h)数表示的基本额定寿命;

$\epsilon$ ——寿命指数(球轴承 $\epsilon=3$ ;滚子轴承 $\epsilon=10/3$ );





$n$  — 轴承内外圈的相对转速  $r/min$ ;

$P$  — 当量动负荷  $N$ , 对于向心轴承用“径向当量动负荷” $P_r$  表示, 对于推力轴承用“轴向当量动负荷” $P_a$  表示;

$C$  基本额定动负荷  $N$ 。

对于向心轴承用“径向基本额定动负荷” $C_r$  表示, 推力轴承用“轴向基本额定动负荷” $C_a$  表示。在轴承的性能表给出了 0 级公差的各种轴承在极限转速以下, 工作温度低于  $120^\circ C$  时的  $C_r(C_a)$  值。当轴承的工作温度高于  $120^\circ C$  时, 须将表中的  $C_r(C_a)$  值乘以“温度系数” $g_t$  予以降低。  $g_t$  之值列于表 22-11。

应当指出, 目前国产轴承常规材料是普通电炉轴承钢。本手册所列各轴承的尺寸与性能表中的基本额定动负荷均以这种材料为基本材料。若采用炉外精炼、真空脱气、真空重熔和电渣重熔等方法冶炼的轴承钢或其它等效材质的钢材, 轴承的  $C_r(C_a)$  值将会得到不同程度的提高。其提高的百分数详见各类轴承尺寸与性能表的注释。

表 22-11 温度系数  $g_t$

轴承的工作环境温度 $^\circ C$	$\leq 120$	125	150	175	200	225	250	300
$g_t$	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60

由公式(22-2)求出轴承的基本额定寿命  $L_{10h}$ , 一般不宜与机器同寿命。轴承的预期使用寿命推荐于表 22-12。

表 22-12 各种设备轴承使用寿命的推荐值

使用条件	使用寿命 $h$
不经常使用的仪器和设备	300~3000
短期或间断使用的设备, 中断使用不致引起严重后果, 如手动机械、农业机械、装配吊车、自动送料装置	3000~8000
间断使用的机械, 中断使用将引起严重后果, 如发电站辅助设备、流水作业的传动装置、皮带运输机、车间吊车	8000~12000
每天 8 小时工作的机械, 但经常不是满负荷使用, 如电机、一般齿轮装置、破碎机、起重机和一般机械	10000~25000
每天 8 小时工作, 满负荷使用, 如机床、木材加工机械、工程机械、印刷机械、分离机、离心机	20000~30000
24 小时连续工作的机械, 如压缩机、泵、电机、轧钢齿轮装置、纺织机械	40000~50000
24 小时连续工作的机械, 中断使用将引起严重后果, 如纤维机械、造纸机械、电站主要设备、给排水设备、矿用泵、矿用通风机	$\approx 100000$

### 2.2.1 径向当量动负荷 $P_r$ 的计算

(1) 深沟球轴承 在恒定的径向和轴向负荷作用下, 径向当量动负荷为

$$P_r = X F_r + Y F_a \quad N \quad (22-3)$$

式中  $F_r$  — 径向负荷  $N$ ;  
 $F_a$  — 轴向负荷  $N$ ;  
 $X$  — 径向负荷系数;  
 $Y$  — 轴向负荷系数。

各类轴承的  $X, Y$  值见相应的轴承尺寸与性能表。

(2) 角接触球轴承/圆锥滚子轴承 由于有接触角  $\alpha$  的存在, 因而在计算径向当量动负荷  $P_r$  时, 须将轴承的径向负荷  $F_r$  所引起的派生轴向力  $S$  考虑在内。这些轴承的  $S$  值可按表 22-13 的近似关系计算。这时, 轴承的轴向负荷大小与其成对使用时的安装方法和外加轴向负荷  $F_A$  的方向有关。图 22-1 角接触轴承, 分析计算轴向负荷, 图 a 为外圈窄边相对(面对面安装), 图 b 为外圈宽边相对(背靠背安装), 图中  $F_a$  为外加轴向负荷。图中  $O_1$  及  $O_2$  点分别为

表 22-13 向心角接触轴承派生轴向力  $S$

单列角接触球轴承			单列圆锥滚子轴承
7000 C 型 ( $\alpha=15^\circ$ )	7000 AC 型 ( $\alpha=25^\circ$ )	7000 B 型 ( $\alpha=40^\circ$ )	
$S = e \cdot F_r$	$S = 0.63 F_r$	$S = 1.14 F_r$	$S = \frac{F_r}{2Y}$

轴承 1 和轴承 2 的支反力作用点。若把轴和内圈视为一体, 并以它为分离体考虑轴系的轴向平衡, 就可确定各轴承承受的轴向载荷。例如, 在图 22-1 中, 若  $F_A + S_1 > S_2$ , 由于轴承 I 的右侧已固定, 轴不能向右

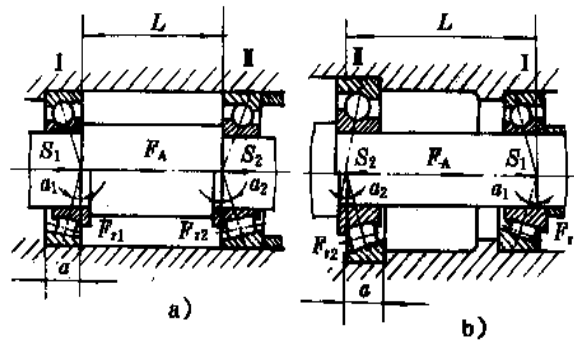


图 22-1 向心推力轴承轴向负荷计算

移动, 考虑到轴系轴向载荷的平衡, 轴承 II 承受的轴向载荷显然是  $F_{a2} = F_A + S_2$ 。同理, 若  $S_2 > F_A + S_1$ ,



则轴承 I 的轴向载荷是  $F_{a2} = S_2$ 。因此轴承 I 的轴向载荷必然是下列两值中的较大者

$$\left. \begin{aligned} F_{a2} &= S_2 \\ F_{a2} &= F_A + S_1 \end{aligned} \right\} \quad (22-4)$$

用同样方法分析,可得轴承 I 的轴向载荷是下列两值中的较大者

$$\left. \begin{aligned} F_{a1} &= S_1 \\ F_{a1} &= S_2 - F_A \end{aligned} \right\} \quad (22-5)$$

当外加轴向负荷  $F_A$  与图示方向相反时,  $F_A$  应取负值。

轴承 I 的当量动负荷:

当  $F_{a1}/F_{r1} \leq e_1$  时,  $X_1 = 1, Y_1 = 0$

则  $P_{r1} = F_{r1} \text{ N} \quad (22-6)$

当  $F_{a1}/F_{r1} > e_1$  时,

则  $P_{r1} = X_1 F_{r1} + Y_1 F_{a1} \text{ N} \quad (22-7)$

轴承 I 所受的当量动负荷:

当  $F_{a2}/F_{r2} \leq e_2$  时,  $X_2 = 1, Y_2 = 0$

则  $P_{r2} = F_{r2} \text{ N} \quad (22-8)$

当  $F_{a2}/F_{r2} > e_2$  时,

则  $P_{r2} = X_2 F_{r2} + Y_2 F_{a2} \text{ N} \quad (22-9)$

式中:

$F_{r1}, F_{r2}$  分别为轴承 1, 2 的径向负荷 N;

$F_{a1}, F_{a2}$  分别为轴承 1, 2 的轴向负荷 N;

$S_1, S_2$  分别为轴承 1, 2 的派生轴向力 N;

$e_1, e_2$  分别为轴承 1, 2 的  $e$  值, 见相应的轴承性能表;

$X_1, X_2, Y_1, Y_2$  分别为轴承 1, 2 的径向负荷系数和轴向负荷系数, 其值见相应的轴承性能表。

(3) 圆柱滚子轴承 接触角  $\alpha = 0$ , 只承受径向负荷, 其径向当量动负荷为

$$P_r = F_r \text{ N} \quad (22-10)$$

### 2.2.2 轴向当量动负荷 $P_a$ 的计算

(1) 推力球轴承 对于  $\alpha = 90^\circ$  的推力球轴承, 只能承受轴向负荷。这类轴承的当量动负荷为

$$P_a = F_a \text{ N} \quad (22-11)$$

(2) 推力滚子轴承

a 当  $\alpha = 90^\circ$  时, 只能承受轴向负荷。  $P_a$  的计算公式同  $\alpha = 90^\circ$  的推力球轴承。

b 当  $\alpha \neq 90^\circ$  时, 在恒定的径向和轴向负荷作用下, 其轴向当量动负荷为

$$P_a = X F_r + Y F_a \text{ N} \quad (22-12)$$

系数  $X$  和  $Y$  值列于表 22-14。

表 22-14 推力滚子轴承的  $X$  和  $Y$  值

轴承类型	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$		$e$
	$X$	$Y$	$X$	$Y$	
单向 $\alpha \neq 90^\circ$	①	①	$\tan \alpha$	1	$1.5 \tan \alpha$
双向 $\alpha \neq 90^\circ$	$1.5 \tan \alpha$	0.67	$\tan \alpha$	1	$1.5 \tan \alpha$

①对于单向轴承,  $F_a/F_r \leq e$  不适用;

### 2.2.3 当轴承承受力矩负荷时, 当量动负荷的计算

当轴承承受力矩负荷时, 当量动负荷可按下列式计算:

$$P_m = f_m P \text{ N} \quad (22-13)$$

式中  $P_m$  考虑力矩负荷的当量的动负荷 N;

$f_m$  力矩负荷系数, 见表 22-15。

表 22-15 力矩负荷系数  $f_m$

负荷大小	$f_m$
力矩负荷较小时	1.5
力矩负荷较大时	2

### 2.2.4 当轴承承受冲击负荷时, 当量动负荷的计算

当轴承承受冲击负荷时, 当量动负荷  $P_d (P_a)$  按下式计算:

$$P_d = f_d P \quad (22-14)$$

式中  $P_d$  考虑冲击负荷的当量动负荷 N;

$f_d$  冲击负荷系数, 见表 22-16。

表 22-16 冲击负荷系数,  $f_d$

负荷性质	$f_d$	举例
无冲击或轻微冲击	1.0~1.2	电动机、汽轮机、通风机、水泵
中等冲击	1.2~1.8	车辆、机床、起重机、冶金设备、内燃机
强大冲击	1.8~3.0	破碎机、轧钢机、石油钻机、振动筛

### 2.2.5 一个支点安装两个同型号角接触轴承

图 22-2 实为一三支点静不定轴系, 近似计算时, 可将成对安装的角接触轴承看成是一个支点, 并认为支点位于两轴承的中点。但在计算其当量动载

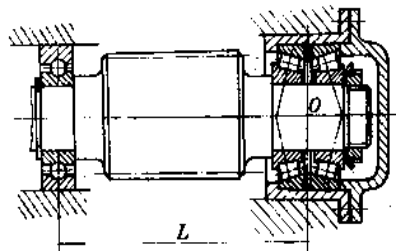


图 22-2 一个支点安装两个同型号角接触轴承

荷  $P$  时,系数  $X, Y$  要采用双列轴承的数值;额定动负荷  $C_{rx}$  应为

角接触球轴承  $C_{rx} = 1.625C_r$  (22-15)

圆锥滚子轴承  $C_{rx} = 1.71C_r$  (22-16)

2.2.6 有规律变负荷、变转速工作情况时, 轴承当量动负荷的计算

若轴承是在变动负荷和变动转速下工作,在确定轴承寿命时,则应用平均当量动负荷  $P_m$  和平均转速  $n_m$  来计算。

假定轴承依次在当量动负荷  $P_1, P_2, P_3, \dots$  下工作,其相应转速为  $n_1, n_2, n_3, \dots$ ,轴承在每种工作

状态下的运转时间  $q$  与一个周期的比值为  $\frac{q_1}{100}$ ,

$\frac{q_2}{100}, \frac{q_3}{100}, \dots$  (图 22-3), 则平均当量动负荷的计算

公式如下:

$$P_m = \sqrt[10]{P_1^{\epsilon} \frac{n_1}{n_m} \frac{q_1}{100} + P_2^{\epsilon} \frac{n_2}{n_m} \frac{q_2}{100} + P_3^{\epsilon} \frac{n_3}{n_m} \frac{q_3}{100} + \dots}$$
 (22-17)

式中  $n_m = \frac{q_1}{100}n_1 + \frac{q_2}{100}n_2 + \frac{q_3}{100}n_3 + \dots$  (22-18)

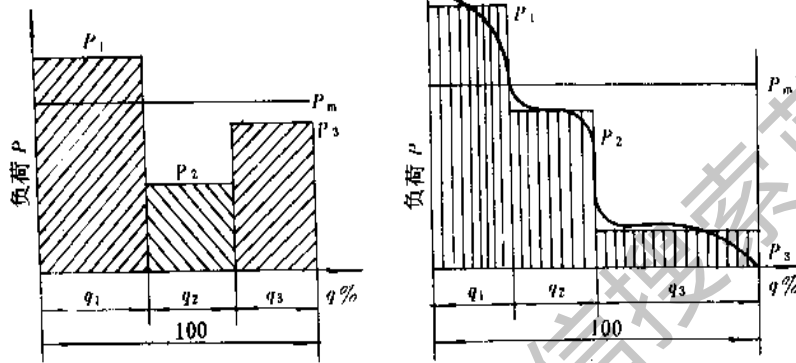


图 22-3 负荷  $P$  与  $q$  的关系

如轴承的转速保持不变,负荷随时间单调而连续地周期变化时,平均当量的动负荷可利用简化公

表 22-17 负荷随时间变化示例

一般情况	正弦曲线	正弦曲线上半部
$P_m = \frac{1}{3}(P_{min} + 2P_{max})$	$P_m = 0.65P_{max}$	$P_m = 0.75P_{max}$

2.3 滚动轴承的静负荷计算

对于缓慢摆动、低速旋转( $n \leq 10 \text{ r/min}$ )或负荷变动较大(尤其是受严重冲击负荷)的轴承,其允许负荷取决于滚动接触面处产生过大的永久变形量,

而不取决于材料接触疲劳强度。此时,应按基本额定静负荷选择轴承的尺寸(型号)。此外,当轴承转速不高( $n \leq 10 \text{ r/min}$ )和以转数衡量轴承的寿命,并且很短时也应考虑轴承的静负荷能力。

按基本额定静负荷选择轴承,其基本公式为:

$$C_0 \geq S_0 P_0 \quad (22-19)$$

式中  $C_0$ ——基本额定静负荷  $N$ ，在这一负荷作用下，应力最大的滚动体和滚道接触处，套圈和滚动体的总永久变形量正好为滚动体直径的 0.0001 倍。因此它是限制永久变形量的极限负荷值，列于轴承性能表中。对于向心轴承，这一负荷为径向静负荷（对于单列角接触轴承，这一负荷为使轴承套圈之间只产生纯径向位移的负荷的径向分量）；对于推力轴承为作用于轴承中心的轴向静负荷。

$P_0$ ——当量静负荷  $N$ ，用于计算同时承受径向及轴向负荷的轴承而引进的大小和方向恒定的静负荷。若将此负荷作用于轴承，应力最大的滚动体和滚道接触处，引起的总永久变形量或接触应力与实际负荷条件相同。各类轴承当量静负荷的计算公式列于相应的轴承性能表中。

$S_0$ ——安全系数，其值见表 22-18。

表 22-18 静负荷计算的安全系数  $S_0$

使用要求、负荷性质或使用的设备		$S_0$
旋转的轴承	对旋转精度和运转平稳性要求较高，或承受较大的冲击负荷	1.2~2.5
	正常使用	0.8~1.2
非旋转及摆动的轴承	对旋转精度和运转平稳性要求较低或基本上消除了冲击和振动	0.5~0.8
	飞机变距螺旋桨叶片	$\geq 0.5$
非旋转及摆动的轴承	水坝闸门装置	$\geq 1$
	吊桥	$\geq 1.5$
	附加动负荷较小的大型起重机吊钩	$\geq 1$
	附加动负荷较大的小型装卸起重机吊钩	$\geq 1.6$
	推力调心滚子轴承(旋转与否)	$\geq 2$

若轴承由于特殊热处理、高温工作等原因而引起材料表面硬度降低时，将导致轴承静负荷能力的下降。材料硬度对轴承额定静负荷的影响，可参考下式计算：

$$C_{0H} = \eta_H C_0 \quad (22-20)$$

式中  $\eta_H (= f_H \left( \frac{HV}{800} \right)^2 \leq 1)$ ——硬度系数；

$C_{0H}$ ——经过材料硬度修正的额定静负荷， $N$ ；

$f_H$ ——与接触类型有关的系数，见表 22-19；

$HV$ ——维氏硬度。

表 22-19  $f_H$  值

接触类型	$f_H$
球与平面接触(调心球轴承)	1
球与沟道接触	1.5
滚子与滚子接触(向心滚子轴承)	2
滚子与平面接触	2.5

### 2.4 滚动轴承的极限转速

滚动轴承的极限转速是指在一定的负荷、润滑条件下轴承允许的最高转速。它与轴承的类型、尺寸、负荷的大小与方向、润滑剂的种类与数量、润滑方式、轴承的公差等级、游隙、保持架材料与结构及冷却条件等多种因素有关。通常，要求轴承在低于极限转速下工作，否则会引起过度摩擦发热，破坏润滑，降低轴承的寿命。轴承性能表中分别给出了各种型号轴承在脂润滑和油浴润滑条件下的极限转速，适用于当量动负荷  $P \leq 0.1C$  ( $C$  为基本额定动负荷)、润滑与冷却条件正常，向心轴承仅承受径向负荷、推力轴承仅受轴向负荷的 0 级精度轴承。

当轴承在  $P > 0.1C$  的负荷条件下运转时，由于接触表面的接触应力增大，致使轴承温度升高，润滑剂的性能相对恶化。因此，须将性能表所列极限转速乘以负荷系数  $f_1$ ， $f_1$  可由图 22-4 查得。

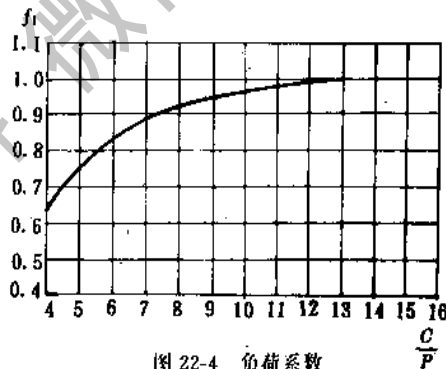


图 22-4 负荷系数

当轴承在径向和轴向负荷联合作用下工作时，由于承受负荷的滚动体数量增加，摩擦与发热增加，润滑条件变差。因此需根据轴承类型和负荷的大小，将轴承极限转速乘以负荷分布系数  $f_2$ ， $f_2$  可由图 22-5 查得。

如所选轴承的极限转速不能满足使用要求时，可采取某些措施予以提高。例如：提高轴承精度；适当增大游隙；改用特殊材料和结构的保持架；采用油雾、油气或喷射润滑；改善冷却条件等。

### 2.5 例题

例 22-1 某减速器输入轴的两个轴承中受载

超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：

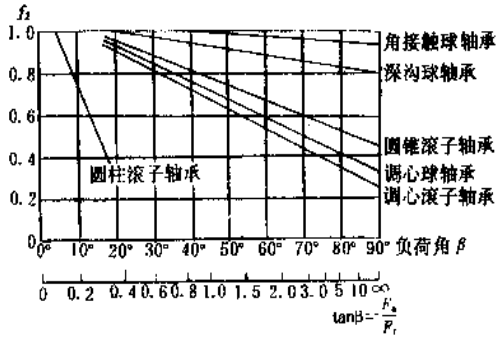


图 22-5 负荷分布系数

较大的轴承所受的径向负荷  $F_{r1} = 2180 \text{ N}$ ，轴向负荷  $F_{a1} = 1100 \text{ N}$ ，轴的转速  $n = 970 \text{ r/min}$ ，轴的直径  $d = 55 \text{ mm}$ ，载荷稍有波动，要求轴的寿命大于  $15000 \text{ h}$ ，试计算选择轴承型号。

解

1) 初选轴承型号

根据已知轴径初选 6211 型号轴承，由表 22-31 查得  $C_r = 33500 \text{ N}$ ， $C_{or} = 25000 \text{ N}$ 。

2) 计算当量动负荷

因  $\frac{F_{a1}}{C_{or}} = \frac{1100}{25000} = 0.044$ ，故由表 22-31 查得  $e \approx 0.25$ 。

由于  $\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{1100}{2180} = 0.51 > e \approx 0.25$  故由表 22-31 查得， $X = 0.56$ ， $Y = 1.73$ 。

考虑轴承不承受力矩负荷，工作中载荷稍有波动，由式(22-3)、(22-14)当量动负荷为

$$P_{d1} = f_d(XF_{r1} + YF_{a1})$$

由表 22-16 查得， $f_d = 1.1$ ，代入得

$$P_{d1} = 1.1 \times (0.56 \times 2180 + 1.73 \times 1100) = 3436 \text{ N}$$

3) 校核轴承寿命

由式(22-2)，轴承寿命为

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^3 = \frac{10^6}{60 \times 970} \times \left( \frac{33500}{3436} \right)^3 = 15924 \text{ h}$$

$L_{10h} > 15000 \text{ h}$ ，满足要求，故选用 6211 型号轴承。

例 22-2 某圆锥齿轮减速器主动轴，选用一对相同的圆锥滚子轴承支承，如图 22-6 所示。两个轴承承受的径向力分别为  $F_{r1} = 3551 \text{ N}$ ， $F_{r2} = 1168 \text{ N}$ 。

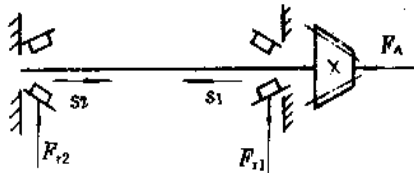


图 22-6 圆锥滚子轴承组受载简图

作用于轴上的轴向负荷  $F_A = 292 \text{ N}$ ，轴的转速  $n = 620 \text{ r/min}$ ，轴的直径为  $d = 30 \text{ mm}$ ，工作中有轻微冲击，要求轴承寿命不低于  $35000 \text{ h}$ ，试选择轴承型号。

解 1) 初选轴承型号

根据工作条件和轴径，初选 30306 型轴承。由表 22-24 查得  $C_r = 55800 \text{ N}$ ， $e = 0.31$ ， $Y = 1.9$ 。

2) 计算轴承的轴向负荷

由表 22-13 查得轴承内部附加轴向力为

$$S_1 = \frac{F_{r1}}{2Y} = \frac{3551}{2 \times 1.9} = 935 \text{ N}$$

$$S_2 = \frac{F_{r2}}{2Y} = \frac{1168}{2 \times 1.9} = 307 \text{ N}$$

因为

$$S_1 + F_A = 935 + 292 = 1227 \text{ N} > S_2 = 307 \text{ N}$$

所以  $F_{a1} = S_1 = 935 \text{ N}$

$$F_{a2} = S_1 + F_A = 935 + 292 = 1227 \text{ N}$$

3) 计算轴承的当量动负荷

对于轴承 1， $\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{935}{3551} = 0.26 < e = 0.31$

故由表 22-24 知， $X = 1$ ， $Y = 0$ 。

考虑轴承承受力矩负荷，工作中有轻微冲击，由式(22-13)、(22-14)当量动负荷为

$$F_{r1} = f_m f_d F_{r1}$$

由表 22-15 及表 22-16，取  $f_m = 1.5$ ， $f_d = 1.2$ ，代入得

$$P_{r1} = 1.5 \times 1.2 \times 3551 = 6392 \text{ N}$$

对于轴承 2， $F_{a2}/F_{r2} = 1227/1168 = 1.05 > e = 0.31$ ，故由表 22-24 知， $X = 0.4$ ， $Y = 1.9$ 。

考虑轴承 2 不承受力矩负荷，工作中有轻微冲击，由式(22-9)、(22-14)当量动负荷为

$$P_{r2} = f_d(XF_{r2} + YF_{a2}) = 1.2 \times (0.4 \times 1168 + 1.9 \times 1227) = 3358 \text{ N}$$

4) 计算轴承寿命

由于  $P_{r1} > P_{r2}$ ，故按  $P_{r1}$  计算。

由式(22-2)轴承寿命为

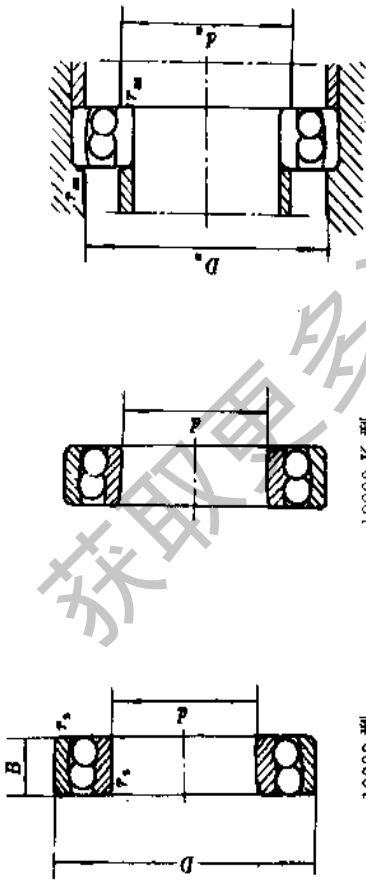
$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C_r}{P_r} \right)^3 = \frac{10^6}{60 \times 620} \times \left( \frac{55800}{6892} \right)^3 = 36820 \text{ h}$$

$L_{10h} = 36820 \text{ h} > 35000 \text{ h}$ ，故选用 30306 型号轴承能满足工作要求。

3 常用滚动轴承尺寸、性能参数表

3.1 调心球轴承

表 22-20 调心球轴承(摘自 GB/T 281/93...84 参照 ISO15-81)



10000 K 型

安装尺寸

(111000)

(1000)

新轴承代号	旧轴承型号	基本尺寸 mm		C <sub>10</sub>	C <sub>90</sub>	脂润滑	油润滑	安装尺寸 mm		计算系数				质量 kg			
		d	D					B	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub>	D <sub>s</sub>	r <sub>s</sub> max	e		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
10000	10000 K	1000	111000	9	0.6	4.22	1.32	15000	19000	15	25	0.6	0.32	2.0	3.0	2.0	0.035
1200	1200 K	1200	111200	10	0.6	5.48	1.72	15000	19000	15	25	0.6	0.62	1.0	1.6	1.1	0.05
2200	—	1500	—	11	0.6	5.55	1.82	14000	18000	15	30	0.6	0.33	1.9	3.0	2.0	0.06
1300	—	1300	—	17	0.6	8.48	2.50	14000	18000	15	30	0.6	0.66	0.95	1.5	1.0	0.09
2300	—	1600	—	10	0.6	4.28	1.48	14000	18000	17	27	0.6	0.33	1.9	2.9	2.0	0.042
1201	1201 K	1201	111201	32	1	7.25	2.35	13000	17000	18	31	1	0.35	1.8	2.8	1.9	0.07
1301	—	1301	—	11	0.6	5.75	2.02	13000	17000	20	30	0.6	0.33	1.9	3.0	2.0	0.051
2202	—	1502	—	14	0.6	5.88	2.15	13000	17000	20	30	0.6	0.50	1.3	2.0	1.3	0.06
1302	—	1302	—	13	1	7.30	2.55	12000	16000	21	36	1	0.33	1.9	2.9	2.0	0.1
2302	—	1602	—	42	1	9.22	3.25	12000	16000	21	36	1	0.51	1.2	1.9	1.3	0.11
1203	1203 K	1203	111203	40	0.6	6.08	2.40	12000	16000	22	35	0.6	0.31	2.0	3.2	2.1	0.076
2203	—	1503	—	40	0.6	6.92	2.75	12000	16000	22	35	0.6	0.50	1.2	1.9	1.3	0.09
1303	—	1303	—	47	1	9.60	3.68	11000	15000	23	41	1	0.33	1.9	3.0	2.0	0.14
2303	—	1603	—	47	1	11.2	4.02	11000	15000	23	41	1	0.52	1.2	1.9	1.3	0.17
1204	1204 K	1204	111204	47	1	7.65	3.18	10000	14000	26	41	1	0.27	2.3	3.6	2.4	0.12
2204	—	1504	—	47	1	9.62	3.88	10000	14000	26	41	1	0.48	1.3	2.0	1.4	0.15
1304	1304 K	1304	111304	52	1.1	9.60	4.02	9500	13000	27	45	1	0.29	2.2	3.4	2.3	0.17
2304	—	1604	—	52	1.1	13.8	5.28	9500	13000	27	45	1	0.51	1.2	1.9	1.3	0.22
1205	1205 K	1205	111205	52	1.1	9.32	4.02	9000	12000	31	46	1	0.27	2.3	3.6	2.4	0.14
2205	—	1505	—	52	1	9.62	4.28	9000	12000	31	46	1	0.41	1.5	2.3	1.5	0.19
1305	1305 K	1305	111305	62	1.1	13.8	5.98	8000	10000	32	55	1	0.27	2.3	3.5	2.4	0.26
2305	—	1605	—	62	1.1	18.8	7.45	8000	10000	32	55	1	0.47	1.3	2.1	1.4	0.35

当量动负荷  
 $P_r = F_r + Y_1 F_a$ , 当  $F_a/F_r \leq e$   
 $P_r = 0.65 F_r + Y_2 F_a$ , 当  $F_a/F_r > e$

当量静负荷  
 $P_m = F_r + Y_0 F_a$



续表 22-20

新轴承代号	旧轴承型号	基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm		计算系数				质量 kg	
		d	D	B	r <sub>s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>s</sub>	D <sub>s</sub>	r <sub>as</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>		Y <sub>0</sub>
10000	10000 K	1000															
1206	1206 K	1206	62	16	1	12.2	5.78	7500	9500	36	56	1	0.24	2.6	4.0	2.7	0.23
2206	2206 K	1506	62	20	1	11.8	5.68	7500	9500	36	56	1	0.39	1.6	2.4	1.7	0.26
1306	1306 K	1306	72	19	1.1	16.5	7.75	7000	8000	37	65	1	0.26	2.4	3.8	2.6	0.4
2306	2306 K	1606	72	27	1.1	24.2	10.0	7000	9000	37	65	1	0.44	1.4	2.2	1.5	0.5
1207	1207 K	1207	72	17	1.1	12.2	6.62	6700	8500	42	65	1	0.23	2.7	4.2	2.9	0.32
2207	2207 K	1507	72	23	1.1	16.8	8.32	6700	8500	42	65	1	0.38	1.7	2.6	1.8	0.44
1307	1307 K	1307	80	21	1.5	19.2	9.80	6300	8000	44	71	1.5	0.25	2.6	4.0	2.7	0.54
2307	2307 K	1607	80	31	1.5	30.2	12.8	6300	8000	44	71	1.5	0.46	1.4	2.1	1.4	0.68
1208	1208 K	1208	80	18	1.1	14.8	8.52	6300	8000	47	73	1	0.22	2.9	4.4	3.0	0.41
2208	2208 K	1508	80	23	1.1	17.2	9.45	6300	8000	47	73	1	0.34	1.9	2.9	2.0	0.53
1308	1308 K	1308	90	23	1.5	22.8	12.2	5600	7000	49	81	1.5	0.24	2.6	4.0	2.7	0.71
2308	2308 K	1608	90	33	1.5	34.5	15.8	5600	7000	49	81	1.5	0.43	1.5	2.3	1.5	0.93
1209	1209 K	1209	85	19	1.1	16.8	9.55	5600	7000	52	78	1	0.21	2.9	4.6	3.1	0.49
2209	2209 K	1509	85	23	1.1	17.8	10.8	5600	7000	52	78	1	0.31	2.1	3.2	2.2	0.55
1309	1309 K	1309	100	25	1.5	29.2	15.8	5000	6300	54	91	1.5	0.25	2.5	3.9	2.6	0.96
2309	2309 K	1609	100	36	1.5	41.5	19.5	5000	6300	54	91	1.5	0.42	1.5	2.3	1.6	1.25
1210	1210 K	1210	90	20	1.1	17.5	9.80	5300	6700	57	83	1	0.20	3.1	4.8	3.3	0.54
2210	2210 K	1510	90	23	1.1	17.8	11.2	5300	6700	57	83	1	0.29	2.2	3.4	2.3	0.68
1310	1310 K	1310	110	27	2	33.2	17.5	4800	6000	60	100	2	0.24	2.7	4.1	2.8	1.21
2310	2310 K	1610	110	40	2	49.5	23.5	4800	6000	60	100	2	0.43	1.5	2.3	1.6	1.64
1211	1211 K	1211	100	21	1.5	20.5	13.2	4800	6000	64	91	1.5	0.20	3.2	5.0	3.4	0.72
2211	2211 K	1511	100	25	1.5	20.5	13.2	4800	6000	64	91	1.5	0.28	2.3	3.5	2.4	0.81
1311	1311 K	1311	120	29	2	39.5	22.5	4300	5300	65	110	2	0.23	2.7	4.2	2.8	1.58
2311	2311 K	1611	120	43	2	57.8	28.0	4300	5300	65	110	2	0.41	1.5	2.4	1.6	2.1
1212	1212 K	1212	110	22	1.5	23.2	15.5	4500	5000	69	101	1.5	0.19	3.4	5.3	3.6	0.9
2212	2212 K	1512	110	28	1.5	26.2	16.8	4500	5600	69	101	1.5	0.28	2.3	3.5	2.4	1.1
1312	1312 K	1312	130	31	2.1	44.0	26.5	4000	5000	72	118	2.1	0.23	2.8	4.3	2.9	1.96
2312	2312 K	1612	130	46	2.1	66.8	32.8	4000	5000	72	118	2.1	0.41	1.5	2.5	1.6	2.6
1412	1412 K	1412	150	35	2.1	57.5	35.2	3600	4500	72	138	2.1	0.22	2.8	4.3	2.9	3.26
1213	1213 K	1213	120	23	1.5	23.8	17.2	4000	5000	74	111	1.5	0.17	3.7	5.7	3.9	0.92
2213	2213 K	1513	120	31	1.5	33.5	21.5	4000	5000	74	111	1.5	0.23	2.3	3.5	2.4	1.5
1313	1313 K	1313	140	33	2.1	47.5	29.2	3600	4500	77	128	2.1	0.23	2.8	4.3	2.9	2.39
2313	2313 K	1613	140	46	2.1	73.8	38.5	3600	4500	77	128	2.1	0.38	1.6	2.6	1.7	3.2

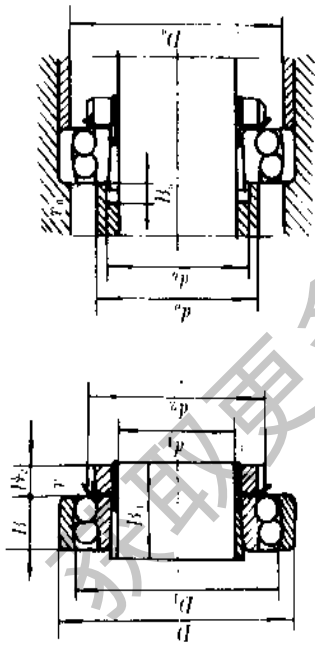


续表 22-20

新轴承代号	旧轴承型号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm			计算系数			质量 kg		
		d	D	B	r <sub>a</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>a</sub>	D <sub>a</sub>	r <sub>a</sub> max	e	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
10000	10000 K	1000															
1214	1214 K	1214	125	24	1.5	26.5	18.8	3800	4800	79	116	1.5	0.18	3.5	5.4	3.7	1.29
2214	2214 K	1514	125	34	1.5	33.8	22.8	3800	4800	79	116	1.5	0.27	2.4	3.7	2.5	1.62
1314	1314 K	1314	150	35	2.1	57.2	35.2	3400	4300	82	136	2.1	0.22	2.8	4.4	2.9	3
2314	2314 K	1614	150	51	2.1	84.2	44.5	3400	4300	82	136	2.1	0.38	1.7	2.6	1.8	3.9
1215	1215 K	1215	130	25	1.5	29.8	21.5	3500	4500	84	121	1.5	0.17	3.6	5.6	3.8	1.35
2215	2215 K	1515	130	31	1.5	34.0	23.8	3600	4500	84	121	1.5	0.25	2.5	3.9	2.6	1.72
1315	1315 K	1315	160	37	2.1	60.8	38.2	3200	4000	87	148	2.1	0.22	2.8	4.4	3.0	3.6
2315	2315 K	1615	160	55	2.1	94.8	50.8	3200	4000	87	148	2.1	0.38	1.7	2.6	1.7	4.7
1216	1216 K	1216	140	26	2	30.5	23.5	3400	4300	90	130	2	0.18	3.6	5.5	3.7	1.65
2216	2216 K	1516	140	33	2	37.5	26.8	3400	4300	90	130	2	0.25	2.5	3.9	2.6	2.19
1316	1316 K	1316	170	39	2.1	68.0	42.2	3000	3800	92	158	2.1	0.22	2.9	4.5	3.1	4.2
2316	2316 K	1616	170	58	2.1	99.0	54.2	3000	3800	92	158	2.1	0.39	1.6	2.5	1.7	5.7
1217	1217 K	1217	150	28	2	37.5	28.5	3200	4000	95	140	2	0.17	3.7	5.7	3.9	2.1
2217	2217 K	1517	150	36	2	44.8	31.5	3200	4000	95	140	2	0.25	2.5	3.8	2.6	2.53
1317	1317 K	1317	180	41	3	75.2	48.5	2800	3600	99	166	2.5	0.22	2.9	4.5	3.0	5
2317	2317 K	1617	180	60	3	108	61.2	2800	3600	99	166	2.5	0.38	1.7	2.6	1.7	6.7
1218	1218 K	1218	160	30	2	43.5	31.8	3000	3800	100	150	2	0.17	3.8	5.7	4.0	2.5
2218	2218 K	1518	160	40	2	53.8	38.0	3000	3800	100	150	2	0.27	2.4	3.7	2.5	3.22
1318	1318 K	1318	190	43	3	89.5	56.2	2600	3400	104	176	2.5	0.22	2.8	4.4	2.9	6
2318	2318 K	1618	190	64	3	110	68.2	2600	3400	104	176	2.5	0.39	1.6	2.5	1.7	7.9
1219	1219 K	1219	170	32	2.1	48.8	36.0	2800	3600	107	158	2.1	0.17	3.7	5.7	3.9	3
2219	2219 K	1519	170	43	2.1	63.8	45.2	2800	3600	107	158	2.1	0.26	2.4	3.7	2.5	4.2
1319	1319 K	1319	200	45	3	102	63.8	2400	3200	109	186	2.5	0.23	2.8	4.3	2.9	7
2319	2319 K	1619	200	67	3	125	76.2	2400	3200	109	186	2.5	0.38	1.7	2.6	1.8	9.2
1220	1220 K	1220	180	34	2.1	52.8	40.5	2600	3400	112	188	2.1	0.18	3.5	5.4	3.7	3.7
2220	2220 K	1520	180	46	2.1	74.8	53.2	2600	3400	112	188	2.1	0.27	2.3	3.6	2.5	5
1320	1320 K	1320	215	47	3	110	72.8	2000	2800	114	201	2.5	0.24	2.7	4.1	2.8	8.64
2320	2320 K	1620	215	73	3	148	93.5	2000	2800	114	201	2.5	0.37	1.7	2.6	1.8	12.4
1221	—	1221	190	36	2.1	57.0	44.8	2400	3200	117	178	2.1	0.18	3.5	5.5	3.7	4.4
1321	—	1321	225	49	3	118	80.8	1900	2600	119	211	2.5	0.24	2.6	4.1	2.7	9.55
1222	1222 K	1222	200	38	2.1	67.2	52.2	2200	3000	122	188	2.1	0.17	3.6	5.6	3.8	5.2
2222	2222 K	1522	200	53	2.1	95.5	66.8	2200	3000	122	188	2.1	0.28	2.2	3.6	2.4	7.2
1322	1322 K	1322	240	50	3	125	91.5	1800	2400	124	226	2.5	0.23	2.8	4.3	2.9	11.8
2322	2322 K	1622	240	80	3	165	112	1800	2400	124	226	2.5	0.39	1.6	2.5	1.7	17.6

注:表中所示轴承的基本额定负荷 C<sub>r</sub>,是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力,如果用真空脱气轴承钢,C<sub>r</sub>可提高30%,采用电渣重熔轴承钢,C<sub>r</sub>可提高60%。

表 22-21 装在紧定套上的调心球轴承 (摘自 GB/T 282—93)



当量静负荷  
 $P_0 = F_r + Y_0 F_a$

当量的动负荷  
 $P_e = F_r + Y_e F_a$  当  $F_a/F_r \leq e$   
 $P_e = 0.65 F_r + Y_e F_a$  当  $F_a/F_r > e$

10000 K+H 型 (11000)

安装尺寸

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN	极限转速 r/min	安装尺寸 mm							计算系数			质量 kg				
		d	D	B			d <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	r <sub>a</sub> min	d <sub>6</sub> min	d <sub>b</sub> min	D <sub>6</sub> max	B <sub>a</sub> min	r <sub>as</sub> max	e		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>	
1000 K+H	1000																				
1204 K+H 204	11203	17	47	14	7.65	3.18	10000	14000	32	24	7	1	27	23	41	5	1	0.27	2.3	3.6	2.4
2204 K+H 304	11503		47	18	9.62	3.88	10000	14000	32	28	7	1	27	23	41	5	1	0.48	1.3	2.0	1.4
1304 K+H 304	11303		52	15	9.60	4.02	9500	13000	32	28	7	1.1	30	23	45	8	1	0.29	2.2	3.4	2.3
2304 K+H 2304	11603		52	21	13.8	5.28	9500	13000	32	31	7	1.1	28	24	45	5	1	0.51	1.2	1.9	1.3
1205 K+H 205	11204	20	52	15	9.32	4.02	9000	12000	38	26	8	1	33	28	46	5	1	0.27	2.3	3.6	2.4
2205 K+H 305	11504		52	18	9.62	4.28	9000	12000	38	29	8	1	33	28	46	5	1	0.41	1.5	2.3	1.5
1305 K+H 305	11304		62	17	13.8	5.98	8000	10000	38	29	8	1.1	37	28	55	6	1	0.27	2.3	3.5	2.4
2305 K+H 2305	11604		62	24	18.8	7.45	8000	10000	38	35	8	1.1	34	30	55	5	1	0.47	1.3	2.1	1.4
1206 K+H 206	11205	25	62	16	12.2	5.78	7500	9500	45	27	8	1	40	33	56	5	1	0.24	2.6	4.0	2.7
2206 K+H 306	11505		62	20	11.8	5.68	7500	9500	45	31	8	1	40	33	56	5	1	0.39	1.6	2.4	1.7
1306 K+H 306	11305		72	19	16.5	7.75	7000	9000	45	31	8	1.1	44	33	65	6	1	0.26	2.4	3.8	2.6
2306 K+H 2306	11605		72	27	24.2	10.0	7000	9000	45	38	8	1.1	41	35	65	5	1	0.44	1.4	2.2	1.5
1207 K+H 207	11206	30	72	17	12.2	6.62	6700	8500	52	29	9	1.1	47	36	65	5	1	0.23	2.7	4.2	2.9
2207 K+H 307	11506		72	23	16.8	8.32	6700	8500	52	35	9	1.1	46	39	65	5	1	0.38	1.7	2.6	1.8
1307 K+H 307	11306		80	21	19.2	9.80	6300	8000	52	35	9	1.5	51	39	71	7	1.5	0.25	2.6	4.0	2.7
2307 K+H 2307	11606		80	31	30.2	12.8	6300	8000	52	43	9	1.5	46	40	71	5	1.5	0.46	1.4	2.1	1.4
1208 K+H 208	11207	35	80	18	14.8	8.52	6300	8000	58	31	10	1.1	53	43	73	6	1	0.22	2.9	4.4	3.0
2208 K+H 308	11507		80	23	17.2	9.45	6300	8000	58	36	10	1.1	52	44	73	6	1	0.34	1.9	2.9	2.0
1308 K+H 308	11307		90	23	22.8	12.2	5600	7000	58	36	10	1.5	57	44	81	6	1.5	0.24	2.6	4.0	1.7
2308 K+H 2308	11607		90	33	34.5	15.8	5600	7000	58	46	10	1.5	53	46	81	6	1.5	0.43	1.5	2.3	1.5

提醒您：  
 制品  
 关知识产权!

球



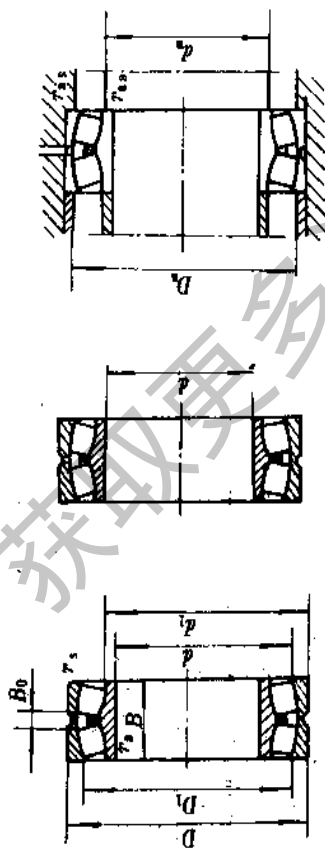
续表 22-21

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm		基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm							计算系数				质量 kg	
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0s</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>s</sub>	r <sub>s</sub>	d <sub>b</sub>	D <sub>a</sub>	B <sub>a</sub>	r <sub>a</sub>	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>		
11000 K+H	1000																			
111217 K+H 217	11215	75	150	28	37.5	28.5	3200	4000	110	18	107	140	8	2	0.17	3.7	5.7	3.9	3.1	
112217 K+H 317	11515	150	36	36	44.8	31.5	3200	4000	110	18	105	140	13	2	0.25	2.5	3.8	2.6	3.73	
111317 K+H 317	11315	180	41	41	75.2	48.5	2800	3600	110	18	117	166	8	3	0.22	2.9	4.5	3.0	6.7	
111317 K+H 2317	11615	180	60	60	108	61.2	2800	3600	110	18	111	166	8	3	0.38	1.7	2.6	1.7	8.15	
111218 K+H 218	11216	80	160	30	43.5	31.8	3000	3800	120	18	112	150	8	2	0.17	3.8	5.7	4	3.7	
111618 K+H 318	11516	160	40	40	53.8	38.0	3000	3800	120	18	112	150	11	2	0.27	2.4	3.7	2.5	4.57	
111318 K+H 318	11316	190	43	43	89.5	56.2	2600	3400	120	18	122	176	8	3	0.22	2.8	4.4	2.9	7.35	
111618 K+H 2318	11616	190	64	64	110	68.2	2600	3400	120	18	115	176	8	3	0.39	1.6	2.5	1.7	9.6	
111219 K+H 219	11217	85	170	32	48.8	36.5	2800	3600	125	19	120	158	8	2.1	0.17	3.7	5.9	3.9	4.35	
111519 K+H 319	11517	170	43	43	63.8	45.2	2800	3600	125	19	118	158	10	2.1	0.26	2.4	3.7	2.7	5.75	
111319 K+H 319	11317	200	45	45	102	63.8	2400	3200	125	19	126	186	7	3	4.23	2.8	4.3	2.9	8.55	
111619 K+H 2319	11617	200	67	67	125	76.2	2400	3200	125	19	117	186	7	3	0.38	1.7	2.6	1.8	—	
111220 K+H 220	11218	90	180	34	52.8	40.5	2600	3400	130	20	127	168	8	2.1	0.18	3.5	5.4	3.7	5.20	
111520 K+H 320	11518	180	46	46	74.8	53.2	2600	3400	130	20	125	168	9	2.1	0.27	2.3	3.6	2.5	6.70	
111320 K+H 320	11318	215	47	47	110	72.8	2000	2800	130	20	136	201	8	3	0.24	2.7	4.1	2.8	10.34	
111620 K+H 2320	11618	215	73	73	148	93.5	2000	2800	130	20	125	201	7	3	0.37	1.7	2.6	1.8	—	
111222 K+H 222	11220	100	200	38	67.2	52.2	2200	3000	145	21	140	188	8	2.1	0.17	3.6	5.6	3.8	7.7	
111522 K+H 322	11520	200	53	53	95.5	66.8	2200	3000	145	21	137	188	8	2.1	0.28	2.2	3.5	2.4	9.4	
111322 K+H 322	11320	240	50	50	125	91.5	1800	2400	145	21	154	226	10	2.5	0.23	2.8	4.3	2.8	14	

注：表中所列轴承的基本额定负荷 C<sub>r</sub>，是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力，如用真空脱气轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 30%，用电渣重熔轴承钢，C<sub>r</sub>可提高约 60%。

3.2 调心滚子轴承

表 22-22 调心滚子轴承(摘自 GB/T 288-93)



当叠动负荷  
 $P_r = F_r + Y_1 F_a$  当  $F_a/F_r \leq e$   
 $P_r = 0.67 F_r + Y_2 F_a$  当  $F_a/F_r > e$   
 当叠静负荷  
 $P_{or} = F_r + Y_0 F_a$

20000 C 型(53000), 20000 CK 型(3153000) 安装尺寸

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm			计算系数				质量 W kg		
		d	D	B <sup>a</sup>	r <sub>s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>as</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>		Y <sub>0</sub>	
20000	20000 K	3000																
20000 C	20000 CK	53000																
22206	22206 K	3506	62	20	30.0	21.8	5300	6700	36	54	1	0.35	1.9	2.8	1.9	0.5		
22206 C	—	53506	62	20	46.0	33.5	6500	8000	36	54	1	0.33	2.0	3.0	2.0	0.3		
22207	22207 K	3507	72	23	44.5	34.0	4800	6000	42	65	1	0.36	1.9	2.8	1.8	0.43		
22207 C	22207 CK	53507	72	23	59.5	44.5	5500	6500	42	65	1	0.31	2.1	3.2	2.1	0.45		
22208	22208 K	3508	80	23	48.8	39.2	4500	5600	47	73	1	0.32	2.1	3.1	2.1	0.55		
22208 C	22208 CK	53508	80	23	70.2	53.0	5000	6000	47	73	1	0.28	2.4	3.6	2.3	0.54		
22308	22308 K	3608	90	33	72.2	55.5	4000	5000	49	81	1.5	0.42	1.6	2.4	1.6	1.03		
22308 C	22308 CK	53608	90	33	105	82.0	4300	5300	49	81	1.5	0.38	1.8	2.6	1.7	1.0		
22209	22209 K	3509	85	23	51.2	41.8	4000	5000	52	78	1	0.30	2.3	3.4	2.2	0.59		
22209 C	22209 CK	53509	85	23	73.2	56.5	4500	5500	52	78	1	0.27	2.5	3.8	2.5	0.58		
22309	22309 K	3609	100	36	105	85.8	3600	4500	54	91	1.5	0.41	1.6	2.4	1.6	1.4		
22309 C	22309 CK	53609	100	36	128	100	3800	4800	54	91	1.5	0.38	1.8	2.6	1.7	1.38		
22210	22210 K	3510	90	23	51.2	41.8	3800	4800	67	83	1	0.30	2.4	3.6	2.4	0.87		
22210 C	22210 CK	53510	90	23	75.5	59.0	4000	5000	57	83	1	0.24	2.8	4.1	2.7	0.62		
22310	22310 K	3610	110	40	125	105	3400	4300	60	100	2	0.41	1.6	2.4	1.6	1.9		
22310 C	22310 CK	53610	110	40	158	125	3400	4300	60	100	2	0.37	1.8	2.7	1.8	1.85		
22211	22211 K	3511	100	25	58.8	49.8	3400	4300	64	91	1.5	0.28	2.5	3.7	2.4	0.84		
22211 C	22211 CK	53511	100	25	92.2	72.2	3600	4600	64	91	1.5	0.24	2.8	4.1	2.7	0.84		
22311	22311 K	3611	120	43	152	122	3000	3800	65	110	2	0.39	1.7	2.6	1.7	2.4		
22311 C	22311 CK	53611	120	43	185	150	3000	3800	65	110	2	0.37	1.8	2.7	1.8	2.35		



续表 22-22

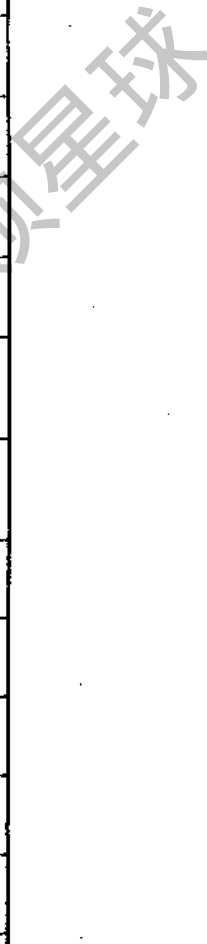
新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm			计算系数				质量 W kg	
		d	D	B	r <sub>a</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>1</sub> min	D <sub>1</sub> max	r <sub>a</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>		Y <sub>0</sub>
20000	20000 K	3000	113000														
20000 C	20000 CK	53000	3153000														
22212	22212 K	3512	113512	28	110	28	1.5	80.2	70.2	3200	4000	0.28	2.4	3.6	2.4	2.4	1.22
22212 C	22212 CK	53512	153512	28	110	28	1.5	110	88.2	3200	4000	0.24	2.8	4.1	2.7	2.7	1.2
22312	22312 K	3612	113612	46	130	46	2.1	165	138	2800	3600	0.40	1.7	2.5	1.6	1.6	3.0
22312 C	22312 CK	53612	153612	46	130	46	2.1	212	172	2800	3600	0.37	1.8	2.7	1.8	1.8	2.95
22213	22213 K	3513	113513	31	120	31	1.5	86.8	73.5	2800	3600	0.28	2.4	3.6	2.4	2.4	1.63
22213 C	22213 CK	53513	153513	31	120	31	1.5	135	112	2800	3600	0.25	2.7	4.0	2.6	2.6	1.6
22313	22313 K	3613	113613	48	140	48	2.1	185	155	2400	3200	0.39	1.7	2.6	1.7	1.7	3.6
22313 C	22313 CK	53613	153613	48	140	48	2.1	232	188	2400	3200	0.35	1.9	2.9	1.9	1.9	3.55
22214	22214 K	3514	113514	31	125	31	1.5	92.2	81.5	2600	3400	0.27	2.4	3.7	2.4	2.4	1.66
22214 C	22214 CK	53514	153514	31	125	31	1.5	140	115	2600	3400	0.23	2.9	4.3	2.3	2.3	1.7
22314	22314 K	223614	113614	51	150	51	2.1	225	195	2200	3000	0.37	1.8	2.7	1.8	1.8	4.4
22314 C	22314 CK	53614	153614	51	150	51	2.1	262	215	2200	3000	0.35	1.9	2.9	1.9	1.9	4.4
23015	23015 K	3003115	3113115	30	115	30	1.1	86.2	84.2	2200	3000	0.28	2.4	3.6	2.4	2.4	1.14
22215	22215 K	3515	113515	31	130	31	1.5	92.2	81.5	2400	3200	0.26	2.6	3.9	2.6	2.6	1.75
22215 C	22215 CK	53515	153515	31	130	31	1.5	145	122	2400	3200	0.22	3.0	4.5	2.9	2.9	1.8
22315	22315 K	3615	113615	55	160	55	2.1	258	238	2000	2800	0.36	1.7	2.6	1.7	1.7	5.4
22315 C	22315 CK	53615	153615	55	160	55	2.1	305	258	2000	2800	0.35	1.9	2.9	1.9	1.9	5.25
22216	22216 K	3516	113516	33	140	33	2	112	102	2200	3000	0.25	2.7	4.0	2.6	2.6	2.2
22216 C	22216 CK	53516	153516	33	140	33	2	158	135	2200	3000	0.22	3.0	4.5	2.9	2.9	2.2
22316	22316 K	3616	113616	58	170	58	2.1	282	248	1900	2600	0.37	1.8	2.7	1.8	1.8	6.4
22316 C	22316 CK	53616	153616	58	170	58	2.1	345	295	1900	2600	0.35	1.9	2.9	1.9	1.9	6.39
22217	22217 K	3517	113517	36	150	36	2	142	130	2000	2800	0.26	2.6	3.9	2.6	2.6	2.8
22217 C	22217 CK	53517	153517	36	150	36	2	188	158	2000	2800	0.22	3.0	4.4	2.9	2.9	2.7
22317	22317 K	3617	113617	60	180	60	3	302	270	1800	2400	0.37	1.8	2.7	1.8	1.8	7.4
22317 C	22317 CK	53617	153617	60	180	60	3	375	322	1800	2400	0.34	1.9	3.0	2.0	2.0	7.25
22218	22218 K	3518	113518	40	160	40	2	165	155	1900	2600	0.27	2.5	3.8	2.5	2.5	4.0
22218 C	22218 CK	53518	153518	40	160	40	2	215	182	1900	2600	0.23	2.9	4.4	2.8	2.8	3.28
23218 C	23218 CK	3053213	3153213	52.4	160	52.4	2	290	275	1700	2200	0.31	2.1	3.2	2.1	2.1	4.6
22318	22318 K	3618	113618	64	190	64	3	358	330	1700	2200	0.37	1.3	2.7	1.3	1.3	8.8
22318 C	22318 CK	53618	153618	64	190	64	3	435	382	1800	2400	0.34	2.0	2.9	2.0	2.0	8.6



续表 22-22

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm			计算系数				质量 W kg	
		d	D	B	r <sub>s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	r <sub>as</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>		
20000	20000 K	3000	113000															
20000 C	20000 CK	53000	3153000															
22219	22219 K	3519	118519															
22219 C	22219 CK	53519	153519															
22319	22319 K	3619	113619															
22319 C	22319 CK	53619	153619															
23120 C	23120 CK	3053720	3153720															
22220	22220 K	3520	113520															
22220 C	22220 CK	53520	153520															
23220 C	23220 CK	3053220	3153220															
22320	22320 K	3620	113620															
22320 C	22320 CK	53620	153620															
23121	23121 K	3003721	3113721															
23022	23022 K	3003122	3113122															
23022 C	23022 CK	3053122	3153122															
23122	23122 K	3003722	3003722															
23122 C	23122 CK	3053722	3153722															
22222	22222 K	3522	113522															
22222 C	22222 CK	53522	153522															
23222 C	23222 CK	3053222	3153222															
22322	22322 K	3622	113622															
22322 C	22322 CK	53622	153622															
23024	23024 K	3003124	3113124															
23024 C	23024 CK	3053124	3153124															
23124	23124 K	3003724	3113724															
23124 C	23124 CK	3053724	3153724															
22224	22224 K	3524	113524															
22224 C	22224 CK	53524	153524															
23224 C	23224 CK	3053224	3153224															
22324	22324 K	3624	113624															
22324 C	22324 CK	53624	153624															

使用本复训教材时，请您：  
1. 注意教材中的“注意”、“警告”、“危险”等字样。  
2. 注意教材中的“提示”、“重要”、“必须”等字样。  
3. 注意教材中的“禁止”、“不准”、“禁止”等字样。  
4. 注意教材中的“必须”、“必须”、“必须”等字样。



续表 22-22

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm			计算系数			质量 W kg		
		d	D	B	r <sub>a</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	r <sub>as</sub> max	e	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
20000	20000 K	3000															
20000 C	20000 CK	53000															
23026	23026 K	3003126	130	200	52	2	265	328	1100	1500	140	190	2	0.26	2.6	3.8	2.5
23026 C	23026 CK	3053126		200	52	2	335	355	1200	1600	140	190	2	0.23	2.9	4.4	2.8
23126	23126 K	3053726		210	64	2.1	420	450	1300	1700	142	198	2	0.28	2.4	3.6	2.5
22226	22226 K	3526		230	64	3	400	405	1200	1600	144	216	2.5	0.29	2.3	3.4	2.3
22226 C	22226 CK	53526		230	64	3	497	462	1400	1800	144	216	2.5	0.26	2.6	3.9	2.5
23226	23226 K	3053226		230	80	3	598	610	1200	1600	144	216	2.5	0.33	2.0	3.0	2.0
23226 C	23226 CK	535226		230	80	3	708	702	950	1300	148	261	3	0.39	1.7	2.6	1.7
22326	22326 K	3626		280	93	4	840	775	1200	1600	148	262	3	0.34	1.9	2.9	1.9
22326 C	22326 CK	53626		280	93	4											
23028	23028 K	3003128	140	210	53	2	280	342	950	1300	150	200	2	0.25	2.7	4.0	2.6
23028 C	23028 CK	3053128		210	53	2	358	395	1100	1500	150	200	2	0.22	3	4.6	2.8
23128	23128 K	3003728		225	68	2.1	390	338	950	1300	152	213	2.1	0.29	2.3	3.4	2.3
23128 C	23128 CK	3053728		225	68	2.1	488	525	1100	1500	152	213	2.1	0.28	2.4	3.6	2.5
22228	22228 K	3528		250	68	3	468	465	1000	1400	154	236	2.5	0.29	2.3	3.5	2.3
22228 C	22228 CK	53528		250	68	3	558	530	1300	1700	154	236	2.5	0.25	2.7	3.9	2.5
23228	23228 K	3053228		250	88	3	712	738	1000	1400	154	236	2.5	0.35	1.9	2.9	1.9
23228 C	23228 CK	3628		300	102	4	808	805	900	1200	158	282	3	0.38	1.8	2.6	1.7
22328	22328 K	53628		300	102	4	932	935	1100	1500	158	282	3	0.34	1.9	2.9	1.9
23030	23030 K	3003130	150	225	56	2.1	322	412	900	1200	162	213	2.1	0.25	2.7	4.0	2.5
23030 C	23030 CK	3053130		225	56	2.1	388	430	1100	1400	162	213	2.1	0.22	3.0	4.6	2.8
23130	23130 K	3003730		250	80	2.1	502	605	850	1100	162	238	2.1	0.33	2.0	3.0	2.0
23130 C	23130 CK	3053730		250	80	2.1	640	702	1000	1300	162	238	2.1	0.30	2.3	3.4	2.2
22230	22230 K	3530		270	73	3	498	500	950	1300	164	256	2.5	0.29	2.3	3.5	2.3
22230 C	22230 CK	53530		270	73	3	658	630	1200	1600	164	256	2.5	0.26	2.6	3.9	2.5
23230	23230 K	3053230		270	96	3	832	875	960	1300	164	256	2.5	0.35	1.9	2.9	1.9
23230 C	23230 CK	3630		320	108	4	1000	1030	850	1100	168	302	3	0.36	1.9	2.8	1.8
23032	23032 K	3003132	160	240	60	2.1	360	445	850	1100	172	228	2.1	0.25	2.7	4.0	2.6
23032 C	23032 CK	3053132		240	60	2.1	445	495	1000	1300	172	222	2.1	0.22	3	4.6	2.8
23132	23132 K	3003732		270	86	2.1	510	618	800	1000	172	258	2.1	0.34	2.0	2.9	2.0
23132 C	23132 CK	3053732		270	86	2.1	758	892	900	1200	172	258	2.1	0.3	2.3	3.4	2.2
22232	22232 K	3532		290	80*	3	530	652	900	1200	174	276	2.5	0.3	2.3	3.4	2.2
22232 C	22232 CK	53532		290	80	3	735	712	1000	1400	174	276	2.5	0.26	2.6	3.9	2.5
23232	23232 K	3053232		290	104	3	960	1015	900	1200	174	276	2.5	0.35	1.9	2.9	1.9
23232 C	23232 CK	3632		340	114	4	1020	1050	800	1000	178	322	3	0.38	1.8	2.7	1.8



球轴承

续表 22-22

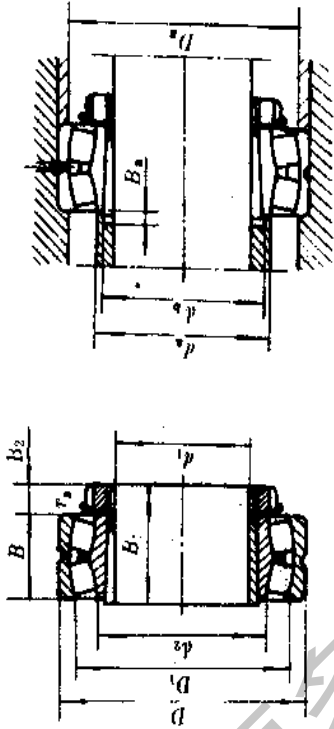
新轴承代号	旧轴承代号		基本尺寸/mm			基本额定负荷/kN		极限转速/r/min		安装尺寸/mm			计算系数				质量W/kg		
	20000	20000 K	3000	113000	d	D	B	r <sub>a</sub> mm	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	r <sub>as</sub> max	e		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
20000 C	20000 CK	3000	113000	170	260	67	2.1	438	545	800	1000	182	248	2.1	0.26	2.6	3.8	2.5	13
23034	23034 K	3003134	3113134	170	260	67	2.1	545	612	900	1200	182	248	2.1	0.23	2.9	4.4	2.8	—
23034 C	23034 CK	3053134	3153134	260	260	67	2.1	790	868	850	1100	182	268	2.1	0.3	2.3	3.4	2.2	—
23134 C	23134 CK	3053734	3153734	280	280	88	2.1	790	745	850	1100	188	292	3	0.3	2.3	3.4	2.2	29
22234	22234 K	3534	113534	310	310	86	4	705	1220	750	950	188	292	3	0.39	1.7	2.6	1.7	60
22334	22334 K	3634	113634	360	360	120	4	1130	695	750	950	192	268	2.1	0.26	2.6	3.8	2.5	17.6
23036	23036 K	3003136	3113136	180	280	74	2.1	530	745	800	1000	192	268	2.1	0.24	2.8	4.2	2.8	—
23036 C	23036 CK	3053136	3153136	280	280	74	2.1	658	815	720	900	194	286	2.5	0.32	2.1	3.1	2.1	27.1
23136	23136 K	3003736	3113736	300	300	96	3	682	1030	800	1000	194	286	2.5	0.3	2.3	3.4	2.2	—
23136 C	23136 CK	3053736	3153736	300	300	96	3	922	1030	800	1000	194	286	2.5	0.3	2.3	3.4	2.2	—
22236	22236 K	3536	113536	320	320	86	4	720	785	800	1000	198	302	3	0.29	2.3	3.5	2.3	30.0
22336	22336 K	3636	113636	380	380	126	4	1240	1340	700	900	198	362	3	0.38	1.8	2.6	1.7	70
23038	23038 K	3003138	3113138	190	290	75	2.1	545	665	700	900	202	278	2.1	0.25	2.7	4.0	2.6	20
23038 C	23038 CK	3053138	3153138	290	290	75	2.1	665	762	800	1000	202	278	2.1	0.23	2.9	4.4	2.8	—
23138	23138 K	3003738	3113738	320	320	104	3	772	1010	670	850	204	306	2.5	0.33	2.0	3.0	2.5	35.3
22238	22238 K	3538	113538	340	340	92	4	802	858	750	950	208	322	3	0.29	2.3	3.5	2.3	35.3
22338	22338 K	3638	113638	400	400	132	5	1360	1480	670	850	212	378	4	0.36	1.8	2.7	1.8	81
23040	23040 K	3003140	3113140	200	310	82	2.1	570	708	670	850	212	298	2.1	0.25	2.7	4.0	2.6	24
23140	23140 K	3003740	3113740	340	340	112	3	892	1110	630	800	214	326	2.5	0.34	2.0	3.0	2.0	50.7
22240	22240 K	3540	113540	360	360	98	4	902	990	700	900	218	342	3	0.29	2.3	3.4	2.3	47.7
22340	22340 K	3640	113640	420	420	138	5	1460	1590	630	800	222	398	4	0.38	1.8	2.7	1.7	94
23044	23044 K	3003144	3113144	220	340	90	3	745	975	600	750	234	326	2.5	0.25	2.7	4.0	2.6	28.8
23144	23144 K	3003744	3113744	370	370	120	4	1010	1290	600	750	238	352	3	0.34	2.0	3.0	2.0	55
22244	22244 K	3544	113544	400	400	108	4	1150	1270	630	800	238	382	3	0.29	2.3	3.4	2.2	61.5
22344	22344 K	3644	113644	460	460	145	5	1660	1870	560	700	242	438	4	0.35	1.9	2.8	1.9	120
23048	23048 K	3003148	3113148	240	360	92	3	778	1110	530	670	254	346	2.5	0.25	2.7	4.1	2.7	35.5
23148	23148 K	3003748	3113748	400	400	128	4	1180	1550	500	630	258	382	3	0.32	2.1	3.1	2.1	55.5
22348	22348 K	3648	113648	500	500	155	5	1700	1900	500	630	262	478	4	0.35	1.9	2.8	1.9	153
23052	23052 K	3003152	3113152	260	400	104	4	985	1320	500	630	278	382	3	0.26	2.6	3.8	2.5	51.3
23152	23152 K	3003752	3113752	440	440	144	4	1460	1830	450	560	278	422	3	0.34	2.0	2.9	1.9	95.3
22352	22352 K	3652	113652	540	540	165	6	2160	2450	480	600	288	512	5	0.34	2.0	2.9	1.9	191

续表 22-22

新轴承代号	旧轴承代号		基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm			计算系数				质量 W kg	
			d	D	B	r <sub>s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>as</sub> max	ε	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>		Y <sub>0</sub>
20000	20000 K	3000																
20000 C	20000 CK	53000																
23056	23056 K	3003156	280	420	106	4	1060	1440	450	560	298	402	3	0.25	2.7	4.0	2.6	62
23156	23156 K	3003756		460	146	5	1560	2000	430	530	302	438	4	0.33	2.0	3.0	2.0	103
22256	22256 K	3556		500	130	5	1660	1920	500	630	302	478	4	0.28	2.4	3.5	2.4	—
22356	22356 K	3656		580	176	6	2370	2720	450	560	308	552	5	0.34	2.0	3.0	1.9	238
23060	23060 K	3003160	300	460	118	4	1240	1660	430	530	318	442	3	0.26	2.6	3.9	2.6	75.2
23160	23160 K	3003760		500	160	5	1900	2440	400	500	322	478	4	0.32	2.1	3.1	2.0	133
		3560		540	140	5	1800	1970	450	560	322	518	4	0.28	2.4	3.6	2.4	184
23064	23064 K	3003164	320	480	121	4	1350	1770	400	500	338	462	3	0.26	2.6	3.8	2.5	81.5
23068	23068 K	3003168	340	520	133	5	1550	2060	380	480	362	498	4	0.25	2.7	4.0	2.6	109
23072	23072 K	3003172	360	540	134	5	1680	2260	360	450	382	518	4	0.25	2.7	4.0	2.6	114
23076	23076 K	3003176	380	560	135	5	1680	2290	340	430	402	538	4	0.24	2.8	4.1	2.7	120
23176		3003776		620	194	5	2570	3440	300	380	402	598	4	0.24	2.0	3.0	2.0	244
23080	23080 K	3003180	400	600	148	5	2020	2770	300	380	422	578	4	0.25	2.6	3.8	2.5	154
22380		3680		820	248	7.5	4440	5430	240	320	436	784	6	0.33	2.1	3.1	2.0	644
23084	23084 K	3003184	420	620	150	5	2020	2770	280	360	442	598	4	0.24	2.8	4.3	2.8	160
23088	23088 K	3003188	440	650	157	6	2130	3100	260	340	468	622	5	0.24	2.8	4.2	2.8	192
23092	23092 K	3003192	460	680	163	6	2410	3570	220	300	488	652	5	0.23	2.9	4.4	2.9	232
		3003792		760	240	7.5	3840	5070	190	260	496	724	6	0.33	2.0	3.0	2.0	479
23096	23096 K	3003196	480	700	165	6	2450	3480	200	280	508	672	5	0.24	2.8	4.2	2.76	232
230/500	230/500 K	30031/50031131/500	500	720	167	6	2650	3860	190	260	528	692	5	0.23	3.0	4.4	2.9	235
230/530		30031/53031131/530	530	780	185	6	3120	4490	170	220	558	752	5	0.23	2.9	4.3	2.8	304
230/560		30031/56031131/560	560	820	195	6	3420	5380	160	200	588	792	5	0.23	2.9	4.3	2.8	364
230/600		30031/60031131/600	600	870	200	6	3690	5640	130	170	628	842	5	0.22	3.0	4.5	2.94	417
230/630		30031/63031131/630	630	920	212	7.5	4090	6230	120	160	666	884	6	0.23	3.0	4.4	2.9	511
230/850		30031/85031131/850	850	1220	272	7.5	7610	12000	75	95	886	1184	6	0.28	2.4	3.5	2.3	1388

注 1. 表中所列轴承的基本额定动负荷 C<sub>r</sub> 是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢 C<sub>r</sub> 可提高 15%，采用电液重熔轴承钢 C<sub>r</sub> 可提高 20~50%。  
 2. 53000 型轴承是近来发展并经过优化设计的采用对称型球面滚子的新型结构，调心性能好，承载能力高，是优先选用的产品。

表 22-23 裝在緊定套上的調心滾子軸承 (摘自 GB/T 287-93)



2000 K+H 型 (13000) 20000 CK+H 型 (253000) 安裝尺寸

新軸承代號	舊軸承代號	基本尺寸 mm			基本額定負荷 kN		極限轉速 r/min		安裝尺寸 mm						計算系數				質量 kg				
		d <sub>1</sub>	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂潤滑	油潤滑	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	r <sub>s</sub> min	d <sub>a</sub> max	d <sub>b</sub> min	D <sub>0</sub> max	B <sub>a</sub> min	r <sub>sa</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>			
20000 K+H	13000																						
20000 CK+H	253000																						
22208 K+H 308	13507	35	80	23	48.8	39.2	4500	5600	36	10	1.1	49	44	73	5	1	0.32	2.1	3.1	2.1	0.74		
22208 CK+H 308	253507																						
22308 K+H 2308	13607																						
22308 CK+H 2308	253607																						
22209 K+H 309	13508	40	85	23	51.2	41.8	4000	5000	39	11	1.1	54	50	78	7	1	0.30	2.3	3.4	2.2	0.84		
22209 CK+H 309	253508																						
22309 K+H 2309	13608																						
22309 CK+H 2309	253608																						
22210 K+H 310	13509	45	90	23	51.2	41.8	3800	4800	42	12	1.1	60	55	83	9	1	0.30	2.4	3.6	2.4	1.17		
22210 CK+H 310	253509																						
22310 K+H 2310	13609																						
22310 CK+H 2310	253609																						
22211 K+H 311	13510	50	100	25	58.8	49.8	3400	4300	45	12	1.5	66	60	91	10	1.5	0.28	2.5	3.7	3.4	1.19		
22211 CK+H 311	253510																						
22311 K+H 2311	13610																						
22311 CK+H 2311	253610																						

獲取更多 球 星 球







续表 22-20

轴承 型号	组件代号		基本尺寸 mm		基本额定负荷		极限转速 r/min		安装尺寸 mm							计算系数				质量 kg			
	轴承	固定套	d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	润滑剂油类	d <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	B <sub>s</sub> min	r <sub>sa</sub> max	ε	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>	
																							ε
11208	111209	H209	40	85	19	16.8	9.55	5600	7000	65	33	11	1.1	57	48	78	6	1	0.21	2.9	4.6	3.1	0.72
11508	111509	H309	85	23	17.8	10.8	5600	7000	56	39	11	1.1	57	50	78	8	1	0.31	2.1	3.2	2.2	0.8	
11308	111309	H309	100	25	29.2	15.8	5000	6300	65	39	11	1.5	63	50	91	6	1.5	0.25	2.5	3.9	2.6	1.2	
11608	111609	H2309	100	36	41.5	19.5	5000	6300	65	50	11	1.5	60	50	91	6	1.5	0.42	1.5	2.3	1.6	1.51	
11209	111210	H210	45	90	20	17.5	9.80	5300	6700	70	35	12	1.1	62	53	83	6	1	0.20	3.1	4.8	2.3	0.81
11509	111510	H310	90	23	17.8	11.2	5300	6700	70	42	12	1.1	62	55	83	10	4	0.29	2.2	3.4	2.3	0.98	
11309	111310	H310	110	27	33.2	17.5	4800	6000	70	42	12	2	70	55	100	6	2	0.24	2.7	4.1	2.8	1.51	
11609	111610	H2310	110	40	49.5	23.5	4800	6000	70	55	12	2	65	56	100	6	2	0.43	1.5	2.3	1.6	2	
11210	111211	H211	50	100	21	20.5	13.2	4800	6000	75	37	12	1.5	70	60	91	7	1.5	0.20	3.2	5.0	3.4	1.03
11510	111511	H311	100	25	20.5	13.2	4800	6000	75	45	12	1.5	69	60	91	11	1.5	0.28	2.3	3.5	2.4	1.2	
11310	111311	H311	120	29	39.5	22.5	4300	5300	75	45	12	2	77	60	110	7	2	0.23	2.7	4.2	2.8	4.97	
11610	111611	H2311	120	43	57.8	28.0	4300	5300	75	59	12	2	72	61	110	7	2	0.41	1.5	2.4	1.6	2.52	
11211	111212	H212	55	110	22	23.2	15.5	4500	5600	80	38	13	1.5	77	64	101	7	1.5	0.19	3.4	5.3	3.6	1.25
11511	111512	H312	110	28	26.2	16.8	4500	5600	80	47	13	1.5	75	65	101	9	1.5	0.28	2.3	3.5	2.4	1.49	
11311	111312	H312	130	31	44.0	26.5	4000	5000	80	47	13	2.1	87	65	118	7	2.1	0.23	2.8	4.3	2.9	2.35	
11611	111612	H2312	130	46	66.8	32.8	4000	5000	80	62	13	2.1	76	66	118	7	2.1	0.41	1.6	2.5	1.6	3.09	
11212	111213	H213	80	120	23	23.8	17.2	4000	5000	85	40	14	1.5	85	70	111	7	1.5	0.17	3.7	5.7	3.9	1.32
11512	111513	H313	120	31	33.5	21.5	4000	5000	85	50	14	1.5	81	70	111	9	1.5	0.28	2.3	3.5	2.4	1.96	
11312	111313	H313	140	33	47.5	29.2	3600	4500	85	50	14	2.1	92	70	128	7	2.1	0.23	2.8	4.3	2.9	2.85	
11612	111613	H2313	140	48	73.8	38.5	3600	4500	85	65	14	2.1	85	72	128	7	2.1	0.38	1.6	2.6	1.7	3.75	
11213	111215	H215	65	130	25	29.8	21.5	3600	4500	98	43	15	1.5	93	80	121	7	1.5	0.17	3.6	5.6	3.8	2.06
11513	111515	H315	130	31	34.0	23.8	3600	4500	98	55	15	1.5	93	80	121	13	1.5	0.25	2.5	3.9	2.6	2.55	
11313	111315	H315	160	37	60.8	38.2	3200	4000	98	55	15	2.1	104	80	148	7	2.1	0.22	2.8	4.4	3.0	4.43	
11613	111615	H2315	160	55	94.8	50.8	3200	4000	98	73	15	2.1	97	82	148	7	2.1	0.38	1.7	2.6	1.7	5.75	
11214	111216	H216	70	140	26	30.5	23.5	3400	4300	105	46	17	2	101	85	130	7	2	0.18	3.6	5.5	3.7	2.53
11514	111516	H316	140	33	37.5	26.8	3400	4300	105	59	17	2	98	85	130	13	2	0.25	2.5	3.9	2.6	3.19	
11314	111316	H316	170	39	68.0	42.2	3000	3800	105	59	17	2.1	109	85	158	7	2.1	0.22	2.9	4.5	3.1	5.2	
11614	111616	H2316	170	58	99.0	54.2	3000	3800	105	78	17	2.1	104	88	158	7	2.1	0.39	1.6	2.5	1.7	7	

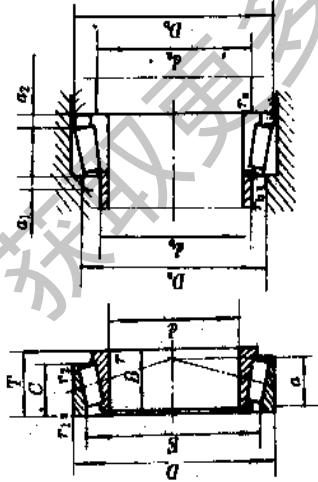
续表 22-23

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm							计算系数				质 量 kg
		d <sub>1</sub>	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	r <sub>s</sub> min	d <sub>a</sub> max	d <sub>b</sub> min	D <sub>s</sub> max	B <sub>s</sub> min	r <sub>nc</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>		
20000 K+H 20000 CK+H	13000 253000																			
23032 K+H 3032	3013128	140	240	60	360	445	850	1100	2.1	180	188	228	8	2.1	0.25	2.7	4.0	2.6	14.5	
23132 K+H 3132	3013728	270	360	86	510	618	800	1000	2.1	184	170	258	8	2.1	0.34	2.0	2.9	2.0	27.65	
22232 K+H 3132	13528	290	360	86	630	652	900	1200	3	191	170	276	14	2.5	0.30	2.3	3.4	2.2	29.85	
22232 CK+H 3132	253528	290	360	80	735	712	1000	1400	3	191	170	276	14	2.5	0.26	2.6	3.9	2.5	29.65	
22332 K+H 2332	13628	340	400	114	1020	1050	800	1000	4	201	174	322	8	3	0.38	1.8	2.7	1.8	60.15	
23034 K+H 3034	3013130	150	260	67	438	545	800	1000	2.1	191	179	248	8	2.1	0.26	2.6	3.8	2.5	18.5	
22234 K+H 3134	13530	310	360	86	705	745	850	1100	4	203	180	292	10	3	0.30	2.3	3.4	2.7	37.4	
22334 CK+H 2334	13630	360	400	120	1130	1220	750	950	4	213	185	342	8	3	0.39	1.7	2.6	1.7	70	
23036 K+H 3036	3013132	160	280	74	530	665	750	950	2.1	204	189	268	8	2.1	0.26	2.6	3.8	2.5	23.35	
23136 K+H 3136	3013732	300	360	96	682	815	720	900	3	207	191	285	8	2.5	0.32	2.1	3.1	2.1	29.4	
22236 K+H 3136	13532	160	320	86	720	785	800	1000	4	213	191	302	18	3	0.29	2.3	3.5	2.3	39.5	
22336 K+H 2336	13632	380	400	126	1240	1340	700	900	4	224	195	362	8	3	0.28	1.8	2.6	1.7	81.0	
23038 K+H 3038	3013134	170	290	72	545	665	700	900	2.1	216	199	278	9	2.1	0.25	2.7	4.0	2.6	24.95	
23138 K+H 3138	3013734	320	360	104	772	1010	670	850	3	220	202	306	9	2.5	0.33	2.0	3.0	2.0	44.5	
22238 K+H 3138	13534	340	360	92	802	858	750	950	4	225	202	322	21	3	0.29	2.3	3.5	2.3	46.3	
22338 K+H 2338	13634	400	400	132	1360	1480	670	850	5	236	206	378	9	4	0.36	1.8	2.7	1.8	92.5	
23040 K+H 3040	3013136	180	310	82	570	708	670	850	2.1	228	210	298	9	2.1	0.25	2.7	4.0	2.6	31.7	
23140 K+H 3140	3013736	340	360	112	892	1100	630	800	3	231	212	326	9	2.5	0.34	2.0	3.0	2.0	53.0	
22240 K+H 3140	13536	360	360	98	902	990	700	900	4	238	212	342	24	3	0.29	2.3	3.4	2.3	59.7	
22340 K+H 2340	13636	420	400	138	1460	1590	630	800	5	249	216	398	9	4	0.38	1.8	2.7	1.7	108	
23044 K+H 3044	3013140	200	340	90	745	975	600	750	3	250	231	326	9	2.5	0.25	2.7	4.0	2.6	40.0	
23144 K+H 3144	3013740	370	360	120	1010	1290	600	750	4	255	233	352	9	3	0.34	2.0	3.0	2.0	66.5	
22244 K+H 3144	13540	400	400	108	1150	1270	630	800	4	263	233	382	21	3	0.29	2.3	3.4	2.2	76.5	
22344 K+H 2344	13640	460	460	145	1660	1870	560	700	5	279	236	438	9	4	0.35	1.9	2.8	1.9	127	
23048 K+H 3048	3013144	220	360	92	778	1100	530	670	3	271	251	346	11	2.5	0.23	2.7	4.1	2.7	45.5	
23148 K+H 3148	3013744	400	400	128	1180	1550	500	630	4	277	254	382	11	3	0.32	2.1	3.1	2.1	81.5	
23148 K+H 2348	13644	500	400	135	1700	1900	500	630	5	303	257	478	11	4	0.35	1.9	2.8	1.9	173	

注:表中所示轴承的基本额定负荷 C<sub>r</sub>是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢,C<sub>r</sub>可提高15%,采用电渣重熔轴承钢,C<sub>r</sub>可提高20~50%。

3.3 圆锥滚子轴承

表 22-24 圆锥滚子轴承(摘自 GB/T297-93 参照 ISO355-77)



当量动负荷

$$P_r = F_r \text{ 当 } F_r/F_r \leq e$$

$$P_r = 0.4F_r + YF_a \text{ 当 } F_r/F_r > e$$

当量静负荷

$$P_{or} = 0.5F_r + Y_0F_a$$

$$\text{若 } P_{or} < F_r \text{ 取 } P_{or} = F_r$$

30000 型 (7000, 27000) 安装尺寸

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm										基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						计算系数			质 量 kg			
		d	D	T	B	C	a	r <sub>s</sub> min	r <sub>b</sub> min	r <sub>a</sub> min	r <sub>a</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑油润滑	极限转速 r/min	d <sub>0</sub> max	D <sub>0</sub> max	d <sub>1</sub> min	D <sub>1</sub> min	a <sub>1</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>he</sub> max	r <sub>be</sub> max	e		Y	Y <sub>0</sub>	
30000	7000	15	42	14.25	13	11	9.5	1	1	0.5	21.8	13.8	9000	12000	22	36	2	36	2	36	8.5	8.5	1	1	0.29	2.1	1.2	0.096
30302	7302E	17	40	13.25	12	11	9.8	1	1	0.5	19.8	13.2	9000	12000	23	34	2	34	2	34	2.5	2.5	1	1	0.25	1.7	1	0.13
30303	7303E	47	15.25	14	12	10	1	1	1	0.5	26.8	17.2	8500	11000	23	41	3	41	3	41	3.5	3.5	1	1	0.29	2.1	1.2	0.13
32303	7603E	47	20.25	19	16	12	1	1	1	0.5	33.5	23	8500	11000	23	41	3	41	3	41	4.5	4.5	1	1	0.29	2.1	1.2	0.174
30204	7204E	20	47	15.25	14	12	11.2	1	1	0.5	26.8	18.2	8000	10000	26	41	2	41	2	41	3.5	3.5	1	1	0.35	1.7	1	0.124
30304	7304E	52	16.25	15	13	11	1	1.5	1.5	0.8	31.5	20.8	7500	9500	27	45	3	45	3	45	3.5	3.5	1.5	1.5	0.3	2	1.1	0.168
32304	7604E	52	22.25	21	18	13.4	1.5	1.5	1.5	0.8	40.8	28.8	7500	9500	27	45	3	45	3	45	4.5	4.5	1.5	1.5	0.3	2	1.1	0.24
30205	7205E	25	52	16.25	15	13	12.6	1	1	0.5	32.2	23	7000	9000	31	46	2	46	2	46	3.5	3.5	1	1	0.37	1.6	0.9	0.159
30305	7305E	62	18.25	17	15	13	1	1.5	1.5	0.8	44.8	30	6300	8000	32	55	3	55	3	55	3.5	3.5	1.5	1.5	0.3	2	1.1	0.35
31305	27305E	62	18.25	17	13	20	1	1.5	1.5	0.8	38.8	26.8	6300	8000	32	55	3	55	3	55	3.5	3.5	1.5	1.5	0.83	0.7	0.4	0.255
32305	7605E	62	25.25	24	20	15.5	1.5	1.5	1.5	0.8	58.5	42.5	6300	8000	32	55	3	55	3	55	3.5	3.5	1.5	1.5	0.3	2	1.1	0.255
32006	2007106	30	55	17	16	14	12	1	1	—	23.2	19.8	6300	8000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.26	2.3	1.3	0.16
30206	7206E	62	17.25	16	14	13.8	1	1	1	0.5	41.2	29.5	6000	7500	36	56	2	56	2	56	3.5	3.5	1	1	0.37	1.6	0.9	0.245
32206	7506E	62	21.25	20	17	15.4	1	1	1	0.5	49.2	37.2	6000	7500	36	56	3	56	3	56	4.5	4.5	1	1	0.37	1.6	0.9	0.285
30306	7306E	72	20.75	19	16	15	1	1.5	1.5	0.8	55.8	38.5	5600	7000	37	65	3	65	3	65	5	5	1.5	1.5	0.81	1.9	1	0.408
31306	27306E	72	20.75	19	14	23	1	1.5	1.5	0.8	49.5	34.8	5600	7000	37	65	3	65	3	65	7	7	1.5	1.5	0.83	0.7	0.4	0.376
32306	7606E	72	28.75	27	23	18.8	1.5	1.5	1.5	0.8	77.5	58.8	5600	7000	37	65	4	65	4	65	6	6	1.5	1.5	0.81	1.9	1	0.575

续表 22-24

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm											基本额定负荷 kN					极限转速 r/min		安装尺寸 mm								计算系数			质量 kg
		D	T	B	C	d	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	r <sub>2s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑油润滑	d <sub>a</sub> min	d <sub>b</sub> max	D <sub>s</sub> max	D <sub>b</sub> min	d <sub>1</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>1e</sub> max	r <sub>2e</sub> max	e	Y	Y <sub>0</sub>								
		35	18	17	15	14	1.5	1	—	28.2	26.2	5600	—	—	—	—	3	5	1	1	0.29	2.1	1.1								
30000	7000																														
32007	2007107	62	18	17	15	14	1.5	1	28.2	26.2	5600	—	—	—	—	3	5	1	1	0.29	2.1	1.1									
30207	7207E	72	18.25	17	15	15.3	1.5	0.8	51.5	37.2	5300	42	44	65	67	3	3.5	1.5	1.5	0.37	1.6	0.9									
32207	7507E	72	24.25	23	29	17.6	1.5	0.8	67.5	52.5	5300	42	44	65	68	3	5.5	1.5	1.5	0.37	1.6	0.9									
30307	7307E	80	22.75	21	18	17	2	1.5	71.2	50.2	5000	44	45	71	74	3	5	2	1.5	0.31	1.9	1									
31307	27307E	80	22.75	21	15	26	2	1.5	62.2	44.5	5000	44	42	71	76	4	8	2	1.5	0.83	0.7	0.4									
32307	7607E	80	32.75	31	25	20.5	2	1.5	93.8	72.2	5000	44	43	71	74	4	8	2	1.5	0.31	1.9	1									
32908	2007908	40	15	14	12	12	0.6	—	17.8	15.8	5600	—	—	—	—	3	5	0.6	0.6	0.28	2.1	1.2									
32008	2007108	68	19	18	16	15	1.1	—	33.2	30.8	5300	—	—	—	—	3	5	1	1	0.3	2	1.1									
30208	7208E	80	19.75	18	16	16.9	1.5	0.8	59.8	42.8	5000	47	49	73	75	3	4	1.5	1.5	0.37	1.6	0.9									
32208	7508E	80	24.75	23	19	19	1.5	0.8	74.2	56.8	5000	47	48	73	75	3	6	1.5	1.5	0.37	1.6	0.9									
30308	7308E	90	25.25	23	20	19.5	2	1.5	86.2	63.8	4500	49	52	81	84	3	5.5	2	1.5	0.35	1.7	1									
31308	27308E	90	25.25	23	17	29	2	1.5	77.2	55.8	4500	49	48	81	87	4	8.5	2	1.5	0.83	0.7	0.4									
32308	7608E	90	35.25	33	27	23.4	2	1.5	110	87.8	4500	49	49	81	83	4	8.5	2	1.5	0.35	1.7	1									
32909	2007909	45	15	14	12	13	0.6	—	18.5	18.2	5300	—	—	—	—	3	5	0.6	0.6	0.31	1.9	1.1									
32009	2007109	75	20	19	16	16	1	—	37.2	34.8	5000	—	—	—	—	4	6	1	1	0.3	2	1.1									
30209	7209E	85	20.75	19	16	18.6	1.5	0.8	64.2	47.8	4500	52	53	78	80	3	5	1.5	1.5	0.4	1.5	0.8									
32209	7509E	85	24.75	23	19	20	1.5	0.8	79.5	62.8	4500	52	53	78	81	3	6	1.5	1.5	0.4	1.5	0.8									
30309	7309E	100	27.75	25	22	21.5	2	1.5	102	76.2	4000	54	59	91	94	3	5.5	2	1.5	0.35	1.7	1									
31309	27309E	100	27.25	25	28	32	2	1.5	89.5	65	4000	54	54	91	96	4	9.5	2	1.5	0.83	0.7	0.4									
32309	7609E	110	38.25	36	30	25.5	2	1.5	138	111.8	4000	54	56	91	93	4	8.5	2	1.5	0.35	1.7	1									
32910	2007910	50	15	14	12	15	0.6	—	18.5	18.2	5000	—	—	—	—	3	5	0.6	0.6	0.35	1.7	0.9									
32010	2007110	80	20	19	16	17	1	—	36.2	36.3	4500	—	—	—	—	4	6	1	1	0.32	1.9	1									
30210	7210E	90	21.75	20	17	20	1.5	0.8	72.2	55.2	4300	57	58	83	86	3	5	1.5	1.5	0.42	1.4	0.8									
32210	7510E	90	24.75	23	19	21	1.5	0.8	84.8	68	4300	57	57	83	86	3	6	1.5	1.5	0.42	1.4	0.8									
30310	7310E	110	29.25	27	23	23	2.5	2	122	92.5	3800	60	65	100	103	4	6.5	2.1	2	0.35	1.7	1									
31310	27310E	110	29.25	27	19	35	2.5	2	102	73.8	3800	60	58	100	105	4	10.5	2.1	2	0.83	0.7	0.4									
32310	7610E	110	42.25	40	33	28	2.5	2	168	140	3800	60	61	100	102	5	9.5	2.1	2	0.35	1.7	1									
32011	2007111	55	20	19	16	17	1.5	1.5	—	53.2	51.8	4000	—	—	—	—	4	6	1.5	1.5	0.31	1.9	1.1								
30211	7211E	100	22.75	21	18	21	2	1.5	86.5	65.5	3800	64	64	91	95	4	5	2	1.5	0.4	1.5	0.8									
32211	7511E	100	26.75	25	21	22.5	2	1.5	102	81.5	3800	64	62	91	96	4	6	2	1.5	0.4	1.5	0.8									
30311	7311E	120	31.5	29	25	25	2.5	2	145	112	3400	65	70	110	112	4	6.5	2.1	2	0.35	1.7	1									
31311	27311E	120	31.5	29	21	38	2.5	2	122	90.5	3400	65	63	110	114	4	10.5	2.1	2	0.83	0.7	0.4									
32311	7611E	120	45.5	43	35	30.5	2.5	2	192	162	3400	65	66	110	111	5	10.5	2.1	2	0.35	1.7	1									

续表 22-24

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm										额定负荷 KN			极限转速 r/min			安装尺寸 mm										计算系数			质量 kg				
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>a</i>	$r_s$ min	$r_{1s}$ min	$r_{2s}$ min	$r_{2s}$ min	$C_r$	$C_{or}$	油脂 3000	油脂 4000	油脂 5000	$d_0$ min	$d_5$ max	$D_0$ min	$a_1$ min	$a_2$ min	$r_{1as}$ max	$r_{2as}$ max	$r_{3as}$ max	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y_0</i>								
30000	7000																																		
32012	2007912	60	85	17	16	14	18	1	1	1	1	28.8	31.5	4000	5000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.38	1.6	0.9				0.24			
32012	2007112		95	23	22	19	20	1.5	1.5	—	—	54	54.5	3800	4800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.33	1.8	1				0.56			
30212	7212E		110	23.75	22	19	22.4	2	1.5	0.8	97.8	74.5	3800	4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	1.5	0.8				0.934			
32212	7512E		110	29.75	28	24	24.9	2	1.5	0.8	125	102	3600	4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	1.5	0.8				1.197			
30312	7312E		130	33.5	31	26	26.5	3	2.5	1.2	162	125	3200	4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				1.94			
31312	27312E		130	33.5	31	22	41	3	2.5	1.2	138	102	3200	4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.83	0.7	0.4				1.896			
32312	7612E		130	48.5	46	37	32	3	2.5	1.2	215	180	3200	4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				2.88			
32013	2007113	65	100	23	22	19	21	1.5	1.5	—	—	55.8	57.5	3600	4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	0.9				0.63			
30213	7213E		120	24.75	23	20	24	2	1.5	0.8	112	86.2	3200	4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	1.5	0.8				1.132			
32213	7513E		120	32.75	31	27	27.2	2	1.5	0.8	152	125	3200	4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	1.5	0.8				1.58			
30313	7313E		140	36	33	28	29	3	2.5	1.2	185	142	2800	3600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				2.629			
31313	27313E		140	36	33	23	44	3	2.5	1.2	155	118	2800	3600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.83	0.7	0.4				2.406			
32313	7613E		140	51	48	39	34	3	2.5	1.2	245	208	2800	3600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				3.609			
32914	2007914	70	100	20	19	16	19	1	1	—	—	44.5	47.5	3600	4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.33	1.8	1				—			
32014	2007114		110	25	24	20	23	1.5	1.5	—	—	89.8	71.8	3400	4300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.34	1.3	1				0.85			
30214	7214E		125	26.25	24	21	25.9	2	1.5	0.8	125	97.5	3000	3800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	1.4	0.8				1.296			
32214	7514E		125	33.25	31	27	28.6	2	1.5	0.8	158	135	3000	3800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	1.4	0.8				1.62			
30314	7314E		150	38	35	30	30.6	3	2.5	1.2	208	162	2600	3400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				3.17			
31314	27314E		150	38	35	25	47	3	2.5	1.2	178	135	2600	3400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.83	0.7	0.4				3.032			
32314	7614E		150	54	51	42	36.5	3	2.5	1.2	285	242	2600	3400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				4.43			
32015	2007115	75	115	25	24	20	24	1.5	1.5	—	—	71.2	74.8	3200	4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	0.9				0.88			
30215	7215E		130	27.25	22	22	27.4	2	1.5	0.8	130	105	2800	3600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.44	1.4	0.8				1.384			
32215	7515E		130	33.25	31	27	30.2	2	1.5	0.8	160	135	2800	3600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.44	1.4	0.8				1.765			
30315	7315E		160	40	37	31	32	3	2.5	1.2	238	188	2400	3200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				3.342			
31315	27315E		160	40	37	26	50	3	2.5	1.2	170	150	2400	3200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.83	0.7	0.4				3.14			
32315	7615E		160	58	55	45	39	3	2.5	1.2	328	288	2400	3200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				5.316			
32016	2007116	80	125	20	27	23	20	1.5	1.5	—	—	86.5	90.8	3000	3800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.34	1.8	1				1.18			
20216	7216E		140	28.25	26	22	28	2.5	2	1	150.8	120	2600	3400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	1.4	0.8				1.65			
32216	7516E		140	35.25	33	28	31.3	2.5	2	1	188	158	2600	3400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	1.4	0.8				2.162			
30316	7316E		170	42.5	39	33	34	3	2.5	1.2	262	208	2200	3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.7	1				4.486			
31316	27316E		170	42.5	39	27	52.5	3	2.5	1.2	215	165	2200	3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.83	0.7	0.4				4.3			
32316	7616E		170	61.5	58	48	42	3	2.5	1.2	365	322	2200	3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.85	1.7	1				6.39			
32717	2007917	85	120	23	22	22	29	1.5	1.5	—	—	61.8	70.2	3400	3800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.26	2.3	1.3				0.73			







续表 22-24

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm											基本额定负荷 kN										极限转速 r/min		安装尺寸 mm											计算系数				质量 kg	
		d						a					C <sub>or</sub>		脂油润滑油		C <sub>r</sub>		mm																						
		D	T	B	C	a	r <sub>a</sub>	r <sub>10</sub>	r <sub>15</sub>	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂油	润滑油	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	d <sub>h</sub>	d <sub>6</sub>	D <sub>2</sub>	α <sub>i</sub>	α <sub>i</sub>	r <sub>10</sub>	r <sub>15</sub>	max	max	e	Y	Y <sub>0</sub>														
30000	7000																																								
30222	7222E	110	200	47	38	32	32	40.4	3	2.5	1.2	298	252	1700	2200	122	128	188	189	6	6	9	2.5	2.1	0.42	1.4	0.8	5.422													
30222	7522E	200	56	53	46	47.1	3	2.5	1.2	408	378	1700	2200	122	124	188	192	6	10	2.5	2.1	0.42	1.4	0.8	7.86																
30322	7322E	240	54.5	50	42	45	4	3	1.5	445	362	1400	1800	124	142	226	222	8	12.5	3	2.5	0.35	1.7	1	11.45																
31322	27322E	240	63	57	38	75	4	3	1.5	438	358	1400	1800	124	129	226	226	7	25	3	2.5	0.83	0.7	0.4	11.96																
32322	7622E	240	84.5	80	65	58	4	3	1.5	685	632	1400	1800	124	137	226	234	9	19.5	3	2.5	0.35	1.7	1	18.78																
32924	2007124	120	180	38	36	31	38	2.5	2	165	188	1700	2200	132	139	203	203	6	6	9	2.1	2	0.37	1.6	0.9	3.1															
30324	7224E	215	43.5	40	34	44.1	3	2.5	1.2	318	272	1500	1900	132	134	203	206	6	11.5	2.5	2.1	0.44	1.4	0.8	6.125																
32224	7524E	215	61.5	58	50	52.2	3	2.5	1.2	452	428	1500	1900	132	144	216	219	7	10	3	2.5	0.44	1.4	0.8	9.169																
30324	7324E	260	59.5	55	46	49	4	3	1.5	530	440	1300	1700	134	153	246	238	8	13.5	3	2.5	0.35	1.7	1	13.7																
31324	27324E	260	68	62	42	81.5	4	3	1.5	505	415	1300	1700	134	140	246	246	9	26	3	2.5	0.83	0.7	0.4	17.1																
32324	7624E	260	90.5	86	69	61.7	4	3	1.5	782	728	1300	1700	134	147	246	240	9	21.5	3	2.5	0.35	1.7	1	21.7																
32926	2007926	130	180	32	30	26	30	2	1.5	120	145	1700	2200	144	150	216	216	5	8	2	1.5	0.27	2.2	1.2	2.31																
32026	2007126	200	45	42	36	42	2.5	2	2	202	232	1600	2000	144	144	216	219	7	11	2.1	2	0.35	1.7	0.9	4.46																
30326	7226E	230	43.75	40	34	46.2	4	3	1.5	345	292	1400	1800	144	150	216	219	7	10	3	2.5	0.44	1.4	0.8	7.24																
32326	7526E	230	67.75	64	54	56.4	4	3	1.5	522	502	1400	1800	144	143	216	221	7	14	3	2.5	0.44	1.4	0.8	11.37																
30326	7326E	280	63.75	58	49	53	5	4	2	605	505	1100	1500	145	165	262	258	8	15	4	3	0.35	1.7	1	17.1																
31326	27326E	280	72	66	44	87	5	4	2	565	468	1100	1500	147	150	262	263	8	28	4	3	0.83	0.7	0.4	18.5																
32928	2007928	140	190	32	30	26	32	2	1.5	122	148	1600	2000	144	147	216	216	5	8	2	1.5	0.29	2.1	1.1	2.43																
32028	2007128	210	45	42	36	44	2.5	2	2	215	252	1400	1800	144	144	216	219	7	11	2.1	2	0.37	1.6	0.9	5.21																
30328	7228E	250	45.75	42	36	49	4	3	1.5	388	332	1200	1600	154	162	236	236	9	11	3	2.5	0.44	1.4	0.8	8.892																
32228	7528E	250	71.75	68	58	60	4	3	1.5	610	592	1200	1600	154	156	236	240	8	14	3	2.5	0.44	1.4	0.8	14.68																
30328	7328E	300	67.75	62	53	56.5	5	4	2	688	582	1000	1400	155	176	282	276	9	15	4	3	0.35	1.7	1	21.7																
31328	27328E	300	77	70	47	94	5	4	2	645	542	1000	1400	157	162	282	283	9	30	4	3	0.83	0.7	0.4	17.4																
32930	2007930	150	210	38	36	31	35.5	2.5	2	165	205	1400	1800	164	164	236	236	6	9	2.1	2	0.27	2.2	1.2	2.83																
32030	2007130	225	48	45	38	47	3	2.5	2	245	292	1300	1700	164	164	236	236	7	12	2.5	2.1	0.37	1.6	0.9	6.2																
30330	7230E	150	270	49	45	38	52.4	4	3	425	362	1100	1500	164	174	256	252	9	13	3	2.5	0.44	1.4	0.8	10.3																
32230	7530E	270	77	73	60	65	4	3	1.5	682	665	1100	1500	164	168	256	256	8	17	3	2.5	0.44	1.4	0.8	17.4																
30330	7330E	320	72	65	55	61.5	5	4	2	762	648	950	1300	165	190	302	294	9	17	4	3	0.35	1.7	1	27.4																
31330	27330E	320	82	75	50	100	5	4	2	735	625	950	1300	167	173	302	302	9	32	4	3	0.83	0.7	0.4	28.3																
32932	2007932	160	220	38	36	31	36	5	2	182	225	1300	1700	167	167	302	302	6	9	2.1	2	0.27	2.2	1.2	8.79																
32032	2007132	240	51	48	41	50	3	2.5	2	288	352	1200	1600	174	174	276	276	7	12	2.5	2.1	0.37	1.6	0.9	7.7																
30230	7232E	290	52	48	40	55.5	4	3	1.5	458	388	1000	1400	174	189	276	276	9	12	3	2.5	0.44	1.4	0.8	12.9																
32232	7532E	290	84	80	67	71	4	3	1.5	812	808	1000	1400	174	180	276	276	10	17	3	2.5	0.44	1.4	0.8	21.1																

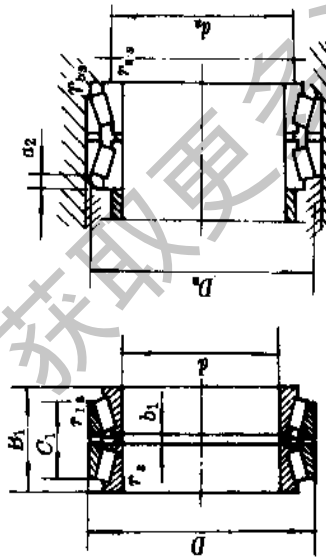
续表 22-24

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm										基本额定负荷 kN					极限转速 r/min		安装尺寸 mm										计算系数					质量 kg
		D	T	B	C	a	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	r <sub>2s</sub> min	r <sub>3s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑 油润滑	d <sub>s</sub> min	d <sub>b</sub> max	D <sub>b</sub> min	a <sub>1</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>1a</sub> max	r <sub>2a</sub> max	r <sub>3a</sub> max	e	Y	Y <sub>0</sub>										
30000	7000	160	340	75	68	58	63	5	4	2	835	712	900	1200	175	202	312	9	17	4	3	0.35	1.7	1	—									
30332	7332E	170	230	38	35	31	38	2.5	2	—	185	232	1200	1600	—	—	—	6	6	2.1	2	0.28	2.1	1.2	3.84									
32934	2007934	260	57	54	46	51	3	2.5	4	—	322	405	1100	1500	—	—	—	8	13	2.5	2.1	0.31	1.9	1.1	10.1									
30234	7234E	310	57	52	43	60.4	5	4	2	—	558	485	1000	1300	188	201	292	9	14	4	3	0.44	1.4	0.8	19									
32234	7534E	310	91	86	71	76	5	4	1.5	—	915	918	1000	1300	188	194	292	10	20	4	3	0.44	1.4	0.8	28.5									
30334	7334E	360	80	72	62	68	5	4	2	—	938	808	850	1100	185	214	342	10	18	4	3	0.35	1.7	1	34									
32056	2007136	180	280	64	60	52	63	3	2.5	—	418	495	1000	1400	—	—	—	8	14	2.5	2.1	0.4	1.5	0.8	14.7									
30236	7236E	320	57	52	43	62.8	5	4	2	—	575	508	900	1200	198	209	302	9	14	4	3	0.45	1.3	0.7	18.1									
32236	7536E	320	91	86	71	78.5	5	4	2	—	942	962	900	1200	198	201	302	10	20	4	3	0.45	1.3	0.7	28.2									
30336	7336E	380	83	75	64	71	5	4	2	—	1020	882	900	1100	198	228	362	10	19	4	3	0.35	1.7	1	—									
32938	2007938	190	260	45	42	36	52	2.5	2	—	245	322	1000	1400	—	—	—	7	11	2.1	2	0.38	1.6	0.9	6.52									
320138	2007138	290	64	60	52	56	3	2.5	—	—	418	518	950	1300	—	—	—	8	14	2.5	2.1	0.29	2.1	1.1	14.1									
30238	7238E	340	60	55	46	65	5	4	2	—	658	578	850	1100	208	223	322	9	14	4	3	0.44	1.4	0.8	21.7									
32238	7538E	340	97	92	75	82	5	4	2	—	1020	1020	850	1100	208	214	322	10	22	4	3	0.44	1.4	0.8	35.7									
32940	2007940	200	280	51	48	41	57	3	2.5	—	288	395	950	1300	—	—	—	7	12	2.5	2.1	0.39	1.5	0.8	8.86									
32040	2007140	310	70	66	56	67	3	2.5	—	—	480	622	900	1200	—	—	—	10	16	2.5	2.1	0.37	1.6	0.9	17.4									
30240	7240E	360	64	58	48	69.3	5	4	2	—	728	645	800	1000	218	236	342	9	16	4	3	0.44	1.4	0.8	25.7									
32240	7540E	360	104	98	82	85	5	4	2	—	1250	800	1000	1000	218	222	342	11	22	4	3	0.41	1.5	0.8	44.7									
32944	2007944	220	300	51	48	41	53	3	2.5	—	312	442	900	1200	—	—	—	7	12	2	2.1	0.31	1.9	1.1	10.1									
32044	2007144	340	76	72	62	71	4	3	—	—	585	740	800	1000	—	—	—	10	16	3.5	2.5	0.35	1.7	0.9	22.3									
32948	2007948	240	320	51	48	41	67	3	2.5	—	325	478	800	1000	—	—	—	7	12	2.5	2.1	0.45	1.3	0.7	10.9									
32048	2007148	350	76	72	62	70	4	3	—	—	592	790	700	900	—	—	—	10	16	3	2.5	0.32	1.9	1	25.5									
32952	2007952	260	360	63.5	60	52	64	3	2.5	—	438	642	700	900	—	—	—	8	14	2.5	2.1	0.3	—	—	19.2									
32052	2007152	400	87	82	71	76	5	4	—	—	752	1010	670	850	—	—	—	12	18	4	3	0.3	—	—	37.8									
32056	2007156	280	420	87	82	71	87	5	4	—	518	1080	600	750	—	—	—	12	18	4	3	0.37	1.6	0.9	39.6									
32960	2007960	300	420	76	72	62	72	4	3	—	648	948	600	750	—	—	—	10	16	3	2.5	0.28	2.1	1.1	30.3									
31060	2007160	460	100	95	82	90	5	4	—	—	882	1220	560	700	—	—	—	14	20	4	3	0.31	1.9	1.1	65.9									
32964	2007964	320	440	76	72	62	76	4	3	—	665	982	560	700	—	—	—	10	16	3	2.5	0.3	2	1.1	44.7									
32064	2007164	480	100	95	82	106	5	4	—	—	882	1220	530	670	—	—	—	14	20	4	3	0.42	1.4	0.8	59.9									
32968	2007968	340	460	76	72	62	80	4	3	—	672	1020	530	670	—	—	—	10	16	3	2.5	0.34	1.9	1.1	34.3									
32972	2007972	360	480	76	72	62	84	4	3	—	698	1080	500	630	—	—	—	10	16	3	2.5	0.33	1.8	1	35.8									

注 1. 代号后缀带 E 的为加强型圆锥滚子轴承,是近年来经过优化设计的结构,负荷能力高,在设计应用中应优先选用;

2. 表中所列轴承的基本额定动负荷 C<sub>r</sub>,是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢, C<sub>r</sub>可提高 20%~50%。

表 22-25 双列圆锥滚子轴承 (摘自 GB/T299—93 参照 ISO355—77/Add. 1—80)



当量动负荷

$$P_d = F_r + Y_1 F_a \quad \text{当 } F_a/F_r \leq e$$

$$P_d = 0.67 F_r + Y_2 F_a \quad \text{当 } F_a/F_r > e$$

当量静负荷

$$P_{0d} = F_r + Y_0 F_a$$

350000 型 (97000)

安装尺寸

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				计算系数			质量 kg				
		d	D	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	r <sub>1a</sub> min	r <sub>1b</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>as</sub> max	r <sub>bs</sub> max		e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
35000	97000																				
350305 B	297305E	25	62	42	31.5	1.5	0.6	66.5	53.5	4600	5600	32	59	5.5	1.5	0.6	0.83	0.8	1.2	0.8	—
350306 B	297306E	30	72	47	33.5	1.5	0.6	85	69.8	4000	5000	37	68	7	1.5	0.6	0.83	0.8	1.2	0.8	—
350307 B	297307E	35	80	51	35.5	2	0.6	108	88	3600	4500	44	76	8	2	0.6	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352208	97508E	40	80	55	43.5	1.5	0.6	128	115	3600	4500	47	75	6	1.5	0.6	0.37	1.8	2.7	1.8	—
350308	297308E		90	56	39.5	2	0.6	132	112	3200	4000	49	87	8.5	2	0.6	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352209	97509E	45	85	55	43.5	1.5	0.6	135	125	3200	4000	52	81	6	1.5	0.6	0.4	1.7	2.5	1.6	—
350309 B	297309E		100	60	41.5	2	0.6	152	130	2600	3600	54	96	9.5	2	0.6	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352210	97510E	50	90	55	43.5	1.5	0.6	145	135	3200	3800	57	86	6	1.5	0.6	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350310 B	297310E		110	64	43.5	2.5	0.6	175	148	2700	3400	60	105	10.5	2.1	0.6	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352211	97511E	55	100	60	48.5	2	0.6	175	162	2800	3400	64	96	6	2	0.6	0.4	1.7	2.5	1.6	—
350311 B	297311E		120	70	49	2.5	0.6	208	182	2400	3000	65	114	10.5	2.1	0.6	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352212	97512E	60	110	66	54.5	2	0.6	215	205	2600	3200	69	105	6	2	0.6	0.4	1.7	2.5	1.6	—
350312 B	297312E		130	74	51	3	1	235	205	2300	2800	72	124	11.5	2.5	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—

星星浏览器提醒您：  
使用本复制品，  
请尊重知识产权！

星星球

续表 22-25

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				计算系数			质量 kg				
		d	D	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	r <sub>s</sub> min	r <sub>1e</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>n</sub> min	D <sub>n</sub> min	α <sub>2</sub> min	r <sub>as</sub> max	r <sub>bs</sub> max		e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
35000	97000																				
352213	97513E	65	120	78	61.5	2	0.6	260	252	2200	3000	115	115	6	2	0.6	0.4	1.7	2.5	1.6	—
350313 B	297313E	140	140	79	53	3	1	268	235	2000	2600	77	134	13	2.5	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352214	97514E	70	125	74	61.5	2	0.6	272	268	2200	2800	79	120	6.5	2	0.6	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350314	297314E	150	150	83	57	3	1	302	268	1900	2400	82	143	13	2.5	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352215	97515E	75	130	74	61.5	2	0.6	275	272	2000	2600	84	126	6.5	2	0.6	0.44	1.6	2.3	1.5	—
350315 B	297315E	160	160	88	60	3	1	338	298	1700	2200	87	153	14	2.5	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352216	97516E	80	140	78	63.5	2.5	0.6	320	315	1900	2400	90	135	7.5	2.1	0.6	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350316 B	297316E	170	170	94	63	3	1	370	328	1600	2200	92	161	15.5	2.5	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352217	97517E	85	150	86	69	2.5	0.6	368	368	1700	2200	95	143	8.5	2.1	0.6	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350317 B	297317E	180	180	99	66	4	1	408	365	1400	2000	99	171	16.5	3	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352218	97518E	90	160	94	77	2.5	0.6	440	452	1600	2200	100	153	8.5	2.1	0.6	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350318 B	297318E	190	190	103	70	4	1	455	410	1300	1000	104	181	16.5	3	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352219	97519E	95	170	100	83	3	1	492	510	1400	2000	107	163	8.5	2.5	1	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350319 B	297319E	200	200	109	74	4	1	502	460	1300	1700	109	189	17.5	3	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352220	97520E	100	180	107	87	3	1	555	582	1400	1900	112	172	10	2.5	1	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350320 B	297320E	215	215	124	81	4	1	602	560	1100	1400	114	204	21.5	3	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352221	97521E	105	190	115	95	3	1	618	660	1300	1700	117	182	10	2.5	1	0.42	1.6	2.4	1.6	—
350321 B	297321E	225	225	127	83	4	1	640	602	1100	1400	119	213	22	3	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352122	2097722	110	180	95	70	2	0.6	335	428	1300	1700	120	173	10.5	2	0.6	0.25	2.7	4	2.6	10
352222	97522E	200	200	121	101	3	1	698	755	1200	1600	122	192	10	2.5	1	0.42	1.6	2.4	1.6	—
250322 B	297322E	240	240	137	87	4	1	752	718	1000	1300	124	226	25	3	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352124	2097724	120	200	110	90	2	0.6	442	572	1400	1500	130	194	11	2	0.6	0.3	2.2	3.3	2.2	12.6
352224	97524E	215	215	132	109	3	1	775	855	1100	1400	132	206	11.5	2.5	1	0.44	1.6	2.3	1.5	—
350324 B	297324E	260	260	148	96	4	1	862	832	900	1200	134	246	26	3	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352926X2	2097926	130	180	70	50	2	0.6	205	288	1200	1600	139	174	11	2	0.6	0.27	2.5	3.7	2.4	4.88
352026X2	2097126	200	200	95	75	2.5	0.6	348	462	1100	1500	140	194	11	2.1	0.6	0.35	1.9	2.9	1.9	9.72
352126	2097726	210	210	110	90	2	0.6	448	605	1000	1400	141	203	11	2	0.6	0.26	2.5	3.8	2.5	12.9
352226	975226E	230	230	145	117.5	4	1	895	1000	1000	1300	144	221	14	3	1	0.44	1.6	2.3	1.5	—
350326	297326E	280	280	156	100	5	1.1	968	968	800	1100	147	263	28	4	1	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352028	2097128	140	210	95	75	2.5	0.6	368	502	950	1300	150	204	11	2.1	0.6	0.37	1.8	2.7	1.8	8.35
352128	2097728	225	225	115	90	2.5	1	460	625	950	1300	151	217	13.5	2.1	1	0.34	2	3	2	15.3

续表 22-25

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm					极限转速 r/min			安装尺寸 mm				计算系数			质量 kg			
		d	D	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	r <sub>e</sub> min	r <sub>1s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>a</sub> min	D <sub>e</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>s</sub> max	r <sub>1s</sub> max		e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
35000	97000																			
352228	97528E	140	250	153	125.5	4	1	1050	1180	850	1100	154	240	14	3	1	0.44	1.6	2.3	1.5
350328	297328E	300	300	168	108	5	1.1	1110	1060	700	1000	157	283	30	4	1	0.83	0.8	1.2	0.8
352930	2097930	150	210	80	62	2.5	0.6	280	408	950	1300	159	204	10	2.1	0.6	0.27	2.5	3.7	2.4
352130	2097730	250	250	138	112	2.5	1	668	892	850	1100	163	242	14	2.1	1	0.3	2.2	3.3	2.2
352230	97530E	270	164	130	130	4	1	1170	1330	800	1100	164	256	17	3	1	0.44	1.6	2.3	1.5
350330	297330E	320	178	114	114	5	1.1	1260	1250	670	950	167	302	32	4	1	0.83	0.8	1.2	0.8
352032	2097132	160	240	115	90	3	1	498	705	850	1100	171	234	13.5	2.5	1	0.37	1.8	2.7	1.8
352132	2097732	270	150	150	120	2.5	1	712	948	800	1000	174	262	16	2.1	1	0.36	1.9	2.8	1.8
350332	97532E	290	178	144	144	4	1	1390	1620	700	1000	174	276	17	3	1	0.44	1.6	2.3	1.5
352934	2097934	170	230	82	65	2.5	0.6	325	488	850	1100	180	233	9.5	2.1	0.6	0.28	2.4	3.5	2.3
352034	2097134	260	120	120	95	3	1	552	812	800	1000	183	252	13.5	2.5	1	0.31	2.2	3.2	2.1
352134	2097734	280	150	150	120	2.5	1	775	1070	750	950	184	271	16	2.1	1	0.38	1.8	2.5	1.7
352234	97534E	310	192	152	152	5	1.1	1580	1840	730	950	188	206	20	4	1	0.44	1.6	2.3	1.5
352936	2097936	180	250	95	74	2.5	0.6	385	575	800	1000	190	243	11.5	2.1	0.6	0.37	1.8	2.7	1.8
352036	2097136	280	134	134	108	3	1	610	858	750	950	191	272	14	2.5	1	0.28	2.4	3.6	2.4
352136	2097736	300	164	134	134	3	1	778	1140	700	900	196	287	16	2.5	1	0.26	2.6	3.8	2.6
352236	97536E	320	192	152	152	5	1.1	1620	1920	670	850	198	306	20	4	1	0.45	1.5	2.2	1.5
352938	2097938	190	260	95	75	2.5	0.6	418	648	750	950	200	253	11	2.1	0.6	0.38	1.8	2.6	1.7
352038	2097138	290	134	134	104	3	1	610	858	700	900	202	282	16	2.5	1	0.45	1.5	2.2	1.5
352138	2097738	320	170	130	130	3	1	958	1360	670	850	207	306	21	2.5	1	0.31	2.2	3.2	2.1
352238	97538E	340	204	160	160	5	1.1	1740	2020	600	800	208	326	22	4	1	0.44	1.6	2.3	1.5
352940	2097940	200	280	105	80	3	1	498	792	700	900	211	273	13.5	2.5	1	0.39	1.8	2.6	1.7
352040	2097140	310	152	152	120	3	1	748	1190	670	850	212	300	17	2.5	1	0.39	1.7	2.6	1.7
352140	2097740	340	184	150	150	3	1	1190	1670	630	800	220	326	18	2.5	1	0.25	2.7	4	2.7
352240	97540E	360	218	174	174	5	1.1	2140	2500	560	700	218	342	22	4	1	0.41	1.7	2.5	1.6
352944	2097944	220	300	110	88	3	1	505	815	670	850	231	292	12	2.5	1	0.31	2.2	3.2	2.1
352044	2097144	340	165	165	130	4	1	1020	1490	600	750	234	331	18.5	3	1	0.35	1.9	2.9	1.9
352144	2097744	370	195	150	150	4	1.1	1260	1780	600	750	238	356	23.5	3	1	0.37	1.8	2.7	1.8
352948	2097948	240	320	110	90	3	1	505	815	600	750	251	312	11	2.5	1	0.32	2.1	3.1	2.1
352048	2097148	360	165	165	130	4	1	1020	1570	530	670	256	349	18.5	3	1	0.33	2	3	2
352148	2097748	400	210	163	163	4	1.1	1550	2230	500	630	261	384	25	3	1	0.31	2.2	3.2	2.1



续表 22-25

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm				极限转速 r/min		安装尺寸 mm				计算系数				质量 kg					
		d	D	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>1s</sub> max		r <sub>1s</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
35000	97000																				
352952	2097952	260	360	134	108	3	1	832	1350	530	670	274	350	14.5	2.5	1	0.37	1.8	2.7	1.8	37
352052	2097152		400	186	146	5	1.1	1290	2000	500	680	277	386	21.5	4	1	0.31	2.3	3.3	2.2	79.3
352152	2097752		440	225	180	4	1.1	1810	2620	450	560	284	421	24	3	1	0.24	2.8	4.2	2.8	124
352956	2097956	280	380	134	108	3	1	875	1450	480	600	294	371	14.5	2.5	1	0.29	2.3	3.4	2.3	41.3
352056	2097156		420	186	146	5	1.1	1400	2160	450	560	297	409	21.5	4	1	0.37	1.8	2.7	1.8	81.5
352960	2097960	300	420	180	128	4	1	1120	1900	450	560	317	408	17.5	3	1	0.28	2.4	3.6	2.3	60.8
352060	2097160		460	210	125	5	1.1	1500	2440	430	530	320	445	24	4	1	0.31	2.2	3.2	2.1	117
351160	1097760		500	205	165	5	1.5	1720	2450	400	500	327	480	28	4	1.5	0.32	2.1	3.2	2.1	143
352964	2097964	320	440	160	128	4	1	1150	2000	430	530	335	427	17.5	3	1	0.3	2.3	3.3	2.2	67
352064	2097164		480	210	160	5	1.1	1500	2440	400	500	340	468	25.5	4	1	0.42	1.6	2.4	1.6	122
352968	2097968	340	480	160	128	4	1	1170	2080	400	500	355	448	17.5	3	1	0.31	2.2	3.2	2.1	71
351068	97168		520	180	135	5	1.5	1530	2200	380	480	360	501	24	4	1.5	0.29	2.3	3.4	2.3	128
351168	1097768		580	242	170	5	1.5	2340	3290	340	430	365	555	37.5	4	1.5	0.42	1.5	2.4	1.6	235
352972	2097972	360	480	160	128	4	1	1210	2190	380	480	376	468	17.5	3	1	0.33	2.1	3.1	2	74.3
351072	97172		540	185	140	5	1.5	1600	2360	360	450	380	522	24	4	1.5	0.3	2.3	3.3	2.2	132
351172	1097772		600	242	170	5	1.5	2370	3390	320	400	390	572	37.5	4	1.5	0.44	1.5	2.3	1.5	235
351976	1097976	380	520	145	105	4	1.1	992	1540	360	450	402	505	21.5	3	1	0.43	1.6	2.3	1.6	80.3
351076	97176		560	190	140	5	1.5	1740	2670	340	430	406	542	26.5	4	1.5	0.31	2.2	3.2	2.1	146
351176	1097776		620	242	170	5	1.5	2690	4050	300	380	405	598	37.5	4	1.5	0.46	1.5	3.2	1.4	264
351980	1097980	400	540	150(145)	105	4	1.1	992	1540	320	400	420	525	21.5	3	1	0.45	1.5	2.2	1.5	86.9
351080	97180		600	206	150	5	1.5	2010	3180	300	380	420	580	29.5	4	1.5	0.4	1.7	2.5	1.7	180
351984	1097984	420	560	145	105	4	1.1	1100	1970	300	380	440	546	21.5	3	1	0.31	2.2	3.2	2.1	88.8
351084	97184		620	206	150	5	1.5	2010	3180	280	360	448	601	29.5	4	1.5	0.41	1.6	2.5	1.6	196
351184	1097784	420	700	275	200	6	2.5	3370	5130	240	320	460	670	39	5	2.5	0.32	2.1	3.2	2.1	332
351988	1097988	440	600	170(165)	125	4	1.1	1550	2560	280	360	462	585	21.5(24)	3	1	0.39	1.8	2.6	1.7	114
351088	97188		650	212	152	6	2.5	2240	3710	260	340	460	629	31.5	5	2.1	0.43	1.6	2.3	1.5	213
351992	1097992	460	620	174(170)	130(125)	4	1.1	1570	2630	260	340	480	605	23.5(24)	3	1	0.4	1.7	2.5	1.7	128
351092	97192		680	230	175	6	2.5	2420	3740	220	300	489	657	29	5	2.1	0.31	2.2	3.2	2.1	253



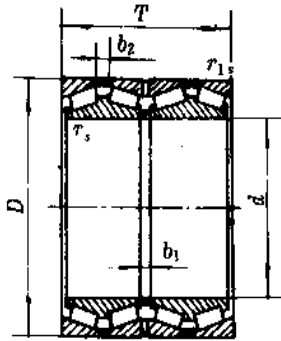
续表 22-25

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm				极限转速 r/min		安装尺寸 mm					计算系数			质量 kg					
		d	D	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	r <sub>a</sub> min	r <sub>is</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	油脂清	油润滑	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>as</sub> max		r <sub>bs</sub> max	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
35000	97000																				
351996	1097996	480	650	180	130	5	1.5	1600	2730	240	320	502	633	26.5	4	1.5	0.42	1.6	2.4	1.6	133
351096	97196	700	240(230)	180(175)		6	2.5	2730	4430	200	280	511	677	31.5(29)	5	2.1	0.32	2.1	3.1	2.1	281
351196	1097796	790	310	224		7.5	3	4110	6510	180	240	520	755	44.5	6	2.5	0.41	1.6	2.5	1.6	—
3519/500	10979/500	500	670	180	130	5	1.5	1760	3120	220	300	524	650	26.5	4	1.6	0.44	1.5	2.3	1.5	129
3510/500	971/500	500	720	236	180	9	2.5	2780	4570	190	260	530	700	29.5	5	2.1	0.33	2	3	2	239
3519/530	10979/530	530	710	190	136	5	1.5	1060	3390	190	260	554	693	28.5	4	1.5	0.41	1.6	2.5	1.6	192
3519/560	10979/560	560	750	213	156	5	1.5	2090	3720	170	220	586	731	30	4	1.5	0.44	1.5	2.3	1.5	235
3510/580	971/580	820	260	185		6	2.5	3570	5760	160	200	594	795	39	5	2.1	0.4	1.7	2.5	1.7	410
3519/600	10979/600	600	800	205	156	5	1.5	2580	4860	150	190	625	779	26	4	1.5	0.33	2.1	3.1	2	265
3510/600	971/600	870	270	198		6	2.5	3980	6670	130	170	630	845	37.5	5	2.1	0.41	1.6	2.5	1.6	500
3519/630	10979/630	630	850	242	182	6	2.5	3060	5470	130	170	657	829	31.5	5	2.1	0.4	1.7	2.5	1.7	368
3511/670	10977/670	670	1090	410	295(296)	7.5	3	7940	1290	90	120	719	1050	59(58.5)	6	2.5	0.32	2.1	3.2	2.1	1370
3519/710	10979/710	710	950	240	175	6	2.5	3310	6400	100	140	743	925	34	5	2.1	0.40	1.5	2.2	1.4	444
3510/710	971/710	1030	315	220		7.5	3	5360	9390	90	120	752	1000	49	6	2.5	0.43	1.6	2.3	1.5	810
3519/750	10979/750	750	1000	264(255)	104(190)	6	2.5	4010	7450	90	120	783	978	36.5(34)	5	2.1	0.4	1.7	2.5	1.6	499
3519/800	10979/800	800	1060	270	204	6	2.5	4010	7920	80	100	838	1031	34.5	5	2.1	0.35	1.9	2.9	1.9	504
3519/850	10979/850	850	1120	268	188(190)	6	2.5	4070	8260	75	95	886	1093	40.5(41.5)	5	2.1	0.46	1.5	2.2	1.5	636
3519/900	10979/900	900	1180	275	205	6	2.5	3640	8260	70	90	940	1146	36.5	5	2.1	0.39	1.7	2.6	1.7	730
3519/950	10979/950	950	1250	300	220	7.5	3	4920	10800	—	—	994	1220	41.5	6	2.5	0.33	2	3	2	910
3519/1120	10979/1120	1120	1460	335	250	—	—	6070	13700	—	—	1170	1427	44	—	—	0.35	1.9	2.9	1.9	1344

注：表中所列轴承的基本额定动负荷 C<sub>r</sub>，是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 10%，采用电渣重熔轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 20%~50%。



表 22-26 四列圆锥滚子轴承(摘自 GB/T 300 93)



当量动负荷

$$P_r = F_r + Y_1 F_a \quad \text{当 } F_a/F_r \leq e$$

$$P_r = 0.67 F_r + Y_2 F_a \quad \text{当 } F_a/F_r > e$$

当量静负荷

$$P_{0r} = F_r + Y_0 F_a$$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

38000 型(77000)

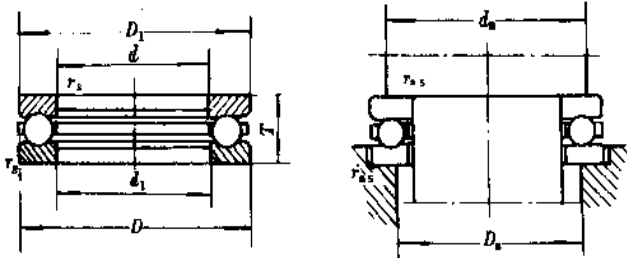
新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm						基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		计算系数				质量 kg	
		d	D	T	r <sub>s</sub>	r <sub>1b</sub>	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>			
380000	77000																
382930	2077930E	150	210	165	2.5	2	440	845	800	1000	0.27	2.5	3.7	2.4	21.2		
382034	2077134E	170	260	230	3	2.5	908	172	670	850	0.44	1.5	2.3	1.5	39.5		
382044	2077144E	220	340	305	4	3	1500	3020	500	630	0.35	1.9	2.8	1.9	98		
382048	2077148E	240	360	310	4	3	1530	3120	450	560	0.31	2.2	3.2	2.1	91		
381050	77150	250	385	255	5	4	1390	2570	430	530	0.38	1.8	2.6	1.7	108		
382952	2077952E	260	360	265	3	2.5	1270	2710	450	560	0.37	1.8	2.7	1.8	76.3		
382052	2077152E	400	345	5	4	1970	3970	430	530	530	0.29	2.3	3.4	2.3	153		
381156	1077756	280	460	324	5	4	2190	4050	360	450	0.33	2.1	3.1	2	200		
382960	2077960E	300	420	300	4	3	1690	3730	380	480	0.29	2.3	3.4	2.3	130		
382060	2077160E		460	390	5	4	2310	4880	360	450	0.31	2.2	3.2	2.1	219		
381160	1077760		500	370	5	4	2610	4840	340	430	0.32	2.1	3.2	2.1	285		
382064	2077164	320	480	380	5	4	2310	4880	340	430	0.42	1.6	2.4	1.6	234		
382968	2077968E	340	460	310	4	4	1770	4130	340	430	0.31	2.2	2.2	2.1	145		
381068	77168		520	325	5	4	2310	4340	320	400	0.29	2.3	3.4	2.3	234		
381168	1077768		580	425	5	4	3530	6500	280	360	0.42	1.6	2.4	1.6	441		
381072	77172	360	540	325	5	4	2430	4670	300	380	0.3	2.3	2.3	2.2	248		
381176	1077776	380	620	420	5	4	3630	6860	240	320	0.46	1.5	2.2	1.4	487		
381080	77180	400	600	356	5	4	3000	6080	240	320	0.4	1.7	2.5	1.7	317		
381184	1077784	420	700	480	6	5	5220	10300	190	260	0.32	2.1	3.2	2.1	760		
381088	77188	440	650	376	6	5	3090	6480	190	260	0.43	1.6	2.3	1.5	401		
381992	1077992	460	620	310	4	3	2430	5250	200	280	0.4	1.7	2.5	1.7	173		
381092	77192		680	410	6	5	3710	7490	180	240	0.31	2.2	3.2	2.1	476		
381996	1077996	480	650	338	5	4	2450	5400	190	260	0.42	1.6	2.4	1.6	301		
381096	77196		700	420	6	5	4230	9000	170	220	0.32	2.1	3.1	2.1	547		
3810500	771500	500	720	420	6	5	4250	9120	160	200	0.33	2.1	3.1	2	565		
3810500	771530	530	780	450	6	5	5430	11400	140	180	0.38	1.8	2.6	1.7	744		
3811530	10777530		870	590	7.5	6	7170	14500	120	160	0.46	1.5	2.2	1.4	1422		
3819560	10779560	560	750	368	5	4	3170	7410	140	180	0.43	1.6	2.3	1.5	456		
3811560	10777560		920	620	7.5	6	8670	14500	100	140	0.39	1.7	2.6	1.7	1635		
3819600	10779600	600	800	380	5	4	3950	9710	120	160	0.33	2.1	3.1	2	536		
3810600	771600		870	480	6	5	6000	13300	100	140	0.41	1.7	2.5	1.6	995		
3811600	10777600		980	650	7.5	6	9840	20400	90	120	0.32	2.1	3.2	2.1	1970		
3819630	10779630	630	850	426	6	5	4670	11000	100	140	0.4	1.7	2.5	1.7	720		
3810630	771630		920	515	7.5	6	6650	14900	95	130	0.42	1.6	2.4	1.6	1158		
3811630	10777630		1030	670	7.5	6	11100	22200	85	110	0.3	2.2	3.3	2.2	2201		
3819670	10779670	670	900	412	6	5	5030	12400	95	130	0.44	1.5	2.3	1.5	959		
3811670	10777670		1090	710	7.5	6	12100	22200	75	95	0.32	2.1	3.2	2.1	2665		
3810710	771710	710	1030	555	7.5	6	8190	18800	75	95	0.43	1.6	2.3	1.5	1568		
3811710	10777710		1150	750	9.5	8	13200	28300	67	85	0.32	2.1	3.2	2.1	3227		
3810750	771750	750	1090	605	7.5	6	9650	22300	70	90	0.43	1.6	2.4	1.6	1874		
3811750	10777750		1220	840	9.5	8	16900	37800	48	80	0.32	2.1	3.2	2.1	3994		
3820950	20771950	950	1360	880	7.5	6	17000	44200	-	-	0.26	2.6	3.8	2.6	4087		
38201060	207711060	1060	1500	1000	9.5	8	21300	56300	-	-	0.26	2.6	3.8	2.6	5896		

注：表中所示轴承的基本额定动负荷 C<sub>r</sub>，是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 10%，采用电渣重熔轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 20%~50%。

3.4 推力轴承

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 22-27 单向平底推力球轴承(摘自 GB/T 301-93,eqv ISO 10479)



轴向当量动负荷

$$P_a = F_a$$

轴向当量静负荷

$$P_{0a} = F_a$$

50000 型(8000)

安装尺寸

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸/mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		最小负 荷常数	安装尺寸 mm						质 量 kg	
		d	D	T	C <sub>a</sub>	C <sub>0a</sub>	脂润滑	油润滑		A	d <sub>1</sub> min	D <sub>1</sub> max	r <sub>s</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>2</sub> max		r <sub>0a</sub> max
50000	8000																
51100	8100	10	24	9	7.22	10.0	6300	9000	0.002	11	24	0.3	18	16	0.3	0.02	
51200	8200		26	11	9.78	13.5	6000	8000	0.003	12	26	0.6	20	16	0.6	0.03	
51101	8101	12	26	9	7.45	11.2	6000	8500	0.002	13	26	0.3	20	18	0.3	0.022	
51201	8201		28	11	10.2	15.2	5300	7500	0.003	14	28	0.6	22	18	0.6	0.035	
51102	8102	15	28	9	8.15	13.5	5600	8000	0.003	16	28	0.3	23	20	0.3	0.024	
51202	8202		32	12	12.2	19.5	4800	6700	0.005	17	32	0.6	25	22	0.5	0.045	
51103	8103	17	30	9	8.35	14.5	5300	7500	0.003	18	30	0.3	25	22	0.3	0.030	
51203	8203		35	12	13.2	21.8	4500	6300	0.006	19	35	0.6	28	24	0.6	0.053	
51104	8104	20	35	10	11.0	19.8	4800	6700	0.005	21	35	0.3	29	26	0.3	0.040	
51204	8204		40	14	16.2	27.5	3800	5300	0.009	22	40	0.6	32	28	0.6	0.08	
51304	8304		47	18	27.0	44.5	3600	4500	0.022	22	47	1	36	31	1		
51105	8105	25	42	11	11.8	24.2	4300	6000	0.007	26	42	0.6	35	32	0.6	0.06	
51205	8205		47	15	21.2	40.2	3400	4800	0.018	27	47	0.6	38	34	0.6	0.12	
51305	8305		52	18	27.5	49.0	3000	4300	0.026	27	52	1	41	36	1	0.18	
51405	8405		60	24	42.8	71.2	2200	3400	0.053	24	60	1	46	39	1	0.34	
51106	8106	30	47	11	12.2	27.2	4000	5600	0.009	32	47	0.6	40	37	0.6	0.07	
51206	8206		52	16	21.5	43.2	3200	4500	0.02	32	52	0.6	43	39	0.6	0.14	
51306	8306		60	21	36.2	66.8	2400	3600	0.046	32	60	1	48	42	1	0.27	
51406	8406		70	28	52.2	90.2	1900	3000	0.084	32	70	1	54	46	1	0.53	
51107	8107	35	52	12	15.8	35.8	3800	5300	0.014	37	52	0.6	45	42	0.6	0.08	
51207	8207		62	18	30.2	62.5	2800	4000	0.04	37	62	1	51	46	1	0.22	
51307	8307		68	24	42.8	83.5	2000	3200	0.072	37	68	1	55	48	1	0.39	
51407	8407		80	32	69.2	122	1700	2600	0.17	37	80	1.1	62	53	1	0.82	
51108	8108	40	60	13	20.2	50.2	3400	4800	0.027	42	60	0.6	52	48	0.6	0.12	
51208	8208		68	19	34.5	73.2	2400	3600	0.055	42	68	1	57	51	1	0.27	
51308	8308		78	26	53.5	108	1900	3000	0.13	42	78	1	63	55	1	0.55	
51408	8408		90	36	86.8	165	1500	2200	0.275	42	90	1.1	70	60	1	1.18	
51109	8109	45	65	14	20.2	50.2	3200	4500	0.027	47	65	0.6	57	53	0.6	0.15	
51209	8209		73	20	36.8	83.8	2200	3400	0.072	47	73	1	62	56	1	0.32	
51309	8309		85	28	58.5	120	1700	2600	0.148	47	85	1	69	61	1	0.69	
51409	8409		100	39	108	208	1400	2000	0.442	47	100	1.1	78	67	1	1.64	
51110	8110	50	70	14	20.8	55.2	3000	4300	0.032	52	70	0.6	62	58	0.6	0.16	
51210	8210		78	22	41.8	97.0	2000	3200	0.097	52	78	1	67	61	1	0.39	
51310	8310		95	31	74.5	162	1000	2400	0.266	52	95	1.1	77	68	1	1.00	
51401	8410		110	43	125	242	1300	1900	0.589	52	110	1.5	86	74	1.5	1.99	
51111	8111	55	78	16	30.0	81.5	2800	4000	0.068	57	78	0.6	69	64	0.6	0.24	
51211	8211		90	25	53.5	128	1900	3000	0.168	57	90	1	76	69	1	0.61	
51311	8311		105	35	91.8	195	1500	2200	0.393	57	105	1.1	85	75	1	1.34	
51411	8411		120	48	148	285	1100	1700	0.834	57	120	1.5	94	81	1.5	2.6	

招星阅览器提醒您：  
 请尊重知识产权！  
 未经许可，不得转载。  
 续表 22-27

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		最小负 荷常数	安装尺寸 mm						质 量 kg	
		d	D	T	C <sub>r</sub>	C <sub>os</sub>	脂润滑	油润滑		A	d <sub>1</sub> min	D <sub>1</sub> max	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max		r <sub>as</sub> max
50000	8000																
51112	8112	60	85	17	30.2	82.5	2600	3800	0.07	62	85	1	75	70	1	0.29	
51212	8212		95	26	56.8	142	1800	2800	0.207	62	95	1	81	74	1	0.69	
51312	8312		110	35	95.2	212	1400	2000	0.462	62	110	1.1	90	80	1	1.43	
51412	8412		130	51	172	358	1000	1600	1.326	62	130	1.5	102	88	1.5	3.3	
51113	8113	65	90	18	35.5	98.0	2400	3600	0.099	67	90	1	80	75	1	0.34	
51213	8213		100	27	50.8	150	1700	2600	0.226	67	100	1	86	79	1	0.77	
51313	8313		115	36	118	250	1300	1900	0.638	67	115	1.1	95	85	1	1.57	
51413	8413		140	56	175	380	900	1400	1.48	68	140	2	110	95	2	4.20	
51114	8114	70	95	18	36.8	108	2200	3400	0.119	72	95	1	85	80	1	0.36	
51214	8214		105	27	56.8	150	1600	2400	0.226	72	105	1	91	84	1	0.81	
51314	8314		125	40	118	272	1200	1800	0.756	72	125	1.1	103	92	1	2.10	
51414	8414		150	60	198	448	850	1300	2.07	73	150	2	118	102	2	5.18	
51115	8115	75	100	19	37.2	112	2000	3200	0.128	77	100	1	90	85	1	0.42	
51215	8215		110	27	63.2	170	1500	2200	0.295	77	110	1	95	89	1	0.86	
51315	8315		135	44	135	315	1100	1700	1.04	77	135	1.5	111	99	1.5	2.7	
51415	8415		160	65	232	545	800	1200	3.05	78	160	2	125	110	2	6.97	
51116	8116	80	105	19	37.5	115	1900	3000	0.138	82	105	1	95	90	1	0.43	
51216	8216		115	28	64.5	178	1400	2000	0.324	82	115	1	101	94	1	0.95	
51316	8316		140	44	138	340	1000	1600	1.19	82	140	1.5	116	104	1.5	2.80	
51416	8416		170	68	245	602	750	1100	3.726	83	170	2.1	133	117	2	7.11	
51117	8117	85	110	19	37.8	122	1800	2800	0.148	87	110	1	100	95	1	0.46	
51217	8217		125	31	85.5	235	1300	1900	0.56	88	125	1	109	101	1	1.30	
51317	8317		150	49	172	412	950	1500	1.766	88	150	1.5	124	111	1.5	3.70	
51417	8417		180	72	260	655	700	1000	4.42	88	177	2.1	141	124	2	9.50	
51118	8118	90	120	22	50.0	158	1700	2600	0.256	92	120	1	108	102	1	0.68	
51218	8218		135	35	99.2	270	1200	1800	0.716	93	135	1.1	117	108	1	1.77	
51318	8318		155	50	178	445	900	1400	0.202	93	155	1.5	129	116	1.5	3.90	
51418	8418		190	77	295	775	670	950	6.09	93	187	2.1	149	131	2	11.2	
51120	8120	100	135	25	62.2	198	1600	2400	0.403	102	135	1	121	114	1	1.00	
51220	8220		150	38	125	348	1100	1700	1.226	103	150	1.1	130	120	1	2.40	
51320	8320		170	55	212	562	800	1200	3.236	103	170	1.5	142	128	1.5	5.10	
51420	8420		210	85	348	970	600	850	9.606	104	205	3	165	145	2.5	14.9	
51122	8122	110	145	25	64.0	215	1500	2200	0.48	112	145	1	131	124	1	1.08	
51222	8222		160	38	128	388	1000	1600	1.58	113	160	1.1	140	130	1	2.60	
51322	8322		190	63	235	642	700	1100	4.216	113	187	2	158	142	2	7.90	
51422	8422		230	95	378	1115	530	750	12.7	113	225	3	181	159	2.5	—	
51124	8124	120	155	25	62.5	215	1400	2000	0.48	122	155	1	141	134	1	1.16	
51224	8224		170	39	128	388	950	1500	1.58	123	170	1.1	150	140	1	2.90	
51324	8324		210	70	268	778	670	950	6.176	123	205	2.1	173	157	2	10.9	
51126	8126	130	170	30	87.5	302	1300	1900	0.922	132	170	1	154	146	1	1.87	
51226	8226		190	45	178	528	900	1400	2.85	133	187	1.5	166	154	1.5	4.20	
51326	8326		225	75	282	852	600	850	7.36	134	220	2.1	186	169	2	13.3	
51426	8426		270	110	485	1605	430	600	26.3	134	265	4	212	188	3	32.0	
51128	8128	140	180	31	87.8	312	1200	1800	0.99	142	178	1	164	156	1	2.10	
51228	8228		200	46	180	558	850	1300	3.15	143	197	1.5	176	164	1.5	4.50	
51328	8328		240	80	318	1005	560	800	10.4	144	235	2.1	199	181	2	15.9	
51428	8428		280	112	485	1605	400	560	26.3	144	275	4	222	198	3	32.2	
51130	8130	150	190	31	88.2	325	1100	1700	1.09	152	188	1	174	166	1	2.20	
51230	8230		215	50	202	632	800	1200	4.13	152	212	1.5	189	176	1.5	5.80	
51330	8330		250	80	330	1082	530	750	12	154	245	2.1	209	191	2	16.7	
51430	8430		300	120	518	1788	380	530	32.46	154	295	4	238	212	3	38.2	



超星阅览 续表 22-27  
 超星阅览 超星为你  
 本资料复制品 请尊重知识产权

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		最小负 荷常数	安装尺寸 mm						质 量 kg	
		d	D	T	C <sub>0</sub>	C <sub>0a</sub>	脂润滑	油润滑		A	d <sub>1</sub> min	D <sub>1</sub> max	r <sub>s</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max		r <sub>as</sub> max
50000	8000																
51132	8132	160	200	31	90.8	348	1000	1600	1.276	162	198	1	184	176	1	2.30	
51232	8232		225	51	205	665	750	1100	4.52	163	222	1.5	199	186	1.5	6.70	
51332	8332		270	87	362	1262	500	700	16.3	164	265	3	225	205	2.5	21.5	
51134	8134	170	215	34	102	395	950	1500	1.58	172	213	1.1	197	188	1	3.30	
51234	8234		240	55	215	715	700	1000	5.196	173	237	1.5	212	198	1.5	8.30	
51334	8334		280	87	362	1262	480	670	16.3	174	275	3	235	215	2.5	22.5	
51136	8136	180	225	34	122	478	900	1400	2.356	183	222	1.1	207	198	1	3.50	
51236	8236		250	56	228	788	670	950	6.276	183	247	1.5	222	208	1.5	8.90	
51336	8336		300	95	398	1455	430	600	21.7	184	295	3	251	229	2.5	28.7	
51138	8138	190	240	37	138	535	850	1300	2.95	193	237	1.1	220	210	1	4.10	
51238	8238		270	62	275	990	630	900	10	194	267	2	238	222	2	11.9	
51338	8338		320	105	468	1772	400	560	31.96	195	315	4	266	244	3	41.1	
51140	8140	200	250	37	142	572	800	1200	3.336	203	247	1.1	230	220	1	4.20	
51240	8240		280	62	280	992	600	850	11	204	277	2	248	232	2	12.4	
51340	8340		340	110	510	2002	360	500	40.9	205	335	4	282	258	3	44	
51144	8144	220	270	37	145	625	750	1100	3.93	223	267	1.1	250	240	1	4.60	
51244	8244		300	63	282	992	560	800	11	224	297	2	268	252	2	13.7	
51148	8148	240	300	45	198	832	700	1000	7.07	243	297	1.5	276	264	1.5	7.6	
51248	8248		340	78	360	1492	450	630	22.66	244	335	2.1	299	281	2	23.6	
51348	8348		380	112	532	2288	320	450	53.26	245	375	4			3	51	
51152	8152	260	320	45	208	910	670	950	8.44	263	317	1.5	296	284	1.5	8.10	
51252	8252		360	79	375	1640	430	600	27.46	264	355	2.1	319	301	2	25.5	
51156	8156	280	350	53	260	1145	560	800	13.36	283	347	2.5	332	308	1.5	12.2	
51256	8256		380	80	378	1710	400	560	29.8	284	375	2.1	339	321	2	27.8	
51160	8160	300	380	62	320	1485	500	700	22.46	304	376	2	348	332	2	17.5	
51260	8260		420	95	452	2130	360	560	46.2	304	415	3	371	349	2.5	42.5	
51164	8164	320	400	63	322	1530	480	670	23.91	324	396	2	368	352	2	18.9	
51264	8264		440	95	472	2330	340	480	55.2	325	435	3	391	369	2.5		
51168	8168	340	420	64	330	1630	450	630	27.16	344	416	2	388	372	2	20.5	
51268	8268		460	96	478	2430	320	450	59.9	345	455	3	411	389	2.5	52	
51368	8368		540	160	862	4560	150	220	211.8	345	535	5			4	145	
51172	8172	360	440	65	332	1680	430	600	28.86	364	436	2	408	392	2	22	
51272	8272		500	110	598	3150	260	380	101	365	495	4	442	418	3	70.9	
51180	8180	400	480	65	348	1880	400	560	36	404	476	2			2	23.7	
51280	8280		540	112	618	3430	220	340	119.5	405	535	4			3	76	
51184	8184	420	500	65	355	1980	380	530	39.91	424	495	2			2	25.2	
51288	8288	440	600	130	622	3530	180	280	126.3	445	595	5	561	479	4	112	
51192	8192	460	560	80	445	2638	320	450	70.7	464	555	2.1			2	43	
51292	8292		620	130	688	4170	170	260	176.6	465	615	5			4	119	
51196	8196	480	580	80	455	2778	300	430	78.5	484	575	2.1			2	43.9	
511/500	81/500	500	600	80	458	2852	280	400	82.66	504	595	2.1			2		
512/500	82/500		670	135	785	4948	150	220	248.4	505	665	5			4		
511/530	81/530	530	640	85	545	3485	260	380	123.6	534	635	3			2.5		
512/630	82/630	630	850	175	1022	7412	100	160	558.7	635	845	6			5		
511/670	81/670	670	800	105	662	4018	160	240	164.7	674	795	4			3		
511/750	81/750	750	900	90	590	4685	160	240	223	755	895	4			3		

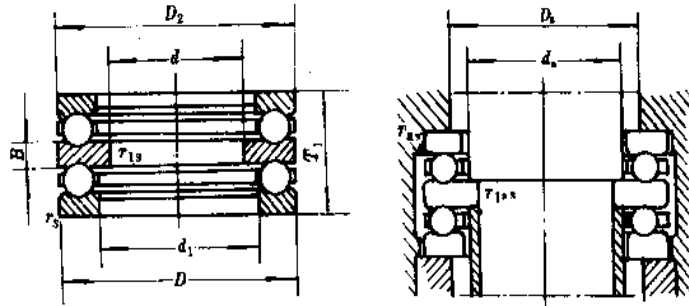
注:1. 最小轴向负荷:  $F_{amin} \geq A \left( \frac{n}{1000} \right)^2$  kN

n——转速 r/min.

2. 表中所示轴承的基本额定动负荷 C<sub>0</sub>, 是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢, C<sub>0</sub> 可提高 30%, 如采用电液重熔轴承钢, C<sub>0</sub> 可提高 60%~70%。

表 22-28 双向平底推力球轴承(摘自 GB/T 301—93, 等效 ISO104—1979)

超星阅读器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重知识产权!



$P_s = F_s$

轴向当量静负荷

$P_{0s} = F_s$

50000 型(38000)

安装尺寸

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		最小负 荷常数	安装尺寸 mm								质 量 kg			
		d	D	T	C <sub>1</sub>	C <sub>01</sub>	脂润滑	油润滑		A	d <sub>1</sub> min	D <sub>2</sub> max	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	d <sub>a</sub> max	D <sub>1</sub> min		r <sub>2s</sub>	r <sub>12s</sub>	
50000	38000																				
52202	38202	10	32	22	12.2	19.5	4800	6700	0.005	17	32	5	0.6	0.3	15	22	0.6	0.3	0.082		
52204	38204	15	40	26	16.2	27.5	3800	5300	0.009	22	40	6	0.6	0.3	20	28	0.6	0.3	0.15		
52405	38405	60	45	42.8	71.2	2200	3400	0.053	27	60	11	1	0.6	0.6	25	39	1	0.6	0.636		
52205	38205	20	47	28	21.2	40.2	3400	4800	0.018	27	47	7	0.6	0.3	25	34	0.6	0.3	0.23		
52305	38305	52	34	27.5	49.0	3000	4300	0.026	27	52	8	1	0.3	0.6	25	36	1	0.3	0.330		
52406	38406	70	52	52.2	90.2	1900	3000	0.084	32	70	12	1	0.6	0.6	30	46	1	0.6	0.969		
52206	38206	25	52	29	21.5	43.2	3200	4500	0.02	32	52	7	0.6	0.3	30	39	0.6	0.3	0.28		
52306	38306	60	38	36.2	66.8	2400	3600	0.046	32	60	9	1	0.3	0.6	30	42	1	0.3	0.49		
52407	38407	80	59	69.2	122	1700	2600	0.158	37	80	14	1.1	0.6	0.6	35	53	1	0.6	1.44		
52207	38207	30	62	34	30.2	62.5	2800	4000	0.04	37	62	8	1	0.3	35	46	1	0.3	0.42		
52307	38307	68	44	42.8	83.5	2000	3200	0.072	37	68	10	1	0.3	0.6	35	48	1	0.3	0.71		
52208	38208	68	36	36.5	73.2	2400	3600	0.055	42	68	9	1	0.6	0.6	40	51	1	0.6	0.54		
52308	38308	78	49	53.5	108	1900	3000	0.119	42	78	12	1	0.6	0.6	40	55	1	0.6	1.06		
52408	38408	90	65	86.8	165	1500	2200	0.275	42	90	15	1.1	0.6	0.6	40	60	1	0.6	2.09		
52209	38209	35	73	37	36.8	83.8	2200	3400	0.072	47	73	9	1	0.6	45	56	1	0.6	0.64		
52309	38309	85	52	58.5	120	1700	2600	0.148	47	85	12	1	0.6	0.6	45	61	1	0.6	1.29		
52409	38409	100	72	108	208	1400	2000	0.448	47	100	17	1.1	0.6	0.6	45	67	1	0.6	2.56		
52210	38210	40	78	39	41.8	97.0	2000	3200	0.097	52	78	9	1	0.6	50	61	1	0.6	0.71		
52310	38310	95	58	74.5	162	1600	2400	0.266	52	95	14	1.1	0.6	0.6	50	68	1	0.6	1.86		
52410	38410	110	78	125	242	1300	1900	0.589	52	110	18	1.5	0.6	0.6	50	74	1.5	0.6	3.43		
52211	38211	45	90	45	53.5	128	1900	3000	0.168	57	90	10	1	0.6	55	69	1	0.6	1.12		
52311	38311	105	64	91.8	195	1500	2200	0.393	57	105	15	1.1	0.6	0.6	55	75	1	0.6	2.50		
52411	38411	120	87	148	285	1100	1700	0.834	57	120	20	1.5	0.6	0.6	55	81	1.5	0.6	4.64		
52212	38212	50	95	46	56.8	142	1800	2800	2.07	62	95	10	1	0.6	60	74	1	0.6	1.15		
52312	38312	110	64	95.2	212	1400	2000	4.62	62	110	15	1.1	0.6	0.6	60	80	1	0.6	2.70		
52412	38412	50	130	93	172	358	1000	1600	1.326	62	130	21	1.5	0.6	60	88	1.5	0.6	5.88		
52413	38413	140	101	175	378	900	1400	1.48	68	140	23	2	1	65	95	2	1	7.49			
52213	38213	55	100	47	56.8	150	1700	2600	0.226	67	100	10	1	0.6	65	79	1	0.6	1.36		
52313	38313	115	65	118	248	1300	1900	0.638	67	115	15	1.1	0.6	0.6	65	85	1	0.6	2.90		
52214	38214	105	47	56.8	150	1600	2400	0.226	72	105	10	1	1	70	84	1	1	1.57			
52314	38314	125	72	118	272	1200	1800	0.756	72	125	16	1.1	1	70	92	1	1	3.90			
52414	38414	150	107	198	448	850	1300	2.07	73	150	24	2	1	70	102	2	1	9.01			
52215	38215	60	110	47	63.2	170	1500	2200	0.295	77	110	10	1	1	75	89	1	1	1.60		
52315	38315	135	79	135	315	1100	1700	1.04	77	135	18	1.5	1	75	99	1.5	1	5.0			
52415	38415	160	115	232	545	800	1200	3.05	78	160	26	2	1	75	110	2	1	11.2			
52216	38216	65	115	48	64.5	178	1400	2000	0.324	82	115	10	1	1	80	94	1	1	1.73		
52316	38316	140	79	138	340	1000	1600	1.19	82	140	18	1.5	1	80	104	1.5	1	6.20			
52417	38417	180	128	260	655	700	1000	4.42	88	179.5	29	2.1	1.1	85	124	2	1	15.4			



招星浏览器提醒您：  
使用本复制品，  
请尊重相关知识版权！

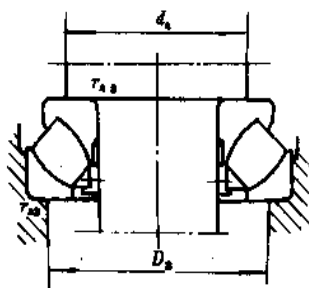
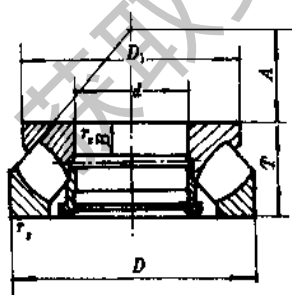
新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸/mm			基本额定负荷/kN		极限转速/r/min		最小负荷常数		安装尺寸/mm								质量/kg	
		d	D	T	C <sub>a</sub>	C <sub>0a</sub>	脂润滑	油润滑	A	d <sub>1</sub> min	D <sub>2</sub> max	B	r <sub>e</sub> min	r <sub>1a</sub> min	d <sub>s</sub> max	D <sub>s</sub> min	r <sub>as</sub>	r <sub>1as</sub>		
50000	38000																			
52217	38217	70	125	55	85.5	235	1300	1900	0.56	88	125	12	1	1	85	109	1	1	2.60	
52317	38317		150	87	172	412	950	1500	1.766	88	150	19	1.5	1	85	114	1.5	1	6.80	
52418	38418		190	135	295	775	670	950	6.09	93	189.5	30	2.1	1.1	90	131	2	1	17.8	
52218	38218	75	135	62	99.2	270	1200	1800	0.746	93	135	14	1.1	1	90	106	1	1	3.22	
52318	38318		155	88	178	444	900	1400	2.02	93	155	19	1.5	1	90	116	1.5	1	7.30	
52420	38420	80	210	150	348	970	600	850	9.606	103	209.5	33	3	1.1	100	145	2.5	1	25.0	
52220	38220	85	150	67	125	348	1100	1700	1.226	103	150	15	1.1	1	100	120	1	1	4.30	
52320	38320		170	97	212	562	800	1200	3.236	103	170	21	1.5	1	100	128	1.5	1	9.50	
52422	38422	90	230	166	378	1110	530	750	12.66	113	229	37	3	1.1	110	159	2.5	1	33.3	
52222	38222	95	160	67	128	388	1000	1600	1.58	113	160	15	1.1	1	110	130	1	1	4.70	
52322	38322		190	110	235	642	700	1100	4.216	113	189.5	24	2	1	110	142	2	1	12.5	
52224	38224	100	170	68	128	388	950	1500	1.58	123	170	15	1.1	1.1	120	140	1	1	5.29	
52324	38324		210	123	268	778	670	950	6.176	123	209.5	27	2.1	1.1	120	157	2	1	20.3	
52426	38426		270	192	485	1605	430	600	26.3	134	269	42	4	2	130	188	3	2	—	
52226	38226	110	190	80	178	528	900	1400	2.846	133	189.5	18	1.5	1.1	130	154	1.5	1	7.70	
52326	38326		225	130	282	852	600	850	7.36	134	224	30	2.1	1.1	130	169	2	1	21.9	
52428	38428		280	196	485	1605	400	560	26.3	144	279	44	4	2	140	198	3	2	—	
52228	38228	120	200	81	180	558	850	1300	3.15	143	199.5	18	1.5	1.1	140	164	1.5	1	8.89	
52328	38328		240	140	313	1005	560	800	10.4	144	239	31	2.1	1.1	140	181	2	1	26.4	
52430	38430		300	209	520	1788	380	530	32.46	154	299	46	4	2	150	212	3	2	68.1	
52230	38230	130	215	89	202	632	800	1200	4.13	153	214.5	20	1.5	1.1	150	176	1.5	1	10.9	
52330	38330		250	140	330	1082	530	750	12	154	249	31	2.1	1.1	150	191	2	1	—	
52232	38232	140	225	90	205	665	750	1100	4.52	168	224.5	20	1.5	1.1	160	186	1.5	1	11.5	
52332	38332		270	153	362	1262	500	700	16.3	164	269	33	3	1.1	160	205	2.5	1	—	
52234	38234	150	240	97	215	715	700	1000	5.196	173	239.5	21	1.5	1.1	170	198	1.5	1	14.0	
52334	38334		280	153	362	1262	480	670	16.3	174	279	33	3	1.1	170	215	2.5	1	—	
52236	38236		250	98	228	788	670	950	6.276	183	249	21	1.5	2	180	208	1.5	2	15.9	
52336	38336		300	165	398	1455	430	600	21.7	184	299	37	3	2	180	229	2.5	2	49.3	
52238	38238	160	270	109	275	990	630	900	10	194	269	24	2	2	190	222	2	2	24.3	
52240	38240	170	280	109	280	992	600	850	11	204	279	24	2	2	200	232	2	2	—	

注:1. 最小轴向负荷:  $F_{amin} \geq A \left( \frac{n}{1000} \right)^2$  kN

式中 n——转速 r/min。

2. 表中所列轴承的基本额定动负荷 C<sub>a</sub> 是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢, C<sub>a</sub> 可提高 30%, 如采用电渣重熔轴承钢, C<sub>a</sub> 可提高 60~70%。

表 22-29 推力调心滚子轴承(摘自 GB/T 5859-93)



当量动负荷

$$P_s = F_r + 1.2F_a$$

当量静负荷

$$P_{0s} = F_r + 2.7F_a$$

290000 型(39000)

安装尺寸

招星浏览器提醒您：  
续表 22-29  
安装尺寸 mm 知识

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速	最小负	安装尺寸 mm						质量 kg	
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>C<sub>0p</sub></i>	r/min 油润滑	荷常数 <i>A</i>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>B</i>	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>d<sub>a</sub></i>	<i>D<sub>a</sub></i>	<i>r<sub>ax</sub></i>		
290000	39000															
29412 E	9039412E	60	130	42	328	458	2400	0.086	123	15	1.5	90	107	1.5		
29412	9039412		130	42	275	425	2400	0.074	120.5	27	1.5	90	107	1.5		2.6
29413 E	9039413E	65	140	45	348	538	2200	0.118	133	16	2	100	115	2		
29413	9039413		140	45	315	488	2200	0.098	129		2	100	115	2		3.27
29414 E	9039414E	70	150	48	390	615	2000	0.155	142	17	2	105	124	2		3.87
29415 E	9039415E	75	160	51	438	700	1900	0.21	152	18	2	115	132	2		—
29416 E	9039416E	80	170	54	495	802	1700	0.263	162	19	2.1	120	141	2.1		—
29317 E	9039317E	85	150	39	300	508	2200	0.105	143.5	13	1.5	115	129	1.5		—
29417 E	9039417E		180	58	535	862	1600	0.304	170	21	2.1	130	150	2.1		—
29318 E	9039318E	90	155	39	308	532	2200	0.0116	148.5	13	1.5	118	135	1.5		—
29418 E	9039418E		190	60	595	978	1500	0.392	180	22	2.1	135	158	2.1		—
29320 E	9039320E	100	170	42	368	638	2000	0.166	163	14	1.5	132	148	1.5		—
29420 E	9039420E		210	67	722	1200	1300	0.588	200	24	3	150	175	2.5		—
29322 E	9039322E	110	190	48	465	825	1800	0.279	182	16	2	145	165	2		—
29422 E	9039422E		230	73	845	1330	1200	0.724	220	26	3	165	192	3		—
29324 E	9039324E	120	210	54	578	1040	1600	0.44	200	18	2.1	160	182	2.1		—
29424 E	9039424E		250	78	982	1510	1100	0.933	236	29	4	180	210	3		—
29424	9039424		250	78	908	1590	1100	1.029	222	—	4	180	210	3		17.1
29326 E	9039326E	130	225	58	632	1150	1500	0.543	215	19	2.1	170	195	2.1		—
29326	9039326		225	58	568	1060	1500	0.441	215	19	2.1	170	195	2.1		9.28
29426	9039426E		270	85	1130	2000	1000	1.64	255	31	4	195	227	3		—
29328 E	9039328E	140	240	60	705	1310	1400	0.71	230	20	2.1	185	208	2.1		—
29428 E	9039428E		280	85	1180	2100	950	1.796	268	31	4	205	237	3		—
29330 E	9039330E	150	250	60	725	1380	1300	0.774	240	20	2.1	195	220	2.1		—
29330	9039330		250	60	620	1210	1300	0.588	240	20	2.1	195	220	2.1		11.5
29430 E	9039430E		300	90	1320	2370	900	2.285	285	32	4	220	253	3		—
29430	9039430		300	90	1090	2070	900	1.764	285	32	4	220	253	3		28.9
29332 E	9039332E	160	270	67	862	1610	1200	1.063	260	23	3	210	236	2.5		—
29432 E	9039432E		320	95	1450	2700	800	2.969	306	34	5	230	271	4		—
29334 E	9039334E	170	280	67	882	1690	1100	1.16	270	23	3	220	247	2.5		—
29434 E	9039434E		340	103	1680	3140	750	4.015	324	37	5	245	288	4		—
29336 E	9039336E	180	300	73	1020	2000	1000	1.628	290	25	3	235	263	2.5		—
29436 E	9039436E		360	109	1860	3480	670	4.936	342	39	5	260	305	4		—
29436	9039436		360	109	1710	3280	670	4.41	342	39	5	260	305	4		—
29338 E	9039338E	190	320	78	1180	2370	900	2.294	308	27	4	250	281	3		—
93438 E	9039438E		380	115	2070	3910	600	6.228	360	41	5	275	322	4		—
29240 E	9039240E	200	280	48	608	1360	1400	0.759	271	15	2	235	258	2		—
29340 E	9039340E		340	85	1330	2630	900	2.827	325	29	4	265	298	3		—
29340	9039340		340	85	1200	2330	900	2.254	325	29	4	265	298	3		34.1
29440 E	9039440E		400	122	2270	4310	600	7.588	380	43	5	290	338	4		—
29440	9039440		400	122	1920	3830	600	5.978	380	43	5	290	338	4		—
29244 E	9039244E	220	300	48	668	1350	1300	0.749	292	15	2	260	277	2		—
29344 E	9039344E		360	85	1390	2800	800	3.21	345	29	4	285	316	3		—
29444 E	9039444E		420	122	2360	4590	560	8.583	400	43	6	310	360	5		—
29444	9039444		420	122	2040	4040	560	6.664	400	43	6	310	360	5		—
29248 E	9039248E	240	340	60	845	1910	1100	1.483	330	19	2.1	285	311	2.1		—
29348 E	9039348E		380	85	1450	2900	750	3.569	365	29	4	300	337	3		—
29348	9039348		380	85	1320	2710	750	3.035	365	32	4	300	337	3		—
29448 E	9039448E		440	122	2450	4860	530	9.656	420	43	6	330	381	5		—
29448	9039448		440	122	2260	4480	530	8.232	420	43	6	330	381	5		—
29252 E	9039252E	260	360	60	885	2030	1000	1.754	350	19	2.1	305	331	2.1		—
29352 E	9039352E		420	95	1790	3360	670	6.073	405	32	5	330	372	4		—

超星阅读器提醒您：  
 安装尺寸 mm  
 续表 22-29

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷		极限转速	最小负荷	安装尺寸 mm						质量	
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>C<sub>0r</sub></i>	r/min 润滑油	荷常数 <i>A</i>	<i>D<sub>1</sub></i> max	<i>B</i> min	<i>r<sub>s</sub></i> min	<i>d<sub>s</sub></i> min	<i>D<sub>s</sub></i> max	<i>r<sub>as</sub></i> max		
290000	39000															
29452 E	9039452E	260	480	132	2900	5950	480	14.45	460	48	6	360	419	5	—	
29256 E	9039256E	280	380	60	895	2130	950	1.855	370	19	2.1	325	351	2.1	—	
29356 E	9039356E		440	95	1860	4080	630	6.782	423	32	5	350	394	4	—	
29456 E	9039456E		520	145	3440	7130	430	20.73	495	52	6	390	446	5	—	
29260 E	9039260E	300	420	73	1230	2890	900	2.43	405	21	3	355	386	2.5	—	
29360 E	9039360E		480	109	2260	5000	560	10.2	460	37	5	380	429	4	—	
29460 E	9039460E		540	145	3550	7500	380	22.95	515	52	6	410	471	5	—	
29264 E	9039264E	320	440	73	1270	3060	800	3.822	430	21	3	375	406	2.5	—	
29364 E	9039364E		500	109	2330	5230	530	11.15	482	37	5	400	449	4	—	
29464 E	9039464E		580	155	4120	8850	360	31.97	555	55	7.5	435	507	6	—	
29464	9039464		580	155	3550	7350	360	22.05	555	55	7.5	435	507	6	—	
29268 E	9039268E	340	460	73	1310	3230	750	4.27	445	21	3	395	427	2.5	—	
29368 E	9039368E		540	122	2770	6190	480	15.64	520	41	5	430	484	4	—	
29468 E	9039468E		620	170	4530	9770	320	38.98	590	61	7.5	465	541	6	—	
29468	9039468		620	170	3960	8600	320	30.19	560		7.5	465	541	6	200	
29272 E	9039272E	360	500	85	1660	4080	630	6.797	485	25	4	420	461	3	—	
29372 E	9039372E		560	122	2840	6440	450	16.33	540	41	5	450	504	4	—	
29472 E	9039472E		640	170	4740	10300	300	43.24	610	61	7.5	485	560	6	—	
29276 E	9039276E	380	520	85	1700	4300	600	7.536	505	27	4	440	480	3	—	
29376 E	9039376E		600	132	3300	7780	380	24.68	580	44	6	480	538	5	—	
29476 E	9039476E		670	175	5190	11600	280	55.3	640	63	7.5	510	587	6	—	
29476	9039476		670	175	4570	10200	280	42.34	600	—	7.5	510	587	6	234	
29280 E	9039280E	400	540	85	1720	4690	600	8.989	526	27	4	460	500	3	—	
29380 E	9039380E		620	132	3300	7750	380	24.52	596	44	6	500	557	5	—	
29480 E	9039480E		710	185	5730	12900	260	67.59	680	67	7.5	540	622	6	—	
29284 E	9039284E	420	580	95	2130	5530	560	12.6	564	30	5	490	534	4	—	
29384 E	9039384E		650	140	3700	8660	360	30.7	626	48	6	525	585	5	—	
29484 E	9039484E		730	185	5840	13100	240	70.27	700	67	7.5	560	643	6	—	
29288 E	9039288E	440	600	95	2200	5830	530	13.89	585	30	5	510	554	4	—	
29388 E	9039388E		680	145	3980	9390	320	36.0	655	49	6	548	614	5	—	
29488 E	9039488E		780	206	6670	14800	220	89.34	745	74	9.5	595	684	8	—	
29292 E	9039292E	460	620	95	2260	6120	500	15.32	605	30	5	530	575	4	—	
29392 E	9039392E		710	150	4330	10400	300	44.6	685	51	6	575	638	5	—	
29492 E	9039492E	460	800	206	6900	15600	200	99.15	765	74	9.5	615	704	8	—	
29296 E	9039296E	480	650	103	2470	6580	480	17.66	635	33	5	555	603	4	—	
29396 E	9039396E		730	150	4430	10800	280	48.02	705	51	6	593	660	5	—	
29496 E	9039496E		850	224	7990	18000	190	132.4	810	81	9.5	645	744	8	—	
292/500 E	90392/500E	500	670	103	2490	6730	450	18.48	654	33	5	575	622	4	—	
293/500 E	90393/500E		750	150	4400	10900	280	48.09	725	51	6	615	683	5	—	
294/500 E	90394/500E		870	224	8280	19000	180	146.9	830	81	9.5	670	765	8	—	
292/530 E	90392/530E	530	710	109	2800	7680	400	24.2	692	35	5	611	661	4	—	
293/530 E	90393/530E		800	160	5170	12900	260	68.1	772	54	7.5	650	724	6	—	
294/530 E	90394/530E		920	236	9000	21000	160	179.2	880	87	9.5	700	810	8	—	
292/560 E	90392/560E	560	750	115	3100	8590	380	30.09	732	37	5	645	697	4	—	
293/560 E	90393/560E		850	175	5800	14600	240	86.9	822	60	7.5	691	770	6	—	
294/560 E	90394/560E		980	250	10200	24000	150	238	940	92	12	750	860	10	—	
292/600 E	90392/600E	600	800	122	3420	9530	340	37.04	780	39	5	690	744	4	—	
293/600 E	90393/600E		900	180	6350	15900	220	102.9	870	61	7.5	735	815	6	—	
294/600 E	90394/600E		1030	258	10900	26700	140	290	990	92	12	800	900	10	—	
292/630 E	90392/630E	360	850	132	4030	11400	300	52.95	830	42	6			5	—	
293/630 E	90393/630E		950	190	7070	18100	200	122.2	920	65	9.5			8	—	
294/630 E	90394/630E		1090	280	12300	29000	130	343	1040	100	12	—	—	10	—	

超星阅览 续表 22-29  
安装尺寸 mm 质量

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速	最小负	安装尺寸 mm						质量 kg
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>C<sub>0n</sub></i>	r/min	荷常数	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>B</i>	<i>r<sub>a</sub></i>	<i>d<sub>a</sub></i>	<i>D<sub>a</sub></i>	<i>r<sub>as</sub></i>	
290000	39000						油润滑	<i>A</i>	<i>D</i> <sub>1</sub> max	<i>B</i> min	<i>r<sub>a</sub></i> min	<i>d<sub>a</sub></i> min	<i>D<sub>a</sub></i> max	<i>r<sub>as</sub></i> max	
292/670 E	90392/670E	670	900	140	4440	12600	280	65.18	880	45	6			5	
293/670 E	90393/670E		1000	200	7720	19700	180	158.4	968	68	9.5			8	
294/670 E	90394/670E		1150	290	13300	31500	120	405	1105	106	15			12	
292/710 E	90392/710E	710	950	145	4840	14000	240	80.47	930	46	6			5	
293/710 E	90393/710E		1060	212	8570	22100	170	199.2	1028	72	9.6			8	
294/710 E	90394/710E		1220	308	15000	36900	110	554.7	1165	113	15			12	
292/750 E	90392/750E	750	1000	150	5180	15200	220	94.72	976	48	6			5	
293/750 E	90393/750E		1120	224	9370	24800	160	250.5	1086	76	9.5			8	
294/750 E	90394/750E		1280	315	16100	39900	100	650.6	1220	116	15			12	
294/750	90394/750		1280	315	15200	36300	100	536.7	1120		15			15	
292/800 E	90392/800E	800	1060	155	5620	16900	220	116.2	1035	50	7.5			6	
293/800 E	90393/800E		1180	230	10100	26900	150	295.8	1146	78	9.5			8	
294/800 E	90394/800E		1160	335	18000	45100	90	831.6	1310	120	15			12	
292/850 E	90392/850E	850	1120	160	6080	18600	200	140.9	1095	51	7.5			6	
293/850 E	90393/850E		1250	243	11200	30200	140	371.3	1203	85	12			10	
294/850 E	90394/850E		1440	354	19800	50000	80	1026	1272		15			12	
292/900 E	90392/900E	900	1180	170	6590	20100	180	165.4	1150	54	7.5			6	
293/900 E	90393/900E		1320	250	12300	34000	130	471	1280	86	12			10	

注:1. 290000 型轴承是近年来发展的一种结构形式。其中 290000 E 为经过优化设计的加强型轴承,滚子为非对称型球面滚子,负荷能力高,应优先选用;

2. 所需的最小轴向负荷  $F_{amin}$ ;

$$\frac{C_{0n}}{1000} \leq F_{amin} > 1.8F_r + A \left( \frac{n}{1000} \right)$$

式中  $F_{amin}$  --- 最小轴向负荷, kN;

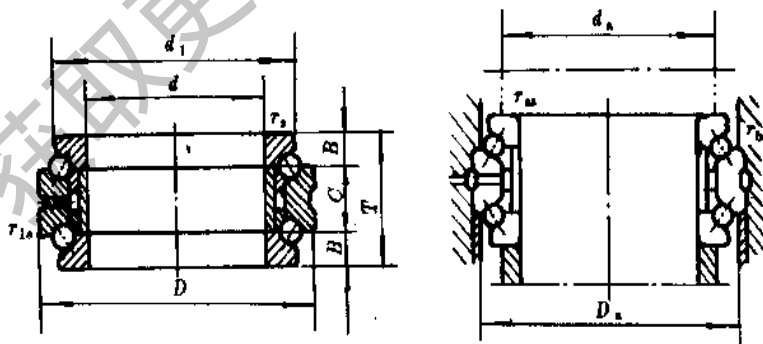
$F_r$  --- 径向负荷, kN;

$C_{0n}$  --- 基本额定静负荷, kN;

$n$  --- 转速, r/min.

3. 表中所示轴承的基本额定动负荷  $C_r$ , 是以电炉轴承钢为材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢,  $C_r$  可提高 15%, 采用电渣重熔轴承钢,  $C_r$  可提高 20%~50%。

表 22-30 双向推力角接触球轴承(摘自 GB/T 362-92)



230000 型(268000)

安装尺寸



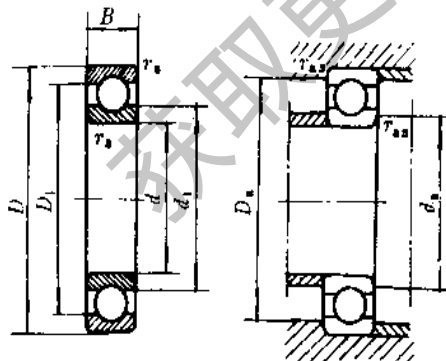
超星阅览提醒您：  
续表 22-30  
安装尺寸 mm  
质量 kg

新轴承代号		基本尺寸 mm						基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg
新代号	旧代号	旧轴承代号	d	D	T	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	r <sub>1s</sub> min	r <sub>3s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>ax</sub> max	r <sub>1s</sub> max	kg		
230000	230000	2268000	25	47	28	10.2	24.2	7600	10000	0.6	0.15	33	44	0.6	0.1			
234405	234705	2268105K	25	47	28	10.2	24.2	7600	10000	0.6	0.15	33	44	0.6	0.1			
234406	234706	2268106K	30	55	32	10.8	28.2	7100	9500	1	0.15	40	50.5	1	0.1	0.29		
234407	234707	2268107K	35	62	34	15.2	42.2	6400	8500	1	0.15	45.5	57.5	1	0.1	0.38		
234408	234708	2268108K	40	68	36	18.2	50.0	5600	7500	1	0.15	50	63.5	1	0.1	0.46		
234409	234709	2268109K	45	75	38	20.0	59.8	5300	7000	1	0.15	56.5	70.5	1	0.1	0.58		
234410	234710	2268110K	50	80	38	20.5	64.8	5000	6700	1	0.15	61.5	75.5	1	0.1	0.62		
234411	234711	2268111K	55	90	44	28.5	85.8	4500	6000	1.1	0.3	67.5	84	1	0.3	0.94		
234412	234712	2268112K	60	95	44	28.8	89.8	4300	5700	1.1	0.3	72.5	89	1	0.3	1.00		
234413	234713	2268113K	65	100	44	29.8	97.5	4300	5700	1.1	0.3	77.5	94	1	0.3	1.05		
234414	234714	2268114K	70	110	48	36.2	122	3900	5200	1.1	0.3	85	104	1	0.3	1.45		
234415	234715	2268115K	75	115	48	37.8	132	3900	5200	1.1	0.3	90	109	1	0.3	1.55		
234416	234716	2268116K	80	125	54	44.2	158	3500	4600	1.1	0.3	96.5	119	1	0.3	2.10		
234417	234717	2268117K	85	130	54	44.5	162	3300	4400	1.1	0.3	102	124	1	0.3	2.20		
234418	234718	2268118K	90	140	60	51.8	190	3000	4000	1.5	0.3	109	133.5	1.5	0.3	3.00		
234419	234719	2268119K	95	145	60	52.5	198	2900	3900	1.5	0.3	114	138.5	1.5	0.3	3.05		
234420	234720	2268120K	100	150	60	52.8	205	2800	3700	1.5	0.3	119	143.5	1.5	0.3	3.15		
234421	234721	2268121K	105	160	66	60.2	235	2600	3500	2	0.6	127	152	2	0.6	4.05		
234422	234722	2268122K	110	170	72	73.5	278	2400	3300	2	0.6	133	162	2	0.6	5.05		
234424	234724	2268124K	120	180	72	75.5	298	2400	3200	2	0.6	143	172	2	0.6	5.70		
234426	234726	2268126K	130	200	84	108	408	2100	2800	2	0.6	155	192	2	0.6	8.15		
234428	234728	2268128K	140	210	84	112	435	2000	2700	2.1	0.6	165	202	2.1	0.6	8.65		
234430	234730	2268130K	150	225	90	112	465	1900	2500	2.1	0.6	178	215	2.1	0.6	10.5		
234432	234732	2268132K	160	240	96	132	545	1700	2300	2.1	0.6	189	230	2.1	0.6	14.0		

注：本轴承的旧公差等级为 D、C 和 B 级。新公差等级为 5、4、2 级，即后置代号为 B/P5、B/P4、B/P2（分子 B 表示接触角  $\alpha=40^\circ$ ）。

### 3.5 深沟球轴承

表 22-31 深沟球轴承(摘自 GB/T 276—93 参照 ISO15 81)

60000 型(0000)		径向当量动负荷	径向当量静负荷	$F_n/C_{0r}$	$e$	$Y$
	安装尺寸	当 $F_n/F_r \leq e$ ; $P_r = F_r$ 当 $F_n/F_r > e$ ; $P_r = 0.56F_r + YF_n$	当 $F_n/F_r \leq 0.8$ ; $P_{0r} = F_r$ 当 $F_n/F_r > 0.8$ ; $P_{0r} = 0.6F_r + 0.5F_n$	0.014	0.19	2.30
				0.028	0.22	1.99
				0.056	0.26	1.71
				0.084	0.28	1.55
				0.11	0.30	1.45
				0.17	0.34	1.31
				0.28	0.38	1.15
				0.42	0.42	1.04
				0.56	0.44	1.00

招星浏览器提醒您：  
使用本浏览器可自动识别  
续表 22-31

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				质量 kg
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>os</sub> max	
60000	0000												
18600	1000800	10	19	5	1.08	0.58	26000	34000	0.3	12.4	16.6	0.3	0.005
61900	1000900		22	6	2.55	1.38	25000	32000	0.3	12.4	19.6	0.3	0.011
6000	100		26	8	3.52	1.95	20000	28000	0.3	12.4	23.6	0.3	0.019
6200	200		30	9	3.92	2.22	19000	26000	0.6	15	25	0.6	0.032
6300	300		35	11	5.88	3.45	18000	24000	0.6	15	30	0.6	0.053
61801	1000801	12	21	5	1.08	0.60	22000	30000	0.3	14.4	18.6	0.3	0.007
61901	1000901		24	6	2.60	1.38	20000	28000	0.3	14.4	21.6	0.3	0.013
16001	7000101		28	7	3.92	2.25	19000	26000	0.3	14.4	25.6	0.3	0.019
6001	101		28	8	3.92	2.22	19000	26000	0.3	14.4	25.6	0.3	0.022
6201	201		32	10	5.25	3.05	18000	24000	0.6	17	27	0.6	0.035
6301	301		37	12	7.48	4.65	17000	22000	1	18	31	1	0.060
61802	1000802	15	24	5	1.48	0.90	20000	28000	0.3	17.4	21.6	0.3	0.008
61902	1000902		28	7	3.08	1.72	19000	26000	0.3	17.4	25.6	0.3	0.018
16002	7000102		32	8	4.32	2.50	18000	24000	0.3	17.4	29.6	0.3	0.025
6002	102		32	9	4.32	2.50	18000	24000	0.3	17.4	26.9	0.3	0.031
6202	202		35	11	5.88	3.48	17000	22000	0.6	20	30	0.6	0.044
6302	302		42	13	8.80	5.40	16000	20000	1	21	36	1	0.077
61803	1000803	17	26	5	1.68	1.02	19000	26000	0.3	19.4	23.6	0.3	0.008
61903	1000903		30	7	3.32	1.92	18000	24000	0.3	19.4	27.6	0.3	0.020
16003	7000103		35	8	5.25	3.05	17000	22000	0.3	19.4	32.6	0.3	0.027
6003	103		35	10	4.62	2.78	17000	22000	0.3	19.4	32.6	0.3	0.040
6203	203		40	12	7.35	4.45	16000	20000	0.6	22	35	0.6	0.066
6303	303		47	14	10.5	6.55	15000	19000	1	23	41	1	0.109
6403	403		62	17	17.5	11.8	11000	15000	1.1	24	55	1	0.268
61804	1000804	20	32	7	2.65	1.72	17000	22000	0.3	22.4	29.6	0.3	0.020
61904	1000904		37	9	5.05	3.08	17000	22000	0.3	22.4	34.6	0.3	0.040
16004	7000104		42	8	6.08	3.78	15000	19000	0.3	22.4	39.6	0.3	0.050
6004	104		42	12	7.22	4.45	15000	19000	0.6	25	37	0.6	0.068
6204	204		47	14	9.88	6.18	14000	18000	1	26	41	1	0.098
6304	304		52	15	12.2	7.78	13000	17000	1.1	27	45	1	0.149
6404	404		72	19	23.8	16.8	9500	13000	1.1	27	65	1	0.400
61805	1000805	25	37	7	2.85	1.95	15000	19000	0.3	27.4	34.6	0.3	0.022
61905	1000905		42	9	5.65	3.68	14000	18000	0.3	27.4	39.6	0.3	0.050
16005	7000105		47	8	6.48	4.18	13000	17000	0.3	27.4	44.6	0.3	0.060
6005	105		47	12	7.75	4.95	13000	17000	0.6	30	42	0.6	0.078
6205	205		52	15	10.8	6.95	12000	16000	1	31	46	1	0.121
6305	305		62	17	17.2	11.2	10000	14000	1.1	32	55	1	0.231
6405	405		80	21	29.5	21.2	8500	11000	1.5	34	71	1.5	0.531
61806	1000806	30	42	7	3.08	2.35	12000	16000	0.3	32.4	39.6	0.3	0.026
61906	1000906		47	9	5.82	3.98	12000	16000	0.3	32.4	44.6	0.3	0.060
16006	7000106		55	9	8.62	5.92	10000	14000	0.3	32.4	52.6	0.3	0.085
6006	106		55	13	10.2	6.88	10000	14000	1	36	49	1	0.110
6206	206		62	16	15.0	10.0	9500	13000	1	36	56	1	0.200
6306	306		72	19	20.8	14.2	9000	12000	1.1	37	65	1	0.349
6406	406		90	23	36.5	26.8	8000	10000	1.5	39	81	1.5	0.712
61807	1000807	35	47	7	3.18	2.60	10000	14000	0.3	37.4	44.6	0.3	0.030
61907	1000907		55	10	7.35	5.28	9500	13000	0.6	40	50	0.6	0.086
16007	7000107		62	9	8.98	6.52	9000	12000	0.3	37.4	59.6	0.3	0.100
6007	107		62	14	12.5	8.60	9000	12000	1	41	56	1	0.148
6207	207		72	17	19.8	13.5	8500	11000	1.1	42	65	1	0.288
6307	307		80	21	25.8	17.8	8000	10000	1.5	44	71	1.5	0.455
6407	407		100	25	43.8	32.5	6700	8500	1.5	44	91	1.5	0.922
61808	1000808	40	52	7	3.38	2.95	9500	13000	0.3	42.4	49.6	0.3	0.034
61908	1000908		62	12	9.35	6.92	9000	12000	0.6	45	57	0.6	0.110
16008	7000108		68	9	9.70	7.40	8500	11000	0.3	42.4	65.6	0.3	0.130



超星浏览器提醒您：  
 使用本浏览器时，  
 请关闭其他浏览器！  
 续表 22-31

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				质量 kg
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>C<sub>or</sub></i>	脂润滑	油润滑	<i>r<sub>s</sub></i> min	<i>d<sub>s</sub></i> min	<i>D<sub>s</sub></i> max	<i>r<sub>as</sub></i> max	
6000	0000												
6008	108	40	68	15	13.2	9.42	8500	11000	1	46	62	1	0.185
6208	208		80	18	22.8	15.8	8000	10000	1.1	47	73	1	0.368
6308	308		90	23	31.2	22.2	7000	9000	1.5	48	81	1.5	0.624
6408	408		110	27	50.2	37.8	6300	8000	2	50	100	2	1.218
61809	1000809	45	58	7	3.58	3.32	8500	11000	0.3	47.4	55.6	0.3	—
16009	7000109		75	10	9.90	7.95	8000	10000	0.6	50	70	0.6	0.170
6009	109		75	16	16.2	11.8	8000	10000	1	51	69	1	0.230
6209	209		85	19	24.5	17.5	7000	9000	1.1	52	78	1	0.414
6309	309		100	25	40.8	29.8	6300	8000	1.5	54	91	1.5	0.837
6409	409		120	29	59.5	45.5	5600	7000	2	55	110	2	1.520
61810	1000810	50	65	7	3.92	3.62	8000	10000	0.3	52.4	62.6	0.3	0.057
61910	1000910		72	12	9.90	7.95	8000	10000	0.6	55	67	0.6	0.140
16010	7000110		80	10	12.5	10.0	7000	9000	0.6	55	75	0.6	0.180
6010	110		80	16	16.8	12.8	7000	9000	1	56	74	1	0.249
6210	210		90	20	27.0	19.8	6700	8500	1.1	57	83	1	0.463
6310	310		110	27	47.5	35.6	6000	7500	2	60	100	2	1.090
6410	410		130	31	71.0	55.2	5300	6700	2.1	62	118	2.1	1.860
61811	1000811	55	72	9	5.18	5.0	7500	9500	0.3	57.4	69.6	0.3	0.080
16011	7000111		90	11	12.5	10.5	6300	8000	0.6	60	85	0.6	0.260
6011	111		90	18	23.2	17.8	6300	8000	1.1	62	83	1	0.383
6211	211		100	21	33.5	25.0	6000	7500	1.5	64	91	1.5	0.603
6311	311		120	29	55.2	41.8	5300	6700	2	65	110	2	1.355
6411	411		140	33	77.5	62.5	4800	6000	2.1	67	128	2.1	2.400
61812	1000812	60	78	10	7.05	6.65	6700	8500	0.3	62.4	75.6	0.3	—
61912	1000912		85	13	10.8	9.32	6300	8000	1	66	79	1	0.230
16012	7000112		95	11	12.8	11.2	6000	7500	0.6	65	90	0.6	0.280
6012	112		95	18	24.5	19.2	6000	7500	1.1	67	88	1	0.391
6212	212		110	22	36.8	27.8	5600	7000	1.5	69	101	1.5	0.780
6312	312		130	31	62.8	48.5	5600	6300	2.1	72	118	2.1	1.710
6412	412		150	35	83.8	70.0	4500	5600	2.1	72	138	2.1	2.820
61913	1000913	65	90	13	11.2	10.5	6000	7500	1	71	84	1	—
16013	7000113		100	11	13.5	12.5	5600	7000	0.6	70	95	0.6	0.300
6013	113		100	18	24.8	19.8	5600	7000	1.1	72	93	1	0.410
6213	213		120	23	44.0	34.0	5000	6300	1.5	74	111	1.5	0.957
6313	313		120	33	72.2	56.5	4500	5600	2.1	77	128	2.1	2.100
6413	413		160	37	90.8	78.0	4300	5300	2.1	77	148	2.1	3.350
61814	1000814	70	90	10	8.05	8.22	6000	7500	0.6	75	85	0.6	0.114
16014	7000114		110	13	15.5	13.8	5300	6700	0.6	75	105	0.6	0.430
6014	114		110	20	29.8	24.2	5300	6700	1.1	77	103	1	0.575
6214	214		125	24	46.8	37.5	4800	6000	1.5	79	116	1.5	1.100
6314	314		150	35	80.2	63.2	4300	5300	2.1	82	138	2.1	2.550
6414	414		180	42	108	99.2	3800	4800	3	84	166	2.5	4.640
61815	1000815	75	95	10	8.05	8.58	5600	7000	0.6	80	90	0.6	—
61915	1000915		105	16	13.8	13.2	5300	6700	1	81	99	1	0.420
16015	7000115		115	13	19.2	17.8	5000	6300	0.6	80	110	0.6	0.460
6015	115		115	20	30.8	26.0	5000	6300	1.1	82	108	1	0.613
6215	215		130	25	50.8	41.2	4500	5600	1.5	84	121	1.5	1.160
6315	315		160	37	87.2	71.5	4000	5000	2.1	87	148	2.1	3.050
6415	415		190	45	118	115	3600	4500	3	89	176	2.5	5.690
61816	1000816	80	100	10	8.42	8.82	5300	6700	0.6	85	95	0.6	0.160
61916	1000916		110	16	14.5	14.5	5000	6300	1	86	104	1	0.440
16016	7000116		125	14	19.5	18.8	4800	6000	0.6	85	120	0.6	0.600
6016	116		125	22	36.5	31.2	4800	6000	1.1	87	118	1	0.836
6216	216		140	26	55.0	44.8	4300	5300	2	90	130	2	1.450
6316	316		170	39	94.5	80.0	3800	4800	2.1	92	158	2.1	3.620
6416	416		200	48	125	125	3400	4300	3	94	186	2.5	6.740

超星浏览器提醒您：  
使用超星浏览器阅读  
请单击此处  
续表 22-31

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				质量 kg
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>C<sub>or</sub></i>	脂润滑	油润滑	<i>r<sub>s</sub></i> min	<i>d<sub>k</sub></i> min	<i>D<sub>e</sub></i> max	<i>r<sub>as</sub></i> max	
6000	0000	85	110	13	16.8	16.2	4800	6000	1	91	104	1	0.285
61817	1000817	85	110	13	16.8	16.2	4800	6000	1	91	104	1	0.285
61917	1000917	85	120	18	21.8	20.0	4800	6000	1.1	92	113	1	0.620
16017	7000117	85	130	14	19.8	19.5	4500	5600	0.6	90	125	0.6	0.630
6017	117	85	130	22	39.0	33.5	4500	5600	1.1	92	123	1	0.864
6217	217	85	150	28	64.0	53.2	4000	5000	2	95	140	2	1.780
6317	317	85	180	41	102	89.2	3600	4500	3	99	166	2.5	4.270
6417	417	85	210	52	135	138	3200	4000	4	103	192	3	7.910
61918	1000918	90	125	18	25.2	23.5	4500	5600	1.1	97	118	1	0.650
16018	7000118	90	140	16	25.8	24.8	4300	5300	1	96	134	1	0.850
6018	118	90	140	24	44.5	39.0	4300	5300	1.5	99	131	1.5	1.090
6218	218	90	160	30	73.8	60.5	3800	4800	2	100	150	2	2.180
6318	318	90	190	43	112	100	3400	4300	3	104	176	2.5	4.960
6418	418	90	225	54	148	188	2800	3600	4	108	207	3	9.550
61819	1000819	95	120	13	12.5	13.8	4300	5300	1	101	114	1	0.89
16019	7000119	95	145	16	28.5	27.2	4000	5000	1	101	139	1	0.89
6019	119	95	145	24	44.5	39.0	4000	5000	1.5	104	136	1.5	1.14
6219	219	95	170	38	84.8	70.5	3600	4500	2.1	107	158	2.1	2.62
6319	319	95	200	45	122	112	3200	4000	3	109	186	2.5	5.72
61920	1000920	100	140	20	31.8	29.5	4000	5000	1.1	107	133	1	0.92
16020	7000120	100	150	16	29.5	28.8	3800	4800	1	106	144	1	0.91
6020	120	100	150	24	49.5	43.8	3800	4800	1.5	109	141	1.5	1.18
6220	220	100	180	34	94.0	79.0	3400	4300	2.1	112	168	2.1	3.20
6320	320	100	215	47	132	132	2800	3600	3	114	201	2.5	7.07
6420	420	100	250	58	172	195	2400	3200	4	118	232	3	12.8
61821	1000821	105	130	13	13.5	15.5	3800	4800	1	111	124	1	0.34
16021	7000121	105	160	18	33.5	33.0	3600	4500	1	111	154	1	1.20
6021	121	105	160	26	55.2	49.5	3600	4500	2	115	150	2	1.52
6221	221	105	190	36	102	89.2	3200	4000	2.1	117	178	2.1	3.78
6321	321	105	225	49	142	142	2600	3400	3	119	211	2.5	8.03
61922	1000922	110	150	20	33.5	33.0	3600	4500	1.1	117	143	1	1.00
16022	7000122	110	170	19	40.8	40.2	3400	4300	1	116	164	1	1.42
6022	122	110	170	28	63.0	57.2	3400	4300	2	120	160	2	1.87
6222	222	110	200	38	112	100	3000	3800	2.1	122	188	2.1	4.38
6322	322	110	240	50	158	168	2400	3200	3	124	226	2.5	9.50
6422	422	110	280	65	198	235	2000	2800	4	128	262	3	17.86
61824	1000824	120	150	16	18.5	21.8	3400	4300	1	126	144	1	0.65
61924	1000924	120	165	22	40.8	40.2	3200	4000	1.1	127	158	1	1.40
16024	7000124	120	180	19	41.8	42.2	3000	3800	1	126	174	1	1.80
6024	124	120	180	28	67.5	61.8	3000	3800	2	130	170	2	1.99
6224	224	120	215	40	118	115	2600	3400	2.1	132	203	2.1	5.30
6324	324	120	260	55	175	195	2200	3000	3	134	246	2.5	12.2
61926	1000926	130	180	24	50.2	50.2	3000	3800	1.5	139	171	1.5	1.80
16026	7000126	130	200	22	47.5	50.0	2800	3600	1.1	137	193	1	2.63
6026	126	130	200	33	80.8	75.5	2800	3600	2	140	190	2	3.08
6226	226	130	230	40	128	122	2400	3200	3	144	216	2.5	6.11
6326	326	130	280	58	195	125	1900	2600	4	148	262	3	14.7
61928	1000928	140	190	24	51.2	52.8	2800	3600	1.5	149	181	1.5	1.90
16028	7000128	140	210	22	48.5	52.5	2400	3200	1.1	147	203	1	3.08
6028	128	140	210	33	89.5	84.8	2400	3200	2	150	200	2	3.14
6228	228	140	250	42	138	138	2000	2800	3	154	236	2.5	7.750
6328	328	140	300	62	212	252	1800	2400	4	158	282	3	18.30
16030	7000130	150	225	24	57.2	61.8	2200	3000	1.1	157	218	1	3.580
6030	130	150	225	35	102	97.2	2200	3000	2.1	162	213	2.1	3.740
6230	230	150	270	45	155	165	1900	2600	3	164	256	2.5	9.770
6330	330	150	320	65	222	268	1700	2200	4	168	302	3	21.73

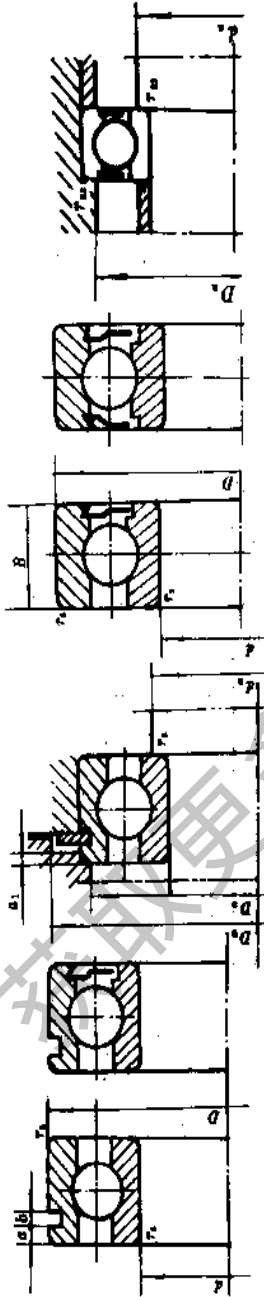
招星浏览器提醒您：  
续表 22-31

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				质量 kg
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>C<sub>or</sub></i>	脂润滑	油润滑	<i>r<sub>s</sub></i> min	<i>d<sub>s</sub></i> min	<i>D<sub>s</sub></i> max	<i>r<sub>ms</sub></i> max	
60000	0000												
61832	1000832	160	200	20	33.0	40.8	2400	3200	1.1	167	193	1	1.250
16032	7000132		240	25	68.2	74.8	2000	2800	1.5	169	231	1.5	4.320
6032	132		240	38	110	108	2000	2800	2.1	172	228	2.1	4.830
6232	232		290	48	165	180	1800	2400	3	174	276	2.5	12.20
6332	332		340	68	242	302	1600	2000	4	178	322	3	26.26
61834	1000834	170	215	22	38.5	46.8	2200	3000	1.1	177	208	1	1.810
61934	1000934		230	28	68.2	74.8	2000	2800	2	180	220	2	
16034	7000134		260	28	77.5	84.5	1900	2600	1.5	179	251	1.5	5.770
6034	134		260	42	132	135	1900	2600	2.1	182	248	2.1	6.50
6234	234		310	52	188	215	1700	2200	4	188	292	3	15.20
6334	334		360	72	258	335	1500	1900	4	188	342	3	31.10
61936	1000936	180	250	33	98.0	102	1900	2600	2	190	240	2	4.80
16036	7000136		280	31	90.0	100	1800	2400	2	190	270	2	7.60
6036	136		280	46	145	155	1800	2400	2.1	192	268	2.1	8.530
6236	236		320	52	202	238	1600	2000	4	198	302	3	15.50
61838	1000838	190	240	24	48.2	60.2	1900	2600	1.5	199	231	1.5	2.380
16038	7000138		290	31	91.8	105	1700	2200	2	200	280	2	7.890
6038	138		290	46	145	155	1700	2200	2.1	202	278	2.1	8.860
6238	238		340	55	218	265	1500	1900	4	208	322	3	18.60
61840	1000840	200	250	24	48.8	62.5	1800	2400	1.5	209	241	1.5	8.280
16040	7000140		310	34	110	122	1800	2000	2	210	300	2	10.10
6040	140		310	51	158	175	1600	2000	2.1	212	298	2.1	9.760
6240	240		360	58	222	272	1400	1800	4	219	342	3	22.50
61944	1000944	220	300	38	105	122	1600	2000	2.1	232	288	2.1	7.60
16044	7000144		340	37	132	150	1400	1800	2.1	232	328	2.1	—
6044	144		340	56	195	205	1400	1800	3	234	326	2.5	18.0
6244	244		400	65	258	290	1200	1600	4	238	382	3	36.50
61948	1000948	240	320	38	110	132	1400	1800	2.1	252	308	2.1	8.20
16048	7000148		360	37	132	158	1200	1600	2.1	252	348	2.1	—
6048	148		360	56	208	228	1200	1600	3	254	346	2.5	20.0
6248	248		440	72	275	378	1000	1400	4	258	422	3	53.90
61852	1000852	260	320	28	72.2	98.8	1300	1700	2	270	310	2	4.850
61952	1000952		360	46	162	200	1200	1600	2.1	272	348	2.1	13.70
16052	7000152		400	44	182	232	1100	1500	3	274	386	2.5	22.50
6052	152		400	65	225	294	1100	1500	4	278	382	3	28.80
61956	1000956	280	360	46	162	200	1000	1400	2.1	292	368	2.1	15.0
6056	156		420	65	235	315	950	1300	4	298	402	3	32.10
61860	1000860	300	380	38	125	168	1000	1400	2.1	312	368	2.1	11.0
61960	1000960		420	56	208	278	950	1300	3	314	406	2.5	21.10
6060	160		460	74	258	365	900	1200	4	318	442	3	43.0
61864	1000864	320	400	38	130	182	950	1300	2.1	332	388	2.1	11.80
61964	1000964		440	56	212	295	900	1200	3	334	426	2.5	23.0
6064	164		480	74	265	388	850	1100	4	338	462	3	48.40
61968	1000968	340	460	56	225	322	850	1100	3	354	446	2.5	27.0
6068	168		520	82	295	442	800	1000	5	362	498	4	—
6072	172		360	540	82	308	475	750	5	362	518	4	68.0
61876	1000876	380	480	46	182	265	800	1000	2.1	392	468	2.1	20.50
6080	180		400	600	90	395	668	630	5	422	578	4	89.40
61892	1000892	460	580	56	248	408	600	750	3	474	566	2.5	36.28
619/500	10009/500	500	670	78	342	602	500	630	5	522	648	4	79.50
60/500	1/500		720	100	482	898	450	560	6	528	692	5	117.00

注：表中所示轴承的基本额定动负荷  $C_r$ ，是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力，如果用真空脱气轴承钢， $C_r$  可提高 30%；采用电渣重熔轴承钢， $C_r$  可提高 70%。

表 22-32 带止动槽的深沟球轴承(摘自 GB/T 277—93, 参照 ISO15—81)  
带防尘盖的深沟球轴承(摘自 GB/T 278—93, 参照 ISO15—81)

$P_r$  计算见表 22-31



安装尺寸 60000-Z 型(60000)60000-2Z(80000) 安装尺寸

60000N(50000)60003-ZN 型(150000)

新轴承代号	旧轴承代号				基本尺寸		基本额定 负荷 kN	极限转速 r/min	安装尺寸 mm						质量 kg						
	60000-ZN	60000-Z	60000-2Z	60000-2Z	d	D			B	a	b	D <sub>1</sub>	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min		D <sub>s</sub> min	a <sub>1</sub>	r <sub>s</sub> max			
6000 N	60000-ZN	60000-Z	60000-2Z	60000-2Z	10	19	6	0.81	0.63	26000	34000	—	—	—	—	—	0.3	0.0063			
—	—	62800-Z	62800-2Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
—	—	62900-Z	62900-2Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
—	—	6000-Z	6000-2Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
6200 N	6200-ZN	6200-Z	6200-2Z	6200-2Z	30	30	9	3.92	2.22	19000	26000	2.05	1.3	28.17	0.6	15	25	36	1.6	0.6	0.039
6300 N	6300-ZN	6300-Z	6300-2Z	6300-2Z	35	35	11	5.88	3.45	18000	24000	—	—	33.17	0.6	15	30	41	1.6	0.6	0.05
—	—	6001-Z	6001-2Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6201 N	6201-ZN	6201-Z	6201-2Z	6201-2Z	12	28	8	3.92	2.22	19000	26000	—	—	—	0.3	14.4	25.6	—	—	0.3	0.020
6301 N	6301-ZN	6301-Z	6301-2Z	6301-2Z	32	32	10	5.25	3.05	18000	24000	2.05	1.3	30.15	0.6	17	27	38	1.6	0.6	0.04
—	—	6002-Z	6002-2Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6202 N	6202-ZN	6202-Z	6202-2Z	6202-2Z	35	35	11	5.88	3.48	17000	22000	2.05	1.3	33.17	0.6	20	30	41	1.6	0.6	0.040
6302 N	6302-ZN	6302-Z	6302-2Z	6302-2Z	42	42	13	8.80	5.40	16000	20000	—	—	39.75	1	21	36	48	1.6	1	0.080
—	—	6003-Z	6003-2Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6203 N	6203-ZN	6203-Z	6203-2Z	6203-2Z	17	35	10	4.62	2.78	17000	22000	—	—	—	0.3	18.4	32.6	—	—	0.3	0.040
6303 N	6303-ZN	6303-Z	6303-2Z	6303-2Z	40	40	12	7.35	4.45	16000	20000	2.05	1.3	38.1	0.6	22	35	46	1.6	0.6	0.060
6403 N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	6004-Z	6004-2Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6204 N	6204-ZN	6204-Z	6204-2Z	6204-2Z	20	42	12	7.22	4.45	15000	19000	2.05	1.3	44.6	1	26	41	54	2	1	0.10
6304 N	6304-ZN	6304-Z	6304-2Z	6304-2Z	47	47	14	9.88	6.18	14000	18000	2.45	1.3	49.73	1.1	27	45	59	2	1	0.140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6404 N	—	—	—	—	72	72	19	23.8	16.8	9500	13000	—	—	68.81	1.1	27	65	80	2.6	1	0.40



续表 22-32

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸 mm		基本额定 负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm							质量 kg					
6000 N	6000-ZN	6000-Z	60000	50000	150000	60000	80000	d	D	B	Cr	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	a	b	D <sub>1</sub>	r <sub>s</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> min	D <sub>b</sub>	a <sub>1</sub>	r <sub>sa</sub> max	
6005 N	6005-ZN	6005-Z	60105	50105	150205	60105	80105	25	47	12	7.75	4.95	13000	17000	—	—	44.6	0.6	30	42	54	1.6	0.6	0.080
6205 N	6205-ZN	6205-Z	60205	50205	150205	60205	80205	52	15	10.8	6.95	12000	16000	2.05	1.3	49.73	1	31	46	59	2	1	0.120	
6305 N	6305-ZN	6305-Z	60305	50305	150305	60305	80305	62	17	17.2	11.2	10000	14000	3.25	1.9	59.61	1.1	32	55	69	2.6	1	0.220	
6405 N	—	—	—	50405	—	—	—	80	21	29.5	21.2	8500	11000	3.25	1.9	76.81	1.5	34	71	88	2.6	1.5	0.510	
6006 N	6006-ZN	6006-Z	60106	50106	150206	60106	80106	30	55	13	10.2	6.88	10000	14000	—	—	52.6	1	36	49	62	1.6	1	0.120
6206 N	6206-ZN	6206-Z	60206	50206	150206	60206	80206	62	16	15.0	10.0	9500	13000	3.25	1.9	59.61	1	36	56	69	2.6	1	0.190	
6306 N	6306-ZN	6306-Z	60306	50306	150306	60306	80306	72	19	20.8	14.2	9000	12000	3.25	1.9	68.81	1.1	37	65	80	2.6	1	0.350	
6406 N	—	—	—	50406	—	—	—	90	23	36.5	26.8	8000	10000	3.25	2.7	86.79	1.5	39	81	98	2.6	1.5	0.720	
6007 N	6007-ZN	6007-Z	60107	50107	150207	60107	80107	35	62	14	12.5	8.50	9000	12000	—	—	59.61	1	41	56	69	1.6	1	0.160
6207 N	6207-ZN	6207-Z	60207	50207	150207	60207	80207	72	17	19.8	13.5	8500	11000	3.25	1.9	68.81	1.1	42	65	80	2.6	1	0.270	
6307 N	6307-ZN	6307-Z	60307	50307	150307	60307	80307	80	21	25.8	17.8	8000	10000	3.25	1.9	76.81	1.5	44	77	88	2.6	1.5	0.420	
6407 N	—	—	—	50407	—	—	—	100	25	43.8	32.5	6700	8500	3.25	2.7	96.8	1.5	44	91	108	2.6	1.5	0.820	
6008 N	6008-ZN	6008-Z	60108	50108	150208	60108	80108	40	68	15	13.2	9.42	8500	11000	—	—	64.82	1	46	62	76	2	1	0.190
6208 N	6208-ZN	6208-Z	60208	50208	150208	60208	80208	80	18	22.8	15.8	8000	10000	3.25	1.9	76.81	1.1	47	73	88	2.6	1	0.370	
6308 N	6308-ZN	6308-Z	60308	50308	150308	60308	80308	90	23	31.2	22.2	7000	9000	3.25	2.7	86.79	1.5	49	81	98	2.6	1.5	0.630	
6408 N	—	—	—	50408	—	—	—	110	27	50.2	37.9	6300	8000	3.25	2.7	106.81	2	50	100	118	2.6	2	1.160	
6009 N	6009-ZN	6009-Z	60109	50109	150209	60109	80109	45	75	16	16.2	11.8	8000	10000	—	—	71.83	1	51	69	83	2	1	0.230
6209 N	6209-ZN	6209-Z	60209	50209	150209	60209	80209	85	19	24.5	17.5	7000	9000	—	—	81.81	1.1	52	78	93	2.6	1	0.420	
6309 N	6309-ZN	6309-Z	60309	50309	150309	60309	80309	100	25	40.8	29.8	6300	8000	3.25	2.7	96.8	1.5	54	91	108	2.6	1.5	0.830	
6409 N	—	—	—	50409	—	—	—	120	29	59.5	45.5	5600	7000	4.05	3.1	115.2	2	55	110	131	3.6	2	1.550	
6010 N	6010-ZN	6010-Z	60110	50110	150210	60110	80110	50	80	16	16.8	12.8	7000	9000	—	—	76.81	1	56	74	88	2	1	0.280
6210 N	6210-ZN	6210-Z	60210	50210	150210	60210	80210	90	20	27.0	19.8	6700	8500	—	—	86.79	1.1	57	83	98	2.6	1	0.470	
6310 N	6310-ZN	6310-Z	60310	50310	150310	60310	80310	110	27	47.5	35.5	6000	7500	3.25	2.7	106.81	2	60	100	118	2.6	2	1.080	
6410 N	—	—	—	50410	—	—	—	130	31	71.0	55.2	5300	6700	4.05	3.1	125.22	2.1	62	118	141	3.6	2	1.910	
6011 N	6011-ZN	6011-Z	60111	50111	150211	60111	80111	55	90	18	23.2	17.8	6300	8000	—	—	86.79	1.1	62	85	98	2.2	1	0.380
6211 N	6211-ZN	6211-Z	60211	50211	150211	60211	80211	100	21	33.5	25.0	6000	7500	—	—	96.8	1.5	64	91	108	2.6	1.5	0.580	
6311 N	6311-ZN	6311-Z	60311	50311	150311	60311	80311	120	29	55.2	41.8	5300	6700	4.05	3.1	115.21	2	65	110	131	3.2	2	1.370	
6411 N	—	—	—	50411	—	—	—	140	33	77.5	62.5	4800	6000	4.9	3.1	135.23	2.1	67	128	151	3.9	2.1	2.300	

续表 22-32

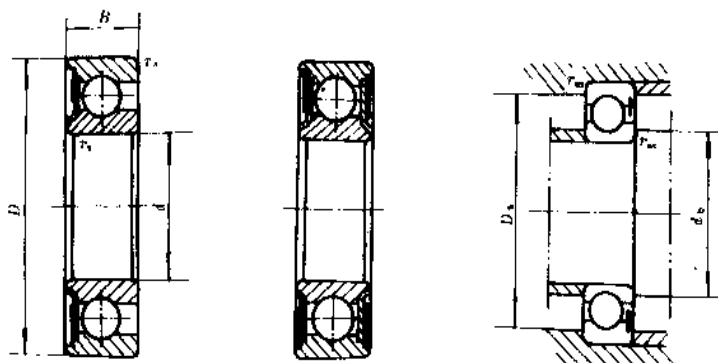
新轴承代号		旧轴承代号				基本尺寸 mm		基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg	
d	D	B	d	D	B	Cr	Cor	a	b	D <sub>1</sub>	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> min	D <sub>b</sub>	a <sub>1</sub>	r <sub>as</sub> max			
60000 N	60000-ZN	60000-Z	60000-2Z	50000	150000	60000	80000												
6012 N	6012-ZN	6012-Z	6012-2Z	50112	150212	60112	80112												
6212 N	6212-ZN	6212-Z	6212-2Z	50212	150212	60212	80212												
6312 N	6312-ZN	6312-Z	6312-2Z	50312	150312	60312	80312												
6412 N	—	—	—	50412	—	—	—												
6013 N	—	6013-Z	6013-2Z	50113	—	60113	80113												
6213 N	6213-ZN	6213-Z	6213-2Z	50213	150213	60213	80213												
6313 N	6313-ZN	6313-Z	6313-2Z	50313	150313	60313	80313												
6413 N	—	—	—	50413	—	—	—												
6014 N	—	6014-Z	6014-2Z	50114	—	60114	80114												
6214 N	6214-ZN	6214-Z	6214-2Z	50214	150214	60214	80214												
6314 N	6314-ZN	6314-Z	6314-2Z	50314	150314	60314	80314												
6414 N	—	—	—	50414	—	—	—												
6015 N	—	6015-Z	6015-2Z	50115	—	60115	80115												
6215 N	6215-ZN	6215-Z	6215-2Z	50215	150215	60215	80215												
6315 N	—	6315-Z	6315-2Z	50315	—	60315	—												
6415 N	—	—	—	50415	—	—	—												
6016 N	—	6016-Z	6016-2Z	50116	—	60116	80116												
6216 N	6216-ZN	6216-Z	6216-2Z	50216	150216	60216	80216												
6316 N	—	—	—	50316	—	—	—												
6416 N	—	—	—	50416	—	—	—												
6017 N	—	6017-Z	6017-2Z	50117	—	60117	80117												
6217 N	—	6217-Z	6217-2Z	50217	—	60217	—												
6018 N	—	6018-Z	6018-2Z	50118	—	60118	80118												
6218 N	6218-ZN	6218-Z	6218-2Z	50218	150218	60218	80218												
6019 N	—	6019-Z	6019-2Z	50119	—	60119	80119												
6219 N	—	—	—	50219	—	—	—												
6319 N	—	—	—	50319	—	—	—												
6020 N	—	6020	6020-2Z	50120	—	60120	80120												
6220 N	—	—	—	50220	—	—	—												

注：表中所列轴承的基本额定负荷 C<sub>r</sub>，是以电炉轴承钢为基本材料时的负荷能力，如采用真空脱气轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 30%，采用电渣重熔轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 70%。



表 22-33 带密封圈的深沟球轴承(摘自 GB 279—88 参照 ISO 15 81)

星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



$P_r$  的计算见表 22-31

新轴承代号		旧轴承代号		基本尺寸 mm			基本额定负荷		极限转速	安装尺寸 mm				质量
60000-RS	60000-2RS	160000	180000	$d$	$D$	$B$	$C_r$	$C_{or}$	r/min	$r_s$	$d_h$	$D_h$	$r_{s1}$	kg
									脂润滑	min	max	max	max	
6000-RS	6000-2RS	160100	180100	10	26	8	3.52	1.95	14000	0.3	12.5	23.6	0.3	0.019
6200-RS	6200-2RS	160200	180200		30	9	3.92	2.22	13000	0.6	14.5	25	0.6	0.030
6300-RS	6300-2RS	160300	180300		35	11	5.88	3.45	12000	0.6	15	30	0.6	0.050
6001-RS	6001-2RS	160101	180101	12	28	8	3.92	2.22	13000	0.3	14.5	25.6	0.3	0.020
6201-RS	6201-2RS	160201	180201		32	10	5.25	3.05	12000	0.6	16	27	0.6	0.040
6301-RS	6301-2RS	160301	180301		37	12	7.48	4.65	11000	1	17	31	1	0.060
6002-RS	6002-2RS	160102	180102	15	32	9	4.30	2.50	12000	0.3	18	29.6	0.3	0.030
6202-RS	6202-2RS	160202	180202		35	11	5.88	3.48	11000	0.6	19	30	0.6	0.040
6302-RS	6302-2RS	160302	180302		42	13	8.80	5.40	10000	1	20.5	36	1	0.080
6003-RS	6003-2RS	160103	180103	17	35	10	4.62	2.78	11000	0.3	20	32.6	0.3	0.040
6203-RS	6203-2RS	160203	180203		40	12	7.35	4.45	10000	0.6	21	35	0.6	0.060
6303-RS	6303-2RS	160303	180303		47	14	10.5	6.55	9500	1	23.5	41	1	0.110
6004-RS	6004-2RS	160104	180104	20	42	12	7.22	4.45	9500	0.6	24.5	37	0.6	0.070
6204-RS	6204-2RS	160204	180204		47	14	9.88	6.18	9000	1	25.5	41	1	0.100
6304-RS	6304-2RS	160304	180304		52	15	12.2	7.78	8500	1.1	27	45	1	0.140
6005-RS	6005-2RS	160105	180105	25	47	12	7.75	4.95	8500	0.6	29	42	0.6	0.080
6205-RS	6205-2RS	160205	180205		52	15	10.8	6.95	8000	1	31	46	1	0.120
6305-RS	6305-2RS	160305	180305		62	17	17.2	11.2	7000	1.1	33.5	55	1	0.220
6006-RS	6006-2RS	160106	180106	30	55	13	10.2	6.88	7500	1	35.5	49	1	0.120
6206-RS	6206-2RS	160206	180206		62	16	15.0	10.0	6700	1	37	56	1	0.190
6306-RS	6306-2RS	160306	180306		72	19	20.8	14.2	6300	1.1	41.5	65	1	0.350
6007-RS	6007-2RS	160107	180107	35	62	14	12.5	8.5	6300	1	40.5	56	1	0.160
6207-RS	6207-2RS	160207	180207		72	17	19.8	13.5	6000	1.1	43.5	65	1	0.270
6307-RS	6307-2RS	160307	180307		80	21	25.8	17.8	5600	1.5	44	71	1.5	0.420
6008-RS	6008-2RS	160108	180108	40	68	15	13.2	9.42	6000	1	46	62	1	0.100
6208-RS	6208-2RS	160208	180208		80	18	22.8	15.8	5600	1.1	49.5	73	1	0.370
6308-RS	6308-2RS	160308	180308		90	23	31.2	22.2	5000	1.5	50.5	81	1.5	0.630
6009-RS	6009-2RS	160109	180109	45	75	16	16.2	11.8	5600	1	51	69	1	0.240
6209-RS	6209-2RS	160209	180209		85	19	24.5	17.5	5000	1.1	54	78	1	0.420
6309-RS	6309-2RS	160309	180309		100	25	40.8	29.8	4500	1.5	56.5	91	1.5	0.830
6010-RS	6010-2RS	160110	180110	50	80	16	16.8	12.8	5000	1	56	74	1	0.280
6210-RS	6210-2RS	160210	180210		90	20	27.0	19.8	4800	1.1	58	83	1	0.470
6310-RS	6310-2RS	160310	180310		110	27	47.5	35.5	4300	2	63	100	2	1.080
6011-RS	6011-2RS	160111	180111	55	90	18	23.2	17.8	4500	1.1	67	83	1	0.380
6211-RS	6211-2RS	160211	180211		100	21	33.5	25.0	4300	1.5	65	91	1.5	0.580
6311-RS	6311-2RS	160311	180311		120	29	55.2	41.8	3800	2	69	110	2	1.370
6012-RS	6012-2RS	160112	180112	60	95	18	24.5	19.2	4300	1.1	67	88	1	0.410
6212-RS	6212-2RS	160212	180212		110	22	36.8	27.8	4000	1.5	71	101	1.5	0.770
6312-RS	6312-2RS	160312	180312		130	31	62.8	48.5	3600	2.1	76	118	2	1.710
6013-RS	6013-2RS	160113	180113	65	100	18	24.8	19.8	4000	1.1	72	93	1	0.640
6213-RS	6213-2RS	160213	180213		120	23	44.0	34.0	3600	1.5	79	111	1.5	0.980
6313-RS	6313-2RS	160313	180313		140	33	72.2	56.5	3200	2.1	81	128	2.1	2.090

超星阅读器提醒您：  
续表 22-33

新轴承代号		旧轴承代号		基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min	安装尺寸 mm				质量 kg
60000-RS	60000-2RS	160000	180000	d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	r <sub>s</sub>	d <sub>h</sub>	D <sub>a</sub>	r <sub>m</sub>	kg
										min	max	max	max	
6014-RS	6014-2RS	160114	180114	70	110	20	29.8	24.2	3800	1.1	78	103	1	0.60
6214-RS	6214-2RS	160214	180214		125	24	46.8	37.5	3400	1.5	83	116	1.5	1.04
6314-RS	6314-2RS	160314	180314		150	35	80.2	63.2	3000	2.1	87	138	2.1	2.60
6015-RS	6015-2RS	160115	180115	75	115	20	30.8	26.0	3600	1.1	83	108	1	0.64
6215-RS	6215-2RS	160215	180215		130	25	50.8	41.2	3200	1.5	87	121	1.5	1.18
6315-RS	6315-2RS	160315	180315		160	37	87.2	71.5	2800	2.1	94	148	2.1	3.00
6016-RS	6016-2RS	160116	180116	80	125	22	36.5	31.2	3400	1.1		118	1	1.05
6216-RS	6216-2RS	160216	180216		140	26	55.0	44.8	3000	2	94	130	2	1.38
6316-RS	6316-2RS	160316	180316		170	39	94.5	80.0	2600	2.1		158	2.1	3.62
6017-RS	6017-2RS	160117	180117	85	130	22	39	33.5	3200	1.1		123	1	1.10
6217-RS	6217-2RS	160217	180217		150	28	64	53.2	2800	2		140	2	1.75
6317-RS	6317-2RS	160317	180317		180	41	102	89.2	2400	3		166	2.5	4.27
6022-RS	6022-2RS	160118	180118	90	140	24	44.5	39.0	3000	1.5		131	1.5	1.16
6222-RS	6222-2RS	160218	180218		160	30	73.8	60.5	2600	2		150	2	2.18
6322-RS	6322-2RS	160318	180318		190	43	111	100	2200	3		176	2.5	4.96
6019-RS	6019-2RS	160119	180119	95	145	24	44.5	39.0	2800	1.5		136	1.5	1.21
6219-RS	6219-2RS	160219	180219		170	32	84.8	70.5	2400	2.1		158	2.1	2.62
6020-RS	6020-2RS	160120	180120	100	150	24	49.5	43.8	2600	1.5		141	1.5	1.25
6210-RS	6210-2RS	160220	180220		180	34	94.0	79.0	2200	2.1		168	2.1	3.20
6021-RS	6021-2RS	160121	180121	105	160	26	55.2	49.5	2400	2		150	2	1.52
6221-RS	6221-2RS	160221	180221		190	36	102	89.2	2200	2.1		178	2.1	3.78
6022-RS	6022-2RS	160122	180122	110	170	28	63.0	57.2	2200	2		160	2	1.87
6024-RS	6024-2RS	160124	180124	120	180	28	67.5	61.8	2000	2		170	2	1.99

注：表中所示轴承的基本额定动负荷 C<sub>r</sub>，是以电炉轴承钢为基本材料时的负荷能力，如采用真空脱气轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 30%，采用电渣重熔轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 70%。

3.6 角接触球轴承

表 22-34 单列角接触球轴承当量负荷计算公式

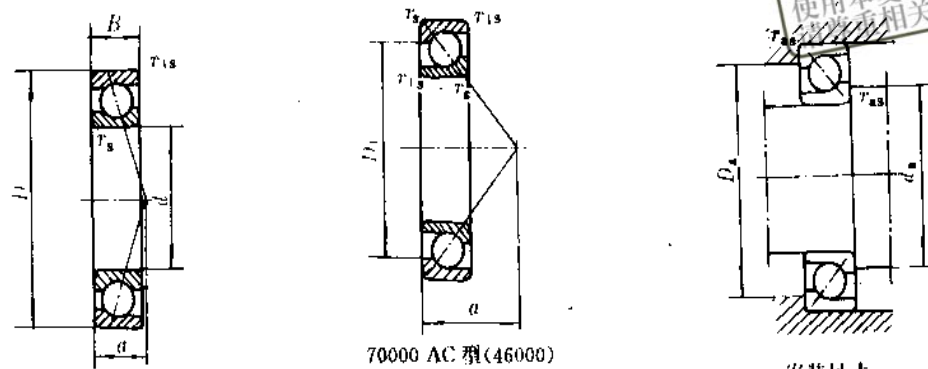
接触角	计算项目	单个轴或串联配置	面对面、背靠背配置
70000 C 型 (α=15°)	当量动负荷	当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> ≤ e 时, P <sub>r</sub> = F <sub>r</sub> 当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> > e 时, P <sub>r</sub> = 0.44F <sub>r</sub> + YF <sub>a</sub>	当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> ≤ e 时, P <sub>r</sub> = F <sub>r</sub> + Y <sub>1</sub> F <sub>a</sub> 当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> > e 时, P <sub>r</sub> = 0.72F <sub>r</sub> + Y <sub>2</sub> F <sub>a</sub>
	当量静负荷	P <sub>0r</sub> = 0.5F <sub>r</sub> + 0.46F <sub>a</sub> 当 P <sub>0r</sub> > F <sub>r</sub> 时, 取 P <sub>0r</sub> = F <sub>r</sub>	P <sub>0r</sub> = F <sub>r</sub> + 0.92F <sub>a</sub>
70000 AC 型 (α=25°)	当量动负荷	当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> ≤ 0.68 时, P <sub>r</sub> = F <sub>r</sub> 当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> > 0.68 时, P <sub>r</sub> = 0.41F <sub>r</sub> + 0.87F <sub>a</sub>	当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> ≤ 0.68 时, P <sub>r</sub> = F <sub>r</sub> + 0.92F <sub>a</sub> 当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> > 0.68 时, P <sub>r</sub> = 0.67F <sub>r</sub> + 1.41F <sub>a</sub>
	当量静负荷	P <sub>0r</sub> = 0.5F <sub>r</sub> + 0.38F <sub>a</sub> 当 P <sub>0r</sub> < F <sub>r</sub> 时, 取 P <sub>0r</sub> = F <sub>r</sub>	P <sub>0r</sub> = F <sub>r</sub> + 0.76F <sub>a</sub>
70000 B 型 (α=40°)	当量动负荷	当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> ≤ 1.14 时, P <sub>r</sub> = F <sub>r</sub> 当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> > 1.14 时, P <sub>r</sub> = 0.35F <sub>r</sub> + 0.57F <sub>a</sub>	当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> ≤ 1.14 时, P <sub>r</sub> = F <sub>r</sub> + 0.55F <sub>a</sub> 当 F <sub>a</sub> /F <sub>r</sub> > 1.14 时, P <sub>r</sub> = 0.57F <sub>r</sub> + 0.93F <sub>a</sub>
	当量静负荷	P <sub>0r</sub> = 0.5F <sub>r</sub> + 0.26F <sub>a</sub> 当 P <sub>0r</sub> < F <sub>r</sub> 时, 取 P <sub>0r</sub> = F <sub>r</sub>	P <sub>0r</sub> = F <sub>r</sub> + 0.52F <sub>a</sub>

注：有关 F<sub>a</sub> 的计算见 150~151 页。

表 22-35

F <sub>a</sub> /C <sub>0r</sub>	e	Y	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	F <sub>a</sub> /C <sub>0r</sub>	e	Y	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	F <sub>a</sub> /C <sub>0r</sub>	e	Y	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
0.015	0.38	1.47	1.65	2.39	0.087	0.46	1.23	1.38	2.00	0.29	0.55	1.02	1.14	1.66
0.029	0.40	1.40	1.57	2.28	0.12	0.47	1.19	1.34	1.93	0.44	0.56	1.00	1.12	1.63
0.058	0.43	1.30	1.46	2.11	0.17	0.50	1.12	1.26	1.82	0.58	0.56	1.00	1.12	1.63

表 22-36 单列角接触球轴承(摘自 GB/T 292—93 等效 ISO15—81)



70000 C 型(36000)

70000 AC 型(46000)

70000 B 型(66000)

安装尺寸

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定 负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质 量 kg
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	a	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	r <sub>as</sub> max	
7000 C	36100	10	26	8	3.78	2.15	19000	28000	6.4	0.3	0.15	12.4	23.6	0.3	0.018
7000 AC	46100		26	8	3.66	2.02	19000	28000	8.2	0.3	0.15	12.4	23.6	0.3	0.018
7000 B	66000		30	9	4.18	2.42	18000	26000	7.2	0.6	0.15	15	25	0.6	0.03
7200 C	36200		30	9	4.0	2.28	18000	26000	9.2	0.6	0.15	15	25	0.6	0.03
7001 C	36101	12	28	8	4.08	2.42	18000	26000	6.7	0.3	0.15	14.4	25.6	0.3	0.02
7001 AC	46101		28	8	4.0	2.28	18000	26000	8.7	0.3	0.15	14.4	25.6	0.3	0.02
7201 C	36201		32	10	5.65	3.35	17000	24000	8	0.6	0.15	17	27	0.6	0.035
7201 AC	46201		32	10	5.45	3.15	17000	24000	10.2	0.6	0.15	17	27	0.6	0.035
7301 C	36301		37	12	8.10	5.22	16000	22000	8.6	1	0.3	18	31	1	—
7301 AC	46301		37	12	8.08	4.38	16000	22000	12	1	0.3	18	31	1	—
7002 C	36102	15	32	9	4.80	2.95	17000	24000	7.6	0.3	0.15	17.4	29.6	0.3	0.028
7002 AC	46102		32	9	4.58	2.28	17000	24000	10	0.3	0.15	17.4	29.6	0.3	0.028
7202 C	36202		35	11	6.68	4.19	16000	22000	8.9	0.6	0.15	20	30	0.6	0.043
7202 AC	46202		35	11	6.42	3.92	16000	22000	11.4	0.6	0.15	20	30	0.6	0.043
7302 C	36302		42	13	9.38	5.95	15000	22000	9.6	1	0.3	21	36	1	—
7302 AC	46302		42	13	9.08	5.58	15000	20000	13.5	1	0.3	21	36	1	—
7003 C	36103	17	35	10	5.08	3.22	16000	22000	8.5	0.3	0.15	19.4	32.6	0.3	0.036
7003 AC	46103		35	10	4.85	3.02	16000	22000	11.1	0.3	0.15	19.4	32.6	0.3	0.036
7203 C	36203		40	12	8.38	5.38	15000	20000	9.9	0.6	0.3	22	35	0.6	0.062
7203 AC	46203		40	12	8.05	5.05	15000	20000	12.8	0.6	0.3	22	35	0.6	0.062
7303 C	36303		47	14	12.8	8.62	14000	19000	10.4	1	0.3	23	41	1	—
7303 AC	46303		47	14	11.5	7.08	14000	19000	14.8	1	0.3	23	41	1	—
7004 C	36104	20	42	12	8.05	5.25	14000	19000	10.2	0.6	0.15	25	37	0.6	0.064
7004 AC	46104		42	12	7.72	4.92	14000	19000	13.2	0.6	0.15	25	37	0.6	0.064
7204 C	36204		47	14	11.2	7.46	13000	18000	11.5	1	0.3	26	41	1	0.1
7204 AC	46204		47	14	10.8	7.00	13000	18000	14.9	1	0.3	26	41	1	0.1
7204 B	66204		47	14	10.8	6.78	13000	18000	21.1	1	0.3	26	41	1	0.11
7304 C	36304		52	15	14.2	9.68	12000	17000	11.3	1.1	0.6	27	45	1	0.15
7304 AC	46304		52	15	13.8	9.10	12000	17000	16.3	1.1	0.6	27	45	1	0.15
7005 C	36105	25	47	12	8.98	6.22	12000	17000	10.8	0.6	0.15	30	42	0.6	0.074
7005 AC	46105		47	12	8.58	5.85	12000	17000	14.4	0.6	0.15	30	42	0.6	0.074
7205 C	36205		52	15	12.8	8.95	11000	16000	12.7	1	0.3	31	46	1	0.12
7205 AC	46205		52	15	12.2	8.38	11000	16000	16.4	1	0.3	31	46	1	0.13
7205 B	66205		52	15	12.2	7.88	11000	16000	23.7	1	0.3	31	46	1	0.13
7305 C	36305		62	17	21.5	15.8	9500	14000	13.1	1.1	0.6	32	55	1	0.23
7305 AC	46305		62	17	20.8	14.8	9500	14000	19.1	1.1	0.6	32	55	1	0.23
7305 B	66305		62	17	20.2	13.5	9500	14000	26.8	1.1	0.6	32	55	1	—
7006 C	36106	30	55	13	11.5	8.45	9500	14000	12.2	1	0.3	36	49	1	0.11
7006 AC	46106		55	13	11.2	7.92	9500	14000	16.4	1	0.3	36	49	1	0.11
7206 C	36206		62	16	17.8	12.8	9000	13000	14.2	1	0.3	36	56	1	0.19
7206 AC	46206		62	16	16.8	12.2	9000	13000	18.7	1	0.3	36	56	1	0.19

星球浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

星球

超星阅读器提醒您：  
使用本软件时，请尊重相关知识产权！

续表 22-36

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定 负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	a	r <sub>a</sub> min	r <sub>1s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>as</sub> max	
7000 C	36000														
7000 AC	46000														
7000 B	66000														
7206 B	66206	30	62	16	15.8	11.2	9000	13000	27.4	1	0.3	36	56	1	0.21
7306 C	36306		72	19	26.2	19.8	8500	12000	15	1.1	0.6	37	65	1	0.35
7306 AC	46306		72	19	25.2	18.5	8500	12000	22.2	1.1	0.6	37	65	1	0.35
7306 B	66306		72	19	24.8	17.5	8500	12000	31.1	1.1	0.6	37	65	1	0.37
7406 AC	46406		90	23	42.5	32.2	7500	10000	26.1	1.5	0.6	39	81	1	
7007 C	36107	35	62	14	14.8	11.5	8500	12000	13.5	1	0.3	41	56	1	0.15
7007 AC	46107		62	14	14.2	10.8	8500	12000	18.3	1	0.3	41	56	1	0.15
7207 C	36207		72	17	23.5	17.5	8000	11000	15.7	1.1	0.6	42	65	1	0.28
7207 AC	46207		72	17	22.5	16.5	8000	11000	21	1.1	0.6	42	65	1	0.28
7207 B	66207		72	17	20.8	15.2	8000	11000	30.9	1.1	0.6	42	65	1	0.3
7307 C	36307		80	21	34.2	26.8	7500	10000	16.6	1.5	0.6	44	71	1.5	0.47
7307 AC	46307		80	21	32.8	24.8	7500	10000	24.5	1.5	0.6	44	71	1.5	0.47
7307 B	66307		80	21	29.5	21.2	7500	10000	34.6	1.5	0.6	44	71	1.5	0.51
7307 AC	46407		100	25	53.8	42.5	6300	8500	23	1.5	0.6	44	91	1.5	0.97
7008 C	36108	40	68	15	15.5	12.2	8000	11000	14.7	1	0.3	45	62	1	0.18
7008 AC	46108		68	15	14.5	11.5	8000	11000	20.1	1	0.3	46	62	1	0.18
7208 C	36208		80	18	26.8	20.5	7500	10000	17	1.1	0.6	47	73	1	0.37
7208 AC	46208		80	18	25.8	19.2	7500	10000	23	1.1	0.6	47	73	1	0.37
7208 B	66208		80	18	25.0	18.8	7500	10000	34.5	1.1	0.6	47	73	1	0.39
7308 C	36308		90	23	40.2	32.3	6700	9000	18.5	1.5	0.6	49	81	1.5	0.66
7308 AC	46308		90	23	38.5	30.5	6700	9000	27.5	1.5	0.6	49	81	1.5	0.66
7308 B	66308		90	23	35.5	26.2	6700	9000	38.8	1.5	0.6	49	81	1.5	0.67
7408 AC	46408		110	27	62.0	49.5	6000	8000	31.8	2	1	50	100	2	1.23
7408 B	66408		110	27	51.5	41.8	6000	8000	38.7	2	1	50	100	2	1.4
7009 C	36109	45	75	16	19.8	16.2	7500	10000	16	1	0.3	51	69	1	0.23
7009 AC	46109		75	16	18.8	15.2	7500	10000	21.9	1	0.3	51	69	1	0.23
7209 C	36209		85	19	29.8	23.8	6700	9000	18.2	1.1	0.6	52	78	1	0.41
7209 AC	46209		85	19	28.2	22.5	6700	9000	24.7	1.1	0.6	52	78	1	0.41
7209 B	66209		85	19	27.8	21.2	6700	9000	36.8	1.1	0.6	52	78	1	0.44
7309 C	36309		100	25	49.2	39.8	6000	8000	20.2	1.5	0.6	54	91	1.5	0.86
7309 AC	46309		100	25	47.5	37.2	6000	8000	30.2	1.5	0.6	54	91	1.5	0.86
7309 B	66309		100	25	45.8	34.5	6000	8000	42.9	1.5	0.6	54	91	1.5	0.9
7409 AC	46409		120	29	66.8	52.8	5300	7000	34.6	2	1	55	110	2	1.77
7010 C	36110	50	80	16	20.5	17.2	6700	9000	16.7	1	0.3	56	74	1	0.25
7010 AC	46110		80	16	19.5	16.2	6700	9000	23.2	1	0.3	56	74	1	0.25
7210 C	36210		90	20	32.8	26.8	6300	8500	19.4	1.1	0.6	57	83	1	0.46
7210 AC	46210		90	20	31.5	25.2	6300	8500	26.3	1.1	0.6	57	83	1	0.46
7210 B	66210		90	20	28.8	22.8	6300	8500	39.4	1.1	0.6	57	83	1	0.49
7310 C	36310		110	27	53.5	47.2	5600	7500	22	2	1	60	100	2	1.08
7310 AC	46310		110	27	55.5	44.5	5600	7500	33	2	1	60	100	2	1.32
7310 B	66310		110	27	52.5	40.8	5600	7500	47.5	2	1	60	100	2	1.15
7410 AC	46410		130	31	76.5	64.2	5000	6700	37.4	2.1	1.1	62	118	2.1	
7410 B	66410		130	31	73.2	56.5	5000	6700	46.2	2.1	1.1	62	118	2.1	2.08
7011 C	36111	55	90	18	28.5	24.5	6000	8000	18.7	1.1	0.6	62	83	1	0.38
7011 AC	46111		90	18	27.2	22.8	6000	8000	25.9	1.1	0.6	62	83	1	0.38
7211 C	36211		100	21	40.8	33.8	5600	7500	20.9	1.5	0.6	64	91	1.5	0.61
7211 AC	46211		100	21	38.8	31.8	5600	7500	28.6	1.5	0.6	64	91	1.5	0.61
7211 B	66211		100	21	35.5	28.8	5600	7500	43	1.5	0.6	64	91	1.5	0.65
7311 C	36311		120	29	70.5	60.5	5000	6700	23.8	2	1	65	110	2	1.71
7311 AC	46311		120	29	67.2	56.8	5000	6700	35.8	2	1	65	110	2	1.42
7311 B	66311		120	29	60.5	48.0	5000	6700	51.4	2	1	65	110	2	1.45
7012 C	36112	60	95	18	29.5	25.8	5600	7500	19.38	1.1	0.6	67	88	1	0.4
7012 AC	46112		95	18	27.8	24.2	5600	7500	27.1	1.1	0.6	67	88	1	0.4
7212 C	36212		110	22	44.8	37.8	5300	7000	22.4	1.5	0.6	69	101	1.5	0.8
7212 AC	46212		110	22	42.8	35.5	5300	7000	30.8	1.5	0.6	69	101	1.5	0.8



超星浏览器提醒您：  
使用本产品时，请尊重知识产权！  
续表 22-36

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定 负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	a	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>ms</sub> max	
70000 C	36000														
70000 AC	46000														
70000 B	66000														
7212 B	66212	60	110	22	43.2	35.5	5300	7000	46.7	1.5	0.6	69	101	1.5	0.84
7312 C	36312		130	31	80.5	70.2	4800	6300	25.6	2.1	1.1	72	118	2.1	1.7
7312 AC	46312		130	31	77.3	65.8	4800	6300	38.7	2.1	1.1	72	118	2.1	2.06
7312 B	66312		130	31	69.2	55.5	4800	6300	55.4	2.1	1.1	72	118	2.1	1.85
7412 AC	46412		150	35	102	90.3	4300	5600	43.1	2.1	1.1	72	138	2.1	3.54
7412 B	66412		150	35	90.2	75.2	4300	5600	55.7	2.1	1.1	72	138	2.1	3.56
7013 C	36113	65	100	18	30.8	27.8	5300	7000	20.1	1.1	0.6	72	93	1	0.43
7013 AC	46113		100	18	29.2	26.2	5300	7000	28.2	1.1	0.6	72	93	1	0.43
7213 C	36213		120	23	53.8	46.0	4800	6300	24.2	1.5	0.6	74	111	1.5	1
7213 AC	46213		120	23	51.2	43.2	4800	6300	33.5	1.5	0.6	74	111	1.5	1
7213 B	66213		120	23	48.8	41.8	4800	6300	51.1	1.5	0.6	74	111	1.5	1.05
7313 C	36313		140	33	91.5	80.5	4300	5600	27.4	2.1	1.1	77	128	2.1	2.23
7312 AC	46313		140	33	89.8	75.5	4300	5600	41.5	2.1	1.1	77	128	2.1	2.57
7312 B	66313		140	33	79.5	64.8	4300	5600	59.5	2.1	1.1	77	128	2.1	2.25
7014 C	36114	70	110	20	37.2	34.0	5000	6700	22.1	1.1	0.6	77	103	1	0.6
7014 AC	46114		110	20	35.2	31.8	5000	6700	30.9	1.1	0.6	77	103	1	0.6
7214 C	36214		125	24	56.0	49.2	4500	6700	25.3	1.5	0.6	79	116	1.5	1.1
7214 AC	46214		125	24	53.2	46.2	4500	6700	35.1	1.5	0.6	79	116	1.5	1.1
7214 B	66214		125	24	53.0	45.5	4500	6700	52.9	1.5	0.6	79	116	1.5	1.15
7314 C	36314		150	35	102	91.5	4000	5300	29.2	2.1	1.1	82	138	2.1	2.67
7314 AC	46314		150	35	98.5	86.0	4000	5300	44.3	2.1	1.1	82	138	2.1	3.06
7314 B	66314		150	35	88.0	72.8	4000	5300	63.7	2.1	1.1	82	138	2.1	2.75
7414 AC	46414		180	42	125	125	3600	4800	51.5	3	1.1	84	166	2.5	5.22
7015 C	36115	75	115	20	38.2	35.8	4800	6300	22.7	1.1	0.6	82	108	1	0.63
7015 AC	46115		115	20	36.0	33.5	4800	6300	32.2	1.1	0.6	82	108	1	0.63
7215 C	36215		130	25	60.8	54.2	4300	5600	26.4	1.5	0.6	84	121	1.5	1.2
7215 AC	46215		130	25	57.8	50.8	4300	5600	36.6	1.5	0.6	84	121	1.5	1.2
7215 B	66215		130	25	56.6	48.8	4300	5600	55.5	1.5	0.6	84	121	1.5	1.3
7315 C	36315		160	37	112	105	3800	5000	31	2.1	1.1	87	148	2.1	3.56
7315 AC	46315		160	37	108	97.0	3600	5000	47.2	2.1	1.1	87	148	2.1	3.56
7315 B	66315		160	37	95.8	82.2	3800	5000	68.4	2.1	1.1	87	148	2.1	3.3
7016 C	36116	80	125	22	45.0	43.2	4500	6000	24.7	1.1	0.6	87	118	1	0.85
7016 AC	46116		125	22	42.5	40.5	4500	6000	34.9	1.1	0.6	87	118	1	0.85
7216 C	36216		140	26	68.8	63.2	4000	5300	27.7	2	1	90	130	2	1.45
7216 AC	46216		140	26	65.5	63.7	4000	5300	38.9	2	1	90	130	2	1.45
7216 B	66216		140	26	61.8	54.5	4000	5300	59.2	2	1	90	130	2	1.55
7316 C	36316		170	39	122	118	3600	4800	32.8	2.1	1.1	92	158	2.1	3.59
7316 AC	46316		170	39	118	108	3600	4800	50	2.1	1.1	92	158	2.1	3.59
7316 B	66316		170	39	105	92.0	3600	4800	71.9	2.1	1.1	92	158	2.1	3.9
7416 AC	46416		200	48	152	162	3200	4300	58.1	3	1.1	94	186	2.5	8.72
7017 C	36117	85	130	22	46.2	45.2	4300	5600	25.4	1.1	0.6	92	123	1	0.89
7017 AC	46117		130	22	43.8	42.5	4300	5600	36.1	1.1	0.6	92	123	1	0.89
7217 C	36217		150	28	76.8	69.8	3800	5000	29.9	2	1	95	140	2	1.8
7217 AC	46217		150	28	72.8	65.5	3800	5000	41.6	2	1	95	140	2	1.8
7217 B	66217		150	28	71.5	64.0	3800	5000	63.3	2	1	95	140	2	1.95
7317 C	36317		180	41	132	128	3400	4500	34.6	3	1.1	99	166	2.5	4.38
7317 AC	46317		180	41	125	122	3400	4500	52.8	3	1.1	99	166	2.5	4.38
7317 B	66317		180	41	112	105	3400	4500	76.1	3	1.1	99	166	2.5	4.6
7018 C	36118	90	140	24	54.8	53.8	4000	5300	27.4	1.5	0.6	99	131	1.5	1.15
7018 AC	46118		140	24	52.0	50.5	4000	5300	38.8	1.5	0.6	99	131	1.5	1.15
7218 C	36218		160	30	94.2	87.8	3600	4800	31.7	2	1	100	150	2	2.25
7218 AC	46218		160	30	89.8	82.2	3600	4800	44.2	2	1	100	150	2	2.25
7218 B	66218		160	30	81.8	74.2	3600	4800	67.9	2	1	100	150	2	2.4
7318 C	36318		190	43	142	142	3200	4300	36.4	3	1.1	104	176	2.5	5.17
7318 AC	46318		190	43	135	135	3200	4300	55.6	3	1.1	104	176	2.5	5.02

超星浏览器提醒  
使用本产品  
请尊重知识产权!

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm					基本额定 负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm					质 量 kg
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	a	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	d <sub>p</sub> min	D <sub>A</sub> max	r <sub>as</sub> max		
7000 C	36000															
7000 AC	46000															
7000 B	66000															
7318 B	66318	90	190	43	122	115	3200	4300	80.2	3	1.1	104	176	2.5	5.4	
7418 AC	46418		215	54	178	205	2600	3600	64.8	4	1.5	108	197	3	12.2	
7019 C	36119	95	145	24	56.5	56.5	3800	5000	28.1	1.5	0.6	104	136	1.5	1.2	
7019 AC	46119		145	24	53.5	53.0	3800	5000	40	1.5	0.6	104	136	1.5	1.2	
7219 C	36219		170	32	102	95.5	3400	4500	33.8	2.1	1.1	107	158	2.1	2.7	
7219 AC	46219		170	32	98.8	89.5	3400	4500	46.9	2.1	1.1	107	158	2.1	2.7	
7219 B	66219		170	32	92.8	85.2	3400	4500	72.5	2.1	1.1	107	158	2.1	2.9	
7319 C	36319		200	45	152	158	3000	4000	38.2	3	1.1	109	186	2.5	5.98	
7319 AC	46319		200	45	145	148	3000	4000	58.5	3	1.1	109	186	2.5	6.69	
7319 B	66319		200	45	132	130	3000	4000	84.4	3	1.1	109	186	2.5	6.25	
7020 C	36120	100	150	24	61.2	60.5	3800	5000	28.7	1.5	0.6	109	141	1.5	1.25	
7020 AC	46120		150	24	57.8	56.8	3800	5000	41.2	1.5	0.6	109	141	1.5	1.25	
7220 C	36220		180	34	140	115	3200	4300	35.8	2.1	1.1	112	168	2.1	3.25	
7220 AC	46220		180	34	108	100	3200	4300	49.7	2.1	1.1	112	168	2.1	3.25	
7220 B	66220		180	34	100	90.8	3200	4300	75.7	2.1	1.1	112	168	2.1	3.45	
7320 C	36320		215	47	162	175	2600	3600	40.2	3	1.1	114	201	2.5	7.2	
7320 AC	46320		215	47	165	178	2600	3600	61.9	3	1.1	114	201	2.5		
7320 B	66320		215	47	145	150	2600	3600	89.6	3	1.1	114	201	2.5	7.75	
7021 C	36121	105	160	26	68.0	68.5	3700	4900	30.8	2	1	115	150	2	1.6	
7021 AC	46121		160	26	64.5	64.2	3700	4900	43.9	2	1	115	150	2	1.6	
7221 C	36221		190	36	125	122	3000	4000	37.8	2.1	1.1	117	178	2.1	3.85	
7221 AC	46221		190	36	118	112	3000	4000	52.4	2.1	1.1	117	178	2.1	3.85	
7221 B	66221		190	36	110	102	3000	4000	79.9	2.1	1.1	117	178	2.1	4.1	
7321 B	66321		225	49	155	162	2400	3400	93.7	3	1.1	119	211	2.5	8.8	
7022 C	36122	110	170	28	77.5	78.8	3600	4800	32.8	2	1	120	160	2	1.95	
7022 AC	46122		170	28	73.5	74.0	3600	4800	46.7	2	1	120	160	2	1.95	
7222 C	36222		200	38	135	135	2800	3800	39.8	2.1	1.1	122	188	2.1	4.55	
7222 AC	46222		200	38	128	128	2800	3800	55.2	2.1	1.1	122	188	2.1	4.55	
7222 B	66222		200	38	118	115	2800	3800	84	2.1	1.1	122	188	2.1	4.8	
7322 AC	46322		240	50	182	208	2200	3200	67.7	3	1.1	124	226	2.5	11.28	
7322 B	66322		240	50	173.5	192	2200	3200	98.4	3	1.1	124	226	2.5	10.5	
7024 C	36124	120	180	28	83.2	85.5	2800	3800	34.1	2	1	130	170	2	2.1	
7024 AC	46124		180	28	78.5	80.2	2800	3800	48.9	2	1	130	170	2	2.1	
7224 C	36224		215	40	145	152	2400	3400	42.4	2.1	1.1	132	203	2.1	5.4	
7224 AC	46224		215	40	138	142	2400	3400	59.1	2.1	1.1	132	203	2.1	5.4	
7324 AC	46324		260	55	205	245	2000	3000	73.8	3	1.1	134	246	2.5	—	
7026 C	36126	130	200	33	99.5	105	2600	3600	38.6	2	1	140	190	2	3.2	
7026 AC	46126		200	33	94.2	97.8	2600	3600	54.9	2	1	140	190	2	3.2	
7226 C	36226		230	40	152	162	2200	3200	44.3	3	1.1	144	216	2.5	6.25	
7226 AC	46226		230	40	145	152	2200	3200	62.2	3	1.1	144	216	2.5	6.25	
7028 AC	46128	140	210	33	108	115	2200	3200	59.2	2	1	150	200	2	3.92	
7228 C	36228		250	42	178	202	1900	2800	41.7	3	1.1	154	236	2.5	9.36	
7228 AC	46228		250	42	178	192	1900	2800	68.6	3	1.1	154	236	2.5	9.24	
7328 B	66328		300	62	222	278	1700	2400	111	4	1.5	158	282	3	22.44	
7030 AC	46130	150	225	35	118	128	2000	3000	63.2	2.1	1.1	162	213	2.1	4.83	
7330 C	36330		320	65	272	365	1600	2200	57.5	4	1.5	168	320	3	—	
7330 AC	46330		320	65	275	375	1600	2200	90.1	4	1.5	168	302	3	27.52	
7232 C	36232	160	290	48	202	245	1700	2400	47.9	3	1.1	174	276	2.5	14.5	
7232 AC	46232		290	48	190	228	1700	2400	78.9	3	1.1	174	276	2.5	14.5	
7034 AC	46134	170	260	42	148	170	1800	2600	73.4	2.1	1.1	182	248	2.1	8.25	
7234 C	36234		310	52	248	322	1600	2200	51.5	4	1.5	188	292	3	19.2	
7234 AC	46234		310	52	235	302	1600	2200	84.5	4	1.5	188	292	3	17.2	
7236 C	36236	180	320	52	258	342	1500	2000	52.6	4	1.5	198	302	3	18.1	
7236 AC	46236		320	52	242	318	1500	2000	87	4	1.5	198	302	3	18.1	
7038 AC	46138	190	290	46	165	200	1600	2200	81.5	2.1	1.1	202	278	2.1	10.7	



续表 22-36

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	a	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>1s</sub> max	
70000 C	36000														
70000 AC	46000														
70000 B	66000														
7040 AC	46140	200	310	51	195	248	1500	2000	87.7	2.1	1.1	212	298	2.1	14.04
7240 C	36240		360	58	278	392	1300	1800	58.8	4	1.5	218	342	3	25.2
7240 AC	46240		360	58	265	368	1300	1800	97.3	4	1.5	218	342	3	25.2
7244 AC	46244	220	400	65	275	395	1100	1600	108.1	4	1.5	238	382	3	38.5

注：表中所列轴承的基本额定动负荷 C<sub>r</sub>，是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 30%，采用电渣重熔轴承钢，C<sub>r</sub>可提高 70%。

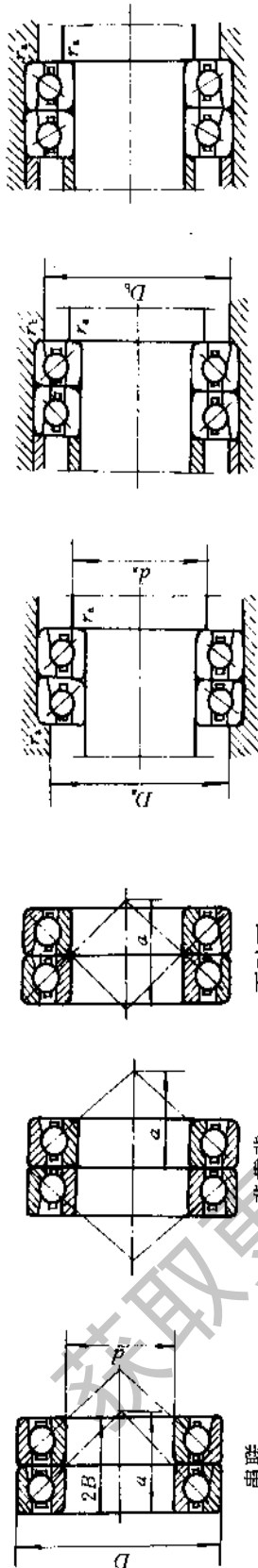
表 22-37 双半内圈四点接触球轴承(摘自 GB/T 296-93 参照 ISO15-81)

当量动负荷  
 $F_d/F_r \leq 0.95$  时  $P_d = F_r + 0.66F_a$   
 $F_d/F_r > 0.95$  时  $P_d = 0.6F_r + 1.07F_a$   
 当量静负荷  
 $P_{or} = F_a + 0.58F_r$

QJ 0000 型(176000 型)  $\alpha=35^\circ$  安装尺寸

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		其它尺寸 mm		安装尺寸 mm			质量 kg
		d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂	油	a	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>1s</sub> max	
QJ 306	176306	30	72	19	29.8	24.5	6700	9000	36	1.1	37	65	1	0.42
QJ 307	176307	35	80	21	42.0	36.8	6000	8000	41	1.5	44	71	1.5	
QJ 210	176210	50	90	20	41.8	39.0	5000	6700	49	1.1	57	83	1	
QJ 311	176311	55	120	29	81.0	76.5	4000	5300	61	2	65	110	2	
QJ 212	176212	60	110	22	55.2	58.0	4300	5600	60	1.5	69	101	1.5	0.99
QJ 314	176314	70	150	35	120	128	3200	4300	77	2.1	82	135	2.1	
QJ 317	176317	85	180	41	148	162	2600	3600	93	3	99	166	2.5	
QJ 1018	175118	90	140	24	79.5	92.8	3200	4300		1.5	99	131	1.5	
QJ 318	176318	190	43	148	162	2400	3400	98	3	104	176	2.5	6.41	
QJ 220	176220	100	180	34	122	132	2400	3400	98	2.1	112	168	2.1	3.9
QJ 1022	176122	110	170	28	115	140	3000	4000		2	120	160	2	
QJ 222	176222	200	38	152	175	2000	3000	109	2.1	122	188	2.1	4.84	
QJ 322	176322	240	50	215	305	1700	2400	123	3	124	226	2.5	12.4	
QJ 1024	176124	120	180	28	118	148	2200	3100		2	130	170	2	
QJ 224	176224	215	40	178	212	1800	2600	117	2.1	132	203	2.1	6.93	
QJ 324	176324	260	55	242	362	1600	2200	133	3	134	246	2.5	15.3	
QJ 1026	176126	130	200	33	156	192	2000	2700		2	140	190	2	
QJ 226	176226	230	40	188	235	1700	2400	127	3	144	216	2.5	8.2	
QJ 1028	176128	140	210	33	158	202	1900	2600		2	150	200	2	
QJ 228	176228	250	42	208	278	1500	2000	137	3	154	236	2.5	10.5	
QJ 328	176328	300	62	298	442	1300	1800	154	4	158	282	3	22.4	
QJ 1030	176130	150	225	35	172	228	1800	2400	131	2.1	162	213	2.1	4.59
QJ 230	176230	270	45	220	295	1400	1900	141	3	164	256	2.5	12.4	
QJ 1032	176132	160	240	38	200	265	1600	2200	140	2.1	172	228	2.1	
QJ 232	176232	290	48	260	358	1300	1800	158	3	174	276	2.5	14.7	
QJ 1034	176134	170	260	42	230	318	1500	2000	151	2.1	182	248	2.1	7.45
QJ 234	176234	310	52	280	425	1200	1700	158	4	188	292	3	18.1	
QJ 1036	176136	180	280	46	258	370	1400	1800	161	2.1	192	268	2.1	10.7
QJ 236	176236	320	52	285	465	1100	1600	175	4	198	302	3		
QJ 1038	176138	190	290	46	268	392	1300	1700	158	2.1	202	278	2.1	
QJ 1040	176140	200	310	51	295	452	1200	1600	179	2.1	212	298	2.1	
QJ 1044	176144	220	340	56	345	565	1000	1400	196	3	234	326	2.5	18

表 22-38 成对安装角接触球轴承 (GB/T295...93)



安装尺寸

新轴承代号		旧轴承代号		基本尺寸/mm		基本额定负荷/kN		极限转速 r/min		安装尺寸/mm				质量/kg			
背靠背	面对面	背靠背	面对面	d	D	2B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂	油	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	D <sub>b</sub> max	r <sub>a</sub> max	r <sub>b</sub> max	a	
7000 CJ/DB	7000 CJ/DF	7000 CJ/DT	7000 CJ/DT	10	26	16	6.12	4.30	14000	20000	12.4	23.6	24.8	0.3	0.15	6.4	0.036
7000 ACJ/DB	7000 ACJ/DF	7000 ACJ/DT	7000 ACJ/DT	26	26	16	5.92	4.02	14000	20000	12.4	23.6	24.8	0.3	0.15	8.2	0.036
7200 CJ/DB	7200 CJ/DF	7200 CJ/DT	7200 CJ/DT	30	30	18	6.75	4.82	13000	18000	15	25	28.8	0.6	0.15	7.2	0.06
7200 ACJ/DB	7200 ACJ/DF	7200 ACJ/DT	7200 ACJ/DT	30	30	18	6.48	4.55	13000	18000	15	25	28.8	0.6	0.15	9.2	0.06
7001 CJ/DB	7001 CJ/DF	7001 CJ/DT	7001 CJ/DT	12	28	16	6.75	4.82	13000	18000	14.4	25.6	26.8	0.3	0.15	6.7	0.04
7001 ACJ/DB	7001 ACJ/DF	7001 ACJ/DT	7001 ACJ/DT	28	28	16	6.48	4.55	13000	18000	14.4	25.6	26.8	0.3	0.15	8.7	0.04
7201 CJ/DB	7201 CJ/DF	7201 CJ/DT	7201 CJ/DT	32	32	20	9.15	6.70	12000	17000	17	27	30.8	0.6	0.15	8	0.07
7201 ACJ/DB	7201 ACJ/DF	7201 ACJ/DT	7201 ACJ/DT	32	32	20	8.82	6.30	12000	17000	17	27	30.8	0.6	0.15	10.2	0.07
7301 CJ/DB	7301 CJ/DF	7301 CJ/DT	7301 CJ/DT	37	37	24	13.2	10.5	11000	15000	18	31	34.6	1	0.3	8.6	—
7301 ACJ/DB	7301 ACJ/DF	7301 ACJ/DT	7301 ACJ/DT	37	37	24	13.2	9.80	11000	15000	18	31	34.6	1	0.3	12	—
7002 CJ/DB	7002 CJ/DF	7002 CJ/DT	7002 CJ/DT	15	32	18	7.78	5.90	12000	17000	17.4	29.6	30.8	0.3	0.15	7.6	0.056
7002 ACJ/DB	7002 ACJ/DF	7002 ACJ/DT	7002 ACJ/DT	32	32	18	7.45	5.56	12000	17000	17.4	29.6	30.8	0.3	0.15	10	0.056
7202 CJ/DB	7202 CJ/DF	7202 CJ/DT	7202 CJ/DT	35	35	22	10.8	8.38	11000	15000	20	30	33.8	0.6	0.15	8.9	0.086
7202 ACJ/DB	7202 ACJ/DF	7202 ACJ/DT	7202 ACJ/DT	35	35	22	10.5	7.85	11000	15000	20	30	33.8	0.6	0.15	11.4	0.086
7302 CJ/DB	7302 CJ/DF	7302 CJ/DT	7302 CJ/DT	42	42	26	15.2	12.6	10000	14000	21	36	39.6	1	0.3	9.6	—
7302 ACJ/DB	7302 ACJ/DF	7302 ACJ/DT	7302 ACJ/DT	42	42	26	14.8	11.2	10000	14000	21	36	39.6	1	0.3	13.5	—
7003 CJ/DB	7003 CJ/DF	7003 CJ/DT	7003 CJ/DT	17	35	20	8.22	6.46	11000	15000	19.4	32.6	33.8	0.3	0.15	8.5	0.072
7003 ACJ/DB	7003 ACJ/DF	7003 ACJ/DT	7003 ACJ/DT	35	35	20	7.85	6.02	11000	15000	19.4	32.6	33.8	0.3	0.15	11.1	0.072
7203 CJ/DB	7203 CJ/DF	7203 CJ/DT	7203 CJ/DT	40	40	24	13.5	10.8	10000	14000	22	35	37.6	0.6	0.3	9.9	0.124
7203 ACJ/DB	7203 ACJ/DF	7203 ACJ/DT	7203 ACJ/DT	40	40	24	13.0	10.2	10000	14000	22	35	37.6	0.6	0.3	12.8	0.124
7303 CJ/DB	7303 CJ/DF	7303 CJ/DT	7303 CJ/DT	47	47	28	20.5	17.2	9500	13000	23	41	44.6	1	0.3	10.4	—
7303 ACJ/DB	7303 ACJ/DF	7303 ACJ/DT	7303 ACJ/DT	47	47	28	18.5	14.2	9500	13000	23	41	44.6	1	0.3	14.8	—

提醒您：  
知识产权！

星球

续表 22-38

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸/mm			基本额定负荷/kN			极限转速 r/min			安装尺寸/mm					质量/kg
背靠背	面对面	串联	背靠背	面对面	串联	d	D	2B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂	油	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>s</sub> max	r <sub>e</sub> max	a	质量/kg		
7004 CJ/DB	7004 CJ/DF	7004 CJ/DT	236104	336104	436104	20	42	24	13.2	10.5	9500	13000	25	37	0.6	0.15	10.2	0.128		
7004 ACI/DB	7004 ACI/DF	7004 ACI/DT	246104	346104	446104	42	42	24	12.5	9.85	9500	13000	25	37	0.6	0.15	13.2	0.128		
7204 CJ/DB	7204 CJ/DF	7204 CJ/DT	236204	336204	436204	47	28	28	18.2	14.8	9500	13000	26	41	0.6	0.3	11.5	0.2		
7204 ACI/DB	7204 ACI/DF	7204 ACI/DT	246204	346204	446204	47	28	28	17.5	14.0	9500	13000	26	41	0.6	0.3	14.9	0.2		
7204 B/DB	7204 B/DF	7204 B/DT	266204	366204	466204	47	28	28	13.5	9.5	9500	13000	26	41	0.6	0.3	21.1	0.22		
7304 CJ/DB	7304 CJ/DF	7304 CJ/DT	246304	346304	446304	52	30	30	23.2	19.5	9000	12000	27	45	0.6	0.6	11.3	0.3		
7304 ACI/DB	7304 ACI/DF	7304 ACI/DT	246304	346304	446304	52	30	30	22.5	18.2	9000	12000	27	45	0.6	0.6	16.3	0.3		
7005 CJ/DB	7005 CJ/DF	7005 CJ/DT	236105	336105	436105	25	47	24	14.5	12.5	9000	12000	30	42	0.6	0.15	10.8	0.148		
7005 ACI/DB	7005 ACI/DF	7005 ACI/DT	246105	346105	446105	47	24	24	13.6	11.8	9000	12000	30	42	0.6	0.15	14.4	0.148		
7205 CJ/DB	7205 CJ/DF	7205 CJ/DT	236205	336205	436205	52	30	30	20.8	17.8	8000	11000	31	46	0.6	0.3	12.7	0.24		
7205 ACI/DB	7205 ACI/DF	7205 ACI/DT	246205	346205	446205	52	30	30	19.8	16.3	8000	11000	31	46	0.6	0.3	16.4	0.24		
7205 B/DB	7205 B/DF	7205 B/DT	266205	366205	466205	52	30	30	19.8	15.8	8000	11000	31	46	0.6	0.3	23.7	0.26		
7305 CJ/DB	7305 CJ/DF	7305 CJ/DT	246305	346305	446305	62	34	34	34.8	31.5	6700	10000	32	55	0.6	0.6	13.1	0.46		
7305 ACI/DB	7305 ACI/DF	7305 ACI/DT	246305	346305	446305	62	34	34	33.8	29.5	6700	10000	32	55	0.6	0.6	19.1	0.46		
7305 B/DB	7305 B/DF	7305 B/DT	266305	366305	466305	62	34	34	32.8	27.0	6700	10000	32	55	0.6	0.6	26.8	—		
7006 CJ/DB	7006 CJ/DF	7006 CJ/DT	236106	336106	436106	30	55	26	18.8	16.8	6700	10000	36	49	0.6	0.3	12.2	0.22		
7006 ACI/DB	7006 ACI/DF	7006 ACI/DT	246106	346106	446106	55	26	26	17.8	15.8	6700	10000	36	49	0.6	0.3	16.4	0.22		
7206 CJ/DB	7206 CJ/DF	7206 CJ/DT	236206	336206	436206	62	32	32	28.8	25.8	6300	9500	36	56	0.6	0.3	14.2	0.38		
7206 ACI/DB	7206 ACI/DF	7206 ACI/DT	246206	346206	446206	62	32	32	27.8	24.2	6300	9000	36	56	0.6	0.3	18.7	0.38		
7206 B/DB	7206 B/DF	7206 B/DT	266206	366206	466206	62	32	32	25.8	22.2	6300	9000	36	56	0.6	0.3	27.4	0.42		
7306 CJ/DB	7306 CJ/DF	7306 CJ/DT	236306	336306	436306	72	38	38	42.8	39.5	6000	8500	37	65	0.6	0.6	15	0.7		
7306 ACI/DB	7306 ACI/DF	7306 ACI/DT	246306	346306	446306	72	38	38	40.8	37.0	6000	8500	37	65	0.6	0.6	22.2	0.7		
7306 B/DB	7306 B/DF	7306 B/DT	266306	366306	466306	72	38	38	40.5	35.0	6000	8500	37	65	0.6	0.6	31.1	0.74		
7007 CJ/DB	7007 CJ/DF	7007 CJ/DT	236107	336107	436107	35	62	28	24.2	22.8	6000	8500	41	56	0.6	0.3	13.5	0.8		
7007 ACI/DB	7007 ACI/DF	7007 ACI/DT	246107	346107	446107	62	28	28	23.0	21.2	6000	8500	41	56	0.6	0.3	18.3	0.3		
7207 CJ/DB	7207 CJ/DF	7207 CJ/DT	236207	336207	436207	72	34	34	37.8	35.2	5600	7500	42	65	0.6	0.6	15.3	0.56		
7207 ACK/DB	7207 ACK/DF	7207 ACK/DT	246207	346207	446207	72	34	34	36.2	32.2	5600	7500	42	65	0.6	0.6	21	0.56		
7207 B/DB	7207 B/DF	7207 B/DT	236207	336207	436207	72	34	34	34.0	30.8	5600	7500	42	65	0.6	0.6	30.9	0.6		
7307 CJ/DB	7307 CK/DF	7307 CK/DT	266307	366307	466207	80	42	42	55.5	53.5	5300	7000	44	71	1.5	0.6	16.6	0.94		
7307 ACI/DB	7307 ACI/DF	7307 ACI/DT	246307	346307	446307	80	42	42	53.5	49.8	5300	7000	44	71	1.5	0.6	24.6	0.94		
7307 B/DB	7307 B/DF	7307 B/DT	266307	366307	466307	80	42	42	47.6	42.2	5300	7000	44	71	1.5	0.6	34.6	1.02		
7008 CJ/DB	7008 CJ/DF	7008 CJ/DT	236108	336108	436108	40	68	30	25.0	24.2	5600	7500	46	62	0.6	0.3	14.7	0.36		
7008 ACI/DB	7008 ACI/DF	7008 ACI/DT	246108	346108	446108	68	30	30	23.8	22.8	5600	7500	46	62	0.6	0.3	20.1	0.36		
7208 CJ/DB	7208 CJ/DF	7208 CJ/DT	236208	336208	436208	80	36	36	43.5	40.8	5300	7000	47	73	0.6	0.6	17	0.74		
7208 ACI/DB	7208 ACI/DF	7208 ACI/DT	246208	346208	446208	80	36	36	41.5	38.3	5300	7000	47	73	0.6	0.6	23.5	0.74		
7208 B/DB	7208 B/DF	7208 B/DT	266208	366208	466208	80	36	36	40.8	37.8	5300	7000	47	73	0.6	0.6	34.5	0.78		
7308 CJ/DB	7308 CJ/DF	7308 CJ/DT	256308	356308	456308	90	46	46	65.2	64.5	4500	6300	49	81	1.5	0.6	18.5	1.32		
7308 ACI/DB	7308 ACI/DF	7308 ACI/DT	246308	346308	446308	90	46	46	62.8	60.8	4500	6300	49	81	1.5	0.6	27.5	1.32		
7308 B/DB	7308 B/DF	7308 B/DT	266308	366308	466308	90	46	46	57.8	52.5	4500	6300	49	81	1.5	0.6	38.8	1.34		

提醒您：  
知识产权！



续表 22-38

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸/mm			基本额定负荷/kN			极限转速 r/min			安装尺寸/mm					质量/kg
背罩背	面对面	串联	背罩背	面对面	串联	d	D	2B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂	油	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>s</sub> max	r <sub>b</sub> max	a	质量/kg		
7009CJ/DB	7009CJ/DF	7009CJ/DT	236109	336109	436109	45	75	32	32.2	32.5	5300	7000	51	69	1	0.3	16	0.46		
7009ACJ/DB	7009ACJ/DF	7009ACJ/DT	246109	346109	446109	75	32	30.5	30.5	30.5	5300	7000	51	69	1	0.3	21.9	0.46		
7206CJ/DB	7206CJ/DF	7206CJ/DT	236209	336209	436209	85	38	48.2	47.8	47.8	4500	6300	52	78	1	0.6	18.2	0.82		
7209ACJ/DB	7209ACJ/DF	7209ACJ/DT	246209	346209	446209	85	38	44.8	44.8	44.8	4500	6300	52	78	1	0.6	24.7	0.82		
7209B/DB	7209B/DF	7209B/DT	266209	366209	466209	85	38	45.0	42.5	45.0	4500	6300	52	78	1	0.6	38.8	0.88		
7309CJ/DB	7309CJ/DF	7309CJ/DT	236309	336309	436309	100	50	79.8	79.5	79.5	4000	5600	54	91	1.5	0.6	20.2	1.72		
7309ACJ/DB	7309ACJ/DF	7309ACJ/DT	246309	346309	446309	100	50	77.0	74.5	74.5	4000	5600	54	91	1.5	0.6	30.2	1.72		
7309B/DB	7309B/DF	7309B/DT	266309	366309	466309	100	50	74.5	68.8	68.8	4000	5600	54	91	1.5	0.6	42.9	1.8		
7010CJ/DB	7010CJ/DF	7010CJ/DT	236110	336110	436110	50	32	38.2	38.5	38.5	4500	6300	56	74	1	0.3	16.7	0.5		
7010ACJ/DB	7010ACJ/DF	7010ACJ/DT	246110	346110	446110	80	32	31.5	32.5	32.5	4500	6300	56	74	1	0.3	23.2	0.5		
7210CJ/DB	7210CJ/DF	7210CJ/DT	236210	336210	436210	90	40	53.2	53.5	53.5	4300	6000	57	83	1	0.6	19.4	0.92		
7210ACJ/DB	7210ACJ/DF	7210ACJ/DT	246210	346210	446210	90	40	50.8	50.2	50.2	4300	6000	57	83	1	0.6	26.3	0.92		
7210B/DB	7210B/DF	7210B/DT	266210	366210	466210	90	40	46.8	45.5	45.5	4300	6000	57	83	1	0.6	39.4	0.98		
7310CJ/DB	7310CJ/DF	7310CJ/DT	236310	336310	436310	110	54	86.8	94.5	94.5	3800	5300	60	100	104	2	1	22	2.16	
7310ACJ/DB	7310ACJ/DF	7310ACJ/DT	246310	346310	446310	110	54	90.8	88.8	88.8	3800	5300	60	100	104	2	1	33	2.64	
7310B/DB	7310B/DF	7310B/DT	266310	366310	466310	110	54	86.2	81.8	81.8	3800	5300	60	100	104	2	1	47.5	2.3	
7011CJ/DB	7011CJ/DF	7011CJ/DT	236111	336111	436111	55	90	46.2	48.0	48.0	4000	5600	62	83	1	0.6	18.7	0.76		
7011ACJ/DB	7011ACJ/DF	7011ACJ/DT	246111	346111	446111	90	36	44.2	45.5	45.5	4000	5600	62	83	1	0.6	25.9	0.76		
7211CJ/DB	7211CJ/DF	7211CJ/DT	236211	336211	436211	100	42	66.0	67.5	67.5	3800	5300	64	91	95	1.5	0.6	20.0	1.22	
7211ACJ/DB	7211ACJ/DF	7211ACJ/DT	246211	346211	446211	100	42	62.8	63.5	63.5	3800	5300	64	91	95	1.5	0.6	28.6	1.22	
7211B/DB	7211B/DF	7211B/DT	266211	366211	466211	100	42	57.8	57.5	57.5	3800	5300	64	91	95	1.5	0.6	43	1.3	
7311CJ/DB	7311CJ/DF	7311CJ/DT	236311	336311	436311	120	58	115	122	122	3400	4800	65	110	114	2	1	23.6	3.42	
7311ACJ/DB	7311ACJ/DF	7311ACJ/DT	246311	346311	446311	120	58	108	115	115	3400	4800	65	110	114	2	1	35.8	2.84	
7311B/DB	7311B/DF	7311B/DT	266311	366311	466311	120	58	98.5	96.0	96.0	3400	4800	65	110	114	2	1	51.4	2.9	
7012CJ/DB	7012CJ/DF	7012CJ/DT	236112	336112	436112	60	95	36	47.5	51.5	3800	5300	67	88	1	0.6	19.38	0.8		
7012ACJ/DB	7012ACJ/DF	7012ACJ/DT	246112	346112	446112	95	36	45.2	48.5	48.5	3800	5300	67	88	1	0.6	27.1	0.8		
7212CJ/DB	7212CJ/DF	7212CJ/DT	236212	336212	436212	110	44	72.5	75.5	75.5	3600	5000	69	101	105	1.5	0.6	22.4	1.6	
7212ACJ/DB	7212ACJ/DF	7212ACJ/DT	246212	346212	446212	110	44	69.2	70.8	70.8	3600	5000	69	101	105	1.5	0.6	30.8	1.6	
7212B/DB	7212B/DF	7212B/DT	266212	366212	466212	110	44	70.2	71.0	71.0	3600	5000	69	101	105	1.58	0.6	46.7	1.68	
7312CJ/DB	7312CJ/DF	7312CJ/DT	236312	336312	436312	130	62	132	140	140	3400	4500	72	118	123	2.1	1	25.6	3.4	
7312ACJ/DB	7312ACJ/DF	7312ACJ/DT	246312	346312	446312	130	62	126	132	132	3400	4500	72	118	123	2.1	1	38.7	4.12	
7312B/DB	7312B/DF	7312B/DT	266312	366312	466312	130	62	112	111	111	3400	4500	72	118	123	2.1	1	55.4	3.7	
7013CJ/DB	7013CJ/DF	7013CJ/DT	236113	336113	436113	65	100	36	49.8	55.5	3600	5000	72	93	95	1	0.6	20.1	0.86	
7013ACJ/DB	7013ACJ/DF	7013ACJ/DT	246113	346113	446113	100	36	47.2	52.2	52.2	3600	5000	72	93	95	1	0.6	28.2	0.86	
7213CJ/DB	7213CJ/DF	7213CJ/DT	236213	336213	436213	120	46	86.8	92.2	92.2	3400	4500	74	111	115	1.5	0.6	24.2	2	
7213ACJ/DB	7213ACJ/DF	7213ACJ/DT	246213	346213	446213	120	46	82.8	85.5	85.5	3400	4500	74	111	115	1.5	0.6	33.5	2	
7213B/DB	7213B/DF	7213B/DT	266213	366213	466213	120	46	79.2	83.5	83.5	3400	4500	74	111	115	1.5	0.6	51.5	2.1	
7313CJ/DB	7313CJ/DF	7313CJ/DT	236313	336313	436313	140	66	148	162	162	3000	4000	77	128	133	2.1	1	27.4	4.40	
7313ACJ/DB	7313ACJ/DF	7313ACJ/DT	246313	346313	446313	140	66	145	152	152	3000	4000	77	128	133	2.1	1	41.5	5.14	
7313B/DB	7313B/DF	7313B/DT	266313	366313	466313	140	66	128	130	130	3000	4000	77	128	133	2.1	1	59.5	4.5	

提醒您：  
请识别产权！

球



续表 22-38

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸, mm			基本额定负荷, kN			极限转速, r/min			安装尺寸, mm					质量				
背靠背	面对面	串联	背靠背	面对面	串联	d	D	2B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂	油	r <sub>a</sub> max	r <sub>b</sub> max	r <sub>a</sub>	D <sub>a</sub> max	D <sub>b</sub> max	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	D <sub>b</sub> max	r <sub>a</sub>	r <sub>b</sub> max	a	kg
7014 CJ/DB	7014 CJ/OF	7014 CJ/DT	236114	336114	436114	70	110	40	60.2	68.2	3400	4800	1	0.6	1	103	105	77	103	105	1	0.6	22.1	1.2
7014 ACJ/DB	7014 ACJ/OF	7014 ACJ/DT	246114	346114	446114	110	40	40	57.0	63.8	3400	4800	1	0.6	1	103	105	77	103	105	1	0.6	30.9	1.2
7214 CJ/DB	7214 CJ/OF	7214 CJ/DT	236214	336214	436214	125	48	48	90.5	98.5	3200	4300	1.5	0.6	1.5	116	120	79	116	120	1.5	0.6	25.3	2.2
7214 ACJ/DB	7214 ACJ/OF	7214 ACJ/DT	246214	346214	446214	125	48	48	86.2	92.5	3200	4300	1.5	0.6	1.5	116	120	79	116	120	1.5	0.6	35.1	2.2
7214 B/DB	7214 B/OF	7214 B/DT	266214	366214	466214	125	48	48	87.8	91.5	3200	4300	1.5	0.6	1.5	116	120	79	116	120	1.5	0.6	52.9	2.3
7314 CJ/DB	7314 CJ/OF	7314 CJ/DT	236314	336314	436314	150	70	70	168	182	2800	3500	2.1	1	1	138	143	82	138	143	2.1	1	29.2	5.34
7314 ACJ/DB	7314 ACJ/OF	7314 ACJ/DT	246314	346314	446314	150	70	70	160	172	2800	3500	2.1	1	1	138	143	82	138	143	2.1	1	44.3	6.12
7314 B/DB	7314 B/OF	7314 B/DT	266314	366314	466314	150	70	70	142	145	2800	3500	2.1	1	1	138	143	82	138	143	2.1	1	63.7	5.5
7015 CJ/DB	7015 CJ/OF	7015 CJ/DT	236115	336115	436115	75	115	40	61.5	71.5	3400	4500	1	0.6	1	108	110	82	108	110	1	0.6	22.7	1.26
7015 ACJ/DB	7015 ACJ/OF	7015 ACJ/DT	246115	346115	446115	115	40	40	58.2	67.2	3400	4500	1	0.6	1	108	110	82	108	110	1	0.6	32.2	1.26
7215 CJ/DB	7215 CJ/OF	7215 CJ/DT	236215	336215	436215	130	50	50	98.8	108	3000	4000	1.5	0.6	1.5	121	125	84	121	125	1.5	0.6	26.4	2.4
7215 ACJ/DB	7215 ACJ/OF	7215 ACJ/DT	246215	346215	446215	130	50	50	93.0	102	3000	4000	1.5	0.6	1.5	121	125	84	121	125	1.5	0.6	36.6	2.4
7215 B/DB	7215 B/OF	7215 B/DT	266215	366215	466215	130	50	50	91.8	97.5	3000	4000	1.5	0.6	1.5	121	125	84	121	125	1.5	0.6	55.5	2.6
7315 CJ/DB	7315 CJ/OF	7315 CJ/DT	236315	336315	436315	160	74	74	182	208	2600	3400	2.1	1	1	148	153	87	148	153	2.1	1	31	7.12
7315 ACJ/DB	7315 ACJ/OF	7315 ACJ/DT	246315	346315	446315	160	74	74	175	195	2600	3400	2.1	1	1	148	153	87	148	153	2.1	1	47.2	7.12
7315 B/DB	7315 B/OF	7315 B/DT	266315	366315	466315	160	74	74	155	165	2600	3400	2.1	1	1	148	153	87	148	153	2.1	1	68.4	6.6
7016 CJ/DB	7016 CJ/OF	7016 CJ/DT	236116	336116	436116	80	125	44	72.8	86.2	3200	4300	1	0.6	1	118	120	87	118	120	1	0.6	24.7	1.7
7016 ACJ/DB	7016 ACJ/OF	7016 ACJ/DT	246116	346116	446116	125	44	44	69.0	80.8	3200	4300	1	0.6	1	118	120	87	118	120	1	0.6	34.9	1.7
7216 CJ/DB	7216 CJ/OF	7216 CJ/DT	236216	336216	436216	140	52	52	112	128	2800	3600	2	1	2	130	134	90	130	134	2	1	27.7	2.9
7216 ACJ/DB	7216 ACJ/OF	7216 ACJ/DT	246216	346216	446216	140	52	52	105	118	2800	3600	2	1	2	130	134	90	130	134	2	1	28.9	2.9
7216 B/DB	7216 B/OF	7216 B/DT	266216	366216	466216	140	52	52	102	108	2800	3600	2	1	2	130	134	90	130	134	2	1	59.2	3.1
7316 CJ/DB	7316 CJ/OF	7316 CJ/DT	236316	336316	436316	170	78	78	198	235	2400	3100	2.1	1	1	158	163	92	158	163	2.1	1	32.8	7.18
7316 ACJ/DB	7316 ACJ/OF	7316 ACJ/DT	246316	346316	446316	170	78	78	190	218	2400	3100	2.1	1	1	158	163	92	158	163	2.1	1	50	7.18
7316 B/DB	7316 B/OF	7316 B/DT	266316	366316	466316	170	78	78	168	185	2400	3100	2.1	1	1	158	163	92	158	163	2.1	1	71.9	7.3
7017 CJ/DB	7017 CJ/OF	7017 CJ/DT	236117	336117	436117	85	130	44	75.0	90.5	3000	4000	1	0.6	1	123	125	92	123	125	1	0.6	25.4	1.78
7017 ACJ/DB	7017 ACJ/OF	7017 ACJ/DT	246117	346117	446117	130	44	44	70.8	84.8	3000	4000	1	0.6	1	123	125	92	123	125	1	0.6	36.1	1.78
7217 CJ/DB	7217 CJ/OF	7217 CJ/DT	236217	336217	436217	150	56	56	125	140	2600	3400	2	1	2	140	144	95	140	144	2	1	29.9	3.6
7217 ACJ/DB	7217 ACJ/OF	7217 ACJ/DT	246217	346217	446217	150	56	56	118	132	2600	3400	2	1	2	140	144	95	140	144	2	1	41.6	3.6
7217 B/DB	7217 B/OF	7217 B/DT	266217	366217	466217	150	56	56	115	128	2600	3400	2	1	2	140	144	95	140	144	2	1	63.3	3.9
7317 CJ/DB	7317 CJ/OF	7317 CJ/DT	236317	336317	436317	180	82	82	212	258	2400	3200	2.5	1	1	166	173	99	166	173	2.5	1	34.6	8.76
7317 ACJ/DB	7317 ACJ/OF	7317 ACJ/DT	246317	346317	446317	180	82	82	205	245	2400	3200	2.5	1	1	166	173	99	166	173	2.5	1	52.8	8.76
7317 B/DB	7317 B/OF	7317 B/DT	266317	366317	466317	180	82	82	185	208	2400	3200	2.5	1	1	166	173	99	166	173	2.5	1	76.1	9.2
7018 CJ/DB	7018 CJ/OF	7018 CJ/DT	236118	336118	436118	90	140	48	89.0	108	2800	3600	1.5	0.6	1.5	131	135	99	131	135	1.5	0.6	27.4	2.3
7018 ACJ/DB	7018 ACJ/OF	7018 ACJ/DT	246118	346118	446118	140	48	48	84.2	102	2800	3600	1.5	0.6	1.5	131	135	99	131	135	1.5	0.6	38.8	2.3
7218 CJ/DB	7218 CJ/OF	7218 CJ/DT	236218	336218	436218	160	60	60	152	175	2400	3400	2	1	2	150	154	100	150	154	2	1	31.7	4.5
7218 ACJ/DB	7218 ACJ/OF	7218 ACJ/DT	246218	346218	446218	160	60	60	145	165	2400	3400	2	1	2	150	154	100	150	154	2	1	44.2	4.5
7218 B/DB	7218 B/OF	7218 B/DT	266218	366218	466218	160	60	60	132	148	2400	3400	2	1	2	150	154	100	150	154	2	1	67.9	4.8
7318 CJ/DB	7318 CJ/OF	7318 CJ/DT	236318	336318	436318	190	86	86	228	285	2200	3000	2.5	1	1	164	176	104	164	176	2.5	1	36.1	10.34
7318 ACJ/DB	7318 ACJ/OF	7318 ACJ/DT	246318	346318	446318	190	86	86	218	258	2200	3000	2.5	1	1	164	176	104	164	176	2.5	1	55.6	10.04
7318 B/DB	7318 B/OF	7318 B/DT	266318	366318	466318	190	86	86	198	230	2200	3000	2.5	1	1	164	176	104	164	176	2.5	1	80.2	10.8

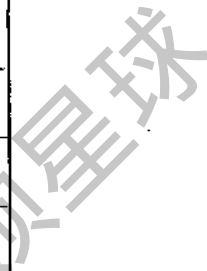
提醒您：  
本图版权归作者所有



续表 22-38

新轴承代号			旧轴承型号		基本尺寸 mm		基本额定 负荷, kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm					质量 kg			
背靠背	面对面	串联	背对背	面对面	串联	d	D	B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂	油	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	D <sub>b</sub> max	r <sub>s</sub> max	r <sub>s</sub> max	a	
7019 CJ/DB	7019 CJ/DF	7019 CJ/DT	236119	336119	436119	95	145	48	91.5	112	2600	3400	104	136	140	1.5	0.6	28.1	2.4
7019 ACJ/DB	7019 ACJ/DF	7019 ACJ/DT	246119	346119	446119		145	48	86.5	105	2600	3400	104	136	140	1.5	0.6	40	2.4
7219 CJ/DB	7219 CJ/DF	7219 CJ/DT	236219	336219	436219		170	64	168	192	2400	3200	107	168	163	2.1	1	33.8	5.4
7219 ACJ/DB	7219 ACJ/DF	7219 ACJ/DT	246219	346219	446219		170	64	160	178	2400	3200	107	158	193	2.1	1	46.9	5.4
7219 B/DB	7219 B/DF	7219 B/DT	266219	366219	466219		170	64	152	170	2400	3200	107	158	163	2.1	1	72.5	5.8
7319 ACJ/DB	7319 ACJ/DF	7319 ACJ/DT	236319	336319	436319		200	90	245	315	2000	2800	109	186	193	2.5	1	38.2	11.96
7319 CJ/DB	7319 CJ/DF	7319 CJ/DT	246319	346319	446319		200	90	235	295	2000	2800	109	186	193	2.5	1	38.5	13.38
7319 B/DB	7319 B/DF	7319 B/DT	266319	366319	466319		200	90	215	260	2000	2800	109	186	193	2.5	1	84.4	12.5
7020 CJ/DB	7020 CJ/DF	7020 CJ/DT	236120	336120	436120	100	150	48	98.8	122	2600	3400	109	141	145	1.5	0.6	28.7	2.5
7020 ACJ/DB	7020 ACJ/DF	7020 ACJ/DT	246120	346120	446120		150	48	105	115	2600	3400	109	141	145	1.5	0.6	41.2	2.5
7220 CJ/DB	7220 CJ/DF	7220 CJ/DT	236220	336220	436220		180	68	185	215	2200	3000	112	168	178	2.1	1	35.8	6.5
7220 ACJ/DB	7220 ACJ/DF	7220 ACJ/DT	246220	346220	446220		180	68	178	202	2200	3000	112	168	173	2.1	1	49.7	6.5
7220 B/DB	7220 B/DF	7220 B/DT	266220	366220	466220		180	68	162	182	2200	3000	112	168	173	2.1	1	75.7	6.9
7320 CJ/DB	7320 CJ/DF	7320 CJ/DT	236320	336320	436320		215	94	265	348	1800	2400	114	201	208	2.5	1	40.2	14.4
7320 ACJ/DB	7320 ACJ/DF	7320 ACJ/DT	246320	346320	446320		215	94	268	355	1800	2400	114	201	208	2.5	1	61.9	—
7320 B/DB	7320 B/DF	7320 B/DT	266320	366320	466320		215	94	238	300	1800	2400	114	201	208	2.5	1	89.6	15.5
7021 CJ/DB	7021 CJ/DF	7021 CJ/DT	236121	336121	436121	105	160	52	110	138	2600	3400	115	150	154	2	1	30.8	3.2
7021 ACJ/DB	7021 ACJ/DF	7021 ACJ/DT	246121	346121	446121		160	52	105	128	2600	3400	115	150	154	2	1	43.9	3.2
7221 CJ/DB	7221 CJ/DF	7221 CJ/DT	236221	336221	436221		190	72	202	242	2000	2800	117	178	183	2.1	1	37.8	7.7
7221 ACT/DB	7221 ACT/DF	7221 ACT/DT	246221	346221	446221		190	72	192	225	2000	2800	117	178	183	2.1	1	52.4	7.7
7221 B/DB	7221 B/DF	7221 B/DT	266221	366221	466221		190	72	178	205	2000	2800	117	178	183	2.1	1	79.9	8.2
7321 B/DB	7321 B/DF	7321 B/DT	266321	366321	466321		225	98	252	328	1700	2400	119	211	218	2.5	1	93.7	17.6
7022 CJ/DB	7022 CJ/DF	7022 CJ/DT	236122	336122	436122	110	170	56	125	158	2400	3400	120	160	164	2	1	32.8	3.9
7022 ACJ/DB	7022 ACJ/DF	7022 ACJ/DT	246122	346122	446122		170	56	118	148	2400	3400	120	160	164	2	1	46.7	3.9
7222 CJ/DB	7222 CJ/DF	7222 CJ/DT	236222	336222	436222		200	76	218	272	1900	2600	122	188	193	2.1	1	39.8	9.1
7222 ACJ/DB	7222 ACJ/DF	7222 ACJ/DT	246222	346222	446222		200	76	208	255	1900	2600	122	188	193	2.1	1	55.2	9.1
7222 B/DB	7222 B/DF	7222 B/DT	266222	366222	466222		200	76	192	230	1900	2600	122	188	193	2.1	1	84	9.6
7322 ACJ/DB	7322 ACJ/DF	7322 ACJ/DT	246322	346322	446322		240	100	298	418	1500	2200	124	226	233	2.5	1	67.7	22.56
7322 B/DB	7322 B/DF	7322 B/DT	266322	366322	466322		240	100	282	385	1500	2200	124	226	233	2.5	1	98.4	22.56
7024 CJ/DB	7024 CJ/DF	7024 CJ/DT	236124	336124	436124	120	180	56	135	172	1900	2600	130	170	174	2	1	34.1	4.2
7024 ACJ/DB	7024 ACJ/DF	7024 ACJ/DT	246124	346124	446124		180	56	128	160	1900	2600	130	170	174	2	1	48.9	4.2
7224 CJ/DB	7224 CJ/DF	7224 CJ/DT	236224	336224	436224		215	80	235	302	1760	2400	132	203	208	2.1	1	42.4	10.8
7224 ACJ/DB	7224 ACJ/DF	7224 ACJ/DT	246224	346224	446224		215	80	225	282	1700	2400	132	203	208	2.1	1	59.1	10.8
7324 ACJ/DB	7324 ACJ/DF	7324 ACJ/DT	246324	346324	446324		260	110	335	490	1400	2000	134	246	253	2.5	1	73.8	—

提醒您：  
知识产权！





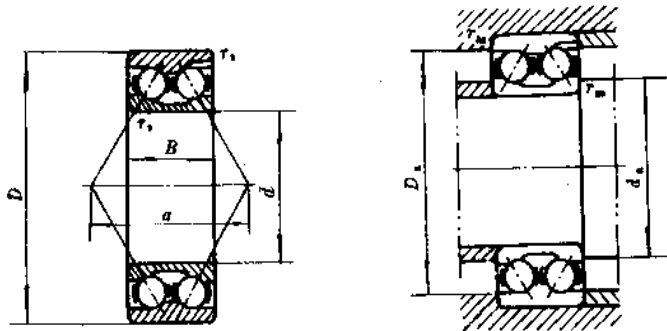
续表 22-38

新轴承代号			旧轴承型号			基本尺寸/mm		基本额定负荷, kN		极限转速 r/min		安装尺寸/mm					质量 kg			
背靠背	面对面	串联	背对背	面对面	串联	d	D	2B	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂	油	d <sub>h</sub> min	D <sub>h</sub> max	D <sub>h</sub> max	r <sub>h</sub> max	r <sub>h</sub> max	d	mm	质量 kg
7026 CJ/DB	7026 CJ/OF	7026 CJ/DT	236126	336126	436126	130	200	66	162	208	1800	2400	140	190	194	2	1	38.6	6.4	
7026 ACJ/DB	7026 ACJ/OF	7026 ACJ/DT	246126	346126	446126	200	200	66	152	195	1800	2400	140	190	194	2	1	54.9	6.4	
7226 CJ/DB	7226 CJ/OF	7226 CJ/DT	236226	336226	436226	230	80	80	245	327	1500	2200	144	216	223	2.5	1	44.8	12.5	
7226 ACJ/DB	7226 ACJ/OF	7226 ACJ/DT	246226	346226	446226	230	80	80	235	302	1500	2200	144	216	223	2.5	1	63.2	12.5	
7028 ACJ/DB	7028 ACJ/OF	7028 ACJ/DT	246128	346128	446128	140	210	66	175	232	1500	2200	150	200	204	2	1	59.2	7.84	
7228 CJ/DB	7228 CJ/OF	7228 CJ/DT	236228	336228	436228	250	84	84	288	405	1300	2000	154	236	243	2.5	1	41.7	18.72	
7228 ACJ/DB	7228 ACJ/OF	7228 ACJ/DT	246228	346228	446228	250	84	84	288	382	1300	2000	154	236	243	2.5	1	68.6	18.48	
7328 B/DB	7328 B/OF	7328 B/DT	266328	366328	466328	300	124	124	362	555	1200	1700	158	282	291	3	1.5	111	44.88	
7030 ACJ/DB	7030 ACJ/OF	7030 ACJ/DT	246130	346130	446130	150	225	70	192	258	1400	2000	162	213	218	2.1	1	63.2	9.66	
7330 CJ/DB	7330 CJ/OF	7330 CJ/DT	236330	336330	436330	320	130	130	442	732	1100	1500	168	302	311	3	1.5	57.5	---	
7330 ACJ/DB	7330 ACJ/OF	7330 ACJ/DT	246330	346330	446330	320	130	130	445	748	1100	1500	168	302	311	3	1.5	90.1	55.04	
7232 CJ/DB	7232 CJ/OF	7232 CJ/DT	236232	336232	436232	160	290	96	328	490	1200	1700	174	276	283	2.5	1	47.9	29	
7232 ACJ/DB	7232 ACJ/OF	7232 ACJ/DT	246232	346232	446232	200	96	96	308	450	1200	1700	174	276	283	2.5	1	73.9	29	
7034 ACJ/DB	7034 ACJ/OF	7034 ACJ/DT	246134	346134	446134	170	260	84	240	340	1200	1800	182	248	253	2.1	1	73.4	16.5	
7234 CJ/DB	7234 CJ/OF	7234 CJ/DT	236234	336234	436234	310	104	104	402	645	1100	1500	188	292	301	3	1.5	51.5	38.4	
7234 ACJ/DB	7234 ACJ/OF	7234 ACJ/DT	246234	346234	446234	310	104	104	280	505	1100	1500	188	292	301	3	1.5	34.5	34.4	
7236 CJ/DB	7236 CJ/OF	7236 CJ/DT	236236	336236	436236	180	320	104	418	685	1000	1400	198	302	311	3	1.5	52.6	36.2	
7236 ACJ/DB	7236 ACJ/OF	7236 ACJ/DT	246236	346236	446236	320	104	104	392	638	1000	1400	198	302	311	3	1.5	87	36.2	
7038 ACJ/DB	7038 ACJ/OF	7038 ACJ/DT	246138	346138	446138	190	290	92	268	400	1100	1500	202	278	283	2.1	1	31.5	21.4	
7040 ACJ/DB	7040 ACJ/OF	7040 ACJ/DT	246140	346140	446140	200	310	102	315	495	1000	1400	212	298	303	2.1	1	37.7	28.08	
7240 CJ/DB	7240 CJ/OF	7240 CJ/DT	236240	336240	436240	360	116	116	452	782	900	1300	218	342	351	3	1.5	28.8	50.4	
7240 ACJ/DB	7240 ACJ/OF	7240 ACJ/DT	246240	346240	446240	360	116	116	430	735	900	1300	218	342	351	3	1.5	97.3	50.4	
7244 ACJ/DB	7244 ACJ/OF	7244 ACJ/DT	246244	346244	446244	220	400	130	448	790	750	1100	238	382	391	3	1.5	108	77	

提醒您：  
知识产权！

星球

表 22-39 双列角接触球轴承(摘自 GB/T 296 93, 参照 ISO15-81)



当量动负荷

$$P_v = F_r + 0.78F_a$$

$$P_v = 0.63F_r + 1.24F_a$$

当量静负荷

$$P_{0v} = F_r + 0.66F_a$$

超星浏览器提醒您：  
 本产品为超星数字图书馆  
 版权所有，未经许可，  
 请勿复制或传播。  
 当  $F_a/F_r \leq 0.8$   
 当  $F_a/F_r > 0.8$

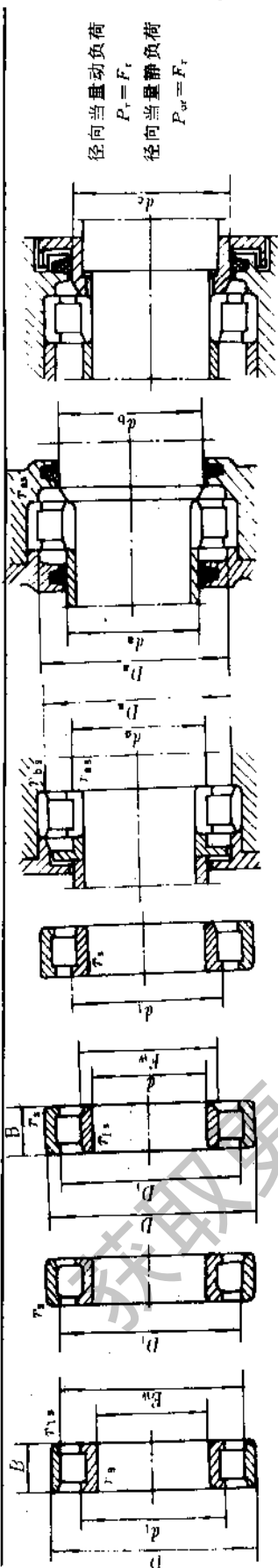
(0)0000 型(56000)

安装尺寸

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm					质量 kg
		d	D	B	$C_r$	$C_{0r}$	脂润滑	油润滑	a	$r_s$ min	$d_s$ min	$D_s$ max	$r_{s\max}$ max	
3200	3056200	10	30	14.3	7.95	5.88	12000	17000	19	0.6	15	25	0.6	0.054
3201	3056201	12	32	15.9	9.08	6.75	11000	16000	22	0.6	17	27	0.6	0.057
3202	3056202	15	35	15.9	10.5	8.20	10000	15000	23	0.6	20	30	0.6	0.067
3203	3056203	17	40	17.5	13.2	10.8	9500	14000	27	0.6	22	35	0.6	0.1
3204	3056204	20	47	20.6	16.2	13.5	8500	12000	31	1	26	41	1	0.17
3304	3056304	52	22.2	19.8	16.5	8000	11000	34	1.1	27	45	1	0.24	
3205	3056205	25	52	20.6	18.0	15.8	7500	10000	35	1	31	46	1	0.19
3305	056305	62	25.4	27.2	24.0	7500	10000	40	1.1	32	55	1		
3206	056206	30	62	23.8	25.8	23.5	6300	8500	41	1	36	56	1	0.31
3306	3056306	72	30.2	36.0	32.5	6000	8000	47	1.1	37	65	1	0.59	
3207	3056207	35	72	27	34.8	32.8	5600	7500	47	1.1	42	65	1	0.51
3307	3056307	80	34.9	45.8	42.2	5300	7000	54	1.5	44	71	1.5	0.82	
3208	3056208	40	80	30.2	39.8	38.0	5300	7000	52	1.1	47	73	1	0.64
3308	3056308	90	35.5	46.8	54.0	4800	6300	58	1.5	49	81	1.5	1.06	
3209	3056209	45	85	30.2	43.2	43.5	4300	6300	56	1.1	52	78	1	0.72
3309	3056309	100	39.7	56.8	54.0	4300	5600	64	1.5	54	91	1.5	1.24	
3210	3056210	50	90	30.2	46.0	46.8	4500	6000	59	1.1	57	83	1	0.78
3310	3056310	110	44.4	88.0	88.2	4000	5300	73	2	60	100	2	1.96	
3211	3056211	55	100	33.3	54.8	56.8	4000	5300	64	1.5	64	91	1.5	1.03
3311	3056311	120	49.2	90.0	94.0	3600	4800	80	2	65	110	2	2.4	
3212	3056212	60	110	36.5	68.0	71.8	3800	5000	71	1.5	69	101	1.5	1.4
3312	3056312	130	54	118	122	3400	4500	86	2.1	72	118	2.1	3.24	
3213	3056213	65	120	38.1	70.2	76.2	3400	4500	76	1.5	74	111	1.5	1.84
3214	3056214	70	125	39.7	72.2	81.0	3200	4300	81	1.5	79	116	1.5	1.98
3314	3056314	150	63.5	160	172	2800	3800	101	2.1	82	138	2.1	3.77	
3216	3056216	80	140	44.4	96.0	110	2800	3800	91	2	90	130	2	2.48
3316	3056316	170	68.3	175	192	2400	3400	112	2.1	92	158	2.1	7.21	
3218	3056218	90	160	52.4	132	150	2400	3400	104	2	100	150	2	4.5
3318	3056318	190	73	202	238	2000	3000	125	3	104	176	2.5	9.23	
3320	3056322	110	240	92.1	298	382	1500	2000	153	3	124	226	2.5	—

注：表中所列轴承的基本额定动负荷  $C_r$ ，是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢， $C_r$  可提高 30%，采用电渣重熔轴承钢， $C_r$  可提高 70%。

3.7 圆柱滚子轴承



新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				质量 kg									
NU 0000 型 (2000)	NF 0000 型 (12000)	NU 0000 型 (32000)	NJ 0000 型	NU 0000 型	NJ 0000 型	2000	12000	32000	42000	d	D	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>fs</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑油润滑	D <sub>a</sub> min	D <sub>b</sub> max	d <sub>0</sub> min	d <sub>a</sub> min	d <sub>b</sub> min	d <sub>c</sub> min	r <sub>fs</sub> max	r <sub>fb</sub> max	质量	
N 202	NF 202	NU 202	NJ 202	NU 202	NJ 202	2202	12202	32202	42202	15	35	11	0.6	0.3	7.5	3.5	15000	19000	—	31	18	17.4	21	23	0.6	0.3	—
N 203	NF 203	NU 203	NJ 203	NU 203	NJ 203	2203	12203	32203	42203	17	40	12	0.6	0.3	8.8	4.8	14000	18000	—	35	20	19.5	24	27	0.6	0.3	—
N 1004	—	NU 1004	—	NU 1004	—	2104	—	32104	—	20	42	12	0.6	0.6	10.2	7.15	13000	17000	—	41	—	21	27	30	1	0.6	0.147
N 204	NF 204	NU 204	NJ 204	NU 204	NJ 204	2204	12204	32204	42204	47	47	14	1	0.6	11.8	6.5	12000	16000	42	37	24	23	29	32	0.6	0.6	0.09
N 204 E	—	NU 204 E	—	NU 204 E	—	2204 E	—	32204 E	—	47	47	14	1	0.6	11.8	6.5	12000	16000	42	42	25	24	29	32	1	0.6	0.11
N 304	NF 304	NU 304	NJ 304	NU 304	NJ 304	2304	12304	32304	42304	52	52	15	1.1	0.6	17.2	10.0	11000	15000	47	45.5	26.5	24	30	33	1	0.6	0.17
N 304 E	—	NU 2204 E	NJ 2204 E	NU 2204 E	NJ 2204 E	2304 E	—	32304 E	—	47	47	18	1	0.6	30.8	19.8	14000	17000	—	42	—	24	28	31	1	0.6	0.15
N 1005	—	NU 1005	—	NU 1005	—	2105	—	32105	—	25	47	12	0.6	0.3	10.5	6	11000	15000	—	42	29	28	32	—	0.6	0.6	0.16
N 205	NF 205	NU 205	NJ 205	NU 205	NJ 205	2205	12205	32205	42205	52	52	15	1	0.6	13.5	7.8	11000	14000	47	47	30	29	34	37	1	0.6	0.14
N 205 E	—	NU 205 E	—	NU 205 E	—	2205 E	—	32205 E	—	52	52	15	1	0.6	27.5	17.2	11000	14000	47	47	30	29	34	37	1	0.6	0.14
N 2205	—	NU 2205	—	NU 2205	—	2505	—	32505	—	52	52	18	1	0.6	20.2	12.2	10000	14000	—	47	30	29	34	37	1	0.6	—
N 305	NF 305	NU 305	NJ 305	NU 305	NJ 305	2305	12305	32305	42305	52	52	18	1	0.6	32.8	21.5	10000	14000	47	47	—	29	33	36	1	0.6	0.168
N 305 E	—	NU 305 E	—	NU 305 E	—	2305 E	—	32305 E	—	62	62	17	1.1	1.1	24.2	14.5	10000	12000	55	55.5	31.5	31.5	37	40	1	1	0.2
N 2305	NF 2305	NU 2305	NJ 2305	NU 2305	NJ 2305	2605	12605	32605	42605	62	62	24	1.1	1.1	36.8	25.2	9000	12000	—	55.5	31.5	31.5	37	41	1	1	0.4
N 2305 E	—	NU 2305 E	—	NU 2305 E	—	2605 E	—	32605 E	—	62	62	24	1.1	1.1	52.8	35.5	9000	12000	—	55.5	—	31.5	36	41	1	1	0.355
N 206	NF 206	NU 206	NJ 206	NU 206	NJ 206	2206	12206	32206	42206	30	62	16	1	0.6	18.5	11.2	8500	11000	56	57	36	34	40	44	1	0.6	0.2
N 206 E	—	NU 206 E	—	NU 206 E	—	2206 E	—	32206 E	—	62	62	16	1	0.6	36.2	22.8	8500	11000	56	57	36	34	40	44	1	0.6	0.214
N 2206	—	NU 2206	—	NU 2206	—	2506	—	32506	—	62	62	20	1	0.6	27.5	18.5	8500	11000	—	57	—	34	40	43	1	0.6	0.29
N 306	NF 306	NU 306	NJ 306	NU 306	NJ 306	2306	12306	32306	42306	72	72	19	1.1	1.1	32	20.2	8000	10000	64	65.5	37	36.5	44	48	1	1	0.3
N 306 E	—	NU 306 E	—	NU 306 E	—	2306 E	—	32306 E	—	72	72	19	1.1	1.1	49.2	31.5	8000	10000	64	65.5	37	36.5	44	48	1	1	0.377
N 2306	NF 2306	NU 2306	NJ 2306	NU 2306	NJ 2306	2606	12606	32606	42606	72	72	27	1.1	1.1	44.2	30.5	8000	10000	—	65.5	37	36.5	44	48	1	1	0.6
N 2306 E	—	NU 2306 E	—	NU 2306 E	—	2606 E	—	32606 E	—	72	72	27	1.1	1.1	69.0	48.5	8000	10000	—	65.5	—	36.8	42	47	1	1	0.538

提醒您：  
 知识产权！

球

续表 22-40

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN			极限转速 r/min			安装尺寸 mm					质量 kg						
N 0000 型	NF 0000 型	NU 0000 型	NJ 0000 型	2000	12000	32000	42000	d	D	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>is</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑	油润滑	D <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	d <sub>0</sub> min	d <sub>0</sub> max	d <sub>b</sub> min	d <sub>b</sub> max	r <sub>0s</sub> max	r <sub>0s</sub> min	P <sub>0s</sub> max	P <sub>0s</sub> min
N 406	—	NU 406	NJ 406	2406	—	32406	42406	30	90	23	1.5	1.5	54.5	35.5	7000	9000	—	82	39	47	47	52	1.5	1.5	1.5	0.78
N 207	NF 207	NU 207	NJ 207	2207	12207	32207	42207	35	72	17	1.1	0.6	27.2	17.2	7500	9500	84	65.5	42	40	46	50	1	0.6	0.3	—
N 207 E	—	NU 207 E	NJ 207 E	2207 E	—	32207 E	42207 E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 2207	—	NU 2207	NJ 2207	2507	—	32507	42507	72	23	1.1	0.6	41.8	29.8	7500	9500	64	65.5	42	40	46	49	40	46	1	0.6	0.45
N 307	—	NU 2207 E	NJ 2207 E	—	—	32507 E	42507 E	72	23	1.1	0.6	56.8	39.2	8000	9000	—	65.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 307 E	NF 307	NU 307	NJ 307	2307	12307	32307	42307	80	21	1.5	1.1	39	25.2	7000	9000	71	72	44	42	48	53	42	48	1.5	1	0.56
N 307 E	—	NU 307 E	NJ 307 E	2307 E	—	32307 E	42307 E	80	21	1.5	1.1	61.5	40.5	7000	9000	71	72	44	42	48	53	42	48	1.5	1	0.501
N 2307	NF 2307	NU 2307	NJ 2307	2607	12607	32607	42607	80	31	1.5	1.1	52.2	36.5	7000	9000	71	72	44	42	48	53	42	48	1.5	1	0.85
N 407	—	NU 2307 E	NJ 2307 E	—	—	32607 E	42607 E	80	31	1.5	1.1	86.2	62.2	7000	9000	—	72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 1008	—	NU 407	NF 407	2407	—	32407	42407	100	25	1.5	1.1	67.5	45.5	6000	7500	—	92	44	43	55	61	43	55	1.5	1.5	0.94
N 208	—	NU 1008	NJ 1008	2108	—	32108	42108	40	68	15	1	0.6	20.2	13.0	7500	9500	—	63	45	44	49	—	—	—	—	—
N 208 E	NF 208	NU 208	NJ 208	2208	12208	32208	42208	80	18	1.1	1.1	35.8	23.5	7000	9000	72	73.5	47	47	52	56	47	52	1	1	0.4
N 2208	—	NU 208 E	NJ 208 E	2208 E	—	32208 E	42208 E	80	18	1.1	1.1	51.5	33.2	7000	9000	72	73.5	47	47	52	56	47	52	1	1	0.383
N 308	—	NU 2208	NJ 2208	2508	—	32508	42508	80	23	1.1	1.1	49.5	35.5	7000	9000	—	73.5	47	47	52	56	47	52	1	1	0.53
N 308 E	—	NU 2208 E	NJ 2208 E	—	—	32508 E	42508 E	80	23	1.1	1.1	66.8	46.5	7000	9000	—	73.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 308 E	NF 308	NU 308	NJ 308	2308	12308	32308	42308	90	23	1.5	1.5	46.5	30.5	6300	8000	80	82	49	48	55	60	48	55	1.5	1.5	0.7
N 2308	—	NU 308 E	NJ 308 E	2308 E	—	32308 E	42308 E	90	23	1.5	1.5	76.2	50.0	6300	8000	80	82	49	48	55	60	48	55	1.5	1.5	0.696
N 408	—	NU 2308	NJ 2308	2608	—	32608	42608	90	33	1.5	1.5	87.5	49.0	6300	8000	—	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 209	—	NU 2308 E	NJ 2308 E	—	—	32608 E	42608 E	90	33	1.5	1.5	104	75.5	6300	8000	—	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 209 E	NF 209	NU 408	NJ 408	2408	—	32408	42408	110	27	2	2	86.2	59.8	5600	7000	—	101	50	49	60	67	2	2	2	2	1.25
N 2209	—	NU 209	NJ 209	2209	12209	32209	42209	45	85	19	1.1	1.1	37.8	25.2	6300	8000	77	78.5	52	52	57	61	1	1	1	0.5
N 309	—	NU 209 E	NJ 209 E	2209 E	—	32209 E	42209 E	85	19	1.1	1.1	58.2	39.2	6300	8000	77	78.5	52	52	57	61	1	1	1	1	0.45
N 309 E	—	NU 2209	NJ 2209	2509	—	32509	42509	85	23	1.1	1.1	52.2	38.0	6300	8000	—	78.5	52	52	57	61	1	1	1	1	0.59
N 2309	—	NU 2209 E	NJ 2209 E	—	—	32509 E	42509 E	85	23	1.1	1.1	70.2	49.8	6300	8000	—	78.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 309	NF 309	NU 309	NJ 309	2309	12309	32309	42309	100	25	1.5	1.5	63.5	42.8	5600	7000	89	92	54	53	60	66	48	53	1.5	1.5	0.9
N 309 E	—	NU 309 E	NJ 309 E	2309 E	—	32309 E	42309 E	100	25	1.5	1.5	92.0	62.2	5600	7000	89	92	54	53	60	66	48	53	1.5	1.5	0.93
N 2309	—	NU 2309	NJ 2309	2609	12609	32609	42609	100	36	1.5	1.5	87.2	64.5	5600	7000	—	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 409	—	NU 2309 E	NJ 2309 E	—	—	32609 E	42609 E	100	36	1.5	1.5	128	96.0	5600	7000	—	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N 1010	—	NU 409	NJ 409	2409	12409	32409	42409	120	29	2	2	97.0	64.8	5000	6300	—	111	55	54	66	74	2	2	2	2	1.8
N 210	—	NU 1010	NJ 1010	2110	—	32110	42110	50	80	16	1	0.6	23.8	16.2	6300	8000	—	75	55	54	59	—	—	—	—	—
N 210 E	NF 210	NU 210	NJ 210	2210	12210	32210	42210	90	20	1.1	1.1	41.2	28.5	6000	7500	83	83.5	57	57	62	67	1	1	1	1	0.6
N 210 E	—	NU 210 E	NJ 210 E	2210 E	—	32210 E	42210 E	90	24	1.1	1.1	60.8	41.8	6000	7500	83	83.5	57	57	62	67	1	1	1	1	0.49

提醒您：  
知识产权！





续表 22-40

新轴承代号				旧轴承代号				基本尺寸 mm				额定负荷 kN				极限转速 r/min				安装尺寸 mm						质量	
N 0000 型	NF 0000 型	NU 0000 型	NJ 0000 型	2000	12000	32000	42000	d	D	B	r <sub>a</sub> mm	r <sub>sa</sub> mm	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	D <sub>1</sub> mm	D <sub>2</sub> max	d <sub>a</sub> mm	d <sub>b</sub> mm	d <sub>c</sub> mm	d <sub>e</sub> mm	r <sub>sa</sub> max	r <sub>sb</sub> max	kg		
																										2510	2310E
N 2210	—	NU 2210	NJ 2210	2510	—	32510E	42510	50	90	23	1.1	1.1	54.5	40.8	6000	7500	—	83.5	57	62	67	1	1	0.65			
—	—	NU 2210E	NJ 2210E	—	—	32510E	42510E	—	90	23	1.1	1.1	73.2	53.2	6000	7500	—	83.5	—	57	62	66	1	1	0.59		
N 310	NF 310	NU 310	NJ 310	2310	12310	32310	42310	110	27	2	2	2	72.5	49.8	5300	6700	98	101	60	59	67	2	2	1.2			
N 310E	—	NU 310E	NJ 310E	2310E	—	32310E	42310E	—	110	27	2	2	102	71	5300	6700	98	101	60	59	67	2	2	1.2			
N 2310	—	NU 2310	NJ 2310	2610	12610	32610E	42610E	110	40	2	2	2	108	83.2	5300	6700	—	101	60	59	67	2	2	1.85			
—	—	NU 2310E	NJ 2310E	—	—	32610E	42610E	—	110	40	2	2	152	115	5300	6700	—	101	—	59	67	73	2	2	1.8		
N 410	NF 410	NU 410	NJ 410	2410	12410	32410	42410	130	31	21	21	21	115	80.8	4800	6000	—	119	62	61	73	81	2	2	2.3		
N 1011	—	NU 1011	NJ 1011	2111	—	32111	42111	55	90	18	1.1	1	34.0	23.5	5600	7000	—	83.5	61.5	60	66	—	1	1	0.45		
N 211	NF 211	NU 211	NJ 211	2211	12211	32211	42211	100	21	1.5	1	50.2	35.5	5300	6700	91	92	63.5	61.5	68	73	1.5	1	0.7			
N 211E	—	NU 211E	NJ 211E	2211E	—	32211E	42211E	—	100	21	1.5	1.1	79.5	57.2	5300	6700	91	92	63.5	61.5	68	73	1.5	1	0.68		
N 2211	—	NU 2211	NJ 2211	2511	—	32511	42511	100	25	1.5	1.1	67.5	51.5	5300	6700	—	92	63.5	61.5	69	73	1.5	1	0.86			
—	—	NU 2211E	NJ 2211E	—	—	32511E	42511E	—	100	25	1.5	1.1	93.5	70.5	5300	6700	—	92	—	61.5	68	73	4.5	1	0.82		
N 311	NF 311	NU 311	NJ 311	2311	12311	32311E	42311	120	29	2	2	93.2	65.2	4800	6000	107	111	65	64	72	80	2	2	1.7			
N 311E	—	NU 311E	NJ 311E	2311E	—	32311E	42311E	—	120	29	2	2	128	89.0	4800	6000	107	111	65	64	72	80	2	2	1.53		
N 2311	NF 2311	NU 2311	NJ 2311	2611	12611	32611	42611	120	43	2	2	122	92.5	4800	6000	—	111	65	64	73	79	2	2	2.4			
—	—	NU 2311E	NJ 2311E	—	—	32611E	42611E	—	120	43	2	2	185	145	4800	6000	—	111	—	64	73	80	2	2	2.3		
N 411	—	NU 411	NJ 411	2411	—	32411	42411	140	33	2.1	2.1	122	88.0	4300	5300	—	129	67	66	79	87	2	2	2.8			
N 1012	—	NU 1012	NJ 1012	2112	—	32112	42112	60	95	18	1.1	1	36.5	26.5	5300	6700	—	88.5	66.5	65	71	—	1	1	0.48		
N 212	NF 212	NU 212	NJ 212	2212	12212	32212	42212	110	22	1.5	1.5	59.8	43.2	5000	6300	100	102	69	68	75	80	1.5	1.5	0.9			
N 212E	—	NU 212E	NJ 212E	2212E	—	32212E	42212E	—	110	22	1.5	1.5	88.8	61.8	5000	6300	100	102	69	68	75	80	1.5	1.5	0.86		
N 2212	—	NU 2212	NJ 2212	2512	—	32512	42512	110	28	1.5	1.5	86.8	69.5	5000	6300	—	1.5	69	68	76	81	1.5	1.5	1.25			
—	—	NU 2212E	NJ 2212E	—	—	32512E	42512E	—	110	28	1.5	1.5	118	91.0	5000	6200	—	102	—	68	74	80	4.5	4.5	1.12		
N 312	NF 312	NU 312	NJ 312	2312	12312	32312	42312	130	31	2.1	2.1	112	79.8	4500	5600	116	119	72	71	79	86	2.1	2.1	2			
N 312E	—	NU 312E	NJ 312E	2312E	—	32312E	42312E	—	130	31	2.1	2.1	142	99.2	4500	5600	116	119	72	71	79	86	2.1	2.1	1.9		
N 2312	—	NU 2312	NJ 2312	2612	12612	32612	42612	130	46	2.1	2.1	148	120	4500	5600	—	119	72	71	79	87	2.1	2.1	2			
—	—	NU 2312E	NJ 2312E	—	—	32612E	42612E	—	130	46	2.1	2.1	208	162	4500	5600	—	119	—	71	79	87	2.1	2.1	2.8		
N 412	—	NU 412	NJ 412	2412	—	32412	42412	150	35	2.1	2.1	148	108	4000	5000	—	139	72	71	85	94	2.1	2.1	3.4			
N 213	NF 213	NU 213	NJ 213	2213	12213	32213	42213	65	120	23	1.5	1.5	69.8	51.5	4500	5600	108	112	74	73	81	87	1.5	1.5	1.1		
N 213E	—	NU 213E	NJ 213E	2213E	—	32213E	42213E	—	120	23	1.5	1.5	102	71.5	4500	5600	108	112	74	73	81	87	1.5	1.5	1.1		
N 2213	—	NU 2213	NJ 2213	2513	—	32513	42513	120	31	1.5	1.5	102	84.8	4500	5600	—	112	74	73	82	87	1.5	1.5	—			
—	—	NU 2213E	NJ 2213E	—	—	32513E	42513E	—	120	31	1.5	1.5	138	108	4500	5600	—	112	—	73	81	87	1.5	1.5	1.48		
N 313	NF 312	NU 313	NJ 313	2313	12313	32313	42313	65	140	33	2.1	2.1	118	85.2	4000	5000	125	129	77	76	85	93	2.1	2.1	2.5		

提醒您：  
知识产权！

星球

续表 22-40

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg				
型	代号	型	型	代号	型	d	D	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>sa</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	D <sub>a</sub> min	D <sub>b</sub> max	d <sub>0</sub> min	d <sub>1</sub> min	d <sub>2</sub> min	r <sub>as</sub> max	r <sub>bs</sub> max	kg	
N 0000 型	NF 0000 型	NU 0000 型	NJ 0000 型	2000	12000	32000	42000	65	140	33	2.1	2.1	168	120	4000	5000	77	76	85	2.1	2.1	2.1	2.3
N 313 E	—	NU 313 E	NJ 313 E	2313E	—	32313E	42313E	65	140	33	2.1	2.1	168	120	4000	5000	77	76	85	2.1	2.1	2.1	2.3
N 2313	NF 2313	NU 2313	NJ 2313	2613	12613	32613	42613	65	140	48	2.1	2.1	168	132	4000	5000	77	76	86	2.1	2.1	2.1	4
—	—	NU 2313 E	NJ 2313 E	—	—	32613E	42613E	65	140	48	2.1	2.1	178	178	4000	5000	77	76	85	2.1	2.1	2.1	3.3
N 413	—	NU 413	NJ 413	2413	—	32413	42413	65	160	37	2.1	2.1	162	118	3800	4800	77	76	81	100	2.1	2.1	4
N 1014	—	NU 1014	NJ 1014	2114	—	32114	42114	70	110	20	1.1	45.2	33.5	4800	6000	—	—	—	—	—	—	—	0.71
N 214	NF 214	NU 214	NJ 214	2214	12214	32214	42214	70	125	24	1.5	69.8	51.5	4300	5300	79	78	86	92	1.5	1.5	1.3	1.3
N 214 E	—	NU 214 E	NJ 214 E	2214E	—	32214E	42214E	70	125	24	1.5	112	81.5	4300	5300	79	78	86	92	1.5	1.5	1.2	1.2
N 2214	—	NU 2214	NJ 2214	2514	—	32514	42514	70	125	31	1.5	102	84.8	4300	5300	79	78	87	92	1.5	1.5	1.7	1.7
—	—	NU 2214 E	NJ 2214 E	—	—	32514E	42514E	70	125	31	1.5	145	115	4300	5100	—	—	—	—	—	—	—	1.56
N 314	NF 314	NU 314	NJ 314	2314	12314	32314	42314	70	150	35	2.1	138	102	3800	4800	82	81	82	100	2.1	2.1	2.1	3.1
N 314 E	—	NU 314 E	NJ 314 E	2314E	—	32314E	42314E	70	150	35	2.1	192	138	3800	4800	82	81	92	100	2.1	2.1	2.1	2.9
N 2314	NF 2314	NU 2314	NJ 2314	2614	12614	32614	42614	70	150	51	2.1	202	162	3800	4800	82	81	92	100	2.1	2.1	2.1	4.4
—	—	NU 2314 E	NJ 2314 E	—	—	32614E	42614E	70	150	51	2.1	255	200	3800	4800	—	—	—	—	—	—	—	4.1
N 414	—	NU 414	NJ 414	2414	—	32414	42414	70	180	42	3	205	155	3400	4300	84	83	102	112	2.5	2.5	2.5	5.9
N 215	NF 215	NU 215	NJ 215	2215	12215	32215	42215	75	130	25	1.5	84.8	64.2	4000	5000	84	83	90	96	1.5	1.5	1.5	1.4
N 215 E	—	NU 215 E	NJ 215 E	2215E	—	32215E	42215E	75	130	25	1.5	122	92.2	4000	5000	84	83	90	96	1.5	1.5	1.5	1.32
N 2215	—	NU 2215	NJ 2215	2515	—	32515	42515	75	130	31	1.5	118	96.8	4000	5000	84	83	91	96	1.5	1.5	1.5	1.8
—	—	NU 2215 E	NJ 2215 E	—	—	32515E	42515E	75	130	31	1.5	152	122	4000	5000	—	—	—	—	—	—	—	1.64
N 315	NF 315	NU 315	NJ 315	2315	12315	32315	42315	75	160	37	2.1	158	118	3600	4500	87	86	97	106	2.1	2.1	2.1	3.7
M315 E	—	NU 315 E	NJ 315 E	2315E	—	32315E	42315E	75	160	37	2.1	225	165	3600	4500	87	86	97	106	2.1	2.1	2.1	3.4
N 2315	NF 2315	NU 2315	NJ 2315	2615	12615	32615	42615	75	160	55	2.1	232	192	3600	4500	87	86	98	107	2.1	2.1	2.1	5.4
N 415	—	NU 415	NJ 415	2415	—	32415	42415	75	190	45	3	238	182	3200	4000	88	88	107	118	2.5	2.5	2.5	7.1
N 1016	—	NU 1016	NJ 1016	2116	—	32116	42116	80	125	22	1.1	56.5	45.8	4300	5300	—	—	—	—	—	—	—	1
N 216	NF 216	NU 216	NJ 216	2216	12216	32216	42216	80	140	26	2	97.5	74.5	3800	4800	87	85	94	104	2	2	2	1.7
N 216 E	—	NU 216 E	NJ 216 E	2216E	—	32216E	42216E	80	140	26	2	136	98.2	3800	4800	89	89	97	104	2	2	2	1.6
N 2216	—	NU 2216	NJ 2216	2516	—	32516	42516	80	140	33	2	138	115	3800	4800	89	89	98	104	2	2	2	2
—	—	NU 2216 E	NJ 2216 E	—	—	32516E	42516E	80	140	33	2	172	142	3900	4800	—	—	—	—	—	—	—	2
N 316	MF316	NU 316	NJ 316	2316	12316	32316	42316	80	170	39	2.1	168	125	3400	4300	92	91	105	114	2.1	2.1	2.1	4.4
N 316 E	—	NU 316 E	NJ 316 E	2316E	—	32316E	42316E	80	170	39	2.1	242	178	3400	4300	92	91	105	114	2.1	2.1	2.1	4.1
N 2316	NF 2316	NU 2316	NJ 2316	2616	12616	32616	42616	80	170	58	2.1	245	205	3400	4300	—	—	—	—	—	—	—	6.4
N 416	—	NU 416	NJ 416	2416	12416	32416	42416	80	200	48	3	272	210	3000	3800	94	93	112	124	2.1	2.1	2.1	8.3
N 217	NF 217	NU 217	NJ 217	2217	12217	32217	42217	85	150	28	2	110	85.8	3600	4500	137	141	95	104	110	2	2	2.1

提醒您：  
知识产权！

星球



续表 22-40

新轴承代号				旧轴承代号				基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg		
N 0000 型	NF 0000 型	NU 0000 型	NJ 0000 型	2000	12000	32000	42000	d	D	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	脂润滑油润滑	D <sub>h</sub> min	D <sub>h</sub> max	d <sub>0</sub> min	d <sub>1</sub> min	d <sub>2</sub> min	d <sub>c</sub> min	r <sub>sa</sub> max	r <sub>sb</sub> max	
N 217 E	—	NU 217 E	NJ 217 E	2217E	—	32217E	42217E	85	150	28	2	2	155	115	3600	137	141	95	94	104	110	2	2	2
N 2217	—	NU 2217	NJ 2217	2517	—	32517	42517	150	36	2	2	2	158	135	3600	—	141	95	94	104	111	2	2	2.8
—	—	NU 2217 E	NJ 2217 E	—	—	32517E	42517E	150	36	2	2	2	202	162	3600	—	141	—	—	—	—	2	2	2.6
N 317	NF 317	NU 317	NJ 317	2317	12317	32317	42317	180	41	3	3	3	202	152	3200	160	167	99	98	110	119	2.5	2.5	5.2
N 317 E	—	NU 317 E	NJ 317 E	2317E	—	32317E	42317E	180	41	3	3	3	275	208	3200	160	167	99	98	110	119	2.5	2.5	4.8
N 2317	NF 2317	NU 2317	NJ 2317	2617	12617	32617	42617	180	60	3	3	3	282	238	3200	—	167	99	98	111	120	2.5	2.5	7.4
N 417	—	NU 417	NJ 417	2417	—	32417	42417	210	52	4	4	4	298	320	2800	—	194	103	101	115	128	3	3	9.8
N 1018	—	NU 1018	NJ 1018	2118	—	32118	42118	90	140	24	1.5	1.1	70.5	55.8	3800	—	132	98	97	106	—	1.5	1	1.36
N 218	NF 218	NU 218	NJ 218	2218	12218	32218	42218	160	30	2	2	2	135	105	3400	146	151	100	99	109	116	2	2	2.5
N 218 E	—	NU 218 E	NJ 218 E	2218E	—	32218E	42218E	160	30	2	2	2	172	130	3400	146	151	100	99	109	116	2	2	2.43
N 2218	—	NU 2218	NJ 2218	2518	—	32518	42518	160	40	2	2	2	182	158	3400	—	151	100	99	110	117	2	2	3.5
—	—	NU 2218 E	NJ 2218 E	—	—	32518E	42518E	160	40	2	2	2	225	185	3400	—	151	—	—	—	—	2	2	3.3
N 318	NF 318	NU 318	NJ 318	2318	12318	32318	42318	190	43	3	3	3	218	165	3000	169	177	104	103	117	127	2.5	2.5	6.1
N 318 E	—	NU 318 E	NJ 318 E	2318E	—	32318E	42318E	190	43	3	3	3	295	220	3000	169	177	104	103	117	127	2.5	2.5	5.6
N 2318	NF 2318	NU 2318	NJ 2318	2618	12618	32618	42618	190	64	3	3	3	295	248	3000	—	209	104	103	118	128	2.5	2.5	8.4
N 418	NF 418	NU 418	NJ 418	2418	12418	32418	42418	225	54	4	4	4	335	262	2400	—	209	108	106	125	139	3	3	11
N 219	NF 219	NU 219	NJ 219	2219	12219	32219	42219	95	170	32	2.1	2.1	145	112	3200	155	159	107	106	116	123	2.1	2.1	3.2
N 219 E	—	NU 219 E	NJ 219 E	2219E	—	32219E	42219E	170	32	2.1	2.1	2.1	205	158	3200	155	159	107	106	116	123	2.1	2.1	3
N 2219	—	NU 2219	NJ 2219	2519	—	32519	42519	170	43	2.1	2.1	2.1	205	175	3200	—	159	107	106	116	124	2.1	2.1	4.5
—	—	NU 2219 E	NJ 2219 E	—	—	32519E	42519E	170	43	2.1	2.1	2.1	265	218	3200	—	159	—	—	—	—	2.1	2.1	4
N 319	NF 319	NU 319	NJ 319	2319	12319	32319	42319	200	45	3	3	3	232	180	2800	178	187	109	108	124	134	2.5	2.5	7
N 319 E	—	NU 319 E	NJ 319 E	2319E	—	32319E	42319E	200	45	3	3	3	312	238	2800	178	187	109	108	124	134	2.5	2.5	6.5
N 2319	NF 2319	NU 2319	NJ 2319	2619	12619	32619	42619	200	67	3	3	3	352	312	2800	—	187	109	108	124	135	2.5	2.5	10.4
N 419	—	NU 419	NJ 419	2419	—	32419	42419	240	55	4	4	4	360	285	2200	—	224	113	111	136	149	3	3	14
N 1020	—	NU 1020	NJ 1020	2120	—	32120	42120	100	150	24	1.5	1.1	74.2	60.8	3400	—	141	108	107	116	—	1.5	1	1.5
N 220	NF 220	NU 220	NJ 220	2220	12220	32220	42220	180	34	2.1	2.1	2.1	160	125	3000	164	169	112	111	122	130	2.1	2.1	3.5
N 220 E	—	NU 220 E	NJ 220 E	2220E	—	32220E	42220E	180	34	2.1	2.1	2.1	232	182	3000	164	169	112	111	122	130	2.1	2.1	3.57
N 2220	—	NU 2220	NJ 2220	2520	—	32520	42520	180	46	2.1	2.1	2.1	228	198	3000	—	169	112	111	123	131	2.1	2.1	5.2
—	—	NU 2220 E	NJ 2220 E	—	—	32520E	42520E	180	46	2.1	2.1	2.1	310	262	3000	—	169	—	—	—	—	2.1	2.1	4.9
N 320	NF 320	NU 320	NJ 320	2320	12320	32320	42320	215	47	3	3	3	270	212	2400	190	202	114	113	132	143	2.5	2.5	8.6
N 320 E	—	NU 320 E	NJ 320 E	2320E	—	32320E	42320E	215	47	3	3	3	358	268	2600	190	202	114	113	132	143	2.5	2.5	8
N 2320	NF 2320	NU 2320	NJ 2320	2620	12620	32620	42620	215	73	3	3	3	395	348	2600	—	202	114	113	132	143	2.5	2.5	13.5

提醒您：  
知识产权！

星球

续表 22-40

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量 kg								
N 000 型	NF 000 型	NU 000 型	NJ 000 型	2000	12000	32000	42000	d	D	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>is</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>er</sub>	脂油滑油滑槽	D <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	d <sub>0</sub> min	d <sub>0</sub> min	d <sub>b</sub> min	d <sub>b</sub> min	d <sub>i</sub> min	r <sub>as</sub> max	r <sub>bs</sub> max	2	1	3	16
N 420	—	NU 420	NJ 420	2420	—	32420	42420	100	250	58	4	4	398	320	2000	2800	—	234	118	116	141	156	3	3	3	16		
N 1021	—	NU 1021	NJ 1021	2121	—	32121	42121	105	160	26	2	1.1	87.2	72.5	3200	4200	—	151	114	112	122	—	2	1	—	1.9		
N 221	NF 221	NU 221	NJ 221	2221	12221	32221	42221	190	36	2.1	2.1	175	138	2800	3600	173	179	117	116	129	137	2.1	2.1	4	—	4		
N 321	NF 321	NU 321	NJ 321	2321	12321	32321	42321	225	49	3	3	308	245	2200	3000	199	212	119	118	137	149	2.5	2.5	—	—	—		
N 1022	—	NU 1022	NJ 1022	2122	—	32122	42122	110	170	28	2	1.1	110	91.0	3000	3800	—	161	119	117	128	—	2	1	—	2.3		
N 222	NF 222	NU 222	NJ 222	2222	12222	32222	42222	200	38	2.1	2.1	210	168	2600	3400	182	189	122	121	135	144	2.1	2.1	5	—	5		
N 222 E	—	NU 222 E	NJ 222 E	2222 E	—	32222 E	42222 E	200	38	2.1	2.1	272	260	3400	3400	182	189	122	121	135	144	2.1	2.1	5	—	5		
N 2222	NF 2222	NU 2222	NJ 2222	22222	12522	32522	42522	200	53	2.1	2.1	298	262	2600	3400	—	189	122	121	135	144	2.1	2.1	7.5	—	7.5		
N 322	NF 322	NU 322	NJ 322	2322	12322	32322	42322	240	50	3	3	335	268	2000	2800	211	227	124	123	145	158	2.5	2.5	11	—	11		
N 2322	NF 2322	NU 2322	NJ 2322	2622	12622	32622	42622	240	80	3	3	510	462	2000	2800	211	227	124	123	145	158	2.5	2.5	17.5	—	17.5		
N 422	—	NU 422	NJ 422	2422	—	32422	42422	280	65	4	4	492	402	1800	2400	—	264	128	126	157	173	3	3	3	22	22		
N 1024	—	NU 1024	NJ 1024	2124	—	32124	42124	120	180	28	2	1.1	125	99.0	2600	3400	—	171	129	127	138	—	2	1.1	2.96	—	2.96	
N 224	NF 224	NU 224	NJ 224	2224	12224	32224	42224	215	40	2.1	2.1	220	195	2200	3000	196	204	132	131	146	156	2.1	2.1	6.4	—	6.4		
N 224 E	—	NU 224 E	NJ 224 E	2224 E	—	32224 E	42224 E	215	40	2.1	2.1	315	252	2200	3000	196	204	132	131	146	156	2.1	2.1	6	—	6		
N 2224	—	NU 2224	NJ 2224	2524	—	32524	42524	215	58	2.1	2.1	332	308	2200	3000	—	204	132	131	146	156	2.1	2.1	9.5	—	9.5		
N 324	NF 324	NU 324	NJ 324	2324	12324	32324	42324	260	55	3	3	422	345	1900	2600	230	247	134	133	156	171	2.5	2.5	14	—	14		
N 2324	NF 2324	NU 2324	NJ 2324	2624	12624	32624	42624	260	86	3	3	602	542	1900	2600	230	247	134	133	156	171	2.5	2.5	22.5	—	22.5		
N 424	—	NU 424	NJ 424	2424	—	32424	42424	310	72	5	5	612	515	1700	2200	—	290	142	140	177	190	4	4	4	30	30		
N 1026	—	NU 1026	NJ 1026	2126	—	32126	42126	130	200	33	2	1.1	145	125	2400	3200	—	191	139	137	151	—	2	1	3.7	—	3.7	
N 226	NF 226	NU 226	NJ 226	2226	12226	32226	42226	230	40	3	3	245	208	2000	2800	208	217	144	143	158	168	2.5	2.5	7	—	7		
N 2226	NF 2226	NU 2226	NJ 2226	2526	12526	32526	42526	230	64	3	3	350	325	2000	2800	208	217	144	143	158	168	2.5	2.5	11.5	—	11.5		
N 326	NF 326	NU 326	NJ 326	2326	12326	32326	42326	280	58	4	4	470	388	1700	2200	247	264	148	146	169	184	3	3	3	18	18		
N 2326	NF 2326	NU 2326	NJ 2326	2626	12626	32626	42626	280	93	4	4	712	662	1700	2200	247	264	148	146	169	184	3	3	3	28.5	28.5		
N 426	—	NU 426	NJ 426	2426	—	32426	42426	340	78	5	5	745	628	1500	1900	—	290	152	150	187	208	4	4	4	39	39		
N 1028	—	NF 1028	NJ 1028	2128	—	32128	42128	140	210	33	2	1.1	150	130	2000	2800	—	201	149	147	161	—	2	1	4	—	4	
N 228	NF 228	NU 228	NJ 228	2228	12228	32228	42228	250	42	3	3	288	245	1800	2400	—	237	154	153	171	182	2.5	2.5	9.1	—	9.1		
N 2228	—	NU 2228	NJ 2228	2528	—	32528	42528	250	68	3	3	418	412	1800	2400	—	237	154	153	171	182	2.5	2.5	15	—	15		
N 328	NF 328	NU 328	NJ 328	2328	12328	32328	42328	300	62	4	4	520	432	1600	2000	—	284	158	156	182	198	3	3	3	22	22		
N 2328	NF 2328	NU 2328	NJ 2328	2628	12628	32628	42628	300	102	4	4	785	735	1600	2000	—	284	158	156	182	198	3	3	3	37	37		
N 428	—	NU 428	NJ 428	2428	—	32428	42428	360	82	5	5	805	678	1400	1800	—	340	162	160	200	222	4	4	4	—	—		
N 1030	—	NU 1030	NJ 1030	2130	—	32130	42130	150	225	35	2	1.5	178	158	1900	2600	—	214	161	158	173	—	2	1.1	5	4.8	4.8	
N 230	NF 230	NU 230	NJ 230	2230	12230	32230	42230	270	45	3	3	342	288	1700	2200	—	257	164	163	184	196	2.5	2.5	11	—	11		

提醒您：  
知识产权！

球

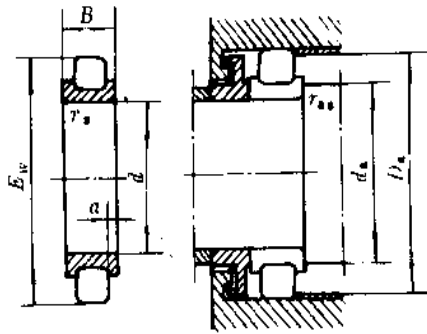
续表 22-40

新轴承代号			旧轴承代号			基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm						质量									
N 0000 型	NF 0000 型	NU 0000 型	NJ 0000 型	2000	12000	32000	42000	d	D	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>er</sub>	脂润滑	油润滑	D <sub>0</sub> min	D <sub>0</sub> max	d <sub>0</sub> min	d <sub>0</sub> max	d <sub>1</sub> min	d <sub>1</sub> max	r <sub>0s</sub> min	r <sub>0s</sub> max	r <sub>1s</sub> min	r <sub>1s</sub> max	kg		
N 330	NF 330	NU 330	NJ 330	2330	12330	32330	42330	150	320	65	4	4	568	478	1500	1900	—	304	304	168	163	195	213	3	3	3	3	26	
N 2330	NF 2330	NU 2330	NJ 2330	2630	12630	32630	42630	320	108	5	5	885	835	1500	1900	—	304	304	168	166	195	213	3	3	3	3	3	45	
N 430	—	NU 430	NJ 430	2430	—	32430	42430	150	380	85	5	5	868	732	1300	1700	—	360	360	172	170	210	327	4	4	4	4	53	
N 1032	—	NU 1032	NJ 1032	2132	—	32132	42132	160	240	38	2.1	1.5	202	178	1800	2400	—	229	229	171	168	184	—	2.1	1.5	2.1	1.5	6	
N 232	NF 232	NU 232	NJ 232	2232	12232	32232	42232	290	48	3	3	385	325	1600	2000	—	277	277	174	173	197	210	2.5	2.5	2.5	2.5	14		
N 2322	—	NU 2322	NJ 2322	2532	—	32532	42532	290	80	3	3	562	528	1600	2000	—	277	277	174	173	196	209	2.5	2.5	2.5	2.5	25		
N 332	NF 332	NU 332	NJ 332	2332	12332	32332	42332	340	68	4	4	598	575	1400	1800	—	324	324	178	176	211	228	3	3	3	3	31.6		
N 1034	—	NU 1034	NJ 1034	2134	—	32134	42134	170	260	42	2.1	2.1	242	215	1700	2300	—	249	249	181	181	194	—	2.1	2.1	2.1	2.1	8.14	
N 234	NF 234	NU 234	NJ 234	2234	12234	32234	42234	310	52	4	4	405	382	1500	1900	—	294	294	188	186	221	223	3	3	3	3	17.1		
N 334	—	NU 334	NJ 334	2334	—	32334	42334	360	72	4	4	682	595	1300	1700	—	344	344	188	186	223	241	3	3	3	3	36		
N 2334	NF 2334	NU 2334	NJ 2334	2634	12634	32634	42634	360	120	4	4	1060	1030	1300	1700	—	344	344	188	186	223	241	3	3	3	3	63		
N 1036	—	NU 1036	NJ 1036	2136	—	32136	42136	180	280	46	2.1	2.1	285	258	1600	2000	—	269	269	191	191	209	—	2.1	2.1	2.1	2.1	10.1	
N 236	—	NU 236	NJ 236	2236	—	32236	42236	320	52	4	4	405	382	1400	1800	—	304	304	198	196	221	233	3	3	3	3	18		
N 336	—	NU 336	NJ 336	2336	—	32336	42336	380	75	4	4	795	690	1200	1600	—	364	364	198	196	235	255	33	33	33	33	42		
N 2336	NF 2336	NU 2336	NJ 2336	2636	12636	32636	42636	380	126	4	4	1140	1100	1200	1600	—	364	364	198	196	235	255	33	33	33	33	71.2		
N 238	—	NU 238	NJ 238	2238	—	32238	42238	190	340	55	4	4	488	438	1300	1700	—	324	324	208	206	234	247	3	3	3	3	23	
N 338	—	NU 338	NJ 338	2338	—	32338	42338	400	78	5	5	840	742	1100	1500	—	380	380	212	210	248	268	4	4	4	4	50		
N 1040	—	NU 1040	NJ 1040	2140	—	32140	42140	200	310	51	2.1	2.1	388	362	1400	1800	—	299	299	211	211	211	—	2.1	2.1	2.1	2.1	14.3	
N 240	—	NU 240	NJ 240	2240	—	32240	42240	360	58	4	4	542	495	1200	1600	—	344	344	218	216	247	261	3	3	3	3	26		
N 244	—	NU 244	NJ 244	2244	—	32244	42244	220	400	65	4	4	668	618	1000	1400	—	384	384	238	236	273	289	3	3	3	3	36	
N 2244	—	NU 2244	NJ 2244	2544	—	32544	42544	400	108	4	4	1300	1370	1000	1400	—	384	384	238	236	274	—	—	—	—	—	3	3	62
N 1048	—	NU 1048	NJ 1048	2148	—	32148	42148	360	56	3	3	448	438	1000	1400	—	347	347	253	253	275	—	2.5	2.5	2.5	2.5	2148		
N 248	—	NU 248	NJ 248	2248	—	32248	42248	440	72	4	4	838	792	900	1200	—	424	424	258	256	298	316	3	3	3	3	48.2		
N 348	—	NU 348	NJ 348	2348	—	32348	42348	500	95	5	5	1230	1130	800	1000	—	480	480	262	260	313	—	4	4	4	4	97.1		
N 1052	—	NU 1052	NJ 1052	2152	—	32152	42152	260	400	65	4	4	565	548	950	1300	—	373	373	276	276	300	—	3	3	3	3	31	
N 1056	—	NU 1056	NJ 1056	2156	—	32156	42156	280	420	65	4	4	572	568	850	1100	—	404	404	296	296	320	—	3	3	3	3	33	
N 1060	—	NU 1060	NJ 1060	2160	—	32160	42160	300	460	74	4	4	838	865	800	1000	—	444	444	316	316	344	—	3	3	3	3	44.4	
N 260	—	NU 260	NJ 260	2260	—	32260	42260	540	85	5	5	1300	1290	700	900	—	487	487	322	322	320	368	392	4	4	4	4	87.2	
N 1064	—	NU 1064	NJ 1064	2164	—	32164	42164	320	480	74	4	4	848	495	750	950	—	484	484	336	336	364	—	3	3	3	3	47	
N 1080	—	NU 1080	NJ 1080	2180	—	32180	42180	400	600	90	5	5	1350	1460	560	700	—	580	580	420	420	455	—	4	4	4	4	88.8	

注: 1. 后缀带 E 的加强型圆柱滚子轴承, 是近年集整体优化设计的结构, 滚子数量较多, 较长而且直径较大, 故负荷能力高, 应优先选用;  
 2. 表中所示轴承的基本额定负荷 C<sub>r</sub> 是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢, C<sub>r</sub> 可提高 10%; 采用电渣重熔轴承钢, C<sub>r</sub> 可提高 60%。



表 22-41 无外圈的圆柱滚子轴承(摘自 GB/T 284—93 等效 ISO15 81)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

径向当量动负荷  
 $P_r = F_r$   
径向当量静负荷  
 $P_{or} = F_r$

RN 0000 型(502000) 安装尺寸

新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				质 量 kg
		d	E <sub>w</sub>	B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	r <sub>s</sub> min	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>s0</sub> max	
RN 0000	502000												
RN 204	502204	20	40	14	12.0	6.62	12000	16000	1	26	37.3	1	0.078
RN 204 E	502204E		41.5	14	25.8	15.8	12000	16000	1	26	37.3	1	
RN 304 E	502304E		45.5	15	29.2	17.5	11000	15000	1.1	27	41.2	1	
RN 205	502205	25	45	15	12.5	7.2	10000	14000	1	31	42.3	1	0.0713
RN 205 E	502205E		46.5	15	27.5	17.2	11000	14000	1	31	42.3	1	
RN 305 E	502305E		54	17	38.5	23.8	9000	12000	1.1	32	49.4	1	
RN 206	502206	30	53.5	16	18.5	11.2	8500	11000	1	36	50.5	1	0.14
RN 206 E	502206E		55.5	16	36.2	22.8	8500	11000	1	36	50.5	1	
RN 306	502306		62	19	31.8	20.2	8000	10000	1.1	37	58.2	1	0.26
RN 306 E	502306E		62.5	19	49.2	31.5	8000	10000	1.1	37	58.2	1	
RN 207	502207	35	61.8	17	27.2	17.2	7500	9500	1.1	42	59	1	0.196
RN 207 E	502207E		64	17	46.5	30.2	7500	9500	1.1	42	59	1	
RN 307	502307		58.2	21	39.0	25.2	7000	9000	1.5	44	64.3	1.5	0.32
RN 307 E	502307E		70.2	21	61.5	40.5	7000	9000	1.5	44	64.3	1.5	
RN 407	502407		83	25	67.5	45.5	6000	7500	1.5	44		1.5	0.64
RN 208	502208	40	70	18	35.8	23.5	7000	9000	1.1	47	66.2	1	0.278
RN 208 E	502208E		71.5	18	51.5	33.2	7000	9000	1.1	47	66.2	1	
RN 308	502308		77.5	23	46.5	30.5	6300	8000	1.5	49	73.3	1.5	0.43
RN 308 E	502308E		80	23	76.2	50.2	6300	8200	1.5	49	73.3	1.5	
RN 408	502408		92	27	86.2	59.8	5600	7000	2	50		2	
RN 209 E	502209E	45	76.5	19	58.2	39.2	6300	8000	1.1	52	71.2	1	—
RN 309	502309		86.5	25	63.5	42.8	5600	7000	1.5	54	81.5	1.5	0.61
RN 309 E	502309E		88.5	25	92.0	62.2	5600	7000	1.5	54	81.5	1.5	—
RN 210	502110	50	72.5	16	23.8	16.2	6300	8000	1.5	59		1.5	—
RN 210 E	502210E		81.5	20	60.8	41.8	6000	7500	1.1	57	77	1	—
RN 310	502310		95	27	72.5	49.8	5300	6700	2	60	89.6	2	0.797
RN 310 E	502310E		97	27	105	71.0	5300	6700	2	60	89.6	2	
RN 211 E	502211E	55	90	21	79.5	57.2	5300	6700	1.5	64	85	1.5	—
RN 311 E	502311E		106.5	29	128	89.0	4800	6000	2	65	98.2	2	—
RN 1012	502112	60	86.5	18	36.5	36.5	5300	6700	2	70		2	0.303
RN 212	502212E		100	22	88.8	61.8	5000	6300	1.5	69	93.2	1.5	—
RN 312	502312		113	31	112	79.8	4500	5600	2.1	72	106.5	2.1	1.11
RN 312 E	502312E		115	31	142	99.2	4500	5600	2.1	72	106.5	2.1	—



续表 22-41

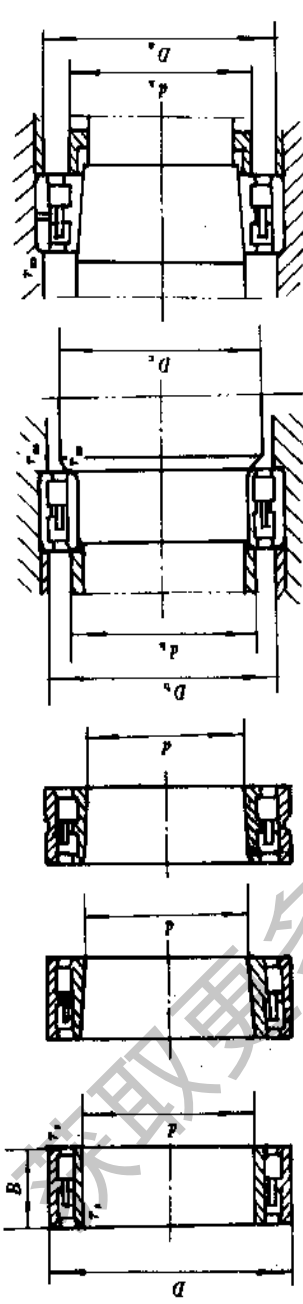
新轴承 代号	旧轴承 代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm				质量 kg
		$d$	$E_w$	$B$	$C_r$	$C_{or}$	脂润滑	油润滑	$r_f$ min	$d_a$ min	$r_{fs}$ max	$r_{fs}$ max	
RN 0000	502000												
RN 213 E	502213E	65	108.5	23	102	71.5	4500	5600	1.5	74	101	1.5	1.57
RN 313	502313		121.5	33	118	85.2	4000	5000	2.1	77	114.6	2.1	
RN 313 E	502313E		124.5	33	168	120	4000	5000	2.1	77	114.6	2.1	
RN 1014	502114	70	100	20	45.2	33.5	4800	6000	2	80	—	2	1.87
RN 214 E	502214E		113.5	24	112	81.5	4300	5300	1.5	79	105.8	1.5	
RN 314	502314		130	35	138	102	3800	4800	2.1	82	123.5	2.1	
RN 314 E	502314E		133	35	192	138	3800	4800	2.1	82	123.5	2.1	
RN 215 E	502215E	75	118.5	25	122	92.2	4000	5000	1.5	84	111.4	1.5	2.1
RN 315 E	502315E		143	37	225	165	3600	4500	2.1	87	131.6	2.1	
RN 216 E	502216E	80	127.3	26	132	98.2	3900	4800	2	90	119.8	2	2.1
RN 316 E	502316E		151	39	242	178	3400	4300	2.1	92	139	2.1	
RN 217 E	502217E	85	136.5	28	155	115	3600	4500	2	95	129	2	2.7
RN 317	502317		156	41	188	142	3200	4000	3	99	147	2.5	
RN 317 E	502317E		160	41	275	208	3200	4000	3	99	147	2.5	
RN 218	502218	90	43	30	135	105	3400	4300	2	100	136.4	2	1.7
RN 218 E	502218E		145	30	172	130	3400	4300	2	100	136.4	2	
RN 318 E	502318E		169.5	43	295	220	3000	3800	3	104	155.5	2.5	
RN 219	502219	95	151.5	32	145	112	3200	4000	2.1	107	145.5	2.1	2.18
RN 219 E	502219E		154.5	32	205	158	3200	4000	2.1	107	145.5	2.1	
RN 319 E	502319E		177.5	45	312	238	2800	3600	3	109	163.5	2.5	
RN 220	502220	100	160	34	160	125	3000	3800	2.1	112	152.8	2.1	2.03
RN 220 E	502220E		63	34	232	182	3000	3800	2.1	112	152.8	2.1	
RN 320 E	502320E		191.5	47	360	270	2600	3200	3	114	175	2.5	
RN 221	502221	105	168.8	36	175	138	2800	3600	2.1	117	161.2	2.1	2.76
RN 222	502222	110	178.5	38	210	168	2600	3400	2.1	122	170.2	2.1	
RN 222 E	502222E		180.5	38	272	215	2600	3400	2.1	122	170.2	2.1	
RN 224 E	502224E	120	195.5	40	315	252	2200	3000	2.1	132	183.5	2.1	4.48
RN 226	502226	130	204	40	245	208	2000	2800	3	144	195	2.5	
RN 228	502228	140	221	42	288	245	1800	2400	3	154	211.5	2.5	5.94
RN 328	502328		260	62	522	432	1600	2000	4	158	245	3	
RN 330	502330	150	277	65	568	478	1500	1900	4	168	262	3	17.04
RN 336	502336	180	328	75	795	692	1200	1600	4	198	309	3	
RN 338	502338	190	345	78	840	742	1100	1500	5	212	325	4	31.6

注:1. 后缀带 E 的加强型, 系经优化设计的结构, 负荷能力高, 应优先选用;

2. 表中所示轴承的基本额定负荷  $C_r$ , 是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如用真空脱气轴承钢,  $C_r$  可提高 10%, 采用电液重熔轴承钢  $C_r$  提高 60%。

表 22-42 精密机械用双列圆柱滚子轴承(摘自 GB/T 285—93, 等效 ISO15—81)

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm	基本额定负荷 kN	极限转速 r/min	安装尺寸 mm							质量 kg						
					$d$	$D$	$B$	$C_r$	$C_{or}$	油脂滑	油润滑		$r_a$ min	$d_a$ min	$d_b$ max	$D_a$ min	$D_b$ max	$D_c$ min
NNU 0000	NNU 0000 K (482000)	NN 0000 型 (182000)	26.0	9000	30	55	19	19.5	12000	1	36	50	57	—	—	—	1	0.19
—	—	NN 3006 K	28.0	8000	35	62	20	22.8	10000	1	41	—	—	—	—	—	1	0.25
—	—	NN 3007 K	35.5	7500	40	68	21	28.8	9500	1	46	62.5	—	—	—	—	1	0.31
—	—	NN 3008 K	41.2	7000	45	75	23	43.2	9000	1	51	69	—	—	—	—	1	0.4
—	—	NN 3009 K	41.5	6300	50	80	23	35.8	8000	1	56	74	—	—	—	—	1	0.43
—	—	NN 3010 K	57.8	5600	55	90	26	50.8	7000	1.1	62	83	—	—	—	—	1	0.65
—	—	NN 3011 K	59.2	5300	60	95	26	53.0	6700	1.1	67	88	—	—	—	—	1	0.69
—	—	NN 3012 K	60.2	5000	65	100	26	55.2	6300	1.1	72	93	—	—	—	—	1	0.74
—	—	NN 3013 K	75.2	4800	70	110	30	69.8	6000	1.1	77	102	—	—	—	—	1	1.1
—	—	NN 3014 K	78.5	4500	75	115	30	84.5	5600	1.1	82	107	—	—	—	—	1	1.14
—	—	NN 3015 K	87.5	4300	80	125	34	87.5	5300	1.1	87	115	—	—	—	—	1	1.5
—	—	NN 3016 K	92.2	4000	85	130	34	94.2	5000	1.1	92	120	—	—	—	—	1	1.63
—	—	NN 3017 K	96.5	3800	90	140	37	112	4800	1.5	99	129	—	—	—	—	1.5	2.12
—	—	NN 3018 K	115	3000	95	145	37	118	4500	1.5	104	134	—	—	—	—	1.5	2.2
—	—	NN 3019 K	118	3000	100	140	40	120	4500	1.1	109	139	—	—	—	—	1.5	2.4
NNU 4920	NNU 4920 K	3182119	102	3600	100	140	40	125	4300	1.1	115	148	—	—	—	—	1.5	2.04
—	—	3182120	122	3400	105	145	40	125	4300	1.1	116	148	—	—	—	—	1.5	2.95
NNU 4921	NNU 4921 K	3182121	158	3200	110	150	40	105	4000	2	115	—	—	—	—	—	1.5	2.95
—	—	3182122	128	3200	110	150	40	105	4000	1.1	121	—	—	—	—	—	1.5	2.08



安装尺寸

提醒您：  
知识产权！

球



续表 22-42

新轴承代号	旧轴承代号		基本尺寸/mm		基本额定负荷/kN		极限转速 r/min		安装尺寸/mm						质量/kg
	NUU 0000	NN 000 K	d	D B	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	d <sub>a</sub> min	d <sub>b</sub> max	D <sub>a</sub> min	D <sub>b</sub> max	D <sub>c</sub> min	r <sub>sa</sub> max	
—	—	NN 3022 K	170	45	182	185	3000	3800	120	—	157	—	—	2	3.74
NNU 4924	NNU 4924 K	—	120	165	140	162	2800	3600	—	132	—	158	137	1	2.85
—	—	NN 3024 K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4926	NNU 4926 K	4482924	180	46	205	208	2600	3400	130	—	167	—	—	2	3.86
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4928	NNU 4928 K	4482926	130	180	50	148	2600	3400	—	143.5	—	171	148	1.5	3.93
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3026 K	200	52	238	248	2400	3200	140	—	184	—	—	2	5.4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4930	NNU 4930 K	4482928	140	190	50	192	2400	3200	150	—	194	—	158	1.5	4.19
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4932	NNU 4932 K	4482930	150	210	60	268	2000	2800	2	166	—	209	171	2	6.48
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4934	NNU 4934 K	4482932	160	220	60	275	1900	2600	2.1	176	—	—	—	2.1	7.7
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4936	NNU 4936 K	4482934	170	230	60	348	1800	2400	2	180	—	220	192	2	8.4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4938	NNU 4938 K	4482936	180	250	69	395	1700	2200	2.1	182	—	—	—	2.1	13.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4940	NNU 4940 K	4482938	190	260	69	428	1700	2200	2	199.5	—	240	205	2	10.6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3036 K	220	300	80	472	1600	2000	2.1	192	—	258	—	2.1	17.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4944	NNU 4944 K	4482940	200	280	80	515	1600	2000	2	209	—	250	—	2.1	18.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4948	NNU 4948 K	4482942	220	300	80	532	1500	1900	2.1	212	—	268	228	2.1	15.3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4952	NNU 4952 K	4482944	240	320	80	645	1400	1800	2.1	242	—	288	248	2.1	16.9
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4956	NNU 4956 K	4482946	260	360	100	858	1200	1600	3	234	—	308	271	2.1	30.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NNU 4960	NNU 4960 K	4482948	300	420	104	1040	1000	1400	2.1	262	—	348	300	2.1	31.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3048 K	280	380	106	872	950	1300	4	278	—	—	—	3	47.1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3052 K	300	420	106	905	900	1200	2.1	309	—	368	317	2.1	33.1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3056 K	420	106	872	1070	850	1100	4	298	—	406	346	2.5	50.9
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3060 K	460	118	872	1220	850	1100	3	335	—	—	—	3	50.9
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3068 K	340	520	133	1330	800	1000	4	318	—	422	—	3	69.6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3072 K	360	540	134	1450	700	900	5	362	—	477	—	4	95.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3076 K	380	560	135	1570	670	850	5	382	—	497	—	4	103.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 3092 K	460	680	163	2200	450	560	6	488	—	628	—	6	203.6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 30/560 K	31821/560	560	820	195	2240	340	6	588	—	—	—	6	319.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	NN 30/670 K	31821/670	670	980	230	4200	220	7.5	706	—	—	—	7.5	560.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

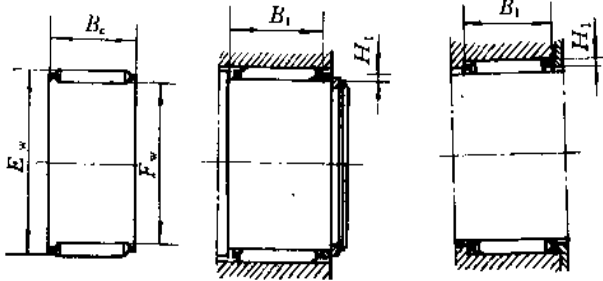
提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

球

3.8 滚针轴承

表 22-43 向心滚针和保持架组件(摘自 GB/T 5840-93)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



K  $F_w \times E_w \times B_c$  型(K  $F_w E_w B_c$ )

安装尺寸

当量动负荷  $P_r = F_r$ ; 当量静负荷  $P_{0r} = F_r$

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm		质量 g
		$F_w$	$E_w$	$B_c$	$C_r$	$C_{0r}$	脂	油	$B_1$	$H_1$	
K 5×8×10	K5810	5	8	10	1.60	1.30	18000	28000	10.1	1	1.40
K 5×9×10	K5910		9	10	2.10	1.60	18000	28000	10.1	1.4	--
K 6×9×8	K698	6	9	8	1.80	1.40	18000	28000	8.1	1	1.40
K 8×11×10	K81110	8	11	10	2.70	2.40	18000	28000	10.1	1	1.30
K 9×12×10	K91210	9	12	10	3.10	2.90	17000	26000	10.1	1	1.50
K 10×13×10	K101310	10	13	10	3.60	3.10	17000	26000	10.1	1	1.80
K 10×14×10	K101410		14	10	3.60	2.80	17000	26000	10.1	1.4	2.20
K 10×14×13	K101413		14	13	4.90	4.10	17000	26000	13.12	1.4	2.90
K 12×15×10	K121510	12	15	10	4.0	3.60	16000	2400	10.1	1	1.90
K 12×16×10	K121610		16	10	4.20	3.30	16000	24000	10.1	1.4	4.0
K 12×16×13	K121613		16	13	5.60	4.90	16000	24000	13.12	1.4	3.40
K 14×18×10	K141810	14	18	10	4.60	3.90	15000	22000	10.1	1.4	4.80
K 14×18×17	K141817		18	17	8.20	8.10	15000	22000	17.12	1.4	8.10
K 14×19×13	K141913		19	13	6.60	5.55	15000	22000	13.12	1.7	5.00
K 15×19×10	K151910	15	19	10	4.80	4.10	14000	20000	10.1	1.4	5.10
K 15×19×17	K151917		19	17	8.60	8.70	14000	20000	17.12	1.4	8.80
K 15×20×13	K152013		20	13	7.10	6.0	14000	20000	13.12	1.7	8.90
K 16×20×10	K162010	16	20	10	5.0	4.40	13000	19000	10.1	1.4	4.20
K 16×20×17	K162017		20	17	8.90	9.30	13000	19000	17.12	1.4	9.20
K 16×22×12	K162212		22	12	6.70	5.90	13000	19000	12.1	2	10.5
K 16×22×20	K162220		22	20	12.0	10.8	13000	19000	20.14	2	17
K 17×21×10	K172110	17	21	10	5.20	4.70	12000	18000	10.1	1.4	5.60
K 17×21×17	K172117		21	17	9.20	9.80	12000	18000	17.12	1.4	9.50
K 18×22×10	K182210	18	22	10	5.40	5.0	11000	17000	10.1	1.4	6.10
K 18×22×17	K182217		22	17	9.50	10.5	11000	17000	17.12	1.4	11
K 18×24×20	K182420		24	20	13.5	12.8	11000	17000	20.14	2	19
K 20×24×10	K202410	20	24	10	5.80	5.50	10000	16000	10.1	1.4	7.0
K 20×24×17	K202417		24	17	10.2	11.5	10000	16000	17.12	1.4	11
K 20×26×20	K202620		26	20	14.2	13.8	10000	16000	20.14	2	20
K 22×26×10	K222610	22	26	10	5.90	5.80	9500	15000	10.1	1.4	7.0
K 22×26×17	K222617		26	17	10.5	12.2	9500	15000	17.12	1.4	12
K 22×28×17	K222817		28	17	13.2	12.8	9500	15000	17.12	2	20
K 24×28×10	K242810	24*	28	10	6.0	6.10	9000	14000	10.1	1.4	8.10
K 24×28×17	K242817		28	17	10.5	12.8	9000	14000	17.12	1.4	13
K 25×29×10	K252910	25	29	10	6.20	6.30	9000	14000	10.1	1.4	8.0
K 25×29×17	K252917		29	17	10.8	13.2	9000	14000	17.12	1.4	14
K 25×31×20	K253120		31	20	15.8	16.8	9000	14000	20.14	2	25

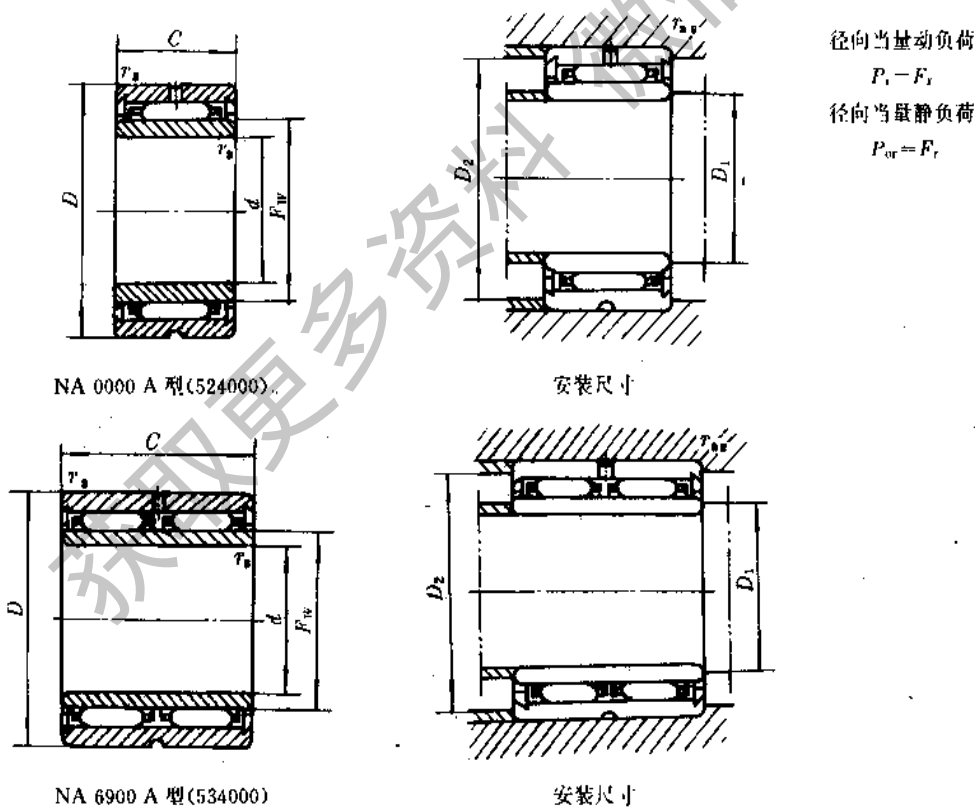
续表 22-43

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm		质量 kg
		$F_w$	$E_w$	$B_c$	$C_r$	$C_{or}$	脂	油	$B_1$	$H_1$	
K 28×33×13	K283313	28	33	13	10.0	10.5	8500	13000	13.12	1.7	15
K 28×33×27	K283327		33	27	20.5	26.5	8500	13000	27.14	1.7	32
K 28×35×20	K283520		35	20	18.8	19.5	8500	13000	20.14	2.3	35
K 30×35×17	K303517	30	35	17	13.5	15.8	8000	12000	17.12	1.7	21
K 30×35×27	K303527		35	27	20.5	27.8	8000	12000	27.14	1.7	33
K 30×37×20	K303720		37	20	19.5	20.8	8000	12000	20.14	2.3	40
K 30×40×30	K304030		40	30	33.8	40.0	8000	12000	30.14	2.3	78
K 32×37×17	K323717	32	37	17	14.2	17.2	7500	11000	17.12	1.7	22
K 32×37×27	K323727		37	27	22.0	30.2	7500	11000	27.14	1.7	37
K 32×39×20	K323920		39	20	20.2	21.8	7500	11000	20.14	2.3	42
K 35×40×17	K354017	35	40	17	14.8	18.8	7000	10000	17.12	1.7	25
K 35×40×27	K354027		40	27	22.8	32.8	7000	10000	27.14	1.7	39
K 35×42×20	K354220		42	20	20.5	23.0	7000	10000	20.14	2.3	41
K 38×43×17	K384317	38	43	17	15.5	20.2	6700	9500	17.12	1.7	—
K 38×43×27	K384327		43	27	23.8	35.2	6700	9500	27.14	1.7	—
K 38×46×20	K384620		46	20	22.8	24.8	6700	9500	20.14	2.7	—
K 40×45×17	K404517	40	45	17	15.8	20.8	6300	9000	17.12	1.7	27
K 40×45×27	K404527		45	27	24.5	36.5	6300	9000	27.14	1.7	44
K 40×48×20	K404820		48	20	23.8	26.2	6300	9000	20.14	2.7	52
K 42×47×17	K424717	42	47	17	16.5	22.2	6000	8500	17.12	1.7	28
K 42×47×27	K424727		47	27	25.5	39.0	6000	8500	27.14	1.7	47
K 42×50×20	K425020		50	20	24.5	27.5	6000	8500	20.14	2.7	54
K 45×50×17	K455017	45	50	17	17.0	23.8	5600	8000	17.12	1.7	31
K 45×50×27	K455027		50	27	26.2	41.5	5600	8000	27.14	1.7	50
K 45×53×20	K455320		53	20	25.8	30.2	5600	8000	20.14	2.7	62
K 48×53×17	K485317	48	53	17	17.8	25.2	5300	7500	17.12	1.7	39
K 48×56×20	K485620		56	20	26.2	31.5	5300	7500	20.14	2.7	—
K 50×55×20	K505520	50	55	20	19.8	29.8	5000	7000	20.14	1.7	39
K 50×57×16	K505716		57	16	17.5	23.5	5000	7000	16.12	2.3	50
K 50×58×20	K505820		58	20	27.0	32.8	5000	7000	20.14	2.3	60
K 52×57×20	K525720	52	57	20	20.5	31.5	4800	6700	20.14	1.7	—
K 52×60×20	K526020		60	20	27.5	34.2	4800	6700	20.14	2.7	—
K 55×63×25	K556325	55	63	25	26.0	37.2	4800	6700	25.14	2.7	88
K 58×66×30	K586630	58	66	30	40.8	58.0	4500	6300	20.14	2.7	—
K 60×68×30	K606830	60	68	30	41.2	60.0	4300	6000	30.14	2.7	136
K 63×71×20	K637120	63	71	20	29.5	39.2	4000	5600	20.14	2.7	75
K 65×73×30	K657330	65	73	30	42.0	62.0	4000	5600	30.14	2.7	126
K 68×74×20	K687420	68	74	20	27.2	43.5	3800	5300	20.14	2	65
K 68×74×30	K667430		74	30	37.8	66.2	3800	5300	30.14	2	97
K 68×76×25	K687625		76	25	37.8	54.8	3800	5300	25.14	2.7	—
K 70×76×30	K707630	70	76	30	38.2	67.8	3800	5300	30.14	2	100
K 70×78×25	K707825		78	25	38.5	56.2	3800	5300	25.14	2.7	115
K 70×78×30	K707830		78	30	44.5	68.0	3800	5300	30.14	2.7	136
K 72×78×20	K727820	72	78	20	27.8	45.5	3600	5000	20.14	2	90
K 72×80×20	K728020		80	20	32.5	45.8	3600	5000	20.14	2.7	—
K 72×80×30	K728030		80	30	45.5	70.2	3600	5000	30.14	2.7	—
K 75×81×30	K758130	75	81	30	39.5	72.2	3400	4800	30.14	2	108
K 75×83×20	K738320		83	20	32.8	46.5	3400	4800	20.14	2.7	100
K 75×83×30	K758330		83	30	46.2	72.0	3400	4800	30.14	2.7	147
K 80×86×30	K808630	80	86	30	40.5	76.8	3200	4500	30.14	2	110
K 80×88×30	K808830		88	30	47.5	76.2	3200	4500	30.14	2.7	141

续表 22-43

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm		质量 kg
		$F_w$	$E_w$	$B_c$	$C_r$	$C_{or}$	脂	油	$B_1$	$H_1$	
K 85×92×30	K859230	85	92	30	45.5	80.8	3000	4300	30.14	2.3	142
K 85×93×20	K859320		93	20	34.5	51.8	3000	4300	20.14	2.7	130
K 85×93×30	K859330		93	30	48.5	80.2	3000	4300	30.14	2.7	160
K 90×97×30	K909730	90	97	30	46.8	85.8	2800	4000	30.14	2.3	151
K 90×98×30	K909830		98	30	48.8	82.0	2800	4000	25.14	2.7	172
K 95×102×30	K9510230	95	102	30	48.5	91.2	2600	3800	30.14	2.3	165
K 95×103×30	K9510330		103	30	49.8	86.0	2600	3800	30.14	2.7	165
K 100×107×30	K10010730	100	107	30	49.2	94.8	2400	3600	30.14	2.3	170
K 100×108×30	K10010830		108	30	51.0	90.2	2400	3600	30.14	2.7	190
K 105×112×30	K10511230	105	112	30	50.8	100	2200	3400	30.14	2.3	170
K 105×115×30	K10511530		115	30	61.2	100	2200	3400	30.14	3.3	205
K 110×117×35	K11011735	110	117	35	62.8	132	2000	3200	35.17	2.3	211
K 115×122×35	K11512235	115	122	35	63.8	138	2000	3200	35.17	2.3	—
K 115×125×35	K11512535		125	35	77.5	138	2000	3200	35.17	3.3	—
K 120×127×35	K12012735	120	127	35	66.2	145	1900	3000	35.17	2.3	243
K 125×135×35	K12513535	125	135	35	86.5	152	1900	3000	35.17	3.3	360
K 130×137×35	K13013735	130	137	35	67.8	158	1800	2800	35.17	2.3	250
K 145×153×30	K14515330	145	153	30	64.8	138	1600	2100	30.14	2.7	262
K 155×163×30	K15516330	155	163	30	67.2	148	1500	2200	30.14	2.7	304
K 165×173×35	K16517335	165	173	35	82.5	195	1500	2200	35.17	2.7	322
K 175×183×35	K17518335	175	183	35	84.8	208	1400	2000	35.17	2.7	390
K 185×195×40	K18519540	185	195	40	112	258	1200	1800	40.17	3.3	590
K 195×205×40	K19520540	195	205	40	115	272	1100	1700	40.17	3.3	650

表 22-44 单、双列滚针轴承 (摘自 GB/T 5801-93)



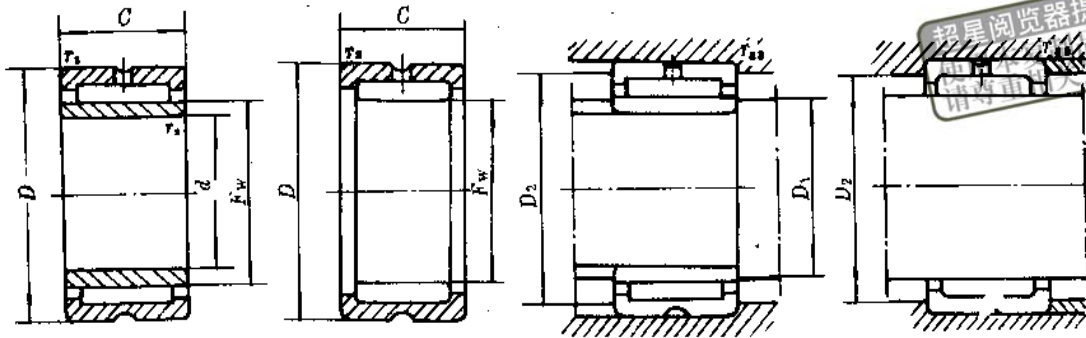


续表 22-44

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm			基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm					质量 kg
		d	D	C	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂润滑	油润滑	F <sub>w</sub>	r <sub>s</sub> min	D <sub>1</sub> min	D <sub>2</sub> max	r <sub>ms</sub> max	
NA 0000 A	524000													
NA 6900 A	6534000													
NA 4900 A	4524900	10	22	13	4.60	3.90	15000	22000	14	0.3	12.4	19.6	0.3	23
NA 6900 A	6534900		22	22	7.90	7.70	15000	22000	14	0.3	12.4	19.6	0.3	43
NA 4901 A	4524901	12	24	13	5.0	4.40	13000	19000	16	0.3	14.4	21.6	0.3	26
NA 6901 A	6534901		24	22	8.60	8.80	13000	19000	16	0.3	14.4	21.6	0.3	46
NA 4902 A	4524902	15	28	13	5.70	5.50	10000	16000	20	0.3	17.4	25.6	0.3	34
NA 6902 A	6534902		28	23	9.80	11.2	10000	16000	20	0.3	17.4	25.6	0.3	64
NA 4903 A	4524903	17	30	13	5.90	5.80	9500	15000	22	0.3	19.4	27.6	0.3	37
NA 6903 A	6534903		30	23	10.0	11.5	9500	15000	22	0.3	19.4	27.6	0.3	72
NA 4904 A	4524904	20	37	17	8.30	9.30	9000	14000	25	0.3	22.4	34.6	0.3	75
NA 6904 A	6534904		37	30	14.2	18.5	9000	14000	25	0.3	22.4	34.6	0.3	140
NA 4905 A	4524905	25	42	17	10.2	11.2	8000	12000	30	0.3	27.4	39.6	0.3	88
NA 6905 A	6534905		42	30	17.5	22.2	8000	12000	30	0.3	27.4	39.6	0.3	160
NA 4906 A	4524906	30	47	17	11.2	13.2	7000	10000	35	0.3	32.4	44.6	0.3	100
NA 6906 A	6534906		47	30	19.2	26.2	7000	10000	35	0.3	32.4	44.6	0.3	190
NA 4907 A	4524907	35	55	20	16.5	22.2	6000	8500	42	0.6	40	50	0.6	170
NA 6907 A	6534907		55	36	28.2	44.5	6000	8500	42	0.6	40	50	0.6	310
NA 4908 A	4524908	40	62	22	17.5	25.2	5300	7500	48	0.6	45	57	0.6	230
NA 6908 A	6534908		62	40	30.2	50.5	5300	7500	48	0.6	45	57	0.6	430
NA 4909 A	4524909	45	68	22	24.8	29.5	4800	6700	52	0.6	50	63	0.6	270
NA 6909 A	6534909		68	40	42.5	59.2	4800	6700	52	0.6	50	63	0.6	500
NA 4910 A	4524910	50	72	22	26.2	33.0	4500	6300	58	0.6	55	67	0.6	270
NA 6910 A	6534910		72	40	45.0	60.2	4500	6300	58	0.6	55	67	0.6	520
NA 4911 A	4524911	55	80	25	29.5	39.2	4000	5600	63	1	61	74	1	400
NA 6911 A	6534911		80	45	50.8	78.8	4000	5600	63	1	61	74	1	780
NA 4912 A	4524912	60	85	25	31.5	43.2	3800	5300	68	1	66	79	1	430
NA 6912 A	6534912		85	45	53.8	86.5	3800	5300	68	1	66	79	1	810
NA 4913 A	4524913	65	90	25	32.6	45.8	3600	5000	72	1	71	84	1	460
NA 6913 A	6534913		90	45	56.0	91.8	3600	5000	72	1	71	84	1	830
NA 4914 A	4524914	70	100	30	40.8	62.8	3200	4500	80	1	76	94	1	730
NA 6914 A	6534914		100	54	69.8	12.5	3200	4500	80	1	76	94	1	1350
NA 4915 A	4524915	75	105	30	42.0	66.2	3000	4300	85	1	81	99	1	780
NA 6915 A	6534315		105	54	72.2	13.2	3000	4300	85	1	81	99	1	1450
NA 4916 A	4524916	80	110	30	42.0	67.8	2800	4000	90	1	86	104	1	880
NA 6916 A	6534916		110	54	72.2	13.5	2800	4000	90	1	86	104	1	1500
NA 4917 A	4524917	85	120	35	51.0	90.2	2400	3600	100	1.1	92	113	1	1250
NA 6917 A	6534917		120	63	87.5	180	2400	3600	100	1.1	92	113	1	2200
NA 4918 A	4524918	90	125	35	61.5	100	2200	3400	105	1.1	97	118	1	1300
NA 6918 A	6534918		125	63	105	198	2200	3400	105	1.1	97	118	1	2300
NA 4919 A	4524919	95	130	35	63.0	105	2000	3200	110	1.1	102	123	1	1400
NA 6919 A	6534919		130	63	108	208	2000	3200	110	1.1	102	123	1	2500
NA 4920 A	4524920	100	140	40	77.5	138	2000	3200	115	1.1	107	133	1	1900
NA 6920 A	6534920		140	71	132	275	2000	3200	115	1.1	107	133	1	3400
NA 4922 A	4524922	110	150	40	81.0	152	1900	3000	125	1.1	117	143	1	2100
NA 4924 A	4524924	120	165	45	88.0	172	1800	2800	135	1.1	127	158	1	2850
NA 4926 A	4524926	130	180	50	108	228	1600	2400	150	1.5	139	171	1.5	3900
NA 4828 A	4524828	140	175	35	98	112	1500	2200	—	1.1	146	166	1	2170
NA 4928 A	4524928		190	50	110	240	1500	2200	160	1.5	149	181	1.5	4150
NA 4834 A	4524834	170	215	45	100	182	1300	2000	—	1.1	176	202	1	4310
NA 4836 A	4524836	180	225	45	105	195	1200	1900	—	1.1	186	210	1	4600
NA 4844 A	4524844	220	270	50	142	282	950	1500	—	1.5	228	256	1.5	7120
NA 4852 A	4524852	260	320	60	180	352	800	1200	—	2	274	305	2	11300
NA 4856 A	4524856	280	350	69	312	422	780	1100	—	2	300	346	2	15700

注：表中所示轴承的基本额定负荷 C<sub>r</sub>，是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢，对于机制套圈滚针轴承，C<sub>r</sub>可提高 10%。

表 22-45. 无保持架滚针轴承(摘自 GB/T 5801-93)



NAV 0000 型(74000)

RNAV 0000 型(84000)

安装尺寸

径向当量动负荷

径向当量静负荷

$$P_r = F_r$$

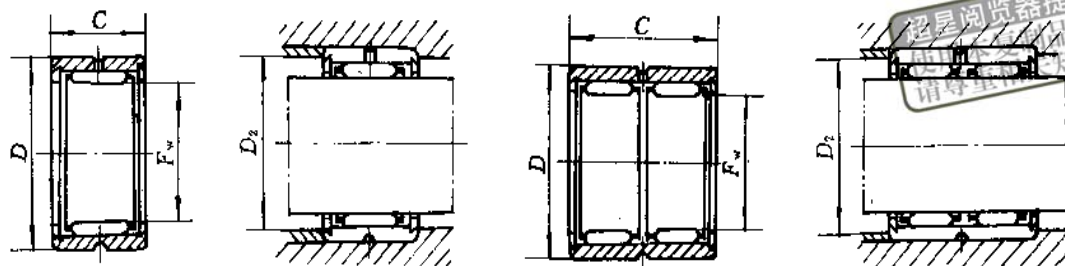
$$P_{or} = F_r$$

新轴承代号		旧轴承代号		基本尺寸 mm					基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm			质量 g	
NAV 0000	RNAV 0000	74000	84000	d	F <sub>w</sub>	D	C	r <sub>s</sub> min	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	脂 润滑	油 润滑	D <sub>1</sub> min	D <sub>2</sub> max	r <sub>as</sub> max	74000 型	84000 型
NAV 4003	RNAV 4003	4074103	4084103	17	24.3	35	18	0.3	11.8	17.2	3400	4500	19.4	32.6	0.3	93	65
NAV 4004	RNAV 4004	4074104	4084104	20	28.7	42	22	0.6	19.2	29.0	3000	4000	25	37	0.6	18	118
NAV 4005	RNAV 4005	4074105	4084105	25	33.5	47	22	0.6	22.8	33.8	2600	3600	30	42	0.6	200	134
NAV 4006	RNAV 4006	4074106	4084106	30	40.1	55	25	1	28.0	46.0	2000	3000	36	49	1	310	201
NAV 4007	RNAV 4007	4074107	4084107	35	45.9	62	27	1	32.8	58.8	1800	2600	41	56	1	420	269
NAV 4008	RNAV 4008	4074108	4084108	40	51.6	68	28	1	35.2	65.8	1700	2400	46	62	1	490	311
NAV 4009	RNAV 4009	4074109	4084109	45	57.4	75	30	1	40.5	80.8	1500	2000	51	69	1	640	400
NAV 4010	RNAV 4010	4074110	4084110	50	62.1	80	30	1	42.0	87.2	1400	1900	56	74	1	710	438
NAV 4011	RNAV 4011	4074111	4084111	55	69.8	90	35	1.1	48.0	108	1300	1800	61	84	1	1030	600
NAV 4912	RNAV 4912	4074912	4084912	60	69.8	85	25	1	37.2	85.2	1200	1700	66	79	1	520	330
NAV 4012	RNAV 4012	4074112	4084112		74.6	95	35	1.1	49.8	115	1100	1600	66	89	1	1130	700
NAV 4013	RNAV 4013	4074113	4084113	65	80.3	100	35	1.1	58.2	122	1000	1500	71	94	1	1200	720
NAV 4914	RNAV 4914	4074914	4084914	70	82.3	100	30	1	48.2	122	950	1400	76	94	1	860	444
NAV 4014	RNAV 4014	4074114	4084114		88	110	40	1.1	71.0	172	950	1400	76	104	1	1700	1000
NAV 4015	RNAV 4015	4074115	4084115	75	92.7	115	40	1.1	72.8	180	900	1300	81	109	1	1810	1070
NAV 4016	RNAV 4016	4074116	4084116	80	100.3	125	45	1.1	76.0	195	850	1200	86	119	1	2470	1440
NAV 4017	RNAV 4017	4074117	4084117	85	104.8	130	45	1.1	74.5	192	800	1100	91	124	1	2570	—
NAV 4918	RNAV 4918	4074918	4084918	90	105	125	35	1.1	64.2	160	900	1300	96	119	1	1559	929
NAV 4919	RNAV 4919	4074919	4084919	95	110.8	130	35	1.1	76.5	185	750	1000	101	124	1	—	921
NAV 4920	RNAV 4920	4074920	4084920	100	117.7	140	40	1.1	75.2	225	750	1000	106	134	1	2240	1340
NAV 4922	RNAV 4922	4074922	4084922	110	127	150	40	1.1	84.5	242	700	950	116	144	1	2450	1590
NAV 4926	RNAV 4926	4074926	4084926	130	151.5	180	50	1.5	128	398	600	800	139	171	1.5	4480	2660
NAV 4930	RNAV 4930	4074930	4084930	150	177.1	210	60	2	138	460	480	630	160	200	2	7290	4160
NAV 3940	—	3074940	—	200	—	280	60	2.1	150	560	380	550	212	268	2.1	13100	—
NAV 3956	—	3074956	—	280	—	380	75	2.1	200	700	240	420	292	368	2.1	27100	—
NAV 4864 ×3/C9S0	—	74764 UT <sub>1</sub>	—	320	—	410	75	2.1	300	1100	400	600	332	398	2.1	29000	—
NAV 48/500	—	4674 /500	—	500	—	620	118	3	1300	3750	100	140	527	584	2.5	93500	—
NAV 28/1400	—	20748 /1400	—	1400	—	1700	175	7.5	3600	13900	—	—	1428	1672	6	930000	—

注:表中所列轴承的基本额定动负荷 C<sub>r</sub>,是以电炉轴承钢为轴承材料时的负荷能力。如采用真空脱气轴承钢,对于机制套圈滚针轴承,C<sub>r</sub>可提高 10%。



表 22-46 无内圈单、双列滚针轴承(摘自 GB/T5801-93)



浏览器提醒您：  
请尊重知识产权！

RAN 0000 型(624000)

安装尺寸

RNA 6900 A 型(634000)

安装尺寸

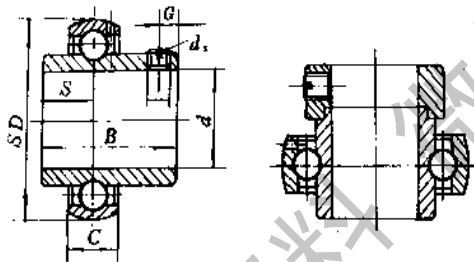
新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转速 r/min		安装尺寸 mm		质量 g
		$F_w$	$D$	$C$	$r_{\min}$	$C_r$	$C_{0r}$	脂	油	$D_2$ max	$r_a$ max	
RNA 4900 A	4624900	14	22	13	0.3	4.60	3.90	15000	22000	19.6	0.3	18
RNA 6900 A	6634900		22	22	0.3	7.90	7.70	15000	22000	19.6	0.3	28
RNA 4901 A	4624901	16	24	13	0.3	5.0	4.40	13000	19000	21.6	0.3	20
RNA 6901 A	6634901		24	22	0.3	8.60	8.80	13000	19000	21.6	0.3	31
RNA 4902 A	4624902	20	28	13	0.3	5.70	5.50	10000	16000	25.6	0.3	22
RNA 6902 A	6634902		28	23	0.3	9.80	11.2	10000	16000	25.6	0.3	40
	6634102		32	30	0.3	9.80	11.2	10000	16000	29.6	0.3	94
RNA 4903 A	4624903	22	30	13	0.3	5.90	5.80	9500	15000	27.6	0.3	22
RNA 6903 A	6634903		30	23	0.3	10.0	11.5	9500	15000	27.6	0.3	42
RNA 4904 A	4624904	25	37	17	0.3	8.30	9.30	9000	14000	34.6	0.3	52
RNA 6904 A	6634904		37	30	0.3	14.2	18.5	9000	14000	34.6	0.3	100
RNA 4905 A	4624905	30	42	17	0.3	10.2	11.2	8000	12000	39.6	0.3	61
RNA 6905 A	6634905		42	30	0.3	17.5	22.2	8000	12000	39.6	0.3	110
RNA 4906 A	4624906	35	47	17	0.3	11.2	13.2	7000	10000	44.6	0.3	70
RNA 6906 A	6634906		47	30	0.3	19.2	26.2	7000	10000	44.6	0.3	130
RNA 4907 A	4624907	42	55	20	0.6	16.5	22.2	6000	8500	50	0.6	110
RNA 6907 A	6634907		55	36	0.6	28.2	44.5	6000	8500	50	0.6	190
RNA 4908 A	4624908	48	62	22	0.6	17.5	25.2	5300	7500	57	0.6	140
RNA 6908 A	6634908		62	40	0.6	30.2	50.5	5300	7500	57	0.6	260
RNA 4909 A	4624909	52	68	22	0.6	24.8	29.8	4800	6700	63	0.6	160
RNA 6909 A	6634909		68	40	0.6	42.5	59.2	4800	6700	63	0.6	340
RNA 4910 A	4624910	58	72	22	0.6	26.2	33.0	4500	6300	67	0.6	180
RNA 6910 A	6634910		72	40	0.6	45.0	66.2	4500	6300	67	0.6	310
RNA 4911 A	4624911	63	80	25	1	29.5	39.2	4000	5600	74	1	260
RNA 6911 A	6634911		80	45	1	50.8	78.8	4000	5600	74	1	470
RNA 4912 A	4624912	68	85	25	1	31.5	43.2	3800	5300	79	1	280
RNA 6912 A	6634912		85	45	1	53.8	86.5	3800	5300	79	1	490
RNA 4913 A	4624913	72	90	25	1	32.5	45.8	3600	5000	84	1	310
RNA 6913 A	6634913		90	45	1	56.0	91.8	3600	5000	84	1	580
RNA 4914 A	4624914	80	100	30	1	40.8	62.8	3200	4500	94	1	460
RNA 6914 A	6634914		100	54	1	69.8	125	3200	4500	94	1	860
RNA 4915 A	4624915	85	105	30	1	42.0	66.2	3000	4300	99	1	600
RNA 6915 A	6634915		105	54	1	72.2	132	3000	4300	99	1	940

续表 22-46

新轴承代号	旧轴承代号	基本尺寸 mm				基本额定负荷 kN		极限转矩 r/min		安装尺寸 mm		质量 g≈
		$F_w$	$D$	$C$	$r_{min}$	$C_r$	$C_{or}$	脂	油	$D_2$ max	$r_a$ max	
RNA 4916 A	4624916	90	110	30	1	42.0	67.8	2800	4000	104	1	520
RNA 6916 A	6634916		110	54	1	72.2	135	2800	4000	104	1	1000
RNA 4917 A	4624917	100	120	35	1.1	51.0	90.2	2400	3600	113	1	660
RNA 6917 A	6634917		120	63	1.1	87.5	180	2400	3600	113	1	1200
RNA 4918 A	4924918	105	125	35	1.1	61.5	100	2200	3400	118	1	750
RNA 6918 A	6634918		125	63	1.1	105	198	2200	3400	118	1	1350
RNA 4919 A	4624919	110	130	35	1.1	63.0	105	2000	3200	123	1	720
RNA 6919 A	6634919		130	63	1.1	108	208	2000	3200	123	1	1450
RNA 4920 A	4624920	115	140	40	1.1	77.5	138	2000	3200	133	1	1200
RNA 6920 A	6634920		140	71	1.1	132	275	2000	3200	133	1	2300
RNA 4922 A	4624922	125	150	40	1.1	81.0	152	1900	3000	143	1	1250
RNA 4924 A	4624924	135	165	45	1.1	88.0	172	1800	2800	158	1	1850
RNA 4926 A	4624926	150	180	50	1.5	108	228	1600	2400	171	1.5	2200
RNA 4928 A	4624928	160	190	50	1.5	110	240	1500	2200	181	1.5	2350

3.9 外球面球轴承

表 22-47 外球面球轴承(摘自 GB/T 3882—93)



用顶丝和偏心套紧固时,允许轴向负荷不超过额定动负荷的 20%,轴向负荷大时,在轴上设轴肩

UC 0000 型(90000) UEL 0000 型(390000)

新轴承代号	旧轴承代号	轴承尺寸 mm							基本额定负荷 kN		极限转速 r/min	座型号	
		$d$	$SD$	$B$	$S$	$C$		$d_n$	$G$	$C_r$			$C_{or}$
UC 0000	90000					min	max						
UEL 0000	390000												
UC 201	90501	12	40	27.4	11.5	12	15	M5×0.5	4	7.35	4.45	4500	P 203
UEL 201	390501		40	37.3	13.9	12	15	—	—	7.35	4.45	4500	P 203
UC 202	90502	15	40	27.4	11.5	12	15	M5×0.5	4	7.35	4.45	4500	P 203
UEL 202	390502		40	37.3	13.9	12	15	—	—	7.35	4.45	4500	P 203
UC 203	90503	17	40	27.4	11.5	12	15	M5×0.5	4	7.35	4.45	4500	P 203
UEL 203	390503		40	37.3	13.9	12	15	—	—	7.35	4.45	4500	P 203
UC 204	90504	20	47	31.0	12.7	14	17	M6×0.75	5	9.88	6.18	4000	P 204
UEL 204	390504		47	43.7	17.1	14	17	—	—	9.88	6.18	4000	P 204
UC 205	90505	25	52	34.1	14.3	15	17	M6×0.75	5	10.8	6.96	3400	P 205
UC 305	90605		62	38	15	17	24	M6×0.75	6	17.2	11.2	2800	P 305
UEL 205	390505		52	44.4	17.5	15	17	—	—	10.5	6.95	3400	P 205
UEL 305	390605		62	46.8	16.7	17	24	—	—	17.2	11.2	2800	P 305
UC 206	90506	30	62	38.1	15.9	16	19	M6×0.75	5	15.0	10.0	2800	P 206
UC 306	90606		72	43	17	19	26	M6×0.75	6	20.8	14.2	2600	P 306
UEL 206	390506		62	48.4	18.3	16	19	—	—	15.0	10.0	2800	P 206
UEL 306	390606		72	50	17.5	19	26	—	—	20.8	14.2	2600	P 306

续表 22-47

新轴承 代号	旧轴承 代号	轴承尺寸 mm							基本额定负荷 kN			极限转速 r/min	座型号	
		<i>d</i>	<i>SD</i>	<i>B</i>	<i>S</i>	<i>C</i>		<i>d<sub>n</sub></i>	<i>G</i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>C<sub>0r</sub></i>			脂
min	max													
UC 0000	90000													
UEL 0000	390000													
UC 207	90507	35	75	42.9	17.5	17	20	M8×1	7	19.8	13.5	2400	P 207	
UC 307	90607		80	48	19	21	28	M8×1	8	25.5	17.8	2200	P 307	
UEL 207	390507		72	51.1	18.8	17	20	—	—	19.8	13.5	2400	P 407	
UEL 307	390607		80	51.6	18.3	21	28	—	—	25.8	17.8	2200	P 307	
UC 208	90508	40	80	49.2	19	18	22	M8×1	8	22.8	15.8	2200	P 208	
UC 308	90608		90	52	19	23	30	M10×1.25	10	31.2	22.2	2000	P 308	
UEL 208	390508		80	56.3	21.4	18	22	—	—	22.8	15.8	2200	P 208	
UEL 308	390608		90	57.1	19.8	23	30	—	—	31.2	22.2	2000	P 308	
UC 209	90509	45	85	49.2	19.0	19	22	M8×1	8	24.5	17.5	1900	P 209	
UC 309	90609		100	57	22	25	33	M10×1.25	10	40.8	29.8	1800	P 309	
UEL 209	390509		85	56.3	21.4	19	22	—	—	24.5	17.5	1900	P 209	
UEL 309	390609		100	58.7	19.8	25	33	—	—	40.8	29.8	1800	P 309	
UC 210	90510	50	90	51.6	19.0	20	24	M10×1	10	27.0	19.8	1800	P 210	
UC 310	90610		110	61	22	27	35	M12×1.5	12	47.5	35.5	1700	P 310	
UEL 510	390510		90	62.7	24.6	20	24	—	—	27.0	19.8	1800	P 210	
UEL 610	390610		110	66.6	24.6	27	35	—	—	47.5	35.5	1700	P 310	
UC 211	90511	55	100	55.6	22.2	21	25	M10×1	10	33.5	25.0	1600	P 211	
UC 311	90611		120	66	25	29	37	M12×1.5	12	55.2	41.8	1400	P 311	
UEL 211	390511		100	71.4	27.8	21	25	—	—	33.5	25.0	1600	P 211	
UEL 311	390611		120	73	27.8	29	37	—	—	55.2	41.8	1400	P 311	
UC 212	90512	60	110	65.1	25.4	22	27	M10×1	10	36.8	27.8	1500	P 212	
UC 312	90612		130	71	26	31	39	M12×1.5	12	62.8	48.5	1300	P 312	
UEL 212	390512		110	77.8	31.0	22	27	—	—	36.8	27.8	1500	P 212	
UEL 312	390612		130	79.4	30.95	31	39	—	—	62.3	48.5	1300	P 312	
UC 213	90513	65	120	65.1	25.4	23	32	M10×1	10	44.0	34.0	1400	P 213	
UC 313	90613		140	75	30	33	41	M12×1.5	12	72.2	56.5	1200	P 313	
UEL 213	390513		120	85.7	34.1	23	32	—	—	44.0	34.0	1400	P 213	
UEL 313	390613		140	85.7	32.33	33	41	—	—	72.2	56.5	1200	P 313	
UC 214	90514	70	125	74.6	30.2	24	33	M12×1.25	12	46.8	37.5	1300	P 214	
UC 314	90614		150	78	33	35	43	M12×1.5	12	80.2	63.2	1100	P 314	
UEL 214	390514		125	85.7	34.1	24	33	—	—	46.8	37.5	1300	P 214	
UEL 314	390614		150	92.1	34.15	35	43	—	—	80.2	63.2	1100	P 314	
UC 215	90515	75	130	77.8	33.3	25	34	M12×1.25	12	50.8	41.2	1200	P 215	
UC 315	90615		160	82	32	37	46	M14×1.5	14	87.2	71.5	1000	P 315	
UEL 215	390515		130	92.1	37.3	25	34	—	—	50.8	41.2	1200	P 215	
UEL 315	310615		160	100	37.3	37	46	—	—	87.2	71.5	1000	P 315	
UC 216	90516	80	140	82.6	33.3	26	35	M12×1.25	12	55.0	44.8	1100	P 216	
UC 316	90616		170	86	34	39	48	M14×1.5	14	94.5	80.0	1000	P 316	
UEL 316	390616		170	106.4	40.5	39	48	—	—	94.5	80.0	1000	P 316	
UC 217	90517	85	150	85.7	34.1	28	36	M12×1.25	12	64.0	53.2	1000	P 217	
UC 317	90617		180	96	40	41	50	M16×1.5	16	102	89.2	950	P 317	
UEL 317	390617		180	100.5	42.05	41	50	—	—	102	89.2	950	P 317	
UC 218	90518	90	160	96.0	39.7	30	39	M12×1.25	12	73.8	60.5	950	P 218	
UC 318	90618		190	96	40	43	52	M16×1.5	16	111	100	900	P 318	
UEL 318	390618		190	115.9	43.65	43	52	—	—	111	100	900	P 318	
UC 319	90619	95	200	103	41	45	54	M16×1.5	16	121	113	850	P 319	
UEL 319	390619		200	122.3	38.9	45	54	—	—	121	113	850	P 319	
UC 320	90620	100	215	108	42	47	58	M18×1.5	18	132	132	800	P 320	
UEL 320	303620		215	128.6	50	47	58	—	—	132	132	800	P 320	
UC 321	90621	105	225	112	44	49	60	M18×1.5	18	142	142	750	P 321	
UC 322	90622	110	240	17	46	50	62	M18×1.5	18	158	168	700	P 322	
UC 324	90624	120	260	126	51	55	66	M18×1.5	18	175	195	630	P 324	
UC 328	90628	140	300	145	59	62	76	M20×1.5	20	212	252	500	P 328	

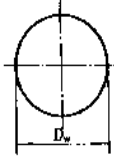
注:1. 所有外球面球轴承允许与轴心线偏斜 5°;

2. 外球面球轴承内圈孔直径 *d* 的公差与其他轴承不同,其上偏差为正值,下偏差为零。与该类轴承配合的轴选用 *b7*,表中极限转速是轴为 *b7* 的情况。轻负荷选用比 *b7* 松的配合,极限转速要有所降低;重负荷选用比 *b7* 紧的配合,极限转速可相应提高。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

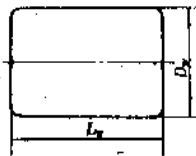
4 轴承零件

表 22-48 钢球〔摘自 GB308 89 等效 ISO3290—75(E)〕



球径 $D_w$		每 1000 个 质量	球径 $D_w$		每 1000 个 质量	球径 $D_w$		每 1000 个 质量	球径 $D_w$		每 1000 个 质量
mm	in	kg	mm	in	kg	mm	in	kg	mm	in	kg
1		0.00407	8.5		2.5424	18.256	23/32	25.0	36		192.0
1.2		0.0071	8.731	11/32	2.68	19		28.0	36.513	1 7/16	198.1
1.5		0.014	9		3.0	19.050	3/4	28.4	38		226.0
1.588	1/16	0.016	9.5		3.5	19.844	25/32	32.4	38.1	1 1/2	227.3
2		0.033	9.525	3/8	3.55	20		32.55	40		263.0
2.381	3/32	0.055	10		4.1	20.638	13/16	36.2	41.275	1 5/8	287.1
2.5		0.064	10.319	13/32	4.43	21		37.85	42		305.0
3		0.11	11		5.5	22		43.32	42.863	1 1/4	320.4
3.175	1/8	0.13	11.113	7/16	5.64	22.225	7/8	45.2	44.45	1 3/4	361.0
3.5		0.18	11.5		6.2	23		50.0	45		375.0
3.969	5/32	0.25	11.509	29/64	6.2	23.019	29/32	50.0	47.625	1 7/8	444.0
4		0.26	11.906	15/32	6.93	23.813	15/16	55.5	48		457.45
4.5		0.37	12		7.1	24		56.24	50		514.0
4.763	3/16	0.44	12.303	31/64	7.5	25		64.2	50.8	2	538.8
5		0.51	12.7	1/2	8.42	25.4	1	67.4	55		648.0
5.5		0.68	13		8.94	26		72.7	60		888.0
5.556	7/32	0.70	13.494	17/32	10.1	26.988	11/16	80.8	65		1128.0
5.953	15/64	0.86	14		11.3	28		90.8	70		1410.0
6		0.88	14.288	9/16	12	28.575	1 1/8	95.5	75		1734.0
6.35	1/4	1.03	15		13.75	30		109.9	80		2104.0
6.5		1.2	15.081	19/32	14.1	30.163	1 3/16	112.8	85		2522.8
6.746	17/64	1.26	15.875	5/8	16.5	31.750	1 1/4	131.9	90		
7		1.412	16		16.8	32		135.0	95		3522.1
7.144	9/32	1.56	16.669	21/32	19.1	33.338	1 5/16	152.0	100		4110.0
7.5		1.734	17		19.99	34		162.0	110		5467.7
7.938	5/16	2.05	17.463	11/16	21.9	34.925	1 3/8	175.0	120		7100.0
8		2.1	18		23.73	35		178.34			

表 22-49 圆柱滚子〔摘自 GB 4661—93〕



续表 22-49

尺寸 mm				每 1000 个 质量 kg	尺寸 mm				每 1000 个 质量 kg	尺寸 mm				每 1000 个 质量 kg	
$D_w$	$L_w$	$r$	$W$	每 1000 个 质量 kg	$D_w$	$L_w$	$r$	$W$	每 1000 个 质量 kg	$D_w$	$L_w$	$r$	$W$	每 1000 个 质量 kg	
3	3	0.2	0.17		9	9	0.5	4.4		16	24	0.6	37.3		26
	5	0.2	0.26		10 <sup>①</sup>	0.5	4.85	17	17	0.7	29.7		28 <sup>①</sup>	0.8	116
3.5	5	0.3	0.36		12 <sup>①</sup>	0.5	5.95		24	0.7	42.3		40	0.8	164
4	4	0.3	0.37		13	0.5	6.4	18	18	0.7	35.7	28	28	1.0	133
	6	0.3	0.57		14	0.5	6.8		19 <sup>①</sup>	0.7	37.7		30 <sup>①</sup>	1.0	144
	8	0.3	0.76		10	0.5	6.2		26	0.7	51.5		44	1.0	210
4.5	4.5	0.3	0.56		11 <sup>①</sup>	0.5	6.75	19	19	0.7	42.0	30	30	1.0	165
	6	0.3	0.73		14	0.5	8.55		20 <sup>①</sup>	0.7	44.2		48	1.0	262
5	5	0.3	0.75		16 <sup>①</sup>	0.5	9.84		28	0.7	63.0	32	32	1.0	199
	8	0.3	1.21		11	0.5	8.1	20	20	0.7	49.0		52	1.0	324
	10	0.3	1.52		12 <sup>①</sup>	0.5	8.92		24 <sup>①</sup>	0.7	58.8	34	34	1.0	239
5.5	5.5	0.3	1.0		15	0.5	11.0		26 <sup>①</sup>	0.7	63.7		50 <sup>①</sup>	1.0	354
	8	0.3	1.4		18 <sup>①</sup>	0.5	13.1		30	0.7	74.0		55	1.0	387
6	6	0.3	1.3		12	0.5	10.4	21	21	0.8	56.9	36	36	1.2	283
	8	0.3	1.67		14 <sup>①</sup>	0.5	12.1		22 <sup>①</sup>	0.8	59.4		58	1.2	457
	10	0.3	2.174		17 <sup>①</sup>	0.5	15.0		30	0.8	81.2	38	38	1.2	336
6.5	6.5	0.4	1.66		18	0.5	15.7	22	22	0.8	65.0		62	1.2	550
	9	0.4	2.3		13	0.6	13.3		24 <sup>①</sup>	0.8	71.1	46	40	1.2	389
7	7	0.4	2.06		20	0.6	20.1		34	0.8	101.0		65	1.2	630
	10	0.4	2.96		14	0.6	16.6	23	23	0.8	74.2	42	42	1.5	454
	14	0.4	4.18		15	0.6	18.0		34	0.8	110.2		70 <sup>①</sup>	1.5	756
7.5	7.5	0.4	2.58		20	0.6	23.9	24	24	0.8	84.9	45	45	1.5	558
	9	0.4	3.0		15	0.6	20.4		26 <sup>①</sup>	0.8	91.9		75 <sup>①</sup>	1.5	930
	11	0.4	3.79		16 <sup>①</sup>	0.6	22.0		36	0.8	127.2	48	48	1.5	677
8	8	0.4	3.08		17 <sup>①</sup>	0.6	23.4	25	25	0.8	95.0		80 <sup>①</sup>	1.5	1129
	10	0.4	3.91		22	0.6	30.2		27 <sup>①</sup>	0.8	103	50	50	1.5	766
	12	0.4	4.65		16	0.6	24.8		36	0.8	137		85 <sup>①</sup>	1.5	1302
	16	0.4	6.25		17 <sup>①</sup>	0.6	26.7								

①表示为非优先规格,仅供轴承配套用。

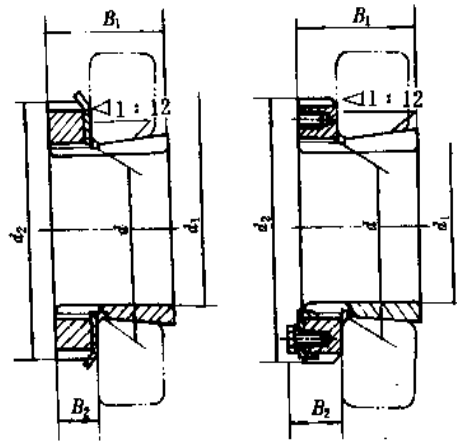
表 22-50 滚针(摘自 GB/309—93 等效 ISO3096 74)



尺寸 mm				每 1000 个 质量 kg	尺寸 mm				每 1000 个 质量 kg	尺寸 mm				每 1000 个 质量 kg	
$D_w$	$L_w$	$r$		$W$	$D_w$	$L_w$	$r$		$W$	$D_w$	$L_w$	$r$		$W$	
		min	max				min	max				min	max		
1	5.8	0.1	0.3	0.035	2	21.8	0.1	0.4	0.54	3	21.8	0.1	0.4	1.21	
	6.8	0.1	0.3	0.04		23.8	0.1	0.4	0.58		23.8	0.1	0.4	1.32	
	7.8	0.1	0.3	0.047		2.5	7.8	0.1	0.4		0.30	25.8	0.1	0.4	1.38
	9.8	0.1	0.3	0.06			9.8	0.1	0.4		0.38	27.8	0.1	0.4	1.54
1.5	5.8	0.1	0.4	0.06	3	11.8	0.1	0.4	0.45	3.5	11.8	0.1	0.6	0.87	
	6.8	0.1	0.4	0.09		13.8	0.1	0.4	0.53		13.8	0.1	0.6	0.97	
	7.8	0.1	0.4	0.11		15.8	0.1	0.4	0.61		15.8	0.1	0.6	1.12	
	9.8	0.1	0.4	0.13		17.8	0.1	0.4	0.69		17.8	0.1	0.6	1.27	
	11.8	0.1	0.4	0.16		19.8	0.1	0.4	0.76		19.8	0.1	0.6	1.43	
	13.8	0.1	0.4	0.18		21.8	0.1	0.4	0.84		21.8	0.1	0.6	1.57	
2	7.8	0.1	0.4	0.19	3	23.8	0.1	0.4	0.92	4	23.8	0.1	0.6	1.73	
	9.8	0.1	0.4	0.24		9.8	0.1	0.4	0.54		25.8	0.1	0.6	1.87	
	11.8	0.1	0.4	0.29		11.8	0.1	0.4	0.65		27.8	0.1	0.6	2.03	
	13.8	0.1	0.4	0.34		13.8	0.1	0.4	0.76		29.8	0.1	0.6	2.17	
	15.8	0.1	0.4	0.39		15.8	0.1	0.4	0.87		34.8	0.1	0.6	2.54	
	17.8	0.1	0.4	0.44		17.8	0.1	0.4	0.99		4	15.8	0.1	0.6	1.57
	19.8	0.1	0.4	0.49		19.8	0.1	0.4	1.10			17.8	0.1	0.6	1.65
4	19.8	0.1	0.6	2.85	5	19.8	0.1	0.6	2.85	5	19.8	0.1	0.6	2.85	
	21.8	0.1	0.6	3.45		21.8	0.1	0.6	3.45		21.8	0.1	0.6	3.45	
	23.8	0.1	0.6	3.65		23.8	0.1	0.6	3.65		23.8	0.1	0.6	3.65	
	25.8	0.1	0.6	3.85		25.8	0.1	0.6	3.85		25.8	0.1	0.6	3.85	
	27.8	0.1	0.6	4.22		27.8	0.1	0.6	4.22		27.8	0.1	0.6	4.22	
	29.8	0.1	0.6	4.4		29.8	0.1	0.6	4.4		29.8	0.1	0.6	4.4	
	34.8	0.1	0.6	5.15		34.8	0.1	0.6	5.15		34.8	0.1	0.6	5.15	
39.8	0.1	0.6	5.89	39.8	0.1	0.6	5.89	39.8	0.1	0.6	5.89				
49.8	0.1	0.6	7.43	49.8	0.1	0.6	7.43	49.8	0.1	0.6	7.43				



表 22-51 紧定套(摘自 GB/T 9160.1-93 等效 ISO113/1-79)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

基本型号	尺寸 mm						组成零件 <sup>①</sup>			质量 kg
	紧定套	$d_1$	$d$	$d_2$	$B_1$	$B_2$	G	紧定衬套	锁紧螺母	
H 205	20	25	38	26	8	M25×1.5	A 205	KM05	MB05	0.070
H 305			38	29	8	M25×1.5	A 305	KM05	MB05	0.075
H 206	25	30	45	27	8	M30×1.5	A 206	KM06	MB06	0.10
H 306			45	31	8	M30×1.5	A 306	KM06	MB06	0.11
H 207	30	35	52	29	9	M35×1.5	A 207	KM07	MB07	0.13
H 307	30	35	52	35	9	M35×1.5	A 307	KM07	MB07	0.14
H 2307			52	43	9	M35×1.5	A 2307	KM07	MB07	0.17
H 208	35	40	58	31	10	M40×1.5	A 208	KM08	MB08	0.17
H 308			58	36	10	M40×1.5	A 308	KM08	MB08	0.19
H 2308			58	46	10	M40×1.5	A 2308	KM08	MB08	0.22
H 209	40	45	65	33	11	M45×1.5	A 209	KM09	MB09	0.23
H 309			65	39	11	M45×1.5	A 309	KM09	MB09	0.25
H 2309			65	50	11	M45×1.5	A 2309	KM09	MB09	0.28
H 210	45	50	70	35	12	M50×1.5	A 210	KM10	MB10	0.27
H 310			70	42	12	M50×1.5	A 310	KM10	MB10	0.30
H 2310			70	55	12	M50×1.5	A 2310	KM10	MB10	0.36
H 211	50	55	75	37	12	M55×2	A 211	KM11	MB11	0.31
H 311			75	45	12	M55×2	A 311	KM11	MB11	0.35
H 2311			75	59	12	M55×2	A 2311	KM11	MB11	0.42
H 212	55	60	80	38	13	M60×2	A 212	KM12	MB12	0.35
H 312			80	47	13	M60×2	A 312	KM12	MB12	0.39
H 2312			80	62	13	M60×2	A 2312	KM12	MB12	0.48
H 213	60	65	85	40	14	M65×2	A 213	KM13	MB13	0.40
H 313			85	50	14	M65×2	A 313	KM13	MB13	0.46
H 2313			85	65	14	M65×2	A 2313	KM13	MB13	0.155
H 2314		70	92	68	14	M70×2	A 2314	KM14	MB14	0.90
H 215	65	75	98	43	15	M75×2	A 215	KM15	MB15	0.71
H 315			98	55	15	M75×2	A 315	KM15	MB15	0.83
H 2315			98	73	15	M75×2	A 2315	KM15	MB15	1.05
H 216	70	80	105	46	17	M80×2	A 216	KM16	MB16	0.88
H 316			105	59	17	M80×2	A 316	KM16	MB16	1.00
H 2316			105	78	17	M80×2	A 2316	KM16	MB16	1.50
H 217	75	85	110	50	18	M85×2	A 217	KM17	MB17	1.00
H 317			110	63	18	M85×2	A 317	KM17	MB17	1.20
H 2317			110	86	18	M85×2	A 2317	KM17	MB17	1.45
H 218	80	90	120	52	18	M90×2	A 218	KM18	MB18	1.20
H 318			120	65	18	M90×2	A 318	KM18	MB18	1.35
H 2318			120	86	18	M90×2	A 2318	KM18	MB18	1.70
H 219	85	95	125	55	19	M95×2	A 219	KM19	MB19	11.35
H 319			125	68	19	M95×2	A 319	KM19	MB19	1.55
H 2319			125	90	19	M95×2	A 2319	KM19	MB19	1.90

基本型号	尺寸 mm						组成零件 <sup>①</sup>			质量 kg
	紧定套 $d_1$	$d$	$d_2$	$B_1$	$B_2$	G	紧定衬套	锁紧螺母	锁紧垫圈	
H 220	90	300	130	58	20	M100×2	A 220	KM20	MB20	1.50
H 320			130	71	20	M100×2	A 320	KM20	MB20	1.70
H 3120			130	76	20	M100×2	A 3120	KM20	MB20	—
H 2320			130	97	20	M100×2	A 2320	KM20	MB20	2.15
H 221	95	105	140	60	20	M105×2	A 221	KM21	MB21	1.70
H 321			140	74	20	M105×2	A 321	KM21	MB21	1.95
H 222	100	110	145	63	21	M110×2	A 222	KM22	MB22	1.90
H 322			145	71	21	M110×2	A 322	KM22	MB22	2.20
H 3122			145	81	21	M110×2	A 3122	KM22	MB22	—
H 2322			145	105	21	M110×2	A 2322	KM22	MB22	2.75
H 3024	110	120	145	72	22	M120×2	A 3024	KML24	MBL24	1.95
H 3124			155	88	22	M120×2	A 3124	KM24	MB24	2.65
H 2324			155	112	22	M120×2	A 2324	KM24	MB24	3.20
H 3026	115	130	155	80	23	M130×2	A 3026	KML26	MBL26	2.85
H 3126			165	92	23	M130×2	A 3126	KM26	MB26	3.65
H 2326			165	121	23	M130×2	A 2326	KM26	MB26	4.60
H 3028	125	140	165	82	24	M140×2	A 3028	KML28	MBL28	3.15
H 3128			180	97	24	M140×2	A 3128	KM28	MB28	4.35
H 2328			180	131	24	M140×2	A 2328	KM28	MB28	5.55
H 3030	135	150	180	87	26	M150×2	A 3030	KML30	MBL30	3.90
H 3130			195	111	26	M150×2	A 3130	KM30	MB30	5.50
H 2330			195	139	26	M150×2	A 2330	KM30	MB30	6.60
H 3032	140	160	190	93	28	M160×3	A 3032	KML32	MBL32	5.20
H 3132			210	119	28	M160×3	A 3132	KM32	MB32	7.65
H 2332	140	160	210	147	28	M160×3	A 2332	KM32	MB32	9.15
H 3034	150	170	200	101	29	M170×3	A 3034	KML34	MBL34	6.00
H 3134			220	122	29	M170×3	A 3134	KM34	MB34	8.40
H 2334			220	154	29	M170×3	A 2334	KM34	MB34	10.0
H 3036	160	180	210	109	30	M180×3	A 3036	KML36	MBL36	6.85
H 3136			230	131	30	M180×3	A 3136	KM36	MB36	9.50
H 2336			230	161	30	M180×3	A 2336	KM36	MB36	11.0
H 3038	170	190	220	112	31	M190×3	A 3038	KML38	MBL38	7.45
H 3138			240	141	31	M190×3	A 3138	KM38	MB38	11.0
H 2338			240	169	31	M190×3	A 2338	KM38	MB38	12.5
H 3040	180	200	240	120	32	M200×3	A 3040	KML40	MBL40	9.20
H 3140			250	150	32	M200×3	A 3140	KM40	MB40	12.0
H 2340			250	176	32	M200×3	A 2340	KM40	MB40	14.0
H 3044	200	220	260	126	41	T220×4	A 3044	KML44	MSL44	10.5
H 3144			280	161	44	T220×4	A 3144	KM44	MS44	15.0
H 2344			280	186	44	T220×4	A 2344	KM44	MS44	17.0
H 3048	220	240	290	133	46	T240×4	A 3048	KML48	MSL48	13.0
H 3148			300	172	46	T240×4	A 3148	KM48	MS48	18.0
H 2348			300	199	46	T240×4	A 2348	KM48	MS48	20.0
H 3052	240	260	310	145	46	T260×4	A 3052	KML52	MSL52	15.5
H 3152			330	190	49	T260×4	A 3152	KM52	MS52	22.5
H 2352			330	211	49	T260×4	A 2352	KM52	MS52	25.0
H 3056	260	280	330	152	50	T280×4	A 3056	KML56	MSL56	17.5
H 3156			350	195	51	T280×4	A 3156	KM56	MS56	25.0
H 2356			350	224	51	T280×4	A 2356	KM56	MS56	26.5
H 3060	280	300	360	168	54	T300×4	A 3060	KML60	MSL60	23.0
H 3160			380	208	53	T300×4	A 3160	KM60	MS60	30.0
H 3260			380	240	53	T300×4	A 3260	KM60	MS60	—
H 3064	300	320	380	171	55	T320×5	A 3064	KML64	MSL64	24.5
H 3164			400	226	56	T320×5	A 3164	KM64	MS64	35.0
H 2364			400	258	56	T320×5	A 2364	KM64	MS64	39.0
H 3068	320	340	400	187	58	T340×5	A 3068	KML68	MSL68	28.5
H 3168			440	254	72	T340×5	A 3168	KM68	MS68	—
H 3268			440	288	72	T340×5	A 3268	KM68	MS68	—
H 3072	340	260	420	188	58	T360×5	A 3072	KML72	MSL72	30.5
H 3172			460	259	75	T360×5	A 3172	KM72	MS72	—
H 3272			460	299	75	T360×5	A 3272	KM72	MS72	—

续表 22-51

基本型号	尺寸 mm						组成零件 <sup>①</sup>			质量 kg
	紧定套 $d_1$	$d$	$d_2$	$B_1$	$B_2$	$G$	紧定衬套	锁紧螺母	锁紧垫圈	
H 3076	360	380	450	193	62	T380×5	A 3076	KML76	MSL76	36.0
H 3176			490	264	77	T380×5	A 3176	KM76	MS76	—
H 3276			490	310	77	T380×5	A 3276	KM76	MS76	—
H 3080	380	400	470	210	66	T400×5	A 3080	KML80	MSL80	41.5
H 3180			520	272	82	T400×5	A 3180	KM80	MS80	—
H 3280			520	328	82	T400×5	A 3280	KM80	MS80	—
H 3084	400	420	490	212	66	T420×5	A 3084	KML84	MSL84	48.5
H 3184			540	304	90	T420×5	A 3184	KM84	MS84	—
H 3284			540	352	90	T420×5	A 3284	KM84	MS84	—
H 3088	410	440	520	228	77	T440×5	A 3088	KML88	MSL88	—
H 3188			560	307	90	T440×5	A 3188	KM88	MS88	—
H 3288			560	361	90	T440×5	A 3288	KM88	MS88	—
H 3092	430	460	540	234	77	T460×5	A 3092	KML92	MSL92	—
H 3192			580	326	95	T460×5	A 3192	KM92	MS92	—
H 3292			580	382	95	T460×5	A 3292	KM92	MS92	—
H 3096	450	480	560	237	77	T480×5	A 3096	KML96	MSL96	73.5
H 3196			620	335	95	T480×5	A 3196	KM96	MS96	—
H 3296			620	397	95	T480×5	A 3296	KM96	MS96	—
H 30/500	470	500	580	247	85	T500×5	A 30/500	KML100	MSL100	—
H 31/500			630	356	100	T500×5	A 31/500	KM100	MS100	—
H 32/500			630	428	100	T500×5	A 32/500	KM100	MS100	—

①紧定衬套基本尺寸,查 GB9160.2—88,锁紧螺母基本尺寸,查 GB9160.3—88。  
锁紧垫圈基本尺寸,查 GB9160.4—88,锁紧卡基本尺寸,查 GB9160.5—88。

超星浏览器提醒您：  
48.5 本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 5 滚动轴承的配合

滚动轴承配合的选择正确与否不仅影响机器的正常运转,也影响轴承本身的寿命。因此正确选择配合非常重要,而配合的选择与很多因素有关,但主要取决于负荷的类型、大小、工作温度和轴承的旋转精度等。

### 5.1 负荷的类型

根据作用于轴承上的合成径向负荷向量相对于套圈的旋转情况,套圈所受负荷分为:

**固定负荷** 作用于套圈上的合成径向负荷由套圈滚道的局部区域承受。合成径向负荷向量与套圈相对静止。承受固定负荷的套圈一般可选较松的配合;

**回转(循环)负荷** 作用于套圈上的合成径向负荷向量沿滚道圆周方向旋转,顺次地由滚道的各个部位承受。合成径向负荷向量与套圈相对旋转。这时轴承套圈与轴或外壳孔应选用过渡或过盈配合;

**摆动负荷** 作用于套圈上的合成径向负荷向量在套圈滚道的一定区域内相对摆动,为滚道一定区域所承受,或作用于轴承上的负荷是冲击负荷,振动负荷,其方向或数值经常变动者。这时内外圈均应采用过盈配合;但有时外圈必须在轴承箱内轴向游动或负荷较轻时,可采用比回转负荷稍松的配合。

### 5.2 负荷的大小

作用于轴承上的径向当量动负荷  $P_r$  与基本额定动负荷  $C_r$  之比按表 22-52 分“轻”、“正常”及“重”负荷。为防止打滑,重负荷场合通常应比在轻负荷和正常负荷场合的配合为紧,负荷越重,其配合过盈量应越大。

表 22-52 向心轴承的负荷类型和大小  
(摘自 GB/T275—93)

负荷大小	$P_r/C_r$
轻负荷	$\leq 0.07$
正常负荷	$> 0.07 \sim 0.15$
重负荷	$> 0.15$

### 5.3 工作温度

轴承在转动时,套圈的温度通常比相邻零件的温度高,轴承内圈可能因热膨胀而与轴松动,外圈可能因热膨胀而影响轴承的轴向游动。所以在选择配合时必须注意温度的差异和热传导的方向。

### 5.4 轴承的旋转精度

当对轴承的旋转精度和运转的平稳性要求较高时,为消除弹性变形和振动的影响,尽量避免采用间隙配合。

向心轴承的轴配合公差带,建议从表 22-53 中选择,向心轴承的外壳孔公差带建议从表 22-54 选

用；推力轴承的轴公差带建议从表 22-55 中选用，推力轴承的外壳孔公差带建议从表 22-56 中选择。轴颈和外壳孔与轴承配合表面的形位公差不应超过表 22-57 的规定。轴颈和外壳与轴承配合表面的粗糙度不应超过表 22-58 的规定。

表 22-53 向心轴承和轴的配合 轴公差带代号 (摘自 GB/T275-93)

运转状态		负荷状态	深沟球轴承、调心球轴承和角接触球轴承	圆柱滚子轴承和圆锥滚子轴承	调心滚子轴承	公差带
说明	举例		轴承公称内径, mm			
旋转的内圈负荷及摆动负荷	一般通用机械、电动机、机床主轴、泵、内燃机、正齿轮传动装置、铁路机车车辆轴箱、破碎机等等	轻负荷	≤18	--	--	h5
			>18~100	≤40	≤40	j6 <sup>①</sup>
			>100~200	>40~140	>40~100	k6 <sup>②</sup>
		正常负荷	—	>140~200	>100~200	m6 <sup>③</sup>
			≤18	--	--	j5
			>18~100	≤40	≤40	js5
重负荷	>100~140	>40~100	>40~65	k5 <sup>④</sup>		
	>140~200	>100~140	>65~100	m5 <sup>⑤</sup>		
	>200~280	>140~200	>100~140	m6		
固定的内圈负荷	静止轴上的各种轮子, 张紧轮绳轮、振动筛、惯性振动器	所有负荷	—	>200~400	>140~28	n6
			—	>280~500	>280~500	p6
			—	>50~140	>50~100	r6
			—	>140~200	>100~140	n6
仅有轴向负荷	所有尺寸	所有尺寸	所有尺寸	所有尺寸	所有尺寸	h6
						j6
圆锥孔轴承						
所有负荷	铁路机车车辆轴箱	装在拆卸套上的所有尺寸				h8 (IT6) <sup>⑥⑦</sup>
	一般机械传动	装在紧定套上的所有尺寸				h9 (IT7) <sup>⑥⑦</sup>

- 注: 1. 凡对精度有较高要求的场合, 应用 j5、k5……代替 j6、k6……;
2. 圆锥滚子轴承、角接触球轴承配合, 对游隙影响不大, 可用 k6、m6 代替 k5、m5;
3. 重负荷下轴承游隙应选大于 0 组;
4. 凡有较高精度或转速要求的场合, 应选用 h7 (IT6) 代替 h8 (IT6) 等;
5. IT6、IT7 表示圆柱度公差数值。

表 22-54 向心轴承和外壳的配合 孔公差带代号 (摘自 GB/T275-93)

运转状态		负荷状态	其他状况	公差带 <sup>①</sup>	
说明	举例			球轴承	滚子轴承
固定的外圈负荷	一般机械、铁路机车车辆轴箱、电动机、泵、曲轴主轴承	轻、正常、重	轴向易移动, 可采用剖分式外壳	H7、G7 <sup>②</sup>	
		冲击	轴向能移动, 可采用整体或剖分式外壳	I7、Js7	
摆动负荷	张紧滑轮、轮毂轴承	轻、正常	轴向不移动, 采用整体式外壳	K7	
		正常、重		M7	
旋转的外圈负荷	张紧滑轮、轮毂轴承	冲击		J7	K7
		轻		K7、M7	M7、N7
		正常		--	N7、P7
		重			

- ①并列公差带随尺寸的增大从左至右选择, 对旋转精度有较高要求时, 可相应提高一个公差等级。
- ②不适用于剖分式外壳。

表 22-55 推力轴承的轴的配合 轴公差代号 (摘自 GB/T275—93)

运转状态	负荷状态	推力球和推力滚子轴承	推力调心滚子轴承 <sup>②</sup>	公差带
		轴承公称内径 mm		
仅有轴向负荷		所有尺寸		j6、js6
固定的轴圈负荷	径向和 轴向联 合负荷	≤250		j6
		>250		js6
旋转的轴圈负荷或摆动 负荷	径向和 轴向联 合负荷	≤200		k6 <sup>①</sup>
		>200~400		m6
		>400		n6

①要求较小过盈时,可分别用 j6、k6、m6 代替 k6、m6、n6。②也包括推力圆锥滚子轴承、推力角接触球轴承

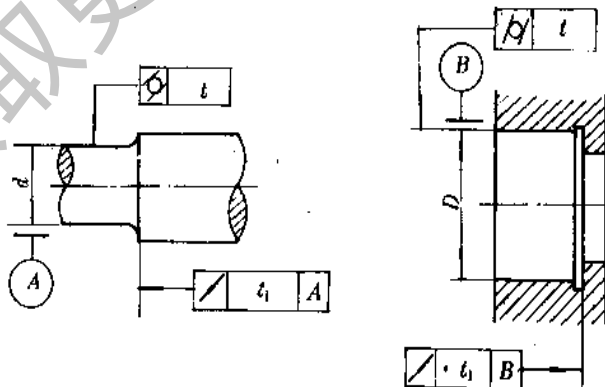
表 22-56 推力轴承和外壳的配合 孔公差带代号 (摘自 GB/T275—93)

运转状态	负荷状态	轴承类型	公差带	备注
仅有轴向负荷		推力球轴承	H8	
		推力圆柱滚子轴承	H7	
		推力调心滚子轴承		外壳孔与座圈间间隙为 0.001D (D 为轴承公称外径)
固定的座圈负荷	径向和轴向联合 负荷	推力角接触球轴承、推力调 心滚子轴承、推力圆锥滚子 轴承	H7	
旋转的座圈负荷或 摆动负荷			K7	普通使用条件
			M7	有较大径向负荷时

表 22-57 配合面的表面粗糙度 (摘自 GB/T275—93)

轴或轴承座直径 mm		轴或外壳配合表面直径公差等级								
		IT7			IT6			IT5		
		表面粗糙度								
超过	到	$R_z$	$R_a$		$R_z$	$R_a$		$R_z$	$R_a$	
			磨	车		磨	车		磨	车
80	80	10	1.6	3.2	6.3	0.8	1.6	4	0.4	0.8
	500	16	1.6	3.2	10	1.6	3.2	6.3	0.8	1.6
端面		25	3.2	6.3	25	3.2	6.3	10	1.6	3.2

表 22-58 轴和外壳的形位公差 (摘自 GB/T275—93)





续表 22-58

基本尺寸 mm		圆柱度 $t$				端面圆跳动 $t_1$			
		轴颈		外壳孔		轴肩		外壳孔肩	
		轴承公差等级							
		0	6 (6x)	0	6 (6x)	0	6 (6x)	0	6 (6x)
超过	到	公差值, $\mu\text{m}$							
6	6	2.5	1.5	4	2.5	5	3	8	5
6	10	2.5	1.5	4	2.5	6	4	10	6
10	18	3.0	2.0	5	3.0	8	5	12	8
18	30	4.0	2.5	6	4.0	10	6	15	10
30	50	4.0	2.5	7	4.0	12	8	20	12
50	80	5.0	3.0	8	5.0	15	10	25	15
80	120	6.0	4.0	10	6.0	15	10	25	15
120	180	10.0	5.0	12	8.0	20	12	30	20
180	250	10.0	7.0	14	10.0	20	12	30	20
250	315	12.0	8.0	16	12.0	25	15	40	25
315	400	13.0	9.0	18	13.0	25	15	40	25
400	500	15.0	10.0	20	15.0	25	15	40	25

表 22-59 角接触球轴承轴向游隙 (参看图 22-7)

轴承内径 $d$ mm		允许轴向游隙的范围 $\mu$						I 型轴承间允许的距离 (大概值)
		接触角 $\alpha=15^\circ$				$\alpha=25^\circ$ 或 $40^\circ$		
		I 型		II 型		I 型		
超过	到	最小	最大	最小	最大	最小	最大	
30	30	20	40	30	50	10	20	8d
30	50	30	50	40	70	15	30	7d
50	80	40	70	50	100	20	40	6d
80	120	50	100	60	150	30	50	5d
120	180	80	150	100	200	40	70	4d
180	260	120	200	150	250	50	100	2~3d

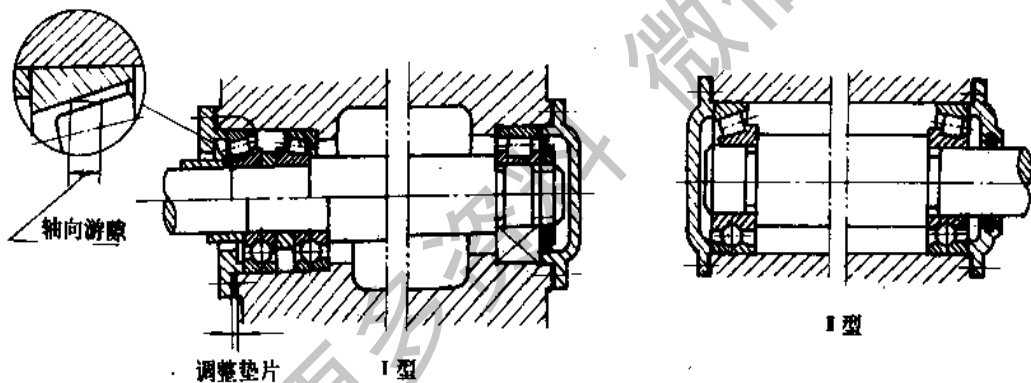


图 22-7 向心推力轴承轴向游隙

表 22-60 圆锥轴承轴向游隙 (参看图 22-7)

轴承内径 $d$ mm		允许轴向游隙的范围 $\mu\text{m}$						I 型轴承间允许的距离 (大概值)
		接触角 $\alpha=10^\circ\sim 16^\circ$				$\alpha=25^\circ\sim 29^\circ$		
		I 型		II 型		I 型		
超过	到	最小	最大	最小	最大	最小	最大	
—	30	20	40	40	70	—	—	14d
30	50	40	70	50	100	20	40	12d
50	80	50	100	80	150	30	50	11d
80	120	80	150	120	200	40	70	10d
120	180	120	200	200	300	50	100	9d
180	260	160	250	250	350	80	150	6.5d
260	360	200	300	—	—	—	—	—
360	400	250	350	—	—	—	—	—

## 6 滚动轴承的轴向定位

表 22-61 内圈的定位

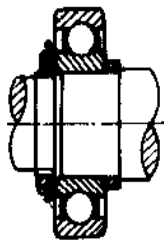
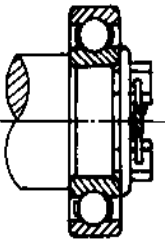
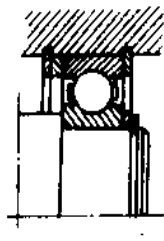
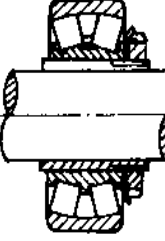
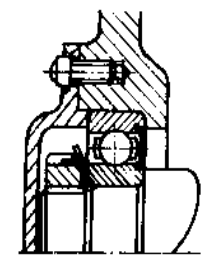
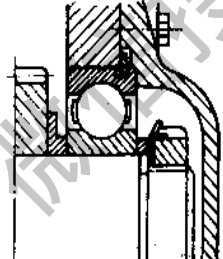
定位元件	简图	应用说明	定位元件	简图	应用说明
螺母		用于轴承转速较高, 承受较大轴向负荷的情况下, 螺母与轴承套圈接触的端面, 要与轴的旋转中心线垂直。为防止螺母在旋转过程中松弛, 可用螺母和止动垫圈紧固	端面止推垫圈		在轴向负荷较大, 转速又比较高的情况下, 轴颈上车螺纹有困难的情况下, 采用在轴端用两螺钉定位, 用止动垫圈或铁丝防松
轴用弹性挡圈		在轴向负荷不大, 轴承转速不高, 轴颈上车螺纹有困难的情况下, 采用断面是矩形的弹性挡圈进行轴向定位, 该方法装卸方便, 占位置小, 制造简单	紧定套		在轴承转速不高, 承受平稳径向负荷与不大的轴向负荷的调心轴承, 在轴颈上用锥形紧定套安装, 紧定套用螺母和止动垫圈定位

表 22-62 外圈的定位

定位元件	简图	应用说明	定位元件	简图	应用说明
端盖		适用于转速高, 轴向负荷大的各种向心轴承。端盖用螺钉压紧轴承外圈, 端盖上也可做成密封装置的曲路	止动环		当轴承外壳孔内由于条件限制大, 不能加工止动挡边或部件, 必须缩减轮廓尺寸时, 可采用轴承外圈上带止动槽的深沟球轴承, 用止动环定位

## 7 滚动轴承的润滑与密封

滚动轴承工作中元件间既有相对滚动又有相对滑动。因此, 为了减少摩擦与磨损, 防止烧伤和锈蚀, 对轴承必须进行润滑。润滑还有吸振、冷却和密封的作用。

常用润滑剂有润滑油和润滑脂两种。

选择润滑剂的主要根据是: 工作温度、轴承负荷的大小、轴承转速和工作环境。

轴承的工作温度是选择润滑剂的决定因素。因为润滑剂的粘度与温度有密切关系, 每种润滑剂都有一定的适用温度。通常希望轴承在工作温度下, 润滑剂应保持有一定的粘度, 对于球轴承不应低于  $13 \text{ mm}^2/\text{s}$ ; 对于滚子轴承不应低于  $20 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

轴承的负荷大, 选用粘度较高的润滑剂, 以保证在负荷作用下, 在接触面间形成润滑油膜。

轴承的转速越高, 套圈、滚动体和保持架运动中

引起的摩擦发热就越大。通常, 轴承的温升与轴承内径  $d$  和转速  $n$  的乘积成比例。表 22-63 列出了各类轴承在不同润滑剂和润滑方式下允许的  $dn$  值。

表 22-63 各种润滑方式下轴承的允许  $dn$  值

轴承类型	脂润滑	油 润 滑			
		油浴润滑	滴油润滑	循环油润滑	喷雾润滑
深沟球轴承	160000	250000	400000	600000	>600000
调心球轴承	160000	250000	400000		
角接角球轴承	160000	250000	400000	600000	>600000
圆柱滚子轴承	120000	250000	400000	300000	
圆锥滚子轴承	100000	160000	230000	250000	
调心滚子轴承	80000	120000			
推力球轴承	40000	60000	120000	150000	

注:  $d$ ——轴承内径  $\text{mm}$ ;  $n$ ——转速  $\text{r/min}$ 。

### 7.1 润滑油

润滑油通常使用矿物油, 它的润滑性能优于润滑脂, 能满足绝大多数机器中轴承的使用要求, 特别

是在高速、高温的条件下，润滑脂不能满足要求时可采用润滑油。用润滑油做润滑剂时，常需要复杂的密封装置和供油设备。

轴承负荷越大、温度越高、转速越低时，润滑油的粘度应越大。其粘度的选择，可根据轴承和转速从图 22-8 中找出所在区，再根据所在区和工作温度从表 22-64 确定润滑油的粘度，依此再从第 22 章中确定润滑油的牌号。

表 22-64 推荐运动粘度  $\nu$  mm<sup>2</sup>/s

图 22-8 的工作温度区间	0°C 以下	0~60°C	60~100°C	100°C 以上
	A	11.5	19~25	41~64
B	~14	14~23	29~33	115~135
C			19~23	68~91
D				

对于借助啮合件飞溅的油来润滑轴承时，如减速器等，其润滑油由啮合件的要求而定。

轴承普遍采用的润滑方法是油浴润滑，它适用于低、中速轴承的润滑。当轴承静止时，油面不应超过最低滚动体的中心。

轴的直径 mm

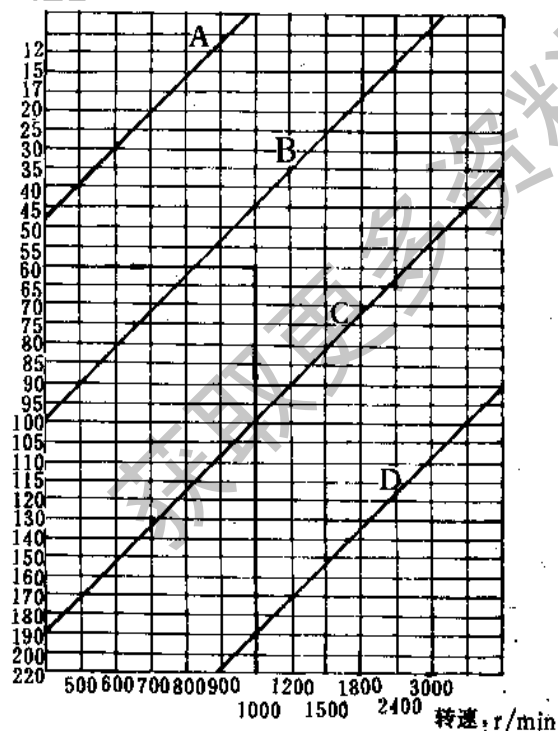


图 22-8 确定滚动轴承用油粘度线图

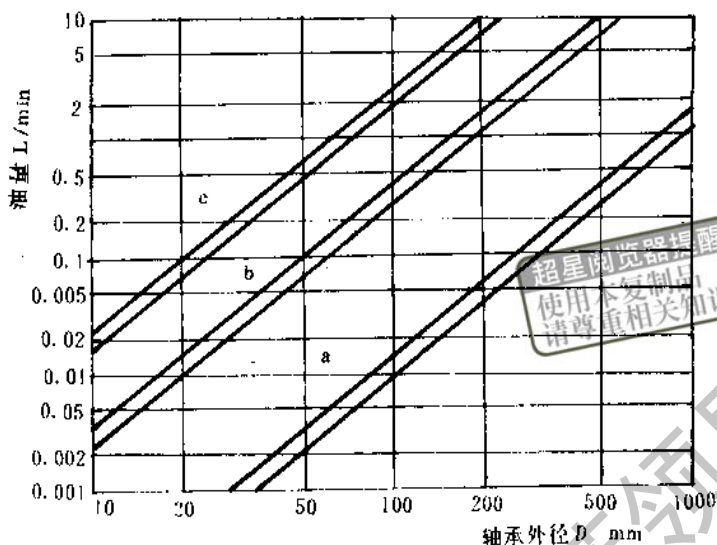


图 22-9 循环润滑的油量

a 充足油量的润滑；b 对称型轴承的上限；c 非对称轴承的上限

循环油润滑：用油泵将经过过滤的油输送到轴承部件中，通过轴承后的油，再经过过滤、冷却后循环使用。由于油循环可带去一定的热量，使轴承的温度降低，此方法适用于转速较高的轴承部件。循环润滑的油量可参考图 22-9 选取。如只是给轴承润滑，不是为了散热，选择图中的 a 区。如要兼做散热，则需较大的油量，但又要防止油流过轴承时由于产生阻力而使油积存在轴承前面，可按图中 b 和 c 确定油流量的上限，通常再经过试运转，得到满意的工作温度。

喷油润滑：在高速轴承中，当轴承旋转时，滚动体、保持架也以相当的速度旋转，使其周围空气形成气流，造成较大的阻力，用一般方法很难将润滑油输入轴承中，这时可用油泵将高压油经油嘴（放在内圈与保持架之间）喷射到轴承中，经轴承再流回油槽。喷油润滑所需油量主要取决于油应排出的热量。表 22-65 给出了轴承大小对应的喷油润滑所需油量的大概值。根据油量来确定喷嘴直径和压力大小。

表 22-65 喷油润滑的用油量

轴承内径 $d$ mm	超过	50	120
	到	50	120
需油量 l/min	0.5~1.5	1.1~4.2	2.5

油雾润滑：用干燥的压缩空气经喷雾器，压力调整在 0.05~0.1MPa 之间，与润滑油混合形成油雾。

通入轴承中，这种方法由于在轴承座内的气流可冷却轴承，且可有效地阻止杂质进入轴承内，油量又可精确调节，故摩擦很小，适用于高速、高温轴承部件的润滑。

### 7.2 润滑脂

润滑脂比润滑油稠得多，油膜强度高，能承受较大的载荷，且不易流失、密封装置简单、一次加脂可用较长时间，不必添加或更换，所以润滑脂的应用也是比较广泛的。

使用润滑脂应注意以下几点：

1) 润滑脂的稠度大，适用于低速（轴颈的圆周速度  $v \leq 4 \sim 5 \text{ m/s}$ ）；如果轴承周围空气潮湿或水分较多时，密封装置又简单时，应选择不易溶于水的钙基脂。如周围环境空气干燥，温度较高时应选择钠基

脂。

2) 在恶劣条件下，如有蒸汽、潮气、有害气体及多灰尘等，应尽可能用润滑脂；

3) 轴承中充填润滑脂的量不宜过多，当  $n < 1500 \text{ r/min}$  时为轴承腔空间的  $2/3$ ；当  $n > 1500 \text{ r/min}$  时为  $1/3 \sim 1/2$ 。

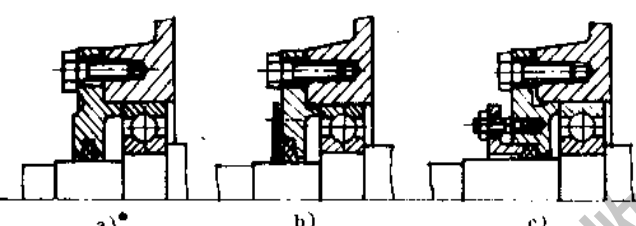
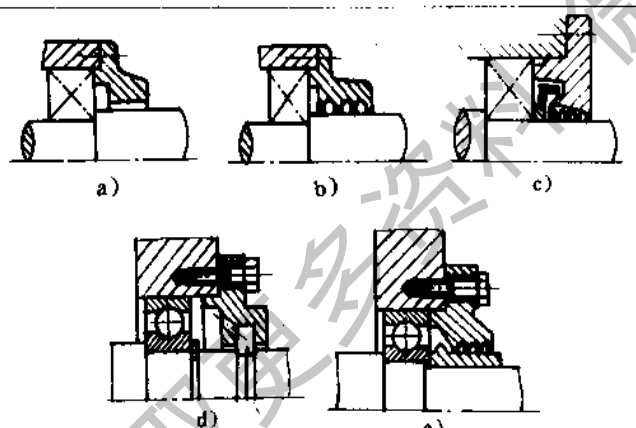
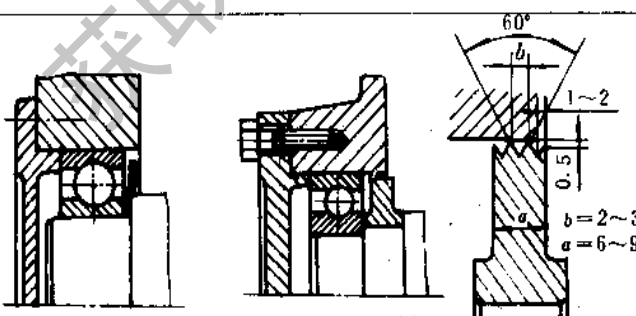
润滑脂的主要性能指标是：滴点、锥入度、氧化安定性和低温性能，详见第 27 章。轴承的工作温度必须低于润滑脂滴点  $10 \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 7.3 轴承的密封

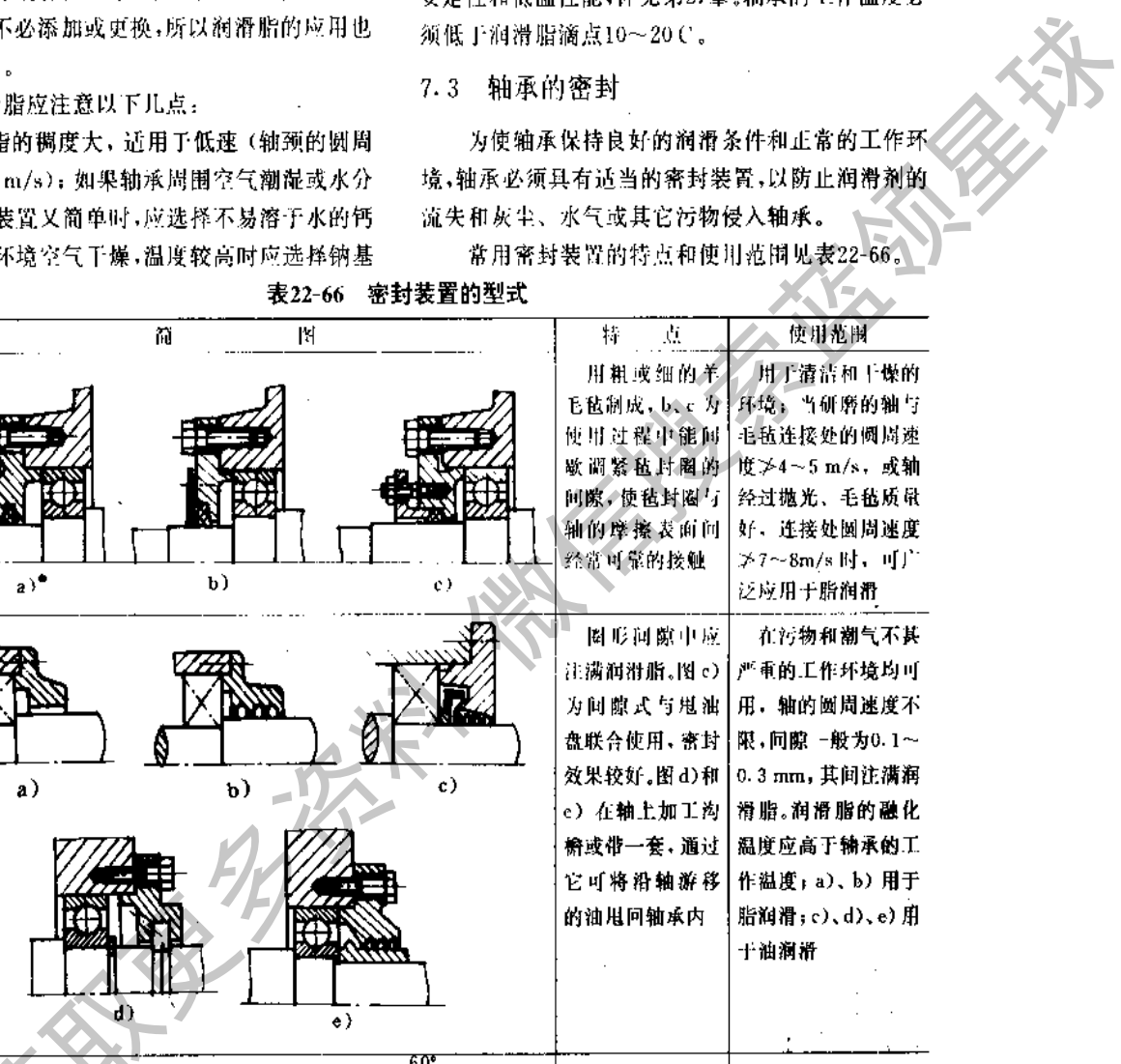
为使轴承保持良好的润滑条件和正常的工作环境，轴承必须具有适当的密封装置，以防止润滑剂的流失和灰尘、水气或其它杂物侵入轴承。

常用密封装置的特点和使用范围见表 22-66。

表 22-66 密封装置型式

型式	简 图	特 点	使用范围
毡封式		用粗或细的羊毛毡制成，b、c 为使用过程中能间歇调整毡封圈的间隙，使毡封圈与轴的摩擦表面间经常可靠的接触	用于清洁和干燥的环境，当研磨的轴与毛毡连接处的圆周速度 $> 4 \sim 5 \text{ m/s}$ ，或轴经过抛光、毛毡质量好，连接处圆周速度 $> 7 \sim 8 \text{ m/s}$ 时，可广泛应用于脂润滑
圆形间隙式		圆形间隙中应注满润滑脂，图 c) 为间隙式与甩油盘联合使用，密封效果较好。图 d) 和 e) 在轴上加工沟槽或带一套，通过它可将沿轴游移的油甩回轴承内	在污物和潮气不其严重的工作环境均可用，轴的圆周速度不限，间隙一般为 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ ，其间注满润滑脂。润滑脂的融化温度应高于轴承的工作温度；a)、b) 用于脂润滑；c)、d)、e) 用于油润滑
垫圈式		垫圈旋转，轴的圆周速度越高，密封越可靠	可用于脂润滑与油润滑

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



续表 22-66

型式	简 图	特 点	使用范围
皮碗式		利用皮革碗、塑料碗和橡胶碗密封，密封唇与轴接触并用螺旋弹簧圈卡紧。当为了防止漏油时，密封唇应向着轴承（图 b），防止杂质侵入时，密封唇应背向轴承，如二者同时要求时，则使用双面密封（图 e）；图 c~e 为使用中可调整接触面的松紧	允许使用轴的圆周速度为： 1) 轴与皮碗接触部分是普通加工时， $< 6 \sim 7 \text{ m/s}$ ； 2) 轴加工精密的可达 $15 \text{ m/s}$ 。可用于使用润滑油与润滑脂而负荷较重的轴承部件
迷宫式		优点： 1) 可用润滑油与润滑脂，且密封都相当可靠； 2) 比毛毡式与皮碗式优越，因密封零件不易损坏，且要求保养条件不高，轴的周速不受限制； 3) 与毛毡式、垫圈式等联合使用时，密封很可靠	图 b) 是轴向的，因热而伸长的轴不能使用。 用在负载较重的轴承
联合式		密封效果更为可靠	在重载以及对密封要求高的工作条件下常用联合式密封装置

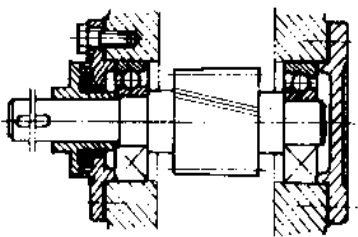
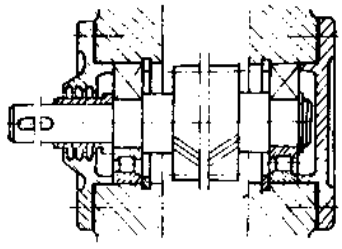
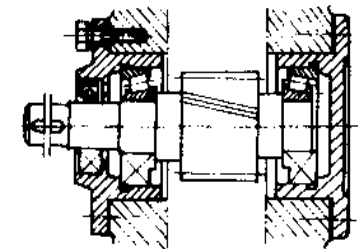
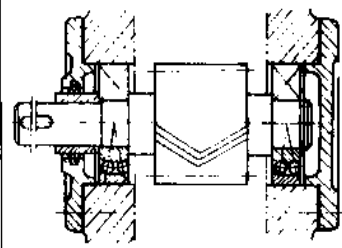
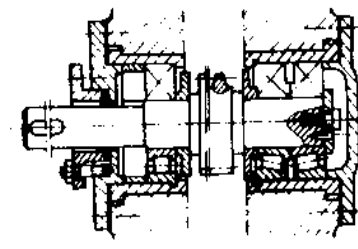
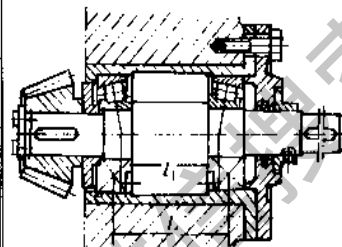
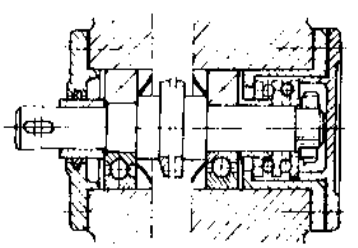
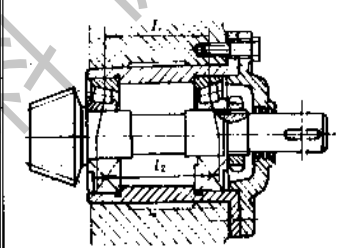
8 滚动轴承组合典型结构

表 22-67 滚动轴承组合的典型结构

结构型式	特点与应用	结构型式	特点与应用
	深沟球轴承、轴承靠端盖轴向固定，在右端轴承外圈与端盖间留有不大的间隙 ( $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ ) 以便游动；毡封式密封；润滑脂润滑，毡封处滑动速度 $v \leq 4 \sim 5 \text{ m/s}$ ，环境清洁时可用		基本与前方案相同，不同点：嵌入式端盖；靠右端轴承外圈与端盖间调整垫来保证轴承有必要的轴向间隙，以便游动；沟槽式密封



续表 22-67

结构型式	特点与应用	结构型式	特点与应用
	角接触球轴承，联合式密封，靠端盖与箱壳间的调整垫片，在安装时保证轴承具有合适的轴向间隙，以便游动；可同时受径向力及较大的双向轴向力，适用于轻载高速，轴承跨距较小时（一般跨距小于 300 mm）		外圈无挡边圆柱滚子轴承，在人字齿轮传动中，需有一根轴（往往高速轴）采用这种轴双向可串动的方案，以便能自动调节，使两边的齿受力均匀。采用甩油盘式密封
	基本与前方案相同，不同者为皮碗式密封；轴承装于端盖中，以便提高轴承孔的配合精度，但结构复杂		调心球轴承，亦可用于上种情况，并可用于长轴或用深沟球轴承工作能力不足时。本方案要改用调心滚子轴承，其承载能力可更高，一般用于重载
	右端装两个圆锥滚子轴承，并双向轴向固定；左端装一可游动的向心轴承。适用情况同前方案，不过轴承跨距可大		适用于小圆锥齿轮的支承，与下一方案比较有下述优点： 1) 轴向力由受径向力小的轴承承受； 2) 调整轴承的轴向间隙借调整端盖与套杯间的垫片即可； 3) 结构简便，如不需要轴向紧固的圆螺母等
	右端装双向的推力球轴承和深沟球轴承，左端装可游动的深沟球轴承；可承受很大的双向轴向力并同时受径向力；可允许很大的游动量；靠端盖与箱壳间调整垫片来获得推力轴承中合适的轴向间隙		与上比较有以下优点： 1) 允许轴热胀量大； 2) 结构刚性较大，如当轴承跨距 $L$ 相等时，这两轴承反力作用点的距离 $l_2 > l_1$ ，轴的稳定性好

## 9 滚动轴承座

### 9.1 适用范围

该标准适用于安装直径系列 2 (22) 和直径系列 3 (23) 的深沟球轴承、调心球轴承、调心滚子轴承以及装在紧定套上的调心球轴承和调心滚子轴承。轴承座的工作条件是：线速度  $v \leq 5 \text{ m/s}$ ；工作温度： $\leq 90^\circ\text{C}$ ；滚动轴承用脂润滑。

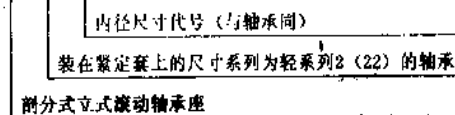
### 9.2 结构型式与型号表示法

该轴承座是用灰口铸铁制造的剖分式立式结

构，适用于安装圆柱孔轴承和带紧定套的轴承。

滚动轴承座的型号用字母与数字表示：

例 SN 22 07



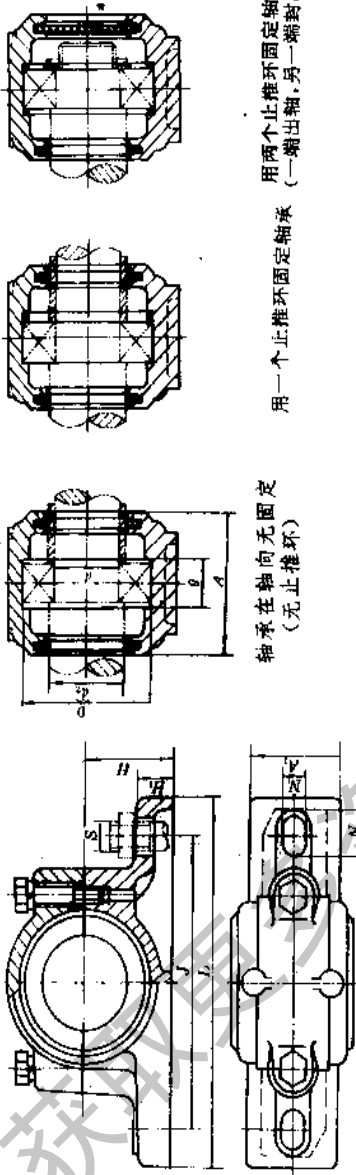
SN200、SN300型轴承座适用于安装圆柱孔轴承。

SN500、SN600型轴承座适用于安装带紧定套轴承

9.3 型式尺寸

表 22-68 适用于圆柱孔轴承的滚动轴承座 (GB7813-87, 外形尺寸参照 ISO113/— II 79)

mm



轴承在轴向无固定  
(无止推环)

用一个止推环固定轴承  
(一端出轴, 另一端封闭)

型号	轴承内径 $d$		适用轴承型号		$d_2$	$D$	$g$	$A_{max}$	$A_1$	$H$	$H_1_{max}$	$L$	$J$	$S$	$N_1$	$N$	质量 kg
SN 205	25	6205	2205	22205 C	30	52	25	67	46	40	22	165	130	M12	15	20	1.3
SN 305	30	6305	2305	—	—	62	34	82	52	50	22	185	150	M12	15	20	1.9
SN 206	30	6206	2206	22206 C	35	62	30	77	52	50	22	185	150	M12	15	20	1.8
SN 306	30	6306	2306	—	—	72	37	82	52	50	22	185	150	M12	15	20	2.1
SN 207	35	6207	2207	22207 C	45	72	33	82	52	50	22	185	150	M12	15	20	2.1
SN 307	35	6307	2307	—	—	80	41	90	60	60	25	205	170	M12	15	20	3.0
SN 208	40	6208	2208	22208 C	50	80	33	85	60	60	25	205	170	M12	15	20	2.6
SN 308	40	6308	2308	22308 C	90	90	43	95	60	60	25	205	170	M12	15	20	3.3
SN 209	45	6209	2209	22209 C	55	80	33	85	60	60	25	205	170	M12	15	20	2.8
SN 309	45	6309	2309	22309 C	100	100	46	105	70	70	28	255	210	M16	18	23	4.6
SN 210	50	6210	2210	22210 C	60	90	33	90	60	60	25	205	170	M12	15	20	3.1
SN 310	50	6310	2310	22310 C	110	110	50	115	70	70	30	255	210	M16	18	23	5.1
SN 211	55	6211	2211	22211 C	65	100	33	95	70	70	28	255	210	M16	18	23	4.3
SN 311	55	6311	2311	22311 C	120	120	33	120	80	80	30	275	230	M16	18	23	6.5
SN 212	60	6212	2212	22212 C	70	110	38	105	70	70	30	255	210	M16	18	23	5.0
SN 312	60	6312	2312	22312 C	130	130	56	125	80	80	30	280	230	M16	18	23	7.3
SN 213	65	6213	2213	22213 C	75	120	43	110	80	80	30	275	230	M16	18	23	6.3
SN 313	65	6313	2313	22313 C	140	140	58	130	90	95	32	315	260	M20	22	27	9.7

浏览器提醒您：  
使用本  
复制品  
相关知识版权!

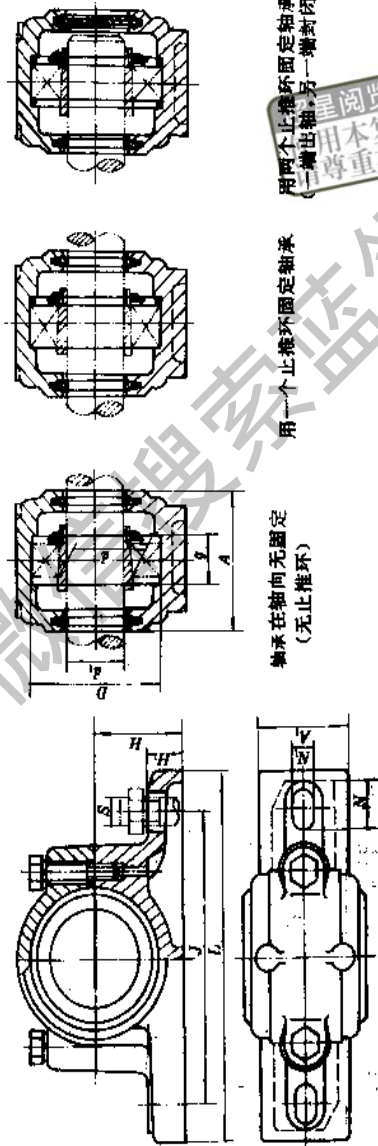
材料星球

续表 22-68

型号	轴承内径 $d$		通用轴承型号										$d_2$	$g$	$A_{max}$	$A_1$	$H$	$H_1_{max}$	$L$	$J$	$S$	$N_1$	$N$	质量 kg	
	6214	6314	1214	2214	2314	2214	2314	2214	2314	2214	2314	2214													2314
SN 214	70	6214	1214	2214	2314	2214	2314	2214	2314	2214	2314	2214	2314	80	44	115	80	80	30	275	230	M16	18	23	6.1
SN 314	75	6314	1314	2314	2215	2315	2215	2315	2215	2315	2215	2315	85	61	130	90	95	32	320	260	M20	22	27	11.0	
SN 215	80	6215	1215	2216	2316	2216	2316	2216	2316	2216	2316	90	41	115	80	80	95	32	345	290	M20	22	27	14.0	
SN 315	85	6315	1315	2316	2217	2317	2217	2317	2217	2317	2217	95	65	140	100	100	95	32	345	290	M20	22	27	9.3	
SN 216	90	6216	1216	2217	2317	2217	2317	2217	2317	2217	2317	100	43	120	90	112	100	35	345	290	M20	22	27	13.8	
SN 316	95	6316	1316	2317	2218	2318	2218	2318	2218	2318	2218	100	68	145	100	112	110	35	345	290	M20	22	27	9.8	
SN 217	100	6217	1217	2218	2318	2218	2318	2218	2318	2218	2318	100	70	155	110	112	110	40	380	320	M24	26	32	15.8	
SN 317	100	6317	1317	2318	2219	2319	2219	2319	2219	2319	2219	100	70	155	110	112	110	40	380	320	M24	26	32	15.8	
SN 218	110	6218	1218	2219	2319	2219	2319	2219	2319	2219	2319	115	62	145	100	100	100	35	345	290	M20	22	27	12.3	
SN 318	110	6318	1318	2319	2220	2320	2220	2320	2220	2320	2220	115	62	145	100	100	100	35	345	290	M20	22	27	12.3	
SN 220	120	6220	1220	2220	2221	2321	2221	2321	2221	2321	2221	125	80	175	120	125	120	45	410	350	M24	26	32	19.3	
SN 224 <sup>Ⓞ</sup>	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	135	86	185	120	140	140	45	410	350	M24	26	32	24.6	
SN 226 <sup>Ⓞ</sup>	140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	145	90	190	130	150	150	50	445	380	M24	26	32	30.0	
SN 228 <sup>Ⓞ</sup>	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	155	98	205	150	150	150	50	500	420	M30	33	42	37.0	
SN 230 <sup>Ⓞ</sup>	160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	165	106	220	160	160	160	60	530	450	M30	33	42	45.0	
SN 232 <sup>Ⓞ</sup>	160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	175	114	235	160	170	170	60	550	470	M30	33	42	53.0	

①SN 224~SN 232 应装有吊环螺钉。

表 22-69 适用于带固定套轴承座的滚动轴承座 (GB7813—87, 外形尺寸参照 ISO113/— I 79)



轴承在轴向上固定  
(无止推环)

用两个止推环固定轴承  
(无止推环)

用两个止推环固定轴承  
(无止推环)

星阅浏览器提醒您：  
日本复制品  
尊重相关知识产权！

续表 22-69

型号	轴径 d <sub>1</sub>	通用轴承型号					d	g	A <sub>max</sub>	A <sub>1</sub>	H	H <sub>1max</sub>	L	J	S	N <sub>1</sub>	N	质量 kg
SN 504	17	11204 K+H 204	—	—	—	—	20	24	45	35	19	150	115	M10	12	20	1.1	
SN 505	20	11205 K+H 205	2205 K+H 305	—	—	—	25	25	46	40	22	165	130	M12	15	20	1.4	
SN 605	25	11305 K+H 305	2305 K+H 305	—	—	21305 K+H 305	25	34	52	50	22	185	150	M12	15	20	2.0	
SN 506	25	11206 K+H 206	2206 K+H 306	—	—	—	30	32	52	50	22	185	150	M12	15	20	1.9	
SN 606	30	11306 K+H 306	2306 K+H 306	—	—	21306 K+H 306	30	37	52	50	22	185	150	M12	15	20	2.2	
SN 507	30	11207 K+H 207	2207 K+H 307	—	—	—	35	38	52	50	22	185	150	M12	15	20	2.1	
SN 607	35	11307 K+H 307	2307 K+H 307	—	—	21307 K+H 307	35	41	60	60	25	205	170	M12	15	20	3.3	
SN 508	35	11208 K+H 208	2208 K+H 308	22208 K+H 308	—	—	40	33	60	60	25	205	170	M12	15	20	3.1	
SN 608	40	11308 K+H 308	2308 K+H 308	22308 K+H 308	—	—	40	33	60	60	25	205	170	M12	15	20	3.4	
SN 509	40	11209 K+H 209	2209 K+H 309	22209 K+H 309	—	—	45	35	60	60	25	205	170	M12	15	20	2.9	
SN 609	45	11309 K+H 309	2309 K+H 309	22309 K+H 309	—	—	45	35	60	60	25	205	170	M12	15	20	2.9	
SN 510	45	11210 K+H 210	2210 K+H 310	22210 K+H 310	—	—	50	33	70	70	28	255	210	M16	18	23	4.7	
SN 610	50	11310 K+H 310	2310 K+H 310	22310 K+H 310	—	—	50	33	70	70	28	255	210	M16	18	23	3.3	
SN 511	50	11211 K+H 211	2211 K+H 311	22211 K+H 311	—	—	55	33	70	70	28	255	210	M16	18	23	5.0	
SN 611	55	11311 K+H 311	2311 K+H 311	22311 K+H 311	—	—	55	33	70	70	28	255	210	M16	18	23	4.6	
SN 512	55	11212 K+H 212	2212 K+H 312	22212 K+H 312	—	—	60	38	80	80	30	280	230	M16	18	23	6.6	
SN 612	60	11312 K+H 312	2312 K+H 312	22312 K+H 312	—	—	60	38	80	80	30	280	230	M16	18	23	5.4	
SN 513	60	11213 K+H 213	2213 K+H 313	22213 K+H 313	—	—	65	43	80	80	30	280	230	M16	18	23	7.3	
SN 613	65	11313 K+H 313	2313 K+H 313	22313 K+H 313	—	—	65	43	80	80	30	280	230	M16	18	23	6.7	
SN 515	65	11215 K+H 215	2215 K+H 315	22215 K+H 315	—	—	75	41	90	90	32	315	260	M20	22	27	7.9	
SN 615	70	11315 K+H 315	2315 K+H 315	22315 K+H 315	—	—	75	41	90	90	32	315	260	M20	22	27	7.9	
SN 516	70	11216 K+H 216	2216 K+H 316	22216 K+H 316	—	—	80	43	100	100	35	345	290	M20	22	27	13.3	
SN 616	75	11316 K+H 316	2316 K+H 316	22316 K+H 316	—	—	80	43	100	100	35	345	290	M20	22	27	9.3	
SN 517	75	11217 K+H 217	2217 K+H 317	22217 K+H 317	—	—	85	46	125	95	32	330	260	M20	22	27	14.3	
SN 617	80	11317 K+H 317	2317 K+H 317	22317 K+H 317	—	—	85	46	125	95	32	330	260	M20	22	27	9.8	
SN 518	80	11218 K+H 218	2218 K+H 318	22218 K+H 318	—	—	90	62.4	145	100	40	380	320	M24	26	32	15	
SN 520	90	11220 K+H 220	2220 K+H 320	22220 K+H 320	—	—	90	62.4	145	100	40	380	320	M24	26	32	12.5	
SN 522	100	11222 K+H 222	2222 K+H 322	22222 K+H 322	—	—	100	68	140	100	45	410	350	M24	26	32	17	
SN 524	110	—	—	—	—	—	110	80	175	120	45	410	350	M24	26	32	18.5	
SN 526	115	—	—	—	—	—	120	86	185	120	45	410	350	M24	26	32	24.5	
SN 528	125	—	—	—	—	—	130	90	190	130	50	445	380	M24	26	32	30	
SN 530	135	—	—	—	—	—	140	98	205	150	50	500	420	M30	33	40	3.8	
SN 530	135	—	—	—	—	—	150	106	220	160	60	530	450	M30	33	40	45.6	
SN 532	140	—	—	—	—	—	160	114	235	160	60	550	470	M30	33	40	53.8	

提醒您：  
制品  
关知版权!

①SN 524~SN 532 应装有吊环螺钉。

## 第 23 章 联轴器、离合器、液力偶合器

### 1 联轴器

#### 1.1 常用联轴器的性能、特点及应用

表 23-1 常用联轴器的性能、特点及应用

联轴器 名称	额定转矩 范围 N·m	轴孔直径 范围 mm	许用转速 r/min	许用相对位移			特 点 及 应 用
				轴向 $\Delta X$	径向 $\Delta Y$	角向 $\Delta \alpha$	
				mm		(°)	
套筒联轴器	圆锥销: 0.3~4000 平键: 71~5600 半圆键: 8~450 花键: 150~12500	4~100	$\leq 250$	要求两轴严格对中			结构简单,制造容易,径向尺寸较小,成本较低。缺点是装拆时需使轴作轴向移动,有时不甚方便,而且只能用于联接两轴直径相同的圆柱形轴伸。通常适用于工作平稳和小功率传动的轴系
凸缘联轴器 GB5843 -86	10~20000	10~180	13000~1400	要求两轴严格对中			结构简单,制造成本较低,装拆和维护均较简便,能保证两轴有较高的对中性,传扭矩较大,应用较广,但不能消除冲击和由于两轴的不对中而引起的不良后果。主要用于载荷较平稳的场合
齿式联轴器 JB/T5514 -91	CL型: 710~1000000	CL型: 18~560	CL型: 3780~300	较大	0.4~6.3	直齿: $\leq 30'$ 鼓形齿: $\leq 3'$	外形尺寸较小,承载能力高,能在高转速下可靠工作,补偿两轴相对位移性能好,但制造相当困难,工作中要良好润滑。适用于正反转多变,起动频繁和大功率水平传动的联接
滑块联轴器 JB/ZQ 4384-86	金属滑块: 120~20000 非金属滑块: 17~3430	金属滑块: 15~150 非金属滑块: 15~950	金属滑块: 250~100 非金属滑块: 8200~1700	较大	金属滑块: 0.0401 非金属滑块: 0.01d+ 0.25d,轴径	金属滑块: $\leq 30'$ 非金属滑块: $\leq 40'$	结构简单,径向外形尺寸较小,允许两轴径向位移大,但对角位移较敏感,受滑块偏心产生离心力的限制,不宜用于高速
滚子链联轴器 GB6069 -85	40~25000	16~190	4500~900	1.4~9.5	0.19~1.27	1°	结构简单,尺寸紧凑,重量较轻,维护、装拆方便,当用于高速或可逆传动时,由于链节与链齿间的间隙,会引起冲击。故不宜用于冲击载荷很大的逆向传动。也不宜用于垂直传动轴





招星阅器提醒您：  
使用本资料时，  
请尊重相关知识版权！

联轴器名称	额定转矩范围 N·m	轴孔直径范围 mm	许用转速 r/min	许用相对位移			特点及应用
				轴向 $\Delta X$	径向 $\Delta Y$	角向 $\Delta \alpha$	
				mm		(°)	
十字轴万向联轴器 JB/T5901 —91	11.2~1120	8~42				$\leq 45^\circ$	结构紧凑,维修方便,可在两轴有较大角位移条件下工作,但两轴不在同一轴线时,主动轴等速回转时,从动轴不等速转动,故有附加载荷,为消除这一缺点,常成对使用
十字轴式万向联轴器 JB3241 —91 JB3242 —91	8000~400000 (160000~600000) <sup>①</sup>	回转直径 $D=160\sim 550$ (350~900)		—	—	$\leq 45^\circ$ 常用 $<10^\circ$	外形尺寸小,紧凑,维修方便,能传递空间两相交轴之间的传动,两轴线间夹角大,当采用单个万向联轴器时,从动轴作不等速转动。用于联接轴线相交的两轴
球笼式同步万向联轴器 GB7549 —87	180~10000	25~160	1120~340	—	—	$14^\circ\sim 18^\circ$	结构紧凑,轴向尺寸小,不受两轴线间夹角的限制,能保证主、从动轴同步转动,但结构复杂,制造困难,要求有高的加工精度。用于要求结构紧凑的相交轴之间的传动联接
蛇形弹簧联轴器 ZB/TJ 19023—90	71~900000	30~600	3600~200	—	0.2~0.5	$30'\sim 1.5^\circ$	耐久性好,受温度影响小,弹性模量大,强度高,承载能力大,但结构复杂,成本高,主要用于重型机械,特别是轧钢机,汽轮机
膜片联轴器 ZB/TJ 19022—90	25~160000	14~320	6000~710	1~2	—	$30'\sim 1.5^\circ$	传动平稳、耐酸和耐腐蚀,最高工作温度 200℃,但缓冲吸振能力差,用于载荷较平稳的高速传动
轮胎式联轴器 GB5844 —86	10~25000	11~180	5000~800	1.0~8.0	1.0~5.0	$1^\circ\sim 1^\circ 30'$	结构简单,弹性好,扭转刚度小,减振能力强,补偿两轴相对位移量大,但径向尺寸大,附加轴向力大,主要用于有较大冲击载荷,正反转多变,起动频繁的传动
橡胶金属环联轴器 GB2496 —81	700~90000		4000~1000	0.7~3.5	1.2~6.2	$3.2^\circ$	具有很高的弹性和极好的减振性能,补偿两轴的相对位移量大,但结构复杂,制造困难,主要用于冲击载荷大,需要消除轴系扭转摆动的大功率传动轴的联接,如船用和陆用高、中速柴油机之动力装置

续表 23-1

联轴器名称	额定转矩范围 N·m	轴孔直径范围 mm	许用转速 r/min	许用相对位移			特点及应用
				轴向 $\Delta X$	径向 $\Delta Y$	角向 $\Delta \alpha$	
				mm		(°)	
橡胶板联轴器 Q/ZB122 —73	2000~100000	49.5~320	2500~760	1.5~3.0	0.5~1.5	0.7°~2°	结构简单,制造容易,维护方便,具有一定的弹性和补偿两轴相对位移的能力,但平衡精度不高,主要用于转速不高,对传动的缓冲性能要求不高的重载传动轴系的联接
弹性套柱销联轴器 GB4323 —84	6.3~16000	9~160	8800~1150	较大	0.2~0.6	30'~1°30'	结构紧凑,装配方便,具有一定弹性和缓冲性能,补偿两轴相对位移量不大,当位移量过大时,弹性件易损坏,主要用于一般的中小功率传动轴系的联接
弹性柱销联轴器 GB5014 —85	160~160000	12~340	7100~850	0.5~3.0	0.15~0.25	30'	结构简单,制造容易,更换方便,柱销较耐腐,但弹性差,补偿两轴相对位移量小,主要用于载荷较平稳,起动频繁,轴向串动量,对缓冲要求不高的传动
弹性柱销齿式联轴器 GB5015 —85	100~2500000	12~850	4000~460	1.5~5	0.3~1.5	30'	结构类似齿式联轴器,但制造简便,安装容易,重量轻,且有一定弹性,传扭矩范围大,可代替部分齿式联轴器,适用于正反转多变的传动轴系
梅花形弹性联轴器 GB5272 —85	16~25000	12~140	15300~1900	1.2~5.0	0.5~1.8	1°~2°	结构简单,零件数量少,外形尺寸小,弹性元件制造容易,承载能力也高,适用范围广,可用于中小功率的水平和垂直传动轴系
芯型弹性联轴器 GB10614 —89	6.3~8000	10~140	5000~1600	0.5~1.0	0.5~3.0	0.5°~1.5°	结构简单,径向尺寸小,具有补偿两轴相对偏移和减振性能,可用于中小功率的水平和垂直传动轴系
H型弹性块联轴器 JB5511 —91	18~63000	12~250	5000~1000	2~6.0	0.5~2.0	1°~1.5°	径向尺寸紧凑,弹性元件具有一定补偿两轴相对位移和缓冲减振性能,可用于水平和垂直传动轴系
LD型多角形橡胶联轴器 JB5512 —91	50~8000	12~160	5000~900	2~5	1~2	2~5	补偿两轴相对位移量大,当转速超过 1500 r/min 时,需做动平衡,平衡精度为 G6.3
液力偶合器	0.15~1195kW	20~200	3000~1000				

①括号内数值系指 JB3242—91。

超星浏览器提醒您：  
复制  
相关知识产权！

星球  
微信  
资料

## 1.2 联轴器的选择

### 1.2.1 联轴器的类型选择

目前,一些比较常用的联轴器已经系列化和标准化了,有的已由专业工厂生产。因此,在设计机械时,可根据使用要求和工作条件,从有关手册或样本中选择合适的联轴器,通常不必专门设计。

在某一定条件下的传动,如何选择比较恰当的联轴器,不仅影响联轴器本身的性能和寿命,也关系到整个机械的工作性能、使用寿命、维护和经济性等。当选择联轴器类型时应考虑以下因素:

(1) 联轴器传递的载荷和性质 不同结构和材料的联轴器的承载能力差别很大。在重载工况下,不宜选择用于轻型传动的联轴器,以免过分加大联轴器的尺寸和重量。通常齿轮联轴器的承载能力高于其他联轴器,金属弹性元件的联轴器的承载能力高于非金属弹性元件联轴器,对有严重冲击载荷或要求消除轴系扭转振动的传动,可选用橡胶金属环联轴器、轮胎式联轴器等具有高弹性的联轴器。

(2) 联轴器的工作转速 不同类型的联轴器适应的转速范围亦不一样,详见表 23-1。对于高速运转的轴,应选用平衡精度高的联轴器,如齿轮联轴器,而不宜选用存在偏心的滑块联轴器。在变速下工作时,应选用能适应速度突变引起的惯性冲击和振动的联轴器。

(3) 联轴器联接两轴的相对位移 由于种种原因,联轴器所联接的两轴难免发生相对位移。如果两轴的相对位移量确实很小时,可选用固定式刚性联轴器。反之,可选用可移式联轴器。例如径向位移较

大时,可选用滑块联轴器,角位移较大时可选用万向联轴器。

(4) 联轴器的工作环境 选择联轴器类型时,必须考虑工作环境的影响,例如,温度、湿度、油、溶剂、阳光等对含有橡胶弹性元件的联轴器影响较大,易引起橡胶老化而改变其物理性能和机械性能;当用油润滑的联轴器要防止漏油而污染环境或产品等。

### 1.2.2 联轴器的型号选择

在选定标准联轴器或已有推荐的系列尺寸的联轴器类型后,要确定联轴器的具体尺寸(型号),必要时应对其重要零件和易损零件作强度验算。

在选择联轴器型号时,一般都是以联轴器所需传递的计算转矩  $T_c$  小于或等于所选联轴器的额定转矩  $T_n$  为准则。由于传动轴系载荷的变化性质不同及联轴器本身的结构特点和性能不同,使联轴器实际传递的转矩不等于联轴器的理论转矩  $T$ 。联轴器实际需要传递的转矩常用计算转矩  $T_c$  表示,它等于联轴器的理论转矩  $T$  乘以大于 1 的工作情况系数  $K$ , 即

$$T_c = KT \leq T_n \quad (23-1)$$

式中  $T$  理论转矩  $N \cdot m$ ;

$T_n$  额定转矩  $N \cdot m$ , 每种联轴器的  $T_n$  值在手册或标准中给出;

$K$ ——工作情况系数,其值与动力机和工作机的类型、工作条件、传动轴系的转动惯量等有关,表 23-2 给出了工作情况系数的数值供选择和设计联轴器时参考。

表 23-2 联轴器的工作情况系数 (摘自 JB/ZQ4383—86)

设备名称	载荷类别	工况系数 $K$	设备名称	载荷类别	工况系数 $K$
搅拌设备			粘土加工机械	I	1.75
纯液体	I	1.00	压缩机		
液体加固体	I	1.25	离心式	I	1.25
液体可变密度	I	1.25	叶轮式	I	1.50
鼓风机			往复多缸式	I	2.00
离心式	I	1.00	运输机 (均匀加载)		
叶轮式	I	1.50	板式运输机	I	1.25
叶片式	I	1.25	组装运输机	I	1.00
酿造和蒸馏设备			皮带运输机	I	1.00
装瓶机械	I	1.00	斗式运输机	I	1.25
过滤桶	I	1.25	链条式运输机	I	1.25
球团机 (压坯机械)	II	2.00	链板式运输机	I	1.25
装罐机械	I	1.00	箱式运输机	I	1.50
			螺旋式运输机	I	1.25

续表 23-2

设备名称	载荷类别	工况系数 K	设备名称	载荷类别	工况系数 K
运输机 (重载不均)			锤式粉碎机	I	2.00
板式运输机	II	1.50	旋转式粉碎机		
组装运输机	I	1.25	球磨机	I	2.25
皮带运输机	I	1.25	水泥磨	I	2.00
斗式运输机	I	1.50	干燥机和冷却机	II	2.00
链条式运输机	I	1.50	烘干机	II	2.00
链板式运输机	I	1.50	砂石粉碎机	II	2.00
箱式运输机	I	1.50	棒式粉碎机	I	2.00
往复式运输机	II	2.50	滚筒式粉碎机	I	2.00
螺旋运输机	II	1.50	洗衣机		
摆动运输机	III	2.50	可逆式洗衣机		2.00
倾侧式卸货机	I	2.50	滚筒式洗衣机		2.00
拖动式卸货机 (间断负荷)	I	1.50	木材加工机械		
破碎机			剥皮机 (筒形)	I	2.00
碎矿机	III	2.75	修边机	I	2.00
碎石机	III	2.75	传动辊装置	I	2.00
挖泥机			拖木机 (倾斜式)	II	2.00
电缆盘装置	I	1.75	拖木机 (竖式)	II	2.00
运输机	I	1.50	送料辊装置	I	2.00
切割头传动装置	II	2.25	刨床进给装置	I	1.75
夹具传动装置	II	2.25	刨面传动装置	I	1.75
机动绞车	II	1.75	板坯运输机	I	1.50
泵	II	1.75	剪切机进给装置	I	1.75
网筛传动装置	I	1.75	分料机	I	1.50
堆积机	I	1.75	工具机		
通用绞车	I	1.50	弯曲机	I	2.00
提升机械			刨床	I	1.50
料斗式提升机	II	1.75	冲压机 (齿轮驱动装置)	I	2.00
离心式卸料机	II	1.50	攻丝机	I	2.50
自动升降机	I	1.25	其它机床		
普通货车用提升机	I	2.00	主传动装置	I	1.50
重力卸料提升机	I	1.50	辅助传动装置	I	1.25
风 扇			轧制设备		
离心式	I	1.00	拉拔机小车架	I	2.00
冷却塔式	I	2.00	拉拔机主传动	I	2.00
强制通风式	I	1.50	成形机	I	2.00
引风机 (无风门控制)	I	2.00	纵剪切机	I	1.50
给料机			不可逆输送辊道	II	2.25
板式给料机	I	1.25	可逆输送辊道	III	2.50
带式给料机	I	1.25	拉线机和压延机	I	2.00
圆盘给料机	I	1.25	绕线机	I	1.75
往复式给料机	II	2.50	水 泵		
螺旋给料机	I	1.25	离心泵	I	1.00
食品工业			双动活塞泵	I	2.00
甜菜切割机	II	1.75	单动活塞泵		
谷类脱粒机	I	1.25	单缸或双缸	I	2.25
搅面机	II	1.75	三缸或多缸	II	1.75
绞肉机	II	1.75	回转泵 (齿轮泵、叶片泵、叶	I	1.50
瓶装罐装机械	I	1.00	轮泵)		
发动机	I	1.00			

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

续表 23-2

设 备 名 称	载荷类别	工况系数 $K$	设 备 名 称	载荷类别	工况系数 $K$
搅拌机			纺织机械 (连续作业)		
混凝土搅拌机	II	1.75	染色机	I	1.25
筒形搅拌机	I	1.50	织布机	I	1.50
石油机械			压光机	I	1.25
冷却装置	I	1.25	起毛机	I	1.25
油井泵	I	2.00	拉幅机	I	1.50
石蜡过滤机	I	1.75	卷取机	II	1.50
旋转窑	III	2.00	绞车 (卷扬机)	I	1.75
造纸设备			橡胶机械		
液压式剥皮机	I	2.00	密闭式冷冻机	I	2.50
机械式剥皮机	I	2.00	橡胶压延机	I	2.00
压皮滚筒 (直齿圆柱齿轮传动)	I	2.25	胶料粉碎机	I	2.25
搅拌器和破碎机	I	1.75	压片机	I	2.00
漂白机	I	1.00	轮胎成形机	I	2.50
压光机	I	2.00	筛 子		
叠层机	I	1.75	风 筛	I	1.00
切断机	I	2.00	旋转式筛石机	II	1.50
卷筒装置	II	1.75	废水处理设备		
烘干机	II	1.75	网 筛	I	1.25
校平机	I	1.25	化学处理设备	I	1.25
打捆机	III	2.00	环形集尘器	I	1.25
圆木拖运机	III	2.00	脱水筛	I	1.25
压力机	II	2.00	砂料集尘器	I	1.25
卷取机	I	1.50	废渣破碎机	I	1.25
吸入滚压机	I	1.75	快、慢搅拌机	I	1.25
清洗机	I	1.50	污泥收集器	I	1.25
卷绕机	II	1.50	浓缩机	I	1.25
			真空过滤器	I	1.25
纺织机械			转向机构	I	1.00
定量供料机	I	1.25	加煤机	I	1.00
轮压机	II	1.75	起重机和卷扬机		
梳理机	II	1.50	主卷扬机	II	2.00
棉布精整机 (清洗、拉幅、碾压机等)	I	1.50	可逆式卷扬机	II	2.00
干燥处理装置	I	1.75	斗式卷扬机	II	1.75
烘干机	II	1.50	吊式驱动卷扬机	II	1.75
			桥式驱动卷扬机	II	1.75
			斜坡式卷扬机	I	1.50

注: 1. 表中所列工况系数, 适用于原动机为电动机和蒸汽轮机传动系统;

2. 大功率非连续工作电动机及设备在承受激烈冲击载荷, 或易产生事故的工作情况时, 工况系数应作特殊考虑, 不按本表选用;

3. 载荷类别: I——均匀载荷, II——中等冲击载荷, III——重冲击载荷。

### 1.3 联轴器轴孔型式与键槽型式

国家标准 GB3852—83 规定联轴器轴孔有五种型式, 见图 23-1; 键槽也有五种形式, 见图 23-2。

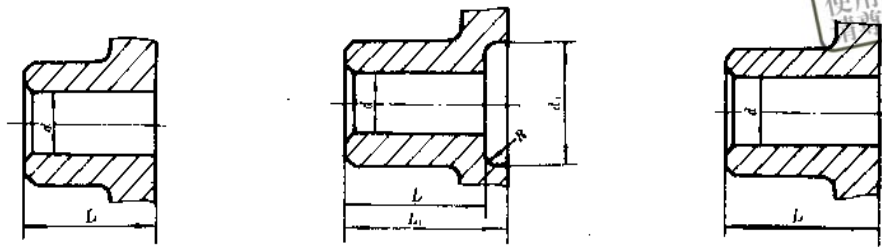
对于圆柱形轴孔: Y 型 (长圆柱形轴孔)、J 型 (有沉孔的短圆柱形轴孔)、J<sub>1</sub> 型 (无沉孔的短圆柱形

轴孔), 其键槽型式有: A 型——平键单键槽、B 型和 B<sub>1</sub> 型——平键双键槽、D 型——普通切向键键槽; 对于圆锥形轴孔: Z 型 (有沉孔的圆锥形轴孔)、Z<sub>1</sub> 型 (无沉孔的圆锥形轴孔), 其键槽型式为 C 型 (平键单键槽)。

在这些键槽中, 以 A 型应用较多。



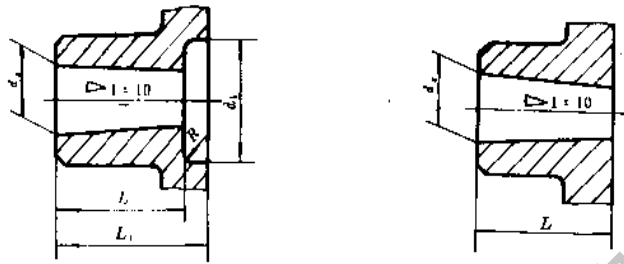
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



a) Y型孔

b) J型孔

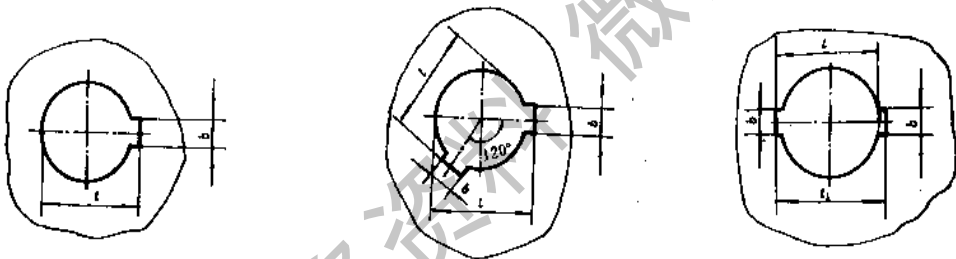
c) J<sub>1</sub>型孔



d) Z型孔

e) Z<sub>1</sub>型孔

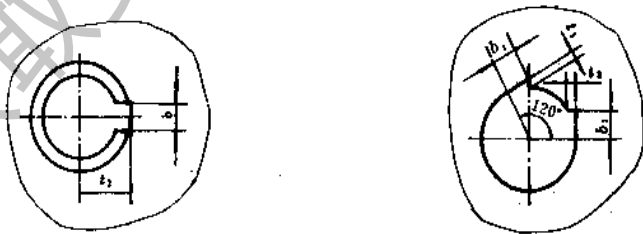
图 23-1 联轴器的轴孔型式



a) A型平键单键槽

b) B型120°布置平键双键槽

c) B<sub>1</sub>型180°布置平键双键槽



d) C型圆锥形轴孔平键单键槽

e) D型圆柱形轴孔普通切向键键槽

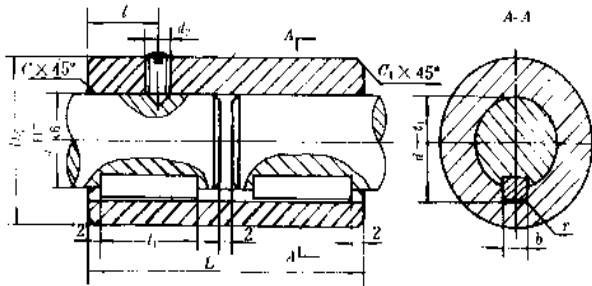
图 23-2 联轴器轴孔的键槽型式

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

1.4 常用联轴器的主要尺寸和性能参数

1.4.1 刚性固定式联轴器

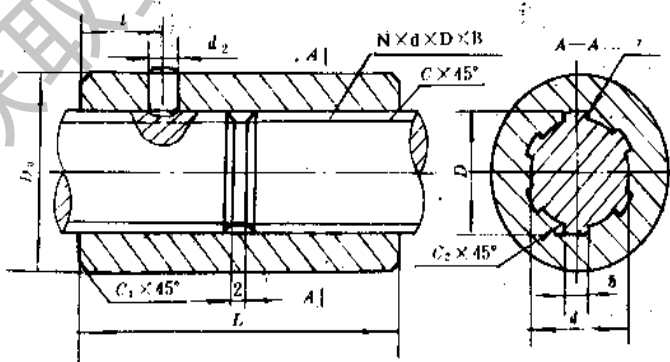
表 23-3 平键套筒联轴器的主要尺寸和特性参数



轴孔直径 $d$ (H7)	额定转矩 $T_n$ N·m	$D_0$	$L$	$l$	键槽宽度 $b$		键槽深度 $l_1$		$r$	$c$	$c_1$	紧固螺钉 GB71-85	质量 kg
					尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差					
20	71	35	60	15	6	$\pm 0.015$	2.8	$+0.1$ 0	0.3	1.0	1.0	M6×10	0.3
22	90		65		0.3								
25	125	40	75	20	8	$\pm 0.018$	3.3	0.3	1.0	1.0	M8×12	0.46	
28	170	45	80									0.62	
30	212	50	90	25	10	$\pm 0.0215$	3.8	$+0.2$ 0	1.2	1.8	2.0	M10×18	0.73
35	355		60										105
40	450	70	120	35	14	$\pm 0.0215$	4.3	0.5	1.8	2.0	M12×18	2.52	
45	710	80	140									16	3.64
50	850	90	150	45	18	$\pm 0.026$	4.4	0.5	1.8	2.0	M12×22	5.07	
55	1060	100	160									20	7.21
60	1500	110	180	50	22	$\pm 0.026$	4.9	0.8	1.8	2.0	M16×25	9.0	
70	2240	120	200									25	11.1
80	3150	130	220	60	28	$\pm 0.026$	5.4	0.8	1.8	2.0	M20×25	13.3	
90	4000	140	240									6.4	16.7
100	5600	140	280										

注：键槽对套筒中心线的对称度，根据使用要求按 GB1184-80 对称度公差选取 7~9 级。

表 23-4 花键套筒联轴器的主要尺寸和特性参数

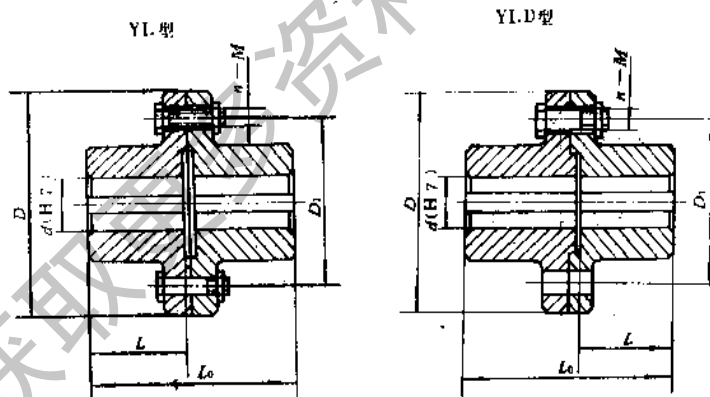


续表 23-4

花键尺寸 $N \times d \times D \times B$	额定转矩 $T_n$ N·m	键槽宽 $B$ 公差	$D_0$	$L$	$l$	$r$	$C$	$C_1$	$C_2$	mm	
										内六角紧定 螺钉 $d_2$	质量 kg
6×21×25×5	150		35	45	10	0.2	1.0			GB77-85 M6×8	0.19
6×23×28×6	250	+0.038 +0.020	40	50							
6×26×32×6	360		45	55	12						0.41
6×28×34×7	420	+0.047 +0.025		60							
8×32×38×6	650	+0.038 +0.020	50	70	15	0.3	1.2	1.0	0.4		0.56
8×36×42×7	900		55	80							
8×42×48×8	1250		60	90	20						0.88
8×46×54×9	2000	+0.047 +0.025	70	100							
8×52×60×10	2500		80	110	25						2.22
8×56×65×10	3250		90	120							
8×62×72×12	4750		100	130	30	0.5	1.8	2.0	0.5		4.44
10×72×82×12	7500	+0.059 +0.032	110	150							
10×82×92×12	10000		120	170	40						7.24
10×92×102×14	12500		130	190							

注：花键采用小径定心，内花键的  $d$  和  $D$  的公差带分别是 H7 和 H10，外花键的  $d$  和  $D$  的公差带分别是 g7 和 a11。

表 23-5 凸缘联轴器 (摘自 GB5843-86)



标记示例:

例 1: YL5 凸缘联轴器

主动端: J 型轴孔、A 型键槽,  $d=30$ ,  $L=60$ 。

从动端: J<sub>1</sub> 型轴孔、B 型键槽,  $d=28$ ,  $L=44$ 。

YL5 联轴器  $\frac{J30 \times 60}{J_1 B 28 \times 44}$  GB5843-86

例 2: YLD8 凸缘联轴器

主动端: Y 型轴孔、A 型键槽,  $d=45$ ,  $L=112$ 。

从动端: Y 型轴孔、A 型键槽,  $d=45$ ,  $L=112$ 。

YLD8 联轴器 45×112 GB5843-86

续表 23-5

型 号	额定 转矩 $T_n$ N·m	许用转速( $n$ ) r/min		轴孔直径 $d$ (H7)		轴孔长度 $L$		$D$	$D_1$	螺 栓		$L_0$		质 量 kg	转动 惯量 kg·m <sup>2</sup>
		铁	钢	铁	钢	Y 型	J, J <sub>1</sub> 型			数量 $n$	直径 $M$	Y 型	J, J <sub>1</sub> 型		
YL1 YLD1	10	8100	13000	10	10	25	22	71	53	3 (3)	M6	54	48	0.94	0.0018
				11	11										
				12	12										
				14	14	42	30					68	58		
				16	16										
				18	18										
				19	19	52	38					108	80		
20	20														
—	22														
YL2 YLD2	16	7200	12000	12	12	32	27	80	64	4 (4)	M6	68	58	1.50	0.0035
				14	14										
				16	16	42	30					88	64		
				18	18										
				19	19	52	38					108	80		
				20	20										
—	22														
YL3 YLD3	25	6400	10000	14	14	32	27	90	69	3 (3)	M8	68	58	1.99	0.0060
				16	16										
				18	18	42	30					88	64		
				19	19										
				20	20	52	38					108	80		
				22	22										
				—	24										
—	25	62	44	128	92										
YL4 YLD4	40	5700	9500	18	18	42	30	100	80	3 (3)	M8	88	64	2.47	0.0093
				19	19										
				20	20	52	38					108	80		
				22	22										
				24	24	62	44					128	92		
				25	25										
—	28														
YL5 YLD5	63	5500	9000	22	22	52	38	105	85	4 (4)	M8	108	80	3.19	0.013
				24	24										
				25	25	62	44					128	92		
				28	28										
				30	30	82	60					168	124		
—	32														
YL6 YLD6	100	5200	8000	24	24	52	38	110	90	4 (4)	M8	108	80	3.99	0.017
				25	25										
				28	28	62	44					128	92		
				30	30										
				32	32	82	60					168	124		
—	35														
YL7 YLD7	160	4800	7600	28	28	62	44	120	95	4 (3)	M10	128	92	5.66	0.029
				30	30										
				32	32	82	60					168	124		
				35	35										
				38	38	112	82					228	172		
—	40														

续表 23-5

型 号	额定 转矩 $T_n$ N·m	许用转速(n) r/min		轴孔直径 d (H7)		轴孔长度 L		D	D <sub>1</sub>	螺 栓		L <sub>0</sub>		质 量 kg	转动 惯量 kg·m <sup>2</sup>
		铁	钢	铁	钢	Y 型	J、J <sub>1</sub> 型			数量 n	直径 M	Y 型	J、J <sub>1</sub> 型		
YL8 YLD8	250	4300	7000	32	32	82	60	130	105	4 (3)	M10	169	7.29	0.043	
				35	35										
				38	38										
				40	40	112	84					229			173
				42	42										
YL9 YLD9	400	4100	6800	38	38	82	60	140	115	6 (3)	M10	169	125	9.53	0.064
				40	40										
				42	42										
				45	45	112	84					229	173		
				48	48										
				—	50										
YL10 YLD10	630	3600	6000	45	45	112	84	160	130	6 (4)	M12	229	173	12.46	0.112
				48	48										
				50	50										
				55	55	142	107					289	219		
				—	56										
				—	60										
YL11 YLD11	1000	3200	5300	50	50	112	84	180	150	8 (4)	M12	229	173	17.97	0.205
				55	55										
				56	56										
				60	60	142	107					289	219		
				63	63										
				65	65										
YL12 YLD12	1600	2900	4700	60	60	142	107	200	170	12 (6)	M12	289	219	30.62	0.443
				63	63										
				65	65										
				70	70	172	132					349	269		
				71	71										
				75	75										
YL13 YLD13	2500	2600	4300	—	80	172	132	220	185	8 (6)	M16	289	219	35.58	0.646
				70	70										
				71	71										
				75	75	172	132					349	269		
				80	80										
				—	90										
YL14 YLD14	4000	2300	4800	80	80	172	132	250	215	12 (8)	M16	350	270	57.13	1.353
				85	85										
				90	90										
				95	95	212	167					430	340		
				100	100										
				—	110										
YL15 YLD15	6300	2000	3400	—	90	172	132	290	250	12 (6)	M20	350	270	89.59	2.845
				—	95										
				100	100										
				110	110	212	167					430	340		
				120	120										
				—	125										



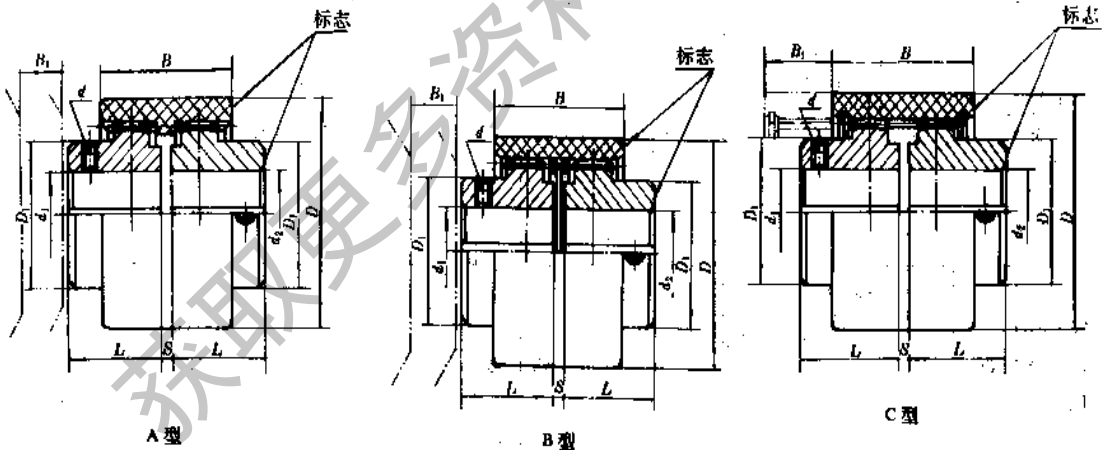
续表 23-5

型 号	额定转矩 $T_n$		许用转速 $(n)$		轴孔直径 $d$ (H7)		轴孔长度 $L$		$D$	$D_1$	螺 栓		$L_0$		质 量 kg	转动 惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
	$\text{N} \cdot \text{m}$		铁	钢	铁	钢	Y型	J、J <sub>1</sub> 型			数量 $n$	直径 $M$	Y型	J、J <sub>1</sub> 型		
	mm															
YL16 YLD16	10000	1800	3000	—	100	212	167	340	290	12 (6)	M24	430	340	119.57	5.271	
—				110	510							410				
120				120												
125				125	252	202	430					340				
130				130												
—	140															
YL17 YLD17	14000	1600	2600	—	120	212	167	380	330	12 (6)	M24	430	340	171.71	9.139	
—				125	510							410				
130				130												
140				140	252	202	610					490				
150				150												
—	160	302	242													
YL18 YLD18	20000	1400	2300	—	140	252	202	420	360	12 (6)	M30	510	410	(263.85)	(17.883)	
—				150	610							490				
—				160									302			242
—				170												
—				180												

- 注：1. 联轴器质量和转动惯量是按材料为铸铁（括弧内为铸钢），最小轴孔、最大轴伸长度的近似计算值；  
 2. 联轴器许用转速是按材料为铸铁，许用线速度为 30m/s，钢许用线速度为 50m/s 的近似计算值；  
 3. 螺栓数量，括号内为铰制孔用螺栓；  
 4. 生产厂：宁标公司宁波压缩机厂、宁标公司宁海通用机械厂。

1.4.2 刚性可移式联轴器

表 23-6 TGL 鼓形齿式联轴器（摘自 JB/T5514—91）



标记示例：主动端：J<sub>1</sub>型轴孔，A型键槽， $d_1=20\text{ mm}$ ， $L=38\text{ mm}$ 。  
 从动端：J<sub>1</sub>型轴孔，A型键槽， $d_1=28\text{ mm}$ ， $L=44\text{ mm}$ 。

TGLA4 联轴器  $\frac{J_1 20 \times 38}{J_1 28 \times 44}$  JB/T5514

续表 23-6

型 号	额定 转矩 $T_n$ N·m	许用 转速 $(n)$ r/min	轴孔直径 $d_1, d_2$	轴孔 长度 $L$	D				B				B <sub>1</sub>				S	d	质 量 kg		转动惯量 kg·m <sup>2</sup>	
					D <sub>1</sub>		D <sub>2</sub>		B		B <sub>1</sub>		A 型		C 型				A 型		C 型	
					A 型 B 型	C 型	A 型 B 型	C 型	A 型 B 型	C 型	A 型 B 型	C 型	A 型 B 型	C 型	A 型 B 型	C 型			A 型 B 型	C 型		
TGLA1 TGLB1	10	10000	6,7	16	40	-	25	38	-	17	-	4	-	M5	0.200	-	0.00003	-				
			8,9	20																		
			10,11	22																		
			12,14	27																		
TGLA2 TGLB2	16	9000	8,9	20	48	-	32	38	-	17	-	4	M5	0.278	-	0.00006	-					
			10,11	22																		
			12,14	27																		
			16,18,19	30																		
TGLA3 TGLB3 TGLC3	31.5	8500	10,11	22	56	58	36	42	52	19	-	4	M5	0.482	0.533	0.00012	0.00015					
			12,14	27																		
			16,18,19	30																		
			20,22,24	38																		
TGLA4 TGLB4 TGLC4	45	8000	12,14	27	66	70	45	46	56	21	26	4	M8	0.815	0.869	0.00033	0.0004					
			16,18,19	30																		
			20,22,24	38																		
			25,28	44																		
TGLA5 TGLB5 TGLC5	63	7500	14	27	75	85	50	48	58	22	27	4	M8	1.39	1.52	0.00092	0.00088					
			16,18,19	30																		
			20,22,24	38																		
			25,28	44																		
			30,32	60																		
TGLA6 TGLB6 TGLC6	80	6700	16,18,19	30	82	90	58	48	58	22	27	4	M8	2.02	2.15	0.0012	0.0015					
			20,22,24	38																		
			25,28	44																		
			30,32,35,38	60																		
TGLA7 TGLB7 TGLC7	100	6000	20,22,24	38	92	100	65	50	60	23	28	4	M8	3.01	3.14	0.0024	0.0027					
			25,28	44																		
			30,32,35,38	60																		
			40,42	84																		

使用本资料者，请尊重原作者版权！

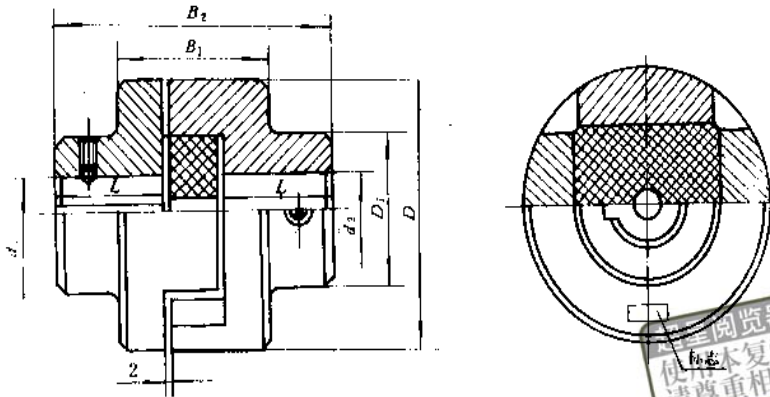
蓝领星球

续表 23-6

型号	额定 转矩 $T_n$ N·m	许用 转速 [ $n$ ] r/min	轴孔直径 $d_1, d_2$	轴孔 长度 $L$	D		$D_1$	B		$B_1$		S	d	质 量 kg		转动惯量 $kg \cdot m^2$		
					A 型	C 型		A 型	C 型	A 型	C 型			A 型	C 型			
					B 型			B 型		B 型				B 型				
TGLA8 TGLB8 TGLC8	140	5600	22,24 25,28 30,32,35,38 40,42,45,48	38 44 60 84		100	100	72	50	60	23	28	4	M8	4.06	4.18	0.0037	0.0039
TGLA9 TGLB9 TGLC9	355	4000	25,28 30,32,35,38 40,42,45,48 50,55,56 60,63,65,70	44 60 84 107		140	140	96	72	85	34	41	4	M10	8.25	8.51	0.0155	0.0166
TGLA10 TGLB10 TGLC10	710	3150	30,32,35,38 40,42,45,48 50,55,56 60,63,65,70 71,75 80,85	60 84 107 132		175	175	128	95	95	45	45	6	M10	16.92	17.10	0.0520	0.0535
TGLA11 TGLB11 TGLC11	1250	3000	40,42,45,48 50,55,56 60,63,65,70 71,75 80,85,90,95 100,110	84 107 132 167		210	210	165	102	102	48	48	8	M10	34.26	34.56	0.1624	0.165
TGLA12 TGLB12 TGLC12	2500	2120	50,55,56 60,63,65,70 71,75 80,85,90,95 100,110,120 125	84 107 132 167		270	270	192	135	135	63	63	10	M16	66.42	66.86	0.4674	0.4731

- 注：1. 瞬时过载转矩不得大于联轴器公称转矩的 2 倍；  
 2. 质量和转动惯量是各型号中最大值的近似计算值；  
 3.  $B_1$  是保证原动机或工作机安装所必需的最小尺寸；  
 4. 推荐 TGL10~TGL12 采用 B 型；  
 5. 生产厂：四川德阳市二重基础件厂、陕西齿轮厂、浙江乐清机械厂。

表 23-7 滑块联轴器 (摘自 JB/ZQ4384-86)



标记示例: KL6 滑块联轴器

主动端: Y 型轴孔, A 型键槽,  $d_1=45$  mm,  $L=112$  mm。

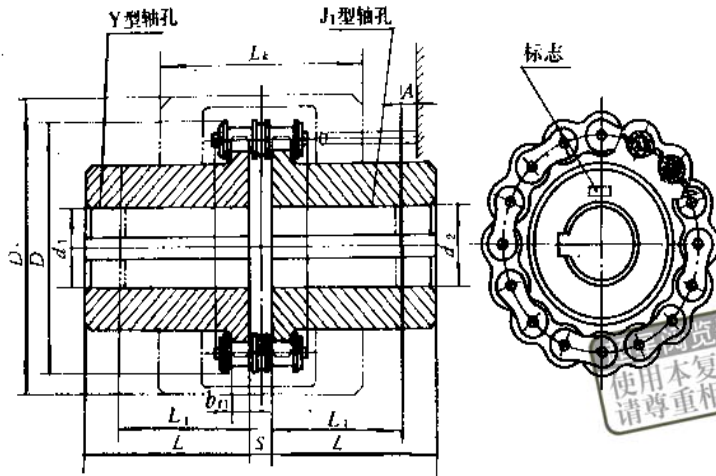
从动端:  $J_1$  型轴孔, A 型键槽,  $d_2=42$  mm,  $L=84$  mm。

KL6 联轴器  $\frac{45 \times 112}{J_1 42 \times 84}$  JB/ZQ4384-86

型 号	额定转矩 $T_n$ N·m	许用转速 (n) r/min	轴 孔 直 径		轴 孔 长 度		D	$D_1$	$B_1$	$B_2$	质 量 kg	转动惯量 kg·m <sup>2</sup>
			$d_1, d_2$		Y 型	$J_1$ 型						
					L							
KL1	16	10000	10, 11 12, 14	25 32	22 27	40	30	52	67 81	0.6	0.0007	
KL2	31.5	8200	12, 14 16, (17), 18	32 42	27 30	50	32	56	86 106	1.5	0.0038	
KL3	63	7000	(17), 18, 19 20, 22	42 52	30 38	70	40	60	106 126	1.8	0.0063	
KL4	160	5700	20, 22, 24 25, 28	52 62	38 44	80	50	64	126 146	2.5	0.013	
KL5	280	4700	25, 28 30, 32, 35	62 82	44 60	100	70	75	151 191	5.8	0.045	
KL6	500	3800	30, 32, 35, 38 40, 42, 45	82 112	60 84	120	80	90	201 261	9.5	0.12	
KL7	900	3200	40, 42, 45, 48 50, 55	112	84	150	100	120	266	25	0.43	
KL8	1800	2400	50, 55 60, 63, 65, 70	112 142	84 107	190	120	150	276 336	55	1.98	
KL9	3550	1800	65, 70, 75 80, 85	142 172	107 132	250	150	180	346 406	85	4.9	
KL10	5000	1500	80, 85, 90, 95 100	172 212	132 167	330	190	180	406 486	120	7.5	

- 注: 1. 括号内的数值尽量不选用;  
 2. 适用于控制器和油泵装置或其它传递转矩较小的场合;  
 3. 两轴间许用位移: 径向  $\Delta Y \leq 0.2$  mm, 轴向  $\Delta x = 1 \sim 2$  mm, 角向  $\Delta \alpha \leq 40'$ ;  
 4. 生产厂: 宁标公司宁海通用机械厂、宁标公司宁波压缩机厂。

表 23-8 滚子链联轴器 (摘自 GB6069-85)



标记示例:

例 1: GL7 型滚子链联轴器

主动端: J<sub>1</sub> 型孔, B 型键槽  $d_1=45\text{ mm}, L_1=84\text{ mm}$ 。

从动端: J<sub>1</sub> 型孔, B<sub>1</sub> 型键槽  $d_2=50\text{ mm}, L_2=84\text{ mm}$ 。

GL7 联轴器 J<sub>1</sub>B45×84  
J<sub>1</sub>B<sub>1</sub>50×84 GB6069 85

例 2: GL3 型滚子链联轴器, 有罩壳

主动端: J<sub>1</sub> 型孔, A 型键槽  $d_1=25\text{ mm}, L_1=44\text{ mm}$ 。

从动端: J<sub>1</sub> 型孔, A 型键槽  $d_2=25\text{ mm}, L_1=44\text{ mm}$ 。

GL3F 联轴器 J<sub>1</sub>25×44 GB6069-85

型号	额定转矩 $T_n$ N·m	许用转速 (n) r/min		轴孔直径		轴孔长度 mm		链号	链条节距 $p$ mm	齿数 $z$	$D$	$b_1$	$S$	$A$	$D_K$ max	$L_K$ max	质量 kg	转动惯量 kg·m <sup>2</sup>
		不安罩壳	安装罩壳	$d_1, d_2$ mm	Y 型 $L$	J <sub>1</sub> 型 $L_1$ 型												
GL1	40	1400	4500	16	42	—	06B	9.525	14	51.06	5.3	4.9	—	70	70	0.40	0.00010	
				18	42	—												
				19	42	—												
				20	52	38												
GL2	63	1250	4500	19	42	—	06B	9.525	16	57.08	5.3	4.9	4	75	75	0.70	0.00020	
				20	52	38												
				22	52	38												
				24	52	38												
GL3	100	1000	4000	20	52	38	08B	12.7	14	68.88	7.2	6.7	12	85	80	1.1	0.00038	
				22	52	38												
				24	52	38												
				25	62	44												
GL4	160	1000	4000	24	52	—	08B	12.7	16	76.91	7.2	6.7	6	95	88	1.8	0.00086	
				25	62	44												
				28	62	44												
				30	82	60												
GL5	250	800	3150	28	62	—	10A	15.875	16	94.46	8.9	9.2	—	112	100	3.2	0.0025	
				30	82	60												
				32	82	60												
				35	82	60												
				38	82	60												
40	112	84																



续表 23-8

型号	额定转矩 $T_n$ N·m	许用转速 $(n)$ r/min		轴孔 直径 $d_1, d_2$ mm	轴孔长度 mm		链号	链条 节距 $p$ mm	齿 数 $z$	$D$	$b_1$	$S$	$A$	$D_K$ max	$L_K$ max	质量 kg	转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
		不安 罩壳	安装 罩壳		Y 型	J <sub>1</sub> 型											
					$L$	$L_1$ 型											
GL6	400	630	2500	32	82	60	10A	15.875	20	116.57	8.9	9.2	—	140	105	5.0	0.0058
				35	82	60							—				
				38	82	60							—				
				40	112	84							—				
				42	112	84							—				
				45	112	84							—				
				48	112	84							—				
50	112	84	—														
GL7	630	630	2500	40	112	84	12A	19.05	18	127.78	11.9	10.9	—	150	122	7.4	0.012
				42	112	84							—				
				45	112	84							—				
				48	112	84							—				
				50	112	84							—				
				55	112	84							—				
60	142	107	—														
GL8	1000	500	2240	45	112	84	16A	25.40	16	154.33	15.0	14.3	12	180	135	11.1	0.025
				48	112	84							12				
				50	112	84							12				
				55	112	84							12				
				60	142	107							—				
				65	142	107							—				
70	142	107	—														
GL9	1600	400	2000	50	112	84	16A	25.40	20	186.50	15.0	14.3	12	215	145	20.0	0.061
				55	112	84							12				
				60	142	107							—				
				65	142	107							—				
				70	142	107							—				
				75	142	107							—				
80	172	132	—														
GL10	2500	315	1600	60	142	107	20A	31.75	18	213.02	18.0	17.8	6	245	165	26.1	0.079
				65	142	107							6				
				70	142	107							6				
				75	142	107							6				
				80	172	132							—				
				85	172	132							—				
90	172	132	—														
GL11	4000	250	1500	75	142	107	24A	38.1	16	231.49	24.0	21.5	35	270	195	39.2	0.188
				80	172	132							10				
				85	172	132							10				
				90	172	132							10				
				95	172	132							10				
				100	212	167							—				

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜索 超星领星球

续表 23-8

型号	额定转矩 $T_n$ N·m	许用转速 $[n]$ r/min		轴孔			链号	链条 节距 $p$ mm	齿 数 $z$	$D$	$b_1$	$S$	$A$	$D_K$ max	$L_K$ max	质量 kg	转动惯量 kg·m <sup>2</sup>
		不安 罩壳	安装 罩壳	直径 $d_1, d_2$ mm	Y 型 $L$	J <sub>1</sub> 型 $L_1$ 型											
		mm															
GL12	6300	250	1250	85	172	132	28A	44.45	16	270.08	24.0	24.9	20	310	205	59.4	0.380
				90	172	132							20				
				95	172	132							20				
				100	212	167							—				
				110	212	167							—				
				120	212	167							—				
GL13	10000	200	1120	100	212	167	32A	50.8	18	340.80	30.0	28.6	14	380	230	86.5	0.869
				110	212	167							14				
				120	212	167							14				
				125	212	167							14				
				130	252	202							—				
				140	252	202							—				
GL14	16000	200	1000	120	212	167	32A	50.8	22	405.22	30.0	28.6	14	450	250	150.8	2.06
				125	212	167							14				
				130	252	202							—				
				140	252	202							—				
				150	252	202							—				
				160	302	242							—				
GL15	25000	200	900	140	252	202	40A	63.5	20	466.25	36.0	35.6	18	510	285	234.4	4.37
				150	252	202							18				
				160	302	242							—				
				170	302	242							—				
				180	302	242							—				
				190	352	282							—				

- 注：1. 有罩壳时，在型号后加“F”，例 GL5 型联轴器，有罩壳时改为 GL5F；  
 2. 表中联轴器的质量、转动惯量是近似值；  
 3. 许用相对位移补偿量列于下表

项目 \ 型号	GL1	GL2	GL3	GL4	GL5-GL6	GL7	GL8	GL9	GL10	GL11	GL12	GL13	GL14	GL15
径向 $\Delta Y$ (mm)	0.19	0.19	0.25	0.25	0.32	0.38	0.50	0.63	0.76	0.88	1.0	1.0	1.0	1.27
轴向 $\Delta X$ (mm)	1.4	1.4	1.9	1.9	2.3	2.8	3.8	4.7	5.7	6.6	7.6	7.6	7.6	9.5
角向 $\Delta \alpha$	1°													

4. 生产厂：浙江省诸暨链条总厂。



续表 23-9

型号	额定转矩 $T_n$ N·m	$d$ H7	$D$	$L_0$				$L$		$L_2$	质量 $m$ kg				转动惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>			
				WSD 型		WS 型		Y 型	J <sub>1</sub> 型		WSD 型		WS 型		WSD 型		WS 型	
				Y 型	J <sub>1</sub> 型	Y 型	J <sub>1</sub> 型				Y 型	J <sub>1</sub> 型	Y 型	J <sub>1</sub> 型	Y 型	J <sub>1</sub> 型	Y 型	J <sub>1</sub> 型
WS3 WSD3	45	12 14	25	90	80	122	112	32	27	32	1.45	1.30	2.10	1.95	0.17	0.15	0.24	0.22
WS4 WSD4	71	16 18	32	116	82	154	130	42	30	38	5.92	4.86	8.56	0.48	0.39	0.32	0.56	0.49
WS5 WSD5	140	19 20 22	40	144	116	192	164	52	38	48	16.3	12.9	24.0	20.6	0.72	0.59	1.04	0.91
WS6 WSD6	280	24 25 28	50	152	124	210	182	52	38	58	45.7	36.7	68.9	59.7	1.28	1.03	1.89	1.64
WS7 WSD7	560	30 32 35	60	226	182	296	252	82	60	70	148	117	207	177	2.82	2.31	3.90	3.38
WS8 WSD8	1120	38 40 42	75	240	196	332	288	112	84	92	396	338	585	525	5.03	4.41	7.25	6.63

注：1. 表中联轴器质量、转动惯量是近似值；

- 当轴线夹角  $\beta \neq 0$  时，联轴器的许用转矩  $[T] = T_n \cos \beta$ ；
- 中间轴尺寸  $L_2$  可根据需要选取；
- 要保证旋转运动的等角速和主、从动轴之间保持同步转动，应选用双十字轴万向联轴器或两个单十字轴万向联轴器组合在一起使用，并满足以下三个条件：
  - 中间轴与主动轴、从动轴间的夹角相等，即： $\beta_1 = \beta_2$ ；
  - 中间轴两端的叉头的对称面在同一平面内；
  - 中间轴与主动轴、从动轴三轴线在同一平面内，见下图 A1
- 采用滑动轴承的十字轴万向联轴器的功率曲线见图 A2，由图 A2 可得，当夹角  $\beta$  为  $10^\circ$  时，单十字轴万向联轴器在长期使用中能传递的功率和转矩与转速有关。

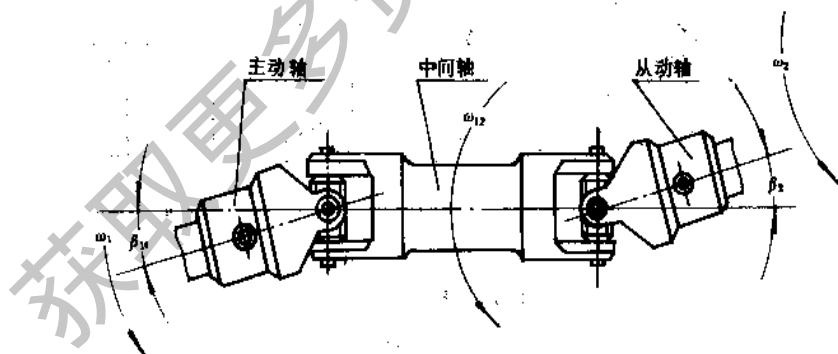


图 A1

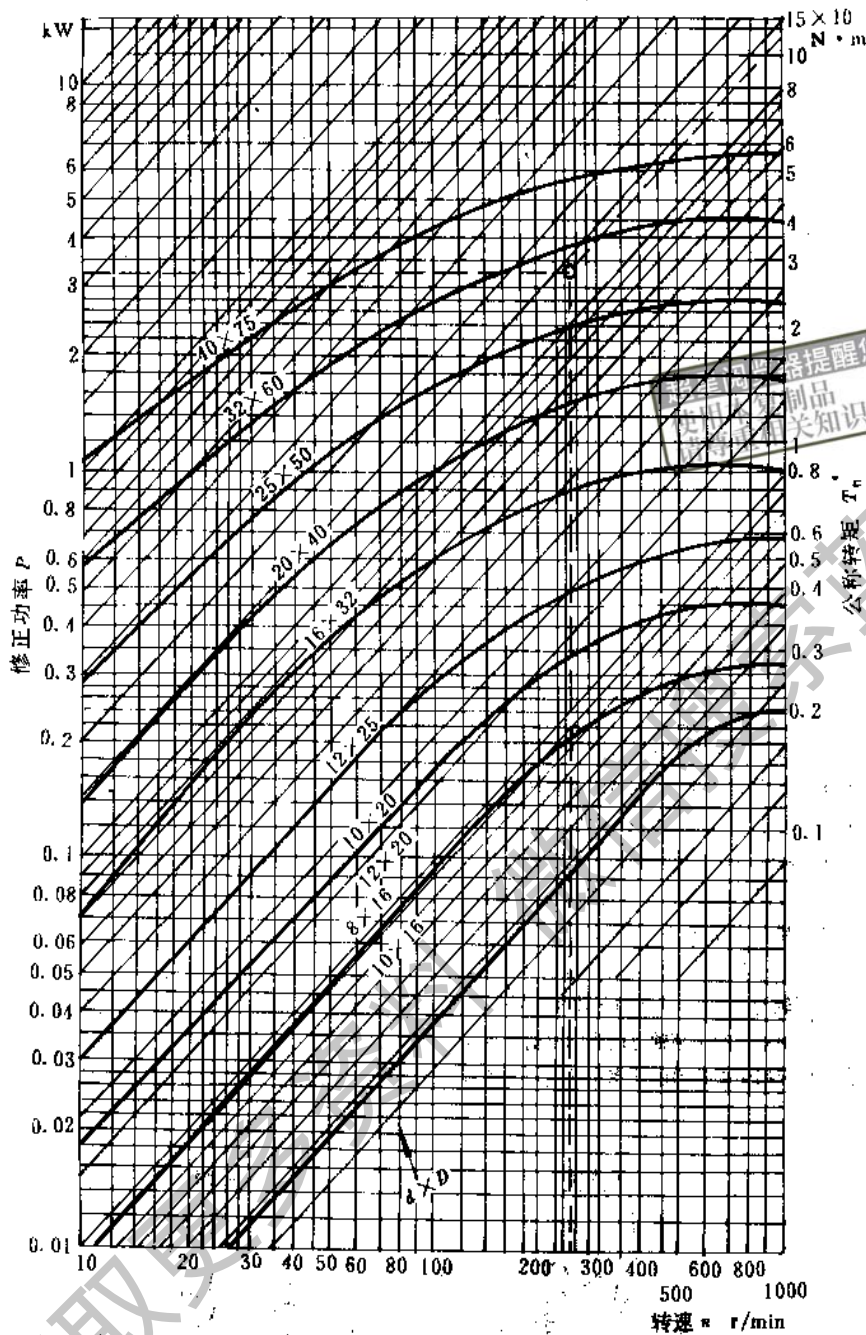


图 A2

当夹角大于  $10^\circ$  时, 必须根据图 A3 选择的修正系数  $\eta$ , 求得修正的功率  $P'$ ,

$$P' = \frac{P}{\eta} \quad \text{kW}$$

式中  $P$ ——传递的功率 kW。

若  $\beta$  值在  $0 \sim 5^\circ$  之间, 可使  $P'$  提高 25%, 当  $\beta = 5^\circ \sim 10^\circ$  之间, 可在线性区内用插法求得。

双十字轴万向联轴器可传递的功率, 仅为单十字轴万向联轴器修正值的 90%。

6. 采用滚针轴承的十字轴万向联轴器的功率曲线见图 A5, 修正系数  $\eta_2$  的曲线见图 A4。此时修正的转矩  $T' = T\eta_2$ 。

式中  $T$ ——传递的转矩;

$\eta_2$ ——冲击系数, 其值为 1.5。



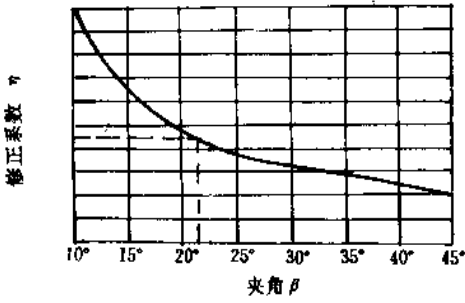


图 A3 采用滑动轴承时修正系数  $\eta$  的曲线图

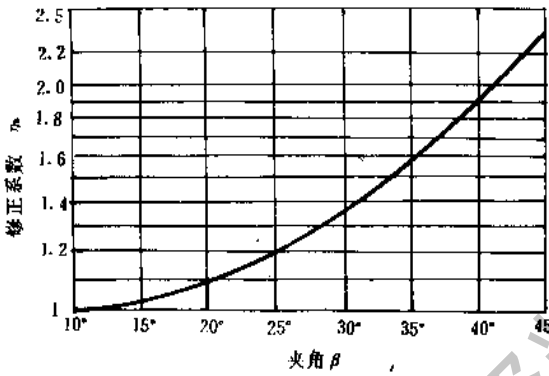


图 A4 采用滚针轴承时修正系数  $\eta_a$  的曲线图

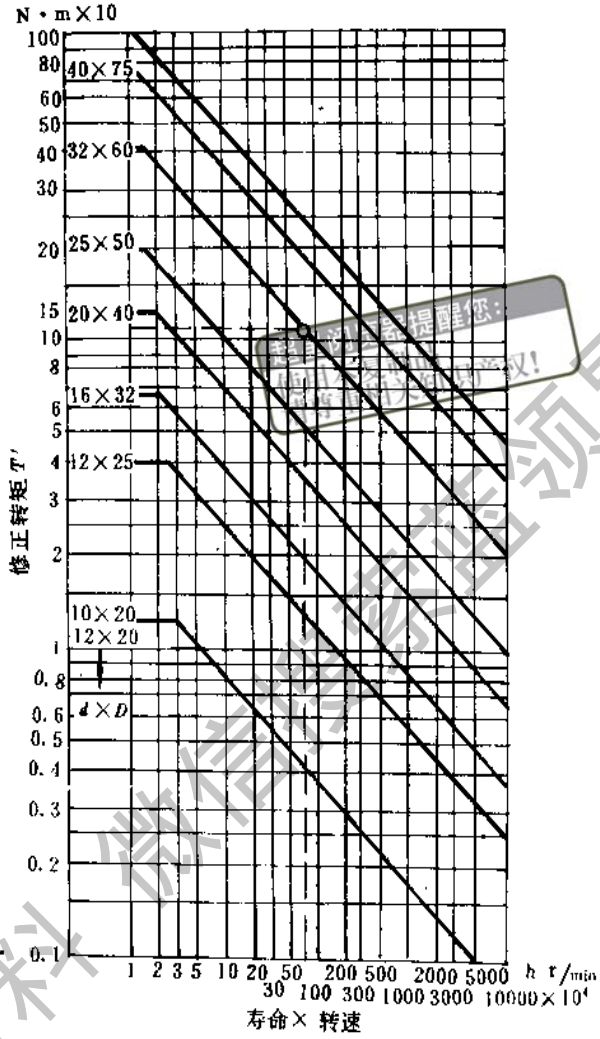
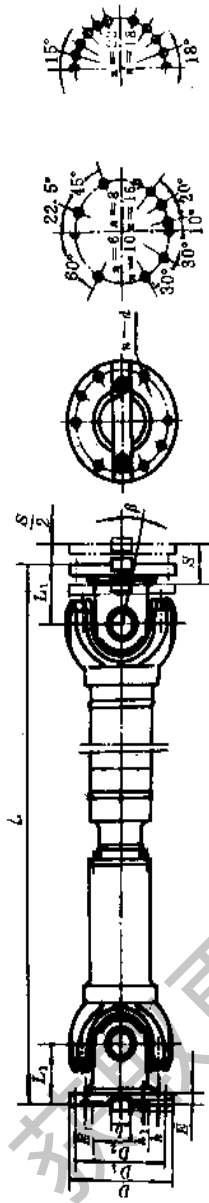


图 A5 采用滚针轴承时功率的曲线图

7. 四方孔的主要尺寸按下表的规定。

	S	10	14	19	24	30	36	46
	M11							
	$b_{max}$	13	18	25	32	40	48	60

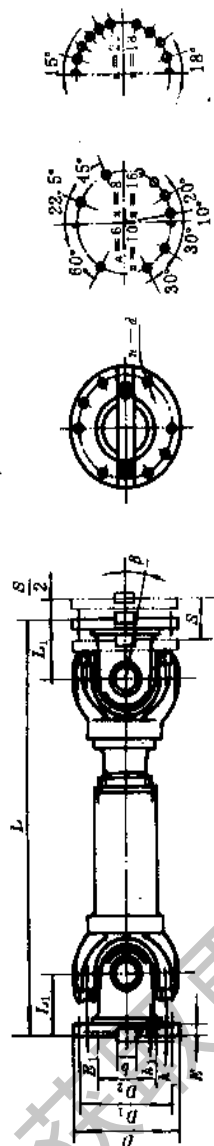
表 23-10 SWP A 型(有伸缩型)剖分轴承座十字轴式万向联轴器的基本参数与尺寸(摘自 JB3241—91)



标记示例: 回转直径  $D=315$  mm, 安装长度  $L=1800$  mm A 型万向联轴器; SWP 315A × 1800 联轴器 JB3241—91

型 号	回转直径 $D$ mm	额定转矩 $T_n$ kN·m	疲劳转矩 $T_f$ kN·m	轴线折角 $\beta$ (°)	伸缩量 $S$ mm	尺 寸										转动惯量		质 量	
						$L_{min}$ (1s11)	$D_1$ (1s11)	$D_2$ (H7)	$D_3$	$E$	$E_1$	$b \times h$	$h_1$	$L_1$	$n-d$	$L_{min}$	增长 100	$L_{min}$	增长 100
SWP 160A	160	16	8	≤10	50	660	140	95	114	15	4	20×12	6	85	6-13	0.13	0.0059	47	2.1
SWP 180A	180	20	10	≤10	60	752	155	105	121	15	4	24×14	7	95	6-15	0.22	0.0072	60	2.3
SWP 200A	200	31.5	16	≤10	70	823	175	125	127	17	5	28×16	8	110	8-15	0.37	0.0114	81	3.4
SWP 225A	225	40	20	≤10	76	933	195	135	152	20	5	32×18	9	130	8-17	0.63	0.0290	109	6.6
SWP 250A	250	63	31.5	≤10	80	978	218	150	168	25	5	40×25	12.5	135	8-19	1.02	0.0407	147	7.3
SWP 285A	285	90	45	≤10	100	1133	245	170	194	27	7	40×30	15	150	8-21	2.17	0.0702	241	9.4
SWP 315A	315	140	63	≤10	110	1250	280	185	219	32	7	40×30	15	170	10-23	3.86	0.1144	322	12.0
SWP 350A	350	180	90	≤10	120	1380	310	210	245	35	8	50×32	16	185	10-23	6.66	0.1663	428	13.6
SWP 390A	390	250	112	≤10	120	1495	345	235	273	40	8	70×36	18	205	10-25	11.53	0.2695	566	18.0
SWP 435A	435	355	160	≤10	150	1710	385	255	299	42	10	80×40	20	235	16-28	21.81	0.3645	932	20.0
SWP 480A	480	450	224	≤10	170	1910	425	275	351	47	12	90×45	22.5	265	16-31	38.04	0.7028	1294	28.0
SWP 550A	550	710	315	≤10	190	2135	492	320	402	50	12	100×45	22.5	290	16-31	61.28	1.1842	1744	35.7
SWP 600A	600	1000	500	≤10	210	2580	544	380	450	55	15	90×55	27.5	360	22-34	98.63	1.7159	2330	40.5
SWP 640A	640	1250	630	≤10	230	2685	575	385	480	60	15	100×60	30	385	18-38	167.67	2.3080	3153	48.3

表 23-11 SWP B 型(有伸缩短型)剖分轴承座十字轴式万联轴器的基本参数与尺寸(摘自 JB3241-91)



标记示例: 回转直径  $D=350$  mm, 安装长度  $L=1230$  mm B 型万向联轴器: SWP 350B $\times$ 1230 联轴器 JB3241-91

型号	回转直径 $D$ mm	额定 转矩 $T_n$ kN·m	疲劳 转矩 $T_f$ kN·m	轴线 折角 $\beta$ (°)	伸缩量 $S$ mm	尺 寸							转动惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	质 量 $G$ kg		
						$L$	$D_1$ (Js11)	$D_2$ (H7)	$E$	$E_1$	$b \times h$	$h_1$			$L_1$	$n-d$
SWP 160 B	160	16	8	$\leq 10$	50	585	140	95	15	4	20 $\times$ 12	6	85	6-13	0.14	44
SWP 180 B	180	20	10	$\leq 10$	60	640	155	105	15	4	24 $\times$ 14	7	95	6-15	0.23	60
SWP 200 B	200	31.5	16	$\leq 10$	70	730	175	125	17	5	28 $\times$ 16	8	110	8-15	0.36	75
SWP 225 B	225	40	20	$\leq 10$	76	830	196	135	20	5	32 $\times$ 18	9	130	8-17	0.51	108
SWP 250 B	250	63	31.5	$\leq 10$	80	860	218	150	25	5	40 $\times$ 25	12.5	135	8-19	0.98	138
SWP 285 B	285	90	45	$\leq 10$	100	1000	245	170	27	7	40 $\times$ 30	15	150	8-21	2.12	229
SWP 315 B	315	140	63	$\leq 10$	110	1120	280	185	32	7	40 $\times$ 30	15	170	10-23	3.80	309
SWP 350 B	350	180	90	$\leq 10$	120	1230	310	210	35	8	50 $\times$ 32	16	185	10-23	6.60	408
SWP 390 B	390	250	112	$\leq 10$	120	1310	345	235	40	8	70 $\times$ 36	18	205	10-25	10.50	539
SWP 435 B	435	355	160	$\leq 10$	150	1555	385	255	42	10	80 $\times$ 40	20	235	16-28	22.39	903
SWP 480 B	480	450	224	$\leq 10$	170	1740	425	275	47	12	90 $\times$ 45	22.5	265	16-31	38.21	1243
SWP 550 B	550	710	315	$\leq 10$	190	1905	492	320	50	12	100 $\times$ 45	22.5	290	16-31	61.00	1643
SWP 600 B	600	1000	500	$\leq 10$	210	2600	544	380	55	15	90 $\times$ 55	27.5	360	22-34	99.13	2335
SWP 640 B	640	1250	630	$\leq 10$	230	2780	575	385	60	15	100 $\times$ 60	30	385	18-38	170.21	2720

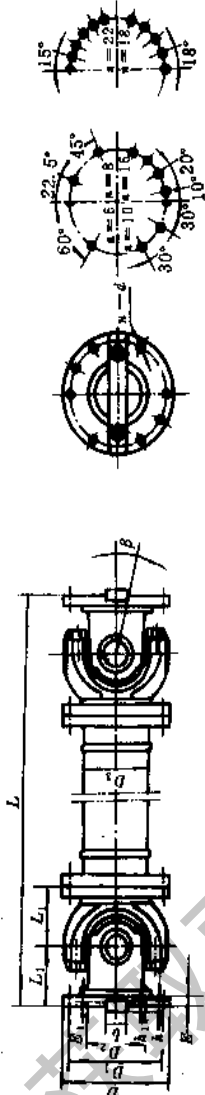
表 23-12 SWP C 型(无伸缩短型)剖分轴承座十字轴式万向联轴器的基本参数与尺寸(摘自 JB3241-91)



标记示例: 回转直径  $D=390$  mm, 安装长度  $L=820$  mm C 型万向联轴器; SWP 390C $\times$ 820 联轴器 JB3241-91

型 号	回转直径 $D$ mm	额定转矩 $T_n$ kN·m	疲劳转矩 $T_f$ kN·m	轴线折角 $\beta$ (°)	尺 寸						转动惯量		质 量 kg
					$L$	$D_t$ (Js11)	$D_2$ (H7)	$E$	$E_1$	$b \times h$	$h_1$	$L_1$	
SWP 160 C	160	16	8	$\leq 10$	140	95	15	4	6	85	6-13	0.11	31
SWP 180 C	180	20	10	$\leq 10$	185	105	15	4	7	95	6-15	0.17	42
SWP 200 C	200	31.5	16	$\leq 10$	175	125	17	5	8	110	8-15	0.29	59
SWP 225 C	225	40	20	$\leq 10$	196	135	20	5	9	130	8-17	0.51	80
SWP 250 C	250	63	31.5	$\leq 10$	218	150	25	5	12.5	135	8-19	0.93	119
SWP 285 C	285	90	45	$\leq 10$	245	170	27	7	15	150	8-21	1.88	179
SWP 315 C	315	140	63	$\leq 10$	280	185	32	7	15	170	10-23	2.88	232
SWP 350 C	350	180	90	$\leq 10$	310	210	35	8	16	185	10-23	4.59	300
SWP 390 C	390	250	112	$\leq 10$	345	235	40	8	18	205	10-25	8.64	432
SWP 435 C	435	355	160	$\leq 10$	385	255	42	10	20	235	16-28	17.41	688
SWP 480 C	480	450	224	$\leq 10$	425	275	47	12	22.5	265	16-31	28.25	904
SWP 550 C	550	710	315	$\leq 10$	492	320	50	12	22.5	290	16-31	49.49	1309
SWP 600 C	600	1000	500	$\leq 10$	544	380	55	15	27.5	360	22-34	87.17	1377
SWP 640 C	640	1250	630	$\leq 10$	575	385	60	15	30	385	18-38	152.76	2635

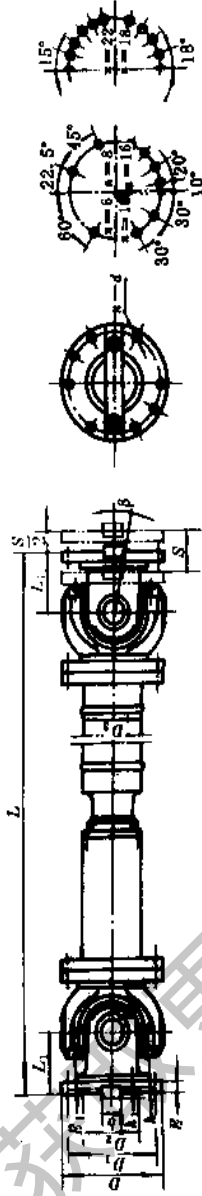
表 23-13 SWP D 型(无伸缩长型)剖分轴承座十字轴式万联轴器的基本参数与尺寸(摘自 JB3241—91)



标记示例: 回转直径  $D=200$  mm, 安装长度  $L=2000$  mm, L 型万向联轴器: SWP 200LD×2000 联轴器 JB3241—91

型号	回转直径 $D$ mm	额定转矩 $T_n$ kN·m	疲劳转矩 $T_f$ kN·m	轴线折角 $\beta$ (°)	尺寸 mm										转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$		质量 kg	
					$L_{\text{min}}$ (Q1511)	$D_1$	$D_2$ (H7)	$D_3$	$E$	$E_1$	$b \times h$	$h_1$	$L_1$	$n-d$	$L_{\text{min}}$ 增长 100	$L_{\text{min}}$ 增长 100	$L_{\text{min}}$	增长 100
SWP 160 D	160	16	8	≤10	430	140	95	114	15	4	20×12	6	85	6-13	0.09	0.0059	35	2.1
SWP 180 D	180	20	10	≤10	474	155	105	121	15	4	24×14	7	95	6-15	0.16	0.0072	47	2.3
SWP 200 D	200	31.5	16	≤10	544	175	125	127	17	5	28×16	8	110	8-15	0.28	0.0114	67	3.4
SWP 225 D	225	40	20	≤10	636	196	135	152	20	5	32×18	9	130	8-17	0.53	0.0290	94	6.6
SWP 250 D	250	63	31.5	≤10	690	218	150	168	25	5	40×25	12.5	135	8-19	0.91	0.0407	140	7.3
SWP 285 D	285	90	45	≤10	760	245	170	194	27	7	40×30	15	150	8-21	1.91	0.0702	206	9.4
SWP 315 D	315	140	63	≤10	860	280	185	219	32	7	40×30	15	170	10-23	3.39	0.1144	271	12.0
SWP 350 D	350	180	90	≤10	940	310	210	245	35	8	50×32	16	185	10-23	5.35	0.1663	355	13.6
SWP 390 D	390	250	112	≤10	1060	345	235	273	40	8	70×36	18	205	10-25	10.54	0.2695	501	18.0
SWP 435 D	435	355	160	≤10	1180	385	255	299	42	10	80×40	20	235	16-28	18.56	0.3645	825	20.0
SWP 480 D	480	450	224	≤10	1360	425	275	351	47	12	90×45	22.5	265	16-31	31.69	0.7028	1144	28.0
SWP 550 D	550	710	315	≤10	1460	492	320	402	50	12	100×45	22.5	290	16-31	51.45	1.1842	1589	35.7
SWP 600 D	600	1000	500	≤10	1840	544	380	450	55	15	90×55	27.5	360	22-34	83.53	1.7159	2243	40.5
SWP 640 D	640	1250	630	≤10	1980	575	385	480	60	15	100×60	30	385	18-38	135.60	2.3080	3140	48.3

表 23-14 SWP E 型(有伸编双法兰长型)剖分轴承座十字轴式万向联轴器的基本参数与尺寸(摘自 JB3241—91)

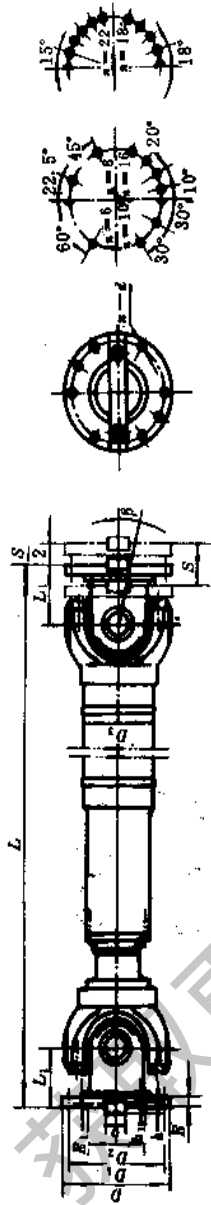


标记示例, 回转直径  $D=250$  mm, 安装长度  $L=1600$  mm E 型万向联轴器, SWP 250E×1600 联轴器 JB3241—91

型号	回转直径 $D$ mm	额定转矩 $T_n$ kN·m	疲劳转矩 $T_f$ kN·m	轴线折角 $\beta$ (°)	伸缩量 $S$ mm	尺寸 mm								转动惯量 kg·m <sup>2</sup>		质量 kg			
						$D_1$ (Js11)	$D_2$	$D_3$	$E$	$E_1$	$b \times h$	$h_1$	$L_1$	$n-d$	$L_{min}$	增长 100	$L_{min}$	增长 100	
						$L_{min}$	(H7)												
SWP 160 E	160	16	8	≤10	50	715	140	95	114	15	4	20×12	6	85	6-13	0.15	0.0059	49	2.1
SWP 180 E	180	20	10	≤10	60	800	155	105	121	15	4	24×14	7	95	6-15	0.25	0.0072	69	2.3
SWP 200 E	200	31.5	16	≤10	70	880	175	125	127	17	5	28×16	8	110	8-15	0.42	0.0114	81	3.4
SWP 225 E	225	40	20	≤10	76	1000	196	135	152	20	5	32×18	9	130	8-17	0.75	0.0290	108	6.6
SWP 250 E	250	63	31.5	≤10	80	1055	218	150	168	25	5	40×25	12.5	135	8-19	1.26	0.0407	179	7.3
SWP 285 E	285	90	45	≤10	100	1210	245	170	194	27	7	40×30	15	150	8-21	2.67	0.0702	285	9.4
SWP 315 E	315	140	63	≤10	110	1345	280	185	219	32	7	40×30	15	170	10-23	4.38	0.1144	375	12.0
SWP 350 E	350	180	90	≤10	120	1480	310	210	245	35	8	50×32	16	185	10-23	7.42	0.1663	488	13.6
SWP 390 E	390	250	112	≤10	120	1623	345	235	273	40	8	70×36	18	206	10-25	13.27	0.2695	662	18.0
SWP 435 E	435	355	160	≤10	150	1860	385	255	299	42	10	80×40	20	235	16-28	24.62	0.3645	1107	20.0
SWP 480 E	480	450	224	≤10	170	2122	425	275	351	47	12	90×45	22.5	265	16-31	42.81	0.7028	1302	28.0
SWP 550 E	550	710	315	≤10	190	2338	492	320	402	50	12	100×45	22.5	290	16-31	68.81	1.1842	2140	35.7
SWP 600 E	600	1000	500	≤10	210	2930	544	380	450	55	15	90×55	27.5	360	22-34	110.60	1.7159	2703	40.5
SWP 640 E	640	1250	530	≤10	230	3170	575	385	480	60	15	100×60	30	385	18-38	177.77	2.3080	3719	48.3



表 23-15 SWP F 型(大伸缩长型)剖分轴承座十字轴式万向联轴器的基本参数与尺寸(摘自 JB3241-91)



标记示例,回转直径  $D=480$  mm,安装长度  $L=2800$  mm F 型万向联轴器;SWP 480F×2800 联轴器 JB3241-91

型号	回转直径 $D$ mm	额定 转矩 $T_n$ kN·m	疲劳 转矩 $T_f$ kN·m	轴线 折角 $\beta$ (°)	伸缩量 $S$ mm	尺寸 mm										转动惯量 kg·m <sup>2</sup>		质 量 kg	
						$L_{min}$	$D_1$ (Js11)	$D_2$ (H7)	$D_3$	$E$	$E_1$	$b \times h$	$h_1$	$L_1$	$n-d$	$L_{min}$	增长 100	$L_{min}$	增长 100
SWP 160 F	160	16	8	≤10	150	770	140	95	114	15	4	20×12	6	85	6-13	0.14	0.0059	51	2.1
SWP 180 F	180	20	10	≤10	170	830	155	105	121	15	4	24×14	7	95	6-15	0.23	0.0072	64	2.3
SWP 200 F	200	31.5	16	≤10	190	950	175	125	127	17	5	28×16	8	110	8-15	0.40	0.0114	88	3.4
SWP 225 F	225	40	20	≤10	210	1070	196	135	152	20	5	32×18	9	130	8-17	0.66	0.0290	120	6.5
SWP 250 F	250	63	31.5	≤10	220	1110	218	150	168	25	5	40×25	12.5	135	8-19	1.06	0.0407	158	7.3
SWP 285 F	285	90	45	≤10	240	1270	245	170	194	27	7	40×30	15	150	8-21	2.24	0.0702	255	9.4
SWP 315 F	315	140	63	≤10	270	1450	280	185	219	32	7	40×30	15	170	10-23	3.99	0.1144	344	12.0
SWP 350 F	350	180	90	≤10	290	1540	310	210	245	35	8	50×32	16	185	10-23	6.90	0.1663	460	13.6
SWP 390 F	390	250	112	≤10	315	1680	345	235	273	40	8	70×36	18	205	10-25	11.90	0.2695	600	18.0
SWP 435 F	435	355	160	≤10	335	1880	385	255	299	42	10	80×40	20	235	16-28	22.41	0.3645	985	20.0
SWP 480 F	480	450	224	≤10	350	2080	425	275	351	47	12	90×45	22.5	265	16-31	39.09	0.7028	1356	28.0
SWP 550 F	550	710	315	≤10	360	2230	492	320	402	50	12	100×45	22.5	290	16-31	62.12	1.1842	1785	35.7
SWP 600 F	600	1000	500	≤10	370	2800	544	380	450	55	15	90×55	27.5	360	22-34	100.48	1.7159	2403	40.5
SWP 640 F	640	1250	630	≤10	380	2920	575	385	480	60	15	100×60	30	385	18-38	168.28	2.3080	3207	48.3

## 第 27 章 润滑和润滑装置

### 1 润滑状态

润滑状态可分为流体润滑和非流体润滑两大类,流体润油状态又可分为流体动压润滑、流体静压润滑和弹性流体动压润滑。非流体润油状态可分为边界润滑和干摩擦状态。除上述外,还常见有混合润油状态即流体润油和边界润油混合存在。判断润油状态主要参数是两摩擦表面之间的润油膜厚和摩擦表面的几何形貌参数。

#### 1.1 流体动压润油

流体动压润油是依靠两摩擦表面间的相对运动,将具有一定粘度的流体带入摩擦表面之间。由于粘性流体的动力学作用产生压力承受载荷,将两摩擦表面完全隔开,并形成完整的润油膜。

流体动压润油所使用的粘性流体可以是液体,如润油油,也可以使用气体,如空气。在形成流体动压润油时,流体将摩擦表面完全隔开,摩擦表面不直接接触,从而没有磨损,摩擦力的大小取决于流体的粘度,流体的粘度对润油特性影响较大。

#### 1.2 流体静压润油

流体静压润油,是利用外部供油装置(图 27-1),向支承中供给一定压力的流体,形成具有足够压力的润油油膜(静压油膜),将两摩擦表面完全隔开,而且承受外载荷。运动件从静止状态直至很高的速度范围内都能承受外载作用,这是流体静压润油的主要特点。而流体动压润油,在运动件静止或低速状态下,往往无法形成具有足够压力的压力油膜,使摩擦表面完全隔开,从而产生摩擦面的磨损,降低使用寿命。

流体静压润油具有起动摩擦阻力小;使用寿命长;抗振性能好;运动精度高;可适用于低速或速度变化范围大,以及经常需开、停的工况条件。但需用一套供油装置,增大了机械设备的空间和费用。

#### 1.3 弹性流体动压润油

应用 Reynolds 润油理论成功的解决了低副接触的润油问题,如滑动轴承一类的面接触摩擦副。而

对于齿轮、滚动轴承等点线接触的摩擦副的润油问题,则可用弹性流体动压润油理论来解决。简称弹流润油(EHL)。

弹性流体动压润油的特点是:

- 油膜压力很高,达到 GPa 量级;
- 油膜极薄,处于  $\mu\text{m}$  量级;
- 表面弹性变形量较大,与油膜厚度处于同等数量级,不可忽略;
- 润油油所受剪应变率很高,达到  $10^7/\text{s}$  量级;
- 瞬间接触,润油剂通过接触区的时间只有  $10^{-3}\text{s}$  的量级;
- 在接触区内的瞬间润油油的粘度极高,呈“玻璃”状态。

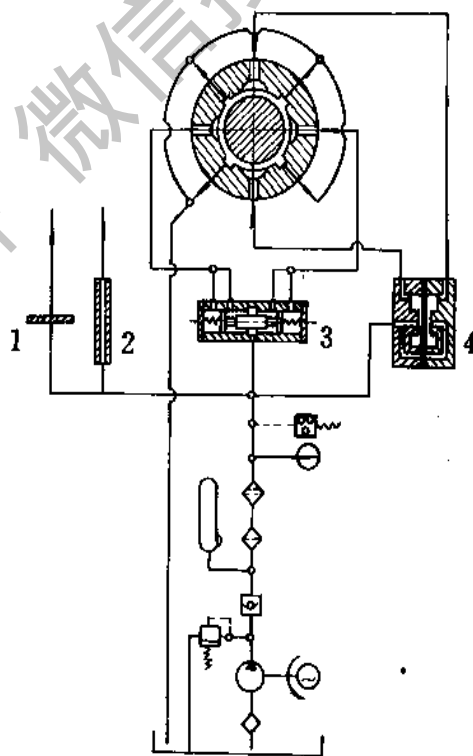


图 27-1 定压供油静压轴承系统

- 1—小孔节流式; 2—毛细管式;  
3—滑阀反馈式; 4—薄膜反馈式

弹流润滑理论及应用的研究尚不完善,这是因为各种弹流润滑计算公式本身存在很大的条件性,各自有其适用范围,超过范围就会产生较大误差。同时,由于实际机械零件的接触表面工作时处于复杂的变化状态,分析时必须进行简化,从而使计算有一定的局限性。为了工程上应用方便,Johnson 和 Hooke 研究编制了润油状态区域图,该图采用了三个统一的无量纲参数,把各种润油状态下的油膜厚度用曲线表达出来,同时也划分了各个油膜厚度计算公式适用区域。使用时可参考有关资料

### 1.4 边界润滑

在流体润滑时,流体完全将摩擦表面隔开,这时没有磨损。但机械在实际的运转过程中,有时难以具备形成流体润滑的条件,如转速不高,载荷较大或是机械在刚开始启动,或启动后尚未形成流体润滑,因此不可避免的有摩擦表面的凸峰接触。此时由于物理或化学的作用,摩擦表面存在一层与介质不同的薄膜,此膜具有良好的润滑作用,此种润油状态称为边界润滑。边界润滑现象普遍的存在于各种机械设备上,如轴承、齿轮、导轨和凸轮等。

边界润滑中起润滑作用的膜称为边界膜,按边界膜性质的不同,可分为物理吸附膜、化学吸附膜和化学反应膜。

物理吸附膜是金属表面对润滑剂分子的吸附而形成的膜,这种吸附膜的形成是可逆的。一般物理吸附膜只适用于低速,轻载的工况。

化学吸附膜是润滑剂中的极性分子与金属表面化学结合形成的膜。适用于中速、中等载荷的工况。

化学反应膜是润滑剂中极性添加剂的分子与金属表面发生化学反应而形成的膜,适用于高速、重载和高温的工况。

温度、载荷、速度和添加剂对边界润滑都有影响。

### 1.5 混合润滑

在两相对运动表面间,润滑剂的膜厚度与表面粗糙度综合值的比值较小时,两相对运动表面间不能被润滑剂膜完全分隔开。在作相对运动时就会在表面上同时混合存在着有一部分流体动压润滑作用,一部分表面微凸体直接接触,外载荷是由润滑剂膜和微凸体共同承担。这种润油状态称为混合润滑。

在此种润油状态下,两相对运动表面间的摩擦力,是由润滑剂粘度决定的粘性摩擦力和微凸体接

触所产生的摩擦力所组成。润滑剂膜厚度与表面粗糙度综合值的比值,是衡量润油状态的主要参数。

## 2 润滑剂

凡是能降低两相对运动表面间的摩擦阻力的介质,都可以作为润滑剂。在各种机器及设备中所使用的润滑剂有气体(如空气)、流体(如润滑油)、半固体(如润滑脂)及固体。

润滑剂的主要作用是降低摩擦减少磨损,提高效率,延长机件的使用寿命,同时还起到冷却、缓冲、传力、电气绝缘、防腐蚀、密封和排污等作用。正确使用润滑剂,对从事机械设计、机械制造、机械使用和维护人员来说,是不可缺少的。

可按表 27-1 选择润滑剂的类型,

表 27-1 润滑剂的类型选择

工作条件	合适润油
载荷过大	粘度较高的润滑油 润滑脂 极压润滑油 极压润滑脂 静压润滑脂 固体润滑剂
速度太快,可能引起热量过多	润滑油量增多 粘度低的润滑油 油循环润油 气体润油
热量过多	抗氧化润滑油 粘度较高的润滑油 油量增多,循环润油 合成油,固体润滑剂
磨损太多	油量增多,用有过滤的循环系统
污染物多	循环油、槽润油、固体润滑剂
要求使用寿命长	抗氧化润滑油 粘度较高的润滑油 增多油量 合成油、固体润油

### 2.1 润滑剂的主要理化指标

a. 粘度 流动物质内部阻力的量度,表示润滑油在一定温度下,粘稠程度的指标,粘度是大多数润滑油牌号区分的标志。粘度的表示方法有:动力粘度、运动粘度、恩氏粘度、雷氏粘度和赛氏粘度。我国使用的粘度指标为运动粘度,在法定计量单位制中以  $m^2/s$  表示。习惯用非法定计量单位  $mm^2/s$  (厘

斯)表示,而国外多用雷氏粘度和赛氏粘度表示。

b. 粘度指数 是表示润滑油随温度变化特性的指标,粘度指数是一相对值,粘度指数高,表示润滑油的粘度随温度变化小。

c. 闪点 在规定条件下,加热润滑油所逸出的蒸汽和空气组成的混合物与火焰接触发生瞬间闪火时的最低温度称为闪点。闪点通常作为油品的一个安全指标,油品的危险等级是根据闪点划分的,闪点在 45℃ 以下为易燃品,45℃ 以上为可燃品。

d. 凝点 润滑油在规定条件下,冷却至油面不流动时的最高温度,称为凝点,是评价油品低温流动性能的指标。凝点高的润滑油不能在低温条件下使用。选用润滑油时,要考虑凝点。一般使用温度,应比润滑油的凝点高出 10~20℃。

e. 倾点 是指在规定条件下,被冷却了的润滑油开始连续流动时的最低温度,称为倾点,是表示油品低温流动性能的指标。由于倾点比凝点更能反映油品在低温下的流动性能,因此,我国和国际上都是用倾点表示低温流动性。

f. 水分 润滑油中水分的含量,是指润滑油中含水量的百分数,是润滑油纯洁性能质量指标之一,含水量小于 0.03%,则认为是痕迹,若没有水分时,则认为是无。润滑油中应防止混入水分,若混入水分,会使润滑油膜强度降低,使润滑油产生泡沫或乳化变质,加速有机酸对金属的腐蚀作用,也会使添加剂分解沉淀,甚至失去作用。

g. 机械杂质 存在于油品中所有不溶于规定溶剂的杂质,按油品重量的百分数表示。主要是油品在使用、贮存和运输过程中,混入的泥沙、灰尘、铁锈和金属粉末等。机械杂质可用沉淀或过滤等方法除掉。润滑油中的机械杂质会磨损机件,增大残炭和灰分的数量,降低抗氧化安定性。

h. 灰分 润滑油在规定条件下,完全燃烧后,剩下的残留物,以重量的百分数表示。通常润滑油中灰分含量都很小,但在加入高灰分添加剂的润滑油中,灰分的含量会增大。灰分多,使润滑油膜不能均匀地形成,影响正常润滑,还会造成机械设备的磨损。

i. 残炭 在规定条件下,油品在进行蒸发和裂解期间形成的残留物,以重量百分数表示。润滑油中残炭含量高,使用中易堵塞油路,增加机件的磨损、破坏油膜。

j. 腐蚀试验 在规定条件下,测定油品对金属腐蚀程度,主要检验油品中有机酸、碱对金属的腐蚀

状况。

k. 水溶性酸或碱 是指能溶于水中的无机酸或碱性物质的总称,油品中是不允许有水溶性酸或碱存在,因为它对机械设备腐蚀严重。

l. 酸值和酸度 中和用沸腾乙醇从 1 克油品中抽出酸性物质所需的氢氧化钾毫克数称为酸值,以 mgKOH/g 油表示。中和用沸腾乙醇从 100ml 油品中的抽出的酸性物质所需要的氢氧化钾毫克数称为酸度,以 mgKOH/100ml 油表示。上述指标分别表示润滑油中所含有机酸的总量,这些有机酸对机件都有一定程度的腐蚀,酸值增大到一定数值时,必须换油。

m. 氧化安定性 润滑油抵抗由于空气(或氧气)的作用,而引起性质发生永久性改变的能力。油品在使用和贮存过程中,与空气中的氧气接触,在一定条件下,会氧化变质,产生沉淀物,而且使酸值增大,堵塞油路,增加机件的磨损。

n. OK 值 是用 Timken 法测定的润滑剂的承载能力(极压性能),法定计量单位用 N 表示。

o.  $P_n$  值 用四球法测定润滑剂时,在规定条件下,不发生卡咬的最高负荷(极压性能)。法定计量单位用 N 表示。

p. 滴点 在规定条件下,润滑脂达到一定流动性时的最低温度,称为滴点,用℃表示。根据滴点的高低,可以判定润滑脂能够使用的温度。

q. 锥入度 在 25℃ 时,总荷重为  $150 \pm 0.25$ g 的标准锥,在 5 S 内垂直穿入润滑脂的深度,以 1/10mm 表示。锥入度是表示润滑脂软硬的程度,锥入度大,则表示润滑脂软。

## 2.2 润滑油

目前工业常用的润滑油为矿物润滑油和合成润滑油,而前者应用广泛。绝大多数润滑油是由基础油加入添加剂调制而成,矿物润滑油是多种烃类的混合物加入添加剂配成,而合成油是具有特定分子结构的单体聚合加入添加剂配成。

合成油具有突出的优越性,它可以满足矿物润滑油无法完成的许多要求,如耐辐射性、抗氧化性、抗燃性、耐高温和低温性能。航空工业用的润滑油绝大多数是合成润滑油,近年来合成油的使用得到很大发展,目前影响合成润滑油大量使用的关键,是价格贵。矿物润滑油与合成润滑油某些主要性能比较见表 27-2、表 27-3。国产润滑油多以主要用途而命名。



表 27-2 高低温性能比较

油 品	正常使用温度 ℃	短期温度上限 ℃	粘度指数
矿物油	-40~120	150	50~130
合成油 (双脂)	-60~190	200	110~190
合成油 (全氟聚醚)	-40~330	430	

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 27-3 主要性能比较

性 质	轻 组 分		重 组 分	
	聚 α-烯烃	矿物油	聚 α-烯烃	矿物油
粘度, mm <sup>2</sup> /s				
100℃	5.7	5.2	39	32
40℃	29	29.5	391	480
-17.8℃	1010	太粘, 不能测	37000	太粘, 不能测
-40℃	7790	太粘, 不能测	太粘, 不能测	太粘, 不能测
粘度指数	140	102	145	98
凝点, ℃	-54	-18 (加降凝剂)	-51	-4 (加降凝剂)
闪点, ℃	235	218	271	274
蒸馏				
400℃塔顶馏出%	2	20	1	1

表 27-4 一些机械所用润滑油的工作粘度

设 备		粘度, mm <sup>2</sup> /s		
		启动最大粘度	承载最小粘度	正常工作所需粘度
空气压缩机	气 缸	1511~4316	4.3	15.6~43.1
	曲 轴 箱	8632	4.3	13
液压设备	机 工 具	647.4~863	7.5	10.4~280.5
	锻 造 机	647.4~863	7.5	10.4
高速涡轮轴承		75.5~215.8	4.3	15.6~31.9
低速滑动轴承	轻 荷			43.1~64.7
	中等负荷			43.1~64.7
	重 荷			64.7~107.9
油环及链条润滑轴承	小型及中型, 高速	863	4.3	15.6~31.9
	中型及中速	1079	13	31.9~54
	大型及低速	1511	20.6	54~107.9
开 式 齿 轮			2158~6474	
齿条及小齿轮		21580		21.8~1079
封闭式减速齿轮				转速 r/min 1000 以上/1000 以下
	正 齿 轮	21580	15.6~215.8	24.1~172.6   107.9~215.8
	圆锥及曲齿圆锥齿轮	21580	15.6~215.6	24.1~172.0   107.9~237.4
	螺旋齿轮及人字齿轮	21580	15.6~215.8	24.1~215.8   172.6~323.7
	蜗 轮	21580	107.9~1079	215.8~1079
准双曲面齿轮		21580	43.1~431.6	215.8~1079

表 27-5 工业用润滑油粘度牌号分类及各粘度牌号  
在不同粘度指数和不同温度时的运动粘度

GB141 采用的 粘度号	ISO 采用的 粘度牌号	不同粘度指数和不同温度时的运动粘度																	
		粘度指数(VI)=0						粘度指数(VI)=50						粘度指数(VI)=95					
		mm <sup>2</sup> /S			mm <sup>2</sup> /S			mm <sup>2</sup> /S			mm <sup>2</sup> /S			mm <sup>2</sup> /S			mm <sup>2</sup> /S		
运动粘度范围		20°C	37.8°C	50°C	20°C	37.8°C	50°C	20°C	37.8°C	50°C	20°C	37.8°C	50°C	20°C	37.8°C	50°C	100°C		
2	ISO VG2	1.98~2.42	(2.82~3.67)	(2.05~2.52)	(1.69~2.03)	(2.87~3.69)	(2.05~2.52)	(1.69~2.03)	(2.92~3.71)	(2.06~2.52)	(1.69~2.03)	(2.92~3.71)	(2.06~2.52)	(1.69~2.03)	(2.92~3.71)	(2.06~2.52)	(1.69~2.03)	—	
3	ISO VG3	2.88~3.52	(4.60~5.99)	(3.02~3.71)	(2.37~2.83)	(4.59~5.92)	(3.02~3.70)	(2.38~2.84)	(4.58~5.83)	(3.01~3.69)	(2.39~2.86)	(4.58~5.83)	(3.01~3.69)	(2.39~2.86)	(4.58~5.83)	(3.01~3.69)	(2.39~2.86)	—	
5	ISO VG5	4.14~5.06	(7.39~9.60)	(4.38~5.38)	(3.27~3.91)	(7.25~9.35)	(4.37~5.37)	(3.29~3.95)	(7.09~9.30)	(4.36~5.35)	(3.32~3.99)	(7.09~9.30)	(4.36~5.35)	(3.32~3.99)	(7.09~9.30)	(4.36~5.35)	(3.32~3.99)	—	
7	ISO VG7	6.12~7.48	(12.3~16.0)	(6.55~8.05)	(4.63~5.53)	(11.9~15.3)	(6.52~8.01)	(4.68~5.61)	(11.4~14.4)	(6.50~7.98)	(4.76~5.72)	(11.4~14.4)	(6.50~7.98)	(4.76~5.72)	(11.4~14.4)	(6.50~7.98)	(4.76~5.72)	~22	
10	ISO VG10	9.00~11.0	20.2~25.9	9.73~12.0	6.53~7.83	19.1~24.5	9.68~11.9	6.65~7.99	18.1~23.1	9.4~11.8	6.78~8.14	18.1~23.1	9.4~11.8	6.78~8.14	18.1~23.1	9.4~11.8	6.78~8.14	2.47~2.30	
15	ISO VG15	13.5~16.5	33.5~43.0	14.718.1	9.43~11.3	31.6~40.6	14.37~18.0	9.62~11.5	29.8~38.3	14.66~17.9	9.80~11.8	29.8~38.3	14.66~17.9	9.80~11.8	29.8~38.3	14.66~17.9	9.80~11.8	3.17~3.58	
22	ISO VG22	19.8~24.2	54.2~69.8	21.8~26.8	13.3~16.0	51.0~65.3	21.7~26.6	13.6~16.3	48.0~61.7	21.6~26.5	13.9~16.6	48.0~61.7	21.6~26.5	13.9~16.6	48.0~61.7	21.6~26.5	13.9~16.6	4.00~4.00	
32	ISO VG32	28.8~35.2	87.7~115	32.0~39.4	18.6~22.2	82.6~108	31.9~39.2	19.0~22.6	76.9~98.7	31.7~38.9	19.4~23.8	76.9~98.7	31.7~38.9	19.4~23.8	76.9~98.7	31.7~38.9	19.4~23.8	4.97~5.60	
46	ISO VG46	41.4~50.6	144~189	46.6~57.4	25.5~30.3	133~172	46.3~56.9	26.1~31.3	120~153	45.9~56.3	27.0~32.5	120~153	45.9~56.3	27.0~32.5	120~153	45.9~56.3	27.0~32.5	6.22~7.00	
68	ISO VG68	61.2~74.8	242~315	69.8~85.8	35.9~42.8	219~283	69.2~85.0	37.1~44.4	193~244	68.4~83.9	38.7~46.6	193~244	68.4~83.9	38.7~46.6	193~244	68.4~83.9	38.7~46.6	7.96~9.09	
100	ISO VG100	90.0~110	402~520	104~127	50.4~60.3	356~4524	103~126	52.4~63.0	303~383	101~124	55.3~66.6	303~383	101~124	55.3~66.6	303~383	101~124	55.3~66.6	10.3~11.8	
150	ISO VG150	135~165	672~862	157~194	72.5~86.9	583~743	155~191	75.9~91.2	486~614	153~188	80.6~97.1	486~614	153~188	80.6~97.1	486~614	153~188	80.6~97.1	13.5~15.5	
220	ISO VG220	198~242	1080~1390	283~286	102~123	929~1180	230282	108~129	761~964	226~277	110~138	761~964	226~277	110~138	761~964	226~277	110~138	17.5~19.9	
320	ISO VG320	288~352	1720~2210	341~419	144~172	1460~1870	337~414	151~182	1180~1500	331~406	163~196	1180~1500	331~406	163~196	1180~1500	331~406	163~196	23.3~25.4	
460	ISO VG460	414~506	2780~3480	495~608	199~239	2290~2930	488~599	210~252	1810~2300	478~287	228~274	1810~2300	478~287	228~274	1810~2300	478~287	228~274	28.3~32.2	
680	ISO VG680	612~748	4420~5680	739~908	183~339	3700~4740	728~894	300~360	2880~3650	712~874	326~393	2880~3650	712~874	326~393	2880~3650	712~874	326~393	36.5~41.5	
1000	ISO VG1000	900~1100	7170~9230	1100~1360	400~479	5960~7640	1080~1330	425~509	4550~5780	100~1290	466~560	4550~5780	100~1290	466~560	4550~5780	100~1290	466~560	46.6~52.9	
1500	ISO VG1500	1350~1650	11900~15400	1660~2040	575~688	9850~2600	1640~2010	613~734	7390~9400	1590~1960	676~812	7390~9400	1590~1960	676~812	7390~9400	1590~1960	676~812	60.1~68.1	



a. 粘度选择 粘度是润滑油重要质量指标,是表示润滑油在一定温度下的粘稠程度,只有正确选择润滑油的粘度,才能保证机械的正常运行。一些机械所用润滑油的工作粘度列于表 27-4。

b. 粘度指数 VI 选择 粘度指数是表示润滑油粘温特性的指标,粘度指数高的润滑油,其粘温特性好,即粘度随温度的变化小。机械设备需要经常启动、停车,或者露天作业。若启动时粘度过大,会增加启动阻力,增大功率消耗,这时需要高粘度指数的润滑油,一般粘度指数分为四档,低粘度指数 VI <

35; 中粘度指数 VI=35~80; 高粘度指数 VI=80~110; 特高粘度指数 VI>110。不同粘度指数和不同温度时运动粘度见表 27-5。

2.2.1 L-AN 全损耗系统用油

L-AN 全损耗系统用油,主要适用于无特殊要求的全损耗润滑系统,不适用于循环系统润滑。L-AN 全损耗系统用油国家标准见表 27-6, L-AN 全损耗系统用油的选用见表 27-7。

表 27-6 L-AN 全损耗系统用油 (摘自 GB443-89 参照 JIS2238-83)

项 目		质 量 指 标										试验方法
品种		L-AN										
粘度等级 (按 GB 3141)		5	7	10	15	22	32	46	68	100	150	GB 265
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s		4.14~5.06	6.12~7.48	9.00~11.00	13.5~16.5	19.8~24.2	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	90.0~110	135~165	
倾点 <sup>①</sup> , C		不高于 -5										GB 3535
水溶性酸或碱		无										GB 259
中和值, mgkOH/g		报 告										GB 4945
机械杂质, %		无			0.005			0.007				GB 511
水分, %		痕 迹										GB 260
闪点 (开口), C		80	110	130	150			160	180			GB 3536
腐蚀试验 (铜片, 100 C, 3h), 级		不 大 于 1										GB 5096
色度, 号		不 大 于 2			2.5			报 告				GB 6540

注: ①当本产品用于寒区时, 其倾点指标可由供需双方协商后另订。

表 27-7 L-AN 全损耗系统用油选用

油品名称 L-AN	主 要 用 途
7	1500 r/min 以上的细纱锭子, 高速 (8000~12000 r/min) 轻负荷机械, 0.5 kW 以下的小型电机、缝纫机
10	10000~13000 r/min 细纱锭子, 轻型针织机, 高速 (5000~8000 r/min) 轻负荷机械, 5000 r/min 以上的小型电机, 皮革加工中用于鞣皮、缝纫机
15	络经机, 1500~5000 r/min 轻负荷机械, 油杯给油的小型电机, 鼓风机, 作淬火用、擦枪油和千斤顶液压油
32	中小型电机与机床, 农田作业机械与农副产品加工机械, 机床的一般液压系统, 作淬火油、滑动速度约为 0.5 m/s 的机床导轨
46	普通车床、铣床、锯床、插床、钻床、镗床、牛头刨床等, 梳棉机、拼条机, 100~400kW、1000 r/min 以下的电动机、中型回转泵、鼓风机、离心泵、摩托车
68	低速工作的重型机床, 如龙门刨床的主轴、龙门刨床的工作台导轨, 立式车床的主轴、吊车的减速齿轮, 各种蒸汽泵、蒸汽机传动部分, 中型矿山机械卷扬机, 纺织机
100	重型机床及矿山机械, 起重设备, 造纸机械设备
150	重型或超重型机床, 冶金工业制管机, 小型轧钢机

## 2.2.2 液压油

主要应用于各类机床和其他设备各种压力的液压系统。L—HL 液压油属于抗氧防锈型。L—HM 液

压油为抗磨型，HV、HS 液压油为低温液压油。液压油的国家标准见表 27-8、表 27-9、低温液压油规格见表 27-10，抗燃液压油规格见表 27-11 液压油选用见表 27-12。

表 27-8 L HL 液压油 (摘自 GB11118—89 参照 DIN51524/1—85)

项 目	质 量 指 标						试 验 方 法	
	L—HL							
粘度等级 (按 GB3141)	15	23	32	46	68	100		
运动粘度, mm <sup>2</sup> /s:							GB/T265	
0℃	不大于	140	300	420	780	1400		2560
40℃		13.5	19.8	28.8	41.4	61.2		90.0
		~	~	~	~	~	~	
100℃ <sup>b</sup>	不小于	16.5	24.2	35.2	50.6	74.8	110	
		3.2	4.1	5.0	6.1	7.8	9.9	
闪点 <sup>a</sup> (开口), °C	不低于	155	165	175	185	195	205	GB/T3536
倾点, °C	不高于	-9	-9	-6	-6	-6	-6	GB/T3535
液相锈蚀试验 (蒸馏水)		无 锈						GB/T11143
腐蚀试验 (铜片, 100℃, 3h) 级	不大于	1						GB/T5096
橡胶密封适应性指数	不大于	14	12	10	9	7	6	SH/T0305
空气释放值 (50℃), min	不大于	5	7	7	10	12	15	SH/T0308
泡沫性 (泡沫倾向/泡沫稳定性) <sup>a</sup> , ml/ml								GB/T12579
24℃	不大于	150/0						
93℃	不大于	75/0						
后 24℃	不大于	150/0						
抗乳化性 [(40—37—3) ml], min								GB/T7350
54℃	不大于	30						
82℃	不大于	— 30						
氧化安定性:		1000						SY2680
a. 酸值达 2.0mgKOH/g 的时间 <sup>a</sup> , h	不小于							SH/T0193
b. 旋转氧弹 (150℃, 压力降 175kPa), min		报 告						
灰分, %		报 告						GB/T508
中和值, mgKOH/g		报 告						GB/T4945
水分, %	不大于	痕 迹						GB/T260
机械杂质, %	不大于	0.005						GB/T511
色度, 号		报 告						GB/T6540

①当用非石蜡基原油生产本产品时, 可不控制 100℃ 运动粘度指标, 而改为粘度指数 (用 GB2541) 不小于 70 出厂。

②在本标准实施之日起二年内, 闪点指标可以用 GB/T267 测定, 但仲裁时必须用 GB/T3536 测定。

③测定泡沫性时, 只要泡沫未完全盖住油的表面, 结果报告为“0”。

④为保证项目。

表 27-9 L-HM 液压油 (摘自 GB11119—89 参照 DIN51524/2—85)

项 目	质 量 指 标				试 验 方 法	
	L-HM					
品 种						
粘度等级 (按 GB3141)	22	32	46	68		
运动粘度, mm <sup>2</sup> /s:					GB/T265	
0℃	不大于	300	420	780		1400
40℃		19.8	28.8	41.4		61.2
100℃	不小于	24.2 4.1	35.2 5.0	50.6 6.1		74.8 7.8
倾点, ℃	不高于	-15	-15	-9	-9	GB/T3535
闪点 (开口), ℃	不低于	165	175	185	195	GB/T3536
色度, 号		报 告			GB/T6540	
液相锈蚀试验 (蒸馏水)		无 锈			GB/T11143	
腐蚀试验 (铜片, 100℃, 3h), 级	不大于	1			GB/T5096	
橡胶密封适应性指数	不大于	13	12	10	8	SH/T0305
空气释放值 (50℃), min	不大于	5	6	10	10	SH/T0308
泡沫性 <sup>①</sup> (泡沫倾向/泡沫稳定性), ml/ml:					GB/T12579	
24℃	不大于	150/0				
93℃	不大于	75/0				
后 24℃	不大于	150/0				
抗乳化性 [(40-37-3) ml, 54℃], min 不大于		30			GB/T7305	
抗磨性:					SH/T0306	
a. FZG (或 CL-100) 齿轮机试验 <sup>②</sup> (A/8.3/90) 失效级	不小于	10				
b. 叶片泵试验 <sup>③</sup> (250h, 总失重), mg 不大于		150				
c. 磨损直径 (392N, 60min, 25℃), mm		报 告			SH/T0189	
氧化安定性:					SY2680	
a. 酸值达 2.0mgKOH/g 的时间 <sup>②</sup> , h 不小于		1000				
b. 旋转氧弹 (150℃, 压力降 175 kPa), min		报 告			SH/T0193	
中和值, mgKOH/g		报 告			GB/T4945	
水分, %	不大于	痕 迹			GB/T260	
机械杂质, %	不大于	无			GB/T511	

①测定泡沫性时, 只要泡沫未完全盖住油的表面, 结果报告为“0”。

②为保证项目。

③22号不要求, 但添加剂配方与其他粘度等级油相同。

表 27-10 L—HV、HS 液压油

项 目	L—HV 质量指标				L—HS 质量指标				试验方法	
	15	22	32	46	15	22	32	46		
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s ±10%	15	22	32	46	15	22	32	46	GB/T265	
达 1500mm <sup>2</sup> /s 时最高温度,℃	不高于	-33	-24	-21	-12	-39	-30	-27	-18	GB/T265
粘度指数	不小于	130	130	130	130	130	130	130	130	GB/T2541
倾点,℃	不高于	-36	-36	-36	-36	-45	-45	-45	-45	GB/T3535
闪点 (开),℃	不低于	100	140	160	160	100	140	160	160	GB/T3536
喷嘴剪切, 40℃粘度下降率, %	不大于	10	10	10	10	10	10	10	10	DIN51382
橡胶密封适应指数, %	不大于	16	14	13	11	16	14	13	11	SH/T0305
空气释放值 (50℃), min	不大于	6	6	7	10	5	6	7	10	SH/T0308
抗磨性										
FZG 齿轮机试验, 失效级	不小于			10	10			10	10	SH/T0306
叶片泵试验 (250h) 总失重, mg	不大于		150	150	150		150	150	150	SH/T0307
抗乳化性 (40—37—3mL), min										GB/T7305
54℃	不大于	30	30	30	40	30	30	30	40	
泡沫性, mL/mL										GB/T12579
24℃	不大于				100/10					
93℃	不大于				100/10					
后 24℃	不大于				100/10					
氧化安定性										SY2680
(酸值达 2.0mgKOH/g 时间), h	不小于				1000					
水分, %	不大于				痕迹					GB/T260

表 27-11 水—乙二醇抗燃液压油

项 目	WG—46	WG—38	WG—25	试验方法
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	41~51	35~40	20~25	GB/T265
粘度指数	不小于 140	140	140	GB/T2541
pH	9.0~11.0	9.0~11.0	9.0~11.0	SY2254
凝点,℃	-50	-50	-50	GB/T510
相对粘度 d <sub>40</sub> <sup>20</sup>	1.047	1.046	1.075	SY2674
气相锈蚀 (铜—铜, 50℃, 24h)	无锈	无锈	无锈	石化跳法
液相锈蚀 (A 法)	无锈	无锈	无锈	GB/T11143
铜片腐蚀	合格	合格	合格	GB/T5096
泡沫性 (24℃)				
泡高, mL	<400	<400	<400	GB/T12579
消泡时间, min	<10	<10	<10	
润滑性 (室温, 1200 r/min)				GB/T3142
P <sub>B</sub> , N	686	686	686	
d <sub>30min</sub> <sup>204N</sup> , mm	0.60	0.60	0.60	
热板抗燃试验,℃	700 通过	700 通过	700 通过	石化跳法

表 27-12 液压油选用

油 品 名 称	主 要 用 途
L-HL 液压油	适用于对润滑油无特殊要求,环境温度 0℃ 以上,各类机床的轴承、齿轮箱的润滑,以及低压循环系统(液压系统)或类似机械设备循环系统的润滑
L-HM 液压油	适用于重负荷、中压、高压的叶片泵、柱塞泵和齿轮泵的液压系统 适用于中压、高压工程机械,引进设备和车辆的液压系统,如三辊弯管机、卧式铝挤压機、隧道掘进机、履带式起重机、采煤机等液压系统
HV、HS 液压油	HV 低温液压油主要用于寒区或温度变化范围较大和工作条件苛刻的工程机械,引进设备和车辆的中、高压的液压系统 HS 低温液压油主要用于严寒地区的工程机械,引进设备和车辆的中、高压的液压系统,使用温度为 -30℃ 以下
水-乙二醇 抗燃液压油	适用于冶金、矿山、机械加工、轻工、航海、海洋开发、国防等有火灾危险和野外作业等环境下的液压系统。使用温度为 60℃ 以下

2.2.3 齿轮油

齿轮油根据用途不同,一般可分为工业齿轮油和车辆齿轮油两大类。工业齿轮油又分为闭式齿轮油、开式齿轮油和蜗轮蜗杆油。车辆齿轮油按其使用

性能分为普通车辆齿轮油、中负荷车辆齿轮油和重负荷车辆齿轮油。工业齿轮油标准见表 27-13~17。车辆齿轮油标准见表 27-18~20。工业齿轮油及车辆齿轮油的选用见表 27-21~22。

表 27-13 普通工业齿轮油 (摘自 SH0357-92)

项 目	质 量 指 标									试验方法	
	50	70	90	120	150	200	250	300	350		
运动粘度 (50℃), mm <sup>2</sup> /s	49~65	65~75	80~100	110~130	140~160	180~220	230~270	280~320	330~370	GB/T265	
闪点 (开口), ℃ 不低于	170	170	190	190	200	200	220	220	220	GB/T267	
粘度指数	实测									3	GB/T2541
倾点, ℃ 不高于	-2										GB/T3535
腐蚀(铜片, 100℃, 3h)不大于	一级										GB/T5096
水分, % 不大于	痕迹										GB/T260
残炭(加剂前), % 不大于	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	GB/T268	
机械杂质, % 不大于	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.015	0.015	0.02	0.02	GB/T511	
最大无卡咬负荷 P <sub>B</sub> , N	实测									GB/T3142	



表 27-14 中负荷工业齿轮油 (摘自 GB5903—86 参照 AGMA250.03)

项 目	质 量 指 标							试验方法
	68	100	150	220	320	460	680	
运动粘度, (40℃) mm <sup>2</sup> /s	61.2~74.8	90~110	135~165	198~242	288~352	414~506	612~748	GB/T265
粘度指数	不小于 90 (中间基油为 70)							GB/T2541
闪点 (开口), C	不低于 180			200			220	GB/T267
倾点, C	不高于			-8			-5	GB/T3535
机械杂质, %	不大于			0.02				GB/T511
水分, %	不大于			痕迹				GB/T260
铜片腐蚀, (121℃, 3h) 级	不大于			1				GB/T5096
起泡性 (泡沫倾向性/泡沫稳定性), ml								GB/T12579
24℃	不大于			75/10				
93℃	不大于			75/10				
后 24℃	不大于			75/10				
防锈试验 (15 号钢), 蒸馏水, 人工海水	不大于			无锈				GB/T11143
破乳化性 (82℃)								
油中水, %	不大于				1.0		1.0	ASTM
乳化层, ml	不大于				2.0		4.0	D2711
总分离水, ml	不小于				60		50	
氧化安定性 (95℃, 312h)								
100℃ 粘度增长, %	不大于			10				GB5004
抗擦伤能力 (OK 负荷) N(lb)	不小于			200.2(45)				SY2685
承载能力试验, 级	不小于			11				SH/T0306

表 27-15 硫磷型重负荷工业齿轮油

项 目	质 量 指 标							试验方法
	68	100	150	220	320	460	680	
运动粘度, (40℃) mm <sup>2</sup> /s	61.2~74.8	90~110	135~165	198~242	288~352	414~506	612~748	GB/T265
粘度指数	不小于 90							GB/T2541
闪点 (开口), C	不低于 180				200		220	GB/T3536
倾点, C	不高于			-8			-5	GB/T3535
机械杂质, %	不大于			0.02				GB/T511
水分, %	不大于			痕迹				GB/T260
铜片腐蚀, 100℃, 3h 级	不大于			1				GB/T5096
起泡性 (泡沫倾向性/泡沫稳定性), ml								GB/T12579
24℃	不大于			75/10				
93℃	不大于			75/10				
后 24℃	不大于			75/10				
防锈试验 A 法	不大于			无锈				GB/T11143
破乳化性 (82℃)								ASTM
乳化层, ml	不大于			1.0				D2711
分离水, ml	不小于			80				
热氧化安定性 (121℃, 312h)								SH/T0123
100℃ 粘度增长, %	不大于			6				
四球机试验, ZMZ	不小于			45				
P <sub>D</sub> , N	不小于			2450				GB/T3142
磨斑直径, mm	不大于			0.35				
Timken 试验 (合格负荷) -N	不小于			267				
CL 100 齿轮试验, 级	不小于			11				

表 27-16 L-CKE/P 蜗轮蜗杆油 (摘自 SH0094-91)

项 目	质 量					指 标					试验方法	
	一级品					合格品						
粘度等级 (按 GB3141)	220	320	460	680	1000	220	320	460	680	1000		
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	198	288	414	612	900	198	288	414	612	900	GB/T265	
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~		
	242	352	506	748	1100	242	352	506	748	1100		
闪点 (开口), C	不低于	200	200	220	220	220	180	180	180	180	180	GB/T3536
粘度指数	不小于			90					90			GB/T1995
倾点, C	不高于			-12					-6			GB/T3535
机械杂质, %	不大于			0.02					0.05			GB/T511
水分, %	不大于			痕迹					痕迹			GB/T260
中和值, mg KOH/g	不大于			1.0					1.3			GB/T4945
皂化值, mg KOH/g	不大于			25					25			GB/T8021
腐蚀试验 (铜片, 100℃, 3h), 级	不大于			1					1			GB/T5096
液相锈蚀试验 (蒸馏水)									无锈			GB/T11143
(合成海水)				无锈								
硫含量, %	不大于			1.25					1.25			SH/T0303
氯含量 <sup>①</sup>	不大于			0.03								SH/T0161
抗乳化性 (32℃, 40-37-3ml), min	不大于			60								GB/T7305
泡沫性 (泡沫倾向/泡沫稳定性), ml/ml												GB/T12579
24℃	不大于			75/10					-/300			
93.5℃	不大于			75/10					-/25			
后 24℃	不大于			75/10					-/300			
氧化安定性 <sup>②</sup> (酸值达到 2mg KOH/g 时间), h	不小于			350								GB/T12531
综合磨损指数 (1500 r/min), N	不小于			392					392			GB/T3142
剪切安定性试验 <sup>③</sup> (40℃运动粘度下降率), %	不大于			6								SH/T0263

①对矿油型, 未加含氯添加剂时可不测定含氧量。

②保证项目, 每年测一次。

③加有增粘剂的粘度级油必须测定。

表 27-17 普通开式齿轮油 (摘自 SY1232-85)

项 目	质 量 指 标					试验方法
	68	100	150	220	320	
运动粘度 (100℃), mm <sup>2</sup> /s	60~75	90~110	135~165	220~245	290~350	注
闪点 (开口), C 不低于	200	200	200	210	210	GB/T267
腐蚀 (45号钢片, 100℃, 3h)			合格			SY2620
防锈性 (蒸馏水, 15号钢)			无锈			GB/T11143
最大无卡咬负荷 P <sub>B</sub> , N 不小于			686			GB/T3142
清洁性			必须无砂子和磨料			

注: 开式齿轮油运动粘度测定方法。

表 27-18 普通车辆齿轮油 (GL-3) (摘自 SH/T0475-92)

项 目	质 量 指 标				试验方法
	80W/90	85W/90	90		
运动粘度 (100℃), mm <sup>2</sup> /s	15~19	15~19	15~19		GB/T265
表观粘度, 15 万 mPa·s, C	不高于 -26	-12			ASTMD2983
粘度指数	不小于		90		GB/T1995
倾点 C	不高于 -28	-18	-10		GB/T3535
闪点, (开口), C	不低于 170	180	190		GB/T267
水分, %	不大于	痕迹	痕迹		GB/T260
锈蚀试验 (15 号钢棒, A 法)		无锈	无锈		GB/T11143
起泡性 (泡沫倾向性/泡沫稳定性) ml					GB/T12579
24±0.5℃	不大于	100/10	100/10	100/10	
93±0.5℃	不大于	100/10	100/10	100/10	
24±0.5℃	不大于	100/10	100/10	100/10	
腐蚀 (铜片, 100℃, 3b) 级	不大于	1	1	1	GB/T5096
最大无卡咬负荷 P <sub>B</sub> , N	不大于	785	785	785	GB/T3142
糠醛或酚含量 (未加剂)		无	无	无	GB/T504
机械杂质, %	不大于	0.05	0.02	0.02	GB/T511
残炭 (未加剂)				报告	GB/T268
酸值 (未加剂), mgKOH/g				报告	GB/T4945
氯含量, %				报告	SY2657
锌含量, %				报告	SH/T0226
硫酸盐灰分, %				报告	GB/T2433

表 27-19 中负荷车辆齿轮油 (GL-4)

项 目	质 量 指 标					试验方法
	75W	80W/90	85W/90	90	85W/140	
运动粘度 (100℃), mm <sup>2</sup> /s	不小于 4.1	13.5~24.0	13.5~24.0	13.5~24.0	24.0~41.0	GB/T265
粘度指数	不小于			90		GB/T2541
闪点 (开口), C	不低于 150	165	180	180	180	GB/T3536
成沟点, C	不高于 -45	-35	-20	-17.8	-20	
表观粘度, 15 万 mPa·s, C	不高于 -40	-26	-12		-12	
机械杂质, %	不大于 0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	GB/T511
水分, %	不大于	痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	GB/T260
起泡性 (泡沫倾向性/泡沫稳定性) ml						GB/T12579
24℃	不大于	20/0	20/0	20/0	20/0	
93℃	不大于	50/0	50/0	50/0	50/0	
后 24℃	不大于	20/0	20/0	20/0	20/0	
台架性能评定	待定	待定	待定	待定	待定	

表 27-20 重负荷车辆齿轮油 (GL-5) (摘自 GB138995-92)

项 目	质 量 指 标						试验方法
	75W	80W/90	85W/90	85W/140	90	140	
粘度等级							—
运动粘度(100℃),mm <sup>2</sup> /s	≥4.1	13.5~ <24.0	13.5~ <24.0	24.0~ <41.0	13.5~ <24.0	24.0~ <41.0	GB/T265
倾点,℃	报告	报告	报告	报告	报告	报告	GB/T3535
表观粘度达 150Pa·s 时的温度,℃	不高于 -40	-26	-12	-12	—	—	GB/T11145
闪点(开),℃	不低于 150	165	165	180	180	200	GB/T3536
成沟点,℃	不高于 -45	-35	-20	-20	-17.8	-6.7	SH/T0030
粘度指数	不低于 报告	报告	报告	报告	75	75	GB/T2541
起泡性(泡沫倾向),mL							
24℃	不大于			20			
93.5℃	不大于			50			
后 24℃	不大于			20			
腐蚀试验(铜片,121℃,3h),级	不大于			3			GB/T5096
机械杂质,%	不大于			0.05			GB/T511
水分,%	不大于			痕迹			GB/T260
戊烷不溶物,%				报告			GB/T8926A 法
硫酸盐灰分,%				报告			GB2433
硫,%				报告			GB/T387、 GB/T388 GB/T11140 SH/T0172 <sup>①</sup>
磷,%				报告			SH/T0296
氮,%				报告			SH/T0224
钙,%				报告			SH/T0270 <sup>②</sup>
贮存稳定性							
液体沉淀物,(V/V) 不大于				0.5			SH/T0037
固体沉淀物,(m/m) 不大于				0.25			
锈蚀性试验 <sup>③</sup>							
盖板锈蚀面积,% 不大于				1			
齿面、轴承及其他部件锈蚀情况 不大于				无锈			SH/T0517
抗擦伤试验 <sup>④</sup>				通过			SH/T0519 <sup>⑤</sup>
承载能力试验 <sup>⑥</sup>				通过			SH/T0518 <sup>⑤</sup>
热氧化稳定性 <sup>⑦</sup>							
100℃运动粘度增长,% 不大于				100			GB/T265
戊烷不溶物,% 不大于				3			GB/T8926A 法
甲苯不溶物,% 不大于				2			GB/T8926A 法

- ①生产单位可根据添加配方不同选择适合的测定方法。
- ②如果有其他金属,应该测定并报告实测结果;允许用原子吸收光谱测定。
- ③保证项目,每五年评定一次。
- ④75W 油在进行抗擦伤试验时,程序 I (高速)在 79℃ 开始进行,程序 IV (冲击)在 93℃ 下进行开始进行。喷水冷却,最大温升不大于 5.5~8.3℃。
- ⑤75W 油在进行承载能力试验时,高速低转矩在 104℃ 下进行,低速高转矩在 93℃ 下进行。

表 27-21 工业齿轮油的选用

油 品 名 称	主 要 用 途
普通工业齿轮油	一般负荷或带有中等负荷（齿面接触应力小于 $4.9 \times 10^5 \text{kPa}$ ）条件下工作的闭式工业齿轮箱
硫磷型中负荷工业齿轮油	一般重负荷或带有冲击负荷（齿面接触应力 $4.9 \sim 10.8 \times 10^5 \text{kPa}$ ）的封闭式工业齿轮箱
硫磷型重负荷工业齿轮油	常处于边界润滑条件下操作的重负荷、高冲击力（齿面接触应力大于 $10.8 \times 10^5 \text{kPa}$ ）的封闭式工业齿轮传动装置
普通开式齿轮油	一般负荷条件下操作的开式或半封闭式齿轮箱
蜗轮蜗杆油	滑动速度大，铜—钢结构摩擦副的蜗轮蜗杆传动装置

表 27-22 车辆齿轮油的选用

油 品 名 称	主 要 用 途
普通车辆齿轮油 (GL-3)	装备有螺旋伞齿轮传动的各种汽车、拖拉机，工程机械后桥和变速箱 长城以北全年通用 80W/90；长城以南全年通用 90 或 85W/90；云南、海南可选用 85W/140
中负荷车辆齿轮油 (GL-4)	高速低转矩的小轿车、低速高转矩的载重卡车后桥双曲线齿轮传动装置和变速箱 严寒地区用 75W 号；寒区用 80W/90；长江以北全年通用 85W/90；长江以南全年通用 90 号或 85W/90。对齿轮油粘度要求较大的车辆，使用 85W/140
重负荷车辆齿轮油 (GL-5)	重负荷或高速冲击作业条件下的各种车辆后桥双曲线齿轮传动装置和变速箱 严寒地区用 75W；寒区用 80W/90；长江以北全年通用 85W/90，长江以南全年通用 90 或 85W/90

2.2.4 内燃机油

油国家标准见表 27-23~24。QD、QE 级标准见表 27-25~26，柴油机国家标准见表 27-27~29，内燃机油选用见表 27-30。

内燃机中需要润滑的机件有主轴、凸轮轴、连杆轴、齿轮、活塞销子、活塞环和汽缸内壁等。汽油机

表 27-23 L—EQB 单级汽油机油 (摘自 GB485 88)

项 目	质 量 指 标			试验方法
	20 号	30 号	40 号	
运动粘度 (100℃), $\text{mm}^2/\text{s}$	6~9.3	10~12.5	12.5~16.3	GB/T265
粘度指数	不小于 90	90	90	GB/T2541
闪点 (开口), C	不低于 185	200	210	GB/T267
倾点, C	不高于 -20	-15	-5	GB/T3535
机械杂质, %:				GB/T511
未加添加剂时	无	无	无	
加添加剂后	不大于 0.01	0.01	0.01	
水分, %	不大于 痕迹	痕迹	痕迹	GB/T260
糠醛或酚含量 (加剂前)	无	无	无	SH/T0076 或 SH/T0120
残炭 (未加添加剂时), %	不大于 0.15	0.25	0.35	GB/T268
酸值 (未加添加剂时), $\text{mgKOH/g}$	不大于 0.05	0.05	0.10	GB/T264
硫酸盐灰分, %	不小于 0.25	0.25	0.25	GB/T2433
泡沫性, ml:				GB/T12579
24±0.5℃	不大于 25/10	25/10	25/10	
93±0.5℃	不大于 150/10	150/10	150/10	
后 24±0.5℃	不大于 25/10	25/10	25/10	
清净性, 级	不大于 1.5	1.5	1.5	SH/T0269
氧化安定性总分	不大于 55	55	55	SH/T0299

表 27-24 L—EQC 汽油机油 (摘自 GB11121-89 参照 SAEJ300 84)

项 目	质 量 指 标								试验方法
	5W/20	5W/30	10W/30	15W/40	20W/10	20/20W	30	40	
运动粘度 (100℃), mm <sup>2</sup> /s	5.6~ 小于9.3	9.3~ 小于12.5	9.3~ 小于12.5	12.5~ 小于16.3	12.5~ 小于16.3	5.6~ 小于9.3	9.3~ 小于12.5	12.5~ 小于16.3	GB/T265
动力粘度, mPa·s	不大于 3500	3500	3500	3500	4500	4500	—	—	GB/T6538
℃	—25	—25	—20	—15	—10	—10	—	—	—
边界泵送温度,℃	不高于 -30	-30	-25	-20	-15	-15	—	—	GB/T9171
粘度指数	不小于 —	—	—	—	—	—	75	80	GB/T1995 或 GB/T2541
闪点 (开口) <sup>①</sup> ,℃	不低于 180	180	200	200	200	200	210	220	GB/T3536
倾点,℃	不高于 -40	-40	-32	-23	-18	-18	-15	-10	GB/T3535
沉淀物, %	不大于	0.01							GB/T6531
水分, %	不大于	痕迹							GB/T260
起泡性 (泡沫倾向/泡沫稳定性) <sup>②</sup> mL									GB/T12579
24℃	不大于	25/0							
93℃	不大于	150/0							
后 24℃	不大于	25/0							
酸值 (加剂前), mgKOH/g									GB/T264
残炭 (加剂前), %									GB/T268
硫酸盐灰分, %									GB/T2433
硫含量, %									GB/T388、 GB/T11140、 SH/T1083
磷含量, %									SH/T0296
钙含量, %									SH/T0270 <sup>③</sup>
钡含量, %									SH/T0225 <sup>③</sup>
锌含量, %									SH/T0226 <sup>③</sup>
高温氧化和轴瓦腐蚀 <sup>④</sup>									SH/T0265 <sup>⑤</sup>
轴瓦失重, mg	不大于	50							
活塞裙部漆膜评分	不小于	9.0							
粘度变化 (100℃)	在等级粘度范围内								SH/T0265 <sup>⑤</sup>
发动机试验 <sup>⑥</sup>									附录 A
低温锈蚀试验									
高温氧化和擦伤	通过								
低温油泥									

① 中国基原油和环烷基原油生产的除 5W/20 和 5W/30 外, 其他各牌号允许比标准规定内点指标低 10℃。

② 测定起泡性实验时, 只要泡沫未完全盖住油的表面, 结果报告为“0”。

③ 允许用原子吸收光谱或 SH/T0271 方法进行测定。

④ 属保证项目, 亦可用 SH/T0264 方法进行评定, 轴瓦失重指标为不大于 25mg, 如有争议时, 以 SH/T0265 方法为准, 每二年测定一次。

⑤ 属保证项目, 按 SH/T0265 方法运转 10h 后取出试样, 采用 GB/T265 方法进行测定 100℃ 运动粘度, 每四年测定一次。

⑥ 属保证项目。



表 27-25 L-EQD 汽油机油

项 目	质 量 指 标									试验方法
	10W	5W /30	10W /30	10W /40	15W /40	20W /40	20 /20W	30	40	
运动粘度(100℃), mm <sup>2</sup> /s	5.6~ <7.4	9.3~ <12.5	9.3~ <12.5	12.5~ <16.3	12.5~ <16.3	12.5~ <16.3	5.6~ <9.3	9.3~ <12.5	12.5~ <16.3	GB/T265
低温动力粘度, mPa·s	不高于 -20℃ 3500	不高于 -25℃ 3500	不高于 -20℃ 3500	不高于 -20℃ 3500	不高于 -15℃ 3500	不高于 -10℃ 4500	不高于 -10℃ 4500	—	—	GB/T6538
边界泵送温度, ℃	不高于 -25	不高于 -30	不高于 -25	不高于 -25	不高于 -20	不高于 -15	不高于 -15	—	—	GB/T9171
粘度指数	不小于 —	不小于 —	不小于 —	不小于 —	不小于 —	不小于 —	不小于 —	75	80	GB/T1995 GB/T2541
闪点 <sup>①</sup> (开口), ℃	不低于 200	不低于 180	不低于 200	不低于 200	不低于 205	不低于 205	不低于 205	不低于 210	不低于 220	GB/T3536
倾点, ℃	不高于 -32	不高于 -40	不高于 -32	不高于 -32	不高于 -23	不高于 -18	不高于 -18	不高于 -15	不高于 -10	GB/T3535
沉淀物, %	不大于	0.01							GB/T6532	
水分, %	不大于	痕迹							GB/T260	
起泡性, ml/ml									GB/T12579	
24℃	不大于	25/0								
93.5℃	不大于	150/0								
后24℃	不大于	25/0								
残炭(加剂前), %		报告							GB/T268	
酸值(加剂前)mgKOH/g		报告							GB/T264	
硫酸盐灰分, %		报告							GB/T2433 <sup>*</sup>	
磷含量, %		报告							SH/T0296	
硫含量, %		报告							GB/T387 GB/T388 GB/T11140 SH/T0183	
钙含量, %		报告							SH/T0270 <sup>②</sup>	
钼含量, %		报告							SH/T0225 <sup>②</sup>	
锌含量, %		报告							SH/T0226 <sup>②</sup>	
轴瓦腐蚀试验									SH/T0265 <sup>③</sup>	
轴瓦失重, mg	不大于	40								
活塞裙部漆膜评分	不小于	9.0								
剪切安定性		不超过牌号油规定							SH/T0265 <sup>④</sup>	
100℃运动粘度 mm <sup>2</sup> /s									GB/T265	
I B 发动机试验 <sup>⑤</sup>		通过							待定	
II B 发动机试验 <sup>⑤</sup>		通过							待定	
V B 发动机试验 <sup>⑤</sup>		通过							待定	

①中间基原油和环烷基原油生产的除 5W/30 外,其他各牌号允许比标准规定闪点指标低 10℃。

②允许用原子吸收光谱或 SH/T0309 方法进行测定。

③属保证项目,亦可用 SH/T0264 方法进行评定,指标为轴瓦失重不大于 25mg,如有争议时,以 SH/T0265 方法为准,每两年测定一次。

④属保证项目,按 SH/T0265 方法运转 10 h 后取样,采用 GB/T265 方法测定 100℃运动粘度,每两年测定一次。

⑤属保证项目。

表 27-26 L-EQE 汽油机油

项 目	质 量 指 标						试验方法
	5W/30	10W/30	15W/40	20/20W	30	40	
运动粘度(100℃),mm <sup>2</sup> /s	9.3~ <12.5	9.3~ <12.5	12.5~ <16.3	5.6~ <9.6	9.3~ <12.5	12.5~ <16.3	GB/T265
低温动力粘度,mPa·s	不大于 -25℃ 3500	不大于 -20℃ 3500	不大于 -15℃ 3500	不大于 -10℃ 4500			GB/T6538
边界泵送温度,℃	不大于 -30	不大于 -25	不大于 -20	不大于 -15			GB/T9171
粘度指数	不小于				75	80	GB/T1995
闪点(开口),℃	不低于 180	不低于 210	不低于 210	不低于 210	不低于 210	不低于 220	GB/T2541
倾点,℃	不高于 -40	不高于 -30	不高于 -23	不高于 -18	不高于 -15	不高于 -10	GB/T3536
泡沫性,ml/ml							GB/T12579
24℃	不大于		25/0				
93.5℃	不大于		150/0				
后 24℃	不大于		25/0				
沉淀物,%	不大于		0.01				GB/T6531
水分,%	不大于		痕迹				GB/T260
残炭(加剂前),%			报告				GB/T268
酸值(加剂前)mgKOH/g			报告				GB/T264
硫酸盐灰分,%			报告				GB/T2433
硫含量,%			报告				GB/T387
							GB/T388
							GB/T11140
							SH/T0183
磷含量,%			报告				SH/T0296
钙含量,%			报告				SH/0270
钼含量,%			报告				SH/T0225
锌含量,%			报告				SH/T0226
剪切安定性							SH/T0265
100℃运动粘度 mm <sup>2</sup> /s			不超过牌号油规定				GB/T265
轴瓦腐蚀试验							
轴瓦失重,mg	不大于		40				SH/T0265
活塞裙部漆膜评分	不小于		9.0				
1D 发动机试验							待定
发动机锈蚀平均评分	不小于		8.5				
挺杆粘结数			无				
11D 发动机试验							待定
粘度增长(40℃40h),%	不大于		375				
发动机平均评分(64h)							
发动机油泥	不小于		9.2				
活塞裙部漆膜	不小于		9.1				
油环台沉积物	不小于		4.0				
环粘结			无				
挺杆粘结			无				
擦伤和磨损(64h)							
凸轮或挺杆擦伤			无				
凸轮和挺杆磨损,mm							
平均值	不大于		0.102				
最大值	不大于		0.254				

超星阅读器提醒您：  
使用本阅读器时，请尊重  
原作者的知识产权！

微信搜索 超星领星球

表 27-27 L-ECA 柴油机油 (摘自 GB5323—88 参照 MIL2104A)

项 目	质 量 指 标				试验方法
	20	30	40	50	
运动粘度(100℃), mm <sup>2</sup> /s	7~9.3	10~<12.5	12.5~<16.3	16.3~<21.9	GB/T265
粘度指数 不小于	90	90	90	90	GB/T2541 或 GB/T1995
闪点(开口), °C	不低于 195	205	210	220	GB/T267
凝点, °C	不高于 -20	-15	0	0	GB/T510
机械杂质, %	不大于 0.01	0.01	0.01	0.01	GB/T511
水分	不大于 痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	GB/T260
糠醛或酚含量(加剂前)	无	无	无	无	SH/T0076 或 SH/T0120
起泡性, ml					
24±0.5℃					
泡沫倾向 不大于	25	25	25	25	
泡沫稳定性 不大于	10	10	10	10	
93±0.5℃					
泡沫倾向 不大于	150	150	150	150	GB/T12579
泡沫稳定性 不大于	10	10	10	10	
后 24±0.5℃					
泡沫倾向 不大于	25	25	25	25	
泡沫稳定性 不大于	10	10	10	10	
酸值(未加剂), mgKOH/g					GB/T264
残炭(未加剂), %					
硫酸灰分, %					GB/T2433
硫含量, %					GB/T387
磷含量, %					SH/T0296
钙含量, %					SH/T0270
钡含量, %					SH/T0225
锌含量, %					SH/T0226

表 27-28 L-ECC 柴油机油 (摘自 GB11122—89 参照 SAEJ183—84)

项 目	质 量 指 标							试验方法
	5W/30	10W/30	15W/40	20W/40	20/20W	30	40	
运动粘度(100℃) mm <sup>2</sup> /s	9.3~ <12.5	9.3~ <12.5	12.5~ <16.3	12.5~ <16.3	7.4~ <9.3	9.3~ <12.5	12.5~ <16.3	GB/T265
表观粘度 mPa·s ℃ 不大于	3500 -25	3500 -20	3500 -15	4500 -10	4500 -10	— —	— —	GB/T6538
边界泵送温度, °C 不高于	-30	-25	-20	-15	-15	—	—	GB/T9171
粘度指数 不小于	—	—	—	—	—	75	80	GB/T1995 或 GB/T2541
闪点(开口), °C 不低于 <sup>①</sup>	180	205	210	210	205	210	220	GB/T3536
倾点, °C 不高于	-40	-32	-23	-20	-18	-15	-10	GB/T3535
沉淀物, % 不大于	0.01							GB/T6531
水分, % 不大于	痕迹							GB/T260
起泡性 <sup>②</sup> , mL/mL								SY2669

续表 27-28

项 目	质 量 指 标							试 验 方 法
	5W/30	10W/30	15W/40	20W/40	20/20W	30	40	
24±0.5℃ 不大于				25/0				超星阅读器提醒您： 使用本复制品 请尊重相关知识产权！ 微信搜索：多星领星球
93±0.5℃ 不大于				150/0				
后 24±0.5℃ 不大于				25/0				
酸值(加剂前)				报告				
mgKOH/s				报告				
残炭(加剂前),%				报告				
硫酸盐灰分,%				报告				
硫含量,%				报告				
磷含量,%				报告				
钙含量 <sup>②</sup> ,%				报告				
钡含量 <sup>②</sup> ,%				报告				
锌含量 <sup>②</sup> ,%				报告				
高温氧化和轴瓦								
腐蚀试验 <sup>④</sup>								
轴瓦失重,mg 不大于				50				
活塞裙部漆膜								
评分 不小于				9.0				
剪切安定性 <sup>⑤</sup>	在等级粘度范围			—	—	—	SH/T0265	
高温清净性和抗磨性试验 <sup>⑥</sup>								
顶环槽积炭填充							GB/T9932	
体积, % 不大于				45				
加权总评分, 不大于				140				
活塞环侧向隙损失								
mm 不大于				0.013				

① 中间基原油和环烷基原油生产的各牌号允许按标准规定闪点指标低 10℃。测试方法允许用 GB/T267, 有争议时以 GB/T3536 法为仲裁。

② 测定泡沫性试验时, 只要泡沫未完全盖住油品表面, 结果报告为“0”。

③ 允许用原子吸收光谱或按 SH/T0309 方法进行测定。

④ 保证项目, 亦可用 SH/T264(皮特 W-1 法)方法进行, 轴瓦失重指标不大于 25mg, 如有争议时以 SH/0265 方法为准, 每两年测定一次。

⑤ 保证项目, 按 SH/T0265 方法运转 10h 后取出试样, 采用 GB/T265 方法测定 100℃ 运动粘度, 每四年测定一次。

⑥ 保证项目。

表 27-29 L-ECD 柴油机油 (GB 11123-89)

项 目	质 量 指 标										试 验 方 法
	10W	5W/30	10W/30	15W/30	15W/40	20W/40	20/20W	30	40		
运动粘度(100℃), mm <sup>2</sup> /s	5.6~ 小于 7.4	9.3~ 小于 12.5	9.3~ 小于 12.5	9.3~ 小于 12.5	12.5~ 小于 16.3	12.5~ 小于 16.3	7.4~ 小于 9.3	9.3~ 小于 12.5	12.5~ 小于 16.3	40	GB/T265
动力粘度, mPa·s	3500 -20	3500 -25	3500 -20	3500 -20	3500 -15	4500 -10	4500 -10	—	—	—	GB/T6538
边界泵送温度, °C	-25	-30	—	-20	-20	-15	-15	—	—	—	GB/T9171
粘度指数	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	GB/T1995 或 GB/T2541
闪点(开口), °C	200	180	205	215	215	215	215	220	230	230	GB/T3536
倾点, °C	-32	-40	-32	-23	-23	-18	-18	-15	-10	-10	GB/T3535
沉淀物, %	不大于	不大于	不大于	0.01	痕迹						GB/T6531
水分, %	不大于	不大于	不大于								GB/T260
起泡性(泡沫倾向/泡沫稳定性) <sup>②</sup>	不大于	不大于	不大于	25/0	150/0						GB/T12579
24°C				25/0							
93°C				150/0							
后 24°C				25/0							
酸值(加剂前), mgKOH/g				报告							GB/T264
残炭(加剂前), %											GB/T268
硫酸盐灰分, %											GB/T2433
硫含量, %											GB/T987, GB/T11140, SH/T0183
磷含量, %											SH/T0296
钒含量, %											SH/T0270 <sup>③</sup>
铜含量, %											SH/T0225 <sup>③</sup>
锌含量, %											SH/T0226 <sup>③</sup>
高温氧化和轴瓦腐蚀 <sup>④</sup>											SH/T0265
轴瓦失重, mg	不大于	不大于	不大于	50							SH/T0265 <sup>⑤</sup>
活塞裙部漆膜评分	不小于	不小于	不小于	9.0							GB/T9933
粘度变化(100°C)											
高温清净性和抗磨性试验 <sup>⑥</sup>											
顶环槽积炭填充体积, %	不大于	不大于	不大于	80							
加权总评分	不大于	不大于	不大于	300							
活塞环侧间隙损失, mm	不大于	不大于	不大于	0.013							

提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

蓝领星球

注：① 中间馏分油和环烷基原油生产的除 5W/30 外，其他各牌号允许比标准规定内点指标低 10°C。  
② 测定起泡性试验时，只取泡沫完全消失后的表面，结果报告为“0”。  
③ 允许用原子吸收光谱或 SH/T0309 方法进行测定。  
④ 属保证项目，亦可用 SH/T0264 方法进行评定，指标轴瓦失重不大于 25mg，如有争议时，以 SH/T0265 方法为准，每二年测定一次。  
⑤ 属保证项目，按 SH/T0265 方法运转 10h 后取出试样，采用 GB/T265 方法测定 100°C 运动粘度，每四年测定一次。  
⑥ 属保证项目。

表 27-30 内燃机油选用

油品名称	主要用途	
汽油机油	QB 级	主要用于解放 CA-10B、CA-15、跃进 134 等车辆的汽油机和小功率中、低速柴油机的润滑
	QC 级	主要用于东风 EQ-140、北京 BJ-212 或 BJ-130、南京 NJ-134、天津 TJ-133、沈阳 130、成都 130 以及引进车辆中要求使用 APISC 级汽油机油的汽油发动机
	QD 级	主要用于解放 CA141、国产小轿车或进口汽车要求使用 SD 级油的发动机
	QE 级	主要用于上海桑塔纳轿车、奥迪 100 型轿车、广州标致轻型车、天津大发以及国产微型车、进口汽车要求使用 SE 级油的汽油机
柴油机油	CA 级	只用于非增压柴油机的润滑
	CC 级	适用于低增压和中等负荷的非增压柴油机润滑
	CD 级	主要用于重负荷条件下、工作的增压柴油机、可用于目前进口的重负荷、大功率柴油车、大功率建筑工地上用及中增压柴油机的润滑

2.2.5 轴承油

压力、油浴、油雾方式进行润滑的滑动轴承或滚动轴承的润滑。主轴油的标准见表 27-31。

用于精密机床滑动轴承、主轴箱润滑及其它以

表 27-31 轴承油 (摘自 SH0017-90)

项 目 品 种 质 量 等 级	质 量 指 标										试验方法		
	L-FC												
	- 级 品												
粘度等级(按 GB3141)	2	3	5	7	10	15	22	32	46	68	100		
运动粘度(40℃), mm <sup>2</sup> /s	1.98	2.88	4.14	6.12	9.00	13.5	19.8	28.8	41.4	61.2	90	GB/T265	
	2.42	3.52	5.06	7.48	11.0	16.5	24.2	35.2	50.6	74.8	110		
粘度指数	不小于		—								报告	GB/T2541	
倾点,℃	不高于		-18				-12			-6	GB/T3535		
凝点,℃	不高于		—									GB/T510	
闪点(开口),℃	不低于		115		140		360		180			GB/T3535	
(闭口)	不低于		70	80	90						GB/T261		
中和值,mgKOH/g	报告										GB/T4945		
泡沫性(泡沫倾向/泡沫稳定性)24℃, mL/mL	不大于		100/10									GB/T12579	
腐蚀试验(铜片,100℃,3h),级	不大于		1(50℃)									1	GB/T5096
液相锈蚀试验(蒸馏水)	无锈										GB/T11143		
抗磨性:a 最大无卡咬 负荷 P <sub>B</sub> ,N	不小于		—									GB/T3142	
b 磨斑直径(196N,60min,75℃, 1500r/min),mm	不大于		—									SH/T0189	
氧化安定性:													
a. 酸值到 2.0mgKOH/g 时间,h	不小于		—				1000					GB/T12531	
b. 氧化后酸值增加,mgKOH/g	不大于		0.2		—							SH/T1096	
氧化后沉淀,%	不大于		0.02		—							(用 100℃)	



续表 27-31

项 目		质 量 指 标										试验方法							
品 种		L-FC																	
质量等级		一级品																	
橡胶密封适应性指数		报告										SH/T0305							
硫酸盐灰分,%		—										GB/T2433							
色度,号		报告										GB/T6540							
水分,%		不大于		痕迹										GB/T250					
机械杂质,%		不大于		无										0.007	GB/T511				
抗乳化性(40—37—3mL), min		报告										GB/T7305							
不大于		(粘度等级≤32用25℃, 32~68用54℃, 100用82℃)																	
项 目		质 量 指 标										试验方法							
品 种		L-FD																	
质量等级		级 品					合 格 品												
粘度等级(按GB3141)		2	3	5	7	10	15	22	2	3	5	7	10	15	22				
运动粘度(40℃), mm <sup>2</sup> /s		1.98 2.88 4.14 6.12 9.00 13.5 19.8					1.98 2.88 4.14 6.12 9.00 13.5 19.8					GB/T265							
		~ ~ ~ ~ ~					~ ~ ~ ~ ~												
		2.42 3.52 5.06 7.48 11.01 16.5 24.2					2.42 3.52 5.06 7.48 11.01 16.5 24.2												
粘度指数		不小于		报告					—					报告		GB/T2541			
倾点,℃		不高于		-12					—					—		GB/T3535			
凝点,℃		不高于		—					-15					—		GB/T510			
闪点,(开口),℃		不低于		—		115	140			—					—		GB/T3536		
(闭口)		不低于		70	80	90	—			60	70	80	90	100	110	120	—		GB/T261
中和值, mgKOH/g		报告										—		GB4945					
泡沫性(泡沫倾向/泡沫稳定性) 24℃, mL/mL		不大于		100/10										—		GB/T12579			
腐蚀试验(铜片, 100℃, 3h), 级		不大于		1(50℃)	1					1(50℃)	1					—		GB/T5096	
液相锈蚀试验(蒸馏水)		无锈										—		GB/T11143					
抗磨性:a. 最大无卡咬负荷 P <sub>B</sub> , N		不小于		—										343 392 441 490		GB/T3142			
b. 磨斑直径(196N, 60min, 75℃, 1500r/min), min		不大于		0.5										—		SH/T0189			
氧化安定性:																			
a. 酸值到 2.0mgKOH/g		时间, h		不大于		—										—		GB/T12581	
b. 氧化后酸值增加		mgKOH/g		不大于		0.2					—					0.2		SH/T1096 (用100℃)	
		氧化后沉淀,%		不大于		0.02					—					0.02			
橡胶密封适应性指数		报告										—		SH/T0805					
硫酸盐灰分,%		报告										—		GB/T2433					
色度,号		报告										报告		GB/T6540					
水分,%		不大于		痕迹										痕迹		GB/T260			
机械杂质,%		不大于		无										无		GB/T511			
抗氧化性(40—37—7ml)		min		不大于		报告(用25℃)										—		GB/T7305	

招星网  
使用本网  
请尊重

招星网  
使用本网  
请尊重

的润滑。车轴油的国家标准见表 27-32。

2.2.6 车轴油

主要用于铁路车辆的轴瓦和机车的滑板和轴承

表 27-32 车轴油 (摘自 SH0362-92)

项 目	质 量 指 标		试验方法
	冬 油	夏 油	
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	30~40	66~81	GB/T265
水溶性酸或碱	无	无	GB/T259
机械杂质, %	不大于 0.05	0.05	GB/T511
水分, %	不大于 痕迹	0.2	GB/T260
闪点 (开口), °C	不低于 145	150	GB/T267
倾点, °C	不高于 -40	-10	GB/T3555
腐蚀 (40号或50号钢片, 100℃, 3h)	合格	合格	SH/T0195
动力粘度 (-40℃, 剪切率=3/s), Pa·s	实测	—	

2.2.7 汽轮机油

滑、密封和冷却。汽轮机油抗氮型见表 27-33, 国家标准见表 27-34, 选用见表 27-35。

主要用于蒸汽涡轮机和水利涡轮机系统的润

表 27-33 抗氮汽轮机油 (摘自 SH0362-92)

项 目	质 量 指 标			试验方法
	32	32D	68	
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	28.8~35.2	28.8~35.2	61.2~74.8	GB/T265
粘度指数	不小于 90	90	90	GB/T1995 <sup>①</sup>
凝点, °C	不高于 -17	-27	-17	GB/T3535
闪点 (开口), °C	不低于 180	180	180	GB/T267
酸值, mgKOH/g	不大于 0.03	0.03	0.03	GB/T264
灰分 (加剂前), %	不大于 0.005	0.005	0.005	GB/T508
水分	无	无	无	GB/T260
机械杂质	无	无	无	GB/T511
氧化安定性 (酸值达 2.0mgKOH/g), h	不大于 1000	1000	1000	SY2685 <sup>②</sup>
抗乳化时间 (54℃), min	不大于 30	30	30	GB/T7305
液相锈蚀试验 (15号钢棒)				GB/T11143 <sup>③</sup>
蒸馏水, 24h	无锈	无锈	无锈	
抗氮性试验	合格	合格	合格	SH/T0302

- ①中间基原油生产的抗氮汽轮机油粘度指数允许不低于 70。
- ②氧化安定性和抗氮性试验作为保证项目, 每年测定一次。
- ③液相锈蚀试验、15号钢棒材质的含碳量为 0.15~0.20%。

表 27-34 L-TSA 汽轮机油 (摘自 GB11120-89)

项 目	质 量 指 标												试验方法
	优 级 品				一 级 品				合 格 品				
粘度等级 (按 GB 3141)	32 46 68 100				32 46 68 100				32 46 68 100				
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	28.8~35.2 41.4~50.6 61.2~74.8 90.0~110.0				28.8~35.2 41.4~50.6 61.2~74.8 90.0~110.0				28.8~35.2 41.4~50.6 61.2~74.8 90.0~110.0				GB/T265
粘度指数 <sup>①</sup> 不小于	90				90				90				GB/T1995
倾点 <sup>②</sup> , °C 不高于	-7				-7				-7				GB/T3535
闪点 (开口), °C 不低于	180 180 195 195				180 180 195 195				180 180 195 195				GB/T3536
密度 (20℃), kg/m <sup>3</sup>	报 告				报 告				报 告				GB/T1884 GB/T1885
酸值, mgKOH/g 不大于	—				—				0.3				GB/T264
中和值, mgKOH/g 不大于	报 告				报 告				—				GB/T4945
机械杂质	无				无				无				GB/T511
水分	无				无				无				GB/T260
破乳化值 <sup>③</sup> , (40-37-3) mL 54℃, min 不大于 82℃, min 不大于	15 15 30 30				15 15 30 30				15 15 30 30				GB/T7305
起泡性试验 <sup>④</sup> , mL/mL 24℃ 不大于 93℃ 不大于 后 24℃ 不大于	450/0 100/0 450/0				450/0 100/0 450/0				600/0 100/0 600/0				GB/T12579
氧化安定性 <sup>⑤</sup> a. 总氧化产物, % 沉淀物, % b. 氧化后酸值达 2.0mg KOH/g 时, h 不小于	报 告 报 告 3000 3000 2000 2000				报 告 报 告 2000 2000 1500 1500				— — 1500 1500 1000 1000				SH/T0124 SY2680
液相锈蚀试验 (合成海水)	无 锈												GB/T11143
铜片试验 (100℃, 3h), 级 不大于	1												GB/T5096
空气释放值 <sup>⑥</sup> , (50℃), min 不大于	5 6 8 10				5 6 8 10				—				SH/T0308

①对中间基原油生产的汽轮机油, L-TSA 合格品粘度指数允许不低于 70, 一级品粘度指数允许不低于 80。根据生产和使用实际, 经与用户协商, 可不受本标准限制。

②倾点指标, 根据生产和使用实际, 经与用户协商, 可不受本标准限制。

③作为军用时, 破乳化值由部队和生产厂双方协商。

④测起泡性试验时, 只要泡沫未完全盖住油的表面, 结果报告为“0”。

⑤氧化安定性为保证项目, 一年抽查一次。

⑥对一级品中空气释放值根据生产和使用实际, 经与用户协商可不受本标准限制。

表 27-35 汽轮机油选用

油 品 牌 号	用 于 润 滑
32	3000 r/min 以上的汽轮发电机组、汽轮压缩机、汽轮鼓风机、汽轮泵等的轴承润滑，也可以代替 32 液压油
46	2000~3000 r/min 的汽轮发电机组等的轴承和水轮机的轴承，也可以用于大型风动工具的润滑和 46 液压油的代用品
68	1000~2000 r/min 的汽轮机、水轮机轴承，或是用于船舶上有齿轮减速器的汽轮机
100	1000 r/min 以下的低速汽轮机和有齿轮减速器装置的汽轮机

福星浏览器提醒您：  
使用福星浏览器  
请尊重相关知识产权！

2.2.8 汽缸油

速、重载的重型机械上，汽缸油的国家标准见表 27-36，选用见表 27-37。

用于各种机械设备汽缸的润滑，也用在各种低

表 27-36 汽缸油 (摘自 GB447-88)

项 目	质 量 标 准		试 验 方 法
	38	52	
恩氏粘度 (100℃), °E		—	GB/T266
运动粘度 (100℃), mm <sup>2</sup> /s	32~44	49~55	GB/T265
闪点 (开口), °C	不低于 290	300	GB/T267
凝点, °C	不高于 10	10	GB/T510
酸值, mgKOH/g	不大于 —	—	GB/T264
残炭, %	不大于 2.5	3.0	GB/T268
水溶性酸或碱	无	无	GB/T259
灰分, %	不大于 0.015	0.01	GB/T508
机械杂质, %	不大于 无	0.01	GB/T511
水分, %	不大于 0.05	0.05	GB/T260

表 27-37 汽缸油选用

油品牌号	用 于 润 滑
38	1. 过热蒸汽温度在 300℃ 以下，蒸汽压力在 2940kPa 的活塞式蒸汽机 2. 作为油浴的热载体
52	1. 过热蒸汽温度为 320~400℃，蒸汽压力在 3924kPa 以下的活塞式蒸汽机 2. 作为油浴的热载体

2.2.9 压缩机油

喷油回转式空气压缩机油主要用于国产和引进的各种轻负荷喷油回转式 (螺杆式、滑片式等) 空气

压缩机的润滑。选用时是根据压缩机的负荷、排气温度和压力来确定的。喷油回转式空气压缩机油国家标准见表 27-38。

表 27-38 喷油回转式空气压缩机油 (摘自 GB5904—86 等同 ISO/DP6521/3—81)

项 目	质 量 指 标						试验方法
	15	22	32	46	68	100	
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	13.5~16.5	19.8~24.2	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	90.0~100	GB/T265
粘度指数	不小于 90	90	90	90	90	90	GB/T2541
倾点,℃	不高于 -9	-9	-9	-9	-9	-9	GB/T3535
闪点 (开口),℃	不低于 165	175	190	200	210	220	GB/T267
腐蚀 (T3 铜片, 100℃, 3h) 级	不大于 1	1	1	1	1	1	GB/T5096
抗泡沫性 (24℃), ml							GB/T12579
泡沫倾向	不大于 100	100	100	100	100	100	
泡沫稳定性	不大于 0	0	0	0	0	0	
破乳化性 (到乳化层为 3ml 的时间), min/℃	不大于 30/54	30/54	30/54	30/54	30/54	30/82	GB/T7305
防锈试验 (15 号钢棒)	无锈	无锈	无锈	无锈	无锈	无锈	GB/T11143
氧化安定性, h	不少于 1000	1000	1000	1000	1000	1000	SY2680
机械杂质, %	不大于 0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	GB/T511
水分, %	不大于 痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	GB/T260
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	无	GB/T259
残炭 (加剂前), %							GB/T268

的润滑, 冷冻机油标准见表 27-39, 选用见表 27-40。

## 2.2.10 冷冻机油

主要用于各类冷冻机的汽缸、活塞等传动部件

表 27-39 冷冻机油 (摘自 SH0349—92)

项 目	质 量 指 标					试验方法
	15	22	32	46	68	
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	13.5~16.5	19.8~24.2	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	GB/T265
闪点 (开口),℃	不低于 150	160	160	170	180	GB/T267
凝点,℃	不高于 -40	-40	-40	-40	-35	GB/T510
倾点,℃						GB/T3535
酸值, mgKOH/g	不大于 0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	GB/T264
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	GB/T259
腐蚀 (T3 铜片, 100℃, 3h) 级	不大于 1	1	1	1	1	GB/T5096
氧化安定性,						
氧化后酸值, mgKOH/g	不大于 0.05	0.2	0.05	0.10	0.10	SY2652
氧化后沉淀物, %	不大于 0.005	0.02	0.005	0.02	0.02	
机械杂质,	无	无	无	无	无	GB/T511
水分,	无	无	无	无	无	GB/T260
水分, ppm						SY2122
颜色, 号						GB/T6540
浊点 (与氟氯烷的混合液),℃	不高于		-28			SH/T0292
灰分, %	不大于 0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	GB/T508

表 27-40 冷冻机油选用

油 品 牌 号	用 于 润 滑
15	以氨或氟里昂等冷冻剂工作的小型冷冻机
22	以氨和二氧化碳等冷冻剂工作的冷冻机
32	以氨和氟里昂等为致冷剂工作的冷冻机
46	以氨和氟里昂为冷冻剂工作的冷冻机
68	以氨或氟里昂为致冷剂, 排气温度 145℃, 要求油的粘度大, 闪点高的冷冻机

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

2.2.11 食品机械润滑油

主要用于粮油食品加工中, 不直接接触食品的 润滑部位。食品机械润滑油规格见表 27-41。

表 27-41 食品机械润滑油(摘自 Q/SH039-02-001-86)

项 目	质 量 指 标							试验方法
	10	15	22	32	46	68	100	
运动粘度(40℃), mm <sup>2</sup> /s	9.0~11.0	13.5~16.5	19.8~24.2	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	90~100	GB/T265
凝点,℃ 不高于	-10	-5	-5	-5	-5	-5	-5	GB/T510
残炭,% 不大于	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15	0.15	GB/T268
灰分,% 不大于	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	GB/T508
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	无	无	GB/T259
酸值,mgKOH/g 不大于	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	GB/T264
机械杂质,% 不大于	0.005	0.005	0.005	0.007	0.007	0.007	0.007	GB/T511
水分,%	无	无	无	无	无	无	无	GB/T260
闪点(开口),℃ 不低于	125	165	170	180	180	190	200	GB/T267
腐蚀(T3 铜片, 100℃, 3h)	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	SH/T0195
紫外吸收值								SH/T0415
280~289μm 不大于	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
290~299μm 不大于	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	
300~329μm 不大于	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
330~350μm 不大于	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	

注:表中为未加添加剂的数值,加入添加剂后,允许其数值各增加 0.5。

2.2.12 真空泵油

用于各种机械真空泵的润滑和密封。真空泵油 的规格见表 27-42,选用见表 27-43。



表 27-42 真空泵油

项 目	质 量 指 标				试验方法
	32	46	68	100	
运动粘度(40℃), mm <sup>2</sup> /s	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	90~110	GB/T265
粘度指数	不低于 90	90	90	90	GB/T1995
倾点, °C	-15	-15	-15	-13	GB/T3535
闪点(开口), °C	不低于 180	190	200	200	GB/T267
酸值, mgKOH/g	不大于 0.10	0.10	0.10	0.10	GB/T264
饱和蒸汽压(25℃), 托	不大于 1×10 <sup>-5</sup>	1×10 <sup>-5</sup>	1×10 <sup>-5</sup>	1×10 <sup>-5</sup>	SY2672
抗乳化度(40-37-3), min	10	10	15		SY2683
残炭, %	不大于 0.10	0.10	0.10	0.10	GB/T268
灰分, %	无	无	无	无	GB/T508
腐蚀(铜片, 100℃, 3h)级	1	1	1	1	GB/T5096
水分, %	无	无	无	无	GB/T260
机械杂质, %	无	无	无	无	GB/T511
水溶性酸或碱	中性	中性	中性	中性	GB/T259
热安定性(170℃, 12h)	报告	报告	报告	报告	JISK(2541)
色度	不大于 1.0	1.5	2.0	3.0	GB/T6540

表 27-43 真空泵油选用

油 品 牌 号	用 于 润 滑
32	各种小型的直联真空泵和旋片式真空泵, 如 2X-1, 2X-4 旋片式真空泵等
46	各种中小型螺旋真空泵和直联真空泵, 如 2XZ-4 直联式真空泵等
68	
100	代替原 1 号真空泵油用于大型的往复式真空泵、机械增压泵和十室泵, 如 2X-30 真空泵, 2XD-2 十室泵等

## 2.2.13 变压器油

各种变压器、互感器和套管等电器设备中作绝缘和导热介质。变压器油国家标准见表 27-44, 选用见表

变压器油按凝固点分三个牌号, 10、25、45, 用于 27-45。

表 27-44 变压器油 (摘自 GB2536-90 参照 IEC296-82)

项 目	质 量 指 标			试 验 方 法	
	10	25	45		
外观	透明, 无悬浮物和机械杂质			目测 <sup>①</sup>	
密度(20℃), kg/m <sup>3</sup>	不大于	895		GB/T1884~GB/T1885	
运动粘度, mm <sup>2</sup> /s	不大于				
40℃	13	13	13	GB/T265	
-10℃	不大于	200	—		
-30℃	不大于	—	1800		
倾点, °C	不高于	-7	-22	报告	GB/T3535 <sup>②</sup>
凝点, °C	不高于	—	—	-45	GB/T510
闪点(闭口), °C	不低于	140	140	135	GB/T261
酸值, mgKOH/g	不大于	0.03		GB/T264	
腐蚀性硫	非腐蚀性			SH/T0304	
氧化安定性 <sup>③</sup>				SH/T0206	
氧化后酸值, mgKOH/g	不大于	0.2			
氧化后沉淀, %	不大于	0.05			
水溶性酸或碱	无			GB/T259	
击穿电压(间距 2.5mm, 交货时)	不小于	35		GB/T507 <sup>④⑤</sup>	

续表 27-44

项 目		质 量 指 标			试 验 方 法
		10	25	45	
介质损耗因数, (90℃)	不大于		0.005		GB/T5654
界面张力, mN/m	不小于	40	40	38	GB/T6541
水分, mg/kg	不大于		报告		SH/T0207

- ①把产品注入 100 毫升量筒中, 在 20±5℃ 下日测, 如有争议时, 按 GB/T511 测定机械杂质含量为无。
- ②以新疆原油和大港原油生产的变压油测定倾点时, 允许用定性滤纸过滤, 倾点指标, 根据生产和使用实际, 经与用户协商, 可不受本标准限制。
- ③氧化安定性为保证项目, 每年至少测定一次。
- ④击穿电压为保证项目, 每年至少测定一次, 用户使用前必须过滤并重新测定。
- ⑤测定击穿电压允许用定性滤纸过滤。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 27-45 变压器油选用

地 区 气 温	平均最低气温不低 于-10℃的地区	我国寒区及严寒 地区均可使用	严 寒 地 区
变压器油牌号	10	25	45

2.2.14 仪表油

航空、航海仪表设备的轴承、齿轮等活动部件。仪表油规格见表 27-46, 特种仪表油标准见表 27-47。

表 27-46 10 号仪表油

项 目	指 标	项 目	指 标
运动粘度(40℃), mm <sup>2</sup> /s	9~11	水 分	无
酸值, mgKOH/g 不大于	0.05	闪点(闭口), °C 不低于	125
灰分, % 不大于	0.005	凝点, °C 不高于	-60
水溶性酸碱	无	腐蚀(40号或50号铜片, 100℃, 3h)	合 格
机械杂质	无	密度(20℃), g/cm <sup>3</sup> 不大于	0.900

表 27-47 精密仪表油(摘自 SH0454-92)

项 目	质 量 指 标					试 验 方 法
	3 号	4 号	5 号	14 号	16 号	
密度(20℃), g/cm <sup>3</sup>	0.920~0.940	0.940~0.960	0.940~0.960	0.920~0.940	0.930~0.950	GB/T2540
运动粘度(50℃), mm <sup>2</sup> /s	11~14	11~14	18~23	22.5~28.5	19~25	GB/T265
闪点(开口), °C 不低于	160	160	170	170	170	GB/T267
酸值, mgKOH/g 不大于	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	GB/T264
凝点, °C 不高于	-65	-70	-70	-70	-70	GB/T510
机械杂质	无	无	无	无	无	SH0464
水分, %	无	无	无	无	无	GB/T260
腐蚀(50℃, 48h, 40号 铜片, H62黄铜片、 LY11、硬铝合金片)	合 格	合 格	合 格	合 格	合 格	SH/T0328

2.2.15 油膜轴承油

主要用于冷轧厂单机架平整机及其同类设备的油膜轴承上, 油膜轴承油的规格见表 27-48。

表 27-48 21 号油膜轴承油

项 目	质 量 指 标	试 验 方 法
运动粘度, mm <sup>2</sup> /s 50 C	144~176	GB/T265
100 C	报告	
粘度指数	不低于 90	GB/T1995
闪点 (开口), C	不低于 230	GB/T267
凝点, C	不高于 -8	GB/T510
铜片腐蚀 (100C, 3h)	合格	SH/T0195
锈蚀 (蒸馏水) 24h	无锈	GB/T11143
抗乳化 (82C), min	不大于 30	GB/T7305
酸值, mgKOH/g	不大于 0.15	GB/T264
机械杂质, %	不大于 0.01	GB/T511
水分, %	不大于 0.03	GB/T260
氧化安定性 (95C, 48h)		
粘度比	1.06	GB/T12531
酸值增加	0.5	GB/T12531

2.3 润滑脂

润滑脂的种类较多,根据用途可分为:减磨润滑脂、防护润滑脂和密封润滑脂。由于防护润滑脂与密封润滑脂应用较少,故绝大部分润滑脂属于减磨润滑脂。

使用润滑脂不需要经常加换,在摩擦面上保持性良好,可以充满空隙,因之有密封作用。润滑脂受温度影响不大,在温升高到滴点之前,粘度变化很

小,但使用温度对润滑脂的使用寿命影响较大,一般超过适用温度,则温度上升 10~15C,脂的寿命将下降  $\frac{1}{2}$ 。润滑脂具有良好的粘附性,可以防锈,有减振作用,可以降低噪声和振动。

但润滑脂流动性差,启动阻力大,机械效率低,不能起冷却作用,不能作循环润滑剂使用。润滑脂的分类,基本特性和选择的一般原则见表 27-49~50。

表 27-49 各类润滑脂的基本特性

基础油	稠化剂	滴点 C	耐热性	机械 安定性	抗水性	防锈性	最高使用 温度 C	橡 胶 相容性
石 油 滑 油	钙皂	90~100	差	好	好	一般	60	好
	钠皂	150~180	一般	一般~好	差	一般	80 或更高	
	铝皂	70~90	差	差	差	好	50	
	锂皂	170~190	好	好	好	一般~好	120 或更高	
	钙-钠皂	90~150	一般	好	一般	一般	100 或更高	
	膨润土	—	好	好	一般~好	差	130 或更高	
	复合钙皂 复合铝皂	250 以上 250 以上	好 好	一般~好 好	好 好	好 好	130 或更高 130 或更高	
酯 类 油	锂皂	170~190	好	好	一般~好	一般~好	120 或更高	差
	膨润土	—	好	好	一般~好	一般~好	150 或更高	
	有机物	250 以上	好	好	好	好	170	
硅 油	锂皂	170~200	好	好	好	好	180	好
	有机物	250 以上	好	好	好	好	200	

表 27-50 润滑脂选择的一般原则

润滑脂组成及性能		稠化剂的种类						基础油的粘度 <sup>①</sup>			锥入度			备 注
		钙 Ca	钠 Na	铝 Al	钡 Ba	锂 Li	非皂基	高	中	低	硬	中	软	
轴 承	滑 动	○	○	○	○	○	○							长时间使用的地方需要加入抗氧化添加剂
	滚 动	○	○	×	○	○	○							
环 境	与 水 接 触	○	×	○	○	○	○							钠基脂与耐水的润滑脂合并使用可以改善其耐水性
	与 化 学 药 品 接 触	×	×	×	×	×	○							有的皂基润滑脂也可使用在与化学药品接触的场所
运 转 条 件	轴 承 温 度	高	×	○	×	○	○	○	×	×	○	○	×	复合钙基润滑脂也可用在高温条件下
		中	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○	
		低	○	×	×	×	○	○	×	×	○	×	○	
	速 度 系 数 (dn 值)	大	×	○	×	○	○	○	×	○	○	○	○	复合钙基润滑脂也可用于速度系数高的场合
		小	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	
	载 荷	大	×	○	○	○	○	×	○	×	×	○	○	复合钙基润滑脂也可用于载荷大的场合。有些场合必须加极压添加剂
小		○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○	
冲 击 载 荷		×	○	○	○	○	×	○	×	×	○	○	×	复合钙基润滑脂也可用,要选择粘附性强的润滑脂
供 脂 方 法	手 涂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	
	脂 杯	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	脂 枪	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○	
	集 中 润 滑	○	×	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○	

○ 可以使用; × 避免使用。

① 一般除粘度以外, 还须考虑原油种类及精制程度等因素。

### 2.3.1 钙基润滑脂

主要用于汽车、拖拉机、纺织机械、农业机械和各种工业机械设备的滚动轴承和易水或潮气接触部位的润滑。使用温度范围为-10~60℃, 转速在3000 r/min 以下的滚动轴承一般都可使用。

1号输送性能好, 适用于集中供脂系统, 2号适用于一般中转速、轻负荷、中小型机械的滚动轴承、汽车、拖拉机的轮毂轴承和各种农业机械的润滑部位。3号适用于中负荷、中转速的各种中型机械设备的滚动轴承的润滑, 4号适用于重负荷、低转速的重型机械设备。钙基润滑脂国家标准见表 27-51。

蓝领星球提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

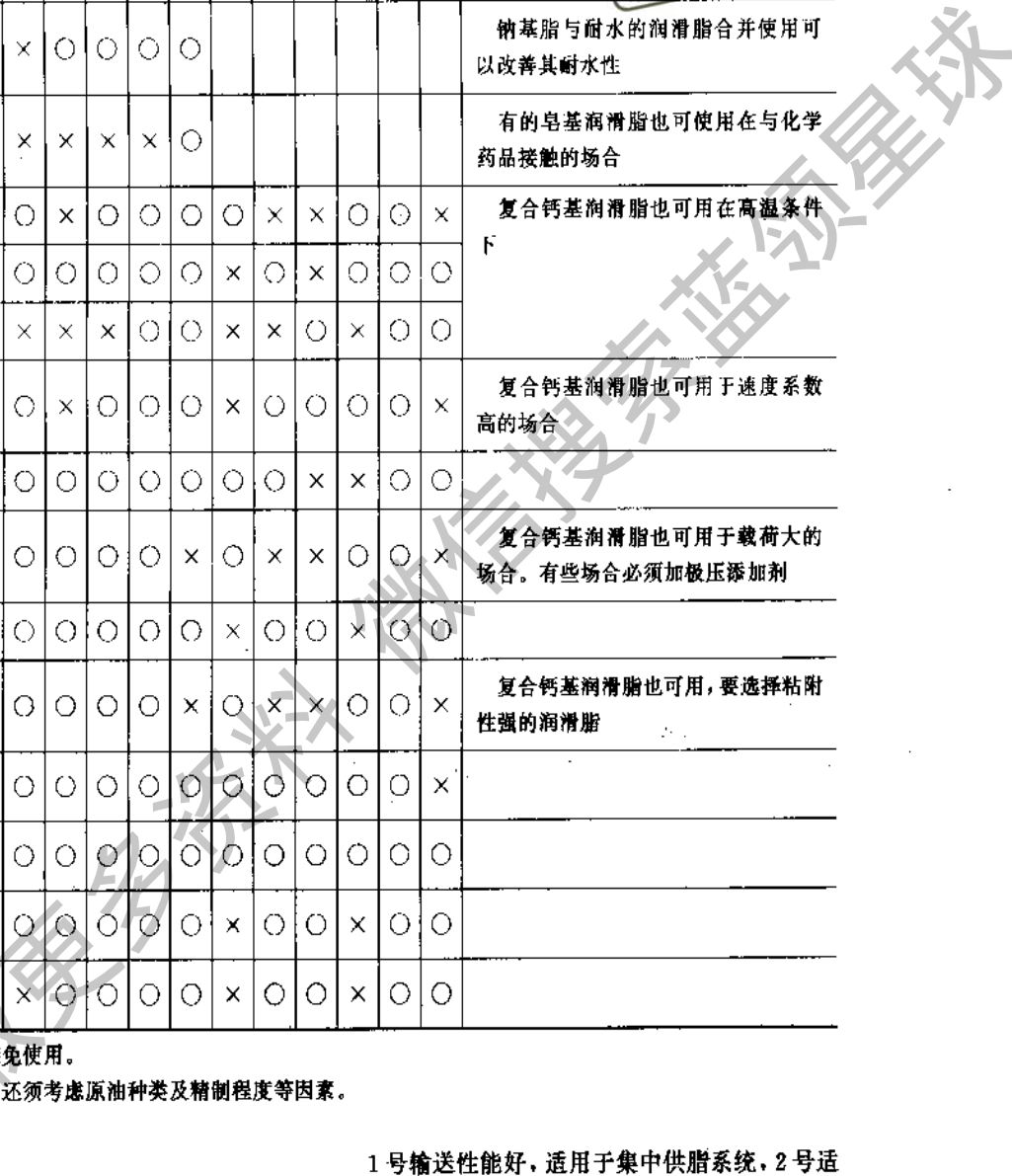


表 27-51 钙基润滑脂 (摘自 GB491—87 参照 JIS K2220—80)

项 目	质 量 指 标				试验方法
	1 号	2 号	3 号	4 号	
外观	淡黄色至暗褐色油膏				目测
工作锥入度, 1/10mm	310~340	265~295	220~250	175~205	GB/T269
滴点, °C	不低于 80	85	90	95	GB/T4929
腐蚀 (T3 铜片, 24h)	铜片上没有绿色或黑色变化				GB/T7326
水分, %	不大于 1.5	2.0	2.5	3.0	GB/T512
钢网分油量 (60°C, 24h), %	—	12	8	6	SH/T0327
灰分, %	不大于 3.0	3.5	4.0	4.5	SH/T2729
延长工作锥入度, 1 万次与工作锥入度差值, 1/10mm	—	30	35	40	GB/T269
水淋流失量 (38°C, 1h), %	—	—	10	—	SH/T0109 及①
矿物油粘度 (40°C), mm <sup>2</sup> /s	28.8~74.8				GB/T265

①水淋后, 轴承烘干条件为 77±6°C, 16h。

### 2.3.2 石墨钙基润滑脂

是一种良好的润滑剂和填充剂, 抗水性和对金属表面的粘附性较好, 适用于工作温度在 60°C 以下

的压延机人字齿轮、起重机齿轮转盘、绞车齿轮、矿山机械、吊车、汽车钢板弹簧、钢丝绳索、升降机的滑板及其它粗糙、重负荷的摩擦部位。石墨钙基润滑脂标准见表 27-52。

表 27-52 石墨钙基润滑脂 (摘自 SH0369—92)

项 目	质 量 指 标	试 验 方 法
外观	黑色均匀油膏	目测
滴点, °C	不低于 80	GB/T4929
腐蚀 (铜片, 100°C, 3h)	合格	SH/T0331 及①
水分, %	不大于 2	GB/T512
安定性	合格	②③

①腐蚀试验用含碳 0.4~0.5% 的铜片进行。

②在密闭的玻璃容器中保存一个月无油析出。

③当验收时, 安定性指标为生产厂保证项目无需检查。

### 2.3.3 无水钙基润滑脂

适用于寒区, 严寒地区汽车轮毂轴承、底盘、电

机轴承、风机轴承和水泵轴承等处的润滑。使用温度为 -45~100°C。无水钙基润滑脂规格见表 27-53。

表 27-53 无水钙基润滑脂

项 目	质 量 指 标	试 验 方 法
工作锥入度, 1/10mm	265~295	GB/T269
滴点, °C	不低于 138	GB/T270
腐蚀 (铜片, 100°C, 3h)	合格	SH/T0331
压力分油 (9.8N), %	不大于 25	GB/T392
蒸发损失 (99°C, 22h), %	不大于 10	GB/T7325
抗水性 (加水 10%, 10 万次剪切)		GB/T269
锥入度, 1/10mm	增大 60	
减小 25		
相似粘度 (-40°C, $\bar{D}=10s^{-1}$ )		SH/T0048
Pa·s (P)	不大于 1800 (18000)	

2.3.4 钠基润滑脂

适用温度为-10~110℃, 如中型电动机、发电机轴承和汽车、拖拉机、轮毂轴承等。

适用于工业、农业机械设备的润滑。2号、3号

钠基润滑脂国家标准见表 27-54。

表 27-54 钠基润滑脂 (摘自 GB429-89 参照 JIS K2220-84)

项 目	质 量 指 标			试 验 方 法
	ZN-2	ZN-3	ZN-4	
外观	深黄色到暗褐色均匀油膏			目测
滴点, C	不低于 140	140	150	GB/T4929
工作锥入度, 1/10mm	265~295	220~250	175~205	GB/T269
水分, %	不大于 0.4	0.4	0.4	GB/T512
游离碱, NaOH%	不大于 0.2	0.2	0.2	SH/T0329
游离有机酸	无	无	无	SH/T0329
灰分, %	不大于 4.0	4.5	5.5	SH/T0327
机械杂质 (酸分解法)	无	无	无	GB/T513 <sup>②</sup>
腐蚀 (钢片, 铜片, 100℃, 3h)	合格	合格	合格	SH/T0331 <sup>①</sup>
安定性 <sup>③</sup>	合格	合格	合格	

① 腐蚀性试验用含碳 0.4~0.5% 的钢片和 T3 铜片。

② 机械杂质中不许有砂粒。

③ 安定性试验, 用刮刀将待试验的润滑脂分别装入二个马口铁盒 [50mm×100mm×100 (高) mm] 内, 仔细刮平表面, 盖紧, 然后, 把一个铁盒放在温度为 75±5℃ 的恒温箱内, 保持 6h, 另一个铁盒置于黑暗处, 在温度为 20~25℃ 下, 保持 6h, 试验结束后, 在光亮处比较两个盒内的润滑脂试样, 如经加热的润滑脂有分层现象, 不呈现强烈弹性和胶皮状, 表面上没有形成用手可感到的硬膜, 颜色较第二盒润滑脂仅稍为变深, 即可为合格。

1号适用于工作温度在 85℃ 以下。

2号适用于工作温度在 100℃ 以下。

2.3.5 钙钠基润滑脂

适用于各种类型的电动机、发电机、鼓风机、铁路机车、汽车以及其他机械设备滚动轴承的润滑。

钙钠基润滑脂标准见表 27-55。

表 27-55 钙钠基润滑脂 (摘自 SH0368-92)

项 目	质 量 指 标		试 验 方 法
	1 号	2 号	
外观	由黄色到深棕色的均匀软膏		目测
工作锥入度 (25℃, 150g), 1/10mm	250~290	200~240	GB/T269
滴点, C	不低于 120	135	GB/T4929
腐蚀 (40 或 50 号钢片, 59 号黄铜片, 100℃, 3h)	合 格		SH/T0331
水分, %	不大于 0.7		GB/T512
游离碱, NaOH%	不大于 0.2		SH/T0329
游离有机酸	无		SH/T0329
机械杂质 (酸分解法)	无		GB/T513
矿物油粘度 (50℃), mm <sup>2</sup> /s	27~43		GB/T265

1号适用于集中供脂系统。

2号适用于中速、中负荷的设备, 如中小型电机、水泵和鼓风机等。

3号适用于矿山机械、汽车、拖拉机和大中型电机等设备。

2.3.6 通用锂基润滑脂

通用锂基润滑脂为寿命长, 通用多效能的润滑脂, 是钠基、钙基和钙钠基润滑脂的换代产品。广泛适用于-20~120℃ 温度范围内的各种机械设备的滚动轴承和滑动轴承以及其他部位的润滑。

通用锂基润滑脂国家标准见表 27-56。





表 27-56 通用锂基润滑脂 (摘自 GB7324--87 参照 JIS K2220—84)

项 目	质量 指 标			试 验 方 法
	1 号	2 号	3 号	
外观	均匀光滑油膏			目测
工作锥入度, 1/10mm	310~340	265~295	220~250	GB/T269
滴点, °C	不低于 170	175	180	GB/T4929
腐蚀 (T3 铜片, 100°C, 24h)	铜片无绿色或黑色变化			GB/T7326 乙法
钢网分油量 (100°C, 24h), %	不大于 10	7	5	SY2729
蒸发损失 (99°C, 22h), %	不大于	2.0		GB/T7326
显微镜杂质, 个/cm <sup>3</sup>				SH/T0336
10μm 以上	不大于	5000		
25μm 以上	不大于	3000		
75μm 以上	不大于	500		
125μm 以上	不大于	0		
延长工作锥入度, 1/10mm				GB/T269
10 万次	不大于 390	360	330	
相似粘度 (-15°C, 10s <sup>-1</sup> )	不大于 800	1000	1500	SH/T0048
Pa·s (P)	(8000)	(10000)	(15000)	
水淋流失量 (38°C, 1h), %	不大于	10		SH/T0109
氧化安定性 (99°C, 100h, 78.5×10 <sup>4</sup> Pa)				SY0335
压力降 Pa	不大于	3.92×10 <sup>4</sup>		
防腐蚀性, 级,	不低于	1		GB/T5018

## 2.3.7 汽车通用锂基润滑脂

适用于-30~120°C温度范围内, 汽车轮毂轴承、底盘、水泵等处的润滑。也可用于坦克的负重轮

和诱导轮处轴承的润滑。具有良好的抗水性和防锈性能, 可使用在潮湿和与水接触的部件上。汽车通用锂基润滑脂国家标准见表 27-57。

表 27-57 汽车通用锂基润滑脂 (摘自 GB5671—85 参照 JIS2220—80)

项 目	质量 指 标	试 验 方 法
工作锥入度, 1/10mm	265~295	GB/T269
滴点, °C	不低于 180	GB/T4929
腐蚀 (紫铜片, 100°C, 3h)	合 格	SH/T0331
游离碱, NaOH%	不大于 0.15	SH/T0329
钢网分油 (100°C, 3h), %	不大于 5.0	SY2729
蒸发损失 (99°C, 22h), %	不大于 2.0	本规格附录 A
机械杂质, 个/cm <sup>3</sup>		SH/T0336
10μm 以上	小于 5000	
25μm 以上	小于 3000	
75μm 以上	小于 500	
125μm 以上	小于 0	
相似粘度 (-20°C, $\bar{D}=10s^{-1}$ )	1500	SH/T0048
Pa·s (P)	不大于 (15000)	GB/T269
耐水性 (工作 10 万次, 加水 10%), 工作锥入度, 1/10mm	不大于 375	
漏失量 (104°C, 6h), g	小于 5.0	本规格附录 B
氧化安定性 (100°C, 100h, 784.5kPa)		
kPa	不大于 29.4	SH/T0335
剪切安定性 (10 万次与 60 次工作锥入度差值)	不大于 50	GB/T269
防锈性 (52°C, 48h, 相对湿度 100%) 级	1	GB/T5018

2.3.8 半流体锂基润滑脂

型机械集中润滑, 以及齿轮箱、蜗轮副等传动装置。  
使用温度范围为 -30~120℃, 规格见表 27-

非极压型适用于矿山机械、建筑机械、重型机械 58。  
等大型设备的集中润滑系统。极压型适用于各种重

表 27-58 半流体锂基润滑脂

项 目	非 极 压 型			极 压 型			试验方法
	0 号	00 号	000 号	0 号	00 号	000 号	
工作锥入度 (25℃, 150g), 1/10mm	355~385	400~430	445~475	355~385	400~430	445~475	GB/T269
滴点, ℃	不低于 170	165	150	170	165	150	GB/T4929
腐蚀 (铜片, 100℃, 24h)		合格			合格		SH/T0331
蒸发损失 (99℃, 22h)%	不大于	2.0			2.0		GB/T7325
机械杂质, 个/cm <sup>3</sup>							SH/T0336
0.025~0.075mm	不大于	3000			3000		
0.075~0.125mm	不大于	500			500		
>0.125mm		0			0		
相似粘度 (-10℃, $\bar{D}-10s^{-1}$ )							SH/T0048
Pa·s (P)	不大于	150 (1500)			150 (1500)		
轴承防锈 (52℃, 48h)		合格			合格		GB/T5018
梯姆肯 OK 值, N	不小于	—			133.6		SY2685

2.3.9 合成锂基润滑脂

2号适用于中速、中负荷的机械设备。

3号适用于矿山机械、汽车、拖拉机、大中型电机等设备。

是一种寿命长、用途广的润滑脂, 适用于工作温度在 -20~120℃ 温度范围内各种机械设备摩擦部位的润滑。广泛使用在高温、高速、与水接触的部件上, 能长期在 120℃ 左右的环境中使用。

4号适用于脂易流失的重负荷、低速的滑动轴承。

合成锂基润滑脂标准见表 27-59。

1号适用于集中供脂系统。

表 27-59 合成锂基润滑脂 (摘自 SH0380 92)

项 目	质 量 指 标				试验方法	
	1 号	2 号	3 号	4 号		
外观	浅褐色至暗褐色均匀软膏				目测	
工作锥入度, 1/10mm						
60 次	310~340	265~295	220~250	175~205	GB/T269	
1 万次	不大于 370	340	295	265	GB/T2360	
滴点, ℃	不大于 170	175	180	185	GB/T4929	
腐蚀试验 (T3 铜片, 100℃, 3h)		合 格			SH/T0331	
水分, %	不大于	痕 迹			GB/T512	
游离碱, NaOH%	不大于	0.1		0.15	SH/T0329	
压力分油, %	不大于	14	12	10	8	GB/T392
机械杂质 (酸分解法)		无			GB/T513	
氧化安定性 (100℃, 784.5kPa, 100h) 压力降 kPa	不大于	49.0			SH/T0335	

2.3.10 复合钙基润滑脂

机干燥室、塑料、橡胶加垫辊轴承, 以及轧钢设备和炉前设备等。一般常用的是 2 号或 3 号润滑脂。复合钙基润滑脂标准见表 27-60。

是一种高温润滑脂, 适用于工作温度 120~150℃ 温度范围内部件的润滑, 如染色干燥室、造纸

表 27-60 复合钙基润滑脂 (摘自 SH0370-92)

项 目	质 量 指 标				试验方法
	ZFG-1	ZFG-2	ZFG-3	ZFG-4	
外观	浅黄色到暗褐色均匀无块状油膏				目测及①
工作锥入度 (25℃, 150g) 1/10mm	310~340	265~295	220~250	175~205	GB/T269
滴点,℃	不低于 180	200	220	240	GB/T4929
腐蚀 (铜片, 黄铜片, 100℃, 3h)	合 格				SH/T0331 及②
水分, %	痕 迹				GB/T512
游离碱, NaOH%	0.2				SH/T0329
游离有机酸	无				SH/T0329
压力分油, %	13	10	7	5	GB/T392
表面硬化试验 (50℃, 24h) 1/4 锥入度差, 1/10mm	35	30	25	20	本规格附录
机械杂质 (酸分解法)	无				GB/T513

①在玻璃片上涂沫厚 1~2mm 的润滑脂层, 对光检查。

②腐蚀试验用 40、45 或 50 号钢片及含铜 57~61% 的黄铜片进行。

2.3.11 复合铝基润滑脂

结机等传送系统设备的润滑。

1 号用于高温并有集中供脂系统。

2 号用于设有集中供脂系统。

适用于冶金、化学、造纸和其它工业, 在高温、高湿的条件下的机械设备的润滑。如大型轧钢机、烧

复合铝基润滑脂规格见表 27-61。

表 27-61 复合铝基润滑脂

项 目	质 量 指 标		试 验 方 法
	1 号	2 号	
工作锥入度, 1/10mm	310~340	265~295	GB/T269
滴点,℃	不低于 235		GB/T3498
腐蚀 (紫铜片, 100℃, 24h)	不大于	合格	GB/T7326 乙法
钢网分油 (100℃, 24h), %	不大于 10		SY2729
蒸发损失 (99℃, 22h), %	不大于 1		GB/T7325
机械杂质, 个/cm <sup>2</sup>			GB/T513
25μm 以上	不大于 3000		
75μm 以上	不大于 500		
125μm 以上	不大于 0		
延长工作锥入度 (10 万次) 1/10mm	400	375	GB/T269
相似粘度 (-10℃, $\bar{D}=10s^{-1}$ ) Pa·s (P)	350 (3500)	600 (6000)	SH/T0048
水淋流失量 (38℃, 24h), %	不大于 20		SH/T0109
氧化安定性 (100℃, 24h) 压力降 kPa	不大于 68.7		SY2715

2.3.12 复合锂基润滑脂

备上滚动轴承的润滑。如轧机、链条、印染设备等，长期使用可达 180℃。复合锂基润滑脂规格见表 27-62。  
适用于长期在 -20~150℃ 温度范围内机械设

表 27-62 复合锂基润滑脂

项 目	质量指标	试验方法
微锥入度, 1/10mm	62~75	SY2724
滴点, C	不低于 260	GB/T3498
腐蚀试验 (100 C, 3h, T2 铜片)	合格	SH/T0331
压力分油, %	不大于 16	GB/T392
蒸发度 (180 C), %	不大于 5	SY2723
机械杂质, 个数/cm <sup>3</sup>		SH/T0336
直径 > 0.025mm	不大于 5000	
直径 ≥ 0.075mm	不大于 1000	
直径 ≥ 0.125mm	无	
相似粘度 (-20℃, $\bar{D}=10s^{-1}$ ), Pa·s	不大于 150	SH/T0048
氧化试验 (100℃, 100h, 785.5kPa)		SH/T0335
压力降, kPa	不大于 34.3	

2.3.13 GB-4 润滑脂

接点、惰轮等部位及其相似部件的润滑，使用温度为 -30~120℃。对塑料和金属不腐蚀，而且粘附性好。

是录音机芯专用脂，适用于塑料和金属机芯的 GB-4 润滑脂规格见表 27-63。

表 27-63 GB-4 润滑脂

项 目	质量指标	试验方法
外观	淡褐色均匀油膏	目测
微锥入度 (25℃, 60 次), 1/10mm	70~90	SY2724
滴点, C	不低于 180	GB/T3498
腐蚀 (电解铜片, 100℃, 24h)	合格	GB/T7326 乙法
蒸发度 (100℃, 1h), %	不大于 1.0	SH/T0337
相似粘度 (-20℃, $\bar{D}=10s^{-1}$ ), Pa·s (P)	不大于 500 (5000)	SH/T0048

2.3.14 二硫化钼极压锂基润滑脂

的重载部位。此种润滑脂具有突出的极压抗磨性能，能有效的防止部件的胶合。适用温度范围为 -30~120℃。二硫化钼极压锂基润滑脂规格见表 27-64。

适用于冶金机械、矿山机械、重型起重机械以及汽车等重负荷齿轮和轴承的润滑，用于有冲击负荷

表 27-64 二硫化钼极压锂基润滑脂

项 目	质 量 指 标			试验方法	
	0号	1号	2号		
外观	黑色均匀软膏			目测 超星网提醒您： 使用本网制品 请尊重相关知识产权！	
工作锥入度，1/10mm	355~385	310~340	265~295		
滴点，℃	不低于	170		GB/T269 GB/T4929	
腐蚀 (T <sub>2</sub> 铜片，100℃，24h)	铜片无绿色或黑色变化			GB/T7326 乙法	
钢网分油量 (100℃，24h)，%	不大于	10	5	SH/T0324	
蒸发损失 (99℃，22h)，%	不大于	2.0		GB/T7325	
延长工作锥入度 (十万次)，1/10mm	不大于	430	400	375	
相似粘度 (-10℃， $\bar{D}=10s^{-1}$ ) Pa·s	不大于	150	250	500	SH/T0048
水淋流失量 (38℃，1h)，%	不大于	—	20	10	SH/T0109
防腐蚀性，级	不大于	—	1		GB/T5018
抗擦伤能力 (梯姆肯法) OK 值，N	不低于	156		SY2685	
四球试验烧结负荷 P <sub>D</sub> ，N		报告		GB/T3142	

2.3.15 极压锂基润滑脂 备及齿轮、轴承的润滑。适用温度范围-20~120℃，0号、1号脂可用于集中润滑系统。极压锂基润滑脂适用于压延机、锻造机、减速机等高负荷机械设 国家标准见表 27-65。

表 27-65 极压锂基润滑脂 (摘自 GB7323-87 参照 JIS K2220-84)

项 目	质 量 指 标			试验方法	
	0号	1号	2号		
工作锥入度，1/10mm	355~385	310~340	265~295	GB/T269	
滴点，℃	不低于	170	170	170	GB/T4929
腐蚀 (T <sub>2</sub> 铜片，100℃，24h)	合格	合格	合格	GB/T7326，乙法	
钢网分油量 (100℃，24h)，%	不大于	10	5	SY2729	
蒸发量 (99℃，22h)，%	不大于	2.0		GB/T7325	
显微镜杂质，个/cm <sup>2</sup>				SH/T0336	
25μm 以上	不大于	3000	3000	3000	
75μm 以上	不大于	500	500	500	
125μm 以上	不大于	0	0	0	
相似粘度 (-10℃， $D=10^{-1}$ ) Pa·s (P)	不大于	150 (1500)	250 (2500)	500 (5000)	SH/T0048
延长工作锥入度 (10 万次)，1/10mm	不大于	420	390	360	GB/T269
水淋流失量 (38℃，1h)，%	不大于	—	20	10	SH/T0109
防腐蚀性，级	不低于	1	1	1	GB/T5018
抗擦伤能力 (梯姆肯法) OK 值，N	不小于	156.8	156.8	156.8	SY2685 及注
最大无卡咬负荷 P <sub>B</sub> ，N	不小于	588	588	588	GB/T3142

注：采用专门的润滑脂进样装置。

2.3.16 MH—MoS<sub>2</sub> 特种润滑块

适用于耐火材料、水泥、陶瓷、有色金属等行业

重负荷、低速的球磨机滑动轴承的润滑,能解决滑动轴承装置漏油问题。MH—MoS<sub>2</sub> 特种润滑块规格见表 27-66。

表 27-66 MH—MoS<sub>2</sub> 特种润滑块

项 目	质 量 指 标		试 验 方 法
	MH-1	MH-2	
外观	黑灰色光亮固体块状		目测
锥入度, 1/10mm	25~45	35~55	GB/T269
滴点, °C	不低于 185	185	GB/T270
腐蚀 (钢片, 100°C, 3h)	合格	合格	SH/T0331
P <sub>B</sub> (1500 r/min, 常温) N	—	588	GB/T3142

2.3.17 HG 高温窑车润滑脂

是陶瓷、耐火材料等行业高温窑车的专用润滑脂。适用于高温 (250°C 以下)、低速、重负荷和长期

连续运转的隧道窑车轴承的润滑。也适用于类似恶劣条件下设备,如钢厂、化工厂等高温润滑部件。HG 高温窑车润滑脂规格见表 27-67。

表 27-67 HG 高温窑车润滑脂

项 目	质 量 指 标	试 验 方 法
1/4 锥入度 (25°C, 60 次), 1/10mm	52~67	GB/T5017
滴点, °C	不低于 300	GB/T3498
腐蚀 (45 号钢片, 100°C, 3h)	合格	SH/T0331
钢网分油 (100°C, 30h), %	不大于 5	SY2729
蒸发度 (250°C, 1h), %	不大于 10	SY2723

2.3.18 7014—1 号高温润滑脂

适用于高温下工作的各种滚动轴承的润滑,也

可用于一般滑动轴承和齿轮的润滑。使用温度范围为 -40~200°C。7014—1 号高温润滑脂国家标准见表 27-68。

表 27-68 7014—1 号高温润滑脂 (GB11124—89)

项 目	质 量 指 标	试 验 方 法
外观	黄色至浅褐色光滑均匀油膏	目测
$\frac{1}{4}$ 工作锥入度, $\frac{1}{10}$ mm	62~75	GB/T5017
滴点, °C	不低于 280	GB/T3498
分油量, %	不大于	
压力法	15	GB/T392 <sup>①</sup>
钢网法	15	SY2729
蒸发损失, %	不大于	
200°C, 1h	5	SY2723
204°C, 22h	10	GB/T7325 <sup>②</sup>
腐蚀 (45 号钢, 100°C 3h)	合格	SH/T0331 <sup>③</sup>

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆



续表 27-68

项 目	质量指标	试验方法
氧化安定性(121℃, 100h, 0.78MPa 氧压)压力降, MPa	不大于 0.034	SY2715
抗水淋性 (38±3℃), %	不大于 10	SH/T0109
延长工作锥入度 (10万次), $\frac{1}{10}$ mm	不大于 375	GB/T269
相似粘度 (-40℃, $D=10s^{-1}$ ), Pa·s (P)	不大于 1500 (15000)	SY2720
机械杂质, 个数/cm <sup>3</sup> 直径 25~74μm 直径 75~124μm 直径大于等于 125μm	不多于 5000 不多于 1000 无	SH/T0048 <sup>②</sup>
高温性能 (177±3℃, 10000r/min, 轴向负荷 22-24N, 径向负荷 13.34N)		ZB E 36018
轴承寿命, h	报告	
贮存安定性(38±3℃, 6个月)工作锥入度变化, $\frac{1}{10}$ mm 外观	不大于 30 允许轻微分油	SY4028

①其中之一指标合格均可, 发生争议时, 分别以SY2729和GB/T7325测定结果为准。

②金属片尺寸为 25mm×25mm×3mm, 烧杯容积为 50mL。

③无磨蚀性颗粒, 在由平均试样制备的十个试片中发现大于等于 125μm 的颗粒多于二颗粒时, 则此批产品为不合格。

2.3.19 低温润滑脂

机和仪表的滚动轴承以及雷达天线的润滑, 使用温度范围为 -70~120℃。

7011号适用于飞机上的重负荷齿轮等传动部件的润滑, 也可用于工业设备上的重负荷齿轮、蜗杆传动装置的润滑。使用温度范围为 -60~120℃。

7026号适用于严寒地区使用的各种汽车的轮毂、水泵、电机等轴承以及底盘和操纵机构等部件的润滑, 使用温度范围为 -45~110℃。

7012号适用于在极低温条件下工作的各种电

低温润滑脂规格见表 27-69。

表 27-69 低温润滑脂

项 目	质量指标			试验方法
	7011号 低温极压脂	7012号 极低温脂	7026号 低温脂	
外观	黑色均匀油膏	淡灰色至淡褐色均匀油膏	—	目测
滴点, ℃	不低于 160	160	150	GB/T270
微锥入度, 1/10mm	55~76	65~80	255~285 (锥入度)	SY2724
腐蚀 (T3铜片, 100℃, 3h)	合格	合格	—	SH/T0331
防锈性	最大	—	二级	
分油量 (压力法)	不大于 25	30	12.0	GB/T392
(钢网法)	不大于	—	3.0	

续表 27-69

项 目		质 量 指 标			试验方法
		7011 号 低温极压脂	7012 号 极低温脂	7026 低温脂	
相似粘度 (10s <sup>-1</sup> Pa·s (P))	不大于	1100 (11000) [-50℃]	1500 (15000) [-70℃]	1700 (17000) [-45℃]	SH/T0048
蒸发度 (120℃)	不大于	2.0	2.0	7.0 (100℃)	SY2723
氧化安定性 (784.5kPa) 氧压下, 100℃, 100h) 压力降 kPa	不大于	34.3	34.3	34.3	SH/T0335
四球试验 (常温)					SY2665
综合磨损值 (ZMZ), N	不小于	490	—	274.4	
机械杂质, 个数/cm <sup>3</sup>					SH/T0336
直径大于等于 0.025mm	不多于	—	5000	—	
直径大于等于 0.075mm	不多于	—	1000	—	
直径大于等于 0.125mm		—	无	—	
耐水性, 锥入度增加值, 1/10mm	不多于	—	—	60	
磨损防护性, mm	不大于	—	—	0.70	
滚筒安定性, 锥入度增加值, 1/10mm	不大于	—	—	60	GB/T2359
(50℃, 4h) 锥入度变化, 1/10mm		测定	测定	—	

2.3.20 轴承润滑脂

7001 号适用于轻负荷电机和仪表的滚动轴承的润滑, 使用温度范围为-60~180℃。

7016-1 号适用于各种航空和航海仪表中高速精密滚动轴承的润滑, 也适用于航空发动机、电动机的滚动轴承以及在高温高速下运转的其他滚动轴承。使用温度范围为-60~200℃。

7018 号适用于各种超高速微型滚动轴承, 以及高速磨床、镗床、仪器、仪表和其他高速机械的精密

滚动轴承的润滑, 使用温度范围为-45~140℃。

7020 号适用于电磁工业、陶瓷工业、耐火材料工业的各种焙烧窑窑车滚动轴承的润滑, 使用最高温度为 300℃。

7201 号适用于开式和封闭式滚动轴承的润滑以及滚动轴承的封存防锈, 特别对高湿度环境下工作的滚动轴承, 能起到良好的防护和润滑作用, 使用温度范围为-20~120℃。

轴承润滑脂规格见表 27-70。

表 27-70 轴承润滑脂

项 目		质 量 指 标					试验方法
		7001 号	7016-1 号	7018 号	7020 号	7201 号	
外观		淡黄色至淡褐色均匀油膏	乳白色至灰白色均匀油膏	黄色至淡褐色均匀油膏	—	黄色至褐色均匀油膏	目测
滴点,℃	不低于	200	280	200	300	200	GB/T270 GB/T3498
锥入度, 1/10mm		45 (-60℃锥入度)	66~78	64~78	65~80	62~75	SY2724

续表 27-70

项 目	质 量 指 标					试验方法
	7001 号	7016—1 号	7018 号	7020 号	7201 号	
分油量, %	不大于 9.0	15	10	20	10	GB/T392
蒸发度, %	不大于 3.0 (200℃)	4.0 (200℃)	2.5 (140℃)	10 (250℃)	4.0 (120℃)	GB/T7325
相似粘度 (10s <sup>-1</sup> ), Pa·s (P)	—	1300(13000)	1000(10000)	—	1500(15000)	SH/T0048
腐蚀 (T3 铜片, 100℃, 3h)	合格	合格	合格	合格 (45 号钢片)	合格	SH/T0331
滚筒安定性, 锥入度变化值, 1/10mm	—	测定	测定	—	—	GB/T2399
氧化安定性 [784.5kPa, 氧压下, 100℃, 100h] 压力降, kPa	—	—	—	—	—	SH/T0335
机械杂质, 个数/cm <sup>3</sup>	—	—	—	—	—	SH/T0336
直径大于等于 0.025mm 不多于	—	1000	1000	—	1000	
直径大于等于 0.075mm 不多于	—	120	120	—	120	
直径大于等于 0.125mm	—	无	无	—	—	
酸分解法	无	—	—	—	—	
防锈性	最大	—	—	—	二级	ASTM D1743
游离碱 NaOH%	不大于 0.1	—	—	—	—	SH/T0329

2.3.21 精密仪表脂

特 12 号适用于精密仪器、仪表的高速滚动轴承的润滑, 使用温度范围为 -70~120℃。

特 7 号适用于精密仪器、仪表的轴承的润滑, 使用温度范围为 -70~120℃。

特 75 号适用于低温下使用的精密仪器、仪表轴承的润滑, 使用温度范围为 -70~80℃。

特 8 号适用于普通光学仪器活动部件的润滑, 使用温度范围为 -60~60℃。

精密仪表脂规格见表 27-71。

表 27-71 精密仪表脂 (SH0456—92, SH0455—92) (SH0458—92, SH0457—92)

项 目		质 量 指 标				试验方法
		特 7 号精 密仪表脂	特 8 号精 密仪表脂	特 12 号精 密仪表脂	特 75 号精 密仪表脂	
滴点, ℃	不低于	160	70	150	140	GB/T270
相似粘度 (10 s <sup>-1</sup> ), Pa·s (P)	不大于	2600 (26000) / -50℃	2600 (26000) / -30℃	2300 (23000) / -40℃	900 (9000) / -50℃	SH/T0048
分油量 (50℃, 48h), %	不大于	2.5	4.0	1.5	4.0	SY2716
水分, %		无	无	无	无	GB/T512
机械杂质, %		无	无	无	无	SH/T0330
游离碱 NaOH%	不大于	0.05		0.15	0.05	SH/T0329
蒸发度 (120℃), %	不大于	2.5		2.5	2.5	SH/T0337
腐蚀 (40 号钢片, H62 黄铜片, LY11 硬铝合金片, 50℃, 48h)		合格	合格	合格	合格	SH/T0328

2.3.22 食品机械润滑脂

动部位的润滑，最高使用温度为 100℃。

食品机械润滑脂规格见表 27-72。

适用于与食品接触的加工、包装、运输机械等运

表 27-72 食品机械润滑脂

项 目	质量 指 标	试 验 方 法
外观	无异味，白色光滑油膏	目测
工作锥入度，1/10mm	265~295	GB/T269
滴点，℃	不低于 135	GB/T270
腐蚀 (T3 铜片，100℃，3h)	合格	SH/T0331
钢网分油 (100℃，30h)，%	不大于 7.0	SH/T0324
蒸发度 (100℃，1h)，%	不大于 3.0	SH/T0337
延长工作锥入度，1/10mm		GB/T269
10 万次	不大于 375	及①
10 万次 (加 10% 盐水)	不大于 375	
水淋流失量 (38℃，1h)，%	不大于 15	SH/T0109
防腐蚀性，级	1	GB/T5018
四球试验 (1450r/min 室温)		GB/T3142
$d_{30}^{20}$ mm	测定	
基础油紫外吸光度，260~350 nm	不大于 0.1	SY2868

①盐水浓度为 3%，盐水配制方法接 SY2757 进行。

2.3.23 密封润滑脂

7406 号适用于油气田和地质勘探钻井用牙轮钻头轴承的润滑和密封。

7602 号适用于输送蒸气、稀酸和空气等介质的各种高温、高压阀门和阀杆的二次密封与润滑。介质温度可达 530℃，压力 10.3MPa。

7903 号适用于与汽油、煤油、柴油、润滑油、水、乙醇和煤气等介质接触的机械设备的静接触面的密封，以及低、中速下滑动和转动密封面的密封和润

7013 号适用于丁腈橡胶活塞环与汽缸间的润滑与密封，也可润滑普通仪表的轴承，使用范围为 60~120℃。

滑，使用温度范围为 -20~150℃。

密封润滑脂规格见表 27-73。

表 27-73 密封润滑脂

项 目	质 量 指 标				试 验 方 法
	7602 号 高 温 密 封 剂	7013 号 专 用 密 封 脂	7406 号 钻 头 密 封 轴 承 脂	7903 号 耐 油 密 封 脂	
外观	白色至淡褐色 可塑性棒状物	黄色至淡褐色 均 匀 油 膏	黑色光滑 均 匀 油 膏	粘 稠 均 匀 油 膏	目测
滴点，℃	不低于 300	170	160	250	GB/T270
锥入度，1/10mm	15~35 (工前)	60~80	60~80	55~68 (工前)	GB/T3448 SY2724

续表 27-73

项 目	质 量 指 标				试验方法
	7602号 高温 密封剂	7013号 专用 密封脂	7406号 钻头密封 轴承脂	7903号 耐油 密封脂	
腐蚀 (45号钢片, 100℃, 3h)	合格	合格 (T3 铜片)	合格	合格	SH/T0331
在燃油中溶解度, % (重)	不大于	—	—	20	
耐燃油性	—	—	—	通过	
分油量, %	不大于	25	15	—	GB/T392
蒸发度, %	不大于	2.5 (120℃)	4.0 (150℃)	—	SH/T0337
相似粘度 (-50℃, 10s <sup>-1</sup> ), Pa·s(P)	不大于	—	—	—	SH/T0048
机械杂质, 个数/cm <sup>3</sup>	—	600 (6000)	—	—	SH/T0336
直径大于等于 0.025mm	不多于	—	5000	—	
直径大于等于 0.075mm	不多于	—	1000	—	
直径大于等于 0.125mm	—	—	—	—	
耐水和水溶液性 (脂在蒸馏水或 50%乙醇 水溶液中成 7 天)	—	—	—	脂团不解体, 不溶解, 溶液 允许轻微混浊	

## 2.3.24 工业凡士林

适用于保护金属物品、金属零件及机械设备的

防锈。可作为橡胶工业的软化剂用, 在工作温度不高、负荷不大的状况下, 也可作为润滑脂使用。工业凡士林国家标准见表 27-74。

表 27-74 工业凡士林 (GB6731-86 参照 JIS K2237-78)

项 目	质 量 指 标		试 验 方 法
外观	淡褐色至深褐色 均质无块软膏		目 测
滴点, °C	不低于	54	GB/T270
酸值, mgKOH/g	不大于	0.1	GB/T264
灰分, %	不大于	0.07	GB/T508
腐蚀 (钢片, 铜片 100℃, 3h)	合 格		SH/T0331 及注①
水溶性酸或碱	中 性		GB/T259
机械杂质, %	不大于	0.03	GB/T511 及注②
水分	无		GB/T512
低温性能 (-30℃, 30min)	合 格		SY1577 附录二及注③
闪点 (开口), °C	不低于	190	GB/T3536
运动粘度 (100℃), mm <sup>2</sup> /s	实 测		GB/T265

### 2.4 固体润滑剂

固体润滑是在两摩擦表面间,用固体粉末、薄膜或固体复合材料,代替润滑油、脂,达到减少摩擦、降低磨损或防止摩擦表面破坏的目的。固体润滑剂能满足某些特殊工况下的润滑要求,为应用新工艺、新技术、新材料以及为改进零件设计提供方便。

固体润滑剂具有使用温度范围宽,在真空中能

发挥良好的润滑作用,抗辐射,抗腐蚀、不污染环境等特点。但摩擦系数比润滑油、脂大,寿命较短,不能起冷却作用,而且固体覆盖膜制作工艺一般比较复杂,覆盖膜在使用过程中补充也困难。

目前常用的固体润滑剂有二硫化钼、石墨、氮化硼和聚四氟乙烯等。几种常用的固体润滑剂的规格见表 27-75~78。固体润滑剂的选用见表 27-79。

表 27-75 胶体二硫化钼粉剂

项 目	本溪润滑材料厂			上海胶体化工厂				
	辽本 Q240-80			沪 QHG-11-085-80				
	0#	1#	2#	MF-00	MF-0	MF-1	MF-2	
二硫化钼含量 %	不低于	99	99	98	98.0	97.5	97.0	96.0
三氧化铜含量 %	≤				0.5	0.5		
铁含量 %	≤	0.06	0.04	0.1	0.4			
二氧化硅含量 %	≤	0.02	0.02	0.05	0.3			
腐蚀 100℃, 3h, 铜片		合格	合格	合格				
粒度:								
≤1μm %	不少于	80	—	—				
<1.5μm %	不小于				70			
≤2μm %	不少于	10	90	25				
<2.3μm %	不大于				25	90	10	
3~5μm %	不大于	7	7.2	55	5	10	85	
6~7μm %	不大于	3	2	15				
>7μm %	不大于	无	0.8	5				
<10μm %							≤5	≥5
<30μm %								≤95
水分 %	≤				0.5	0.5	0.5	0.5
酸值 mgKOH/g (六个月内)	≤				5	5	—	—
325 目筛余物 %	≤				0.5	0.5		

表 27-76 高纯度胶体石墨

项 目	质 量 指 标		
	高纯度 (光谱纯)	试剂纯石墨粉	1# 石墨粉
石墨含量 %	≥ 99.95	≥ 99.90	≥ 99.00
灼烧残渣 %	≤ 0.05	≤ 0.1	≤ 1.0
粒度:			
≤2μm	不少于 90	90	90
2~10μm	不多于 10	10	10
>10μm	无	无	无



表 27-77 氮化硼

项 目	质 量 指 标			
	一级品	二级品	三级品	四级品
氮化硼 (BN) 含量% $\geq$	98	97	96	95
游离氧化硼 ( $B_2O_3$ )% $\leq$	2	2	2	2
游离硼 (B)% $\leq$	0.3	0.3	0.3	0.3
铁含量 (Fe)% $\leq$	0.05	0.10	0.15	0.15

表 27-78 聚四氟乙烯 (HG2-234-78)

项 目	质 量 指 标		
	一 级	二 级	三 级
外观	板面洁白, 质地均匀, 不允许夹带金属杂质和其他杂质	板面洁净, 质地均匀, 不允许带金属杂质, 清洁度相当于 0.1—0.5mm 杂质 1 个和 0.5~2mm 杂质 1 个	板面颜色均匀, 小于 0.5mm 金属杂质不超过 1 个, 0.5~2mm 杂质不超过 3 个, 2~3mm 斑点不超过 1 个
拉伸强度 (不淬火) MPa $\geq$	23	22	20
断裂伸长率 (不淬火) % $\geq$	250	250	250
热失重 % $\leq$	0.03	0.04	0.05
体积电阻系数 $\Omega \cdot \text{cm}$ $\geq$	$1.0 \times 10^{17}$	$1.0 \times 10^{17}$	
介电系数 ( $10^6\text{Hz}$ )	1.8—2.2	1.8—2.2	
介质损耗角正切值 ( $10^6\text{Hz}$ ) $\leq$	$2.5 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$	
击穿强度 KV/mm $\geq$	60		

表 27-79 固体润滑剂选用

工作条件	说 明
在高接触应力条件下	接触表面接触应力高, 而润滑油脂的极压性能有限, 油膜易破裂。一旦油膜压破, 表面发生磨损, 造成机件失效。而层状结构的固体润滑材料, 抗压强度高, 尤其是二硫化钼更为突出, 能保持接触表面的正常润滑。如使用在某些重型机械、钢管冷挤压和拉丝机械等
在高温条件下	温度升高, 润滑油脂的粘度会降低, 或锥入度值增高, 油膜变薄, 油膜承载能力降低。压力超过油膜强度, 则油膜破裂, 接触表面产生磨损。当温度升高到一定程度, 润滑油脂就会产生热分解和氧化, 促使油脂变质, 或产生杂质沉淀, 或导致酸值增大, 引起腐蚀, 若过度蒸发, 引起胶合发生。固体润滑材料的高温性能好, 从低温到高温没有粘性的变化, 具有从 240~1100℃ 广泛的高温使用范围, 如二硫化钼在 400℃ 以下, 石墨在 540℃ 以下, 氧化温度以前, 它们的摩擦系数随温度升高而降低。它能在高温下, 应用在炼钢厂的某些轴承, 喷气发动机燃烧室和反应堆支架等

续表 27-79

工作条件	说 明
在低温条件下	温度过低, 润滑油粘度增大, 摩擦系数增大, 一旦固化, 造成干摩擦, 加快磨损, 导致胶合。固体润滑材料没有粘度变化, 二硫化钼能在低温 (-180℃) 下润滑。在低温条件下, 使用在液氮、液氮输送泵等
在低速条件下	滑动速度低时, 润滑油膜不易形成, 载荷较大时, 油膜易破坏, 产生胶合。固体润滑材料能在低速条件下, 与金属表面形成牢固的润滑膜。避免胶合的产生。如使用在低速导轨面上, 光栅刻度丝杆上等
在高速重载条件下	在高速重载情况下, 润滑油脂膜易破坏, 使润滑失效。而固体润滑材料, 如二硫化钼有随着速度和负荷的增加, 而摩擦系数会降低的特点。同样在高速轻载情况下, 润滑效果也很好, 如使用在纺织机的纱锭等处
在有液、气体冲刷的条件下	润滑油脂用在有液体或气体冲刷的部位上, 很容易被冲洗、流失或脱落。造成干摩擦, 导致产生磨损。固体润滑材料, 尤其是复合固体润滑材料, 就具有不被冲刷、流失或脱落的特点。如用在汽轮机叶片、喷嘴和潜水电泵上等
在有粉尘泥砂的条件下	在有粉尘泥砂沾染的场合, 摩擦表面又不能完全密封, 使用的润滑油脂会被污染, 而这些杂物又是研磨剂, 会促使机件的磨损。如使用不会吸附粉尘泥砂等杂物的固体润滑材料, 则润滑会改善。例如尼龙件用在挖泥斗销、拖拉机、坦克的平衡衬套上和农业机械上等
在要求没有油污清洁卫生条件下	固体润滑材料本身不带油, 更具有不吸附有研磨或腐蚀作用的尘埃。因此要求没有油污、清洁卫生的场合, 如食品加工机械、医疗、制药和印染纺织机械, 可用固体自润件。各类减速器如出现漏油、污染设备和环境, 可使用二硫化钼减速器润滑剂
在有腐蚀条件下	润滑油脂使用在有腐蚀介质的环境中, 能和这些介质起反应, 如强酸、碱、燃料、溶剂、液态氧等, 它们均能与润滑油脂发生化学反应, 使润滑油脂失去润滑使用。而某些固体润滑材料对上述介质是不活泼的, 如石墨有很强的化学抵抗能力, 二硫化钼除不抗王水、热浓硫酸、盐酸、硝酸外, 能抗大多数酸、碱腐蚀, 可用在化工机械设备上
某些特殊工况条件下	用于开动机器后不可能再次加油的部位; 用于非金属表面的润滑, 如木制品、玻璃、橡胶、塑料等的润滑; 在超高真空工作下的机械, 如宇宙间的工作机械、月球车等; 在强辐照和放射线条件下工作机械的润滑; 在人便于接近的部位, 如原子反应堆。上述各种工况均可用固体润滑材料润滑

## 2.5 机械设备换油、脂周期

润滑油、脂在使用和贮存过程中, 由于机械在运转中受到剪切、搅动、金属催化和摩擦热等因素的作用以及外界灰尘、杂质, 空气中的氧和水汽等的影响, 从而产生氧化、变质、解聚、老化等, 生成羧酸、胶质、沥青等产物。使油、脂的颜色变暗, 粘度或稠度发生变化, 酸值增大, 腐蚀性增加, 使用寿命缩短。

因此在润滑油、脂使用过程中, 要经常监测润滑油、脂的物理化学性能的变化状况, 定期从油路中抽

取油样, 作某些理化性能指标的检验。对某些重大、复杂的设备, 有时还须对油样进一步作光谱或铁谱分析, 监控设备工作状态并预测发生失效的趋势。

对于不同品种的润滑油、脂和不同的设备有不同的换油标准, 规定必须检验的物理化学性能检验项目见表 27-80。除表中所到项目外, 还常常随情况的不同而抽检其他必要项目, 检验指标变化的原因见表 27-81。除了以据润滑油、脂的物化指标 (见表 27-82~90) 来确定是否换油外, 还常常是按设备的说明书或是根据一些经验数据来确定换油周期。

表 27-80 设备用油的理化性能检验项目

油品类别 检验项目										
	L-AN 油	液压油	滑 动 轴承油	汽轮 机油	齿轮油	空压 机油	内燃 机油	冷冻 机油	变压 器油	仪器油
粘 度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
酸 值	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
表面张力		○		○						
水 分	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
腐 蚀 试 验	○	○				○				
机 械 杂 质	○	○	○		○	○	○	○	○	○
灰 分										
氧 化 试 验				○			○			
热 安 定 性				○						
极压试验 (梯姆肯)					○					

表 27-81 检验指标变化的一般原因

项 目	检验数据变小的原因	检验数据变大的原因
粘 度	1. 使用油劣化 (热分解) 2. 混入低粘度油或燃油	1. 使用油劣化或有氧化物形成 2. 混入高精度油
酸 值	添补新油	使用油氧化或在高温下使用
表面张力	1. 使用油氧化 2. 添加剂消耗尽	添加剂含量增添
水 分	蒸 发	1. 冷却水温度过低 2. 抗乳化性不好 3. 冷却水渗潮或漏气
腐 蚀	增添新油	零件生锈
色 泽	增添新油	1. 被空气、水分或其它杂质沾污 2. 使用油劣化 3. 混入质量低劣的油
机械杂质	1. 增添新油, 2. 清洗过滤油器	1. 使用油劣化, 酸值变大 2. 滤油器堵塞 3. 腐蚀磨损的增大 4. 混入杂质
氧化试验	增添新油	使用油氧化
极压试验	有其他产物渗入或基础油分裂	增添新油或极压添加剂

表 27-82 滑动轴承用油换油指标

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

项 目	换 油 指 标
粘度变化率, %	超过起始值 ±10
机械杂质, %	大于 0.05
酸值, mgKOH/g 增加值	大于 2
水分, %	大于 0.1

注：指标达到其中一项，即应换油。

表 27-83 车用汽油机油换油指标 (GB8028-87)

项 目	换 油 指 标	试 验 方 法
运动粘度 (100℃) 变化率, %	超过 ±25	GB/T265 或 GB/T11137
水分, %	大于 0.2	GB/T260
闪点 (开口), °C	低于 单级油 165 多级油 150	GB/T267
酸值, mgKOH/g 增加值	大于 2.0	GB/T7304
铁含量, ppm	大于 250	SY2662 <sup>②</sup>
正戊烷不溶物, %	大于 2.0	附录 A

注：1. 粘度变化率 (%) =  $\frac{\text{使用中油的粘度实测值} - \text{新油粘度实测值}}{\text{新油粘度实测值}} \times 100$  用同一种试验方法计算；  
2. 铁含量测定，允许用原子吸收光谱和直读式发射光谱测定。

表 27-84 车用柴油机润滑油换油指标 (GB7607-87)

项 目	换 油 指 标	试 验 方 法
运动粘度 (100℃) 变化率, %	+25 -15	GB/T265 及注
酸值, mgKOH/g	大于 2.0	GB/T264
不溶物, %		SH/T264
石油醚不溶物	大于 2.5	
苯不溶物	大于 1.5	
铁含量, ppm	大于 400	SH/T0197

注：运动粘度 (100℃) 变化率 X (%) 按下式计算： $X = \frac{\nu_1 - \nu_2}{\nu_1} \times 100$  式中： $\nu_1$ —新油的粘度标准中心值，mm<sup>2</sup>/s；  
 $\nu_2$ —使用中润滑油的粘度实测值，mm<sup>2</sup>/s。

表 27-85 拖拉机柴油机换油指标 (GB7608-87)

项 目	换 油 指 标	试 验 方 法
运动粘度 (100℃) 变化率, %	超过 +35~-25	GB/T11137
酸值, mgKOH/g	大于 2.0	GB/T7304
碱值, mgKOH/g	大于 1.0	SH/T0251
水分, %	大于 0.5	GB/T260
不溶物含量, %		
石油醚不溶物	大于 3.0	
苯不溶物	大于 1.5	

注：1. 指标达到其中一项，即应换油；  
2. 粘度变化率计算方法同车用柴油机油。

表 27-86 普通车辆齿轮油 (GL-3) 换油指标 (SH/T0475-92)

超星阅读器提醒您：  
 禁止本复制品  
 擅自传播相关知识产权！

项 目	换 油 指 标	试 验 方 法
运动粘度变化率 (100℃), %	大于 +20~-10	1)
水分, %	大于 1.0	GB/T260
酸值增加值, mgKOH/g	大于 0.5	GB/T8030
戊烷不溶物, %	大于 2.0	GB/T8926
铁含量, %	大于 0.5	SY2662

注: 1. 100℃时运动粘度变化率  $\eta$  (%) 按下式计算:  $\eta = (\nu_1 - \nu_2) / \nu_2 \times 100$

式中  $\nu_1$  使用中油的粘度实测值,  $\text{mm}^2/\text{s}$ ;

$\nu_2$ —新油粘度实测值,  $\text{mm}^2/\text{s}$ ;

$\nu_1$ 、 $\nu_2$  按 GB265 测定。

2. 铁含量测定方法允许采用原子吸收光谱法。

表 27-87 汽轮机油换油指标

项 目	换 油 指 标
外 观	不透明
粘度变化率, %	超过 20
闪 点, ℃	小于 新油 8
机 械 杂 质, %	大于 0.01
酸 值, mgKOH/g	大于 0.2
液 相 锈 蚀	不通过
破 乳 化 值, min	大于 60
水 分, %	大于 0.1

表 27-88 L—HL 液压油换油指标 (SH/T0476-92)

项 目	换 油 指 标	试 验 方 法
外 观	不透明或混浊	目测
运动粘度变化率 (40℃), %	大于 ±10	GB/T265
色度变化 (比新油), 号	大于等于 3	GB/T6540
酸值, mgKOH/g	大于 0.3	GB/T264
水分, %	大于 0.1	GB/T260
机械杂质, %	大于 0.1	GB/T511
铜片腐蚀 (100℃, 3h), 级	大于等于 2	GB/T5096

表 27-89 各类压缩机油换油指标

机 型	润 滑 部 位	换油指标			
		粘 度	酸 值 mg/g	残 炭 %	正庚烷不溶物 %
往 复 式	低压内外部兼用 (气缸轴承共用)	1.5 倍	2.0	1.0	0.5
	高压内部用 (气缸)	—	—	—	—
	高压外部用 (轴承)	1.5 倍	2.0	1.0	0.5
回转式	轴承气缸	1.5 倍	0.5	—	0.2
离心式	轴承密封	1.5 倍	0.5	—	0.2

注：指标达到其中一项，即应换油。

表 27-90 润滑脂换脂指标

项 目	换 脂 指 标
稠度变化	大于 45
滴点, %	小于 15
脂的含油量 (旧脂/新脂), %	小于 70
钢片腐蚀	有腐蚀性
混入的杂质	砂尘, 金属粉末等
氧化变质	有腐臭气味
水乳化	有乳化现象

2.6 国内外润滑油、脂对照表(表 27-91~102)

表 27-91 L-AN 全损耗系统用油

国 产 油	BP (英石)	CASTROL (卡斯特罗)	ESSO (埃索)	MOBIL (飞马)	SHELL (壳牌)	日 石
7	Energol EM7 Energol HP7	Magna RS				
10	Energol EM10 Energol HP10	Magna Dx	Spinesso10	Velocite6 VelociteE		
15	Energol EM15 Energol HP15		Spinesso15	Velocite10	Vitrea15 Carnea15	
32	Energol EM32 Energol HP32			VelociteC VelociteCX	Vitrea32 Carnea32	FBK oil 32
46	Energol EM46 Energol HP46	Pertecto R. R		Vactra heavy	Vitrea46 Carnea46	
68	Energol EM68 Energol HP68	Pertecto T. T		Vactra Medium heavy	Vitrea68 Carnea68	
100	Energol EM100 Energol HP100			Vactra Extra heavy		FBK oil 100
150	Energol EM150 Energol HP150				Vitrea150 Vitrea150	FBK oil 150



表 27-92 工业齿轮油

运动粘度, mm <sup>2</sup> /s			国产油	BP(英石) Energol (GR...EP)	CALTEX (加德士) Meropa Lubricant	ESSO(埃索)		MOBIL(飞马)		大协 Pio Gear	丸善 Swacol
38°C	50°C	99°C				Pen-O- Led	Spartan EP	Compound	Mobilgear		
43	25	6		100							
86	45	9.5	50	125	1	68	1	0	626	465EP	1EP
130	68	12.3	70	200	2	150	2	1	629	700EP	2EP
160	84	13.8	90	300	3	220	3	2	630	1000EP	3EP
215	110	17.8	120		4		4	3			
260	130	20	150		5	320	5	4	632	1500EP	4EP
300	150	22		425	6		6	5	633		
345	165	24			7	460	7	6	634	2150EP	5EP
390	190	26	200	550	8		8	7(8)			
430	205	28	250	700	9		9	9	636	3150EP	6EP
520	250	30			10		10				
600	280	35				680					
690	310	38									
780	350	42									
860	395	48									
1100	450	50									
1500	620	60									
3200	1300	110									
	注	200	普通工业 齿轮油	中负荷工 业齿轮油	硫磷型	铅型	硫磷类	铅型	硫磷型	铅型	硫磷型

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

获取更多资料 微信搜索 索蓝领星球

续表 27-92

运动粘度, mm <sup>2</sup> /s		国产油	出光		共石 Sonic Reductus Oil	昭和 G-C	富士 Fukkol Mild EP Gear	通用 ゼネラル EPギセ ロール	日石		日网
58°C	99°C		Daphne CE Compound	メロパルブ リカント					ホンノック ルブリカント	キグナス スネップ	
43	25	6			L-1200			65			
86	45	9.5	55	55S	L-1300	82	2	115	1		1050
130	68	12.3	65	65S	L-1600	103	3				
160	84	13.8	75	75S	L-1900		4	190	2		1060
215	110	17.8	85	85S	H-1090	204	5				1070
260	130	20	95	95S		305		250	3		
300	150	22	105	105S	H-1110	406	6	320		1090	
345	165	24	115	115S					4		
390	190	26	125	125S	H-1130	507		380		4	
430	205	28	135	135S			7	450	5		1100
520	250	30	145	145S	H-1160	608	8	520		5	1130
600	280	35						700	6		1150
690	310	38	165	165S						6	
780	350	42									
860	395	48									
1100	450	50									
1500	620	60	250			3000		3700	8		
3200	1300	110	500					8700	10		
		200							10		
	注										

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

船

硫磷型

船型

船型

船型

硫磷型

船型

硫磷型

硫磷型

船型

中负荷工  
业齿轮油

普通工业  
齿轮油

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 27-93 车辆齿轮油

国产油	普通车辆齿轮油	中负荷车辆齿轮油	重负荷车辆齿轮油
API 分级	GL-3	GL-4	GL-5
BP (英石)	Gear oil EP	Hypogear EP Linslip gear oil	Multigear oil EP
CALTEX (加德士)	Gear Lubricant AIF	Multipurpose thuban EP 3450 Gear oil	Multipurpose thuban EP
ESSO (埃索)		Esso gear oil GP Standard gear oil	Esso gear oil GX Standard gear oil
MOBIL (飞马)		Mobilube EP Mobilube GX	Mobilube HD
SHELL (壳牌)	Macoma	Spirax EP	Spirax EP heavyduty
大协	バイオギヤ-EP	バイオギヤ-	コールドレンバイオニアギヤ -オイル
丸善	スワギヤ-	ハイポイドハワギヤ-	ハイポイドハワギヤ-S
日石	极压ギヤ-オイル	特ハイポイドギヤ-オイル	ギヤール-フEHD
出光		アポロイルギヤ-HE	アポロイルギヤ-HE-S
共石	サンウエ-EPギヤ-オイル100系	サンウエ-EPギヤ-オイル200系	サンウエ-EPギヤ-オイル300系

表 27-94 L-HL 液压油

国产油	15 HL 液压油	32 HL 液压油	46 HL 液压油	68 HL 液压油	100 HL 液压油
运动粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	13.5~16.5	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	90.0~110
BP (英石)	Energol EM 50	Energol EM65 Energol HP10	Energol EM80 Energol EM100 Energol HP 15	Energol EM 100 Energol HP 20	Energol EM125 Energol HP 30
CALTEX (加德士)	Spindle oil, A, B Spindura AA	Spindura BB Ursa oil P 10		Ursa oil P 20	
CASTROL (卡斯特罗)	Perfecto EE, GG, KK Magna SPX	Perfecto N. N	Perfecto R. R	Perfecto T. T	
ESSO (埃索)	Spinesso 34 Spinesso 38 Newray				Newray 56
MOBIL (飞马)	Velocite No. 10	Velocite C Velocite CX	Vactra heavy		Vatra Medium heavy

续表 27-94

国产油	15 HL 液压油	32 HL 液压油	46 HL 液压油	68 HL 液压油	100 HL 液压油
SHELL (壳牌)	Vitrea 21 Carnea 21	Vitrea 27 Carnea 27	Carnea 29 Carnea 33	Vitrea 23	Vitrea 37, 41 Carnea 41
大协	バイオールブオールパ 105	バイオールブオールパ 105	バイオールブオールパ 215	バイオールブオールパ 315	
丸善		ツバメEP 90 特 タビン油		ツバメEP 140 特 タービン油	ツバメEP 180 特 タビン油 ツバメEP 200 特 タビン油
日石		FBKoil32		FBK oil 56	FBK oil 83
出光		ダフニール 45		ダフニール 55	

表 27-95 L-HM 液压油

国产油	粘度 (40°C), mm <sup>2</sup> /s	BP (英石)	CALTEX (加德士)	CASTROL (卡斯特罗)	ESSO (埃索)	MOBIL (飞马)	SHELL (壳牌)	
L-HM22 抗磨液压油	19.8~24.2	" HLP 50		" 22			" 21	
L-HM32 抗磨液压油	28.8~35.2	" HLP 65	Rando Oil HD32	" 32	Nuto H44 Standard NH-45	D. T. E. 24	" 27	
L-HM46 抗磨液压油	41.4~50.6	" HLP 80	" 46	" 46	" H48	" 25	" 29	
L-HM68 抗磨液压油	61.2~74.8	" HLP 100	" 68	" 68	" H54 Standard NH-55	" 26	" 33	
国产油	粘度 (40°C), mm <sup>2</sup> /s	三菱	大协	丸善	日石	出光	共石	富士
L-HM22 抗磨液压油	19.8~24.2	Diamond 425EP			Super Hyrando Oil 22	Torque Oil B		" 1"
L-HM32 抗磨液压油	28.8~35.2	" 43GEP	Pio-Hydro 150	Swalube HP 150	" 32	Daphne Hydraulic Fluid 44S	Sonic Hydraulic Oil AWL 150	" 2"
L-HM46 抗磨液压油	41.4~50.6	" 435EP	" 215	" HP 200	" 46	" 47S	" AWL 200	
L-HM68 抗磨液压油	61.2~74.8	" 440EP	" 315 Pio-Hydro Ace 315	" HP 300	" 68	" 52S	" AWL 320	" 3"

表 27-96 精密机床油

国产油	粘度 (40℃), mm <sup>2</sup> /s	AGIP (意石)	BP (英石)	CALTEX (加德士)	CASTROL (卡斯特罗)	ESSO (埃索)	GULF (海湾)	MOBIL (飞马)
2 主轴油	2.0~2.4		Energol HP1		Magna AB	Spinesso 28 Mentor 28		Velocite 3
5 主轴油	4.2~5.1				Magna ZA	Spinesso 32 Mentor 32		Velocite 4
7 主轴油	6.2~7.5	F.I OSO 15	Energol HP3	Spintex 60	Magna RS	Spinesso 34 Mentor 34	Spin 35	Velocite 6 Velocite E
15 主轴油	13.5~16.5	F.I OSO 25		Spintex 100	Magna SP	Spinesso 38 Mentor 38	Spin 38	Velocite 10 Velocite C
32 液压油	28.8~35.2	F.I OSO 35	Energol HL65 HP 10	Regal Oil A R & O	Hyspin 70 Perfecto Light	Teresso 43 Spinesso 41	Harmony 44	DTE Light
46 液压油	41.4~50.6	F.I OSO 45	Energol HL HP 20	Regal Oil B R & O	Hyspin 80 Perfecto Special	Teresso 47	Harmony 47	DTE Medium
68 液压油	61.2~74.8	F.I OSO 65	Energol HL 100 HP 30	Regal Oil PC R & O	Hyspin 100 Perfecto Medium	Teresso 52	Harmony 53	DTE Heavy Medium
国产油	粘度 40℃, mm <sup>2</sup> /s	SHELL (壳牌)	大 协	丸 善	出 光	共 石	昭 和	富 士
2 主轴油	2.0~2.4	Tellus 11		Swalube HS40 スワルーブ	Daphne 1035 ダフニー	MS 5035	昭石 J-H1005	
5 主轴油	4.2~5.1	Tellus 13	Pio-lube Allpur バイオルブ オルバA50		" 1045		昭石 J-H	
7 主轴油	6.2~7.5	Tellus 15	Pio-lube Allpur A60	Swalube HS60	Daphne 2035	MS 5060	昭石 J-H1010	
15 主轴油	13.5~16.5	Tellus 21	Pio-lube Allpur A105		Daphne 2040	MS 5100	昭石 J-H1020	
32 液压油	28.8~35.2	Tellus 27	バイオハイ ドロ150 Pio Hydro	Swalube RO 150	ダフニーハイ ドロリック フルイド Daphne Hydraulic Fluid 44	ハイドロリ ックL-150 Hydraulic	昭石 S-H2035	フツコールハ イボール FUKKOL HYDROL 2
46 液压油	41.4~50.6	Tellus 29	Pio Hydro215	Swalube RO 200	" 47	" L-200		
68 液压油	61.2~74.8	Tellus 33	Pio Hydro 315	Swalube RO 300	" 52	" L-320	昭石 S-H2060	FUKKOL HYDROL 3

表 27-97 汽油机油

国产油	QB 汽油机油		QC 汽油机油	QD 汽油机油	QE 汽油机油
API 分级	SA	SB	SC	SD	SE
BP (英石)	Energol OE	Energol CD Energol IC		Energol HD Super Viscosbc Vanellus mulugrade	
CALTEX (加德士)	Valor Motor Oil	Five star Motor Oil	Custom five star Motor Oil	Custom five star Motor Oil	Super five star Motor Oil
CASTROL (卡斯特罗)	V Oil	Castrol XXL2	Castrol HD	Castrol Super uopical GTX 20W/50Super 20W/50	
ESSO (埃索)	Motor Rex	Standard HD motor oils	Esso Motor	Unillour Motor Extra Motor	
MOBIL (飞马)	Motor Oil (red horse)	HD para Base Oil	Mobil Oil	Mobil Oil Special	
SHELL (壳牌)			X-100 Rotella SX Rotella CT		Super Motor Oil Rotella TX
大协	DOC モーターオ イル	DOC モーターオ イルSP	バイオニアテラック スパイオニアエ ンシンオイル HD	ゴールデンバイオ ニアエユゴーアデ ンバイオニアス パー	
丸善	スワマック		スワマック HD マルゼンモーター オイルカスタム	スルゼン M/O カスタムテラッ クス	スキシマルゼン M/Oカスタム
日石	ミリオンモーター オイル	スーパーミリオン	ハイスピード MS	ハイモーター MS	PANA PANX
出光	コンドールモーター オイル	アリグーターエンジ ンオイル	アボロイルオート ルブ	アボロイルファスト アボロイルテラック スアリグータ E/O	アボロイルーフア ースト100
共石	共石モーターオイル	サンウエーシルビ M/O	サンウエーゴールド (シングルグレード)	サンウエースーパー ワイドG サンウエースーパー ゴールド	サンウエーデー セル10シリーズ

超星阅读器提醒您：  
请勿复制或  
传播相关知识产权！

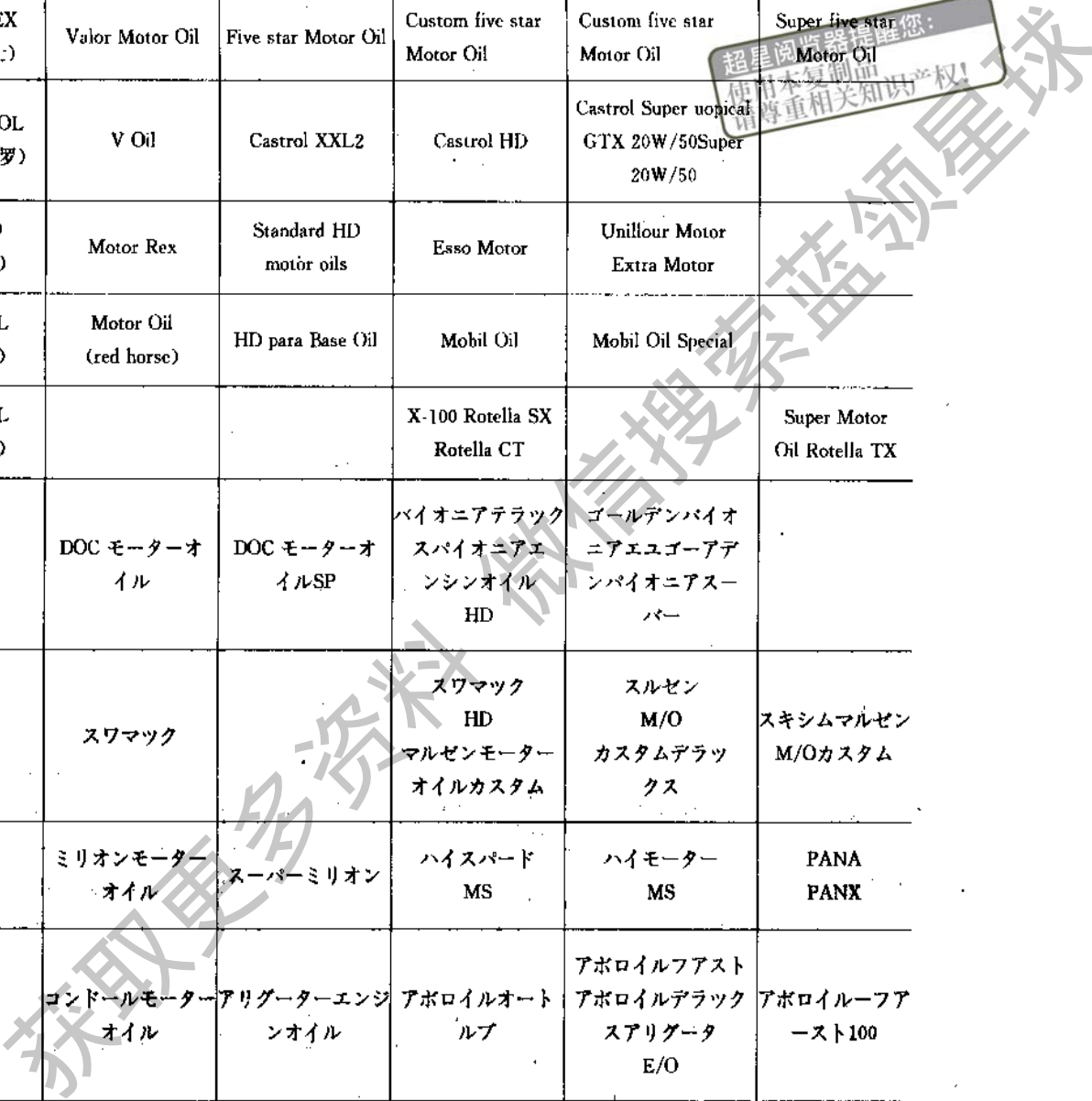




表 27-98 柴油机油

国产油	CA 柴油机油	CC 柴油机油		CD 柴油机油
API 分級	CA	CB	CC	CD
BP (英石)	Energol ICM Energol DD  210M、215M、220M Deusol CR  Standard diesel Oil Essolube Sandard HD	Energol IC-MB Energol DS-1	Energol DS-2 Vanellus	Energol DS-3 Vanellus S-3
CALTEX (加德士)		RPM Delo XD	RPM Delo 100 RPM Delo 200	RPM Delo 300 RPM Delo 400
CASTROL (卡斯特罗)		215MX 220MX Deusol CRI	215MXD 220MXD Deusol CRX	215MX Super Deusol Essolube D-3
ESSO (埃索)		Essloubc HDX Standard fluid	Essolube HDX Essolube SDX	
MOBIL (飞马)		Delvac 1100 Mobilgard 312,412,512	Delvac 1200 Mobilgard 324,424,524	Delvac 1300
SHELL (壳牌)		Rotella Oil	Rotella SX	Rotella SX Rotella TX
大协	DOSディーゼル	バイオニアディーゼル バイオフリト		バイオニアディーゼル S-3
丸善	スワビス	スワビスS-1	スワビスS-2	スワビスS-3
日石	ハイディーゼルエンジン オイル	ハイディーゼルHDエン ジンオイルハイスパート DM ハイスパートSS	ハイスパートSS Tエン ジンオイルSS	ハイディーゼルS-3
出光	アポロイルジーゼルブ	アポロイルジーゼル モチブ	アポロイルジーゼル モチブ	アポロイルS-40 アポロイルジーゼルモー チブS-300
共石	サンウエーディーゼル ジンオイル10シリーズ	サンウエーディーゼル 100シリーズ	サンウエーディーゼル 200シリーズ	サンウエーディーゼル 300シリーズ

表 27-99 汽轮机油

国产油	L-TSA32 汽轮机油	L-TSA46 汽轮机油	L-TSA68 汽轮机油	L-TSA100 汽轮机油
BP (英石)	Energol TH65-HB Energol TH80-HB Energol TH100-HB	Energol TH125-HB Energol TH150-HB Energol TH130EP-HB	Energol TH200-HB	
CALTEX (加德士)	Regal R & OA Regal R & OB	Regal R & O PC	Regal R & O PE	Regal R & O PE
CASTROL (卡斯特罗)	Perfecto Extra Light Perfecto Light Perfecto Specid IX Perfecto LM Perfecto Medium Perfecto LC	Perfecto Extra Heavy Perfecto Heavy		

续表 27-99

国产油	L-TSA32 汽轮机油	L-TSA46 汽轮机油	L-TSA68 汽轮机油	L-TSA100 汽轮机油
ESSO (埃索)	Teresso 43 Standard THC oil 43	Teresso 52 Standard THC oil 52	Teresso 56 Standard THC oil 56	Standard THC oil 56 Teresso 65
MOBIL (飞马)	D. T. E. Oil Light D. T. E. Oil Medium	D. T. E. Oil Heavy Medium	D. T. E. Oil Heavy	D. T. E. Oil Extra Heavy
SHELL (壳牌)	Turbo Oil 27 Turbo Oil T27	Turbo Oil 29 Turbo Oil T29	Turbo Oil 33 Turbo Oil T33	Turbo Oil 37 Turbo Oil T37
三菱	ダイヤモンド110 ダイヤモンド115	ダイヤモンド120	ダイヤモンド130	ダイヤモンド140
大协	バイオタービンA90 バイオタービンHA90	バイオタービンA140 バイオタービンHA140	バイオタービンA180	バイオタービンA200
丸善	ツバメEP90 特A タービン油	ツバメEP140 特A タービン油	ツバメEP180 特A タービン油	ツバメEP200 特A タービン油
日石	FBK90Lタービ ン油 (R&O) FBK120Lタービ ン油 (R&O)	FBK140Lタービ ン油 (R&O)	FBK180Lタービ ン油 (R&O)	FBK200Lタービ ン油 (R&O)
出光	ダワニータービン オイル44	ダワニータービン オイル52	ダワニータービン オイル57	ダワニータービン オイル60
共石	ソニックタービン オイルRIX90 ソニックタービン オイルRIX110	ソニックタービン オイルRIX140	ソニックタービン オイルRIX180	ソニックタービン オイルRIX200
富士	Fukkol AD Turbine 90	Fukkol AD Turbine 140	Fukkol AD Turbine 180	Fukkol AD Turbine 200

表 27-100 润滑脂

国产脂	类型	锥入度	滴点 ℃	BP (英石)	CAITEX (加德士)	CASTROL (卡斯特罗)	ESSO (埃索)	MOBIL (飞马)	SHELL (壳牌)
钙基脂 1 号 (GB491-87)	钙基	310/340	>75	Energrease GP1	Cup 1	Helveum 1	Firmax 1	AA1, B1	Unedo 1
2 号		265/295	>80	Energrease GP 2 Energrease PR 3	Cup 2	Helveum 2	Firmax 2	AA2, B2	Unedo 2
3 号		220/250	>85	Energrease GP 3 Energrease PR 3	Cup 3	Helveum 3	Firmax 3	AA3, B3	Unedo 3, 250Cup
4 号		175/205	>90	Energrease GP 4 Energrease PR 4	Cup 4	Helveum 4		AA4, B4	Unedo 4 190Cup

续表 27-100

国产脂	类型	锥入度	滴点 C	BP (英石)	CAITEX (加德士)	CASTROL (卡斯特罗)	ESSO (埃索)	MOBIL (飞马)	SHELL (壳牌)	
钠基脂 2 号 (GB492-89)	钠 基	310/340	>130	Energrease HT1, N1	Marfak 1	Impervia MM1			Albida 1	
		265/295	>140	Energrease HT2, N2, RBB2	Marfak 2	Impervia MM2			BRB Lifetime Albida 2	
		220/250	>140	Energrease HT3, N3, RBB3	Marfak 3 Hytex 3	Impervia MM3 Sphecol HT		BRB 3	Albida 3	
钙钠基脂 (SH0368 -92)	钙 钠			Energrease RM	Regal Stafak 2		Andok M275			
石墨钙基脂 (SH0369 -92)	石 墨 脂			Energrease GP 1-G, 2G, 3G, 4G, 5G	904, 904W	Helveum O Graphite R. F. Graphite	SOD Graphite, R111, Glan doline B	Graphited	Barbatia BOC Graphite	
						Sphecol HMG				
国产脂	类型	锥入度	滴点 C	大协	丸善	日石	出光	共石	JIS (日本工业)	其它规格
钙基脂 1 号 (GB491-87)	钙 基	310/340	>75	DOCカップ 1号	BCNo. 1	310カッ プ	ダフニーカ ップ310	カップNo. 1	K2220 1种1号	
		265/295	>80	DOCカップ 2号	BCNo. 2			カップNo. 2	K2220 1种2号	BS3223:1960
		220/250	>85	DOCカップ 3号	BCNo. 3	250カッ プ	ダフニーカ ップ250	カップNo. 3	K2220 1种3号	
		175/205	>90	DOCカップ 4号	BCNo. 4	190カッ プ	ダフニーカ ップ190	カップNo. 4	K2220 1种4号	
钠基脂 2 号 (GB492-89)	钠 基	310/340	>130		BFNo. 1	1号ウラ ノック			K2221 2种1号	MIL-G-2108
		265/295	>140	DOCベアリン ダN-2	BFNo. 2	2号ウラ ノック			K2221 2种2号	MIL-G-2108
		220/250	>140	DOCベアリン ダN-3	BFNo. 3				K2221 2种3号	
钙钠基脂 (SH0368 -92)	钙 钠							K2225	MIL-G- 18709A	
石墨钙基脂 (SH0369 -92)	石 墨 脂			DOCグラフア イト1,2,3号	T1025		ダフニー XGC1,2,3	グラフアイ トC-2,C-3	K2222 1种	W-G-671
					T1022	904 ダリース	ダフニ XGN1,3	グラフアイ トN-2,N-3	K2222 2种	

超星浏览器提醒您：  
BRB 本复制品  
Lifeime 侵权必究  
Albida 2

超星球

表 27-101 高级润滑脂

国产(或代用)			BP (英石)	CALTEX (加德士)	CASTROL (卡斯特罗)	ESSO (埃索)	MOBIL (飞马)	SHELL (壳牌)	
铝基脂 (SH0371—92)	铝基		Energrease A Energrease FG	RPM FM grease White grease 1,2,3				Mytilus grease A,B	
齿轮箱脂 半流体润滑脂	齿轮 半流体 脂					Surett N350,N850	Mobilux EP 023,024	Cardium compound A,C,D,F	
		溶剂型				Surett fluide 30	Mobilfat A,C,D,E, No. 4	Cardium fluid D	
复合铝基脂 极压复合铝基脂	集中 润滑	铝基	Energrease PREP1,2 Energrease PR 2	Novatex grease 0,1,2 Novatex grease EP0,1,2		Ladex 0,1,2,M2		Rhodina grease 1,2	
复合钙基脂 (SH0370—92) 复合钙铝基脂		复合钙		RPMM ultimotive grease				Mobilplex EP0,1,2 Mobilplex 45,46,47,48	
通用锂基脂 (GB7324—87) 极压锂基脂 (GB7323—87)		锂基	Energrease LS 0	Mulufak 2			Eslan 0,1,2 Estan EP 0,1,2	Mobilux 1,2 Mobilux EP 0,1,2	Alvania grease R1 R2 Alvania EP grease 0,1,2
通用锂基脂 (GB7324 - 87)	万用脂	锂基	EnergreaseLS EnergreaseLS —EP	Marfak all purpose Multifak Geral starfak premium	Spheerol AP	Beacon 2,3,Q2 Estan0,1,2	Mobilux	Alvania grease Alvania EP grease	
极压锂基脂 (GB7323—87)	极压 脂	锂基	Energrease LS-EP1,2	Multifak EP0,1,2		Estan EP0,1,2 Beacon EP	Mobilux EP 0,1,2,023, 024	Alvania EP Grease	
复合钙铝基脂 极压复合铝基脂		其它	Energrease PR—EP1,2 (钙)	Novatex EP0,1,2 Curve rail EP	Spheerol FP	Nebula EP0,1,2	Mobilplex EP0,1,2 Mobilplex 45,46,47,48 Special	Rhodina grease	
复合钙铝基脂		钙铝混基		Novatex grease EP				Sovarex L0,1,2 Mobilgrease ML0,1	
二硫化钼锂基脂	MoS <sub>2</sub> 锂基		Energrease L21M	Molytex grease	Spheerol LMM		Mobilgrease Special	S5544	
窑车脂	窑 业 脂	非皂	Energrease HTB <sub>2</sub>	Thermatex EP <sub>2</sub>	WaRefield Spheerol BN	Darina grease R2	Mobiltemp TB (MoS <sub>2</sub> )	Norva275	
耐油密封脂 (SH0011—90)	耐油		Energrease Petrol resistant		Gas tap grease Rubber grease 3	G185 Petrol resistant TSD 803		Lucina grease TG1260	

超星提醒您：  
使用时请  
尊重相关知识产权！

超星数字图书馆

续表 27-101

国产(或代用)		大协	丸善	日石	出光	共石	JIS (日本工业)	其它规格
鉛基脂 (SH10371-92)	鉛基		ダリース ML	アルミニウ ムグリース	アホロモ ーターグ リース	アルミニウ ムグリス No. 00, 0,1,2	K2223	
齿轮箱脂 半流体潤滑脂	齒輪 半流體 脂		DOCギヤ コンパ ウンド 1,2,3号	グリース L- 350,500, 1000	グラノツク コンパ ウンド 00,0,1, 2,3号	ダフニ ーオ ーブン ギヤ ー油 No. 1,2	ギヤ ーコ ン パ ウ ン ド 40,60,100, 120,240, 360,600	K2224 MIL-G-18458A MIL-L-7645
		溶劑型	ダイナミ ックギ ャー コ ン パ ウ ン ド SP1,2,3,4	グリース BRC-No. 1, 3		ダフニ ーギ ャー 油 No. 2S,3S	ギヤ ーコ ン パ ウ ン ド S 300,600, 800,1000	
	集 中 潤 滑	鈣基	DOC 極 圧 グ リ ー ス 0,1,3号	グ リ ー ス EPNo. 0,1,2			オ ー ト グ リ ー ス C-00,0	
复合鈣基脂 (SH0370-92)		复合鈣	ダイナミ ック グ リ ー ス M-0,1,2,3					
通用鋰基脂 (GB7324-87) 極壓鋰基脂 (GB7323-87)	鋰 基		ダイナミ ック グ リ ー ス S-0,1,2,3	グ リ ー ス ヤ ン ト ラ ツ ク ス No. 0,1,2	エ ピ ノ ツ ク グ リ ー ス 0,1,2号	ダ フ ニ ー コ ロ ネ ツ ク ス グ リ ー ス EPNo. 0,1,2	オ ー ト グ リ ー ス L- 000EP-000, リ ゾ ニ ツ ク No. 0,1	
極壓鋰基脂 (GB7324-87)		萬 用 脂	鈣基	ダイナミ ック グ リ ー ス MP-0,1,2,3	グ リ ー ス リ マ ク ス No. 1,2,3	マ ル テ イ ノ ツ ク グ リ ー ス 1,2号	ダ フ ニ ー コ ロ ネ ツ ク ス グ リ ー ス EPNo. 0,1,2	リ ゾ ニ ツ ク No. 0,1,2,3
極壓鋰基脂 (GB7323-87)	極 壓 脂	鋰基	ダイナミ ック グ リ ー ス S-0,1,2,3	グ リ ー ス リ マ ク ス EP-0,1,2,3	エ ピ ノ ツ ク グ リ ー ス 0,1,2号	ダ フ ニ ー コ ロ ネ ツ ク ス グ リ ー ス EP No. 0,1,2	リ ゾ ニ ツ ク ス グ リ ー ス EP-00,0,1, 2,3	
复合鈣鉛基脂	脂	其它	DOC 極 圧 グ リ ー ス 0,1,2,3				グ リ ー ス EPNo. 0,1, 2,3	MIL-G-17740 (鈣鉛基)

其它规格  
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

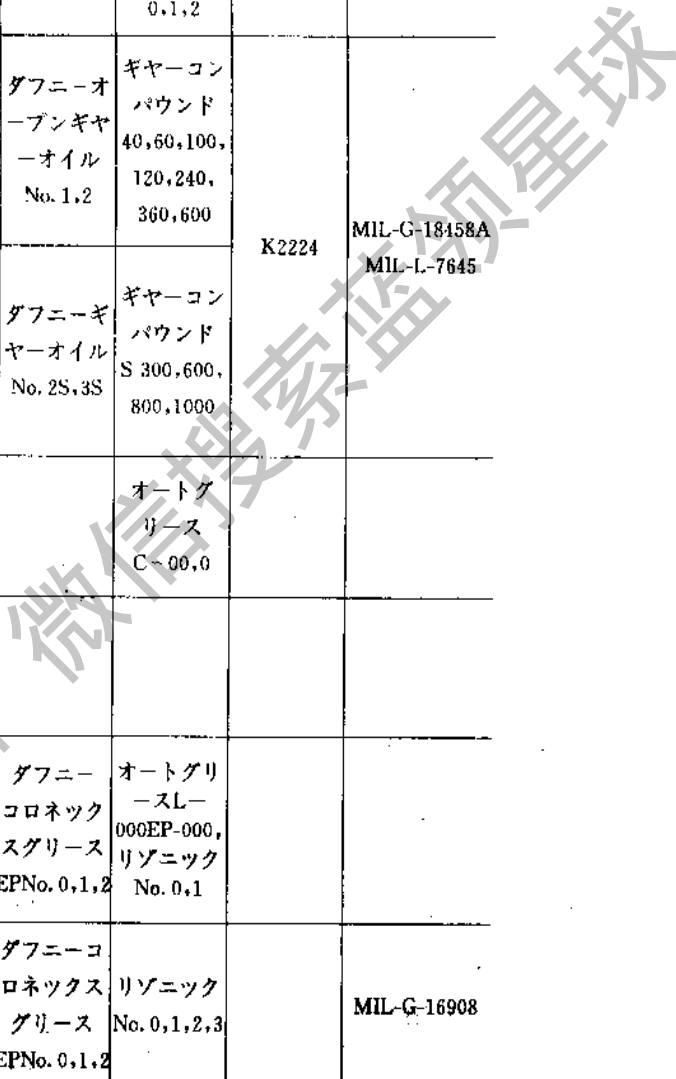


表 27-102 车辆润滑脂

国产(或代用)		BP (英石)	CALTEX (加德士)	CASTROL (卡斯特罗)	ESSO (埃索)	MOBIL (飞马)	SHELL (壳牌)
通用锂基脂 (GB7324-87)	万能脂	锂 Energrease L	Marfak multi purpose	LM grease	Multi purpose grease H Beacon 2,3,Q2	Mobilgrease JL Mobilgrease MP	Retinax A Alvania
极压锂基脂 (GB7323-87)		锂 (极压)	Marfak all purpose Moly Tex grease		Estan EP	Mobilgrease Special (MoS <sub>2</sub> )	Retinax AM (MoS <sub>2</sub> ) Alvania EP
二硫化钼复合钙基脂		钙 (极压)	Energrease C <sub>3</sub> G (石墨)	RPM Multi- Motive grease	MS4 grease	Mobilgrease No. 2 Automotivechasis	Auto grease
极压锂基脂 (GB7323-87)	车体(底盘)脂	锂 Energrease L21M (锂, MoS <sub>2</sub> )	Marfak all purpose Marfak multi purpose	MS grease MS3 grease	Esran EP	Mobilgrease Special Mobilgrease MP	Retinax AM (MoS <sub>2</sub> )
钙基脂 (GB491-87)		钙 Energrease CA, C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub>			Chassis grease L, H Automotive chassis grease		
钙基脂 (GB491-87)	水泵脂	钙 Energrease C <sub>5</sub>	RPM Multi- Motive grease				Water pump grease
通用锂基脂 (GB7324-87)		锂	Marfak all purpose	LM grease		Mobilgrease Special Mobilgrease MP	
汽车通用无水钙基脂滚珠轴承脂 (SY1514-82)	轮毂轴	钠 Energrease N2 N3	Marfak Marfak heavy duty	CS grease BNS grease	Standard automotive wheelbearing grease	Mobilgrease No. 5	
通用锂基脂汽车通用锂基脂	轴承脂	锂 Energrease L2	Marfak all purpose Marfak multi purpose	LM grease	Multi purpose grease H	Mobilgrease MP	Retinax A
	耐酸脂						
	耐寒脂						
耐油密封脂 (SH0011-90)	耐油脂	Energrease petrol Resistant					

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆  
www.superstar.cn  
微信搜书资料



续表 27-102

国产(或代用)		大协	丸善	日石	出光	共石	JIS (日本工业)	其它规格
通用锂基脂 (GB7324-87)	万 能 脂	锂	ダイナミック クグリース MP-0,1,2,3	リマックス グリース No.1,2,3	リバノック グリース	ダフニーコ ロネックス グリース No.0,1,2,3	リゾニックス グリース No.0,1,2,3	
极压锂基脂 (GB7323-87)		锂 (极压)	ダイナミック クグリース S 0,1,2,3	リマックス グリースEP No.0,1,2,3 G8614		ダフニーコ ロネックス グリースEP No.0,1,2,3	リゾニックス グリース EP00,0, 1,2,3	
二硫化钼复合 钙基脂	车 体 ( 底 盘 ) 脂	钙 (极压)	バイオレ ックスEP	オートマッ トオートマ ットW (寒区)	グリースタ グリースA	アポロイル マルチレッ クス No.00,0	オートグリ ースC 00,0	
极压锂基脂 (GB7323-87)		锂 (极压)	バイオレ ックスS バイオレ ックスC (寒区)		グリースタ グリースB		オートグリ ースL-00,0 オートグリ ース EP--00,0	VV-G-632 (Na, Ca 或 Al) FordM632(Ca) GM4640M (Ca) GM4612M (Ca)
钙基脂 (GB491-87)		钙	DOCシャ ーシグリース — 0,1,2	グリース MC No.0,1,2	シャシーグ リース 00,0,1	アポロシャ ーシグリース, シャシグリース, グリースス ベシヤル (寒区用)	シャーシグ リース No.0,1,2	K2227
钙基脂 (GB491-87)	水 泵 脂	钙	DOCウオー ターポンフ グリース			アポロウオ ーターポン プグリース		
通用锂基脂 (GB7324-87)		锂	ダイナミック クグリース MP-0, 1,2,3		リバノック グリース		リゾニックス グリース R-0,1,2,3	
汽车通用无水 钙基脂 液珠 轴承脂 (SY1514-82)	轮 毂 轴 承 脂	钠	DOCオイ ールベアリン ググリース 2,3	グリース MB No.3	2号ホイ ールベアリン ググリース	オートレッ クスB(B) アポロWB グリース	ホイールベ アリンググ リース No.23	K2226
通用锂基脂 汽车通用锂基脂		锂	ダイナミック クグリース MP-2,3	リマックス グリース No.3, EPNo.2	リノバック グリースHD	アポロオー トレックス A	リゾニックス R-2,3	MIL-G-2108 VV-G-632
		耐酸脂					耐酸 グリース	
		耐寒脂					LTグリース No.1,2,3	
耐油密封脂 (SH0011-90)		耐油脂						MIL-G-61828

超星浏览器提醒您：  
使用超星浏览器  
请尊重相关知识产权！

超星浏览器  
超星浏览器  
超星浏览器

滑剂的种类可分为下列方法。

### 3 润滑方法

#### 3.1 润滑方法分类

润滑方法较多,没有统一的分类方法,按采用润

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!



#### 3.2 润滑方式

##### 3.2.1 手工给油润滑

手工加油(脂)润滑主要用于开式齿轮、链条、钢丝绳及不经常使用的粗糙机械。通过油枪和油杯加油,结构最简单,但一般不能调节油量。如加油不及时,就容易造成磨损。润滑剂的利用率亦较差。所以只宜用于轻载低速的摩擦副。常用油杯和油枪的标准列于表 27-105~110、表 27-111~112。

油池中,当轴转动时,靠摩擦力带动油环旋转,从而把油带入轴承中,进行润滑。这种方法适于回转速度在 10~200 rad/s 范围内的水平轴。当轴颈长度超过 100mm 时,应采用两个油环。这种方法简单、可靠、维护方便,不过只可用于上述转速之内,如果转速再高,油环将在轴上激烈跳动,而转速太低时,则供油量又不足。

##### 3.2.2 滴油润滑

滴油润滑只适用于润滑油,它是利用油的自重通过润滑装置向润滑部位滴油进行润滑。主要用于轴承、齿轮、链条及导轨的润滑。常用的滴油装置见表 27-109~110。

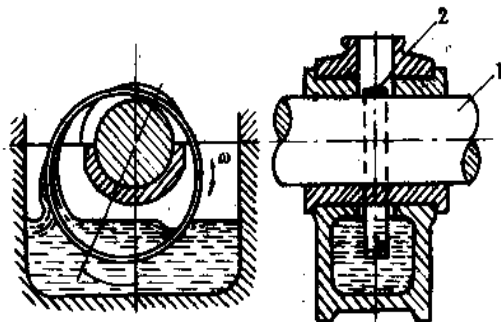


图 27-2 油环润滑  
1—轴颈; 2—油环

##### 3.2.3 油环或油链润滑

图 27-2 所示,套在轴颈 1 上的油环 2 下部浸在

油环直径为轴径的 1.5~2 倍。常采用矩形断面,为增大供油量可在环内表面上车几个窄槽;当需油量较小时,也可用圆断面的油环。

在低转速时宜采用油链,因为它的供油量大;高速时不宜用,因为链易脱离轴而不连续旋转。

### 3.2.4 飞溅(油池)润滑

依靠旋转的机件或附加在轴上的甩油盘、甩油片等,将油池中的油飞溅或带到润滑部位。箱体内壁的油槽(见图 27-3)还能将飞溅的油汇集而流到轴承中润滑轴承。这种润滑方式只能用于封闭的机构(如各种减速器,内燃机的曲轴等),油可以循环使用。浸在油中的机件圆周速度  $v < 12\text{m/s}$ ,否则将产生大量泡沫及油雾,使油迅速氧化变质。应设置油面指示器以便检查油位。油面指示器的标准见表 27-145~148。

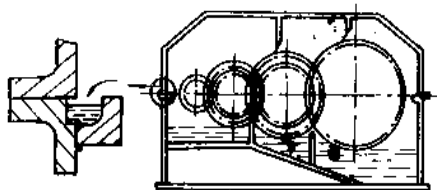


图 27-3 飞溅(油池)润滑

### 3.2.5 压力循环润滑

这种润滑方法是利用重力或油泵使循环系统的润滑油达到一定的工作压力后输送到各润滑部位。使用过的油送回油箱。经冷却、过滤等处理以后再供循环使用(图 27-4)。一般压力循环润滑可调整供油压力和油量,能保证连续供油,由于供油量充足,润滑油还能将热量及屑末等带走。对于高速、精密和重

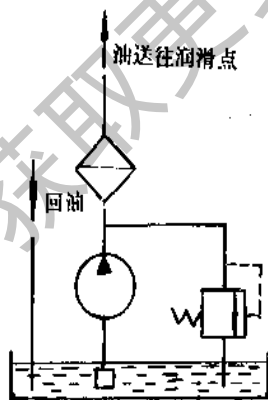


图 27-4 压力循环润滑系统

载的摩擦副,最好采用此种润滑。不过,这种方法设备复杂,耗油量也较大。

### 3.2.6 集中润滑

集中润滑主要用于设备中有大量的润滑点或整个车间或工厂的润滑系统。采用集中润滑可以减少维护工作,提高可靠性。

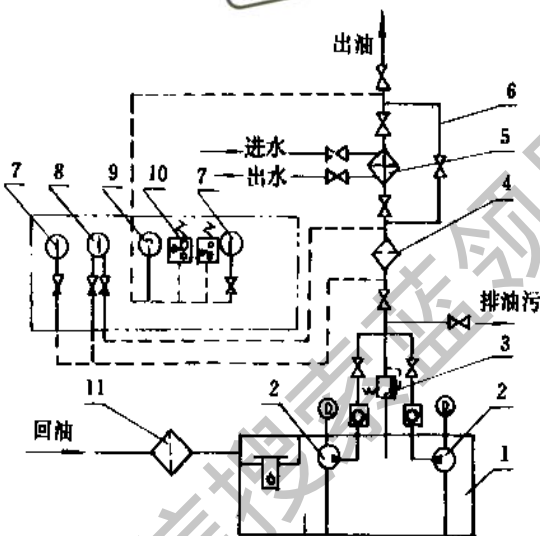


图 27-5 XYZ-16~125 型稀油站系统图

- 1—油箱; 2—油泵; 3—阀; 4—滤油器;
- 5—冷却器; 6—旁路; 7—压力表; 8—差压计;
- 9—温度计; 10—压力继电器; 11—磁滤油器

图 27-5 为 XYZ-16~125 型稀油站系统图。在油箱 1 中的润滑油,被油泵 2 吸出,经滤油器 4 及冷却器 5 送到各润滑点上。当油不需要冷却时,经过旁路 6 直接到出油管,图中 7 是压力表,显示管路不同处的压力; 8 是差压计,显示滤油器进、出口压力差,压差大了说明滤油器堵塞; 9 是电接触点温度计,检测油温; 10 是压力继电器,利用油压自动控制; 3 是安全阀,起控制压力和溢流作用; 11 是磁滤油器,它可将回油中部分屑末清除。该稀油站的规格见表 27-128。

润滑脂集中润滑分手动及自动两种;前者结构简单又分单线及双线两种。手动润滑脂集中润滑装置,工作压力一般为 7MPa,润滑点不多于 30 个,润滑区间半径为 2~15m;自动润滑脂集中润滑系统装置工作压力较大,润滑点可达几百个,润滑区间的半径 5~120m。

图 27-6 为自动双线式脂的集中润滑系统示意图

图。开始给油时，干油站的润滑脂经主管 4、过滤器 3、支油管 6、给油器 5 到各润滑点。当所有的给油器给满了润滑脂，主管压力上升到推动压力操纵阀动作的时候，压力操纵阀动作，控制干油站中的电磁换向阀 2 换向，使另一条主管接通给油。原来的那一条线路停止工作。

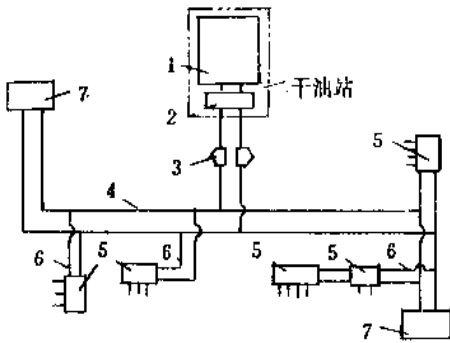


图 27-6 自动双线式脂的集中润滑系统

- 1—干油泵；2—电磁换向阀；3—干油过滤器；
- 4—主管；5—给油器；6—支油管；
- 7—压力操纵阀

### 3.2.7 油雾润滑

(1) 工作原理 油雾润滑是将含有雾状油粒的空气，通过管路，送到各润滑部位，形成和保持所必

须的一定厚度的油膜的一种自动集中润滑方式。

油雾润滑系统，如图 27-7 所示，由油雾润滑装置、管道和凝缩嘴三部分组成。油雾润滑装置主要由分水滤气器、调压阀及油雾发生器等组成。

油雾发生器能产生粒度不大于  $2\mu\text{m}$  的干燥油雾。这样的油雾，表面张力很大，可经管道输送而不致于凝聚于管内壁上。但是这样的油雾到润滑点难以形成油膜，因此在到达润滑点时必须经过“凝缩嘴”，将油雾凝缩成小油粒喷向润滑表面，而压缩空气从密封或特设的排气孔中排出。

这种方法不仅起润滑作用，另外还起冷却及排污作用，耗油量极少；其缺点是排出的气体中含有悬浮的油雾，对操作者及环境卫生均不利。必要时应加通风装置以排除废气。

(2) 油雾润滑系统的计算 计算步骤如下：

- 1) 计算各润滑点所需的油雾量。按表 27-103 所列的经验公式进行；
- 2) 确定油雾压力。按润滑点的需要调定，通常为 500mm 水柱；
- 3) 选定凝油嘴。按下节所述凝缩嘴进行；
- 4) 计算系统总的油雾量。将各润滑点选定凝缩嘴的油雾量相加，求得系统总的油雾量；
- 5) 选择油雾润滑装置。使选择的油雾润滑装置的油雾量大于或等于系统总的油雾量，油雾润滑装置见表 27-144；

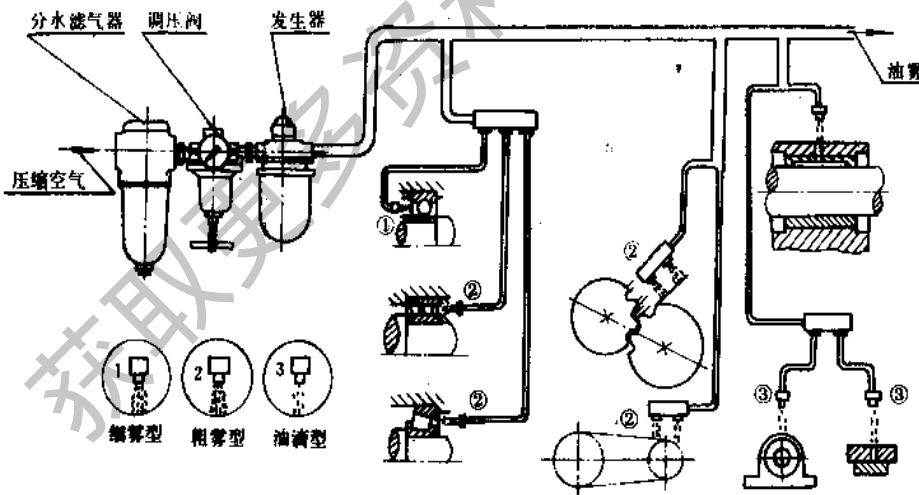


图 27-7 油雾润滑系统

6) 确定油雾管道。根据输送的油雾量，按图 27-8 曲线确定油管道的内径和允许的最大长度；

7) 计算润滑油耗量。每立方米的油雾中含油量为  $4\sim 14\text{cm}^3$ 。

表 27-103 各类摩擦副所需油雾量的计算

摩擦副	计算公式	说 明	摩擦副	计算公式	说 明
滚动轴承	轻负荷 $Q=0.85di$ 中等负荷 $Q=1.7di$ 重负荷 $Q=3.5di$	$Q$ —油雾量, $m^3/h$ ; $d$ —轴承孔径, $m$ ; $i$ —滚动体的列数	蜗杆传动	不可逆回转 $Q=16.4b(2d_1+d_2)$ 可逆回转 $Q=23.9b(2d_1+d_2)$	$b$ —齿宽, $m$ ; $d_1$ —蜗杆分度圆直径, $m$ ; $d_2$ —蜗轮分度圆直径, $m$
滑动轴承	轻负荷 $Q=26ld$ 中等负荷 $Q=44ld$ 重负荷 $Q=88ld$	$d$ —轴承孔径, $m$ ; $l$ —轴承长度, $m$	套筒滚子链	$Q=8.2pd_1i\sqrt{(0.01n_1)^3}$	$p$ —节距, $m$ ; $d_1$ —小链轮节圆直径, $m$ ;
滑动面	滑动导轨 $Q=3.3A$ 滑板 $Q=6.6A$ 滑块、万向联轴节 $Q=19A$	$A$ —接触面积, $m^2$	套筒链	$Q=4.3bd_1\sqrt{(0.01dn_1)^3}$	$b$ —链宽, $m$ ;
			运输链	$Q=(0.064d_2+1.1L)b$	$n_1$ —主动链轮转速, $r/min$ ; $i$ —链条排数; $L$ —运输链长度, $m$ ; $d_2$ —运输链主动轮节圆直径, $m$
齿轮传动	不可逆回转 $Q=16.4b(d_1+d_2+\dots)$ 可逆回转 $Q=23.9b(d_1+d_2)$	$b$ —齿宽, $m$ ; $d$ —齿轮分度圆直径, $m$ 如果 $d_2, d_3, \dots$ 比 $2d_1$ 大, 计算时只取 $2d_1$	密封圈	$Q=2.2d$	$d$ —密封圈内径, $m$

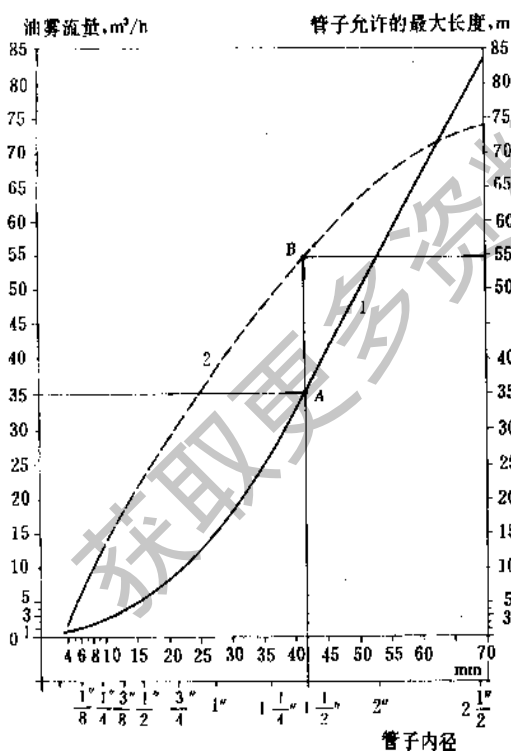


图 27-8 输送油雾管道计算图线

(3) 凝缩嘴 凝缩嘴按凝缩效果不同分为三类 (见图 27-7):

- 1) 细雾型 (油粒约  $5\mu m$ ) ——适用于球轴承;
- 2) 粗雾型 (油粒约  $30\mu m$ ) ——适用于滚子、齿轮和链传动等;
- 3) 油滴型 (油粒约  $45\mu m$ ) ——适用于滑动轴承、滑动面等。

根据摩擦副的类型,所需的油雾量及油雾压力,按凝缩嘴的特性曲线选定凝缩嘴或确定凝缩嘴的主要参数。

凝缩嘴的结构类型如图 27-9 所示,各类凝缩嘴的特性曲线及主要参数见图 27-10~13。滑动轴承每长 150mm 设一个凝缩嘴;齿轮每 50mm 齿宽设一个凝缩嘴。

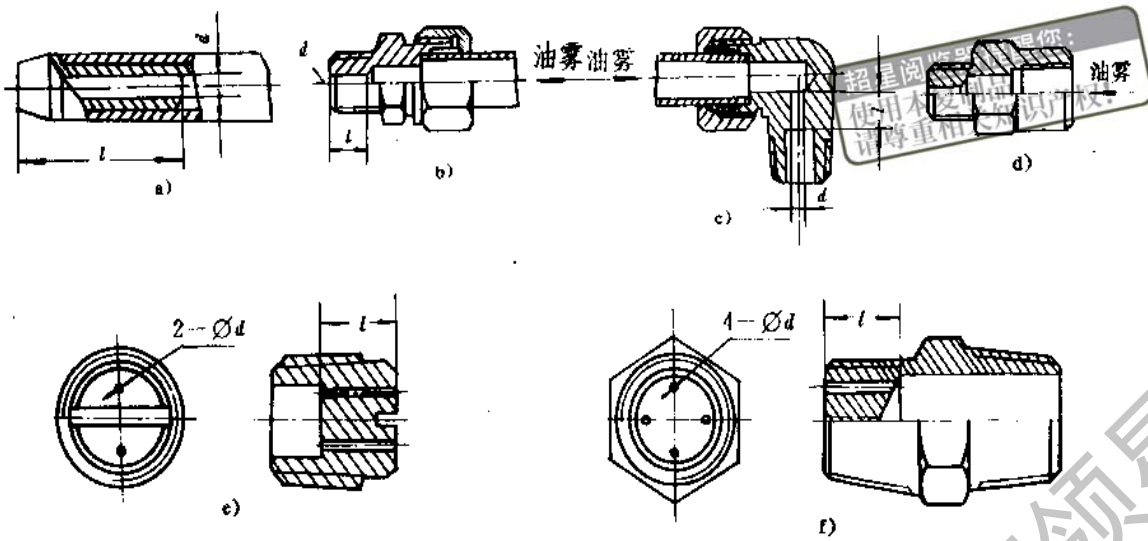
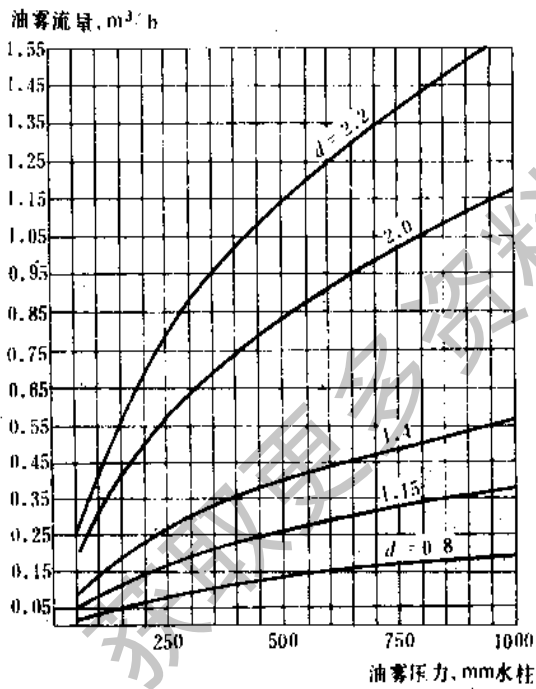
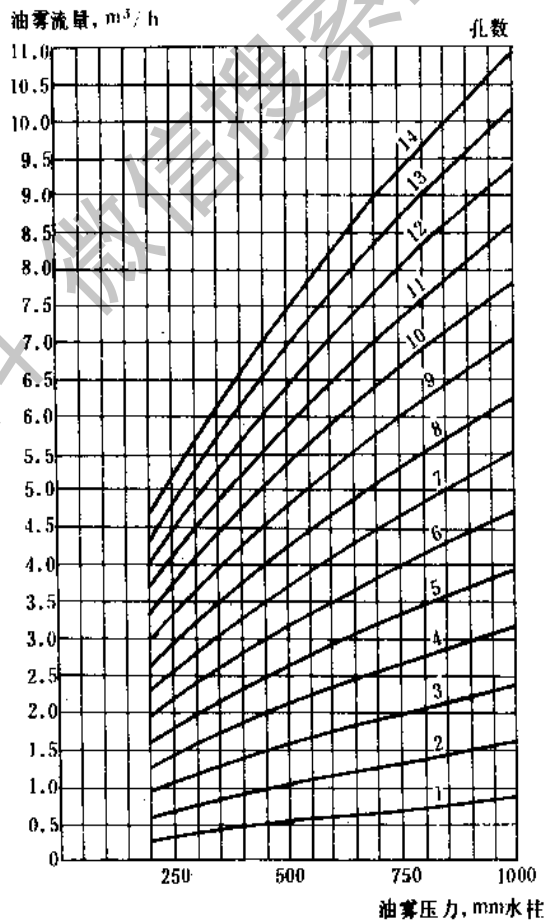


图 27-9 凝缩嘴的结构类型



孔数为 1,  $l=11.2\text{mm}$   
图 27-10 细雾型凝缩嘴特性曲线



孔径  $d=1.7\text{mm}$ ,  $l=35\text{mm}$   
图 27-11 粗雾型凝缩嘴特性曲线



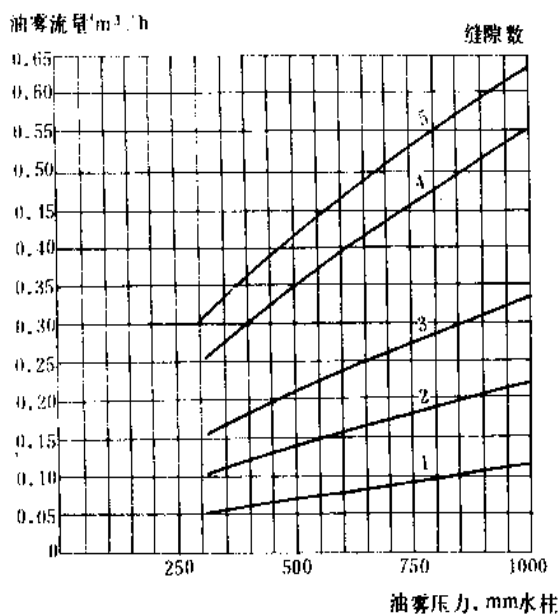


图 27-12 油滴型凝缩嘴特性曲线  
 缝隙半径  $R=0.5\text{mm}$ ,  $l=9.7\text{mm}$

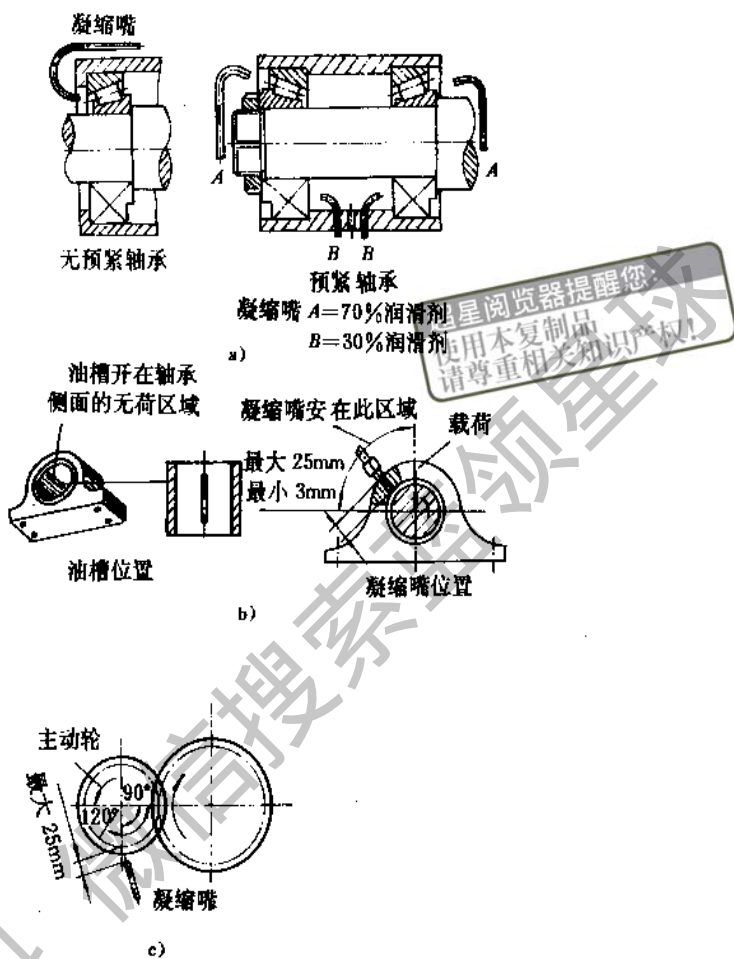


图 27-13 凝缩嘴的安装位置  
 a) 滚动轴承；b) 滑动轴承；c) 齿轮转动

### 3.2.8 覆盖膜润滑

用各种手段将固体润滑剂覆盖在零件的摩擦表面上,使之成为具有自润滑能力的干膜,这种方法在实际中应用广泛。

成膜的方法有,把各种固体润滑剂通过喷射、电泳沉积、真空沉积、等离子喷镀、电镀、离子镀、化学生成、浸渍、粘结、挤压、滚涂和震动等方法在零件表面上作成固体润滑膜。

不论用什么方法成膜,膜的摩擦系数要低,耐磨寿命长,膜对金属表面的粘附能力强,有抗腐蚀能力,还要有较高的承载能力。在成膜过程中,金属表面的处理方法不同,直接影响膜的使用寿命,因此必须注意金属表面的处理,一般金属表面预处理方法见表 27-104,具体成膜方法可参考有关资料。

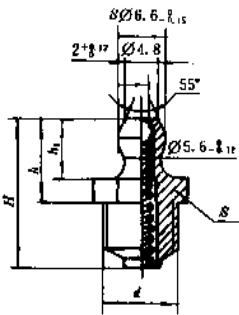
表 27-104 固体润滑干膜的金属  
 底材表面预处理方法

金属的类型	预处理方法
铜 (不包括不锈钢)	喷砂或其它机械处理,电火花处理、磷酸处理
铝	阳极氧化处理、化学生成膜处理
镀锌及镍	喷砂、或蒸汽处理
钛	喷砂或蒸汽处理
镀 锌	磷酸处理
铜及铜合金	电解液浸渍
镁	重铬酸处理
不 锈 钢	蒸汽处理、喷砂处理、化学浸蚀电火花处理

3.3 润滑装置

3.3.1 油 杯

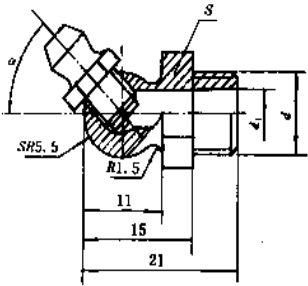
表 27-105 直通式压注油杯 (摘自 GB1152—89)



标记示例: 油杯 M10×1 GB1152

尺 寸 mm					
d	H	h	h <sub>1</sub>	S	
				基本尺寸	极限偏差
M6	13	8	6	8	0 -0.22
M8×1	16	9	6.5	10	
M10×1	18	10	7	11	

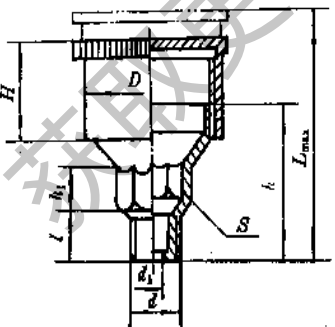
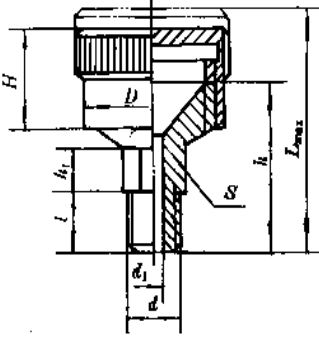
表 27-106 接头式压注油杯 (摘自 GB1153—89)



标记示例: 油杯 45°M10×1 GB 1153

尺 寸 mm					
d	d <sub>1</sub>	a	S		直通式压注油杯 (按 GB 1152)
			基本尺寸	极限偏差	
M6	3	45°, 90°	11	0 -0.22	M6
M8×1	4				
M10×1	5				

表 27-107 旋盖式油杯 (摘自 GB1154—89)

A 型	B 型
	

续表 27-107

标记示例：油杯 A25 GB 1154

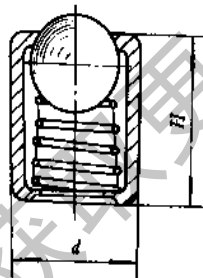
尺 寸 mm

最小容量 cm <sup>3</sup>	d	I	H	h	h <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	D		L <sub>max</sub>	S	
							A 型	B 型		基本尺寸	极限偏差
1.5	M8×1	8	14	22	7	3	16	18	33	10	0 -0.22
3	M10×1		15	23	8	4	20	22	35	13	0 -0.27
6			17	26			26	28	40		
12	M14×1.5	12	20	30	10	5	32	34	47	18	0 -0.33
18			22	32			36	40	50		
25			24	34			41	44	55		
50	M16×1.5	12	30	44	10	5	51	54	70	21	0 -0.33
100			38	52			68	68	85		
200	M24×1.5	16	48	64	16	6	—	86	105	30	—

表 27-108 压配式压注油杯 (摘自 GB1155—89)

标记示例：油杯 6 GB 1155

尺 寸 mm



d		H	钢 球 (按 GB 308)
基本尺寸	极限偏差		
6	+0.040 +0.028	6	4
8	+0.049 +0.034	10	5
10	+0.058 +0.040	12	6
16	+0.063 +0.045	20	11
25	+0.085 +0.064	30	13

表 27-109 弹簧盖油杯 (摘自 GB1157—89)

A 型		标记示例: 油杯 A3 GB 1157									
最小容量 cm <sup>3</sup>		尺寸 mm									
d		H	D	l <sub>2</sub>	l	S					
		≤	≈			基本尺寸	极限偏差				
1	M8×1	38	16	21	10	10	0				
2		40	18	23			-0.22				
3	M10×1	42	20	25	10	11	0				
6		45	25	30			-0.27				
12	M14×1.5	55	30	36	12	18	0				
18		60	32	38			-0.27				
25		65	35	41							
50		68	45	51							

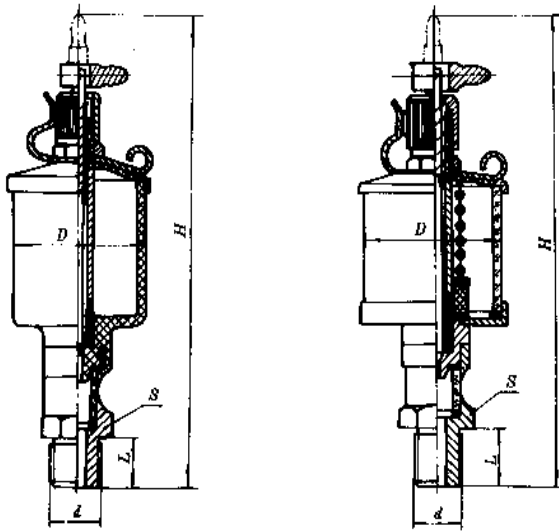
B 型		标记示例: 油杯 BM10×1 GB 1157									
最小容量 cm <sup>3</sup>		尺寸 mm									
d		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	H	h <sub>1</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	S	
										基本尺寸	极限偏差
M6		3	6	10	18	9	6	8	15	10	0 -0.22
M8×1		4	8	12	24	12	8	10	17	13	0 -0.27
M10×1		5								19	16
M12×1.5		6	10	14	26					23	21
M16×1.5		8	12	18	28	14	10	12			0 -0.33

C 型		标记示例: 油杯 CM8×1 GB 1157										
最小容量 cm <sup>3</sup>		尺寸 mm										
d		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	H	h <sub>1</sub>	L	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	螺母 (按 GB 6172)	S	
										基本尺寸	极限偏差	
M6		3	6	10	18	9	25	12	15	M6	13	0 -0.27
M8×1		4	8	12	24	12	28	14	17	M8×1	16	0 -0.27
M10×1		5					30	16		M10×1	19	0 -0.27
M12×1.5		6	10	14	26	14	34	19	19	M12×1.5	21	0 -0.33
M16×1.5		8	12	18	30	18	37	23	23	M16×1.5	25	0 -0.33

超星浏览器提醒您  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

表 27-110 针阀式注油杯 (摘自 GB1158—89)



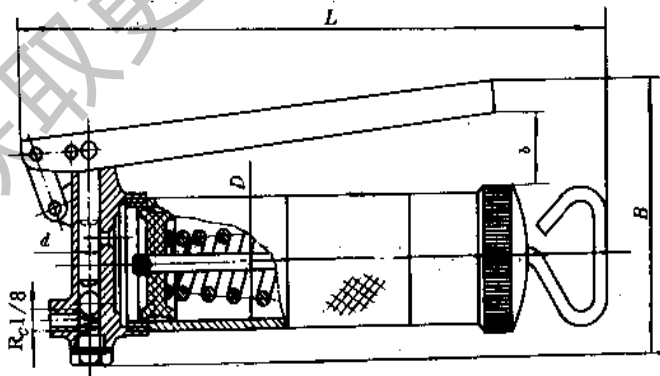
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

标记示例：油杯 A25 GB 1158

最小容量 cm <sup>3</sup>	d	l	H	D	S		螺 母 按 GB 6172
					基本尺寸	极限偏差	
16	M10×1	12	105	32	13	0 -0.27	M8×1
25	M14×1.5		115	36	18		
50			130	45			
100			140	55			
200	M16×1.5	14	170	70	21	0 -0.33	M10×1
400			190	85			

3.3.2 油 枪

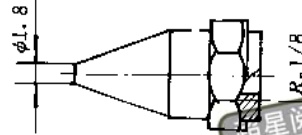
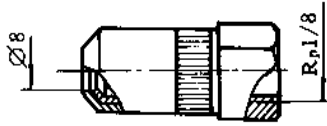
表 27-111 压杆式油枪 (摘自 GB1164—89)



油嘴的型式

A 型

B 型

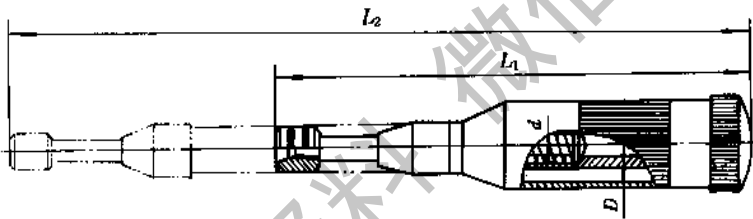


标记示例：  
油枪 A200 GB 1164

储油量 cm <sup>3</sup>	公称压力 MPa	出油量 cm <sup>3</sup>	D	L	B	b	d
100	16	0.6	35	255	90	30	8
200		0.7	42	310	96		9
400		0.8	53	385	125		9

注：表中 D、L、B、d 为推荐尺寸。

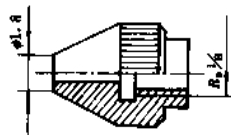
表 27-112 手推式油枪 (摘自 GB1165-89)



油嘴的型式

A 型

B 型



标记示例：  
油枪 A50 GB 1165

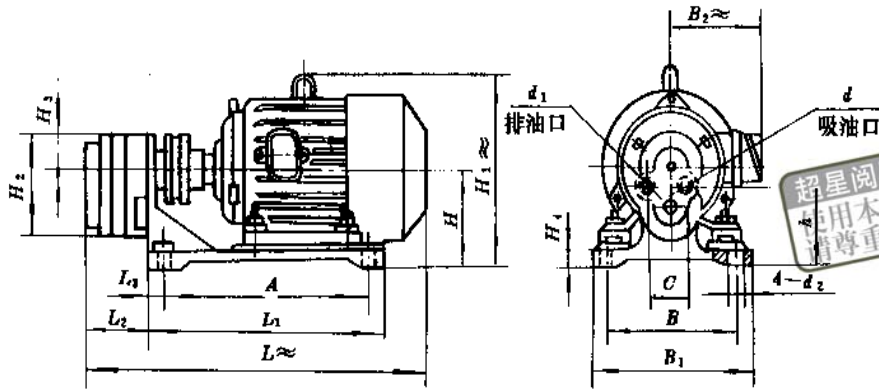
储油量 cm <sup>3</sup>	公称压力 MPa	出油量 cm <sup>3</sup>	D	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	d
50	6.3	0.3	33	230	330	5
100		0.5				6

注：1. 公称压力指压注润滑脂的给定压力；  
2. 表中 D、L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、d 为推荐尺寸。



3.3.3 油 泵

表 27-113 卧式齿轮油泵装置 (摘自 JB/ZQ4590—86)



标记示例:

WBZ2—125 齿轮油泵装置 JB/ZQ 4590—86

性能参数

型 号	公称压力 MPa	齿 轮 油 泵			电 动 机			质 量 kg
		型 号	公称流量 l/min	吸入高度 mm	型 号	功 率 kW	转 速 r/min	
WBZ2-16	0.63	CB3-16	16	500	Y90S-4-B <sub>3</sub>	1.1	1400	55
WBZ2-25		CB3-25	25					56
WBZ2-40		CB3-40	40		Y100L <sub>1</sub> -4-B <sub>3</sub>	2.2	1420	80
WBZ2-63		CB3-63	63					100
WBZ2-100		CB3-100	100		Y112M-4-B <sub>1</sub>	4	1440	118
WBZ2-125		CB3-125	125					146

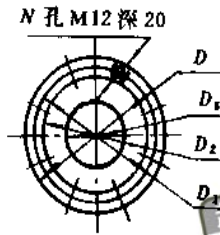
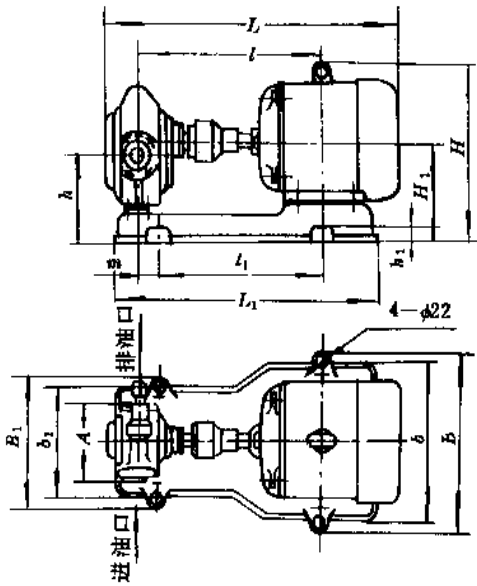
外形尺寸

mm

型 · 号	L <sub>≈</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	A	B	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> ≈	C	H	H <sub>1</sub> ≈	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	h	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>
WB Z2-16	448	360	76	27	310	160	220	155	50	130	230	128	43	30	109	G <sub>3/4</sub>	G <sub>3/4</sub>	15
WB Z2-25	456		84													25	360	215
WB Z2-40	514	406	92	387	244	290	190	65	172	345	185	60	40	140	G <sub>1 1/4</sub>			
WB Z2-63	546	433	104													448	280	330
WB Z2-100	660	485	119	448	280	330	210	65	200	383	185	60	40	168	G <sub>1 1/4</sub>			
WB Z2-125	702	500	126													448	280	330

表 27-114 KCB 型带阀齿轮泵

本产品泵内带有安全阀装置,适用于稀油润滑系统中,排送温度在 60℃ 以下一般粘度的润滑油。



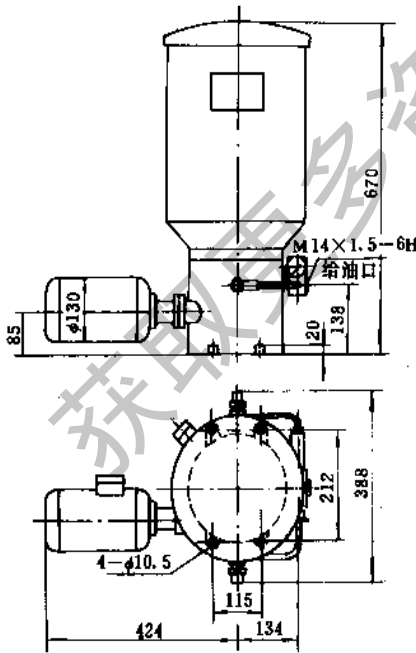
超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

型 号	$H_1$	$L_1$	$l$	$l_1$	$m$	$B_1$	$b$	$b_1$	$A$
KCB-290	267	778	537	490	47	360	395	300	234
KCB-480									
KCB-630	300	925	638	550	88	360	435	300	280
型 号	$h$	$h_1$	法 兰 盘				质 量		
KCB-290	225	50	$D_g$	$D$	$D_1$	$D_2$	$n$	kg	
KCB-480			70	155	123	104	6		
KCB-630			100	190	158	125	8		

型 号	泵				电 动 机				外形尺寸
	输出量 l/min	公称压力 MPa	吸入高度 m	转数 r/min	型 号	功 率 kW	转数 r/min	电 压 V	mm 长×宽×高
KCB-290	290	0.3	6.5	960	Y132M <sub>2</sub> -6	5.5	960	380	891×455×450
KCB-480	480		5	1440	Y132M-4	7.5	1440		891×455×450
KCB-630	630		7	970	Y160L-6	11	970		1098×495×525

注: 生产厂: 沈阳润滑设备厂。

表 27-115 单线润滑泵装置 (摘自 JB/ZQ4580-86)



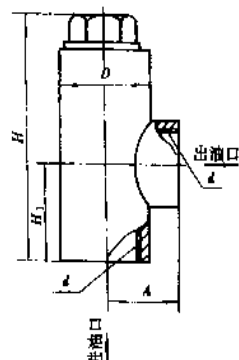
DB 型单线润滑泵是一种柱塞式润滑泵配以二位四通换向阀及双线分配器就成为双线润滑装置,配以片式分配器就成为单线进行式润滑装置,可供各大中型机械设备的集中润滑。

给油量 mL/min	工作压力 MPa	电 动 机		贮油筒容积 l
		功率 kW	电压 V	
24, 43 48, 86	31.5	0.37	380	30
减速比	适用介质		环境温度 ℃	质量 kg
14.5:1	润滑油大于 68 润滑脂至 2 级		-20~+80	38.5

注: 生产厂: 上海润滑设备厂。

3.3.4 阀

表 27-116 单向阀 (摘自 JB/ZQ4595—86)

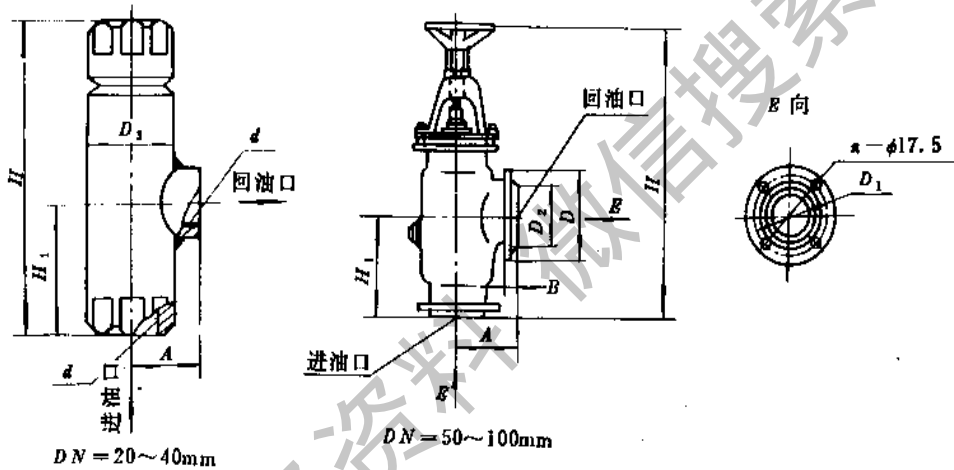


本标准适用于稀油集中润滑系统中, 防止油流反向流动的单向阀。适用介质粘度等级为 22~460。

标记示例:  
DF--32 单向阀 JB/ZQ 4595--86

型号	公称通径 DN	公称压力 MPa	d	D	H	H <sub>1</sub>	A	质量 kg
DF-15	15	0.8	G1/2	40	110	40	32	1.2
DF-25	25		G1	50	115	45	40	1.8
DF-32	32		G1 1/4	55	120	55	45	2.2
DF-40	40		G1 1/2	60	120	55	52	2.4

表 27-117 安全阀 (摘自 JB/ZQ4594 86)



本标准适用于稀油集中润滑系统中, 使系统压力不超过调定值的安全阀。适用介质粘度等级为 22~460。

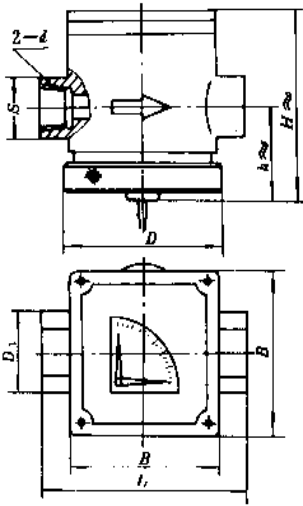
标记示例: AF-E40/0.5 安全阀 JB/ZQ 4594-86

型号	公称通径 DN	公称压力 MPa	工作压力级 MPa	d	H	H <sub>1</sub>	A	法兰尺寸					D <sub>3</sub>	质量 kg
								D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	B	n		
AF-E20/0.	20	0.8	0.2~0.5	G 3/4	140	56	35.5	—	—	—	—	—	45	1.2
AF-E20/0.8			0.4~0.8											
AF-E25/0.5	25	0.8	0.2~0.5	G1	165	70	40	—	—	—	—	—	50	1.6
AF-E25/0.8			0.4~0.8											
AF-E32/0.5	32	0.8	0.2~0.5	G1 1/4	194	88	48	—	—	—	—	—	60	2.8
AF-E32/0.8			0.4~0.8											
AF-E40/0.5	40	0.8	0.2~0.5	G1 1/2	194	88	52	—	—	—	—	—	60	2.8
AF-E40/0.8			0.4~0.8											
AF-E50/0.8	50	(E)	0.2~0.8	—	420	110	110	165	125	102	20	4	—	15
AF-E80/0.8	80		0.2~0.8	—	485	125	125	200	160	133	22	4	—	23
AF-E100/0.8	100		0.2~0.8	—	540	155	135	220	180	158	22	8	—	31

注: 法兰连接尺寸按 GB2555-81 《一般用途管法兰连接尺寸》中 PN=1MPa 的规定。

3.3.5 油流指示器

表 27-118 油流信号器(摘自 JB/ZQ4596—86)



本标准适用于稀油集中润滑系统中,通过信号器指针观察油的流动情况,通过干簧管发出管路中油量不足或断油信号的油流信号器。使用介质粘度等级为 22~460。

标记示例:

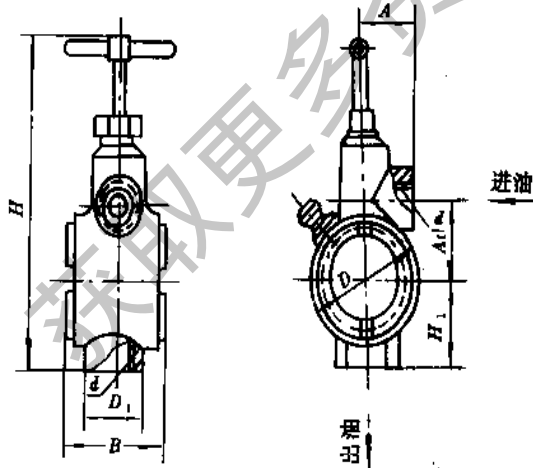
YXQ-10 信号器 JB/ZQ 4596—86

超星阅读器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

型 号	公称 通径 DN	公称 压力 MPa	连接螺纹 d	L	D	H	h	B	D <sub>1</sub>	S	干式舌簧管触点容量			质 量 kg				
											电压 V	电流 A	功率 W					
YXQ-10	10	0.4	G $\frac{3}{8}$	100	70	75	37	65	32	27	12	0.05	0.5	0.7				
YXQ-15	15		G $\frac{1}{2}$	100	70	75	37	65	32	27					0.7			
YXQ-20	20		G $\frac{3}{4}$	120	82	82	40	78	48	40						0.9		
YXQ-25	25		G1	120	82	82	40	78	48	40							0.9	
YXQ-40	40		G1 $\frac{1}{2}$	150	110	106	53	106	68	60								1.1
YXQ-50	50		G2	150	110	106	53	106	68	75								

注:生产厂:沈阳润滑设备厂。

表 27-119 给油指示器(摘自 JB/ZQ4597—86)



本标准适用于稀油集中润滑系统中观察向润滑点给油情况和调节给油量的给油指示器。适用介质粘度等级为 22~460。

标记示例:

GZQ-15 给油指示器  
JB/ZQ 4597—86

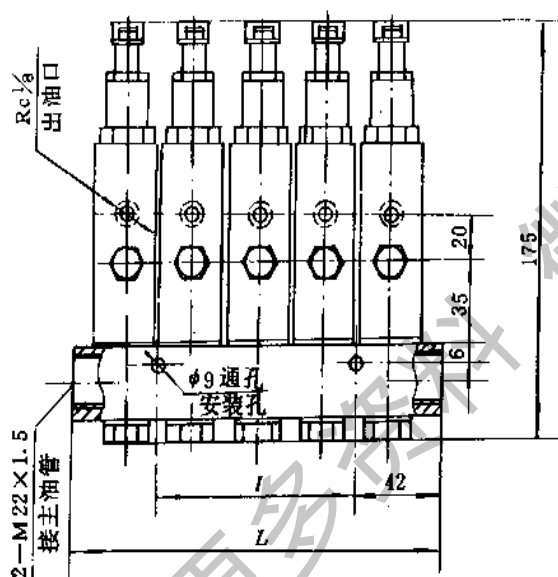
续表 27-119

型 号	公称通径 DN	公称压力 MPa	d	D	B	A <sub>1</sub>	A	H	H <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	质量
											kg
GZQ 10	10	0.63	G $\frac{3}{8}$	65	58	35	32	142	45	32	1.4
GZQ-15	15		G $\frac{1}{2}$	65	58	35	32	142	45	32	1.4
GZQ-20	20		G $\frac{3}{4}$	80	60	28	30	150	60	41	2.2
GZQ-25	25		G1	50	60	28	38	150	60	41	1.0

注：生产厂：沈阳润滑设备厂。

### 3.3.6 GDQ 型高压单线给油器

表 27-120 GDQ 型高压单线给油器



用于单线高压润滑系统中，当公称压力达到 4~6MPa 时，自动定量供润滑油。

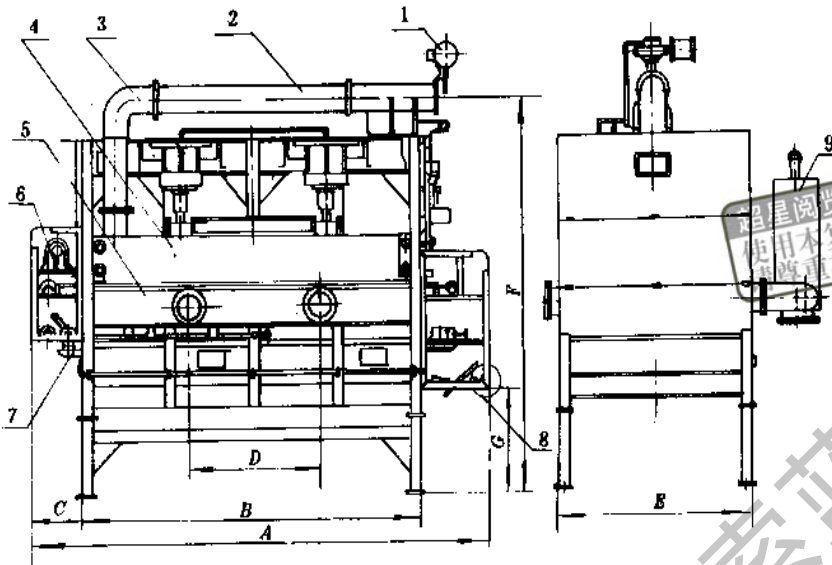
型 号	公称压力 MPa	给油能力 ml/次	动作压力 MPa	给油点数	安装孔数	尺 寸, mm		质 量 kg
						I	L	
I	32	0.13~3.1	4~6	5	2	96	180	4.0
II				4	2	64	148	3.2
III				3	2	32	116	2.4
IV				2	1	—	84	1.6

注：生产厂：沈阳润滑设备厂。

### 3.3.7 稀油过滤装置

表 27-121 平床过滤机 (摘自 JB/ZQ4601-86)

本标准主要用于有色金属及黑色金属轧制工艺润滑系统, 主要对工艺润滑冷却液及乳化液进行过滤。



1—入口阀 2—软管 3—液压油缸 4—上室 5—下室 6—纸带输送装置 7—油盘 8—过滤纸 9—液位箱

标记示例:

PGJ-3.6 平床过滤机 JB/ZQ 4601-86

参 数	过 滤 能 力 l/min	工 作 压 力 MPa	夹 紧 压 力 MPa	过 滤 精 度 $\mu\text{m}$	过 滤 面 积 $\text{m}^2$	换 纸 时 间 min	油口尺寸 DN mm		地脚螺钉孔 mm	安 装 尺 寸 长×宽 mm	质 量 kg
							进	出			
型 号											
PGJ-0.5	630	0.021	0.4~0.6	15	0.5	3	65	80	4- $\phi$ 22	875×870	1260
PGJ-0.8	1000				0.8		80	100	4- $\phi$ 22	1030×1250	1675
PGJ-1.25	1500				1.25		100	125	4- $\phi$ 22	1480×1180	2560
PGJ-1.80	2000				1.80		125	150	4- $\phi$ 22	1970×1500	3240
PGJ-2.50	3000				2.50		150	175	4- $\phi$ 22	2240×1500	4500
PGJ-3.15	4000				3.15		200	250	4- $\phi$ 22	2875×1500	5670
PGJ-3.60	4500				3.60		200	250	4- $\phi$ 32	3490×1485	6210
PGJ-4.50	5500				4.50		250	300	4- $\phi$ 32	4250×1500	7650
PGJ-5.00	6000				5.00		250	300	4- $\phi$ 32	4711×1500	8200
PGJ-6.30	8000				6.30		300	335	8- $\phi$ 32	6000×1500	10000
PGJ-8.00	10000				8.00		325	375	8- $\phi$ 32	7175×1500	12000
PGJ-10	12500				10		375	425	8- $\phi$ 32	6000×1500	14000
PGJ-12	15000				12		400	475	8- $\phi$ 32	7100×2170	16000
PGJ-15	18000				15		450	500	8- $\phi$ 32	9025×2170	18000

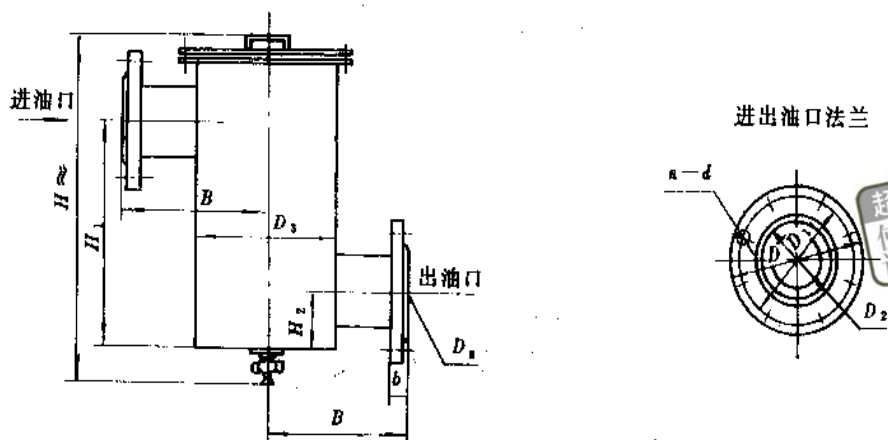
型 号	A	B	C	D	E	F	G
PGJ-0.5	2100	930	560	610	935	2125	720
PGJ-0.8	2350	1235	510	610	1090	2185	670
PGJ-1.25	2810	1540	460	815	1240	2490	890
PGJ-1.80	3715	2030	765	915	1575	2540	200
PGJ-2.50	4175	2345	765	1070	1575	2540	200
PGJ-3.15	5085	2955	915	1220	1575	2620	200
PGJ-3.60	6010	3570	915	1525	1575	2620	200
PGJ-4.50	6930	4185	1220	1525	1575	2620	200
PGJ-5.00	7840	4791	1525	1525	1575	2620	200
PGJ-6.30	9080	6030	1525	1525	1575	2620	200
PGJ-8.00	10915	7255	1830	1830	1575	2670	200
PGJ-10	9300	6100	1830	1375	2290	2815	105
PGJ-12	10975	7315	1830	1830	2290	2815	105
PGJ-15	12805	9145	1830	1830	2290	2815	105

注: 生产厂: 沈阳润滑设备厂。



表 27-122 CLQ 型磁过滤器

用于稀油集中润滑系统。安装在稀油站回油管的末端,经它过滤的油直接流进油箱,能滤出其它过滤器无法滤出的细小铁磁性杂质。经过滤器的油的流速推荐为 0.23~0.69m/s。



型 号	公 称 压 力 MPa	公 称 通 径 $D_g$	公 称 流 量 l/min	质 量 kg
CLQ-50	0.1	50	63	29
CLQ-80		80	125	57
CLQ-125		125	250	77
CLQ-150		150	400	105
CLQ-200		200	630	177
CLQ-250		250	1000	248
CLQ-300		300	1600	417

mm												
型 号	$D_g$	$D$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$H$	$H_1$	$H_2$	$B$	$d$	$n$	$b$
CLQ-50	50	160	125	100	190	558	360	65	180	18	4	18
CLQ-80	80	195	160	135	290	605	355	80	230	18	4	20
CLQ-125	125	245	210	185	330	665	390	105	265	18	8	24
CLQ-150	150	280	240	210	400	700	410	120	300	23	8	24
CLQ-200	200	335	295	265	505	770	435	150	355	23	8	24
CLQ-250	250	390	350	320	600	900	525	180	425	23	12	26
CLQ-300	300	440	400	368	756	1045	635	230	500	23	12	28

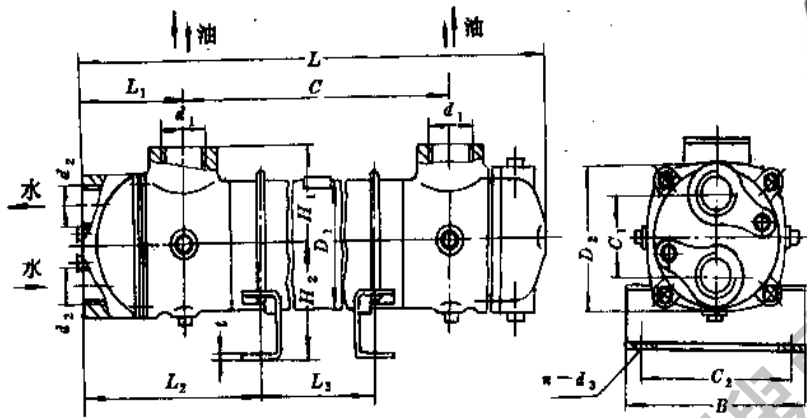
注:1. 连接法兰按 JB 81-59 的规定( $P_g=1\text{MPa}$ );

2. 生产厂:沈阳润滑设备厂。

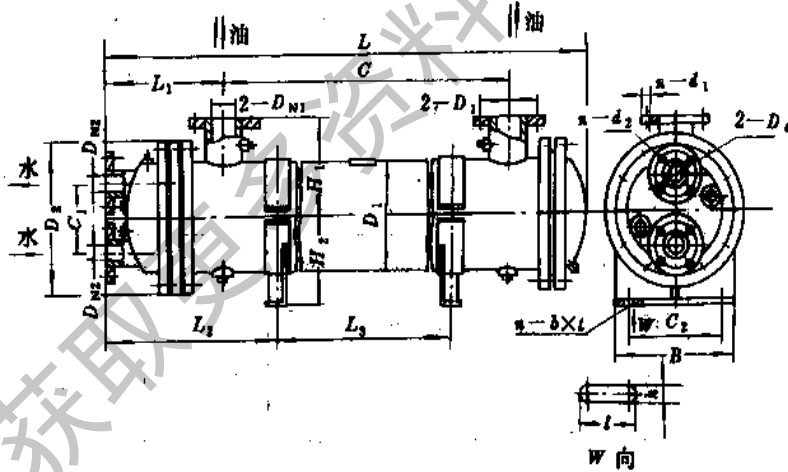
3.3.8 冷却器

表 27-123 列管式油冷却器(摘自 JB/ZQ4004-86)

适用于冶金、矿山、电力、轻工、食品和其它工业部门稀油润滑系统与液压系统中。使用介质粘度等级为 10~460, 工作温度小于 100℃。



GLC 型油冷却器

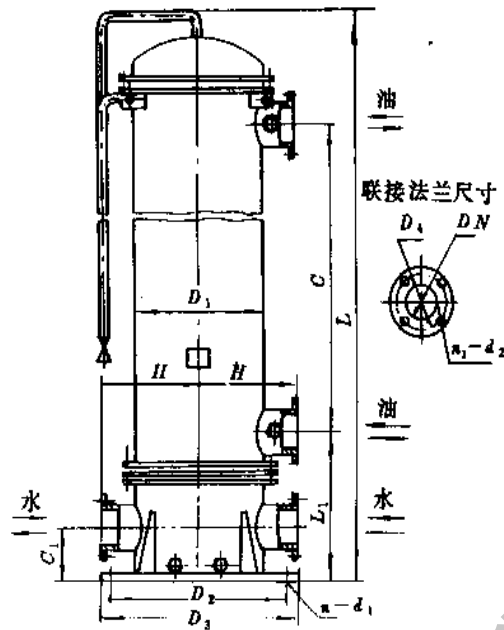


GLL 型卧式油冷却器

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜索 蓝领星球

续表 27-123



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

GLL 型立式油冷却器

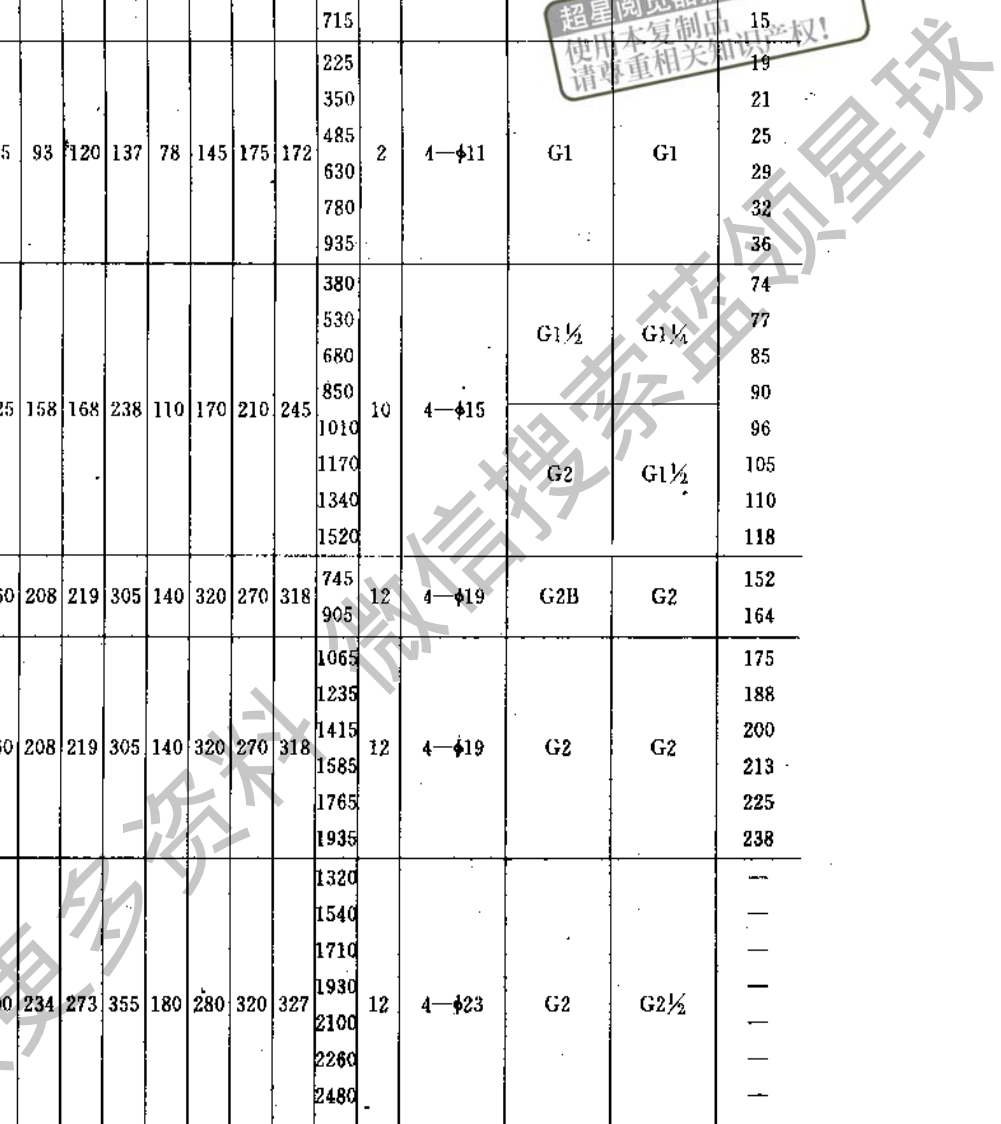
型号	公称压力 MPa	公称冷却面积 m <sup>2</sup>								热 交 换 器 性 能							
										介质粘 度等级	进油 温度	进水 温度	油温 降	压力损失 MPa		油流量 与水流 量之比	热交换系数 K kcal/ (m <sup>2</sup> ·h·°C)
														油侧	水侧		
GLC1	0.63; 1; 1.6	0.4	0.6	0.8	1	1.2	—	—	—	N100	55±1	≤30	≥8	≤0.1	≤0.05	1:1	>300
GLC2		1.3	1.7	2.1	2.6	3	3.6	—	—								
GLC3		4	5	6	7	8	9	10	11								
GLC4		13	15	17	19	21	23	25	27								
GLC5		30	34	37	41	44	47	50	54								
GLC6		55	60	65	70	75	80	85	90								
GLL3	0.63; 1	4	5	6	7	—	—	—	—	50±1					1:1.5	>200	
GLL4		12	16	20	24	28	—	—	—								
GLL5		35	40	45	50	60	—	—	—								
GLL6		80	100	120	—	—	—	—	—								
GLL7		160	200	—	—	—	—	—	—								

注：热交换器性能是指油冷却器在表中规定的工况条件下测得的 K 值。

续表 27-123

GLC 型油冷却器外型尺寸																	mm
型 号	L	C	L <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	B	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	t	n-d <sub>3</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	质 量 kg
GLC1-0.4	370	240										145					8
GLC1-0.6	540	405										310					10
GLC1-0.8	660	532	67	60	68	78	92	52	102	132	115	435	2	4-φ11	G1	G $\frac{3}{4}$	12
GLC1-1	810	665										570					15
GLC1-1.2	940	805										715					19
GLC2-1.3	560	375										225					21
GLC2 1.7	690	500										350					25
GLC2-2.1	820	635	98	85	93	120	137	78	145	175	172	485	2	4-φ11	G1	G1	29
GLC2-2.6	960	775										630					32
GLC2-3	1110	925										780					36
GLC2-3.5	1270	1085										935					74
GLC3-4	840	570										380					77
GLC3-5	990	720										530			G $\frac{1}{2}$	G $\frac{1}{4}$	85
GLC3-6	1140	870										680					90
GLC3-7	1310	1040	152	125	158	168	238	110	170	210	245	850	10	4-φ15			96
GLC3-8	1470	1200										1010					105
GLC3-9	1630	1360										1170			G2	G $\frac{1}{2}$	110
GLC3-10	1800	1530										1340					118
GLC3-11	1980	1710										1520					152
GLC4-13	1340	985	197	160	208	219	305	140	320	270	318	745	12	4-φ19	G2B	G2	164
GLC4-15	1500	1145										905					175
GLC4-17	1660	1305										1065					188
GLC4-19	1830	1475										1235					200
GLC4-21	2010	1655	197	160	208	219	305	140	320	270	318	1415	12	4-φ19	G2	G2	213
GLC4-23	2180	1825										1585					225
GLC4-25	2360	2005										1765					238
GLC4-27	2530	2175										1935					—
GLC5-30	1932	1570										1320					—
GLC5-34	2152	1790										1540					—
GLC5-37	2322	1960										1710					—
GLC5-41	2542	2180	202	200	234	273	355	180	280	320	327	1930	12	4-φ23	G2	G $\frac{1}{2}$	—
GLC5-44	2712	2350										2100					—
GLC5-47	2872	2510										2260					—
GLC5-51	3092	2730										2480					—
GLC5-54	3262	2900										2650					—
GLC6-55	2272	1860										1590					—
GLC6-60	2452	2040										1770					—
GLC6-65	2632	2220										1950					—
GLC6-70	2812	2400	227	230	284	325	410	200	300	390	362	2130	12	4-φ23	G $\frac{1}{2}$	G3	—
GLC6-75	2992	2580										2310					—
GLC6-80	3172	2760										2490					—
GLC6-85	3352	2940										2670					—
GLC6-90	3532	3120										2850					—

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



续表 27-123

**GLL 型卧式油冷却器外型尺寸** mm

型 号	L	C	L <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	B	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	n d <sub>1</sub>	n-d <sub>2</sub>	n-b×l	DN <sub>1</sub>	DN <sub>2</sub>	质量 kg
GLL3-4	1165	682										485								143
GLL3-5	1465	982										785	100						32	168
GLL3-6	1765	1282	265	190	210	219	310	140	200	290	367	1085		100					32	
GLL3-7	2065	1512										1385			4-φ17.5				40	
GLL4-12	1555	860										660				4-φ17.5	4-20×28			319
GLL4-16	1960	1365	345									1065	145						65	380
GLL4-20	2370	1775	262	262	325	435	200	300	370	497		1475		145					65	440
GLL4-24	2780	2175										1885								505
GLL4-28	3190	2585	350									2295							80	566
GLL5-35	2480	1692										1232								698
GLL5-40	2750	1962	500								730	1502	180		8-φ17.5				100	766
GLL5-45	3020	2202		315	314	265	352	350	520			1772	180		8-φ17.5	8-φ17.5	4-20×30		100	817
GLL5-50	3290	2472	515									725	2042	210					125	900
GLL5-60	8830	3012										2582								1027
GLL6-80	3160	2015										1555								1617
GLL6-100	3760	2615	700	500	434	616	780	360	750	550	935	2155	295	295	8-φ22	8-φ22	4-25×32	200	200	1890
GLL6-120	4360	3215										2755								2163

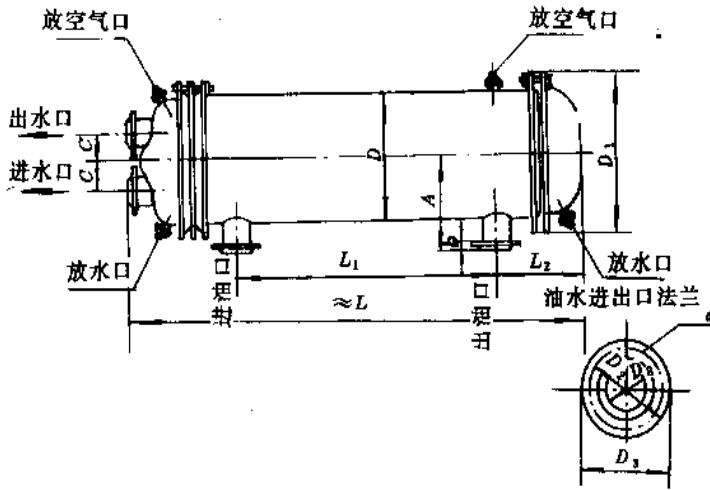
**GLL 型立式油冷却器外型尺寸** mm

型 号	L	C	L <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	H	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	DN	D <sub>4</sub>	n-d <sub>1</sub>	n <sub>1</sub> -d <sub>2</sub>	质量 kg
GLL5-35L	2610	1692							80	160			734
GLL5-40L	2880	1962											802
GLL5-45L	3120	2202	470	150	315	426	640	590			6-φ30		853
GLL5-50L	3390	2472							100	180		8-φ17.5	936
GLL5-60L	3930	3012											1063
GLL6-80L	3255	2015							125	210			1670
GLL6-100L	3855	2615	705		500	616	1075	1015					1943
GLL6-120L	4456	3215		235					150	240	6-φ40		2216
GLL7-160L	3320	2010			602	820	1210	1150				8-φ22	2768
GLL7-200L	3970	2660	715						200	295			3340

注：生产厂：上海润滑设备厂。

表 27-124 LQQ 型冷却器

冷却器用于稀油，循环润滑系统中，冷却已被加热的润滑油，重新送入润滑点。



超星阅读器提醒您  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

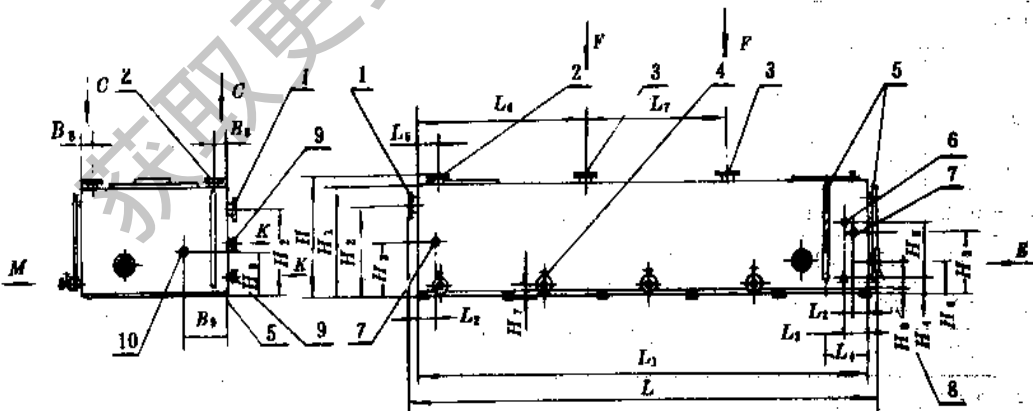
序号	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	C	D	A	D <sub>3</sub>	油水进出口法兰						铜管		质量 kg		
								D <sub>g</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	b	d	孔数	外径	壁厚		长度	根数
								mm										
1	1250	635	275	90	325	260	440	40	110	145	18	18	4	16	1.5	955	70	270
2	1600	900	330	100	377	300	500	40	110	145	18	18	4			1245	102	387
3	2196	1450	328	110	426	340	565	80	160	195	20	18	4			1825	148	575
4	2440	1640	356	125	529	400	670	100	180	215	22	18	8			2065	258	1020
5	4020	2900	435	150	630	450	780	125	210	245	24	18	8	25	2	3385	192	1972
6	4545	3150	615	200	820	600	1010	200	295	335	24	23	8			3790	344	3535

注：生产厂：沈阳润滑设备厂。

3.3.9 油 箱

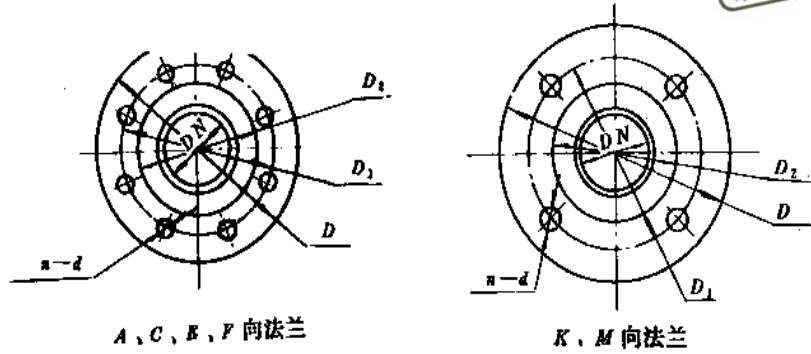
表 27-125 油箱 (摘自 JB/ZQ4587—86)

本标准适用于稀油润滑系统，主要用途是贮油，同时起沉淀、散热和散发气体等作用。





超星阅读器提醒您：  
使用本产品时，  
请尊重相关知识产权！



- 1—回油口；2—自循环回油口；3—排气口；4—排油口；5—液位计；6—取样口 2-G1-B；  
7—温度计；8—出油口；9—蛇形加热管；10—电气温度开关

标记示例：

YX2-50 油箱 JB/ZQ 4587-86

型 号	YX2-5	YX2-10	YX2-16	YX2-20	YX2-25	YX2-31.5	YX2-40	YX2-50	YX2-63
容 积 m <sup>3</sup>	5	10	16	20	25	31.5	40	50	63
适用油泵排油量 l/min	160/200	250/315	400/500	630	800	1000	1250	1600	2000
加热器加热面积 m <sup>2</sup>	2	3.5	5.5	7	9	10.5	14	18	21
蒸汽耗量 kg/h	40	65	90	120	140	180	220	260	310
过滤面积 m <sup>2</sup>	0.48	0.56	0.58	0.63	0.75	0.8	0.88	0.96	1.1
过滤精度 mm	0.25								
最高液面 mm	850	1000	1200	1300	1400	1500	1700	1800	1900
最低液面 mm	410				450			550	600
质 量 kg	2016	3200	4042	4884	6234	7258	8283	13054	14375

- 注：1. 最高液面和最低液面是指油站工作时（泵在运行中）的液面最高极限和最低极限位置，用液位讯号器发出油箱液面讯号。讯号器的触点容量：220V、0.2A；  
2. 蒸气耗量是指蒸气压力为 0.2~0.4MPa 的耗量。

续表 27-125

		mm							
型号	YX2-5	YX2-10	YX2-16	YX2-20	YX2-25	YX2-31.5	YX2-40	YX2-50	YX2-63
尺寸									
L	4480	5330	6280	6680	7180	7680	8300	9000	9900
B	1966	2210	2460	2640	2820	2960	3230	3480	3680
B <sub>1</sub>	1686	1930	2180	2360	2540	2680	2950	3200	3400
H	1100	1280	1500	1650	1700	1880	2000	2100	2200
L <sub>1</sub>	4300	5150	6100	6500	7000	7500	8100	8800	9700
B <sub>2</sub>	1500	1750	2000	2180	2360	2500	2750	3000	3200
H <sub>1</sub>	1000	1180	1400	1500	1600	1700	1900	2000	2100
L <sub>2</sub>	250	250	300	300	350	350	350	400	400
L <sub>3</sub>	400	400	450	450	500	500	500	550	550
L <sub>4</sub>	600	600	650	650	700	700	700	750	750



超星阅读器提醒您：  
续表 27-125  
请尊重知识产权！

型 号		YX2-5	YX2-10	YX2-16	YX2-20	YX2-25	YX2-31.5	YX2-40	YX2-50	YX2-63		
名 称	自循环回油器 (C 向)	DN	50	80	100	100	125	125	150	150	200	
		D	165	200	220	220	250	250	285	285	340	
		D <sub>1</sub>	125	160	180	180	210	210	240	240	295	
		D <sub>2</sub>	102	133	158	158	184	184	212	212	268	
		n	4	8	8	8	8	8	8	8	8	
		d	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	22	22	22	
		出油口 (E 向)	DN	100	125	150	150	200	200	250	250	300
		D	220	250	285	285	340	340	395	395	445	
		D <sub>1</sub>	180	210	240	240	295	295	350	350	400	
		D <sub>2</sub>	158	184	212	212	268	268	320	320	370	
	n	8	8	8	8	8	8	12	12	12		
	d	17.5	17.5	17.5	17.5	22	22	22	22	22		

注：连接法兰按 JB/ZQ 4476—86《焊接法兰 (PN=1MPa)》的规定。

尺 寸	DN	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	n	d
排气口 (F 向)	125	250	210	184	8	17.5
加热器口 (K 向)	50	165	125	102	4	17.5
排油口 (M 向)	40	150	110	88	4	17.5

注：1. 连接法兰按 JB/ZQ 4476—86《焊接法兰 (PN=1MPa)》的规定；

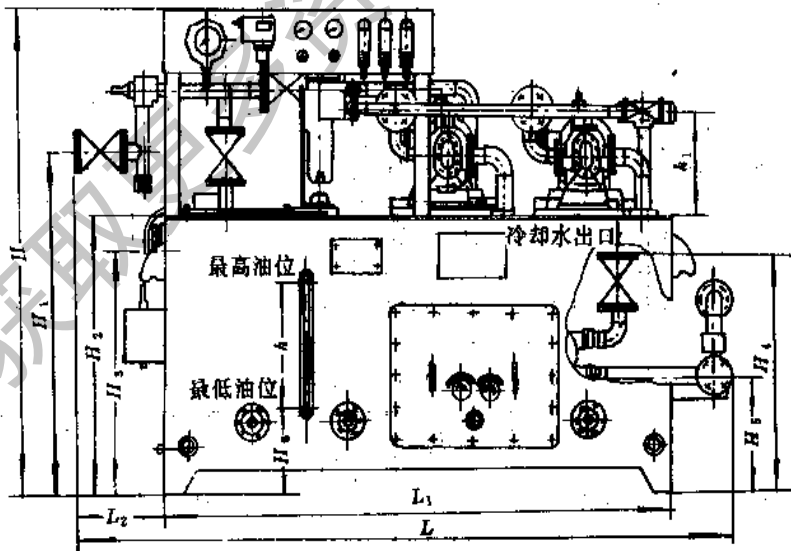
2. 生产厂：沈阳润滑设备厂。

### 3.3.10 稀油润滑装置

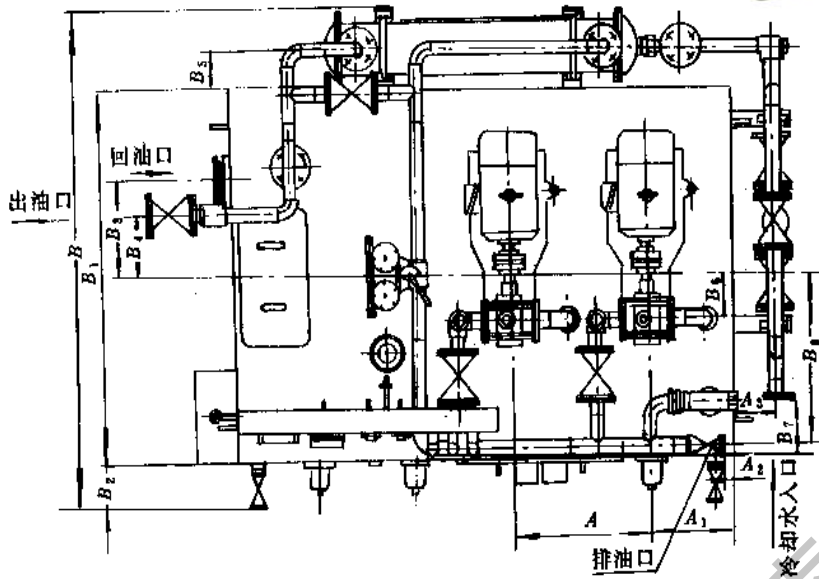
表 27-126 稀油润滑装置 (摘自 JB/ZQ 4586—86)

稀油润滑装置主要适用于冶金、重型、矿山等机械设备稀油循环润滑系统中，向减速机、齿轮座、主电机轴承等摩擦部位供送润滑油。工作介质粘度等级为 22~460 的工业润滑油，循环冷却装置采用列管式油冷却器。

公称压力为 0.63MPa；过滤精度低粘度为 0.08mm，高粘度为 0.12mm；冷却水温度 ≤ 30℃ 的工业用水，冷却水压力 < 0.4MPa；冷却器的进油温度为 50℃ 时，润滑油的温降 ≥ 8℃；蒸汽压力为 0.2~0.4MPa。



超星阅读器提醒您：  
使用本阅读器时，  
请尊重知识产权！



XHZ-6.3~XHZ125 稀油润滑装置

型 号	公称 流量 l/min	油箱 容积 m <sup>3</sup>	电动机		过滤 面积 m <sup>2</sup>	换热 面积 m <sup>2</sup>	冷却水 管通径 mm	冷却水 耗量 m <sup>3</sup> /h	电加热 器功率 kW	蒸汽管 通径 mm	蒸汽 耗量 kg/h	压力罐 容量 m <sup>3</sup>	出油口 通径 mm	回油口 通径 mm	质量 kg
			极数 P	功率 kW											
XHZ-6.3	6.3	0.2	6	0.75	0.05	1.3	25	0.6	3	—	—	—	15	40	510
XHZ-10	10														
XHZ-16	16	0.5	6	1.1	0.13	3	25	1.5	6	—	—	—	25	50	760
XHZ-25	25														
XHZ-40	40	1.25	6	2.2	0.20	6	32	3.8	12	—	—	—	32	65	1298
XHZ-63	63														
XHZ-100	100	2.5	6	5.5	0.54	11	32	7.5	18	—	—	—	50	80	2415
XHZ-125	125														

型 号	mm													
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	B	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>	H
XHZ-6.3	1640	1100	410	980	700	110	235	190	88	150	14	430	1240	
XHZ-10														
XHZ-16	1935	1400	400	1250	850	140	200	—	112	125	200	495	1300	
XHZ-25														
XHZ-40	2400	1800	880	1610	1200	150	300	200	130	150	200	560	1540	
XHZ-63														
XHZ-100	2980	2400	350	1800	1400	150	450	200	130	100	70	550	1690	
XHZ-125														

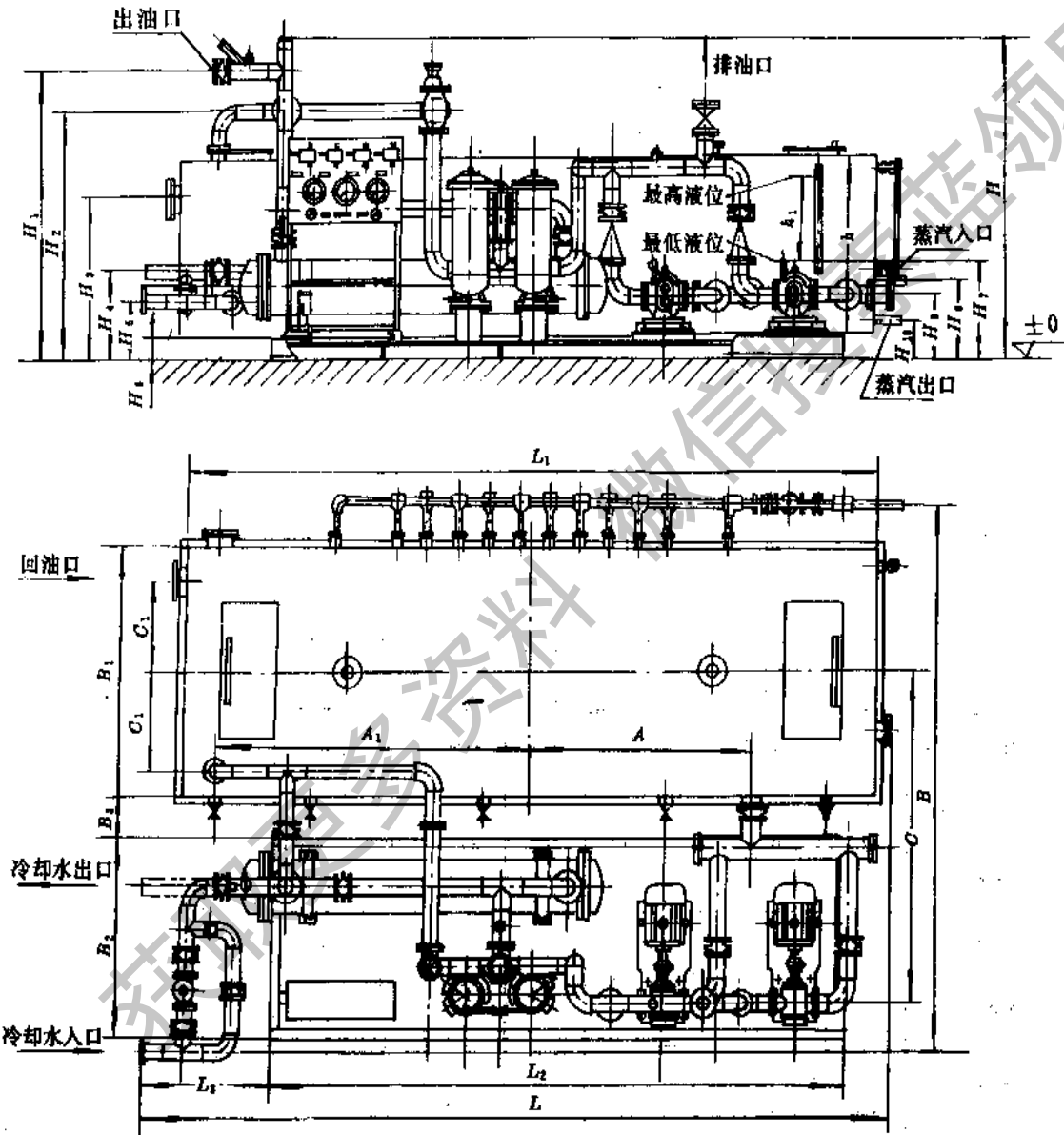
型 号	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	h	h <sub>1</sub>	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
	XHZ-6.3	715	590	510	510	290	240	250	220	350	230	35
XHZ-10												
XHZ-16	800	650	550	683	360	250	280	290	420	255	—	80
XHZ-25												

超星阅读器提醒您：  
使用本软件时，请遵守版权！

续表 27-126

型 号	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$h$	$h_1$	$A$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
XHZ-40	1060	890	780	775	380	280	400	335	490	320	35	150
XHZ-63												
XHZ-100	1330	1040	920	980	580	380	400	370	680	450	100	150
XHZ-125												

注：1. 回油口法兰连接尺寸按 GB2555-81 《一般用途法兰连接尺寸》中  $PN=1MPa$  的规定；  
2. 表中所列的稀油润滑装置均无地脚螺钉孔。



XHZ-160~XHZ-500 稀油润滑装置

超星浏览器提醒您：  
续表 27-126  
使用超星浏览器时，请遵守超星浏览器的版权！

型 号	公称 流量 l/min	油箱 容积 m	电动机		过滤 面积 m <sup>2</sup>	换热 面积 m <sup>2</sup>	冷却水 管通径 mm	冷却水 耗 量 m <sup>3</sup> /h	电加热 器功率 kW	蒸汽管 通 径 mm	蒸汽 耗量 kg/h	压力罐 容 量 m <sup>3</sup>	出油口 通 径 mm	回油口 通 径 mm	质量 kg	
			极数 P	功率 kW												
XHZ-160	160	5	4	6	7.5	0.52	20	65	20	—	50	40	—	65	125	4362
XHZ-200	200															
XHZ-250	250	10	4	6	11	0.83	35	100	30	—	50	65	—	80	150	6585
XHZ-315	315															
XHZ-400	400	16	4	6	15	1.31	50	100	45	—	50	90	—	100	200	7911
XHZ-500	500															

mm

型 号	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	B	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
XHZ-160	4900	4300	4100	700	3700	1500	1300	500	1950	1688	1400	940	622
XHZ-200													
XHZ-250	5750	5150	4500	760	4120	1750	1500	500	2200	1958	1650	1090	610
XHZ-315													
XHZ-400	6640	6100	5000	1200	4320	2000	1600	500	2700	2340	2000	1280	730
XHZ-500													

型 号	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	H <sub>9</sub>	H <sub>10</sub>	h	h <sub>1</sub>	A	A <sub>1</sub>	C	C <sub>1</sub>
XHZ-160	422	140	550	818	400	390	1000	440	1150	1900	2250	590
XHZ-200												
XHZ-250	375	160	570	838	440	410	1180	590	1525	2825	2575	695
XHZ-315												
XHZ-400	496	180	590	858	480	430	1400	790	1950	2770	2800	775
XHZ-500												

注：1. 所有法兰连接尺寸均按 GB 2555—81《一般用途法兰连接尺寸》中 PN=1MPa 的规定；  
2. 生产厂：沈阳润滑设备厂。

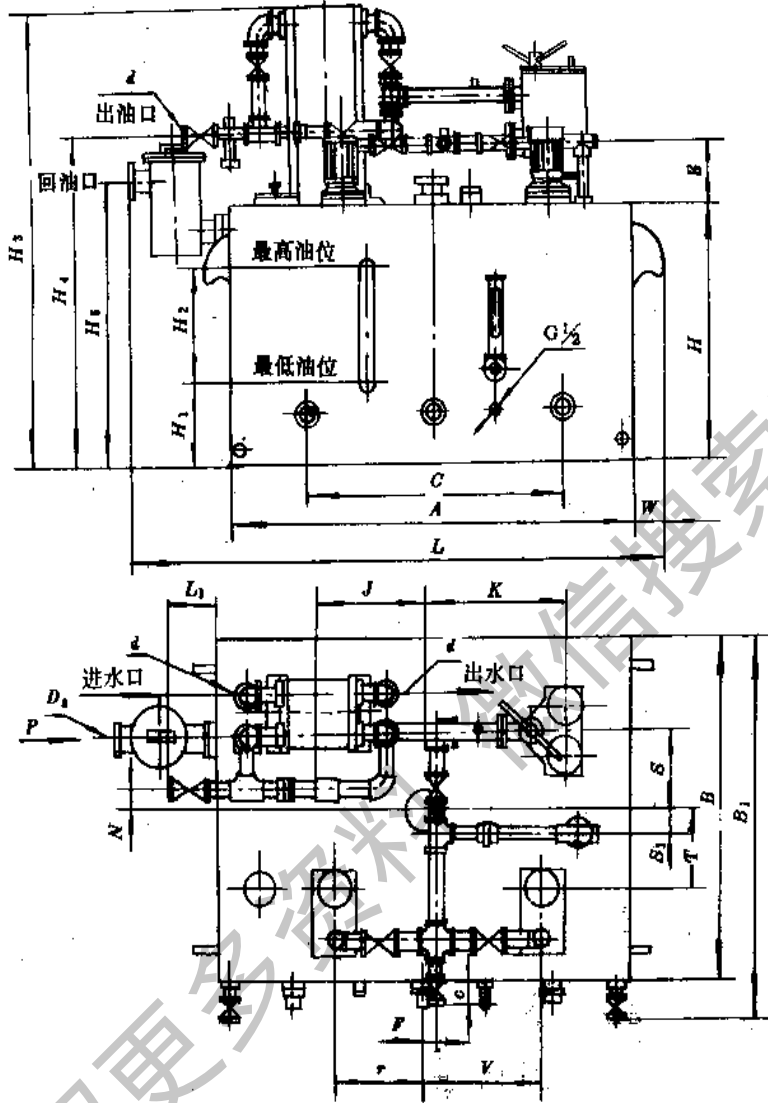


表 27-127 稀油站 (摘自 Q/ZB355-77)

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
侵犯知识产权！

稀油站是一种润滑油集中润滑装置。其工作介质为：汽轮机油，32~68 全损耗系统用油及轧钢机油等，运动粘度范围为 20~326 mm<sup>2</sup>/s。

最大工作压力 0.4MPa，过滤精度为 0.12 mm，冷却水温度 ≤ 28℃，冷却水压力 0.2~0.3 MPa；冷却器的进油温度 50℃；冷却器温降 7~8℃。



XYZ-16~XYZ-125 稀油站

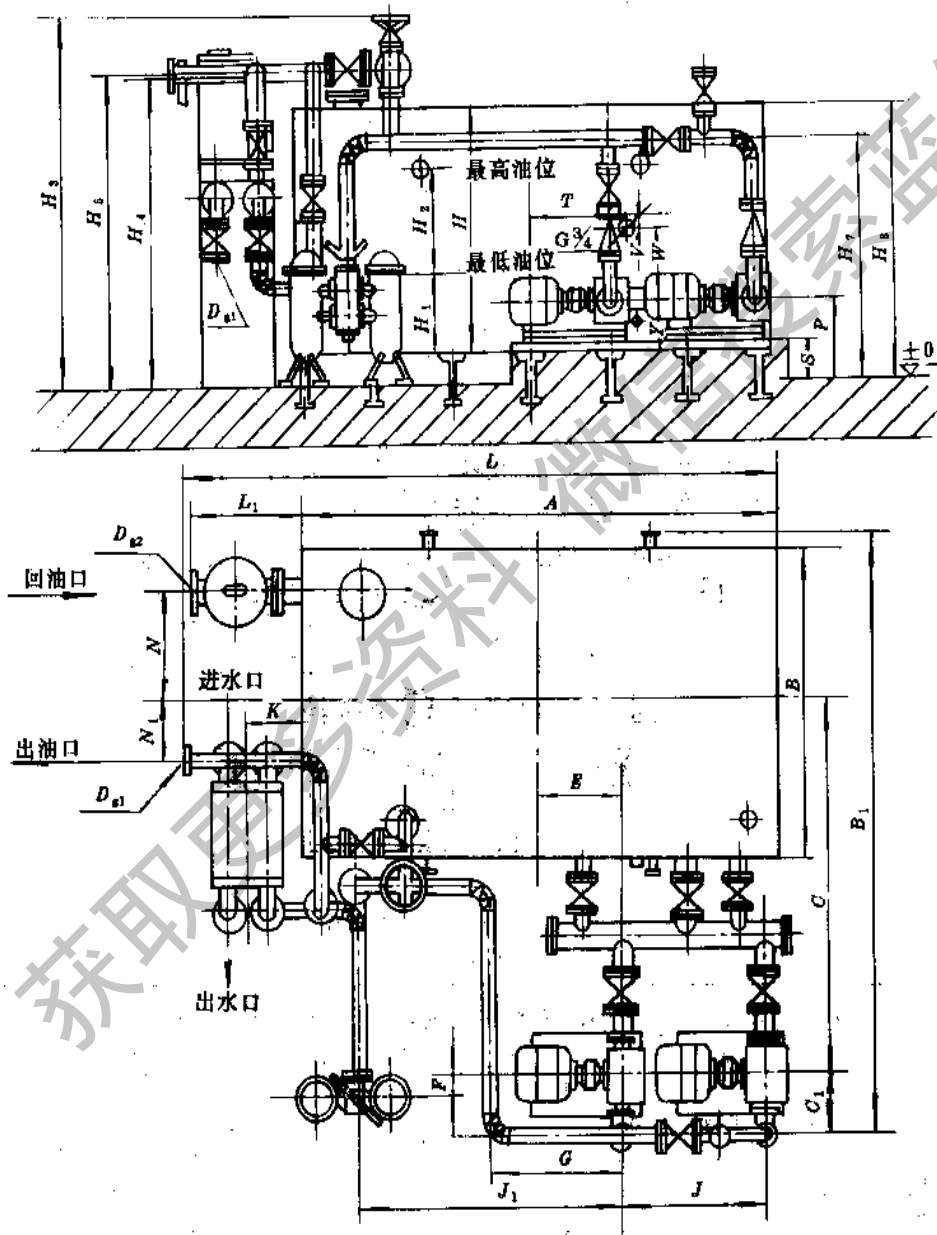
标记示例：XYZ-63 稀油站 Q/ZB355-77

型 号	公称流量 l/min	油箱容积 m <sup>3</sup>	过滤面积 m <sup>2</sup>	换热面积 m <sup>2</sup>	电热器 kW	电 动 机			D <sub>s</sub>	d	A	B
						型 号	功率 kW	转速 r/min				
XYZ-16	16	0.63	0.08	3	12	Y90L-4	1.5	1410	50	G1"	1000	900
XYZ-25	25											
XYZ-40	40	1	0.08	5	12	Y100L <sub>2</sub> -4	3	1430	50	G1 1/4"	1200	1000
XYZ-63	63											
XYZ-100	100	1.6	0.21	7	24	Y132S-4	5.5	1440	80	G1 1/2"	1500	1200
XYZ-125	125											

超星阅读器提醒您：  
续表 27-127  
使用超星阅读器时，请尊重知识产权！

型号	$B_1$	$C$	$E$	$F$	$H$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$J$	$K$	$L$	$L_1$	$N$	$S$	$S_1$	$T$	$U$	$V$	$W$	质量 kg
XYZ-16	1050	90	250	63	700	250	280	1405	950	875	2535	397	1380	190	4	175	96	210	164	339	70	960
XYZ-25																						
XYZ-40	1167	123	214	138	850	260	400	1555	1064	1015	268	500	1650	215	58	248	43	265	156	432	70	1155
XYZ-63																						
XYZ-100	1355	102	250	170	950	300	400	1665	1200	1095	325	567	2035	248	56	300	69	300	166	506	70	1540
XYZ-125																						

- 注：1. 电动机的安装结构型式为 A302 型；  
2. 回油口法兰连接尺寸按 JB76—59 ( $P_2=1\text{MPa}$ ) 的规定；  
3. 无地脚螺钉孔。



XYZ—250~XYZ400 稀油站

超星阅读器提醒您：  
使用本产品须遵守版权！

续表 27-127

型 号	公称 流量 l/min	油箱 容积 m <sup>3</sup>	过滤 面积 m <sup>2</sup>	换热 面积 m <sup>2</sup>	冷却水 耗量 m <sup>3</sup> /h	电热 器 kW	蒸汽 耗量 kg/h	电 动 机		
								型 号	功率 kW	转速 r/min
XYZ-250	250	6.3	0.52	24	12	—	100	Y132S-4	5.5	1440
XYZ-250A				—	—					
XYZ-400	400	10	0.83	35	20	—	160	Y132M-4	7.5	1440
XYZ-400A				—	—					

型 号	mm												
	Dg <sub>1</sub>	Dg <sub>2</sub>	A	B	B <sub>1</sub>	C	C <sub>1</sub>	E	F	G	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>
XYZ-250	65	125	3300	1600	3140	1960	300	350	200	850	1200	510	470
XYZ-250A			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
XYZ-400	80	150	3600	2000	3610	2230	300	450	85	950	1500	600	630
XYZ-400A			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

型 号	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	J	J <sub>1</sub>	K	K <sub>1</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>
XYZ-250	2160	1485	1850	—	1290	1350	1100	1700	500	—	4050	630	—
XYZ-250A			—	595					—	—	3930		—
XYZ-400	2275	1740	1965	—	1400	1650	1100	1870	500	—	4400	700	—
XYZ-400A			—	720					—	—	4300		—

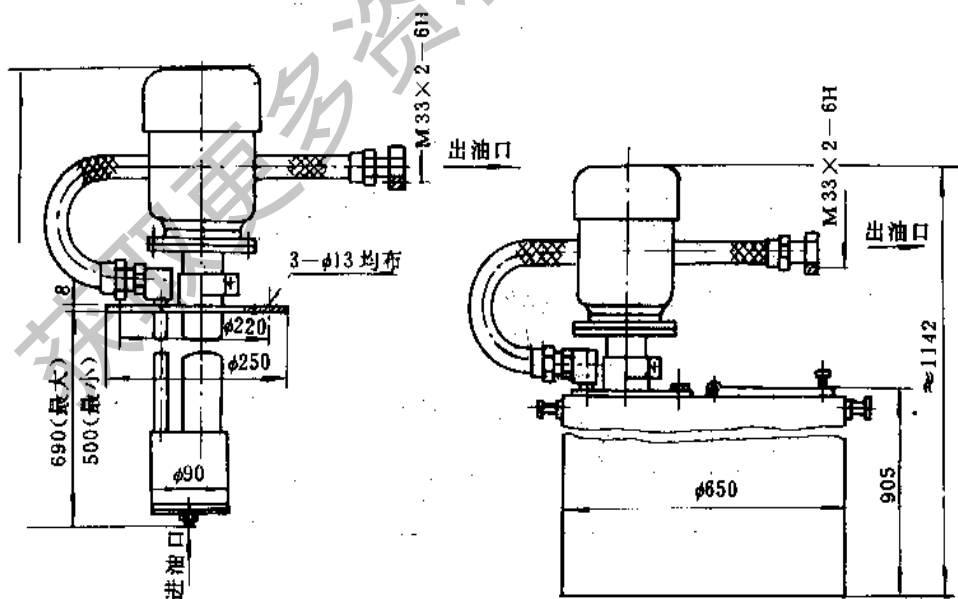
型 号	N	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	P	S	T	U	V	W	质量 kg
XYZ-250	570	364	—	—	500	286	650	100	170	430	4145
XYZ-250A		1836	—	—							3295
XYZ-400	750	500	—	—	550	315	600	100	170	430	5735
XYZ-400A		1980	—	—							4395

注：1. 所有法兰连接尺寸均按 JB81-59 (P<sub>g</sub>=1MPa) 的规定；2. A 为不带冷却器的稀油站。

3.3.11 干油泵及干油站

表 27-128 电动加油泵 (摘自 JB/ZQ4543 86)

适用于干油集中润滑系统中，向干油站的贮油器内充填润滑油。



DIB-F200 型不带贮油桶电动加油泵

DIB-F200B 型带贮油桶电动加油泵

续表 27-128

标记示例:

DJB--F200 加油泵 JB/ZQ 4543--86

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

型 号	公称压力 MPa	加油量 l/h	电 动 机			贮油桶容积 l	质 量 kg
			型 号	转 速 r/min	功 率 kW		
DJB—F200	1 (F)	200	Y90S-4-B <sub>5</sub>	1400	1.1	—	50
DJB—F200B						270	138

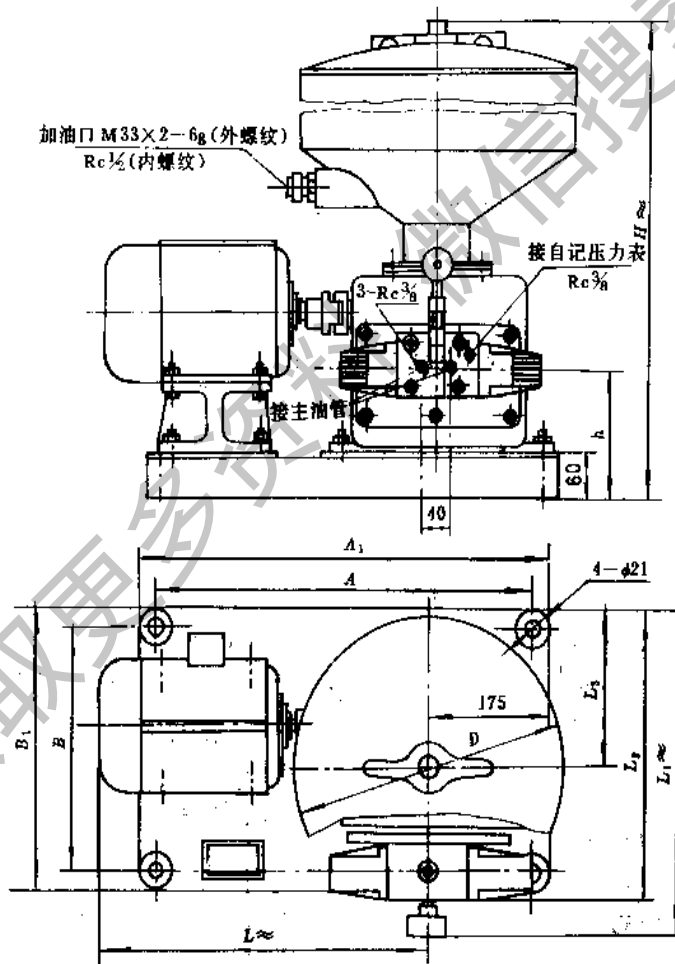
注: 生产厂: 沈阳润滑设备厂。

表 27-129 电动干油站 (摘自 JB2304-78)

适用于重型、矿山设备干油集中润滑系统中, 通过给油器向各润滑点供送润滑脂用的电动干油站。

电动干油站所使用的润滑脂的锥入度范围为 250~350 (25 C, 150g) 1/10mm。

电动干油站系双线流出式结构, 有两个出油口, 一般是与双线给油器配用, 同时在管路末端安装压力操纵阀, 来控制油站电磁换向阀的换向及停车。



标记示例:

DXZ-630 干油站 JB2304-78

续表 27-129

型 号	给油能力 ml/min	公称压力 MPa	贮油器 容 积 l	电 动 机			电磁铁 电 压 V	质 量 kg
				型 号	功 率 kW	转 速 r/min		
DXZ-100	100	10	50	A06364	0.37	1400	220	148
DXZ-315	315		75	Y802-4-B <sub>3</sub>	0.75	1390		192
DXZ-630	630		120	Y90S-4-B <sub>3</sub>	1.1	1400		235

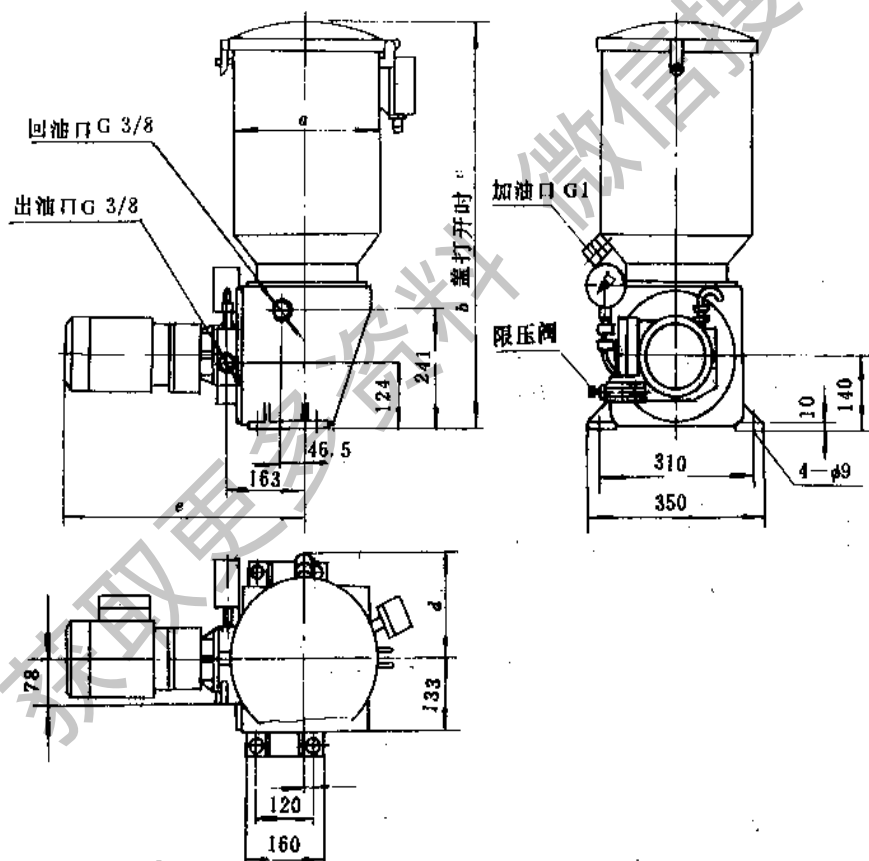
型 号	A	A <sub>1</sub>	B	B <sub>1</sub>	h	D	L <sub>≈</sub>	L <sub>1</sub> ≈	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	H <sub>≈</sub>	
											最高	最低
											mm	
DXZ-100	460	510	300	350	151	408	406	414	368	200	1330	925
DXZ-315	550	600	315	365	167		474	434	392	210	1770	1765
DXZ-630						508	489				1820	1215

注：生产厂：沈阳润滑设备厂。

表 27-130 BS-B 型干油润滑泵

BS-B 型干油润滑泵是一种柱塞式电动高压润滑泵，适用于供油管道长且润滑点多的场合，通过给油器向各润滑点供送润滑脂。使用润滑脂锥入度不低于 200。

BS-S 型干油润滑泵可用于进行式干油集中润滑系统或与 SA-V 型二位四通换向阀组合用于双线干油集中润滑系统。

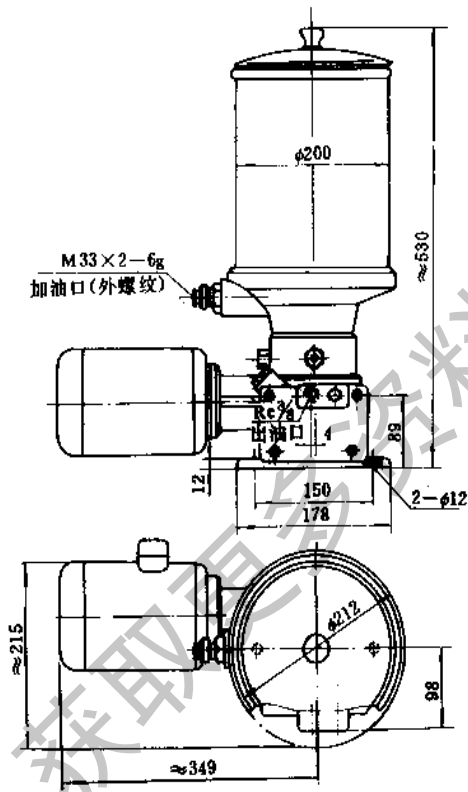


续表 27-130

规格	工作压力 MPa	给油量 l/h	环境温度 ℃	电动机		尺寸 mm				
				kW	r/min	a	b	c	d	e
30l	40	7	-20~80	0.37	80	310	760	1140	200	500
60l	40	7	-20~80	0.75	80	400	810	1190	230	563
100l	40	14	-20~80	1.5	160	500	920	1200	280	575
		22			250					

注：生产厂，上海润滑设备厂。

表 27-131 单线干油泵（摘自 JB2306-78）



本标准适用于冶金、矿山中小型润滑脂集中润滑系统中，用单线干油泵通过单线片式给油器向各润滑点输送润滑脂。

使用润滑脂锥入度范围 250~350 (25℃, 150g) 1/10mm。

标记示例：

DB-63 干油泵 JB2306-78

型 号		DB-63
公称压力	MPa	10
给油能力	ml/min	63
贮油器容积	l	8
柱塞直径	mm	8
柱塞行程	mm	4
柱塞数量		4
电动机	型 号	A06324'
	功率 kW	0.25
	转速 r/min	1400
质 量	kg	23

注：电机的安装结构型式为 A3 型。

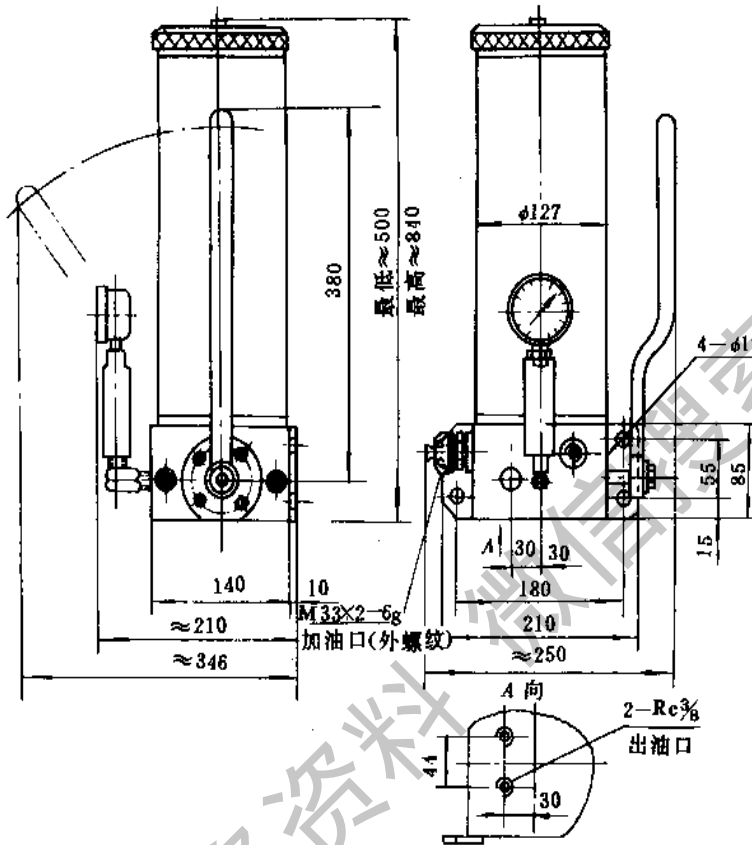
注：生产厂，沈阳润滑设备厂。



表 27-132 手动润滑泵 (摘自 JB/ZQ4087—85)

超星阅读器提醒您：  
 任何复制品  
 请尊重相关知识产权！

本标准适用于双线式干油集中润滑系统中，通过给油器向各润滑点输送润滑脂的手动润滑泵（以下简称润滑泵），允许在 0~40℃ 的环境温度下工作，采用润滑脂的锥入度不低于 265 (25℃, 150g) 1/10mm。



标记示例：

SGZ—8 润滑泵 JB/ZQ4087—85

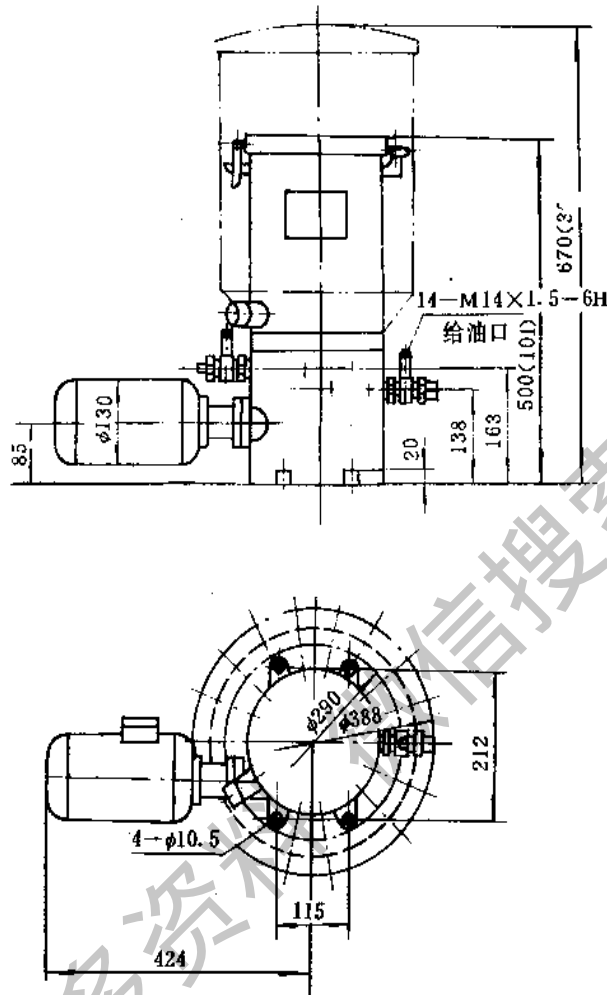
型 号	给 油 量 ml/循环	公 称 压 力 MPa	贮 油 桶 容 积 l	质 量 kg
SGZ—8	8	7	3.5	24

注：1. 表中公称压力是指润滑泵单行程中，由零增加到表中规定值的压力；  
 2. 生产厂：沈阳润滑设备厂。

表 27-133 多点干油泵 (摘自 JB/ZQ4579—86)

适用于公称压力为 20MPa 的中小型机械设备集中润滑系统中供送润滑剂的多点润滑泵, 润滑泵适用介质为锥入度不低于 265 (25℃, 150g) 1/10mm 的润滑脂和粘度等级大于 46 的润滑油。适用环境温度为 -20~+80℃。

超星阅读器提醒您：  
 制作本产品  
 请尊重相关知识产权！



标记示例:

6ZB-L5.8/10 润滑泵 JB/ZQ 4579-86

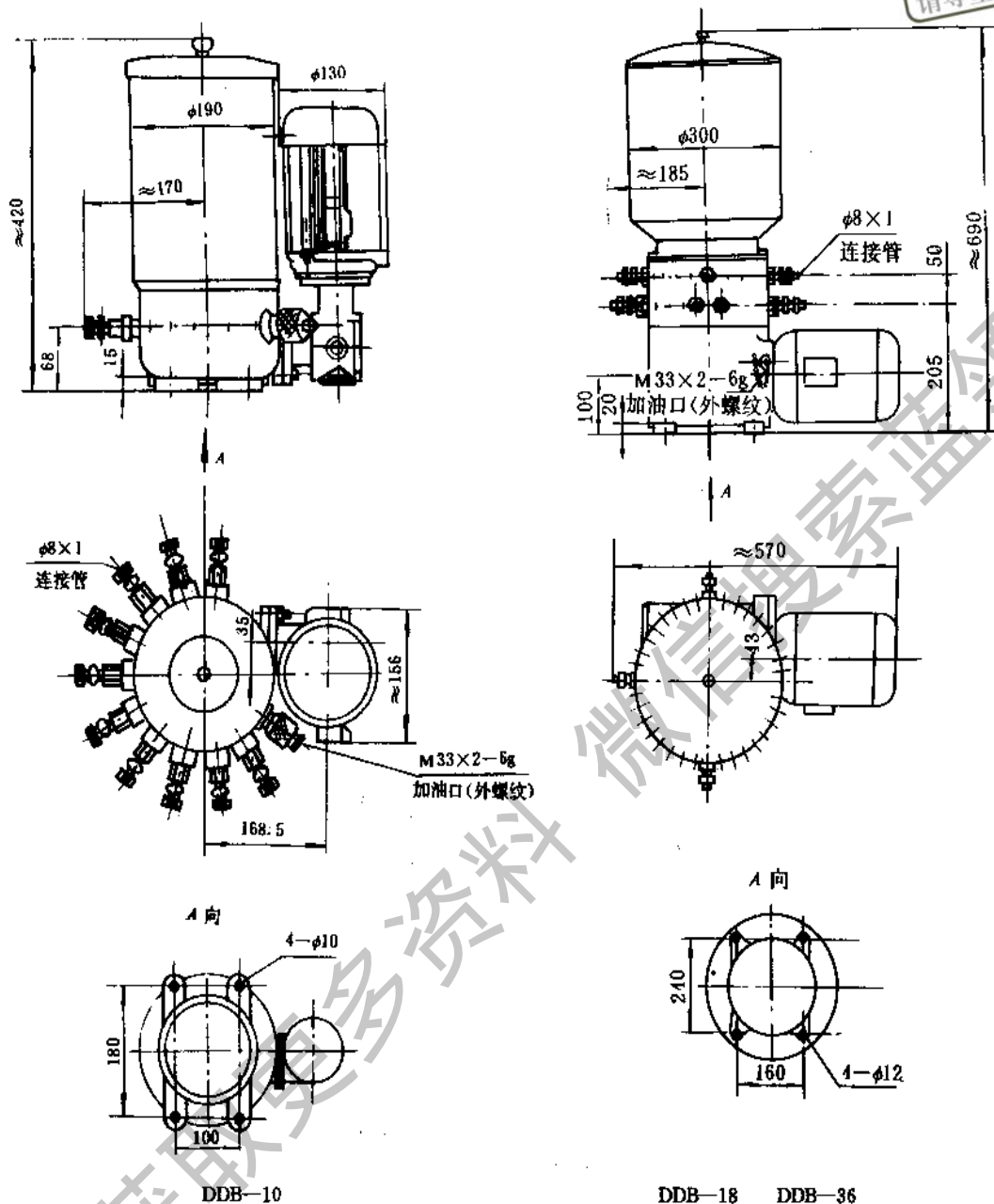
公称压力 MPa	每给油口额定给油量 ml/min	给油口数 个	贮油桶容积 l	电机功率 kW	电机电压 V
20 (L)	1.8, 3.5, 5.8, 10.5	1~14	10, 30	0.18	380

注: 1. 润滑泵实际公称压力可达 31.5MPa;  
 2. 生产厂: 上海润滑设备厂。

表 27-134 多点干油泵 (摘自 JB/ZQ4088-85)

适用于多线式干油集中润滑系统, 直接或通过给油器向各润滑点输送润滑脂, 干油泵允许在 0~40℃ 的环境下工作, 采用润滑脂的锥入度应不低于 265 (25℃、150g) 1/10mm。

温馨提示:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!



标记示例:

DDB-10 干油泵 JB/ZQ 4088-85

型 号	出油口数 (点)	公称压力 MPa	每口给油量 ml/次	给油次数 次/min	贮油桶容积 l	电动机功率 kW	质 量 kg
DDB-10	10	10	0~0.2	13	7	0.37	19
DDB-18	18				23	0.55	75
DDB-36	36				23	0.55	80

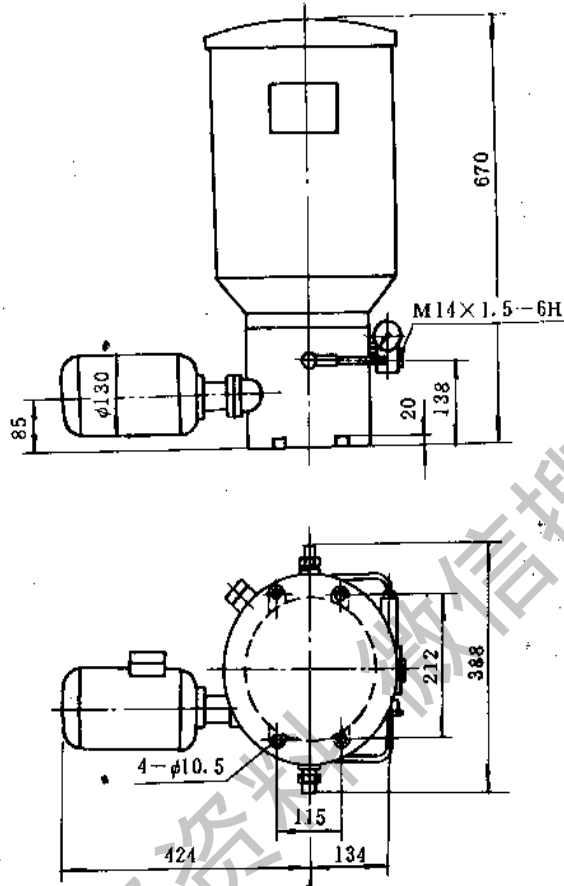
注: 生产厂: 沈阳润滑设备厂。

表 27-135 单线润滑泵 (摘自 JB/ZQ4580-86)

适用于公称压力为 20MPa 的大中型机械设备集中润滑系统中, 供送润滑剂的单线润滑泵。

润滑泵适用介质为锥入度不低于 265 (25℃, 150g) 1/10mm 的润滑脂和粘度等级大于 46 的润滑油。适用环境温度为一 20~+80℃。

超星阅读器提醒您：  
 图书复制品  
 请尊重相关知识产权！



标记示例:

DB-L50 润滑泵 JB/ZQ4580-86

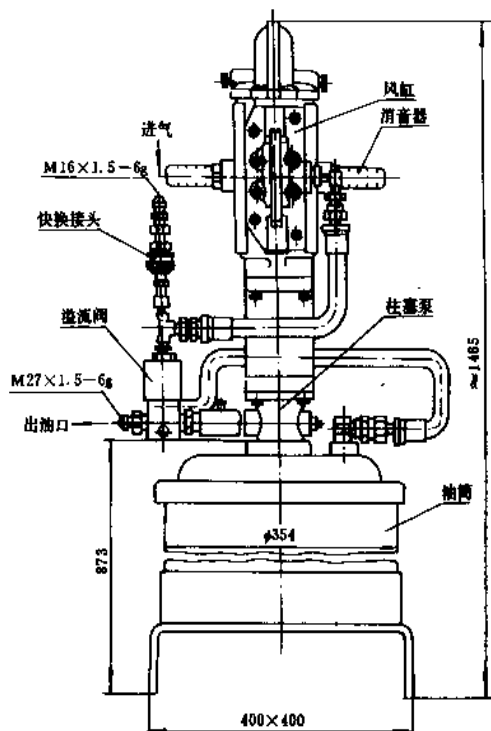
型 号	公称压力 MPa	额定给油量 ml/min	贮油桶容积 l	电机功率 kW	电机电压 V
DB-L25	20 (L)	25	30	0.37	380
DB-L45		45			
DB-L50		50			
DB-L90		90			

注: 生产厂, 上海润滑设备厂。

表 27-136 QGB—X35 型风动干油泵

是以压缩空气为动力的柱塞式干油泵，主要用于干油集中润滑系统中，可以通过单线给油器输送润滑脂。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

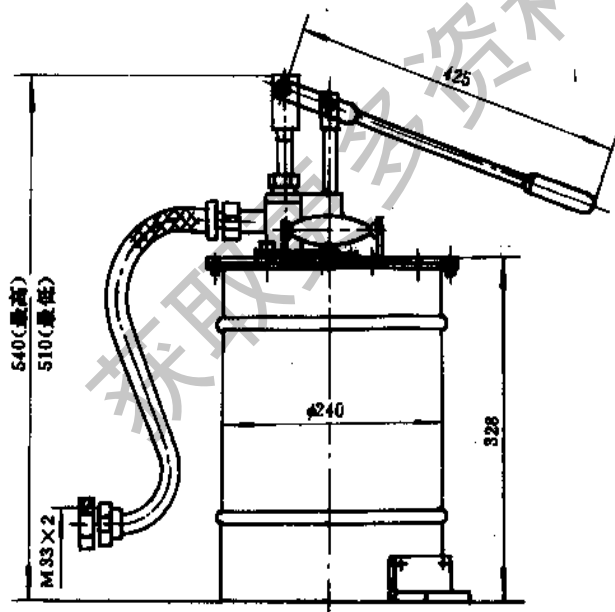


公称压力 MPa	31.5
给油能力 ml/活塞每行程	35
风缸风压 MPa	0.65
贮油箱容积 l	55
质 量 kg	82

注：生产厂：沈阳润滑设备厂。

表 27-137 手动加油泵 (摘自 JB/ZQ4540—86)

适用于向手动干油站或其他小型干油站充填润滑脂。



型 号	SJB—D60
公称压力 MPa	0.63
加 油 量 ml/每循环	60
贮油器容积 l	13.5
质 量 kg	13

标记示例：

SJB—D60 JB/ZQ 4540—86

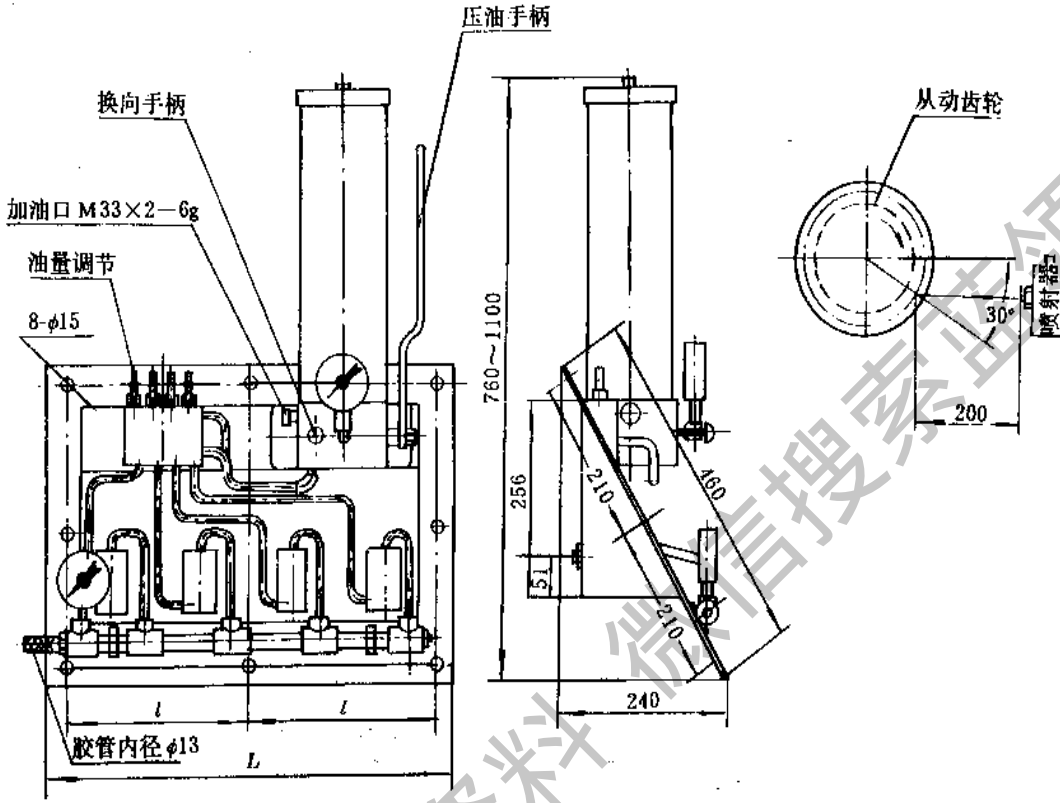
注：生产厂：沈阳润滑设备厂。

3.3.12 干油喷射润滑装置

表 27-138 干油喷射润滑装置 (摘自 JB/ZQ4539-86)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

适用于重型、矿山、水泥机械等大型开式齿轮传动润滑。它借助压缩空气的压力将润滑脂喷射到润滑表面。使用润滑脂锥入度不低于 300 (25℃, 150g) 1/10mm。



标记示例：

GSZ-3 喷射装置 JB/ZQ 4539-86

型 号	喷射器数量	空气压力 MPa	给油器每循 环给油量 ml	喷射带 长×宽 mm	L mm	l mm	质 量 kg
GSZ-2	2	0.45~0.6	1.5~5	200×65	520	240	49
GSZ-3	3			320×65	560	260	52
GSZ-4	4			450×65	600	280	55
GSZ-5	5			580×65	730	345	60

注：生产厂：沈阳润滑设备厂。



3.3.13 给油器

表 27-139 双线给油器 (摘自 JB/ZQ4089—86)

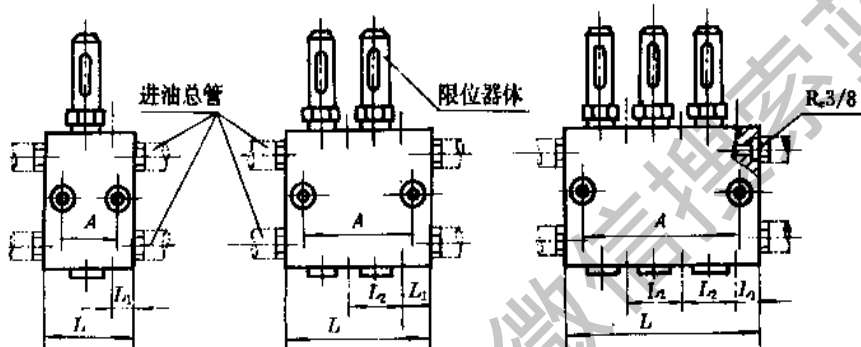
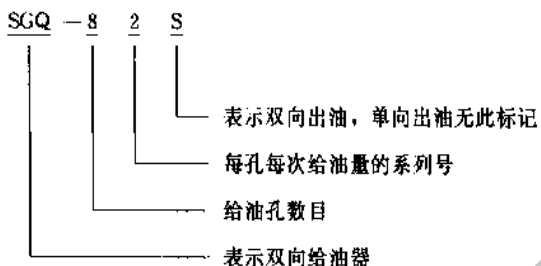
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

适用于双线干油集中润滑系统中，定量向各润滑点输送润滑脂。给油器使用润滑脂的锥入度不低于 265 (25℃, 150g) 1/10mm。

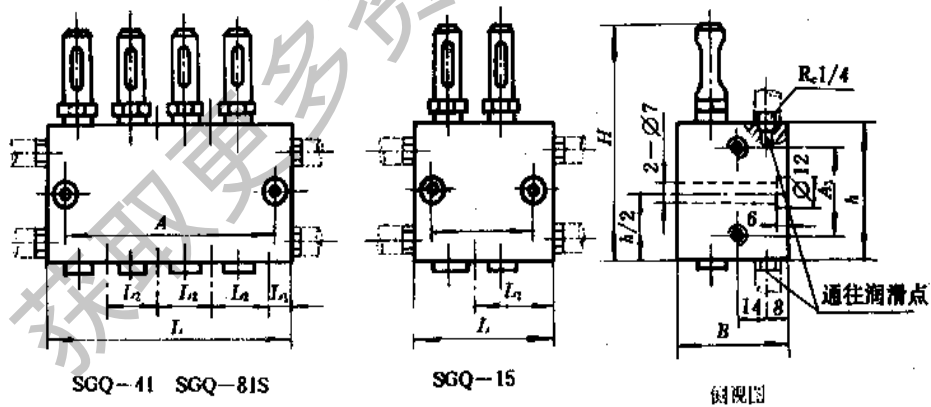
给油器分单向出油和双向出油两种结构型式，单向出油的给油器只有下给油孔，双向出油的给油器有上下给油孔。

标记示例：

SGQ—62S 给油器 JB/ZQ4089—85



- |        |         |        |         |        |         |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| SGQ—11 | SGQ—21S | SGQ—21 | SGQ—41S | SGQ—31 | SGQ—61S |
| SGQ—12 | SGQ—22S | SGQ—22 | SGQ—42S | SGQ—32 | SGQ—62S |
| SGQ—13 | SGQ—23S | SGQ—23 | SGQ—43S | SGQ—33 | SGQ—63S |
| SGQ—14 | SGQ—24S | SGQ—24 | SGQ—44S |        |         |



- |        |         |
|--------|---------|
| SGQ—41 | SGQ—81S |
| SGQ—42 | SGQ—82S |
| SGQ—43 | SGQ—83S |

SGQ—15

侧视图

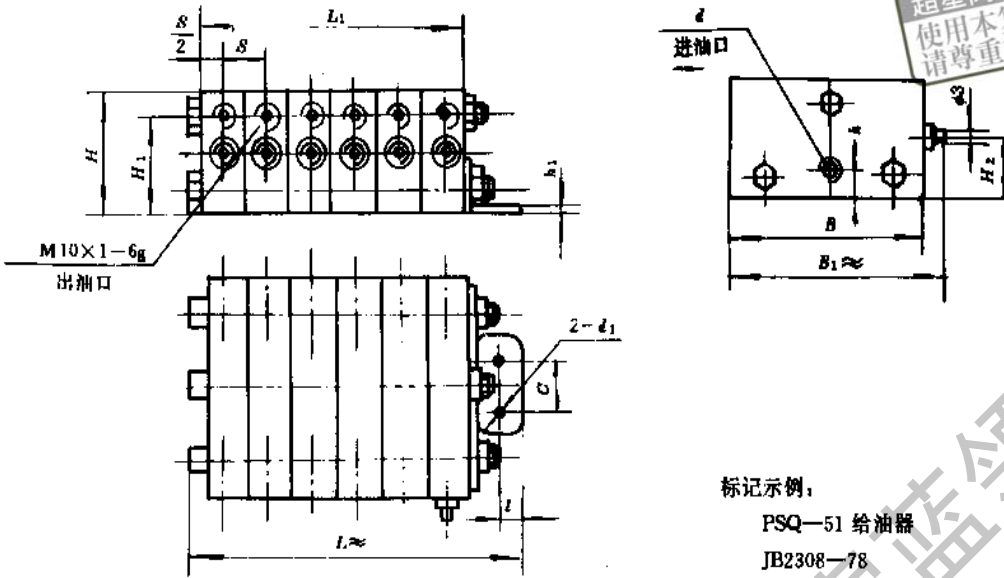
续表 27-139

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

型 号	给油 孔数	公 称 压 力 MPa	每孔每次给油量 ml			尺 寸, mm								质量 kg
			系列	最小	最大	L	B	H	h	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	A	A <sub>1</sub>	
SGQ-11	1	10	1	0.1	0.5	54	44	82	56	20	23	40	34	1.0
SGQ-21	2					77						63		1.3
SGQ-31	3					100						86		1.8
SGQ-41	4					123						109		2.3
SGQ-21S	2					54						40		1.0
SGQ-41S	4					77						63		1.3
SGQ-61S	6					100						86		1.7
SGQ-81S	8					123						109		2.3
SGQ-12	1		2	0.5	2.0	55	47	96	62	20	25	41	40	1.1
SGQ-22	2					80						66		1.7
SGQ-32	3					105						91		2.3
SGQ-42	4					130						116		2.8
SGQ-22S	2					55						41		1.1
SGQ-42S	4					80						66		1.7
SGQ-62S	6					105						91		2.2
SGQ-82S	8	130				116						2.8		
SGQ-13	1	10	3	1.5	5.0	55	53	102	65	20	25	41	40	1.4
SGQ-23	2					80						66		2.0
SGQ-33	3					105						91		2.7
SGQ-43	4					130						116		3.4
SGQ-23S	2					55						41		1.4
SGQ-43S	4					80						66		2.0
SGQ-63S	6					105						91		2.7
SGQ-83S	8					130						116		3.3
SGQ-14	1	10	4	3	10	58	57	123	77	20	30	44	52	1.8
SGQ-24	2					88						74		2.9
SGQ-24S	2					58						44		1.8
SGQ-44S	4					88						74		2.9
SGQ-15	1					5						6		20

注：1. 表中的给油量，是指活塞上下行程给油量和的算术平均值；  
2. 生产厂：沈阳润滑设备厂。

表 27-140 片式给油器 (摘自 JB2308—78)



标记示例:

PSQ—51 给油器

JB2308—78

型 号	给油器片数	给油孔数	公称压力 MPa	每孔给油量 ml/循环	质 量 kg	
PSQ—31	3	6	10	0.15	0.9	
PSQ—41	4	8			1.2	
PSQ—51	5	10			1.5	
PSQ—61	6	12			1.8	
PSQ—32	3	6			0.6	2.2
PSQ—42	4	8				2.8
PSQ—52	5	10		3.4		
PSQ—62	6	12		4		

型 号	mm													
	B	B <sub>1</sub> ≈	C	L≈	L <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	h	h <sub>1</sub>	S	d	d <sub>1</sub>	l
PSQ—31	64	69/75	15	70	48	38	31	18	8	2	16	M10×1	7	9
PSQ—41				86	64									
PSQ—51				102	80									
PSQ—61				118	96									
PSQ—32	86	94/102	30	85	60	48	39.5	23.5	9	2.5	20	M14×1.5	10	
PSQ—42				105	80									
PSQ—52				125	100									
PSQ—62				145	120									

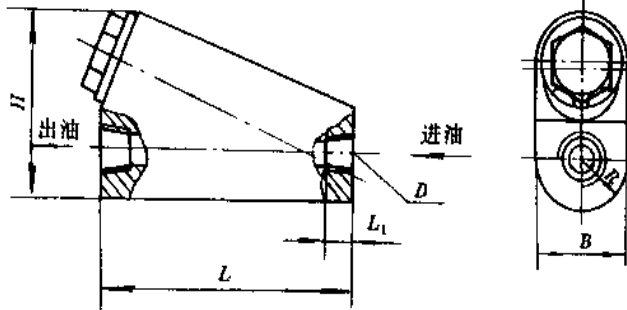
注: 生产厂: 沈阳润滑设备厂。

3.3.14 干油过滤器

表 27-141 干油过滤器 (摘自 JB/ZQ4535—86)

本标准适用于公称压力为 10MPa 的干油集中润滑系统中清除润滑油内杂质用的干油过滤器。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



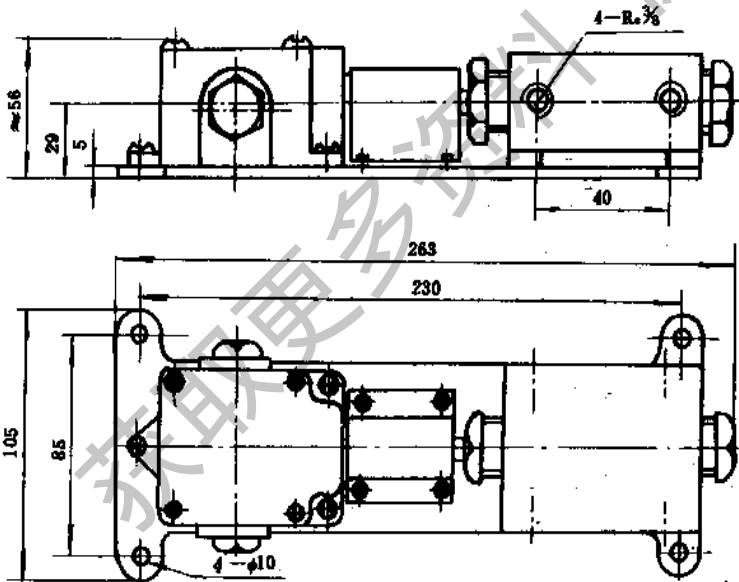
标记示例：

GGQ—J15 过滤器 JB/ZQ 4535—86

型 号	公称通径 DN mm	公称压力 MPa	D	L <sub>1</sub>	L	H	B	R	质 量 kg
GGQ—J8	8	10 (J)	Rc 1/4	11	100	76	40	20	1.15
GGQ—J10	10		Rc 3/8	12					1.10
GGQ—J15	15		Rc 1/2	15	125	85	42	21	1.50
GGQ—J20	20		Rc 3/4	17					1.50

3.3.15 压力操纵阀

表 27-142 压力操纵阀 (摘自 JB/ZQ4533—86)



适用于公称压力 10MPa 的双线式干油集中润滑系统中,用于控制干油泵电磁换向阀的换向或停泵。

标记示例：

YZF—J4 操纵阀  
JB/ZQ 4533—86

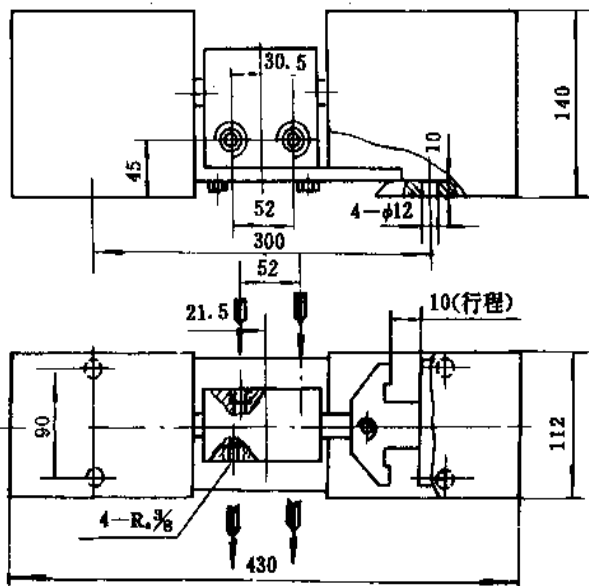
型 号	公称压力 MPa	调定压力 MPa	压力调整范围 MPa	公称通径 DNmm	行程开关	质 量 kg
YZF—J4	10 (J)	4	3.5~4.5	10	Lx <sub>3</sub> —11H	2.7

注：生产厂：沈阳润滑设备厂。

3.3.16 电磁换向阀

表 27-143 电磁换向阀 (摘自 JB/ZQ4534-86)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



适用于公称压力为 10MPa 的双线式下油集中润滑系统中。

标记示例：

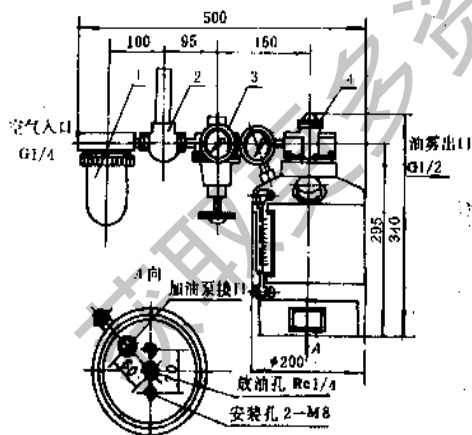
24DF-J10 换向阀 JB/ZQ4534-86

型 号	公称压力 MPa	公称通径 DN mm	电 磁 铁		质 量 kg
			型 式	电 压 V	
240F-J10	10 (J)	10	MQ1-5122	380	18

注：生产厂：上海润滑设备厂。

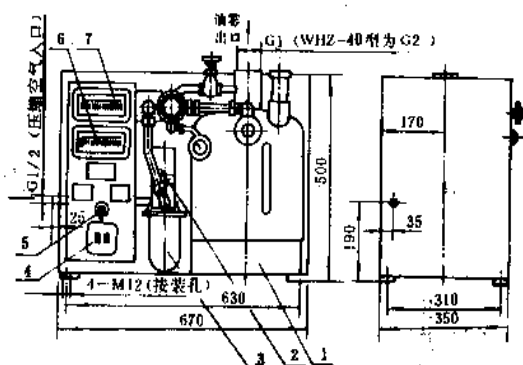
3.3.17 油雾润滑装置

表 27-144 油雾润滑装置



WHZ-4 油雾润滑装置

- 1—分水滤气器；2—电磁阀；
- 3—调压阀；4—油雾发生器



WHZ-12、 WHZ-40

续表 27-144

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

标记示例：

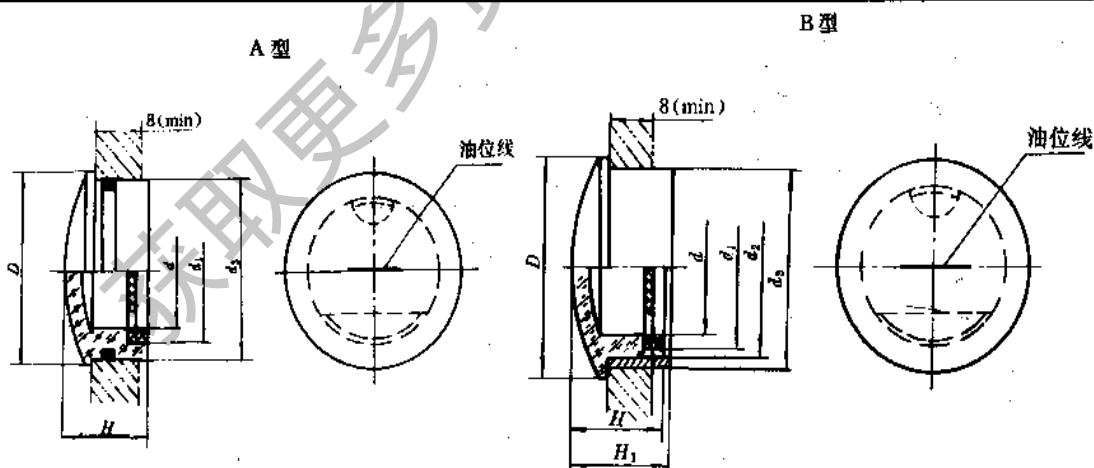
油雾润滑装置 WHZ-40

型 号	油雾出口联接 螺 纹	调定的空气压力 kPa	空气针阀状态	压缩空气消耗量 m <sup>3</sup> /h
WHZ-4	G 1/2	40		1.7
		>40~60		>1.7~2.0
		>60~100		>2.0~2.7
		>100~130		>2.7~3.3
		>130~180		>3.3~4.0
WHZ-12	G1	40	关 闭	2.9
		>40~60		>2.9~4.3
		>60~100		>4.3~6.4
		>100~160		>6.4~8.5
		>160~220		>8.5~10.5
>220~280	>10.5~12.8			
WHZ-40	G2	40	打开 1/4 圈	6.9
		60~70		8~9.4
		100~140		12.3~15.3
		170~220		16.5~20.5
		190~250		18~31
190~250	18~41			

注：生产厂：太原矿山机器厂润滑分厂。

3.3.18 油 标

表 27-145 压配式圆形油标 (摘自 GB1160.1-89)





续表 27-145

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

标记示例：

油标 A32 GB 1160.1

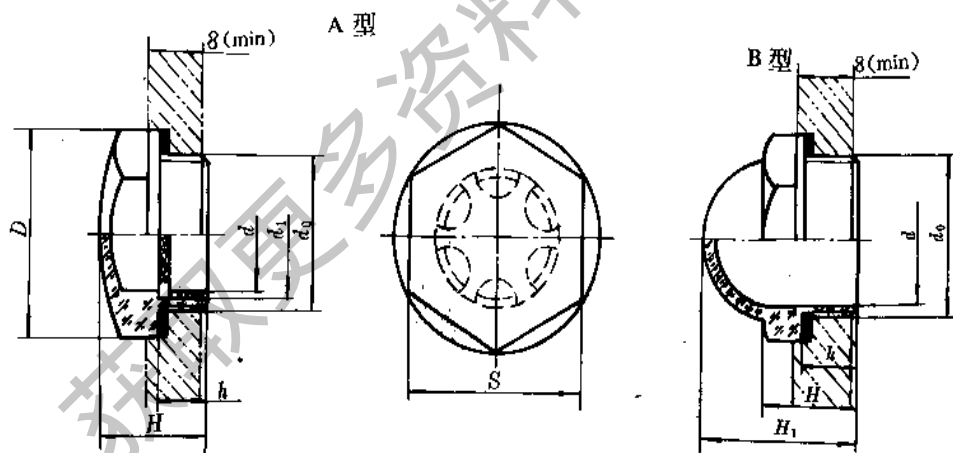
mm

d	D	d <sub>1</sub>		d <sub>2</sub>		d <sub>3</sub>		H	H <sub>1</sub>	O 型橡胶密封圈 (按 GB 3452-1)
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差			
12	22	12	-0.050 -0.160	17	-0.050 -0.160	20	-0.065 -0.195	14	16	15×2.65
16	27	18		22		25				20×2.65
20	34	22	-0.065 -0.195	28	-0.195	32	-0.080 -0.240	16	18	25×3.55
25	40	28		34	-0.080 -0.240	38				
32	48	35	-0.080 -0.240	41	-0.240	45	-0.100 -0.290	18	20	38.7×3.55
40	58	45		51		55				
50	70	55	-0.100 -0.290	61	-0.100 -0.290	65		22	24	—
63	85	70		76		80				

注：1. 与 d<sub>1</sub> 相配合的孔极限偏差按 H11；

2. A 型用 O 型橡胶密封圈沟槽尺寸按 GB 3452-3, B 型用密封圈由制造厂设计选用。

表 27-146 旋入式圆形油标 (摘自 GB1160.2—89)



标记示例：

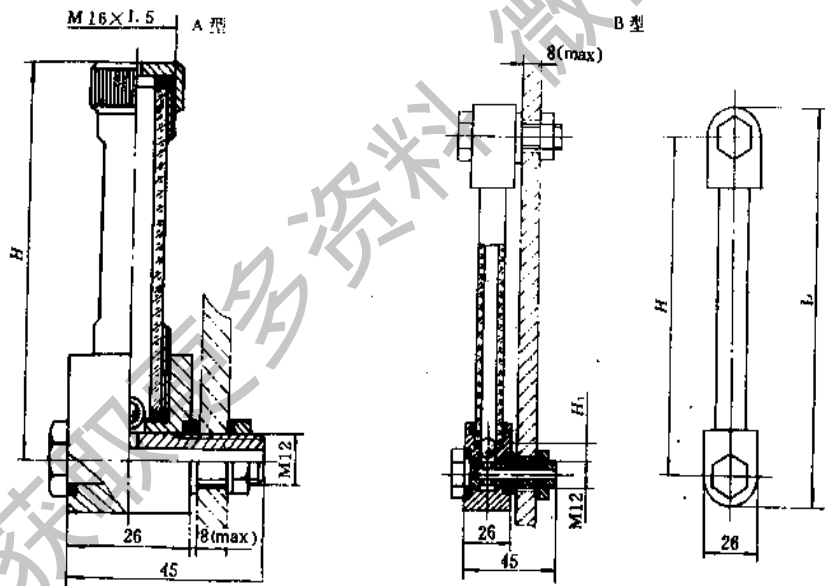
油标 A32 GB 1160.2

续表 27-146

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

d	d <sub>0</sub>	D		d <sub>1</sub>		S		H	H <sub>1</sub>	h
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差			
10	M16×1.5	22	-0.065 -0.195	12	-0.050 -0.160	21	0 -0.33	15	22	8
20	M27×1.5	36	-0.080 -0.240	22	-0.065 -0.195	32	0 -1.00	18	30	10
32	M42×1.5	52	-0.100 -0.290	35	-0.080 -0.240	46	0 -1.20	22	40	12
50	M60×2	72	-0.100 -0.290	55	-0.100 -0.290	65	0 -1.20	26		14

表 27-147 管状油标 (摘自 GB1162-89)



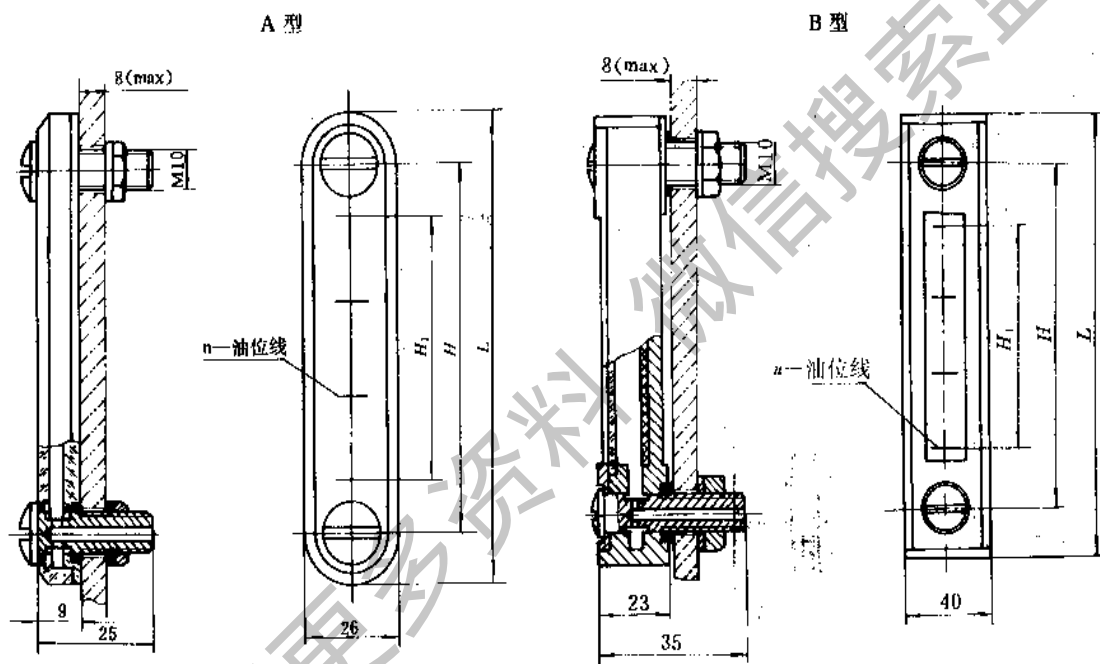
标记示例:

油标 A200 GB 1162

续表 27-147

型式	H		H <sub>1</sub>	L	O 型橡胶密封圈 (按 GB 3452.1)	六角薄螺母 (按 GB 6172)	弹性垫圈 (按 GB 861)	
	基本尺寸	极限偏差						
A	80, 100	—	—	—	—	—	—	
	125, 160, 200							
B	200	±0.23	175	226	11.8×2.65	M12	12	
	250		225	276				
	320		±0.26	295				346
	400		±0.28	375				426
	500	±0.35	475	526				
	630		605	656				
	800		±0.40	775				826
	1000		±0.45	975				1026

表 27-148 长形油标 (摘自 GB1161—89)



标记示例:

油标 A80 GB 1161

H		H <sub>1</sub>	L		n (条数)		O 型橡胶密封圈 (按 GB 3452.1)	六角螺母 (按 GB 6172)	弹性垫圈 (按 GB 861)
基本尺寸	极限偏差		A 型	B 型	A 型	B 型			
80	±0.17	40	—	110	—	2	10×2.65	M10	10
100		60	—	130	—	3			
125	±0.20	80	—	155	—	4			
160		120	—	190	—	6			
—	±0.23	—	210	—	280	—			

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 第 28 章 密 封

### 1 概 述

在机械设备中,工作介质的泄漏会造成失效、物质的浪费及环境的污染。对于那些易燃、易爆、剧毒、腐蚀性及放射性物质的泄漏,将会危害人身的安全,引起设备事故。环境中的气、尘、水等漏入到设备内,会使轴承、齿轮等零件的磨损加剧,造成机器设备寿命过短。在化工企业中,密封故障是造成非计划停车的主要原因。据统计,60%的非计划停车事例与密封故障有关。

密封的功用就是阻止泄漏或防止外界杂质侵入机器设备内部。起密封作用的零部件称为密封件,亦简称为密封。它的性能是评价机械产品质量的一个重要指标。

对密封的基本要求是严密、可靠、寿命长、力求

结构紧凑、简单,制造维修方便,成本低廉。大多数密封件为易损件,应保证互换性,实现标准化、系列化。

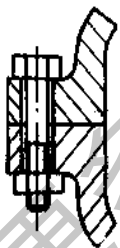
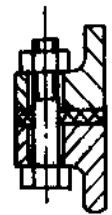
按结合面(即密封面)间是否有相对运动,密封可分为静密封和动密封。结合面间相对静止的密封称为静密封;结合面间有相对运动的密封称为动密封。

根据密封面间是否有间隙,密封又分接触型密封和非接触型密封。一般静密封属于接触型密封;动密封既有接触型密封,也有非接触型密封。

一般接触型密封结构比较简单,但因受摩擦磨损的限制,仅适于密封面间线速度较低的场合。非接触型密封结构往往复杂,但由于不直接接触,故适用于密封面间线速度较高的场合。

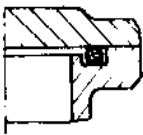
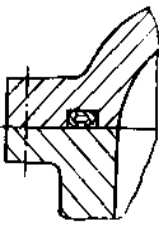
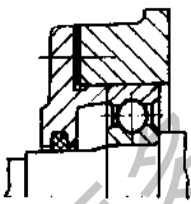
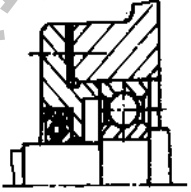
常用密封的种类及特性见表 28-1。

表 28-1 常用密封的种类及特性

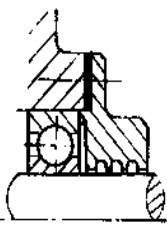
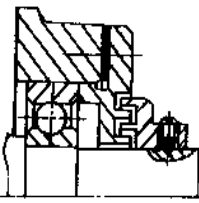

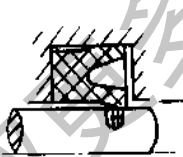
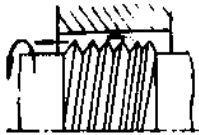
密封种类		适用范围			说 明
		速度 m/s	压力 N/mm <sup>2</sup>	温度 ℃	
研合面密封			<100	550	接合面精密研磨加工,靠外力压紧密封,多用于汽缸盖和阀板的密封
					
垫片密封	纤维质		2.5	200	靠外力压紧垫片,使之产生弹性变形以填满密封面上的不平,消除间隙而密封 对加工精度要求不高,成本低廉
	橡胶		1.6	-70~200	
	塑料		0.6	-180~250	
	金属		20	600	

续表 28-1

超星阅读器提醒您：  
 明用本复制品  
 请尊重相关知识产权！

密封种类		适用范围			说
		速度 m/s	压力 N/mm <sup>2</sup>	温度 °C	
O形橡胶密封			100	-60~200	静密封效果较好 结合面应有适当的沟槽。
金属空心O形圈密封			$1.33 \times 10^{-6}$ ~300	-270~1000	靠外力压紧使空心圈变形,使空心圈屈服贴合在密封槽上的凹凸之处实现密封 适用于高温、高压、超真空、有机溶液等场合的静密封
密封胶	液态密封胶		1.6	300	可单独使用,也可与垫片配合使用,单独使用时两密封面间隙应 ≤ 0.1mm
	厌氧胶		5~30	100~150	用于不仅需要密封而且需要固定的接合面和承插部位
毡圈密封		5	0.1	90	结构简单、成本低廉,尺寸紧凑,对轴的偏心与窜动不敏感,但摩擦阻力较大 适用于脂润滑,当与其它密封组合使用时也可用于油润滑 轴表面最好抛光
旋转轴唇形密封圈密封		4	0.3	-60~150	唇部密封接触面宽度很窄(0.13~0.5mm),回弹力较大。带弹簧装置,使唇部对轴有较好的追随补偿性能,能以较小的唇口径向力获得良好的密封效果 结构简单,尺寸紧凑、成本低廉,适于大批量生产

续表 28-1

密封种类		适用范围			说 明
		速度 m/s	压力 N/mm <sup>2</sup>	温度 ℃	
节流环形沟槽密封					适用于脂润滑。利用间隙的节流效应产生密封作用。沟槽数一般为三个。沟槽内涂满润滑油。轴的转速受沟槽内润滑油熔化温度的限制
迷宫密封		不限	20	600	对一般密封所不能胜任的高温、高压、高速和大尺寸密封部位特别有效。维修简单、无摩擦、功耗少、使用寿命长。但对密封零件加工精度要求高，装配较为困难。气体和液体均可用
O形橡胶圈密封		6	35	-60~200	利用安装沟槽使密封圈受到预压缩而密封，在介质压力作用下产生自紧作用而增强密封效果 O形圈具有双向密封能力 已有国家标准，可直接选用
唇形橡胶圈密封			1~30	-30~80	利用唇口的接触压力密封，比O形圈有更显著的自紧作用 仅有单向密封能力，如需要双向密封时，须成对装填，分别以唇口朝向压力方向
螺旋密封		不限		不限	是利用螺杆送回工作介质的一种动密封，通常用于液体介质。 主要用于核技术和宇航技术，有时也用于减速机高速轴的密封

提醒您：  
本制品  
相关知识产权！

微信搜一搜  
获取资料

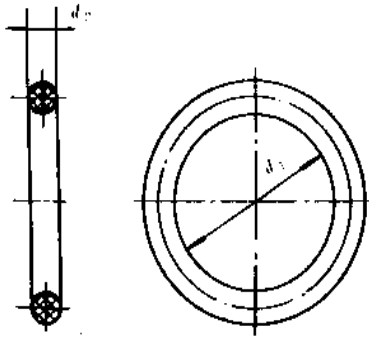


2 标准件密封

2.1 O形橡胶密封圈

表 28-2 通用 O 形橡胶密封圈 (代号 G) 的型式、尺寸及公差 (摘自 GB 3452.1-92, 参照 ISO3601/1-88)

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



标记示例

8.75 × 1.80 G GB 3452.1-92  
 ———— 标准号  
 ———— 通用 O 形圈  
 ————  $d_2=1.80\text{mm}$   
 ————  $d_1=8.75\text{mm}$

mm

$d_1$		$d_2$					$d_1$		$d_2$				
内径	公差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15	内径	公差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15
1.80		×					7.10	×					
2.00		×					7.50	×					
2.24		×					8.00	×					
2.50		×					8.50	×					
2.80		×					8.75	±0.14	×				
3.15		×					9.00	×					
3.55		×					9.50	×					
3.75		×					10.0	×					
4.00	±0.13	×					10.6	×	×				
4.50		×					11.2	×	×				
4.87		×					11.8	×	×				
5.00		×					12.5	×	×				
5.15		×					13.2	×	×				
5.30		×					14.0	±0.17	×	×			
5.60		×					15.0	×	×				
6.00		×					16.0	×	×				
6.30		×					17.0	×	×				
6.70	±0.14	×					18.0	×	×	×			
6.90		×					19.0	±0.22	×	×	×		

续表 28-2

$d_1$		$d_2$					$d_1$		$d_2$				
内径	公差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15	内径	公差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15
20.0		×	×	×			61.5			×	×	×	
21.2		×	×	×			±0.44 63.0			×	×	×	
22.4		×	×	×			65.0				×	×	
23.6		×	×	×			67.0			×	×	×	
25.0±0.22		×	×	×			69.0				×	×	
25.8		×	×	×			71.0			×	×	×	
26.5		×	×	×			±0.53 73.0				×	×	
28.0		×	×	×			75.0			×	×	×	
30.0		×	×	×			77.5				×	×	
31.5			×	×			80.0			×	×	×	
32.5		×	×	×			82.5				×	×	
33.5			×	×			85.0			×	×	×	
34.5		×	×	×			87.5				×	×	
35.5±0.30			×	×			90.0			×	×	×	
36.5		×	×	×			92.5				×	×	
37.5			×	×			95.0			×	×	×	
38.7		×	×	×			97.5				×	×	
40.0			×	×	×		±0.65 100			×	×	×	
41.2			×	×	×		103				×	×	
42.5		×	×	×	×		106			×	×	×	
43.7			×	×	×		109				×	×	×
45.0±0.36			×	×	×		112			×	×	×	×
46.2		×	×	×	×		115				×	×	×
47.5			×	×	×		118			×	×	×	×
48.7			×	×	×		122				×	×	×
50.0		×	×	×	×		125			×	×	×	×
51.5			×	×	×		128				×	×	×
53.0			×	×	×		132			×	×	×	×
54.5±0.44			×	×	×		±0.90 136				×	×	×
56.0			×	×	×		140			×	×	×	×
58.0			×	×	×		145				×	×	×
60.0			×	×	×		150			×	×	×	×

超星网  
使用本复制品  
请尊重知识产权!

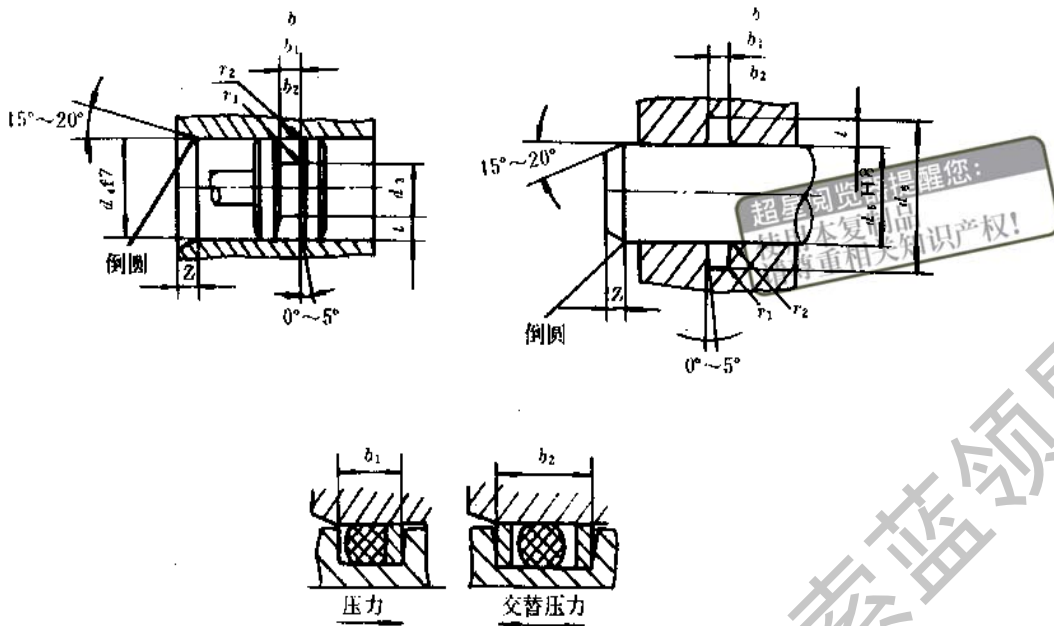
微信搜公众号 领星球

续表 28-2

$d_1$		$d_2$				$d_1$		$d_2$					
内径	公差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15	内径	公差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15
155	±0.90			×	×	×	325					×	×
160				×	×	×	335					×	×
165				×	×	×	345					×	×
170				×	×	×	355	±2.10				×	×
175				×	×	×	365					×	×
180				×	×	×	375					×	×
185				×	×	×	387					×	×
190				×	×	×	400					×	×
195				×	×	×	412						×
200				×	×	×	425						×
206				×	×	437						×	
212	±1.20				×	×	450	±2.60					×
218					×	×	462						×
224						×	475					×	
230					×	×	487					×	
236					×	×	500					×	
243					×	×	515					×	
250					×	×	530					×	
258					×	×	545					×	
265					×	×	560	±3.20					×
272					×	×	580						×
280	±1.60				×	×	600					×	
290					×	×	615					×	
300					×	×	630					×	
307					×	×	650	±3.80					×
315					×	×	670						×

注：“×”表示本标准规定的规格。

表 28-3 O 形橡胶密封圈径向密封沟槽尺寸 (根据 GB 3452.3—88, 参照 ISO/DIS 3601/2)

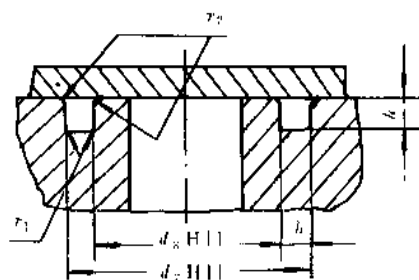


		mm					
O 形圈截面直径 $d_2$		1.80	2.65	3.55	5.30	7.00	
沟槽宽度	气动密封	2.2	3.4	4.6	6.9	9.3	
	液压动密封 或 静密封	$b \begin{smallmatrix} +0.25 \\ 0 \end{smallmatrix}$	2.4	3.6	4.8	7.1	9.5
		$b_1 \begin{smallmatrix} +0.25 \\ 0 \end{smallmatrix}$	3.8	5.0	6.2	9.0	12.3
		$b_2 \begin{smallmatrix} +0.25 \\ 0 \end{smallmatrix}$	5.2	6.4	7.6	10.9	15.1
沟槽深度	活塞密封 (计算 $d_3$ 用)	液压动密封	1.42	2.16	2.96	4.48	5.95
		气动密封	1.46	2.23	3.03	4.65	6.20
		静密封	1.38	2.07	2.74	4.19	5.67
	活塞杆密封 (计算 $d_6$ 用)	液压动密封	1.47	2.24	3.07	4.66	6.16
		气动密封	1.57	2.37	3.24	4.86	6.43
		静密封	1.42	2.15	2.85	4.36	5.89
最小导角长度 $Z_{min}$		1.1	1.5	1.8	2.7	3.6	
槽底圆角半径 $r_1$		0.2~0.4		0.4~0.8		0.8~1.2	
槽侧圆角半径 $r_2$		0.1~0.3					

活塞密封沟槽槽底最大直径  $d_{3max}$   $d_{3max} = d_{4min} - 2t$   $d_{4min}$  —— 活塞缸最小内径

活塞杆密封沟槽槽底直径  $d_6$  的最小尺寸  $d_{6min} = d_{5max} + 2t$   $d_{5max}$  —— 活塞杆最大直径, 其上偏差见表 28-5

表 28-4 O 形橡胶密封圈轴向密封沟槽尺寸 (根据 GB3452.3-88, 参照 IDO/DIS 3601/2)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

mm					
O 形圈截面直径 $d_2$	1.80	2.65	3.55	5.30	7.00
沟槽宽度 $b$	$+0.25$ 0	2.6	3.8	5.0	7.3
沟槽深度 $h$	$+0.10$ 0	1.28	1.97	2.75	4.24
槽底圆角半径 $r_1$	0.2~0.4		0.4~0.8		0.8~1.2
槽棱圆角半径 $r_2$	0.1~0.3				
* 受内部压力时, 沟槽外径 $d_7$ $d_7 = d_1 + 2d_2$					
受外部压力时, 沟槽内径 $d_8$ $d_8 = d_1$					

表 28-5 密封沟槽的极限偏差和表面粗糙度 (摘自 GB 3452.3-88, 参照 IDO/DIS3601/2)  $\mu\text{m}$

沟槽尺寸	O 形圈截面直径 mm				
	1.80	2.65	3.55	5.3	7.00
缸内径 $d_4$	+60 0	+70 0	+80 0	+90 0	+110 0
沟槽槽底直径 $d_3$	0 -40	0 -50	0 -60	0 -70	0 -90
活塞杆直径 $d_5$	-10 -50	-20 -70	-30 -90	-30 -100	-40 -130
沟槽槽底直径 $d_6$	+60 0	+70 0	+80 0	+90 0	+110 0

表面	应用情况	压力状况	表面粗糙度	
			$R_a$	$R_{max}$
沟槽的底面和侧面	静密封	无交变、无脉冲	3.2 (1.6)	12.5 (6.3)
		交变或脉冲	1.6	6.3
配合表面	动密封	无交变、无脉冲	1.6 (0.8)	6.3 (3.2)
		交变或脉冲	1.6 (0.8)	6.3 (3.2)
	静密封	无交变、无脉冲	1.6 (0.8)	6.3 (3.2)
		交变或脉冲	0.8	3.2
导角表面	动密封		0.4	1.6
			3.2	12.5

注: 括号内的数值为要求精度较高的场合应用。

## 2.2 旋转轴唇形密封圈

这种密封圈按骨架结构的不同有: 内包骨架 (B 型)、外露骨架 (W 型)、装配式 (Z 型)。

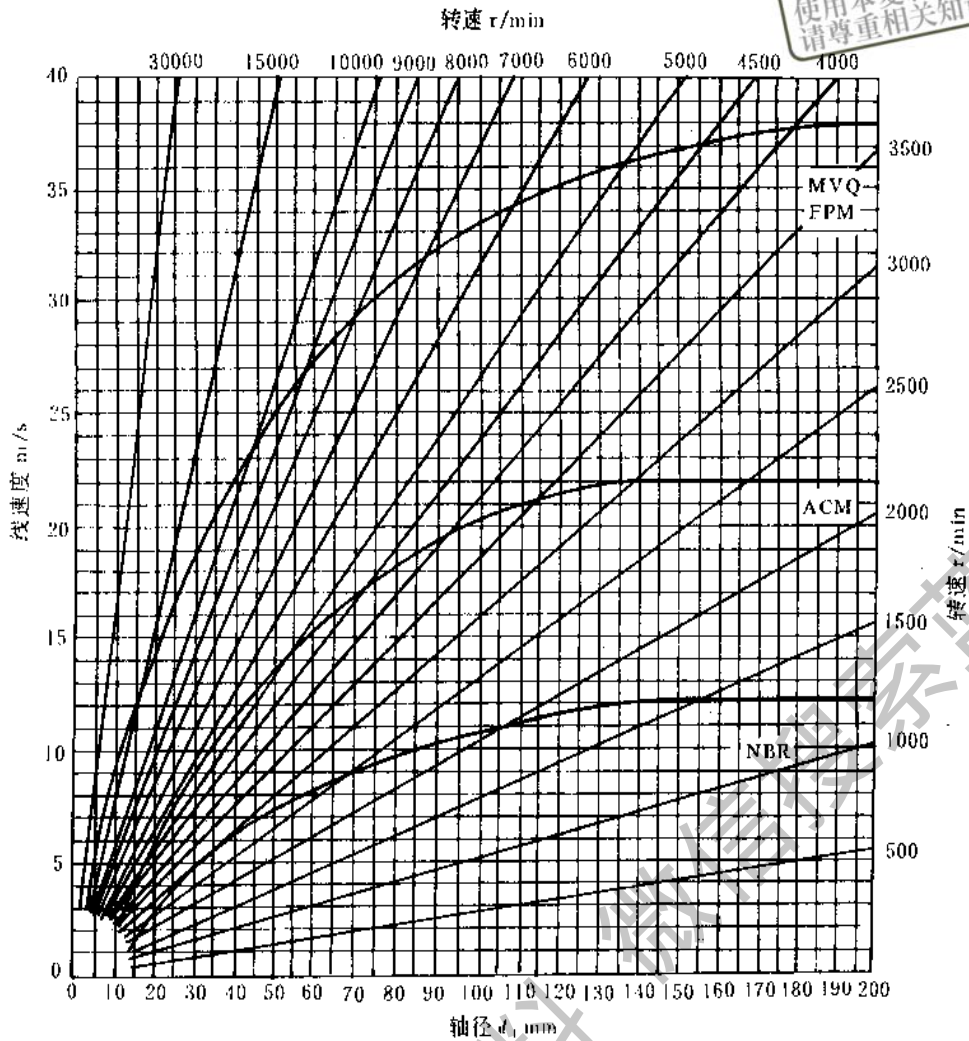
根据唇的构造, 又分为有副唇和无副唇二种。凡是有副唇的都在型号前加 F, 如 FB 型、FW 型、FZ 型。

旋转轴唇形密封圈适用于安装在旋转轴端, 在

压力不超过  $0.05\text{N}/\text{mm}^2$  的条件下, 对流体和润滑油起密封作用。当外部环境多灰尘、有雨水及杂质时应采用有副唇的密封圈。装配式旋转轴唇形密封圈适用于大型、精密的设备。

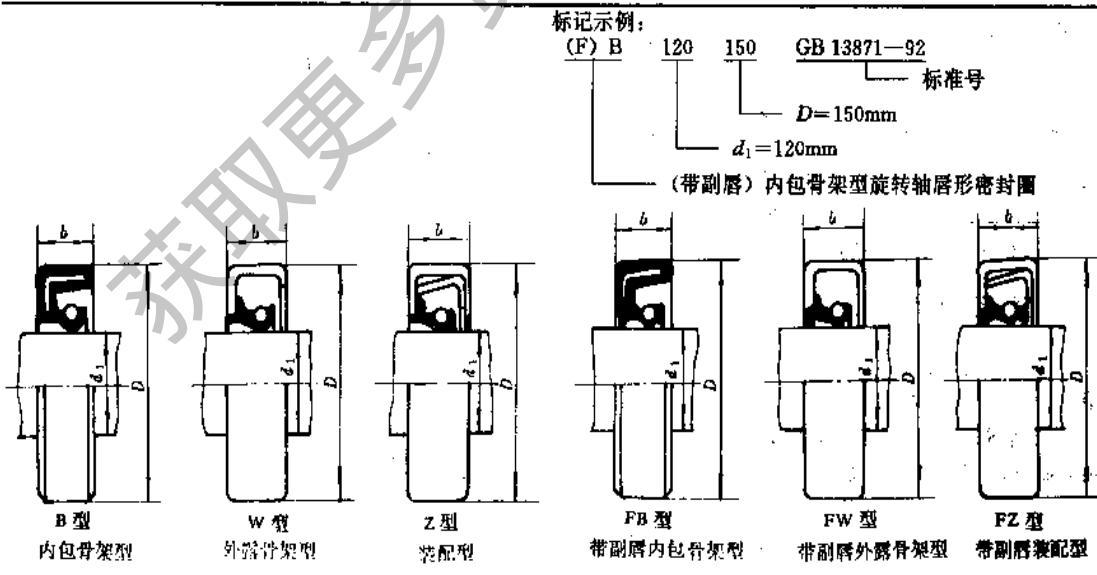
根据密封圈与轴摩擦速度不同, 应用不同的胶种来制造密封圈, 图 28-1 为不同的胶种所适应的摩擦速度。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



胶种代号：D—丁腈橡胶 (NBR)，B—丙烯酸酯橡胶 (ACM)，F—氟橡胶 (FPM)，G—硅橡胶 (MVQ)  
图 28-1 胶种选择

表 28-6 旋转轴唇形密封圈的型式及尺寸 (摘自 GB 13871—92, 参照 ISO6194/1—1982)



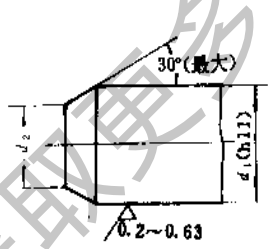


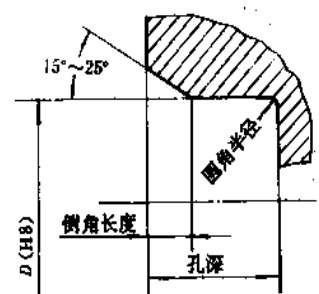
超星阅读器提醒您  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!  
续表 28-6

mm								
$d_1$	$D$	$b$	$d_1$	$D$	$b$	$d_1$	$D$	$b$
6	16	7	(30)	50	7	80	100	10
6	22		30	52	8	80	110	
7	22		32	45		85	110	
8	22		32	47		85	120	
8	24		32	52		(90)	115	
9	22		35	50		90	120	
10	22		35	52		95	120	
10	25		35	55		100	125	
12	24		38	52		(105)	130	
12	25		38	58		110	140	
12	30		38	62		120	150	
15	26		40	55		130	160	
15	30		(40)	60		140	170	
15	35		40	62		150	180	
16	30		42	55		160	190	
(16)	35		42	62		170	200	
18	30		45	62		180	210	
18	35		45	65		190	220	
20	35		50	68		200	230	
20	40		(50)	70		220	250	
(20)	45	50	72	240		270		
22	35	55	72	(250)	290			
22	40	(55)	75	260	300			
22	47	55	80	280	320			
25	40	60	80	300	340			
25	47	60	85	320	360			
25	52	65	85	340	380			
28	40	65	90	360	400			
28	47	70	90	380	420			
28	52	70	95	400	440			
30	42	75	95					
30	47	75	100					

注：考虑到国内实际情况，除全部采用国际标准的基本尺寸外，还补充了若干种国内常用的规格，并加括号以示区别。

表 28-7 旋转轴唇形密封圈的安装要求 (摘自 GB 13871-92, 参照 ISO6194/1-1982). mm

轴导入倒角	腔体内孔尺寸				腔体内孔尺寸			
	$d_1$	$d_1-d_2$	$d_1$	$d_1-d_2$	基本宽度 $b$	最小内孔深	倒角长	最大圆角半径
	$d_1 \leq 10$	1.5	$50 < d_1 \leq 70$	4.0	$\leq 10$	$b+0.9$	0.70~1.00	0.50
	$10 < d_1 \leq 20$	2.0	$70 < d_1 \leq 95$	4.5	$> b$	$b+1.2$	1.20~1.50	0.75
	$20 < d_1 \leq 30$	2.5	$95 < d_1 \leq 130$	5.5				
	$30 < d_1 \leq 40$	3.0	$130 < d_1 \leq 240$	7.0				
	$40 < d_1 \leq 50$	3.5	$240 < d_1 \leq 400$	11.0				



续表 28-7

轴直径公差	不得超过 h11		不得超过 H8
与密封唇口接触的轴表面粗糙度	$R_a = 0.2 \sim 0.63 \mu\text{m}$ $R_{a\text{max}} = 0.8 \sim 2.5 \mu\text{m}$	腔体内孔表面粗糙度	$R_a \leq 3.2 \mu\text{m}$ $R_{a\text{max}} \leq 12.5 \mu\text{m}$ 当采用外露骨架型密封圈时, 内孔表面粗糙度可选用更低的数值

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

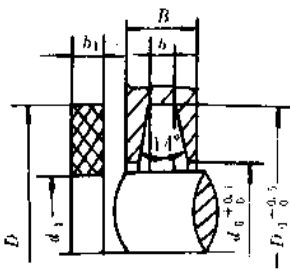
注：此表的腔体是指黑色金属整体加工成的刚性件。

2.3 毡 圈

表 28-8 毡圈及槽 (摘自 JB/ZQ4606-86)

标记示例

轴径  $d=40\text{mm}$  的毛毡圈记为：毡圈 40 JB/ZQ4606-86



轴径 $d$	毡 封 圈			槽						轴径 $d$	毡 封 圈			槽			
	$D$	$d_1$	$b_1$	$D_0$	$d_0$	$b$	$B_{\text{min}}$		$D$		$d_1$	$b_1$	$D_0$	$d_0$	$b$	$B_{\text{min}}$	
							钢	铸铁								钢	铸铁
16	29	14	6	28	16	5	10	12	120	142	118	140	122	8	15	18	
20	33	19	6	32	21	5	10	12	125	147	123	145	127	8	15	18	
25	39	24	7	38	26	6			130	152	128	150	132				
30	45	29	7	44	31	6			135	157	133	155	137				
35	49	34	7	48	36	6			140	162	138	160	143				
40	53	39	7	52	41	6			145	167	143	165	148				
45	61	44	7	60	46	6			150	172	148	170	153				
50	69	49	7	68	51	6	12	15	155	177	153	175	158				
55	74	53	7	72	56	6	12	15	160	182	158	180	163	10	18	20	
60	80	58	8	78	61	7			165	187	163	185	168				
65	84	63	8	85	66	7			170	192	168	190	173				
70	90	68	8	88	71	7			175	197	173	195	178				
75	94	73	8	92	77	7			180	202	178	200	183				
80	102	78	8	100	82	7			185	207	183	205	188				
85	107	83	9	105	87	9			190	212	188	210	193				
90	112	88	9	110	92	9			195	217	193	215	198				
95	117	93	9	115	97	9			200	222	198	220	203				
100	122	98	9	120	102	9	18	15	210	232	208	230	213	12	20	22	
105	127	103	10	125	107	10			220	242	213	240	223	12	20	22	
110	132	108	10	130	112	10			230	252	223	250	233				
115	137	113	10	135	117	10			240	262	238	260	243				

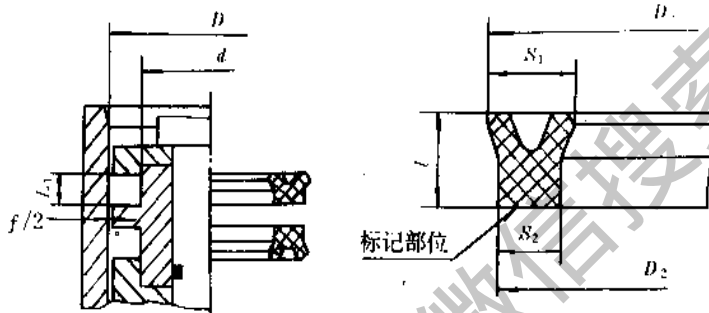
注：毡圈材料有半粗羊毛毡和细羊毛毡，粗毛毡适用于速度  $v \leq 3\text{m/s}$ ，优质细毛毡适用于  $v \leq 10\text{m/s}$ 。

2.4 单向密封橡胶密封圈

表 28-9 密封圈的工作压力范围(摘自 GB10708.1-89)

密封圈型式	往复运动速度 m/s	1/2 挤出间隙(f/2)		工作压力范围 MPa
		mm		
Y 形圈	0.5	0.2	0.1	0~15
		0.2	0.1	0~20
	0.15	0.3	0.1	0~25
		0.1	0.1	0~45
蕾形圈	0.5	0.3	0.1	0~30
		0.1	0.1	0~50
	0.15	0.3	0.1	0~20
		0.1	0.1	0~40
V 形夹织物组合密封圈	0.5	0.3	0.1	0~25
		0.1	0.1	0~60
	0.15	0.3	0.1	0~25
		0.1	0.1	0~60

表 28-10 活塞密封腔体 L<sub>1</sub> 用 Y 形橡胶密封圈的尺寸系列及公差(摘自 GB 10708.1-89)



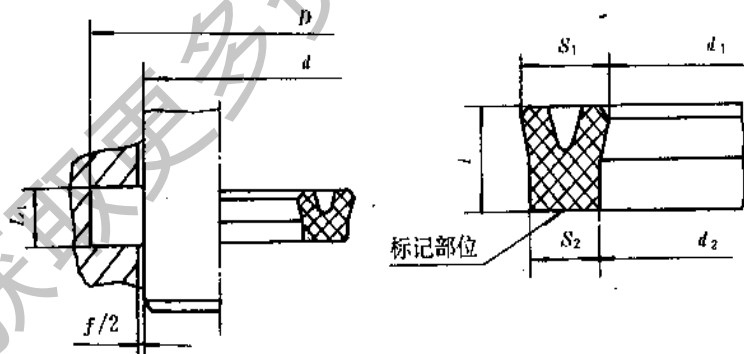
D	d	L <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> 极限偏差	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	i
12	4	5	13	11.5	±0.20	5 +0.15	3.5 +0.15	4.4 ±0.20
16	8		17	15.5				
20	12		21.1	19.4				
25	17		26.1	24.4				
32	24		33.1	31.4				
40	32	41.1	39.4	±0.25	6.2 ±0.15	4.4 ±0.15	5.6 ±0.20	
20	10	21.2	19.4					
25	15	26.2	24.4					
32	22	33.2	31.4					
40	30	41.2	39.4					
50	40	51.2	49.4	±0.35	9 ±0.15	6.7 ±0.15	8.5 ±0.20	
56	46	57.2	55.4					
63	53	64.2	62.4					
50	36	51.5	49.2					
56	41	57.5	55.2					
63	48	64.5	62.2	±0.45				
70	55	71.5	69.2					
80	65	81.5	79.2					
90	75	91.5	89.2					
100	85	101.5	99.2					
110	95	111.5	109.2					

续表 28-10

$D$	$d$	$L_1$	$D_1$	$D_2$	$D_1, D_2$ 极限偏差	$S_1$	$S_2$	$l$
70	50	12.5	71.8	69	$\pm 0.35$	11.8 $\pm 0.15$	9 $\pm 0.15$	$\pm 0.20$
80	60		81.8	79				
90	70		91.8	89				
100	80		101.8	99				
110	90		111.8	109	$\pm 0.45$			
125	105		126.8	124				
140	120		141.8	139				
160	140		161.8	159				
180	160	181.8	179	$\pm 0.60$				
125	100	16	127.2	123.8	$\pm 0.45$	14.7 $\pm 0.15$	11.3 $\pm 0.15$	14.8 $\pm 0.20$
140	115		142.2	138.8				
160	135		162.2	158.8				
180	155		182.2	178.8				
200	175		202.2	198.8	$\pm 0.50$			
220	195		222.2	218.8				
250	225		252.2	248.8				
200	170		202.8	198.5				
220	190	222.8	218.5					
250	220	252.8	248.5					
280	250	282.8	278.5					
320	290	322.8	318.5					
360	330	362.8	358.5					
400	360	25	403.5	398	$\pm 1.40$	23.3 $\pm 0.20$	18 $\pm 0.20$	23 $\pm 0.25$
450	410		453.5	448				
500	460		503.5	498				

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 28-11 活塞杆密封胶体  $L_1$  用 Y 形橡胶圈的尺寸系列及公差(摘自 GB10708.1—89)

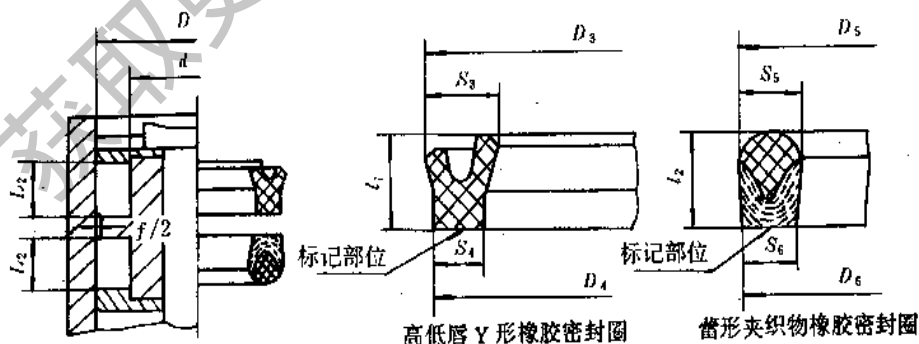


续表 28-11

mm								
$d$	$D$	$L_1$	$d_1$	$d_2$	$d_1, d_2$ 极限偏差	$S_1$	$S_2$	
6	14	5	5	6.5	±0.20	5 ±0.15	3.5 ±0.15	4.6 ±0.20
8	16							
10	18							
12	20							
14	22							
16	24							
18	26							
20	28							
22	30							
25	33							
28	38	6.3	26.8	28.6	±0.25	6.2 ±0.15	4.4 ±0.15	5.6 ±0.20
32	42							
36	46							
40	50							
45	55							
50	60							
56	71							
63	78	9.5	61.5	63.8	±0.35	9 ±0.15	6.7 ±0.15	8.5 ±0.20
70	85							
80	95							
90	105							
100	120							
110	130	12.5	108.2	111	±0.45	11.8 ±0.15	9 ±0.15	11.3 ±0.20
125	145							
140	160							
160	185	16	157.8	161.2	±0.60	14.7 ±0.15	11.3 ±0.15	14.8 ±0.20
180	205							
200	225							
220	250							
250	280	20	217.2	221.5	±0.90	17.8 ±0.15	13.5 ±0.15	18.5 ±0.20
280	310							
320	360							
360	400	25	316.7	322	±0.90	23.3 ±0.20	18 ±0.20	23 ±0.25

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 28-12 活塞密封腔体  $L_2$  用橡胶密封圈的尺寸系列及公差(摘自 GB 10708.1—89)



续表 28-12

mm														
D	d	L <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub> 、D <sub>4</sub> 极限偏差	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub> 、D <sub>6</sub> 极限偏差	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>
12	4	6.3	13	11.5	±0.20	12.7	11.5	±0.18	5	3.5	4.7	3.5	5.8	5.6
16	8		17	15.5		16.7	15.5							
20	12		21	19.5		20.7	19.5							
25	17		26	24.5		23.7	24.5							
32	24		33	31.5		32.7	31.5							
40	32		41	39.5		40.7	39.5							
20	10	8	21.2	19.4	±0.25	20.8	19.4	±0.22	6.2	4.4	5.8	4.4	7.3	7
25	15		26.2	24.4		25.8	24.4							
32	22		33.2	31.4		32.8	31.4							
40	30		41.2	39.4		40.8	39.4							
50	40		51.2	49.4		50.8	49.4							
56	46		57.2	55.4		56.8	55.4							
63	53		64.2	62.4		63.8	62.4							
50	35		51.5	49.2		51	49.1							
56	41		57.5	55.2		57	55.1							
63	48		64.5	62.2		64	62.1							
70	55	12.5	71.5	69.2	±0.35	71	69.1	±0.28	9	6.7	8.5	6.6	11.5	11.3
80	65		81.5	79.2		81	79.1							
90	75		91.5	89.2		91	89.1							
100	85		101.5	99.2		101	99.1							
110	95		111.5	109.2		111	109.1							
70	50	16	71.8	69	±0.35	71.2	68.6	±0.28	11.8	9	11.2	8.6	15	14.5
80	60		81.8	79		81.2	78.6							
90	70		91.8	89		91.2	88.6							
100	80		101.8	99		101.2	98.6							
110	90		111.8	109		111.2	108.6							
125	105		126.8	124		126.2	123.6							
140	120		141.8	139		141.2	138.6							
160	140		161.8	159		161.2	158.6							
180	160	181.8	179	181.2	178.6									
125	100	20	127.2	123.8	±0.45	126.3	123.2	±0.35	14.7	11.3	13.8	10.7	18.5	18
140	115		142.2	138.8		141.3	138.2							
160	135		162.2	158.8		161.3	158.2							
180	155		182.2	178.8		181.3	178.2							
200	175		202.2	198.8		201.3	198.2							
220	195		222.2	218.8		221.3	218.2							
250	225		252.2	248.8		251.3	248.2							
200	170		202.8	198.5		201.4	198							
220	190		222.8	218.5		221.4	218							
250	220		252.8	248.5		251.4	248							
280	250	282.8	278.5	281.4	278									
320	290	32	322.8	318.5	±0.90	321.4	318	±0.60	17.8	13.5	16.4	10.7	23	22.5
360	330		362.8	358.5		361.4	358							
400	360		403.3	398		401.8	397							
450	410		453.3	448		451.8	447							
500	460		503.3	498		501.8	497		23.3	18	21.8	17	29	28.5

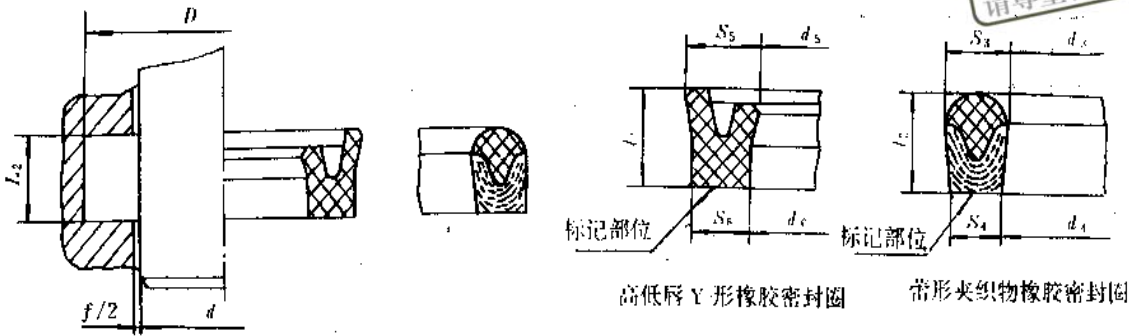
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

数字图书馆 超星 蓝领星球



表 28-13 活塞杆密封腔体  $L_2$  用橡胶密封圈的尺寸系列及公差(摘自 GB10708.1-89)

超星浏览器提醒您：  
 请尊重相关知识产权！



高低唇 Y 形橡胶密封圈      带形夹织物橡胶密封圈

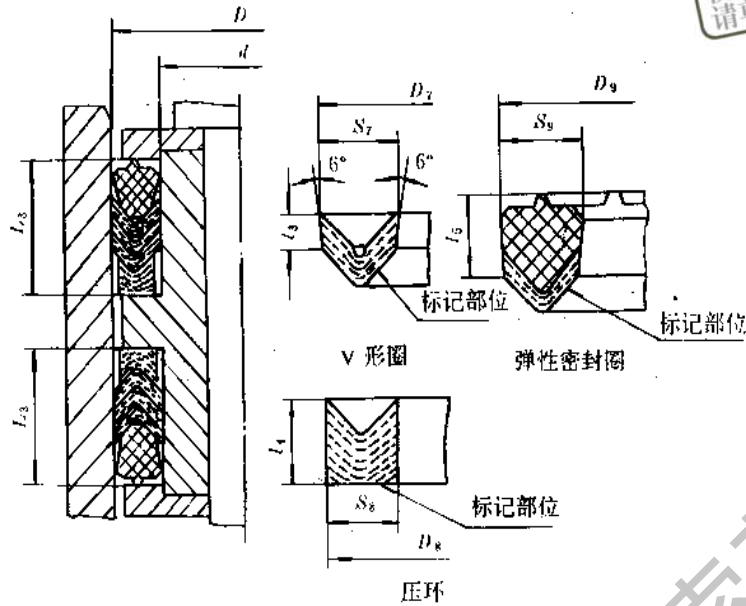
mm														
$d$	$D$	$L_2$	$d_3$	$d_4$	$d_3, d_4$ 极限偏差	$d_5$	$d_6$	$d_5, d_6$ 极限偏差	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$l_1$	$l_2$
6	14	6.3	5.3	6.5	$\pm 0.18$	5	6.5	$\pm 0.20$	4.7	3.5	5	3.5	5.5	5.8
8	16		7.3	8.5		7	8.5							
10	18		9.3	10.5		9	10.5							
12	20		11.3	12.5		11	12.5							
14	22		13.3	14.5		13	14.5							
16	24		15.3	16.5		15	16.5							
18	26		17.3	18.5		17	18.5							
20	28		19.3	20.5		19	20.5							
22	30		21.3	22.5		21	22.5							
25	33		24.3	25.5		24	25.5							
10	20	8	9.2	10.6	$\pm 0.18$	8.8	10.6	$\pm 0.20$	5.80	4.40	6.20	4.40	7	7.30
12	22		11.2	12.6		10.8	12.6							
14	24		13.2	14.6		12.8	14.6							
16	26		15.2	16.6		14.8	16.6							
18	28		17.2	18.6		16.8	18.6							
20	30		19.2	20.6		18.8	20.6							
22	32		21.6	22.6		20.8	22.6							
25	35		24.2	25.6		23.8	25.6							
28	38		27.2	28.6		26.8	28.6							
32	42		31.2	32.6		30.8	32.6							
36	46	35.2	36.6	34.8	36.6									
40	50	39.2	40.6	38.8	40.6									
45	55	44.2	45.6	43.8	45.6									
50	60	49.2	50.6	48.8	50.6									
28	43	12.5	27	28.9	$\pm 0.22$	26.5	28.8	$\pm 0.25$	8.50	6.60	9	6.7	11.30	11.50
32	47		31	32.9		30.5	32.8							
36	51		35	36.9		34.5	36.8							
40	55		39	40.9		38.5	40.8							
45	60		44	45.9		43.5	45.8							
50	65		49	50.9		48.5	50.8							
56	71		55	56.9		54.5	56.8							

超星浏览器提醒您：  
 禁止本复制品  
 续表 28-13 相关知识产权！

$d$	$D$	$L_2$	$d_3$	$d_4$	$d_3, d_4$ 极限偏差	$d_5$	$d_6$	$d_5, d_6$ 极限偏差	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$l_1$	$l_2$
63	78	12.5	62	63.9	$\pm 0.28$	61.5	63.8	$\pm 0.35$	8.50 $\pm 0.15$	6.60 $\pm 0.15$	9 $\pm 0.15$	6.7 $\pm 0.15$	11.30 $\pm 0.20$	11.50 $\pm 0.20$
70	85		69	70.9		68.5	70.8							
80	95		79	80.9		78.5	80.8							
90	105		89	90.9		88.5	90.8							
56	76	16	54.8	57.4	$\pm 0.22$	54.2	57	$\pm 0.25$	11.20 $\pm 0.15$	8.60 $\pm 0.15$	11.80 $\pm 0.15$	9 $\pm 0.15$	14.50 $\pm 0.20$	15 $\pm 0.20$
63	83		61.8	64.4		61.2	64							
70	90		68.8	71.4		68.2	71							
80	100		78.8	81.4		78.2	81							
90	110		88.8	91.4	88.2	91								
100	120		98.8	101.4	98.2	101								
110	130		108.8	111.4	108.2	111								
125	145		123.8	126.4	123.2	126								
140	160	138.8	141.4	138.2	141									
100	125	20	98.7	101.8	$\pm 0.35$	97.8	101.2	$\pm 0.45$	13.80 $\pm 0.15$	10.70 $\pm 0.15$	14.70 $\pm 0.15$	11.30 $\pm 0.15$	18 $\pm 0.20$	18.50 $\pm 0.20$
110	135		108.7	111.8		107.8	111.2							
125	150		123.7	126.8		122.8	126.2							
140	165		138.7	141.8		137.8	141.2							
160	185		158.7	161.8		157.8	161.2							
180	205		178.7	181.8		177.8	181.2							
200	225	198.7	201.8	197.8	201.2									
160	190	25	158.6	162	$\pm 0.45$	157.2	161.5	$\pm 0.60$	16.4 $\pm 0.15$	13 $\pm 0.15$	18.5 $\pm 0.15$	13.5 $\pm 0.15$	22.5 $\pm 0.25$	23 $\pm 0.25$
180	210		178.6	182		177.2	181.5							
200	230		198.6	202		197.2	201.5							
220	250		218.6	222		217.2	221.5							
250	280		248.6	252		247.2	251.5							
280	310		278.6	282		277.2	281.5							
320	360	32	318.2	323	$\pm 0.60$	316.7	322	$\pm 0.90$	21.8 $\pm 0.15$	17 $\pm 0.15$	23.3 $\pm 0.15$	18 $\pm 0.15$	28.5 $\pm 0.25$	29 $\pm 0.25$
360	400		358.2	363		357.7	362							

表 28-14 活塞密封腔体  $L_3$  组合密封圈的尺寸系列及公差(摘自 GB 10708.1-89)

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



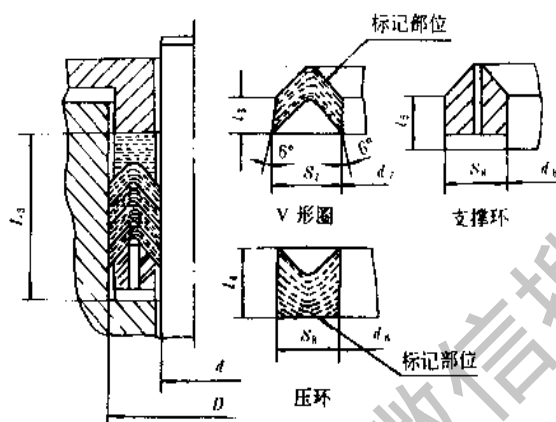
$D$	$d$	$L_3$	$D_7$	$D_8$	$D_7, D_8$ 极限偏差	$D_9$	极限偏差	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	V形圈 数量
20	10	16	20.6	19.7	$\pm 0.22$	20.8	$\pm 0.25$	5.6	4.7	5.8	3	6	6.5	
25	15		25.6	24.7		25.8								
32	22		32.6	31.7		32.8								
40	30		40.6	39.7		40.8								
50	40		50.6	49.7		50.8								
56	46		56.6	55.7		56.8								
63	53		63.6	62.7		63.8								
50	35	25	50.7	49.5	$\pm 0.28$	51.1	$\pm 0.35$	8.2	7	8.6	4.5	8	8	
56	41		56.7	55.5		57.1								
63	48		63.7	62.5		64.1								
70	55		70.7	69.5		71.1								
80	65		80.7	79.5		81.1								
90	75		90.7	89.5		91.1								
100	85		100.7	99.5		101.1								
110	95	110.7	109.5	111.1										
70	50	32	70.8	69.4	$\pm 0.35$	71.3	$\pm 0.45$	10.8	9.4	11.3	5	10	11	2
80	60		80.8	79.4		81.3								
90	70		90.8	89.4		91.3								
100	80		100.8	99.4		101.3								
110	90		110.8	109.4		111.3								
125	105		125.8	124.4		126.3								
140	120		140.8	139.4		141.3								
160	140	160.8	159.4	161.3										
180	160	40	180.8	179.4	$\pm 0.35$	181.3	$\pm 0.45$	13.5	11.9	14.1	6	12	15	
125	100		126	124.4		126.6								
140	115		141	139.4		141.6								
160	135		161	169.4		161.6								
180	155		181	179.4		181.6								
200	175		201	199.4		201.6								
220	195		221	219.4		221.6								
250	225	251	249.4	251.6										

mm

超 续表 28-14  
提醒您：  
使用本表时，  
请注明产品  
标准及版权！

D	d	$L_3$	$D_7$	$D_8$	$D_7, D_8$ 极限偏差	$D_9$	极限偏差	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	V形圈 数量
200	170	50	201.3	199.2	±0.45	201.9	±0.60	16.3	14.2	16.8	6.5	12	17.5	3
220	190		221.3	219.2		221.9								
250	220		251.3	249.2		251.9								
280	250		281.3	279.2	281.9	±0.90								
320	290		321.3	319.2	321.9									
360	330		361.3	359.2	361.9									
400	360	63	401.6	399	±0.90	402.1	±1.20	21.6	19	22.1	7	14	26.5	
450	410		451.6	449		452.1		±0.20	±0.20	±0.20	±0.25	±0.25	±0.25	
500	460		501.6	499		502.1								

表 28-15 活塞杆密封腔体  $L_3$  用组合密封圈的尺寸系列及公差(摘自 GB 10708.1-89)



d	D	$L_3$	$d_7$	$d_8$	$d_7, d_8$ 极限偏差	$S_7$	$S_8$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	V形圈 数量
6	14	14.5	5.5	6.3	±0.18	4.5	3.70	2.5	6	±0.20	3
8	16		7.5	8.3							
10	18		9.5	10.3							
12	20		11.5	12.3							
14	22		13.5	14.3							
16	24		15.5	16.3							
18	26		17.5	18.3							
20	28		19.5	20.3							
22	30		21.5	22.3							
25	33		24.5	25.3							
10	20	16	9.4	10.3	±0.22	5.60	4.70	3	6.50	±0.20	2
12	22		11.4	12.3							
14	24		13.4	14.3							
16	26		15.4	16.3							
18	28		17.4	18.3							
20	30		19.4	20.3							
22	32		21.4	22.3							
25	35		24.4	25.3							

mm

续表 28-15

$d$	$D$	$L_3$	$d_7$	$d_8$	$d_7, d_8$ 极限偏差	$S_7$	$S_8$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	V形圈 数量
28	38	16	27.4	28.3	±0.22	5.60 ±0.15	4.70 ±0.15	3 ±0.20	6.50 ±0.20		2
32	42		31.4	32.3							
36	46		35.4	36.3							
40	55		39.4	40.3							
45	55		44.4	45.3							
50	60		49.4	50.3							
28	43	25	27.3	28.5	±0.22	8.20 ±0.15	7 ±0.15	4.50 ±0.20	8 ±0.20	3 ±0.20	3
32	47		31.3	32.5							
36	51		35.3	36.5							
40	55		39.3	40.5							
45	60		44.3	45.5							
50	65		49.3	50.5							
56	71		55.3	56.5							
63	78		62.3	63.5							
70	85		69.3	70.5							
80	95		79.3	80.5							
90	105	89.3	90.5	±0.30							
56	76	32	55.2	56.6	±0.22	10.8 ±0.15	9.4 ±0.15	6 ±0.20	10 ±0.20		
63	83		62.2	63.6							
70	90		69.2	70.6							
80	100		79.2	80.6							
90	110		89.2	90.6							
100	120		99.2	100.6							
110	130		109.2	110.6							
125	145		124.2	125.6							
140	160	139.2	140.6								
100	125	40	99	100.6	±0.35	13.5 ±0.15	11.9 ±0.15	6 ±0.25	12 ±0.25	3 ±0.25	4
110	135		109	110.6							
125	150		124	125.6							
140	165		139	140.6							
160	185		159	160.6							
180	205		179	180.6							
200	225		199	200.6							
160	190		50	158.8							

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜技术资料  
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

续表 28-15

超星阅读器提醒您：  
使用超星阅读器制品  
请尊重相关知识产权！

$d$	$D$	$L_3$	$d_7$	$d_8$	$d_7, d_8$ 极限偏差	$S_7$	$S_8$	$l_3$	$l_4$	$z$	V形圈 数量
180	210	50	178.8	180.8	$\pm 0.45$	16.2 $\pm 0.20$	14.2 $\pm 0.20$	6.5 $\pm 0.25$	14 $\pm 0.25$	3 $\pm 0.25$	5
200	230		198.8	200.8							
220	250		218.8	220.8							
250	280		248.8	250.8							
280	310		278.8	280.8							
320	360	63	318.4	321	$\pm 0.60$	21.6 $\pm 0.20$	19 $\pm 0.20$	7 $\pm 0.25$	15.5 $\pm 0.25$	4 $\pm 0.25$	6
360	400		358.4	361							

标记示例：

Y 80×65×9.5 ×× GB×××× ××

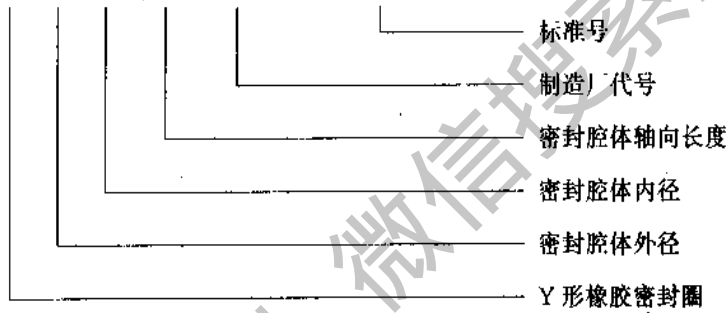
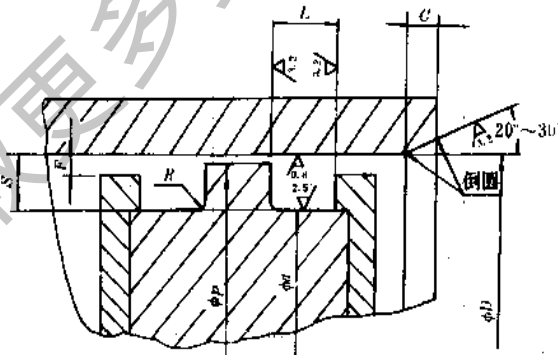


表 28-16 液压缸活塞动密封沟槽型式、尺寸和公差(摘自 GB 2879—86, 参照 ISO 5597/1—80)





续表 28-16

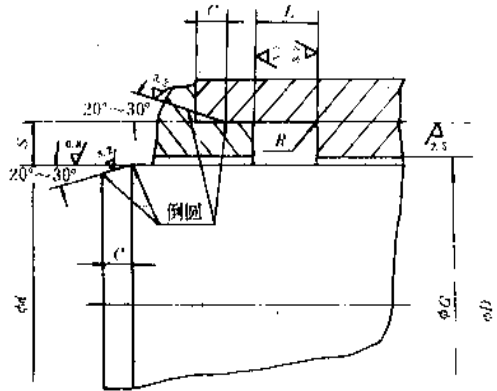
D	S	d	L <sup>+</sup> g <sup>25</sup>			C ≥	R ≤	F
			L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>			
12	4	4	5.0	6.3		2	0.3	0.5
16	4	8	5.0	6.3		2	0.3	0.5
20	4	12	5.0	6.3		2	0.3	0.5
	5	10	6.3	8	16	2.5		
25	4	17	5.0	6.3		2	0.3	0.5
	5	15	6.3	8	16	2.5		
32	4	24	5.0	6.3		2	0.3	0.5
	5	22	6.3	8	16	2.5		
40	4	32	5.0	6.3		2	0.3	0.5
	5	30	6.3	8	16	2.5		
50	5	40	6.3	8	16	2.5	0.3	0.5
	7.5	35	9.5	12.5	25	4	0.4	1
(56)	5	46	6.3	8	16	2.5	0.3	0.5
	7.5	41	9.5	12.5	25	4	0.4	1
63	5	53	6.3	8	16	2.5	0.3	0.5
	7.5	48	9.5	12.5	25	4	0.4	1
(70)	7.5	55	9.5	12.5	25	4	0.4	1
	10	50	12.5	16	32	5	0.6	
80	7.5	65	9.5	12.5	25	4	0.4	1
	10	60	12.5	16	32	5	0.6	
(90)	7.5	75	9.5	12.5	25	4	0.4	1
	10	70	12.5	16	32	5	0.6	
100	7.5	85	9.5	12.5	25	4	0.4	1
	10	80	12.5	16	32	5	0.6	
(110)	7.5	95	9.5	12.5	25	4	0.4	1
	10	90	12.5	16	32	5	0.6	
125	10	105	12.5	16	32	5	0.6	1
	12.5	100	16	20	40	6.5	0.8	1.5
(140)	10	120	12.5	16	32	5	0.6	1
	12.5	115	16	20	40	6.5	0.8	1.5
160	10	140	12.5	16	32	5	0.6	1
	12.5	135	16	20	40	6.5	0.8	1.5
(180)	10	160	12.5	16	32	5	0.6	1
	12.5	155	16	20	40	6.5	0.8	1.5
200	12.5	175	16	20	40	6.5	0.8	1.5
	15	170	20	25	50	7.5		
(220)	12.5	195	16	20	40	6.5	0.8	1.5
	15	190	20	25	50	7.5		
250	12.5	225	16	20	40	6.5	0.8	1.5
	15	220	20	25	50	7.5		
(280)	15	250	20	25	50	7.5	0.8	1.5
320	15	290	20	25	50	7.5	0.8	1.5
(360)	15	330	20	25	50	7.5	0.8	1.5
400	20	360	25	32	63	10	1.0	2
(450)	20	410	25	32	63	10	1.0	2
500	20	460	25	32	63	10	1.0	2

注: 1. 滑动面公差配合推荐 H9/f8,但在液压缸使用条件不苛刻的情况下,滑动面公差配合也可采用 H10/f9;  
2. 括号内的缸内径为非优先选用尺寸。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

超星数字图书馆

表 28-17 液压缸活塞杆动密封沟槽型式、尺寸和公差(摘自 GB 2879—86, 参照 ISO5597/1—80)



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

d	S	D	$L^{+0.25}_0$			C	R
			L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>		
6	4	14	5.0	6.3	14.5	2	0.3
8	4	16	5.0	6.3	14.5	2	0.3
10	4	18	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	20	—	8	16	2.5	
12	4	20	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	22	—	8	16	2.5	
14	4	22	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	24	—	8	16	2.5	
16	4	24	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	26	—	8	16	2.5	
18	4	26	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	28	—	8	16	2.5	
20	4	28	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	30	—	8	16	2.5	
22	4	30	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	32	—	8	16	2.5	
25	4	33	5.0	6.3	14.5	2	0.3
	5	35	—	8	16	2.5	
28	5	38	6.3	8	16	2.5	0.3
	7.5	43	—	12.5	25	4	0.4
32	5	42	6.3	8	16	2.5	0.3
	7.5	47	—	12.5	25	4	0.4

续表 28-17

d	S	D	L <sup>1/8-25</sup>			C ≥	R ≤
			L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>		
36	5	46	6.3	8	16	2.5	0.3
	7.5	51	—	12.5	25	4	0.4
40	5	50	6.3	8	16	2.5	0.3
	7.5	55	—	12.5	25	4	0.4
45	5	55	6.3	8	16	2.5	0.3
	7.5	60	—	12.5	25	4	0.4
50	5	60	6.3	8	16	2.5	0.3
	7.5	65	—	12.5	25	4	0.4
56	7.5	71	9.5	12.5	25	4	0.4
	10	76	—	16	32	5	0.6
63	7.5	78	9.5	12.5	25	4	0.4
	10	83	—	16	32	5	0.6
70	7.5	85	9.5	12.5	25	4	0.4
	10	90	—	16	32	5	0.6
80	7.5	95	9.5	12.5	25	4	0.4
	10	100	—	16	32	5	0.6
90	7.5	105	9.5	12.5	25	4	0.4
	10	110	—	16	32	5	0.6
100	10	120	12.5	16	32	5	0.6
	12.5	125	—	20	40	6.5	0.8
110	10	130	12.5	16	32	5	0.6
	12.5	135	—	20	40	6.5	0.8
125	10	145	12.5	16	32	5	0.6
	12.5	150	—	20	40	6.5	0.8
140	10	160	12.5	16	32	5	0.6
	12.5	165	—	20	40	6.5	0.8
160	12.5	185	16	20	40	6.5	0.8
	15	190	—	25	50	7.5	
180	12.5	205	16	20	40	6.5	0.8
	15	210	—	25	50	7.5	
200	12.5	225	16	20	40	6.5	0.8
	15	230	—	25	50	7.5	
220	15	250	20	25	50	7.5	0.8
250	15	280	20	25	50	7.5	0.8
280	15	310	20	25	50	7.5	0.8
320	20	360	25	32	63	10	1.0
360	20	400	25	32	63	10	1.0

注：滑动面公差配合推荐 H9/f8，但在液压缸使用条件不苛刻的情况下，滑动面公差配合也可以采用 H10/f9。

表 28-18 动密封沟槽径向深度及沟槽底径的计算(摘自 GB 2879—86, 参照 ISO 5597/1—80)

沟槽径向深度 mm			沟槽底径 mm	
S	S <sub>max</sub>	S <sub>min</sub>	活塞用动密封沟槽内径 d	活塞杆用动密封沟槽外径 D
4	4.15	3.95	$d_{max} = P_{min} - 2S_{min}$ $d_{min} = 2D_{max} - P_{min} - 2S_{max}$	$D_{max} = 2d_{min} - G_{max} + 2S_{max}$ $D_{min} = G_{max} + 2S_{min}$
5	5.15	4.90		
7.5	7.70	7.40		
10	10.25	9.90		
12.5	12.80	12.35		
15	15.35	14.80		
20	20.40	19.80		

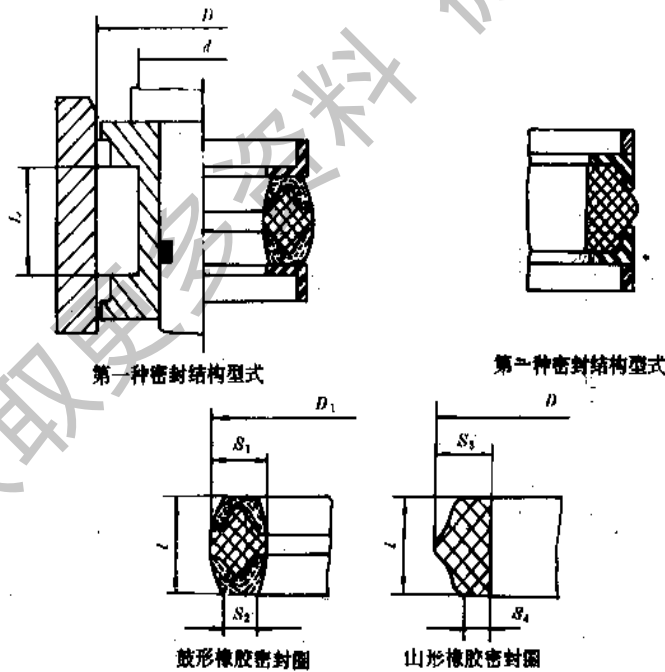
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

2.5 双向密封橡胶密封圈

表 28-19 密封圈的工作压力范围(摘自 GB 10708.2—89)

往复运动速度 m/s	鼓形密封圈工作压力 MPa	山形密封圈工作压力 MPa
0.5	0.10~40	0~20
0.15	0.10~70	0~35

表 28-20 鼓形夹织物橡胶密封圈和山形橡胶密封圈的主要尺寸系列及公差(摘自 GB 10708.2—89)

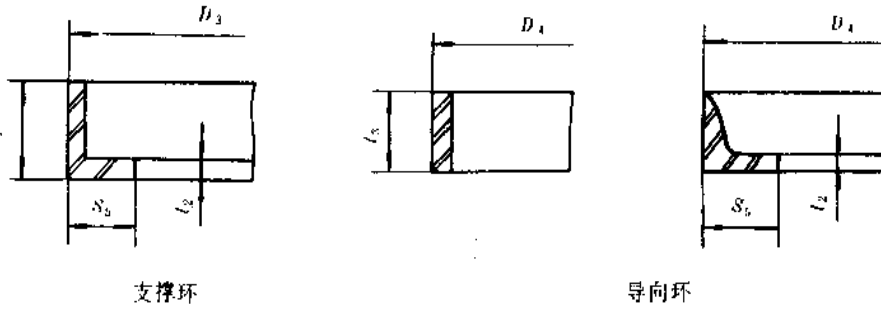


续表 28-20 浏览器提醒您：  
使用本产品  
请尊重相关知识产权！  
mm

$D$	$d$	$L$	$D_1$	$D_1$ 极限偏差	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_1, S_2,$ $S_3, S_4$ 极限偏差	$l$	极限偏差
25	17	10	25.6		4.6	3.4	4.7	2.5		6.5	
32	24		32.6								
40	32		40.6								
25	15	12.5	25.7	$\pm 0.22$	5.7	4.2	5.8	3.2		8.5	
32	22		32.7								
40	30		40.7								
50	40		50.7								
56	46		56.7								
63	53	63.7									
50	35	20	50.9	$\pm 0.28$	8.4	6.5	8.5	4.5	$\pm 0.15$	14.5	$\pm 0.20$
56	41		56.9								
63	48		63.9								
70	55		70.9								
80	65		80.9								
90	75		90.9								
100	85		100.9								
110	95		110.9								
80	60	25	81	$\pm 0.35$	11	8.7	11.2	5.5		18	
90	70		91								
100	80		101								
110	90		111								
125	105		126								
140	120		141								
160	140		161								
180	160	181									
125	100	32	126.3	$\pm 0.45$	13.7	10.8	13.9	7		24	
140	115		141.3								
160	135		161.3								
180	155		181.3								
200	170	36	201.5	$\pm 0.60$	16.5	12.9	16.7	8.8	$\pm 0.20$	28	$\pm 0.25$
220	190		221.5								
250	220		251.5								
280	250		281.5								
320	290		321.5								
360	330	361.5									
400	360	50	401.8	$\pm 0.90$	21.8	17.5	22	12		40	
450	410		451.8								
500	460		501.8								

表 28-21 塑料支撑环和导向环尺寸系列和公差(摘自 GB 10708.2-89)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



支撑环

导向环

mm

D	d	L	D <sub>3</sub>	极限偏差	D <sub>4</sub>	极限偏差	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	极限偏差	S <sub>3</sub>	极限偏差					
25	17	10	25	-0.16 0	25	-0.20 0	5.5	1.5	4		4						
32	24		32		32												
40	32		40		40												
25	15	12.5	25	-0.18 0	25	-0.25 0					5.5		1.5	4		5	
32	22		32		32												
40	30		40		40												
50	40		50		50												
56	46		56		56												
63	53	63	63	63	63												
50	35	20	50	-0.22 0	50	-0.30 0					6.5		1	5	+0.10 0	7.5	-0.10 0
56	41		56		56												
63	48		63		63												
70	55		70		70												
80	65		80		80												
90	75		90		90												
100	85		100		100												
110	95	110	110														
80	60	25	80	-0.26 0	80	-0.35 0	8.3	2	6.3		10						
90	70		90		90												
100	80		100		100												
110	90		110		110												
125	105		125		125												



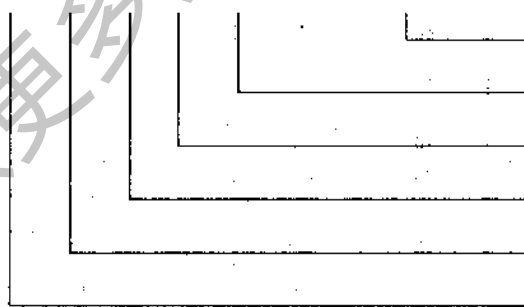
续表 28-21

$D$	$d$	$L$	$D_3$	极限偏差	$D_4$	极限偏差	$l_1$	$l_2$	$l_3$	极限偏差	$S_5$	极限偏差		
140	120	25	140		140		8.3	2	6.3		10	+0.10 0		
160	140		160		160									
180	160		180		180									
125	110	32	125	-0.26 0	125	-0.40 0	13	3	10		12.5	-0.10 0		
140	115		140	140										
160	135		160	160										
180	155		180	180										
200	170	36	200		200		15.5	3	12.5		15	+0.12 0 -0.12 0		
220	190		220		220									
250	220		250		-0.35 0								250	-0.50 0
280	250		280		280									
320	290		320		320									
360	330		360		360									
400	360	50	400		400		20	4	16		20	+0.15 0 -0.15 0		
450	410		450		-0.50 0								450	-0.60 0
500	460		500		500									

注：山形橡胶密封圈用的塑料环为开口式。

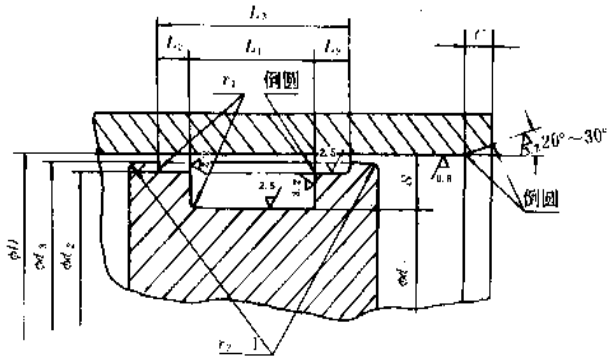
标记示例：

G 100 × 85 × 20 × × GB × × × × - × ×



- 标准号
- 生产厂代号
- 密封腔体轴向长度
- 密封腔体内径
- 密封腔体外径
- 鼓形橡胶密封圈

表 28-22 液压缸活塞用带支承环密封沟槽型式、尺寸和公差 (摘自 GB6577—86, 参照 ISO6547—81)



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

mm									
DH9	S	d <sub>1</sub> h9	L <sub>1</sub> ±0.08	L <sub>2</sub> <sup>+0.10</sup>	L <sub>3</sub>	d <sub>2</sub> h9	d <sub>3</sub> h11	r <sub>1</sub>	C ≥
25	4	17	10	4	18	22	21	0.4	2
	5	15	12.5		20.5				2.5
32	4	24	10	4	18	29	31	0.4	2
	5	22	12.5		20.5				2.5
40	4	32	10	4	18	37	39	0.4	2
	5	30	12.5		20.5				2.5
50	5	40	12.5	4	20.5	47	49	0.4	2.5
	7.5	35	20	5	30	46	48.5		4
(56)	5	46	12.5	4	20.5	53	55	0.4	2.5
	7.5	41	20	5	30	52	54.5		4
63	5	53	12.5	4	20.5	60	62	0.4	2.5
	7.5	48	20	5	30	59	61.5		4
(70)	7.5	55	20	5	30	66	68.5	0.4	4
	10	50	25	6.3	37.6	65	68	0.8	5
80	7.5	65	20	5	30	76	78.5	0.4	4
	10	60	25	6.3	37.6	75	78	0.8	5
(90)	7.5	75	20	5	30	86	88.5	0.4	4
	10	70	25	6.3	37.6	85	88	0.8	5
100	7.5	85	20	5	30	96	98.5	0.4	4
	10	80	25	6.3	37.6	95	98	0.8	5
(110)	7.5	95	20	5	30	106	108.5	0.4	4
	10	90	25	6.3	37.6	105	108	0.8	5
125	10	105	25	6.3	37.6	120	123	0.8	5
	12.5	100	32	10	52	119			6.5

续表 28-22

DH9	S	$d_1h9$	$L_1 \begin{smallmatrix} +0.35 \\ +0.10 \end{smallmatrix}$	$L_2 \begin{smallmatrix} +0.10 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$L_3$	$d_2h9$	$d_3h11$	$r_1$	$C$ $\geq$
(140)	10	120	25	6.3	37.6	135	138	0.8	5
	12.5	115	32	10	52	134			6.5
160	10	140	25	6.3	37.6	155	158	0.8	5
	12.5	135	32	10	52	154			6.5
(180)	10	160	25	6.3	37.6	175	178	0.8	5
	12.5	155	32	10	52	174			6.5
200	15	170	36	12.5	61	192	197	0.8	7.5
(220)	15	190	36	12.5	61	212	217	0.8	7.5
250	15	220	36	12.5	61	242	247	0.8	7.5
(280)	15	250	36	12.5	61	272	277	0.8	7.5
320	15	290	36	12.5	61	312	317	0.8	7.5
(360)	15	330	36	12.5	61	352	357	0.8	7.5
400	20	360	50	16	82	392	397	1.2	10
(450)	20	410	50	16	82	442	447	1.2	10
500	20	460	50	16	82	492	497	1.2	10

注：1. 括号内的缸孔内径为非优先选用尺寸。

2. 除缸内径  $D=25\sim 160$ ，在使用小截面密封圈外，缸内径  $D$  的加工精度可选 H11。

## 2.6 真空动密封

介质为机械泵油、扩散泵油或真空油脂，工作温度为  $-25^{\circ}\text{C}\sim +80^{\circ}\text{C}$ ，旋转线速度低于  $2\text{m/s}$  转速低于  $2000\text{r/min}$ ，在充保护气体情况下工作时，其保护气体压力不高于  $5\times 10^{-4}\text{Pa}$ 。J 型橡胶密封圈安装结构见图 28-2。

### 2.6.1 J 型真空用橡胶密封圈

本密封圈适用于外部为大气压力、真空室压力高于  $1\times 10^{-4}\text{Pa}$  的旋转真空机械设备的密封。工作

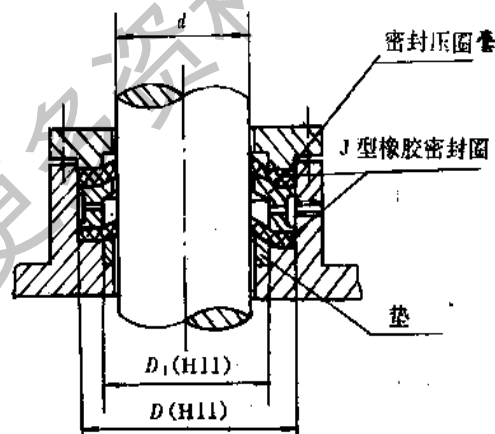
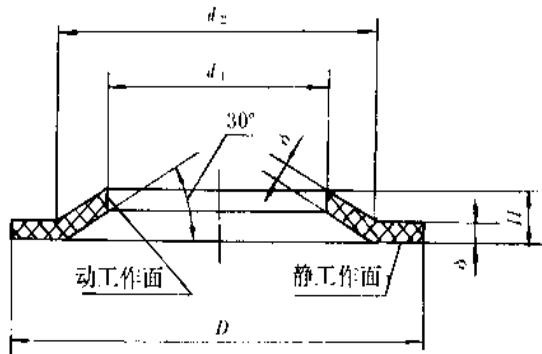


图 28-2 J 型橡胶密封圈安装结构

如果用螺母压紧时，在螺母与橡胶密封圈之间应装有金属垫圈。真空室内表面各零件表面粗糙度：

密封面  $R_a$  的值为  $1.6\mu\text{m}$ ，其它面  $R_a$  的值为  $3.2\mu\text{m}$ ，轴的表面粗糙度  $R_a$  的值为  $0.8\mu\text{m}$ 。

表 28-23 J 型真空用橡胶密封圈的型式及尺寸 (JB1090—91)



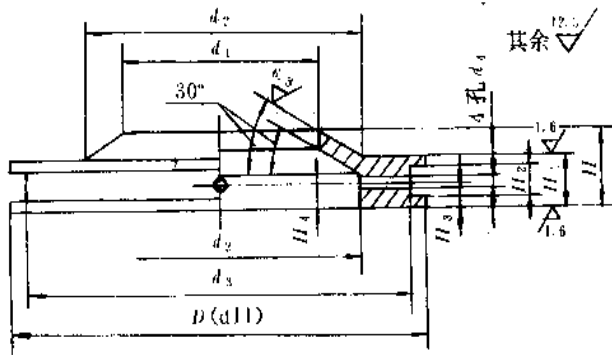
标记示例:

J 型真空用橡胶密封圈名义直径  
 $d=50\text{mm}$ 、标记为  
 J 型密封圈  $d50$  JB1090

超星浏览器提醒您  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权!

名义直径 $d$	$d_1$		$d_2$	$D$	$d_2、D$ 极限偏差	$H$	$\delta$	
	尺寸	极限偏差					尺寸	极限偏差
6	5.5	+0.2	13	22	+0.5	4.2	2	
8	7.5		15	24				
10	9.5		17	25				
12	11.5	+0.3	19	27	+0.7	4.9	2	
14	13		23	33				
15	14		24	34				
16	15		25	35				
18	17		27	38				
20	19		29	40				
22	21	-0.5	31	42	±0.8	5.4	2.5	+0.6 -0.2
25	23.5		34	44				
28	26.5		37	48				
30	28.5	+0.4	40	52	±0.8	5.8	2.5	
32	30		42	54				
35	33		45	56				
40	38		52	66				
45	43		57	72				
50	48		62	75				
55	53	-0.5	67	82	±0.9	7.6	3	
60	58		74	90				
65	63		79	95				
70	68	+0.5	84	100	±0.9	7.6	3	
75	73		89	105				
80	78		94	112				
85	82	-0.9	98	116	±1.1	8.6	3	
90	87		103	122				
100	97		113	130				
110	106	+0.6	126	144	±1.5	9.7	4	+0.6 -0.3
120	116		136	154				
130	126		146	165				
140	136		156	175				
150	145	-1.2	168	190	±1.5	9.7	4	
160	155		178	200				
180	175		198	220				
200	195	+0.7	218	240		10.6		
		-1.5						

表 28-24 J型密封圈密封压套的型式及尺寸 (JB1090-91)

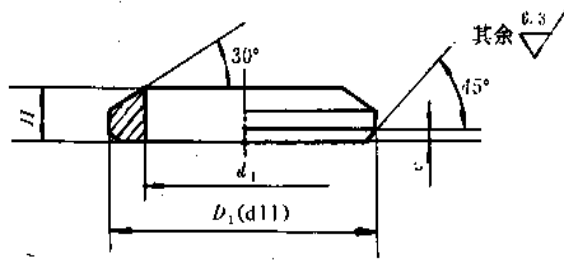


超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

名义直径 <i>d</i>	<i>D</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>d</i> <sub>1</sub> , <i>d</i> <sub>2</sub> 极限偏差	<i>d</i> <sub>3</sub>	<i>d</i> <sub>4</sub>	<i>H</i> <sub>1</sub>	<i>H</i> <sub>2</sub>	<i>H</i> <sub>3</sub>	<i>H</i> <sub>4</sub>	mm	
											尺寸	极限偏差
6	22	6.5	13	-0.1	20		4	2	2	3	5.9	
8	24	8.5	15									
10	25	11	17									
12	27	13	19									
14	33	15	23	-0.12	31	2				3.5	7.3	±0.06
15	34	16	24									
16	35	17	25									
18	38	19	27									
20	40	21	29									
22	42	23	31									
25	44	26	34									
28	48	29	37									
30	52	31	40									
32	54	33	42									
35	56	36	45	-0.16	52	2.5	6	4	3	4.5	8.2	±0.08
40	66	41	52									
45	72	46	57									
50	76	51	62									
55	82	56	67									
60	90	61	74									
65	95	66	79									
70	100	71	84									
75	105	76	89									
80	112	81	94									
85	116	86	98	-0.12	109						9.5	±0.08
90	122	91	103									
100	130	101	113									
110	144	112	126									
120	154	122	136									
130	165	132	146									
140	175	142	156									
150	190	152	168									
160	200	162	178									
180	220	182	198									
200	240	202	218									

注：1. 表内 *d*<sub>3</sub>、*d*<sub>4</sub>、*H*<sub>1</sub>、*H*<sub>2</sub>、*H*<sub>3</sub> 及 *H*<sub>4</sub> 等极限偏差，按未注公差执行；  
2. 密封压套材料为 Q235-A 或 H62。

表 28-25 J 型密封圈垫的型式及尺寸 (JB 1090—91)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

名义直径 $d$	$D_1$	$d_1$	$H$		$c$	名义直径 $d$	$D_1$	$d_1$	$H$		$c$
			尺 寸	极限偏差					尺 寸	极限偏差	
6	13	6.5	3		0.5	55	67	56	4	-0.10	1.0
8	15	8.5	3			60	74	61	4		
10	17	11	3.5			65	79	66	4		
12	19	13	3.5			70	84	71	4		
14	23	15	3.5			75	89	76	5		
15	24	16	3.5			80	94	81	5		
16	25	17	3.5			85	98	86	5		
18	27	19	3.5			90	103	91	5		
20	29	21	3.5			100	113	101	5		
22	31	23	3.5	-0.10		110	126	112	5	-0.15	
25	34	26	3.5		120	136	122	5			
28	37	29	3.5		130	146	132	5			
30	40	31	4		140	156	142	5			
32	42	33	4		150	169	152	5			
35	45	36	4		160	178	162	5			
40	52	41	4		180	198	182	5			
45	57	46	4		200	218	202	5			
50	62	51	4								

- 注：1. 表内  $d_1$  及  $c$  的极限偏差，按未注公差执行；  
2. 如因结构关系， $H$  可以改变；  
3. 垫材料为 Q235-A 或 H62。

2.6.2 JO 型和骨架型真空用橡胶密封圈

本密封圈适用条件与 J 型真空用橡胶密封圈相同，详见 2.6.1。

JO 型和骨架型真空用橡胶密封圈的安装结构分别见图 28-3、图 28-4。



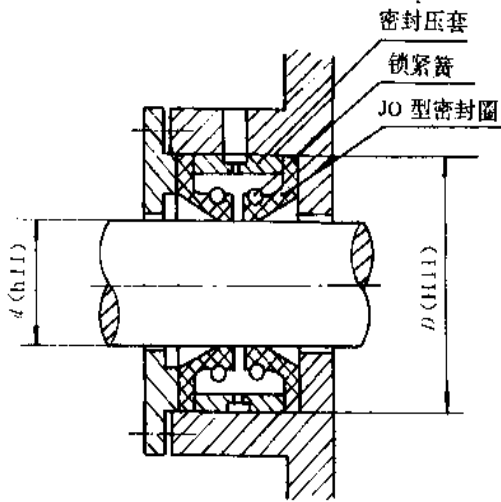


图 28-3 JO 型密封圈安装结构

如果用螺母压紧时，在螺母与橡胶密封圈之间应装有金属垫圈。真空室内表面各零件表面粗糙度：

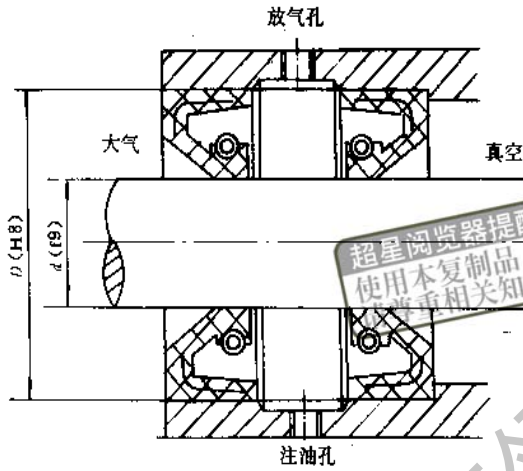
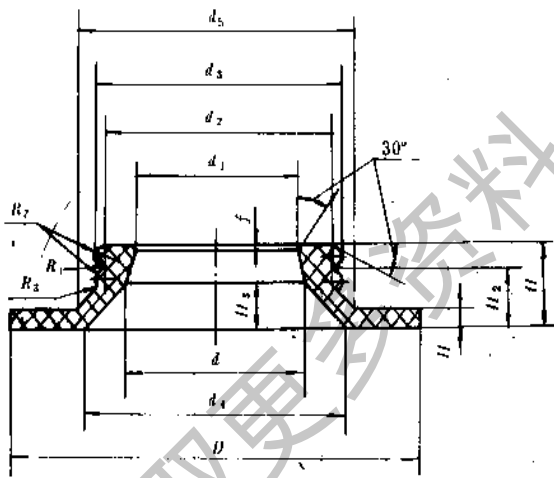


图 28-4 骨架型密封圈安装结构

密封面  $R_a$  的值为  $1.6\mu\text{m}$ ，其它面  $R_a$  的值为  $3.2\mu\text{m}$ ，轴的表面粗糙度  $R_a$  的值为  $0.8\mu\text{m}$ 。

表 28-26 JO 型真空用橡胶密封圈型式及尺寸 (JB1091—91)



标记示例：

JO 型真空用橡胶密封圈名义直径  $d=50\text{mm}$ ，标记为：

JO 型密封  $d50$  JB 1091

名义直径 $d$	$D$		$d_1$		$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$H$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$f$
	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差												
6	25		5.5		9	12	13	15								
8	26	$\pm 0.6$	7.5	$\pm 0.4$	11	14	15	17	10	2.5	7.5	6	1.2	0.5	0.3	0.5
10	28		9.5		14	17	18	20								

mm

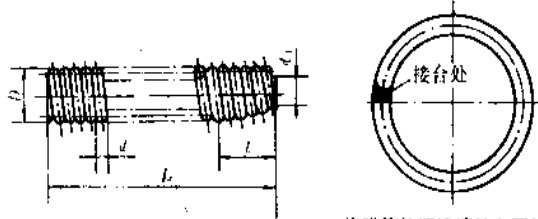
续表 28-26

名义直径 $d$	$D$		$d_1$		$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$H$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$f$
	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差												
12	30	±0.6	11.5	-0.4	16	19	20	22	12	3	9	7	1.2	0.6		
14	32		13.5		18	21	22	24								
15	33		14.5		19	22	24	25	13							
16	34		15.5		20	23	25	27								
18	38		17.5		22	25	27	29								
20	42	±0.6	19.5	-0.5	24	27	29	31	14		10	8				
22	45		21.5		26	29	32	34								
25	48		24.5		29	32	35	37	15							
28	52		27.5		32	35	38	40								
30	54		29.5		34	37	40	42								
32	56	±0.8	31	-0.6	36	40	44	46	17	4	12	9	1.4	0.9		
35	60		34		39	43	47	49								
40	66		39		44	48	52	54	19							
45	72		44		49	53	57	59								
50	76		49		54	58	62	64								
55	82	±0.9	54	-0.7	59	63	68	70	20		13	10	1.5	1.0		1.0
60	90		59		64	68	73	75								
65	95		64		69	73	79	80	21							
70	100		69		74	78	83	85								
75	105		74		79	83	89	90								
80	110	±0.8	79	-0.8	84	89	94	95	22	5	15	12	1.6	1.1		
85	115		84		89	94	98	100								
90	120		89		94	99	104	105	23							
100	130		99		105	110	117	118								
110	144		108		115	120	127	128								
120	154	±1.0	118	-0.9	125	130	137	139	24	6	16	13	1.7	1.2		
130	165		128		135	140	148	149								
140	175		138		145	150	158	160	25							
150	190		148		155	160	168	170								
160	200		158		165	170	178	180								
180	220	±1.0	178	-0.9	185	190	198	200	26	7	17	14	1.8	1.3		
200	240		198		205	210	218	220								

超星浏览器提醒您：  
使用本产品  
请尊重相关知识版权

超星数字资源库

表 28-27 JO 型密封圈锁紧簧的型式及尺寸 (JB1091-91)



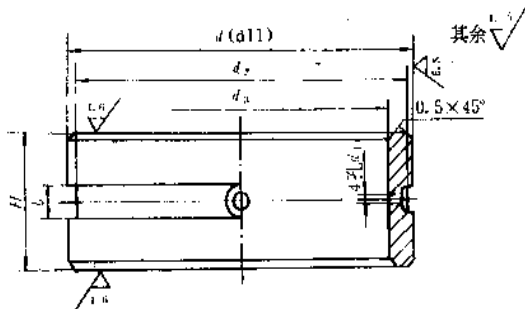
(将弹簧的圆锥端拧入圆柱端)

超星浏览器提醒您：  
mm  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

名义直径	螺旋圈数	展开长度	自由长度 $L$	锥部长度 $l$	弹簧外径 $D$	锥部外径 $d_1$	钢丝直径 $d$	
6	89	475	27	2.5	2	1.0	0.3	
8	112	596	34					
10	142	756	43					
12	121	606	49					
14	136	682	55	3			1.0	0.4
15	145	725	58					
16	151	758	61					
18	166	833	67					
20	184	920	74					
22	199	998	80					
25	221	1110	89					
28	244	1220	98					
30	261	1311	105					
32	221	1382	111		4	2.5		
35	239	1495	120					
40	271	1696	136					
45	303	1897	152					
50	335	2098	168					
55	365	2286	183					
60	397	2487	199					
65	429	2688	215					
70	459	2877	230					
75	491	3078	246					
80	373	2940	262	5	3.2	1.6	0.7	
85	395	3080	277					
90	418	3235	293					
100	468	3630	328					
110	400	2830	360	8	3.2	2	0.9	
120	433	3160	390					
130	469	3380	422					
140	503	3660	453					
150	537	3870	484					
160	573	4130	516					
180	644	4640	580					
200	713	5150	642					

注：弹簧的材料及热处理条件应符合 YB248 的规定。

表 28-28 JO 型密封圈密封压套的型式及尺寸 (JB1091-91)

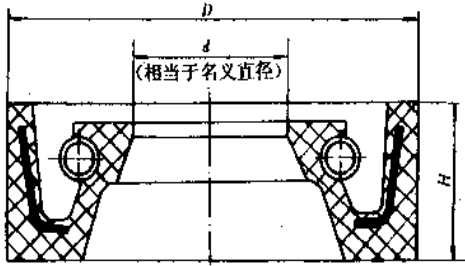


超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

名义直径	$d$	$d_2$	$d_3$	$H$	$b$	$d_1$	名义直径	$d$	$d_2$	$d_3$	$H$	$b$	$d_1$
6	25	24	19	19	5	2	55	82	80	74	30	7	3
8	26	25	20				60	90	88	80			
10	28	27	22				65	95	93	85			
12	30	28	24	23			70	100	98	90	32		
14	32	30	26				75	105	103	95			
15	33	32	27				80	110	108	100			
16	34	33	28				85	115	113	105			
18	38	36	31				90	120	118	110			
20	42	40	35				100	130	128	120			
22	45	43	37	25			110	144	142	132	34		
25	48	46	40				120	154	152	142			
28	52	50	44				130	165	163	153			
30	54	52	46				140	175	173	163			
32	56	54	48				150	190	188	174			
35	60	58	52				160	200	198	184			
40	66	64	58		180	220	218	204					
45	72	70	64	30	200	240	238	224					
50	76	74	68										

注：1. 表内  $d_2$ 、 $d_3$ 、 $H$ 、 $b$  及  $d$  等极限偏差，按未注公差执行；  
2. 压套的材料为 A3 或 H62。

表 28-29 骨架型真空用橡胶密封圈的型式及尺寸 (JB 1091—91)



标记示例:

代号为 PD,  $d=22\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$ ,  $H=10\text{mm}$  的骨架型真空用橡胶密封圈, 标记为 骨架型密封圈 PD22×40×10 JB1091

超星浏览器提醒您：  
mm  
复制品  
请尊重相关知识版权

内 径 $d$	外 径 $D$	高 度 $H$	内 径 $d$	外 径 $D$	高 度 $H$	内 径 $d$	外 径 $D$	高 度 $H$
6	22	8	35	56	12	95	125	12
8	22	8	38	56	12	100	125	12
10	22	8	40	62	12	105	130	14
12	25	10	42	62	12	110	140	14
14	30	10	45	62	12	115	140	14
15	30	10	50	72	12	120	150	14
16	30	10	52	72	12	125	150	15
17	35	10	55	75	12	130	160	15
18	35	10	60	80	12	140	170	16
20	35	10	65	90	12	150	180	16
22	40	10	70	90	12	160	190	16
25	40	10	75	100	12	170	200	16
28	50	10	80	100	12	180	220	18
30	50	10	85	110	12	190	240	18
32	52	12	90	110	12	200	240	18

2.6.3 O 型真空用橡胶密封圈

本密封圈适用于外部为大气压力、真空室压力高于  $1 \times 10^{-4}\text{Pa}$  的往复运动真空机械设备的密封。工作介质为机械泵油、扩散泵油或真空油脂, 工作温度为  $-25^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ , 往复运动速度低于  $0.2\text{m/s}$ ,

在充保护气体情况下工作时, 其保护气体压力不高于  $5 \times 10^4\text{Pa}$ 。O 型真空用橡胶密封圈的安装结构见图 28-5。

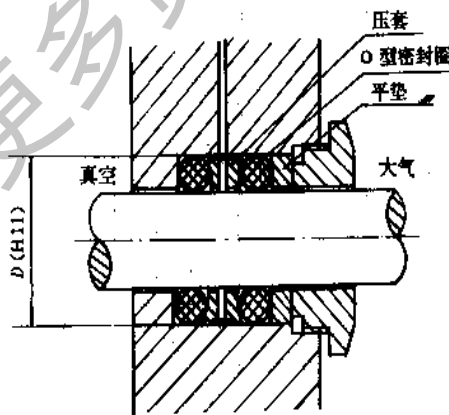
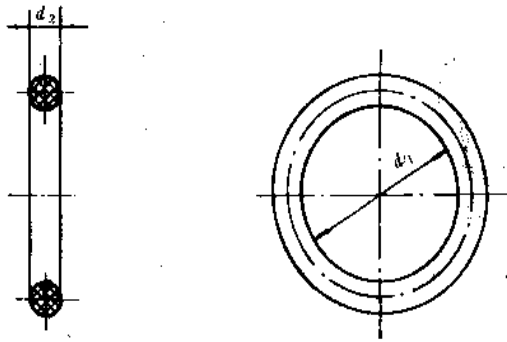


图 28-5 O 型密封圈安装结构

真空室内表面各零件表面粗糙度: 密封面  $R_a$  的值为  $1.6\mu\text{m}$ , 轴的表面粗糙度  $R_a$  的值为  $0.8\mu\text{m}$ 。

表 28-30 O 型真空用橡胶密封圈型式及尺寸 (JB1092-91)



标记示例:

内径  $d_1=48.7\text{mm}$ , 截面直径  $d_2=5.30\text{mm}$  的 O 型真空用橡胶密封圈, 标记为:

O 型密封圈 48.7×5.30

JB1092

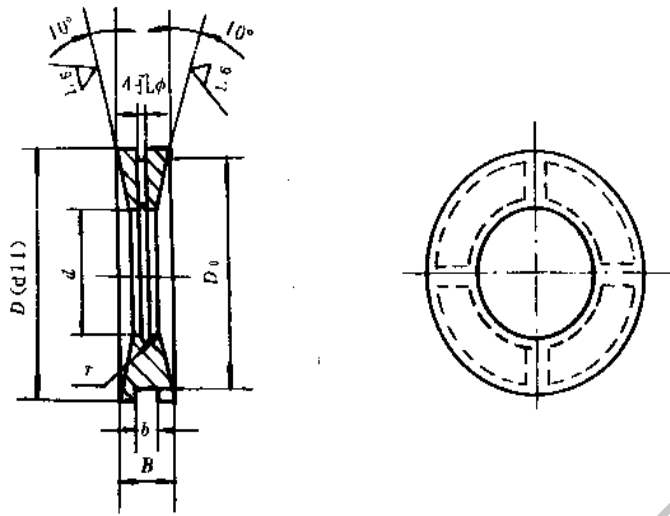
超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

名义直径 $d$	内径 $d_1$		截面直径 $d_2$					名义直径 $d$	内径 $d_1$		截面直径 $d_2$					
	尺寸	极限偏差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15		尺寸	极限偏差	1.80±0.08	2.65±0.09	3.55±0.10	5.30±0.13	7.00±0.15	
3	2.50	±0.13	*					45	43.7	±0.30	*	*	*	*		
4	3.55							50	48.7			*	*	*	*	
5	4.50							55	53.0			*	*	*	*	
6	5.30							60	58.0			*	*	*	*	
8	7.50	±0.14	*	*				65	63.0	±0.45	*	*	*	*		
10	9.50			*	*			70	69.0			*	*	*	*	
12	11.2			*	*			75	73.0			*	*	*	*	
14	13.2			*	*			80	77.5			*	*	*	*	
15	14.0	±0.17	*	*				85	82.5	±0.65	*	*	*	*		
16	15.0			*	*			90	87.5			*	*	*	*	
18	17.0			*	*			100	97.5			*	*	*	*	
20	19.0			*	*	*		110	109			*	*	*	*	*
22	21.2	±0.22	*	*	*			120	118	±0.90	*	*	*	*	*	
25	23.6			*	*	*		130	128			*	*	*	*	*
28	26.5			*	*	*		140	136			*	*	*	*	*
30	28.0			*	*	*		150	145			*	*	*	*	*
32	31.5	±0.30	*	*	*			160	155	±1.20	*	*	*	*	*	
35	33.5			*	*	*		180	175			*	*	*	*	*
40	38.7			*	*	*		200	195			*	*	*	*	*

注: \*表示适用。



表 28-31 O 型密封圈密封压套的型式及尺寸 (JB1092—91)

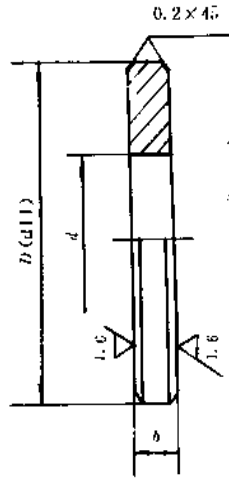


超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

mm											
名义直径	$d$	$B$	$b$	$\phi$	$r$	名义直径	$d$	$B$	$b$	$\phi$	$r$
3	3.5	4	2	1	0.5	45	46	6	3	1.5	0.5
4	4.5					50	51				
5	5.5					55	56				
6	6.5					60	61				
8	8.5					65	66				
10	10.5					70	71				
12	12.5	8	4	2	0.7	75	76	8	4	2	0.7
14	15					80	81				
15	16					85	86				
16	17					90	91				
18	19					100	101				
20	21					110	112				
22	23	6	3	1.5	0.6	120	122	10	5	2.5	0.9
25	26					130	132				
28	29					140	142				
30	31					150	152				
32	33					160	162				
35	36					180	182				
40	41					200	202				

注：1. 密封压套的材料为 Q235-A 或 H62；  
2.  $D$  及  $D_0$  尺寸按所选密封圈尺寸相应取值。

表 28-32 O 型密封圈平垫的型式及尺寸 (JB1092-91)



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

mm					
轴 径	$d$	$b$	轴 径	$d$	$b$
3	3.5	1.5	45	46	3
4	4.5		50	51	
5	5.5		55	56	
6	6.5		60	61	
8	8.5		65	66	
10	10.5		70	71	
12	12.5		75	76	
14	15	2	80	81	3
15	16		85	86	
16	17		90	91	
18	19		100	101	
20	21		110	112	
22	23		120	122	
25	26		2.5	130	
28	29	140		142	
30	31	150		152	
32	33	160		162	
35	36	180		182	
40	41	200		202	

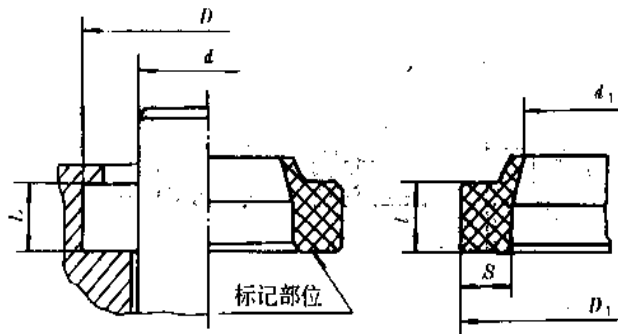
注：1. 平垫的材料为 Q235-A 或 H62；

2.  $D$  尺寸按所选密封圈尺寸相应取值。

2.6.7 橡胶防尘密封圈

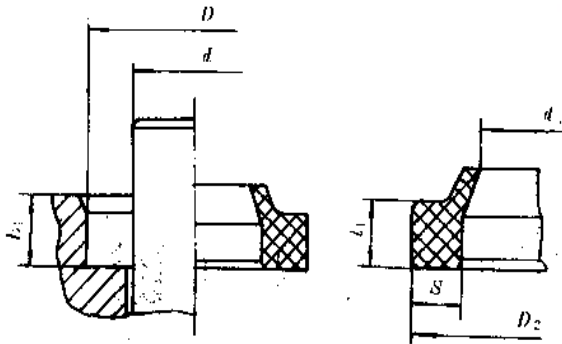
表 28-33 A型密封腔体用橡胶防尘密封圈的尺寸系列及公差 (摘自 GB 10708.3—89)

超星阅读器提醒你：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



mm																	
d	D	L	d <sub>1</sub>	极限 偏差	D <sub>1</sub>	极限 偏差	S	l	d	D	L	d <sub>1</sub>	极限 偏差	D <sub>1</sub>	极限 偏差	S	l
6	14		4.6		14				60	70		58		70			
8	16		6.6		16				63	73		61	±0.25	73			
10	18		8.6	±0.15	18				70	80	6.3	68		80	±0.35	4.3	6.3
12	20		10.6		20				80	90		78	±0.35	90		±0.15	0
14	22		12.5		22				90	100		88		100			
16	24		14.5		24				100	115		97.5		115			
18	26		16.5		26				110	125		107.5		125			
20	28	5	18.5		28		3.5	5	125	140		122.5	±0.45	140	±0.45	9.5	9.5
22	30		20.5		30	±0.15	±0.15	0	140	155	9.5	137.5		155		±0.15	0
25	33		23.5		33			-0.30	160	175		157.5		175			-0.30
28	36		26.5		36				180	195		167.5		195			
32	40		30.5	±0.25	40				200	215		197.5		215			
36	44		34.5		44				220	240		217	±0.60	240	±0.60		
40	48		38.5		48				250	270		247		270			
45	53		43.5		53				280	300	12.5	277		300		8.7	12.5
50	58		48.5		58				320	340		317		340		±0.15	0
56	66	6.3	53		66	±0.35	4.3	6.3	360	380		357	±0.90	380	±0.90		-0.30

表 28-34 B 型密封腔体用橡胶防尘密封圈的尺寸系列及公差 (摘自 GB 10708.3—89)

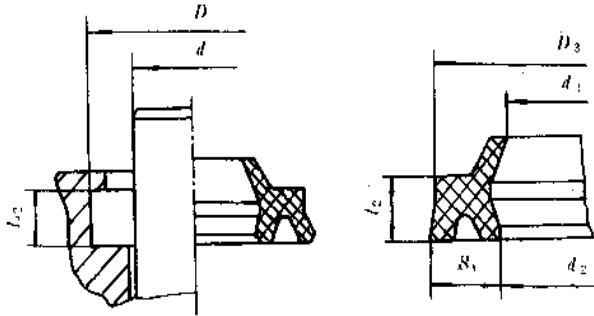


超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

mm																
d	D	L <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	极限 偏差	D <sub>2</sub> (S7)	S (±0.15)	l <sub>1</sub>	d	D	L <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	极限 偏差	D <sub>2</sub> (S7)	S (±0.15)	l <sub>1</sub>	
6	14	5	4.6	±0.15	14	3.5	5	63	73	7	61	±0.25	73	4.3	7	
8	16		6.6		16		0	70	80		68		80			
10	18		8.6		18		-0.30	80	90		78		90			
12	22	7	10.5	±0.25	22	4.3	7	90	100	9	88	±0.45	100	6.5	9	
14	24		12.5		24				100		115		97.5			115
16	26		14.5		26				110		125		107.5			125
18	28		16.5		28				125		140		122.5			140
20	30		18.5		30				140		155		137.5			155
22	32		20.5		32				160		175		157.5			175
25	35		23.5		35				180		195		177.5			195
28	38		26.5		38				200		215		197.5			215
32	42		30		42				220		240		217			240
36	46		34		46				250		270		247			270
40	50	12	38	±0.60	50	8.7	12	280	300	12	377	±0.90	300	±0.15	12	
45	55		43		55				320		340		317		340	
50	60		48		60				360		380		357		380	
55	65		53		65											
60	70		58		70											

表 28-35 C 型密封腔体用橡胶防尘密封圈的尺寸系列及公差 (摘自 GB 10708.3-89)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



mm

d	D	L <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub> 极限 偏差	D <sub>3</sub>	极限 偏差	S <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>	d	D	L <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub> 极限 偏差	D <sub>3</sub>	极限 偏差	S <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>				
12	18	4	10.8	11.2	±0.20	18	+0.10	4.2	4	45	53	5	43.5	44	±0.25	53	+0.10	±0.15	5.5 0 -0.30				
14	20		12.8	13.2		20				56	66	6	54.2	54.8		66				-0.35	6		
18	24		16.8	17.2		24				70	80	6	68.2	68.8		80				+0.10	±0.15	6.8	0
22	28		20.8	21.2		28				90	100	6	88.2	88.8		100				-0.40	-0.30		
28	36	5	26.5	27	±0.25	36	+0.10	5.5	5	110	125	8.5	107.8	108.4	±0.45	125	+0.15	9.8	8.5				
36	44		34.5	35		44	-0.35	±0.15	0	-0.30	140		155	137.8		138.4	155	-0.50	±0.15	0	-0.30		

标记示例：

FA 100 × 115 × 9.5 × × GB × × × × - × ×

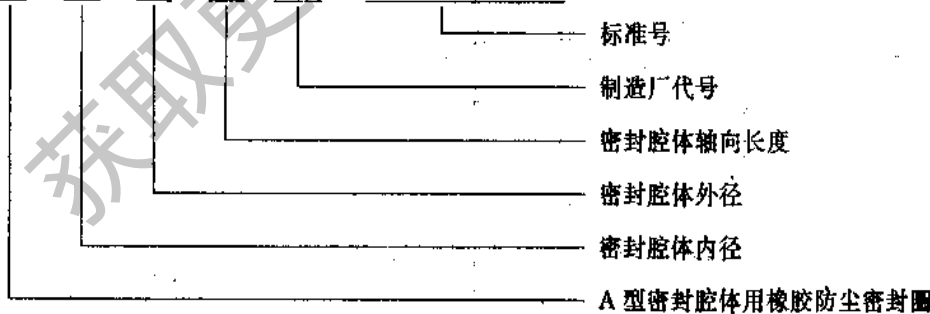
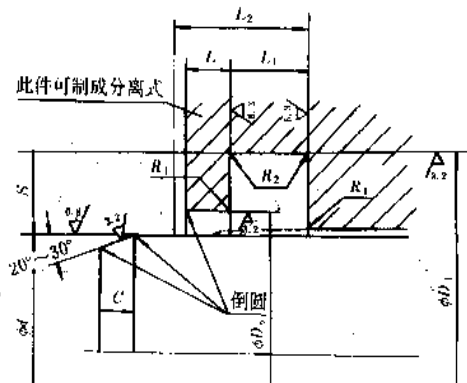


表 28-36 A 型液压缸活塞杆用防尘圈沟槽型式、尺寸和公差 (摘自 GB 6578—86)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

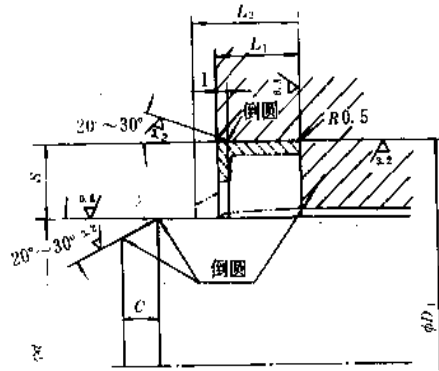


d	S	L <sub>1</sub>		D <sub>1</sub> (H11)	D <sub>2</sub> (H11)	L <sub>3</sub> ≤	R <sub>1</sub> ≤	R <sub>2</sub> ≤	C ≥	d	S	L <sub>1</sub>		D <sub>1</sub> (H11)	D <sub>2</sub> (H11)	L <sub>2</sub> ≤	R <sub>1</sub> ≤	R <sub>2</sub> ≤	C ≥
		基本尺寸	极限偏差									基本尺寸	极限偏差						
6	4	5	+0.2 0	14	11.5	8	0.3	0.5	2	(60)	5	6.3	70	67	10	0.4	0.5	2.5	
8	4	5		16	13.5	8	0.3	0.5	2	63	5	6.3	73	70	10	0.4	0.5	2.5	
10	4	5		18	15.5	8	0.3	0.5	2	70	5	6.3	80	77	10	0.4	0.5	2.5	
12	4	5		20	17.5	8	0.3	0.5	2	80	5	6.3	90	87	10	0.4	0.5	2.5	
14	4	5		22	19.5	8	0.3	0.5	2	90	5	6.3	100	97	10	0.4	0.5	2.5	
16	4	5		24	21.5	8	0.3	0.5	2	100	7.5	9.5	115	110	14	0.6	0.5	4	
18	4	5		26	23.5	8	0.3	0.5	2	110	7.5	9.5	125	120	14	0.6	0.5	4	
20	4	5		28	25.5	8	0.3	0.5	2	125	7.5	9.5	140	135	14	0.6	0.5	4	
22	4	5		30	27.5	8	0.3	0.5	2	140	7.5	9.5	155	150	14	0.6	0.5	4	
25	4	5		33	30.5	8	0.3	0.5	2	160	7.5	9.5	175	170	14	0.6	0.5	4	
28	4	5		36	33.5	8	0.3	0.5	2	180	7.5	9.5	195	190	14	0.6	0.5	4	
32	4	5		40	37.5	8	0.3	0.5	2	200	7.5	9.5	215	210	14	0.6	0.5	4	
36	4	5		44	41.5	8	0.3	0.5	2	220	10	12.5	240	233.5	18	0.8	0.9	5	
40	4	5		48	45.5	8	0.3	0.5	2	250	10	12.5	270	263.5	18	0.8	0.9	5	
45	4	5		53	50.5	8	0.3	0.5	2	280	10	12.5	300	293.5	18	0.8	0.9	5	
50	4	5		58	55.5	8	0.3	0.5	2	320	10	12.5	340	333.5	18	0.8	0.9	5	
56	5	6.3	66	63	10	0.4	0.5	2.5	360	10	12.5	380	373.5	18	0.8	0.9	5		

注：d (60) 为非优先选用尺寸。



表 28-37 B 型液压缸活塞杆用防尘圈沟槽型式、尺寸和公差 (摘自 GB 6578—86)

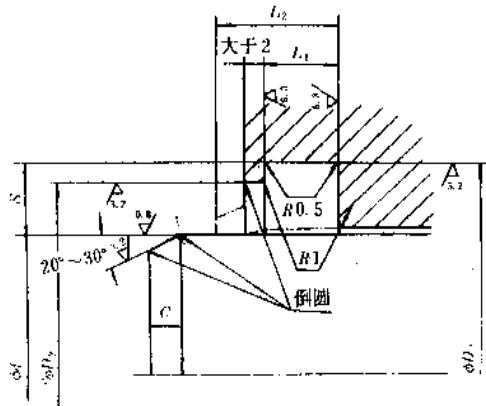


超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

d	S	L <sub>1</sub>		D <sub>1</sub> (H8)	L <sub>2</sub>	C	d	S	L <sub>1</sub>		D <sub>1</sub> (H8)	L <sub>2</sub>	C
		基本尺寸	极限偏差						基本尺寸	极限偏差			
6	4	5		14	8	2	(60)	5	7		70	11	2.5
8	4	5		16	8	2	63	5	7		73	11	2.5
10	4	5		18	8	2	70	5	7		80	11	2.5
12	5	7		22	11	2.5	80	5	7		90	11	2.5
14	5	7		24	11	2.5	90	5	7		100	11	2.5
16	5	7		26	11	2.5	100	7.5	9		115	13	4
18	5	7		28	11	2.5	110	7.5	9		125	13	4
20	5	7		30	11	2.5	125	7.5	9		140	13	4
22	5	7	+0.5 0	32	11	2.5	140	7.5	9	+0.5 0	155	13	4
25	5	7		35	11	2.5	160	7.5	9		175	13	4
28	5	7		38	11	2.5	180	7.5	9		195	13	4
32	5	7		42	11	2.5	200	7.5	9		215	13	4
36	5	7		46	11	2.5	220	10	12		240	16	5
40	5	7		50	11	2.5	250	10	12		270	16	5
45	5	7		55	11	2.5	280	10	12		300	16	5
50	5	7		60	11	2.5	320	10	12		340	16	5
56	5	7		66	11	2.5	360	10	12		380	16	5

注：d (60) 为非优先选用尺寸。

表 28-38 C 型液压缸活塞杆用防尘圈沟槽型式、尺寸和公差 (摘自 GB 6578—86)



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

d	S	L <sub>1</sub>		D <sub>1</sub> (H11)	D <sub>2</sub> (H11)	L <sub>2</sub> ≤	R <sub>1</sub> ≤	C ≥	d	S	L <sub>1</sub>		D <sub>1</sub> (H11)	D <sub>2</sub> (H11)	L <sub>2</sub> ≤	R <sub>1</sub> ≤	C ≥
		基本尺寸	极限偏差								基本尺寸	极限偏差					
6	3	4		12	8.5	7	0.3	2	(60)	5	6		70	63	9.7	0.3	2.5
8	3	4		14	10.5	7	0.3	2	63	5	6		73	66	9.7	0.3	2.5
10	3	4		16	12.5	7	0.3	2	<b>70</b>	5	6	+0.2	80	73	9.7	0.3	2.5
12	3	4		18	14.5	7	0.3	2	80	5	6	0	90	83	9.7	0.3	2.5
14	3	4		20	16.5	7	0.3	2	<b>90</b>	5	6		100	93	9.7	0.3	2.5
<b>16</b>	3	4		22	18.5	7	0.3	2	100	7.5	8.5		115	104	13	0.4	4
<b>18</b>	3	4		24	20.5	7	0.3	2	<b>110</b>	7.5	8.5		125	114	13	0.4	4
20	3	4		26	22.5	7	0.3	2	125	7.5	8.5		140	129	13	0.4	4
<b>22</b>	3	4	+0.2	28	24.5	7	0.3	2	<b>140</b>	7.5	8.5		155	144	13	0.4	4
25	4	5	0	33	28	8	0.3	2.5	160	7.5	8.5		175	164	13	0.4	4
<b>28</b>	4	5		36	31	8	0.3	2.5	180	7.5	8.5	+0.3	195	184	13	0.4	4
32	4	5		40	35	8	0.3	2.5	200	7.5	8.5	0	215	204	13	0.4	4
<b>36</b>	4	5		44	39	8	0.3	2.5	220	10	11		240	225	16.5	0.5	5
40	4	5		48	43	8	0.3	2.5	250	10	11		270	255	16.5	0.5	5
<b>45</b>	4	5		53	48	8	0.3	2.5	280	10	11		300	285	16.5	0.5	5
50	4	5		58	53	8	0.3	2.5	320	10	11		340	325	16.5	0.5	5
<b>56</b>	5	6		66	59	9.7	0.3	2.5	360	10	11		380	365	16.5	0.5	5

注：1. 黑体字活塞杆直径 d、符合 ISO/DP 6195 的 C 型沟槽尺寸系列推荐优先选用。

2. d (60) 为非优先选用尺寸。

## 2.7 密封垫

密封垫有非金属密封垫、金属密封垫和非金属与金属组合密封垫三大类。密封垫常用的材料有橡胶、皮革、石棉、软木、聚四氟乙烯、铁、钢、铝、铜和不锈钢等。

### 2.7.1 密封垫的选用




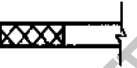
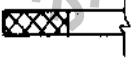
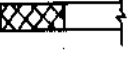
对于要求不高的场合,可凭经验选取,不合适时再更换。对于要求严格的场合,例如易爆、剧毒、可燃性气体及强腐蚀的液体设备、反应罐和输送管道

系统等,则应根据工作压力、工作温度,密封介质的性质来选用。

通常,在常温低压时选用非金属软密封垫;中压高温时选用非金属与金属组合密封垫或金属密封垫;在温度和压力有较大波动时,选用弹性好的或自紧式密封垫;在低温,腐蚀介质或真空条件下应考虑密封垫的特殊性能。

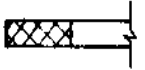
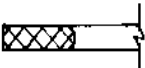
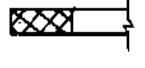
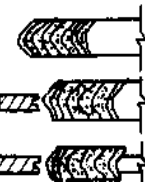


一般情况下,密封垫的形状和尺寸要根据接合面的形状和尺寸来选定。表 28-39 给出了常用密封垫片的种类、材料及适用范围。

表 28-39 常用密封垫的种类、材料及适用范围

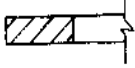

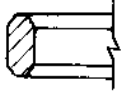
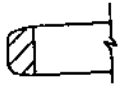


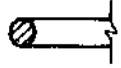
形式	种 类	材 料	适 用 范 围		
			压 力 N/mm <sup>2</sup>	温 度 ℃	介 质
非 金 属 密 封 垫	纸垫片 	软钢纸板	<0.4	<120	燃料油、润滑油、水等
	橡胶垫片 	天然橡胶	1.33×10 <sup>-10</sup> ~0.6	-60~100	水、海水、空气、惰性气体、盐类水溶剂、稀盐酸、稀硫酸等
		普通橡胶板		-40~60	空气、水、制动液
	夹布橡胶垫片 	夹布橡胶	≈0.6	-30~60	海水、淡水、空气、润滑油、燃料油等
	皮垫片 	牛皮或浸油、蜡、合成橡胶、合成树脂牛皮		-60~100	水、油、空气等
	软聚氯乙烯垫片 	软聚氯乙烯板	≤1.6	<60	酸碱稀溶液及氨、具有氧化性的蒸汽及气体
	聚四氟乙烯垫片 	聚四氟乙烯板	≤3.0	-180~250	浓酸、碱、溶剂、油类

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

续表 28-39

形式	种 类	材 料	适 用 范 围		
			压 力 N/mm <sup>2</sup>	温 度 ℃	介 质
非 金 属 密 封 垫	橡胶石棉垫片 	高压橡胶石棉板 中压橡胶石棉板 低压橡胶石棉板	≤6.0 ≤4.0 ≤1.5	≤450 ≤350 ≤200	空气、压缩空气、惰性气体、蒸汽、氨、变换气、焦炉气、裂介质、水、海水、液态氨、冷凝水、≤98%硫酸、≤35%盐酸、盐类、硝氨液、硫氨液、甲胺液、烧碱、氟里昂、氢氟酸、卡普隆生产介质、聚苯乙烯生产介质
		耐油橡胶石棉板	≤4.0	≤400	油品(汽、柴、煤、重油等)、油气、溶剂(包括丙烷、丙酮、苯、酚、醚、异丙醇)、浓度小于30%的尿素、氨气、硫化催化剂、润滑油、碱类
	聚四氟乙烯包垫片 	聚四氟乙烯薄膜包 橡胶石棉板或 橡胶板	≤3.0	-180~250	浓酸、碱、溶剂、油类
组 合 密 封 垫	夹金属丝 (网)石棉垫 	铜(钢或不锈钢)丝石棉交织而成			内燃机用
	缠绕垫片 	金属带:紫铜、铝、0.8(15)钢、2Cr13、0Cr13、1Cr13、1Cr18Ni9Ti 非金属带:石棉带、聚四氟乙烯带、陶瓷纤维等	≤6.4	≈600	蒸汽、氢气、压缩空气、天然气、裂介质、变换气、油品、溶剂、渣油、蜡油、油浆、重油、丙烯、烧碱、熔融盐载热体、酸、碱、碱溶液、液化气、水
	金属包平垫片  波形金属包垫片 	金属:紫铜、软铜铝、不锈钢、合金钢 非金属:石棉板、橡胶石棉板、聚四氟乙烯板、陶瓷纤维	≤6.4	≈600	同上

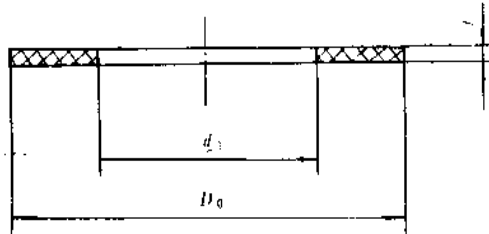
续表 28-39

形式	种 类	材 料	适 用 范 围		
			压 力 N/mm <sup>2</sup>	温 度 ( <sup>o</sup> C)	介 质
金属密封垫	金属平垫片 	紫铜、铝、铅、软钢、不锈钢、合金钢	$1.33 \times 10^{-16}$ ~20	≈600	蒸汽、氨气、压缩空气、天然气、裂介质、变换气、油品、溶剂、渣油、蜡油、油浆、重油、丙烯、烧碱、熔融盐载体、酸、碱、碱溶液、液化气、水
	金属齿形垫片 	10 (08) 钢、铝、合金钢 1Cr13 (0Cr13)	≥4.0	≈600	同上
	金属八角垫 	10 钢、1Cr13 合金钢、不锈钢等	≥6.4	≈600	同上
	金属透镜垫 				
	金属椭圆垫 				
	金属空心 O 形圈 	铜、铝、低碳钢、不锈钢、合金钢	真空~高压	低温~高温	
	金属丝垫 	铜丝、无氧铜丝、高纯铝丝、金丝、银丝	$1.33 \times 10^{-16}$	-196~450	同上

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

微信搜索 蓝领星 资料

表 28-40 凸面型球墨铸铁管法兰用石棉橡胶垫片的型式和尺寸 (摘自 GB 12387—90)



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

公称通径 $DN$	垫片内径 $d_1$	公称压力 $PN$ , MPa (bar)						垫片厚度 $t$
		1.0 (10)	1.6 (16)	2.0 (20)	2.5 (25)	4.0 (40)	5.0 (50)	
		垫片外径 $D_0$						
25	34	按 $PN4.0$ (40)	按 $PN4.0$ (40)	65.5	按 $PN4.0$ (40)	71	71.0	1.5~3
32	43			75.0		82	80.5	
40	49			84.5		92	94.5	
50	61			102.5		107	109.0	
65	77			121.5		127	129.0	
80	89			134.5		142	148.5	
100	115	162	162	172.5	168	180.0		
125	141	192	192	196.0	194	215.0		
150	169	218	218	221.5	224	250.0		
200	220	273	273	278.5	284	290	306.0	
250	273	328	329	338.0	340	352	360.5	
300	324	378	384	408.0	400	417	421.0	
350	356	438	444	449.0	457	474	484.5	
400	407	489	495	513.0	514	546	538.5	
450	458	539	555	548.0	564	571	595.5	
500	508	594	617	605.0	624	628	653.0	
600	610	695	734	716.5	731	747	774.0	
700	712	810	804		833			
800	813	917	911		942			
900	915	1017	1011		1 042			
1000	1016	1124	1128		1 154			
1200	1220	1341	1342		1 364			
1400	1420	1548	1542		1 578			
1600	1620	1772	1764		1 798			
1800	1820	1972	1964		2 000			
2000	2020	2182	2168		2 230			

注：垫片材料为 XB450、XB350、XB200、NY300。



### 2.7.2 选择密封垫应注意的问题

(1) 法兰形式的影响 法兰形式不同,要求使用的垫片也不同。光滑面法兰一般只用于低压,配软质薄密封垫;在高压下,如果法兰的强度足够,也可以用光滑面法兰,但应用厚软质密封垫,或者用带内加强环或外加加强环的缠绕密封垫。在这种场合,如果使用金属垫片,则应将光滑面缩小,使其与垫片的接触面积减小,这样,在螺栓预紧力相同的情况下,增大了窄光滑面的压紧应力。

(2) 法兰表面粗糙度的影响 法兰表面粗糙度对密封效果影响很大,特别是当采用非软质垫片时,密封表面粗糙度是造成泄漏的主要原因之一。由于软质垫片容易变形,变形后堵死了加工刀纹,防止了

泄漏,所以软质垫片对法兰表面粗糙度的要求不高。同时还应注意,对于软质垫片,法兰面过于光滑反而对密封不利。因为此时发生汇漏的阻力变小了,所以,垫片不同,要求的法兰面粗糙度也不同,表 28-41 列出了各种密封垫所要求的法兰表面粗糙度的经验数据。

(3) 法兰与垫片的硬度差 使用垫片的目的在于使垫片产生弹塑性变形来填满法兰面的微小凹凸不平,阻止泄漏。因此,应使垫片材料的硬度低于法兰材料的硬度,二者之间相差越大,实现密封就越容易。当使用金属垫片时,垫片本身的硬度很高,为了保证实现密封,应尽可能选用较软的材料,使金属垫片的硬度比法兰硬度低 40HB 以上为宜。

表 28-41 法兰密封面的表面粗糙度高度参数  $R_a$

$\mu\text{m}$

垫片类别	垫片名称	表面粗糙度高度 $R_a$	备注
金属密封垫	环形垫片	<0.8	自紧式密封垫希望表面越光越好
	锯齿形垫片	<1.6	
半金属密封垫	金属包垫片	<1.6	
	缠绕垫片	<12.5	
	缠绕垫片	<3.2	用于气体密封
石棉橡胶板		<12.5	
石棉布密封垫		<25	
聚四氟乙烯密封垫	聚四氟乙烯板垫片	<12.5	
	聚四氟乙烯包垫片	<12.5	
橡胶板		<25	
有机物密封垫	油封	<25	
皮革密封垫		<25	
纸垫		<25	

## 3 非标准密封

### 3.1 胶密封

用密封胶涂敷在接合面上,由其产生的粘合力

(或施以外力)将两接合面胶接在一起,从而堵塞泄漏缝隙,这种措施称为胶密封。密封胶是一种新型密封材料,分为液态密封胶和厌氧胶两类。近年来又出现了热熔型密封胶,由于其性能好,被称为第三代密封胶。密封胶已广泛应用于机械、车辆、航空、造船、

建筑、仪表、电子设备等连接部位的密封。

### 3.1.1 液态密封胶

液态密封胶也称液体密封胶、液体垫片等,是一种呈液体状态的密封材料。

目前常用的液态密封胶按照使用时胶层的最终形态可分为两大类:

(a) 非干性液态密封胶。它的最终形态为不干性粘性。常用的液态密封胶种有:MF-2、W-2(即铁锚 605)、M-3、MF-1、铁锚 603 等。

(b) 半干性或干性液态密封胶。它的最终形态具有一定的粘性及弹性。常用的液态密封胶种有:M-1、LG-31、铁锚 609、MF-3 等。

#### (1) 用胶选择

a. 首先用量具检查密封结合面之间的最大间隙。当间隙小于 0.1mm 时,可单独用液态密封胶密封;当间隙大于 0.1mm 时,液态密封胶应与固体垫片并用才能达到有效的密封。

b. 需经常拆卸或紧急维修的密封部位应选用非干性液态密封胶。

c. 需大面积涂胶的密封部位不宜采用含溶剂挥发较快的密封胶。

d. 需求耐振动、间隙较大的密封部位宜采用半干性液态密封胶。

e. 螺纹密封优先选用厌氧性密封胶及聚四氟乙烯生料带,也可用各种非干性或半干性液态密封胶。

f. 如认为液态密封胶的粘度太大,为便于施工,可用该胶指定的稀释剂稀释。

#### (2) 使用液态密封胶的注意事项

a. 预处理。如结合面有锈蚀时必须首先进行除锈处理;当油污较多时可用工业丙酮、汽油或各种金属表面清洗剂清洗,再用干净的不易掉毛的纤维织物擦干。如油污较少时直接用干净的不易掉毛的纤维织物擦干。清理后的结合面应无锈蚀、无灰尘、无水份、无明显的油污。

b. 涂胶。可用毛刷、油漆刮刀等工具刷涂、抹涂。要求胶层连续、均匀、无气泡。当需与固定垫片并用时,在固定垫片的两面与结合面都应涂胶。涂敷

厚度视密封面的加工精度、平整度、间隙大小等具体情况而定。一般在两密封面上各涂敷 0.06~0.1mm 厚即可。

c. 干燥。凡是含有溶剂的液态密封胶涂胶后应经过一段时间的自然干燥才能装配紧固。干燥时间与胶种、环境温度、溶剂种类、胶层厚度等有关。一般要干燥 2~15 分钟。无溶剂的液态密封胶不需干燥,涂胶后可立即装配紧固,也可停放较长时间再进行装配紧固。

d. 装配紧固。紧固方法与使用固体垫片时一样,紧固时要求各处用力恰当均匀,紧固后不可错动密封面。

e. 清理及后干燥。紧固后被挤出来的余胶必须清理干净。凡采用含有溶剂的液态密封胶时,在装配紧固后还需有 12~24h 的后干燥时间,保证溶剂充分挥发。

f. 试车。检查密封结合面有无渗漏。

### 3.1.2 厌氧胶

厌氧胶是单组分常温固化密封胶,它在常温下装在高压聚乙烯塑料瓶中,有很好的稳定性。厌氧胶有良好的流动性,使用时将胶液滴到需要密封的表面上就能很好地浸入机械零件的细小缝隙中达到粘合密封面、隔绝空气的作用。在常温下不需加入任何固化剂,胶液会自行固化。它广泛用于螺纹连接孔密封、管螺纹密封、法兰面、机械箱体结合面和承插部件的密封。

厌氧胶的浸润好,而且它又是电绝缘体,因此不会出现腐蚀和电偶腐蚀,适宜于仪表的密封。

厌氧胶的组成主要是具有厌氧性的树脂单体和催化剂,固化后成体型结构,能耐酸、碱、盐、水、汽油、油类、醇类的腐蚀,并具有良好的耐热性和耐寒性,所以适用于带有腐蚀性流体和一般流体的管道和容器的密封及室外温度变化的设备密封。

密封胶的选用,通常是根据使用条件、密封件的材料和密封面状态、密封介质的种类,特性及涂敷工艺等要求综合考虑。使用条件包括受力状态、工作温度、环境情况及密封件是否要求可拆等。总之,应全面考虑各种条件选用密封胶。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权！

表 28-42 厌氧胶性能

牌 号		Y-150	XQ-1	铁锚 300	铁锚 350
比 重		1.12±0.01	1.135±0.01	1.02±0.02	1.09±0.02
粘度 Pa·s		0.15~0.30	0.20~0.30	0.01~0.015	0.70~1.00
开始固化时间 min	无加速剂	数十分钟	—	—	—
	加加速剂	数分钟	数分钟	60	15
完成固化时间 min	无加速剂	24~72	72~162	—	—
	加加速剂	1~2	1~2	8	24
破坏转矩 N·m		31~38	—	29	25
拆卸转矩 N·m		31~38	20	>30	>20
剪切强度 N/mm <sup>2</sup>		钢 15, 铝 9~11	钢 14, 铝 9.5	—	—
最高工作温度 ℃		150	100	—	—
平面密封最大允许间隙 mm		0.3	0.3	<0.1	<0.1
耐 机 油		好	好	—	好
耐 汽 油		好	—	—	好
耐 水		好	好	—	尚好

### 3.1.3 热熔型密封胶

热熔型密封胶是以各种热塑性高分子化合物为基体, 熔融混合增粘剂、粘度调节剂、增塑剂、填充

剂和防老剂等各种添加剂组成单一组分的胶体。由于热熔型密封胶只要将它熔融涂布, 冷却后就能固化, 因此施工速度快, 便于机械操作。它具有优异的耐压性和一定的可拆性, 是一种较为理想的密封胶。

表 28-43 热熔型密封胶的类型及性能

类 型	软化点 ℃	熔 点 ℃	抗拉强度 N/mm <sup>2</sup>	延伸率 %	剪切强度 N/mm <sup>2</sup>	剥离强度 N/mm <sup>2</sup>
乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA)	40	95	15.9	800		0.016
乙烯-丙烯酸乙酯共聚物 (EEA)	60	93	11.0	700		0.072
乙烯-丙烯酸共聚物 (EAA)	70		17.4	600	10	0.02
EAA 衍生物	75		23.2	450		0.02
聚酰胺树脂	100		11.6	300	5.6	
聚酯树脂		260	26.1	500		0.08
聚乙烯树脂	77~98	136	11.6	450		0.032
聚酰胺乙烯脂	65~195		29.0	10		
聚乙烯醇缩丁醛			37.8	100		

### 3.2 金属空心 O 形圈

金属空心 O 形圈是将薄壁铜管、不锈钢管、铝合金管或蒙乃尔合金管焊成的高精度环形圈。根据不同的要求, O 形圈表面可以镀金、银、铂、铜、镍等或涂氟塑料等。空心的目的在于调整管内的压力以改善密封性能。其密封特点是: ①使用温度范围广 (-270°~1000℃); ②使用压力范围广, 从 1.33×

10<sup>-6</sup>N/mm<sup>2</sup> 的超真空到 300N/mm<sup>2</sup> 以上的高压; ③可在橡胶 O 形圈不能使用的气体和液体 (例如有机溶液) 中使用。金属空心 O 形圈广泛用于高温发动机、高压成型机、真空容器、原子能反应堆等设备上的静密封。

#### 3.2.1 金属空心 O 形圈的分类

金属空心 O 形圈有单绝型、开孔型和封压型三

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

种基本型式。

(1) 单纯型金属空心 O 形圈 (图 28-6a) 这种圈的空心腔内为常压, 靠空心来保持较大的弹性。压紧力不能过大, 否则 O 形圈将产生塑性变形, 故这种圈适用于从真空到  $7\text{N}/\text{mm}^2$  的压力范围内使用。

(2) 开孔型金属空心 O 形圈 (图 28-6b) 它是在单纯型金属空心 O 形圈的内侧钻一些小孔, 使管内腔与介质相通。当流体的压力升高时, 管内腔的

压力亦随之增大, 从而使密封面上的压紧力随流体压力的变化而变化, 因此它是一种自紧型圈。这种圈可用于  $7\text{N}/\text{mm}^2$  以上的压力部位的密封。

(3) 封压型金属空心 O 形圈 (图 28-6c) 在金属圈的内部封入惰性气体, 封压的大小常由管壁厚度来决定, 管内压力可为  $3.5\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $7\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $10.5\text{N}/\text{mm}^2$  等几种。这种金属圈适用于高温密封。不锈钢空心 O 形圈最高温度可达  $400^\circ\text{C}$ ; 镀软镍的金属空心 O 形圈使用温度一般可达  $650^\circ\text{C}$ 。

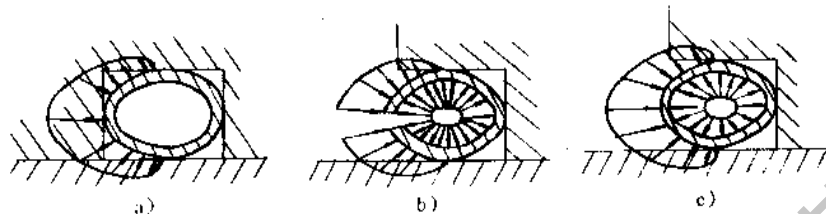


图 28-6 金属空心 O 形圈的标准型式

a) 单纯型金属空心 O 形圈; b) 开孔型金属空心 O 形圈; c) 封压型金属空心 O 形圈

### 3.2.2 金属空心 O 形圈的沟槽型式与尺寸

金属空心 O 形圈常用的密封结构如图 28-7 所示。常用的沟槽型式为矩形。单纯型金属空心 O 形圈通常安装在封闭槽内; 封压型金属空心 O 形圈通常安装在半开式槽内; 而开孔型金属空心 O 形圈只能安装在半开式槽内。

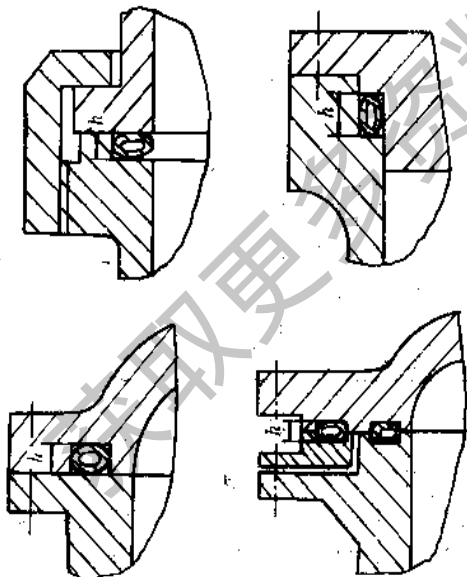


图 28-7 金属空心 O 形圈的常用密封结构

在自由状态下, 槽的外径应比 O 形圈的外径大  $0.1\sim 0.25\text{mm}$ , 槽的深度  $h$  应根据预压扁度来确

定。

对于断面直径小的 O 形圈

$$h = (0.66 \sim 0.75)d$$

对于断面直径较大的 O 形圈

$$h = (0.8 \sim 0.9)d$$

其中,  $d$  为空心 O 形圈的断面直径。

### 3.2.3 金属空心 O 形圈的选用

金属空心 O 形圈是靠空心圈的变形 (压扁) 所产生的回弹力, 使密封面上产生一定的应力, 使空心圈的材料屈服, 吻合密封槽上的凹凸之处, 使圈和槽的密封面严密贴合实现密封的。金属空心 O 形圈要求所密封表面的粗糙度低。密封液体时, 槽表面的粗糙度  $R_a$  要求在  $1.6\sim 1.8\mu\text{m}$  以下; 密封气体和挥发性液体时,  $R_a$  不应高于  $0.4\mu\text{m}$ ; 而对于密封那些贵重、稀有、剧毒气体和软质液体时, 其密封表面的  $R_a$  应更低一些。同时, 不允许密封表面存在裂纹、划伤、碰伤等缺陷。

选择金属空心 O 形圈通常是根据介质的工作温度、工作压力和物理、化学性质 (腐蚀性、放射性、易燃性、挥发性、毒性、粘度、密度和渗透性等)。选择的内容有: 确定 O 形圈的材料, 是否有镀层或涂层以及所采用的型式等。选用时可参考表 28-44。

表 28-44 金属空心 O 形圈的选择

使用条件		圈型	材料	镀层和涂层
温度 ℃	压力 MPa			
-250~+100	$10^{-4} \sim 3.0$	基本型 开孔型	不锈钢、铝、深冷工况下,圈与 法兰螺栓同材料	一般气体、挥发性液体介质时, 圈表面镀银或包聚四氟乙烯
100~300	同上	同上	不 锈 钢	同 上
300~400	$\leq 4.0$	基本型	因科镍合金	一般气体、挥发性液体时,圈的 表面镀银
	$> 4.0$	开孔型		
充气型				
$> 400 \sim 540$	$\leq 4.0$	充气型	因科镍 X 合金	镀 银
$> 540 \sim 700$	$> 4.0$	开孔型		

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

### 3.3 填料密封

填料密封是用填料填塞泄漏通道,阻止泄漏。填料密封结构简单、装拆方便、加工容易、成本低廉,因而得到了广泛应用。填料密封主要用于动密封,也可用于静密封。它广泛用作离心泵、压缩机、真空泵、搅拌机和船舶螺旋桨的转轴密封,活塞泵、往复式压缩机、制冷机的往复运动密封,以及各种阀门阀杆的旋转密封等。

按所用填料是否有较大的弹性,填料密封可分为软填料密封和硬填料密封两大类。软填料密封所用的填料主要有绞合填料、编结填料、塑性填料和金属填料;硬填料密封所用的填料主要有金属、石墨、填充四氟乙烯等非弹性体制成的填料。

#### 3.3.1 绞合填料与编结填料

绞合填料(图 28-8)是把几股石棉线绞合在一起填塞在填料腔内来起密封作用的。它的尺寸、股数和长短视需要而定,多用于低压蒸汽阀门,很少用于转轴或往复运动的密封。用各种金属箔卷成束再绞

合的填料,涂以石墨,可用于高温、高压阀门。若与其它填料组合,也可用于动密封。

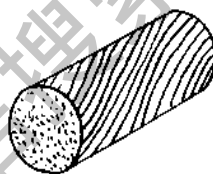


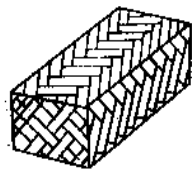
图 28-8 绞合填料

编结填料是以棉、麻以及石棉纤维纺线后编结而成,并在其中浸入润滑剂或聚四氟乙烯。由编结方式的不同,可分为发辫式编结、穿心编结和夹心套层编结等多种,见图 28-9。

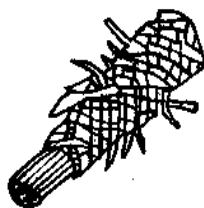
(1) 发辫式编结 由八股绞合线呈人字形编结而成,截面形状为方形,浸渍润滑油和润滑脂并涂石墨。特点是松软、容易浸渍润滑剂,对轴的振动与偏心有浮动弹性,适合于各种泵类作轴封。但致密性差,在真空或高压下有较大的渗漏泄漏。同时,股线很粗,表面不平滑,容易使轴磨损。



a)



b)



c)

图 28-9 编结填料

a) 发辫式编结; b) 穿心编结; c) 夹心套层编结



(2) 穿心编结 用 36 股线, 每股都呈对角线穿过填料截面, 有均匀、致密、强固、表面平整等优点。由于填料在密封腔中与轴的接触面比发辫式大而且均匀, 同时纤维之间的空隙比发辫式小, 所以密封性很好。当一股磨断后, 整个填料不会松散, 故有较长的使用寿命, 适合于高速旋转轴, 例如: 转子泵、往复式压缩机和阀门等。

(3) 夹心套层编结 它是以橡胶或金属为芯, 外面一层一层地编织纤维线, 层数视需要而定。表层多为棉、石棉或聚四氟纤维线。当表层为石棉时采用各种金属丝(铜、铅、蒙乃尔合金丝等)作芯。截面呈圆形, 有致密、强固、弯曲性好等优点, 密封性能较好。但当其表层磨破以后, 整个一层就将剥离。一般用于泵、搅拌机和蒸汽阀的轴封, 极少用于往复运动轴。

编结填料的材料有多种, 配以不同的浸渍剂、润滑剂, 可适用于多种介质。目前常用的有麻填料、石棉填料、聚四氟乙烯填料和碳纤维填料等。

麻填料的摩擦阻力大, 但在水中麻纤维的强度增加, 柔软性更好, 对轴的磨损比石棉填料轻, 因而

可用于一般淡水、工业水和海水的密封。麻填料不耐化学品, 耐热性也较差。

棉填料较软, 但它在水中会变得较硬, 而且会膨胀, 因此摩擦阻力较大。棉填料不耐化学品, 但对氨水和氢氧化钠碱溶液的适应性却较强, 可用于食品、果汁、浆液等洁净介质的密封。

油浸石棉填料具有柔软性好、耐热性优异、强度大, 耐酸碱和多种化学品以及耐磨损等一系列优点, 很适合作密封填料。唯一的缺点是编结后有渗透泄漏。但因石棉纤维很细, 比面积(单位重量的纤维表面积)大, 浸渍油脂和其它润滑剂后能防止渗透泄漏, 并能保持良好的润滑性, 所以仍是一种物美价廉的密封填料。石棉填料浸渍不同的润滑剂, 可以适用于多种用途。石棉的耐热度一般在 500℃ 左右, 但对转动流体机械, 考虑压力和周速的影响, 最好在 350℃ 以下使用。

我国的油浸石棉填料已有标准, 是由润滑油和石墨浸渍过的石棉线或铜丝石棉线编结而成, 适用于转轴、往复活塞杆或阀杆的密封, 介质为蒸汽、空气、工业用水和重油。其形式与规格见表 28-45。

表 28-45 填料的形式与规格 mm

形 状	代 号	圆形直径或方形边长	公 差	
方形穿心编结或一至多层编结	F	3, 4, 5, 6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 35, 38, 42, 45, 50	直径或边长	公差
夹心套层编结	Y	5, 6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 35, 38, 42, 45, 50	3~5	±0.3
			6~10	±0.4
			13~16	±0.6
			19~25	±0.8
扭 绳	N	3, 5, 6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25	28~50	±1.0

注: 用户要求夹铜丝时, 订货时在规格后注“T”字。

聚四氟乙烯浸渍石棉填料能耐酸碱和多种化学品, 使用温度范围在 -200~260℃ 之间, 摩擦系数小, 且不会因  $pv$  值过高而使润滑剂流出, 因此有稳定的密封性和较长的使用寿命, 广泛用于化工部门的搅拌机、反应槽等转轴的密封和活塞泵、压缩机往复式活塞杆的密封, 但需要更大的压紧力。

聚四氟乙烯纤维填料是一种新填料, 它除了具

备密封所必须的良好特性以外, 还能与特种润滑油相配合, 避免了渗透泄漏。它几乎能耐一切化学品。缺点是导热率低, 热膨胀大, 当周速超过 3.5m/s、密封部位温度超过 200℃ 时, 会出现粘轴现象, 使用时应注意。

各种编结填料的选用可参考表 28-46。





表 28-46 编结填料的选用

材 料	编 结 方 式	润 滑 剂	应 用
棉纤维	发辫、穿心	无	食品、饮料等不允许污染的介质
棉纤维	同 上	耐水润滑脂	温水、海水、中、低压水压机、蒸汽压力装置
棉纤维	同 上	耐油特种润滑剂	100℃以下的汽油和重油用油泵的轴封
麻纤维	同 上	矿物油和石墨	高压水或蒸汽的加压柱塞杆密封、法兰密封
棉和亚麻	同 上	油脂、浓润滑剂浸渍	水压机柱塞密封、法兰密封
羊 毛	同 上	矿物油与石墨填充	离心泵
安普麻	同 上	牛油	海水
蓝石棉	穿心	无	严禁污染的 400℃以下的强酸
蓝石棉	发辫、穿心、套层	填充耐热润滑剂和石墨	350℃以下的强酸泵阀用
白石棉	同 上	无	400℃以下离心水泵和往复泵轴封
白石棉	发辫、穿心	耐热耐油润滑剂	密封 400℃以下热油
白石棉	同 上	填充耐热耐油橡胶	200℃以下的蒸汽、热油用密封
白石棉	发辫、穿心、套层	填充耐酸、耐化学品润滑剂和石墨	耐碱及轻质油品用
白石棉	发辫式	乳白膏状润滑剂	造纸、食品、肥皂等不得污染的机械, 235℃以下用
白石棉	同 上	耐溶剂特种润滑剂	70℃以下的一般溶剂(周速在 10m/s 以内)
白石棉纤维在聚四氟乙烯分散液中浸渍	发辫、套层	耐酸润滑剂	强酸(pH 值为 1~4)、铬酸用, 温度 250℃以下, 周速 10m/s 以下

### 3.3.2 塑性填料

塑性填料是经模具压制成型的填料, 根据轴径大小制成环状, 有编状和积层两种型式。

(1) 编状填料 编状填料是把纤维与石墨(或云母)、金属粉(或鳞片)、油脂和弹性粘接剂相混合, 填入填料腔后经压盖压紧来使用。它没有固定尺寸, 若填装不好往往影响密封性能。根据工作条件不同, 可调节混合料的种类与配比。例如: 密封高温蒸汽可加入铜粉; 耐酸用可加入铅粒或铅片; 轴有振动时加添较多的弹性较好的粘接剂等。由于这种填料不含润滑油剂, 所以高压下其体积减小甚微, 可用于高速

泵类和高压阀门。若填充固体润滑剂, 则可以保证良好的自润滑性能, 且结构致密、密封性好。其缺点是强度差, 故常与强度好的编结填料组合使用, 在高温条件下, 由于有塑性流动, 故宜与金属填料组合使用。

(2) 积层填料 积层填料是在石棉布或帆布的表面上涂敷橡胶, 然后一层层地叠合, 或者一层层地卷绕, 再加热加压成型(见图 28-10)。经硫化后并在热油中浸渍过的积层填料可用于 120℃以下的低压蒸汽、水和氨液等介质, 主要用作往复泵和阀杆的密封。使用中需另加润滑剂。

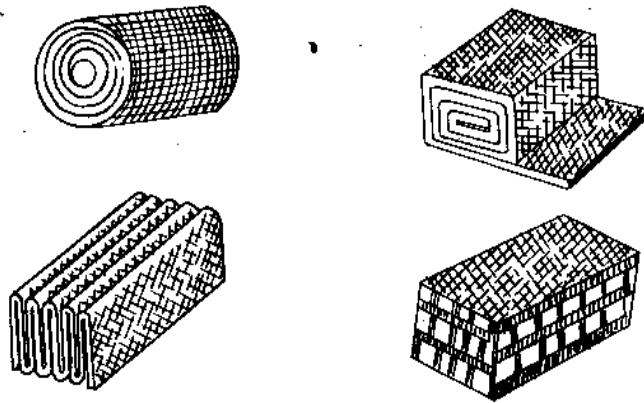


图 28 10 积层填料

我国的积层填料有三种规格，用石棉布或石棉线以橡胶作粘接剂卷制成或编制而成。

### 3.3.3 硬填料

用金属、石墨、填充四氟乙烯等非弹性体制成的密封填料称为硬填料。它比软填料具有更高的耐热、耐压和高速性能，广泛用于压缩机、柱塞泵等设备的往复密封和转轴密封。为了能补偿磨损和适应轴的跳动，硬填料密封一般采用分瓣式、开口式或唇型式

的结构型式。

硬填料密封是借助于圈簧或气体的压力差使密封圈贴附在活塞杆或填料盒上，以获得自紧密封的。这里仅介绍分瓣式硬填料。

分瓣式硬填料分为低压三瓣密封圈和中压三、六瓣密封圈两种。

低压三瓣密封圈适用于压差在  $1\text{N}/\text{mm}^2$  以下的工作条件，其构造及装配情况如图 28-11 所示。

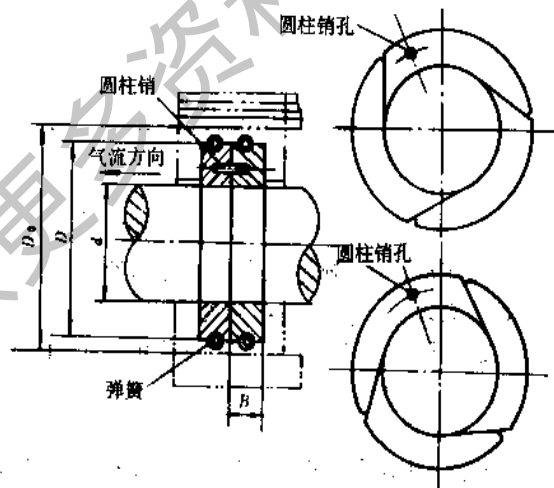


图 28-11 低压三瓣斜口密封圈

该密封圈由三块单向斜口圆弧块拼接而成。利用在外圆装设的圈簧压紧在活塞杆上。每组有两道密封

圈，斜口错开布置，并用圆柱销相互固定，以防走位。根据密封装置的工作条件，多的可由八组组成。由于

超星阅读器提醒您  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

密封圈为单向斜口形式，故它对活塞杆的单位压力是不均匀的，锐角一方单位压力较大，在运转中磨损也较大。这样，相邻两瓣接口处会出现缝隙，无法阻止泄漏。

三瓣斜口密封圈主要尺寸及公差见表 28-47。

超星浏览器提醒您：  
禁止复制或传播知识版权！

表 28-47 三瓣斜口密封圈主要尺寸及公差

mm

d		B		D	D <sub>0</sub>	选用弹簧
公称尺寸	公差	公称尺寸	公差			
25	+0.023	7		40	46	0.5×3.5×100
30				45	52	0.5×3.5×100
35	+0.027			50	60	0.5×3.5×111
40				55	70	0.5×3.5×123
45				60	78	0.5×3.5×136
50	+0.030	8	-0.015 -0.055	70	87	0.8×4.8×195
55				75	98	0.8×4.8×208
60				80	105	0.8×4.8×223
65				85	112	0.8×4.8×236
70				90	120	0.8×4.8×249
80				105	140	0.8×4.8×289

中压三、六瓣密封圈适用于压力在 1~10N/mm<sup>2</sup> 之间，多采用如图 28-12 的结构。每组密封由两道密封圈组成，位于高压侧的密封圈为三瓣式，位于低压侧的密封圈为六瓣式。接口相互错开，并用销钉固定，各自用弹簧圈箍紧在活塞杆上。各密封圈在装

配时的径向缝隙保留约 1.5~2mm，用以补偿密封圈的磨损。六瓣式密封圈的內三瓣的径向缝隙，在轴向被第一圈三瓣式密封圈的端面挡住，在径向由外三瓣封严。

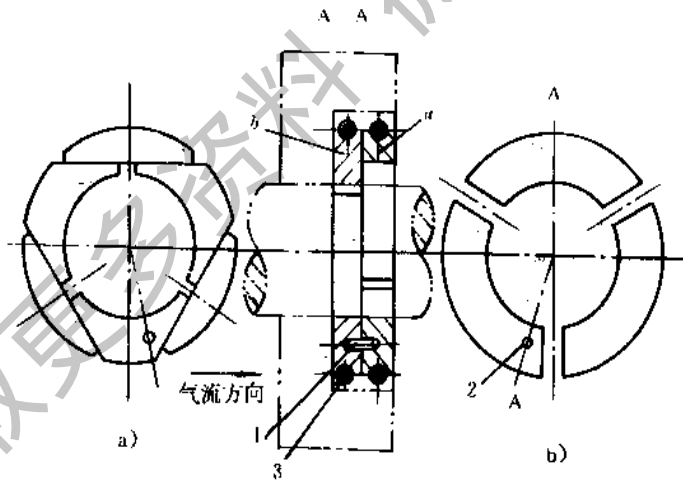


图 28-12 中压三、六瓣密封圈

a) 六瓣式；b) 三瓣式

1—圆柱销；2—圆柱销孔；3—弹簧

三、六瓣密封圈的主要尺寸和加工精度见图 28-13 和表 28-48。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

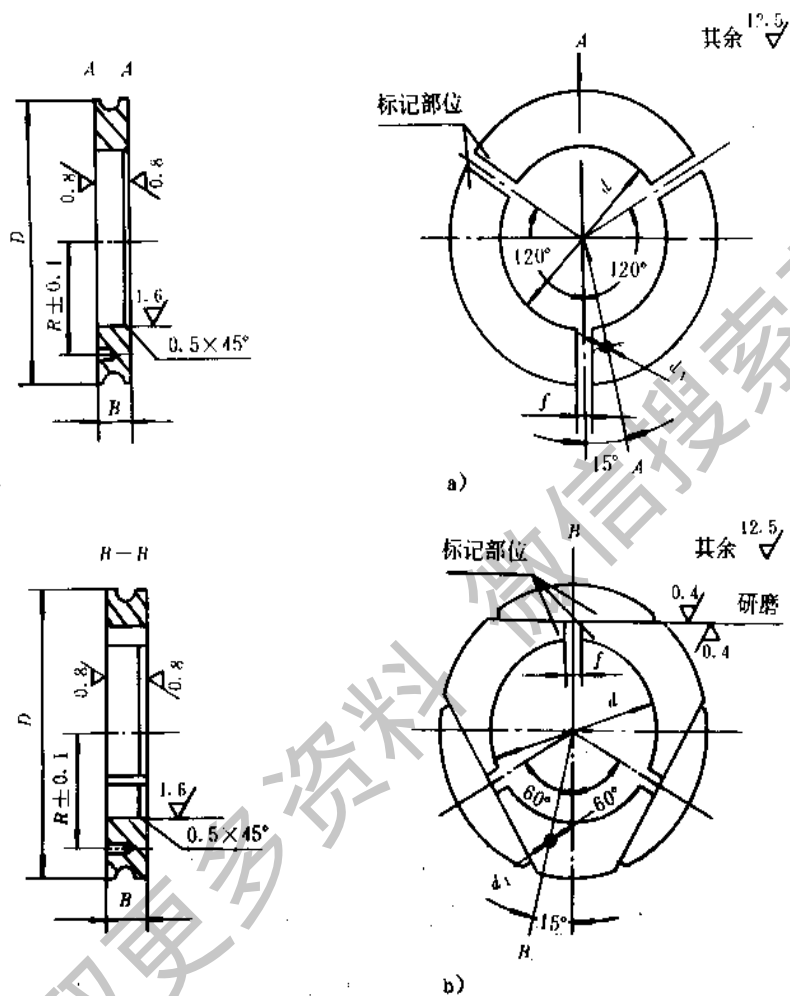


图 28-13 三、六瓣密封圈的零件图  
a) 三瓣式；b) 六瓣式

表 28-48a 三、六瓣密封圈尺寸及加工精度

mm

d		D	B		f	选用弹簧
公称尺寸	公差		公称尺寸	公差		
25	+0.023	50	7	-0.015 -0.055	1.5	0.5×3.5×123
30		55				0.5×3.5×123
35	+0.027	60				0.5×3.5×126
40		65				0.5×3.5×147
45		70				0.8×4.8×195
50	75	0.8×4.8×208				
55	+0.030	80	8		0.8×4.8×223	
60		90			0.8×4.8×249	
65		95			0.8×4.8×266	
70		100			0.8×4.8×289	
80		110			0.8×4.8×307	
90	+0.035	120	9		2	1×5.5×335
100		130		1×5.5×364		
110		140		1×5.5×394		
120		150		1×5.5×420		
130	+0.040	160			1×5.5×449	

表 28-48b 三、六瓣密封圈尺寸及加工精度

mm

d		D	B		f	d <sub>1</sub>		选用弹簧
公称尺寸	公差		公称尺寸	公差		公称尺寸	公差	
25	+0.023	50	7	-0.015 -0.055	1.5	3	+0.02	0.5×3.5×123
30		50						0.5×3.5×123
35	+0.027	60						0.5×3.5×133
40		65						0.5×3.5×147
45		70						0.8×4.8×195
50	75	0.8×4.8×208						
55	+0.030	80	8		0.8×4.8×223			
60		90			0.8×4.8×249			
65		95			0.8×4.8×266			
70		100			0.8×4.8×289			
80		110			0.8×4.8×307			
90	+0.035	120	9		2	4	+0.029	1×5.5×335
100		130		1×5.5×364				
110		140		1×5.5×392				
120		150		1×5.5×420				
130	+0.040	160					1×5.5×449	

3.3.4 填料腔的结构设计

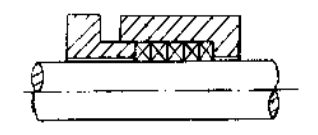
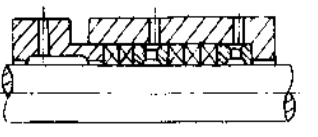

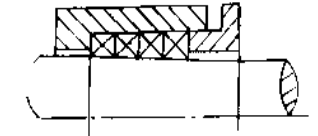
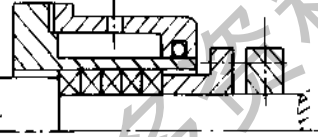
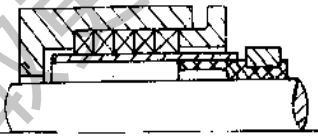
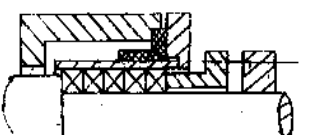
填料箱的结构设计应遵循以下原则：1) 容易加工；2) 散热有效，接通冷却液比较方便；3) 留有液封孔口，且位置要恰当，便于与高压封液相连通；

4) 转轴应与机械密封互换。

填料腔的尺寸主要根据经验确定。通常腔的深度由填料的根数决定，宽度由轴径的大小决定。

填料腔的结构型式可参照表 28-49 和表 28-50 设计。

表 28-49 填料腔的结构形式

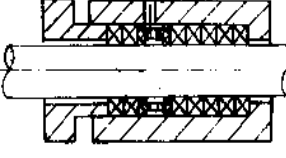
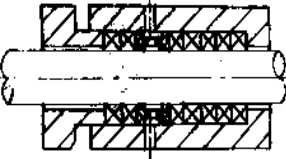
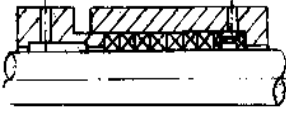
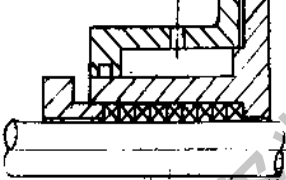
类 型	简 图	特 点 和 应 用
简单填料箱	 <p style="text-align: center;">a)</p>	<p>结构简单紧凑，未采用改善填料箱工况的辅助措施，仅用于低参数范围或不允许外接辅助管线的场合。常用于阀门等</p>
封液填料箱	 <p style="text-align: center;">b)</p>	<p>引入封液改善润滑，扩大工作参数范围。机泵类产品常用，亦可用于气相介质</p>
双填料箱	 <p style="text-align: center;">c)</p>	<p>两个填料箱叠加，外箱体底部兼做内箱体压盖，在此处可引入液体冲洗，冷却或搜集漏液。可用于易燃、易爆或有毒介质</p>
锥面填料箱	 <p style="text-align: center;">d)</p>	<p>锥面填料箱与离心锤组成离心或停车密封，作为动力型密封装置的辅助密封</p>
填料旋转式填料箱	 <p style="text-align: center;">e)</p>	<p>填料处于旋转状态，摩擦面位于填料外圆面，散热效果良好，可用于高速旋转设备，不磨损轴</p>
内圆调心式填料箱	 <p style="text-align: center;">f)</p>	<p>装有柔性材质对中环，轴套或外套可调心对中。用于轴有较大振动和偏摆的场合。不磨损轴</p>
外圆调心式填料箱	 <p style="text-align: center;">g)</p>	

超星阅读器提醒  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

微 信 搜 索 公 众 号 超 星 球



表 28-50 填料腔的润滑、冲洗和冷却

方式	简图	特点和应用
封液润滑		在封液环处引入封液（每分钟数滴）进行润滑
贯通冲洗		在封液环处有进口和出口管线进行贯通冲洗。漏液在封液环处被稀释带走。可用于易燃、易爆和有毒介质
底部或压盖冲洗		在填料箱底部封液环处，引入压力较介质压力高约0.05MPa的清洁液体，阻止工作介质中的磨蚀性颗粒进入填料摩擦面。在压盖处冲洗，能带走漏液，冷却轴杆，并阻止环境中尘污进入摩擦面
夹套冷却		降低填料工作温度，用于高温介质

3.4 金属活塞环密封

金属活塞环是自张性开口环，用于往复式运动

机械。用于回转机械的活塞环被称为涨圈。活塞环的适用范围见表 28-51。

表 28-51 活塞环适用范围

活塞环类型	活塞环组压力差 N/mm <sup>2</sup>	速 度 m/s	润 滑 方 式	用 途
喷钼桶形环	11	15	激 油	柴油机
镀铬梯形环	5	12	激 油	汽油机
铸铁矩形环	20	4	滴 注	氮氢气压缩机
金像奖组合环	220	2	吸气口注油	乙炔气压缩机
氟塑料活塞环	15	1.5	无 油	氧气压缩机
涨 圈	0.1	100	激 油	航空发动机

$$\delta = (0.0035 \sim 0.0036)d$$

蓝领星球提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

### 3.4.1 活塞环组的环数

活塞环数目多少是活塞结构长度的决定因素，并影响发动机的高速性能。压缩机的活塞环数可按下式计算：

$$z = \sqrt{10\Delta p}$$

式中  $z$ ——环数，圆整至整数；

$\Delta p$ ——该级的压差  $N/mm^2$ 。

无增压的柴油机及汽油机，近代趋于采用 3 环活塞，即两道气环，一道油环。70 年代开始试用 2 环活塞，即一道气环，一道油环。

### 3.4.2 活塞环的基本尺寸

活塞环的径向厚度  $t$  直接影响环的径向压力，铸铁活塞环一般取（见图 28-14）

$$t = \left( \frac{1}{22} \sim \frac{1}{36} \right) d$$

轴向高度一般为：

$$h = (0.4 \sim 1.4)t$$

$h$  较高的环摩擦大，但有利于活塞对气缸的传热。高速机械及直径较大的活塞取较小的  $h/t$  值。

自由开口间隙与环的弹力有关，一般自由开口间隙取为：

$$S = (3 \sim 4)t$$

开口热间隙  $\delta$  是防止在工作温度下活塞环与气缸热膨胀卡紧而预留的间隙。内燃机用活塞环的开口热间隙为：

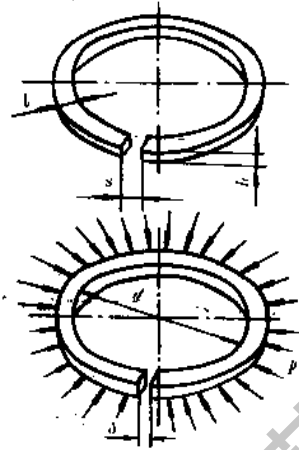


图 28-14 活塞环基本尺寸

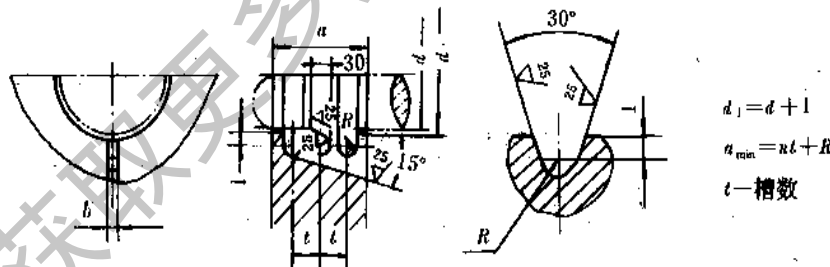
a) 自由状态；b) 装入气缸状态

### 3.5 节流环形沟槽密封

节流环形沟槽密封是利用流体流经一系列节流间隙与膨胀空腔组成的通道，使工作介质产生节流效应，以限制泄漏的非接触式动密封。

节流环形沟槽的形式及尺寸见表 28-52。

表 28-52 油沟式密封槽（摘自 JB/ZQ 4245—86）



$$d_1 = d + 1$$

$$a_{min} = nt + R$$

$t$ —槽数

轴 径 $d$	$R$	$t$	$b$
25—80	1.5	4.5	4
>80—120	2	6	5
>120—180	2.5	7.5	6
>180	3	9	7

注：1. 表中  $R$ 、 $t$ 、 $b$  尺寸，在个别情况下，可用于与表中不对应的轴径上；

2. 一般  $n=2\sim 4$  个，使用 3 个的较多。

### 3.6 迷宫密封

迷宫密封是利用流体流经一系列节流间隙与膨胀空腔组成的通道,使工作介质产生节流效应,以限制泄漏的非接触式动密封。

迷宫密封的特点是:

- a. 密封性能较好,特别是高速下密封性能更好,可以做到封严不漏。
- b. 对一般密封所不能胜任的高温、高压、高速和大尺寸密封部位特别有效。

c. 维修简单。如若密封件加工和组合良好,在运行中,一般不会出故障,也不需经常维修。

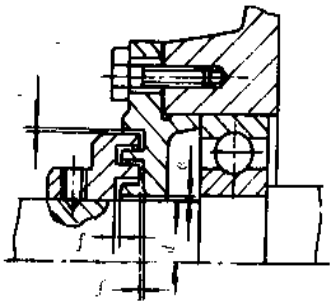
d. 密封零件与机器其它零件一起设计制造,无需采用其它密封材料。

e. 无摩擦,功耗少,使用寿命长。

但是密封零件加工精度要求高,装配较为困难。此外,由于间隙小,当机器运转不良时会发生磨损,从而降低密封性能。当设计或组装不良,又在压差作用下,迷宫密封会产生较大的泄漏。

径向迷宫密封槽的尺寸可参考表 28-53。

表 28-53 迷 宫 密 封

	<i>d</i>	10~50	50~80	80~110	110~180
	<i>e</i>	0.2	0.3	0.4	0.5
	<i>f</i>	1	1.5	2	2.5

超星阅读器提醒您:  
使用本类制品  
请尊重相关知识产权

### 3.7 离心密封

离心密封是利用转子旋转带动流体产生离心力,将液体介质沿径向甩出,阻止液体介质进入泄漏缝隙,从而达到密封口的。离心密封仅适用于液体介

质。

离心密封有光滑离心轮密封、背叶片离心密封、副叶轮离心密封、甩油盘离心密封等多种形式,如图 28-15 所示。

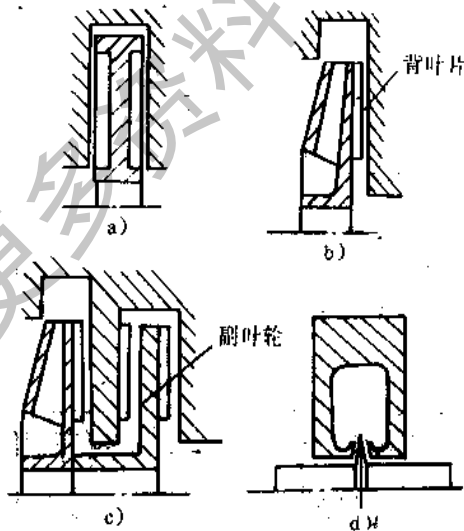


图 28-15 典型的离心密封结构

a) 光滑离心轮; b) 背叶片; c) 副叶轮; d) 甩油盘

离心密封的优点是允许采用较大的密封间隙,寿命长。适用于高温、高速的场合。但这种密封只适用于密封含有固相杂质的介质,做到零泄漏、无磨损、用于低压差,且消耗功率大,并需要辅以停车密封。

### 3.8 螺旋密封

螺旋密封是利用螺杆送回工作介质的一种动密封。通常在密封部位的轴上加工螺纹,使用时液体充满螺纹和外壳所含的空间,形成一个“流体螺母”。当螺旋转动时,流体螺母受到壳体摩擦阻力作用而不与螺杆一起转动,但产生轴向运动,使流体不断返回机壳内。若泄漏量小于螺杆送回的流量,则可达到密封目的。螺旋密封通常用于液体介质。

螺旋密封不受轴的高转速的限制,也不受温度的限制,适用于低压差的场合,当压差较大时,很难保证螺旋密封完全不漏。

在设计螺旋密封装置时,要特别注意螺旋的赶油方向。图 28-16 表明了螺旋密封的赶油方向。设轴的旋转方向如图所示,若赶油方向向左,则螺纹加工在轴上时应为左螺纹;若螺纹加工在壳体的孔内时应为右螺纹。

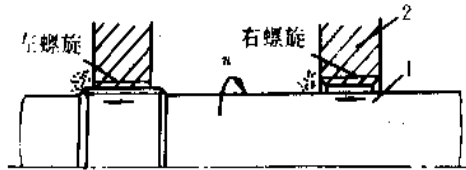


图 28-16 螺旋密封的赶油方向

1—轴; 2—壳体

封严螺纹的型面多种多样,可以用普通三角形螺纹,也可用锯齿形螺纹或矩形螺纹;螺纹的头数可以是单头,也可以是多头,但对于转速较低的螺旋密封,最好选用多头螺纹。

矩形封严螺纹的主要尺寸可按轴的直径参考表 28-54 选择。

表 28-54 矩形封严螺纹尺寸

mm

轴 径	直径间隙	螺 距	头 数	螺纹槽宽	螺纹槽深
10~18	0.045~0.094	3 5	1	1	0.5
>18~30	0.060~0.118	7 10	2	1	0.5
>30~50	0.075~0.142	7 10	2	1.5 2	1.0
>50~80	0.095~0.175	10 16	3	1.5	1.0
>80~120	0.120~0.210	16 24	4	2	1.0

如果螺旋密封的长度较大,最好在螺旋密封的中部设置回油路(图 28-17)。在图 28-17a 中,螺纹衬套 2 的中部有环槽通向回油孔;在图 28-17b 中,

将螺纹衬套分为两个,两个螺纹衬套之间有很大的回油空间,以便回油,这样密封效果更好。

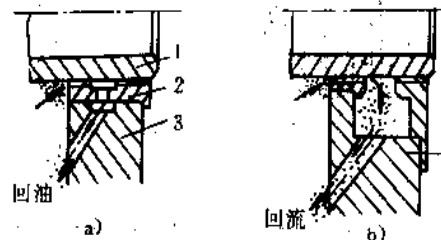


图 28-17 螺旋密封中部设置回油路

1—轴; 2—螺纹衬套; 3—壳体



## 第 29 章 电机与电器

### 1 控制系统线路设计

#### 1.1 电气技术中常用文字符号和图形符号

##### 1.1.1 电气技术中常用文字符号

a. 在电气技术图上通常用一个图形符号表示的基本件、部件、组件、功能单元、设备、系统等称为项目。如继电器、发电机、开关设备等都可称为项目。用以识别图、图表、表格中和设备上的项目种类，并提供项目的层次关系、实际位置等信息的特定代码称为项目代号。项目代号由四部分组成，每部分由前缀符号和代号段组成：= 高层代号 + 位置代号 - 种类代号：端子代号。

例如，=T2+D126-K5:13。各段可适当省略或组合，其中第三段最重要，一般不得省略。

b. 电气技术中的文字符号分为基本文字符号（单字母或双字母文字符号）和辅助文字符号两类。

单字母文字符号即为项目种类代号，用单字母表示，见表 29-1。双字母文字符号由一个项目种类代号和另一字母组成，见表 29-2。应优先采用单字母文字符号，只有当单字母符号不能满足要求，需要将大类进一步划分时，才采用双字母符号，以便更详细和更具体地表述电气设备、装置和元器件。

辅助文字符号是用以表示电气设备、装置和元器件以及线路的功能、状态和特征的，见表 29-3。辅助文字符号可单独使用，其第一位字母也可放在单字母符号后组成双字母符号。

表 29-1 电气设备、装置和元器件种类的单字母符号(项目种类字母代码表)(GB5094—85)

符 号	项 目 种 类	符 号	项 目 种 类
A	组件、部件	P	测量设备、试验设备
B	非电量到电量或相反的变换器	Q	电力电路的开关器件
C	电容器	R	电阻器
D	二进制元件、延迟器件、存储器件	S	控制、记忆、信号电路的开关器件、选择器
E	其他元器件	T	变压器
F	保护器件	U	调制器、变换器
G	发生器、发电机、电源	V	电子管、晶体管
H	信号器件	W	传输通道、波导、天线
K	继电器、接触器	X	端子、插头、插座
L	电感器、电抗器	Y	电气操作的机械器件
M	电动机	Z	终端设备、混合变压器、滤波器、均衡器、限幅器
N	模拟元件		

表 29-2 电气技术常用基本文字符号(GB7159-87)

种类名称	文字符号		种类名称	文字符号	
	单字母	双字母		单字母	双字母
放大器	A		异步发电机	G	GA
调节器	A		永磁发电机	G	GM
电桥	A	AB	声响指示器	H	HA
晶体管放大器	A	AD	光指示器	H	HL
集成电路放大器	A	AJ	指示灯	H	HL
电子管放大器	A	AV	继电器	K	
印制电路板	A	AP	电压继电器	K	KV
变换器	B		电流继电器	K	KA
自整角机	B		时间继电器	K	KT
旋转变压器	B		频率继电器	K	KF
送话器	B		压力继电器	K	KP
受话器	B		控制继电器	K	KC
拾音器	B		簧片继电器	K	KR
扬声器	B		接触器	K	KM
耳机	B		感应线圈	L	
压力变换器	B	BP	电抗器	L	
位置变换器	B	BQ	电动机	M	
温度变换器	B	BT	直流电动机	M	MD
速度变换器	B	BV	交流电动机	M	MA
调速发电机	B	BR	异步电动机	M	MA
电容器	C		同步电动机	M	MS
照明灯	E	EL	笼型电动机	M	MC
避雷器	F		方矩电动机	M	MT
熔断器	F	FU	运算放大器	N	
瞬时动作限流器件	F	FA	模数混合器件	N	
延时动作限流器件	F	FR	记录器件	P	
发电机	G		指示器件	P	
振荡器	G		信号发生器	P	
同步发电机	G	GS	电流表	P	PA
蓄电池	G	GB	计数器	P	PC
直流发电机	G	GD	电度表	P	PJ
交流发电机	G	GA	记录仪器	P	PS

超星阅读器提醒  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

球取更多资料 微信搜 蓝领星球



续表 29-2

种类名称	文字符号		种类名称	文字符号	
	单字母	双字母		单字母	双字母
电压表	P	PV	变频器	U	
电力电路开关	Q		逆变器	U	
断路器	Q	QF	二极管	V	
隔离开关	Q	QS	三极管	V	
转换开关	Q	QC	晶闸管	V	
电阻器	R		电子管	V	
变阻器	R		控制用整流器	V	VC
电位器	R	RP	电线	W	
热敏电阻器	R	RT	电缆	W	
起动电阻器	R	RS	母线	W	
制动电阻器	R	RB	天线	W	
控制开关	S	SA	绕组	W	
选择开关	S	SA	电枢绕组	W	WA
行程开关	S	ST	定子绕组	W	WS
限位开关	S	SL	转子绕组	W	WR
终点开关	S	SE	励磁绕组	W	WE
微动开关	S	SS	控制绕组	W	WC
脚踏开关	S	SF	接线柱	X	
按钮开关	S	SB	连接片	X	XB
压力传感器	S	SP	插头	X	XP
位置传感器	S	SQ	插座	X	XS
转速传感器	S	SR	端子板	X	XT
温度传感器	S	ST	气阀	Y	
变压器	T		电磁铁	Y	YA
电流互感器	T	TA	制动电磁铁	Y	YB
自耦变压器	T	TA	牵引电磁铁	Y	YT
控制变压器	T	TC	起重电磁铁	Y	YL
电力变压器	T	TM	电磁离合器	Y	YC
稳压器	T	TS	电磁吸盘	Y	YH
整流器	U		电磁阀	Y	YV
变流器	U				

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识！

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识！

表 29-3 常用辅助文字符号(GB7159-87)

名称	文字符号	名称	文字符号	名称	文字符号
高	H	黄	YE	异步	ASY
低	L	白	WH	自动	A,AUT
升	U	蓝	BL	手动	M,MAN
降	D	输入	IN	起动	ST
主	M	输出	OUT	制动	B,BRK
辅	AUX	直流	DC	停止	STP
左	L	交流	AC	控制	C
右	R	电压	V	可调	ADJ
中	M	电流	A	接地	E
正、向前	FW	压力	P	保护地	PE
反	R	时间	T	中性线	N
顺时针	CW	温度	T	紧急	EM
逆时针	CCW	速度	V	复位	R,RST
向后	BW	闭合	ON	运转	RUN
红	RD	断开	OFF	信号	S
绿	GN	附加	ADD	步进	STE
黑	BK	同步	SYN		













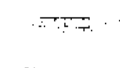






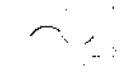

超星浏览器提醒您：  
 未经许可，不得转载。  
 侵犯知识产权！

1.1.2 电气图中常用图形符号

电气图形符号由符号要素、限定符号和一般符号组合而成。符号要素是一种具有确定意义的简单图形，必须同其他图形组合以构成一个设备或概念

的完整符号。一般符号用以表示一类产品和此类产品特征的一种通常很简单的符号。限定符号是用以提供附加信息的一种加在其他符号上的符号。限定符号通常不能单独使用，但一般符号有时也可用作限定符号。

表 29-4 电气图中符号要素、限定符号和常用其他符号(GB4728.2-84)

名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
元件、装置、功能单元	 或  或 	边界线		中频(音频)		负极	
		屏蔽(护罩)		高频(超音频、载频或射频)		非内在的可变性	
		直流		交直流		非内在非线性的可变性	
		或		具有交流分量的整流电流		内在的可变性	
外壳(容器)、管壳	 或 	交流		中性(中性线)	N	内在非线性的可变性	
		低频(工频或亚音频)		正极	+	预调、微调	

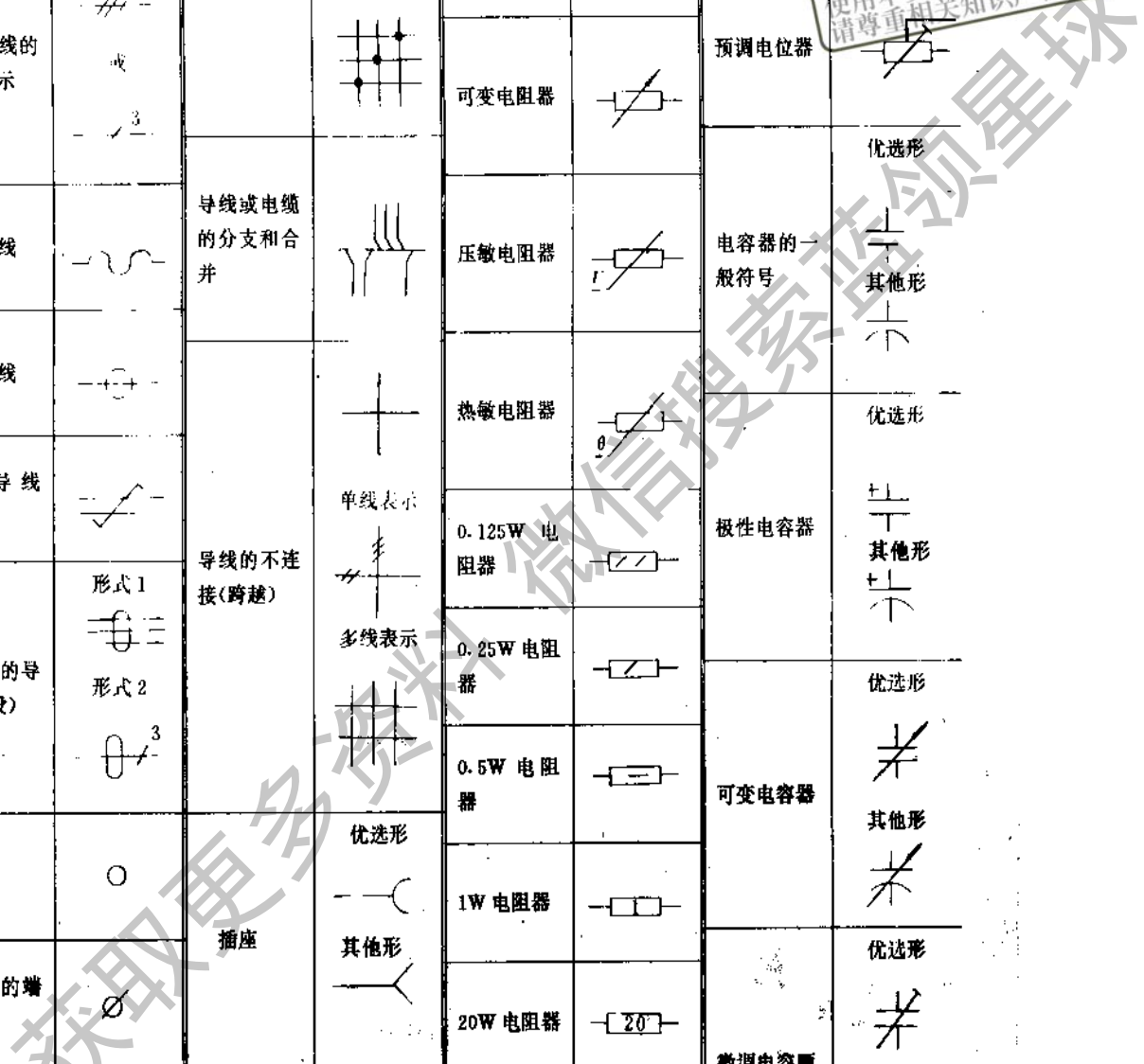
超 续表 29-4  
 请 器 提醒 您：  
 本 书 图 形 符 号 均 属 知 识 产 权 ！

名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
例：在电流等于零时允许预调		逆时针方向旋转		磁场效应		电磁执行器操作	
阶跃式可变量、步进动作		双向旋转		延时、延迟		电动机操作	
例：五个阶跃的非内在的可变性		两个方向均有限制的双向旋转		机械连接	形式 1 	保护接地	
连续的可变性		往复运动		延时动作 注：向圆心方向移动的延时动作	形式 1 	接地一般符号	
例：连续可变的预调		能量、信号的单向传输		自动复位 注：三角指向返回方向	形式 2 	接机壳或接底板	形式 1 
内在的自动控制		同时双向传输		手动控制		形式 2 	
按箭头方向的直线运动或力		不同时双向传输		紧急开关		等电位	
双向直线的运动或力		热效应		脚踏操作		动触点	
例：当 3 从 1 向 2 移动时，频率增加		电磁效应		气动或液压控制操作		变换器一般符号	

表 29-5 电气图中常用图形符号(GB4728.3~8-84)

名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
导线、电缆和母线一般符号			单线表示 	电阻器的一般符号	优选形  其他形 	带开关的滑动触点电位器	
三根导线的单线表示		导线的交叉连接	多线表示 	可变电阻器		预调电位器	
柔软导线		导线或电缆的分支和合并		压敏电阻器		电容器的一般符号	优选形  其他形 
屏蔽导线				热敏电阻器		极性电容器	优选形  其他形 
绞合导线(二股)		导线的不连接(跨越)	单线表示 	0.125W 电阻器			
电缆中的导线(三股)	形式1  形式2 		多线表示 	0.25W 电阻器			
端子				0.5W 电阻器		可变电容器	优选形  其他形 
可拆卸的端子		插座	其他形 	1W 电阻器			
				20W 电阻器		微调电容器	优选形  其他形 
导线的连接	形式1  形式2 	插头	优选形  其他形 	滑线式变阻器			
				滑动触点电位器		电感器、线圈、绕组、扼流圈	

请星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权



续表 29-5

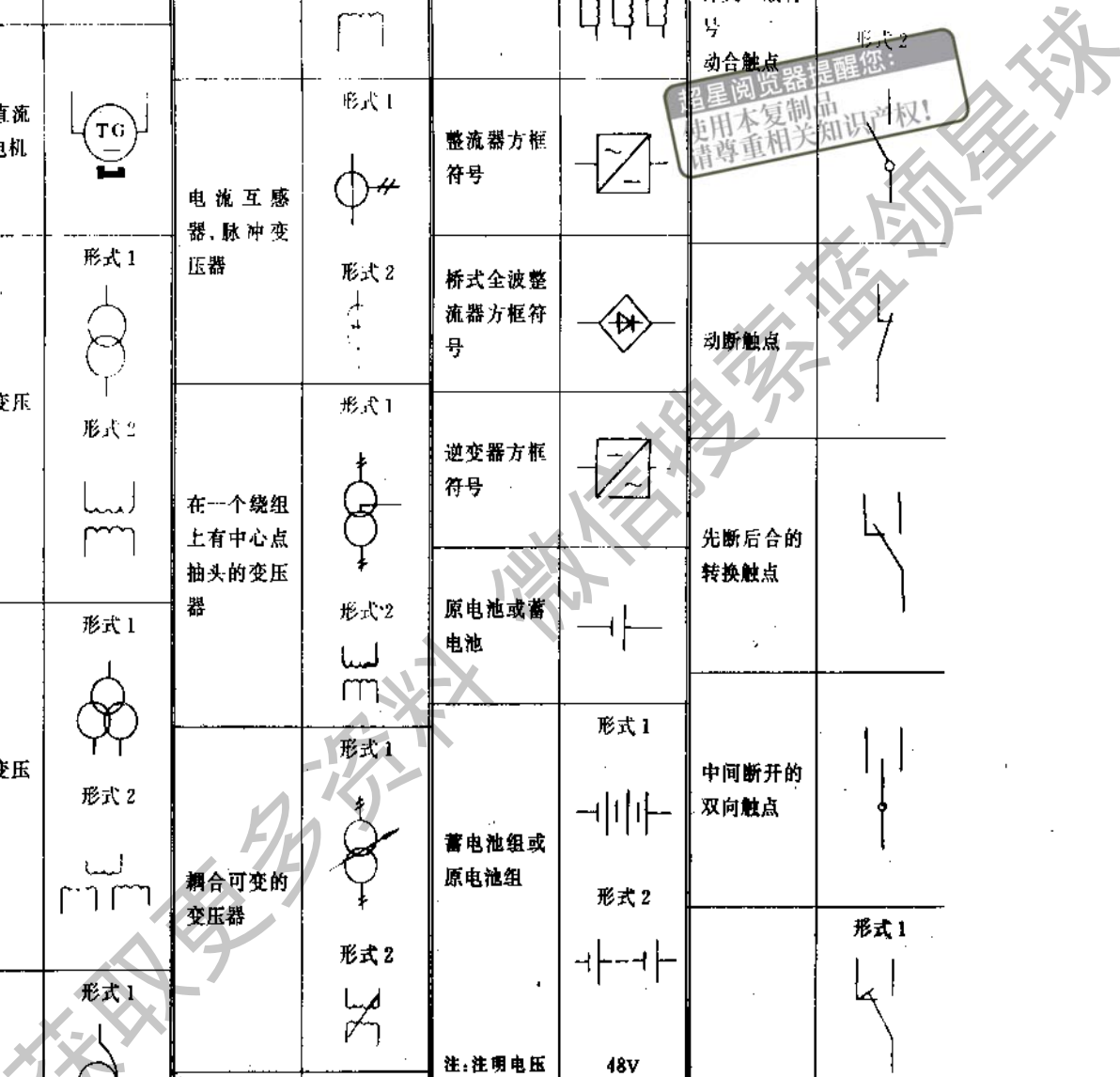
名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
带磁心的电感器		光电池		交流力矩电动机		三相交流并励电动机	
带磁心连续可调的电感器		直流发电机		直线电动机		三相永磁同步发电机	
半导体二极管一般符号	优选形 	直流电动机		步进电动机		三相永磁同步电动机	
	其他形 	交流发电机		手摇发电机			
发光二极管	优选形 	交流电动机		串励直流电动机		单相同步电动机	
	其他形 	直流伺服电动机		并励直流电动机		单相笼型异步电动机	
PNP 型半导体管		交流伺服电动机		他励直流电动机		三相笼型异步电动机	
NPN 型半导体管		直流测速发电机		永磁直流电动机		三相绕线型异步电动机	
光敏电阻		交流测速发电机		三相交流串励电动机		交流测速发电机	
光电二极管		直流力矩电动机					

星星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

续表 29-5

名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
电磁式直流测速发电机		电抗器、扼流圈	形式1  形式2 	星形—三角形连接的三相变压器	形式2 	开关一般符号	形式1 
永磁式直流测速发电机		电流互感器、脉冲变压器	形式1  形式2 	整流器方框符号		动合触点	形式2 
双绕组变压器	形式1  形式2 	在一个绕组上有中心点抽头的变压器	形式1  形式2 	桥式全波整流器方框符号		动断触点	
三绕组变压器	形式1  形式2 	耦合可变的变压器	形式1  形式2 	逆变器方框符号		先断后合的转换触点	
自耦变压器	形式1  形式2 	星形—三角形连接的三相变压器	形式1  形式2 	原电池或蓄电池		中间断开的双向触点	
				蓄电池组或原电池组	形式1  形式2 	先合后断的转换触点	形式1  形式2 
				注:注明电压值时允许的画法	48V 		
				热源一般符号			

请星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权！





续表 29-5

名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
延时闭合的 动合触点	形式 1 	手动开关 一般符号 		热继电器动 断触点 		星—三角起 动器 	
	形式 2 	按钮开关 (动合按钮) 		三极开关 (单线表示) 		自耦变电压 式起动机 	
延时断开的 动合触点	形式 1 	按钮开关 (动断按钮) 		三极开关 (多线表示) 		操作器件 一般符号 注:多绕组操 作器件可 由适当数 值的斜线 或重复本 符号来表 示 	形式 1 
	形式 2 	拉拔开关 		接触器动合 触点 			形式 2 
延时闭合的 动断触点	形式 1 	旋钮开关、 旋转开关 (闭锁) 		接触器动断 触点 		交流继电器 线圈 	
	形式 2 	位置开关和 限制开关的 动合触点 		断路器 		热继电器的 驱动器件 	
延时断开的 动断触点	形式 1 	单极四位开 关 	形式 1 	隔离开关 		过流继电器 线圈 	
	形式 2 		形式 2 	电动机起 动器一般符号 		欠压继电器 线圈 	

续表 29-5

名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
接近开关动合触点		避雷器		示波器		电铃	
熔断器一般符号		电流表		电度表(瓦时计)		电警笛、报警器	
熔断器式开关		电压表		灯的一般符号		蜂鸣器	优选形 
熔断器式隔离开关		检流计		电铃	优选形 	其他形	

## 1.2 低压控制系统线路设计

### 1.2.1 概述

低压控制系统广泛使用继电器—接触器控制线路,本小节主要介绍这种控制线路的设计规则,并简介正在国内迅速推广的可编程控制器。

继电器—接触器控制系统的优点是所用元件结构简单、易掌握和成本低廉,缺点为体积大、寿命短、可靠性低及柔性差。

电气传动控制系统一般主要分为主电路和控制电路。主电路是控制主电机运转状态的电路系统,控制电路是根据系统要求对主电路进行操纵、控制的电路。控制电路有时采用比主电路电源电压较低的电源,甚至采用直流电源。

继电器—接触器控制线路设计步骤:

- 由机械设计人员提供电气设计原始资料并提出电气设计具体要求;
- 设计各环节单元电路,综合设计总控制电路图;

- 选择电气元件;
- 设计接线图(接线表);
- 设计电气系统位置图;
- 编写电气系统说明书。

### 1.2.2 电气制图一般规则

a. 电气制图图纸要求基本等同于机械制图标准要求。

b. 所用图形符号应符合 GB4728—84《电气用图形符号》规定。

c. 图形符号尽可能采用优选形式,且在同一图号的图中使用同一种形式。

d. 所用项目和端子代号应按 GB5094—85《电气技术中的项目代号》规定。

e. 电器接线端子用字母数字符号标志。可由一个或几个字母或数字组成,也可不必用完整的字母数字符号。在使用仅含有数字或者字母的字符组的地方,若有必要区分相连字符组时,在两者之间采用一个圆点“·”。例如 1U1,简化掉 U 后通常为 1·1。特定导线及电器接线端子标记见表 29-6 和表 29-7。

表 29-6 特写导线标记

名称	标记	
交流系统电源	1 相	L1
	2 相	L2
	3 相	L3
	中性线	N
直流系统电源	正	L+
	负	L-
	中间线	M
保护接地线	PE	
接地线	E	
机壳或机架	MM	

表 29-7 特定电器接线端子标记

名称	标记	
交流系统	1 相	U
	2 相	V
	3 相	W
	中性线	N
保护接地线	PE	
接地线	E	
机壳或机架	MM	

f. 电路图中元件、器件和设备的可动部分, 通常应表示在非激励或不工作的状态或位置。

g. 接线图和接线表可单独使用也可组合使用, 应表示出项目代号、端子号、导线号、导线类型等内

容。

1.2.3 常用典型控制线路

图 29-1~5 列举了电动机常用典型控制线路。

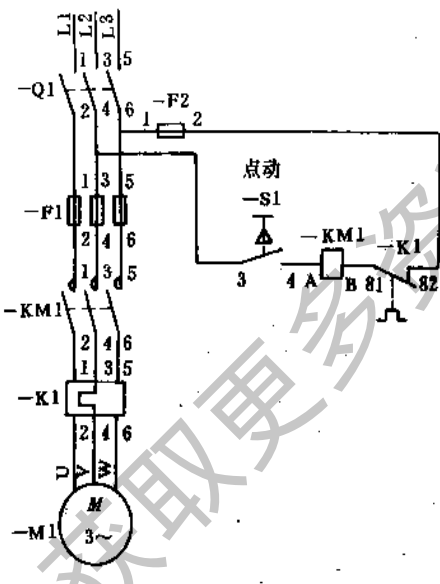


图 29-1 电动机单向点动控制线路

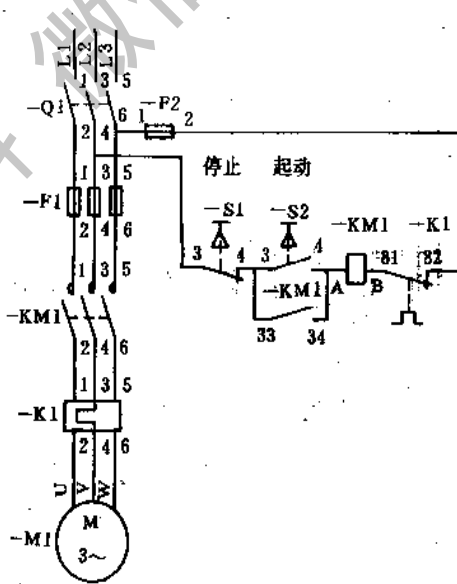


图 29-2 电动机单向控制线路

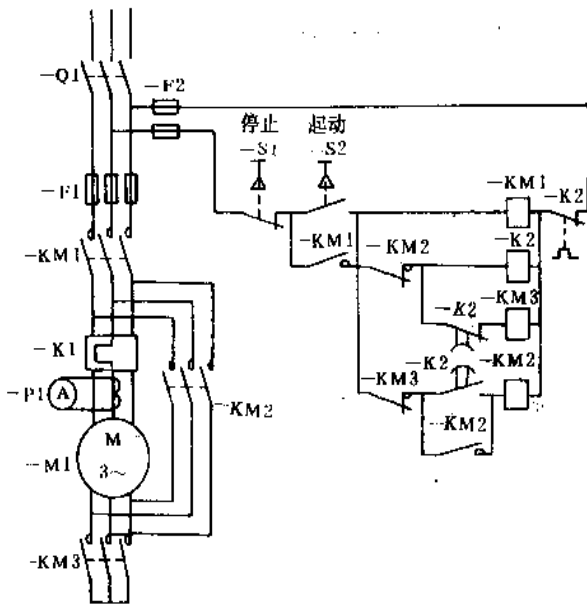


图 29-3 电动机 Y-Δ 降压启动控制线路

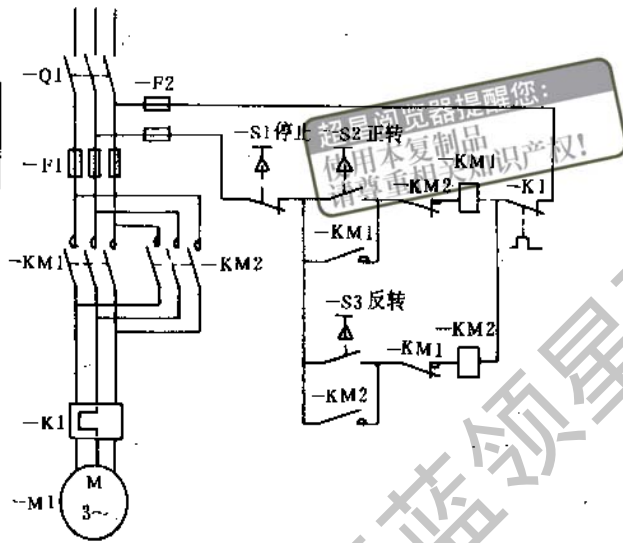


图 29-4 电动机双向控制线路

### 1.2.4 可编程控制器简介

可编程控制器(Programmable Controller, 简称 PC)是继单片机、STD 总线工控机后微机控制技术的又一大系列产品,且与机器人、CAD/CAM 一起成为工业生产自动化的三大支柱。其关键在于用计算机代替了以往的继电器控制盘,用软件代替了大部分以往繁杂的接线,具有如下优点:

- a. 极高的可靠性。
- b. 很强的功能,不仅可进行开关量控制,而且已发展到过程控制、位置控制和通讯网络等领域。
- c. 控制柔性强,编程方便,易于使用。可采用与继电器控制线路设计相同的梯形图编程方式,又可采用高效、高质量的步进顺控语言、流程图等多种编程方式。
- d. 接口能力强;输入输出开关量可与大部分外部器件或装置直接相连,最多可达到上万个输入输出点,还有模拟量输入输出、显示及标准通讯接口等。
- e. 单元化或模块化结构,通用性好,易扩展、易维护、体积小,安装调试方便。

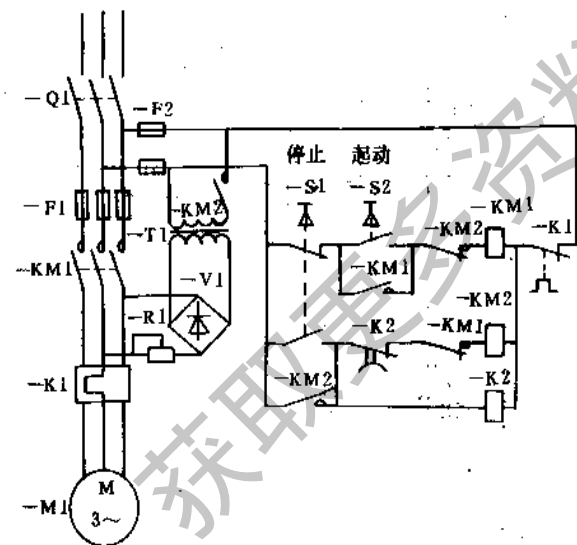


图 29-5 带能耗制动电动机控制线路

因此可编程控制器正在也必将在未来完全代替继电器—接触器控制系统,并能将其他控制方法(如过程控制)融入其中。目前常见的可编程控制器产品如表 29-8 所示。

表 29-8 常见的可编程控制器及其性能

生产厂家	型 号	程序容量	I/O 能力						编程语言				网络通讯				其它						
			总点数	模拟量	交流	直流	高速计数器	定位	PI D	梯形图	指令表	步进顺控	其它	远端 I/O	计算机通讯	点对点	高速总线	MAP 网	算术运算	自诊断	文件处理	彩色显示	多 CPU
三菱电机	A3NCPU	2×30KS	2048	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	FI-60MR	1KS	120	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	FX-64MR	8KS	256	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A&B	SLC500	1KJ	72	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	PLC5/250	384K	4096	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
GE	1/E 系列	1.7KW	112	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
FANUC	6+ / I 系列	80KW	8K	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Modicom	984-380	3.5-8K	256	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	984B	42-138K	16K	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
立石	C120	2.6KW	256	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	C200H	4K,8KW	384	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	C2000H	12-38K	2048	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
西门子	S5 100U	4KB	256	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	SU-135U/R	128KW	8192	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Square D	SY/MAX50	4K	256	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	SY/MAX700	8K-64K	14K	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
德州仪器	TI100	1K	128	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	TI565	384KB	8192	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
东芝	EX40+	1K	80	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	EX500	8K	512	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
西屋	PC-110	1K	112	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	MAC-4500	288K	8192	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注:表中程序容量一栏,K=1000,S:步(Steps),I:指令(Instructions),W:字(Words),B:字节(Bytes)。

## 2 电气器件

### 2.1 保护器件

等,其工作原理、应用场合和选择依据如表 29-9 所示。

保护器件主要有熔断器、热继电器及自动开关

表 29-9 保护器件的工作原理、应用场合和选择依据

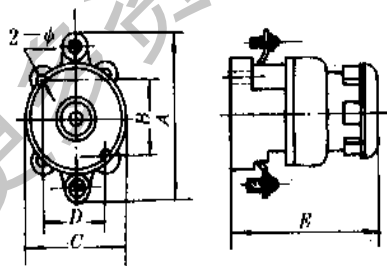
保护器件	工作原理	应用场合	选择依据
熔断器	其熔体串联在被保护的电路中,当电路发生短路或严重过载时,它将自动熔断,从而切断电路	作为短路或严重过载的保护器件,应用在动作准确度及自动化程度要求不高的场合,如中小容量的鼠笼式电动机,一般的普通交流电源等	主要依据熔断器额定电流和熔体的额定电流选择熔断器。对没有冲击电流负载的电路(如照明线路),取熔体的额定电流等于或稍大于电路的工作电流。对异步电动机,熔体额定电流应大于 1.5~2.5 倍电机额定电流
热继电器	当热继电器通过额定电流时,热继电器长期不动作,处于接通状态,当通过电流增加时,热继电器将动作,并且电流越大,开始动作时间越短	作为过载保护器件广泛用于交流电动机主电路中。由于热惯性原因不能在短路时快速动作,所以必须和短路保护配合使用	主要依据被保护电动机额定电流来选择热继电器型号及热元件电流等级,并在使用时将其电流整定为电动机额定电流。在电动机负载惯性大或有冲击时,整定电流要取高一些
自动开关	在线路发生短路、过载或欠电压时,自动开关能够快速自动切断电路	在配电网路中广泛用来分配电能,并作为线路及电源设备的过载、短路和欠电压保护,也常用作电动机的起停和分断,以及电动机的过载、短路和欠电压保护	主要依据额定电压、额定电流和允许切断的负载极限电流来选择自动开关,一般允许切断的极限电流应略大于电路的短路电流

2.1.1 熔断器

(1) RL1 系列熔断器 本系列熔断器适合于交流 50Hz, 额定电压 380V 或直流 440V 以下 200A

以内的线路中作电气设备的短路保护之用。本系列螺旋式熔断器熔体内有一组熔丝和石英砂填料,上盖有一熔断指示器。熔体能在带电状态下取出更换,具有安全方便,性能可靠等特点。

表 29-10 RL1 系列熔断器技术数据、外形及安装尺寸



型号	熔断器额定电流 A	熔断体额定电流 A	外形及安装尺寸 mm					
			A	B	C	D	E	φ
RL1-15	15	2, 4, 6, 10, 15	62	28	32	24	63	5
RL1-60	60	20, 25, 30, 35, 40, 50, 60	78	40	55	34	78	6
RL1-100	100	60, 80, 100	120	54	60	46	110	8
RL1-200	200	100, 125, 150, 200	156	64	66	64	116	10

生产厂:北京第四机床电器厂,上海金山电器厂,北京房山电器厂。



(2) RM3 系列熔断器 RM3 系列熔断器适用于交流 50Hz, 电压 380V 或直流 440V 以下, 4~25A 的电路中作为电气设备的短路保护之用。本系列熔断器为无填料密闭管式熔断器, 熔丝装在熔管内, 工作安全, 更换方便。

表 29-11 RM3 系列熔断器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额 定 电 流	极 限 分 断 能 力	外 形 尺 寸	安 装 尺 寸
	A	A	mm	mm
RM3-4	4	1200	64×32×74	22 2-φ5
RM3-6	6	1200		
RM3-10	10	1200		
RM3-15	15	1200		
RM3-20	20	3500		
RM3-25	25	3500		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

2.1.2 热继电器

(1) JR16、JR16B 系列热继电器 JR16、JR16B 系列热继电器适用于交流 50~60Hz, 额定绝

缘电压 380V, 额定电流 0.25~160A 的电路中, 作交流电动机的过载及断相保护用, 可手动复位和自动复位, 具有电流调节范围广, 可进行环境温度补偿, 可带电动机断相保护装置等特点。

表 29-12 JR16、JR16B 系列热继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额 定 绝 缘 电 压 V	额 定 工 作 电 压 V	环 境 温 度 C	热 元 件		输 出 触 头				外 形 尺 寸 mm	安 装 尺 寸 mm				
				编 号	额 定 整 定 电 流 A	整 定 电 流 调 节 范 围 A	数 量		额 定 绝 缘 电 压 V			常 开 触 头 最 大 接 通 电 流 A	常 闭 触 头 最 大 分 断 电 流 A		
							常 开	常 闭							
JR16-20/3	380	20	-25 ~ +40	1	0.35	0.25~0.3~0.35	1	1	380	5	2	70×43	38		
JR16-20/3D				2	0.5	0.32~0.4~0.5								×71	2-φ4.5
JR16B-20/3				3	0.72	0.45~0.6~0.72									
JR16B-20/3D				4	1.1	0.68~0.9~1.1									
				5	1.6	1.0~1.3~1.6									
				6	2.4	1.5~2~2.4									
				7	3.5	2.2~2.8~3.5									
				8	5.0	3.2~4~5									
				9	7.2	4.0~6~7.2									
				10	11	6.8~9~11									
				11	16	10~13~16									
				12	22	14~18~22									
JR16-60/3	60			13	22	14~18~22						90×52	66 2-φ5		
JR16-60/3D				14	32	20~26~32								×82	
JR16B-60/3				15	45	28~36~45									
JR16B-60/3D				16	63	40~50~63									
JR16-150/3	150			17	63	40~50~63						121×76	96 2-φ7		
JR16-150/3D				18	85	53~70~85								×101	
JR16B-150/3				19	120	75~100~120									
JR16B-150/3D				20	160	100~130~160									

注：“D”表示带有断相保护装置。

生产厂：桂林机床电器厂，沈阳 213 机床电器厂，长沙机床电器厂，福建机床电器厂，苏州机床电器厂，江西机床电器厂。

(2) JRS3 系列热继电器 JRS3 系列热继电器是一种三相双金属片式热过载继电器、适合于交流 600V、63A 以下的交流电动机过载保护和断相保护。该系列产品具有温度补偿和动作指示功能,并且动作精度高,安装方便。

表 29-13 JRS3 系列热继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	主电路额定电流 A	热 元 件		控 制 触 头		外形尺寸 mm	安装尺寸 mm
		额定整定 电流 A	整定电流调节范围 A	额定工作 电压 V	额定工作 电流 A		
JRS3-12.5/Z JRS3-12.5/F	12.5	12.5	0.1~0.16、0.16~0.25、 0.25~0.4、0.32~0.5、 0.4~0.63、0.63~1、 0.8~1.25、1~1.6、 1.25~2、1.6~2.5、 2~3.2、2.5~4、 3.2~5、4~6.3、 5~8、6.3~10、 8~12.5、10~14.5	AC-11 24 60 125 220 380 500 DC-11 24	2 1.5 1.25 1.15 1.1 1	74×45 ×95	F 型: 35×75 2-- φ5 或 35×7.5 卡轨
JRS3 25/Z JRS3 25/F	25	25	0.1~0.16、0.16~0.25、 0.25~0.4、0.4~0.63、 0.63~1、0.8~1.25、 1~1.6、1.25~2、 1.6~2.5、2~3.2、 2.5~4、3.2~5、 4~6.3、5~8、 6.3~10、8~12.5、 10~16、12.5~20、 16~25	60 110 220	0.4 0.22 0.1	71×45 ×100	F 型: 35×75 2-- φ5 或 35×7.5 卡轨
JRS3-32/Z JRS3-32/F	32	32	4~6.3、6.3~10、 10~16、12.5~20、 16~25、20~32、 25~36			75×45 ×100	F 型: 35×75 2--φ5 或 35×7.5 卡轨
JRS3-63/F	63	63	0.1~0.16、0.16~0.25、 0.25~0.4、0.4~0.63、 0.63~1、0.8~1.25、 1~1.6、1.25~2、 1.6~2.5、2~3.2、 2.5~4、3.2~5、 4~6.3、5~8、 6.3~10、8~12.5、 10~16、12.5~20、 16~25、20~32、 25~40、32~45、 40~57、50~63			87.5×45 ×110	35×75 2-- φ5 或 35×7.5 卡轨

注：“F”为分立式；“Z”为组合式，可直接插接并电气连接在 CJX3 系列交流接触器上。  
生产厂：苏州机床电器厂，桂林机床电器厂，长沙机床电器厂。

表 29-14 DZ20 系列自动开关技术数据及外形、安装尺寸

型号	壳架等级电流 A	脱扣器额定电流 A	额定工作电压 V		额定极限短路分断能力 kA						额定运行短路分断能力 kA			外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	连接铜导线(铜母线)最大截面积 mm <sup>2</sup>
			AC	DC	AC			DC			AC	DC	DC			
					660V	460V	360V	220V	220V	660V						
DZ20Y-100	100	16、20、32	380	220	18	10	14	10	10	10	10	10	105×165×103	126×35 4-φ5	35	
		40、50、63														
		80、100														
DZ20J-100	100	16、20、32	380	220	35	15	18	15	15	15	15	15	105×165×103	126×35 4-φ5	35	
		40、50、63														
		80、100														
DZ20G-100	100	16、20、32	380	220	100	20	75	20	20	20	20	20	105×165×156.5	126×35 4-φ5	35	
		40、50、63														
		80、100														
DZ20Y-200	200	100、125、160	380	220	25	20	19	20	20	20	20	20	108.5×256.5×142	196.5×35 4-φ4.5	95	
		180、200、225														
DZ20J-200	200	100、125、160	380	220	42	20	25	20	20	20	20	20	108.5×256.5×142	196.5×35 4-φ4.5	95	
		180、200、225														
DZ20G-200	200	100、125、160	380	220	100	25	100	25	25	25	25	25	116.5×256.5×227	196.5×35 4-φ4.5	95	
		180、200、225														
DZ20Y-400	400	200、250、315	380	220	15	25	11	23	25	25	25	25	155×276×149.5	240×51 4-φ7	240	
		350、400														
DZ20J-400	400	250、315	380	220	42	25	25	25	25	25	25	25	210×268×147	200×70 4-φ7	240	
		350、400														
DZ20G-400	400	250、315	380	220	100	30	100	30	30	30	30	30	210×268×247	200×70 4-φ7	240	
		350、400														
DZ20Y-630	630	250、315、350	380	220	30	25	23	25	25	25	25	25	210×268×147	200×70 4-φ7	40×5 二根	
		400、500、630														
DZ20J-630	630	250、315、350	380	220	42	25	25	25	25	25	25	25	210×268×147	200×70 4-φ7	40×5 二根	
		400、500、630														
DZ20Y-1250	1250	630、700、800	380	220	50	30	38	30	30	30	30	30	212×393×216	360×70 4-φ10	80×5 二根	
		1000、1250														

### 2.1.3 自动开关

(1) DZ20 系列自动开关 DZ20 系列塑料外壳式自动开关可在交流 380V、直流 220V 以下, 电流 1250A 以内的配电网路中, 用来作为线路、电源设备的过载、短路和欠电压保护。其中 200A 以下及 400Y 型自动开关也可作为保护电动机用。该自

动开关都有二极或三极产品。

(2) 3VE(DZS3) 系列自动开关 3VE(DZS3) 系列三极自动开关适用于 50Hz, 电压 660V 以下, 电流 0.1~63A 以内的电路中作为小容量电动机和线路的过载及短路保护用, 并可在正常情况下作为不频繁操作的线路转换和电动机直接起用之用。该自动开关具有体积小, 造型美, 结构紧凑等特点。

表 29-15 3VE 系列自动开关技术数据及外形、安装尺寸

型 号		3VE1	3VE3	3VE4
额定电流 A		20	32	63
额定电压 V		660		
额定绝缘电压 V		660	750	750
脱扣器电流 整定范围 A		0.1~0.16、 0.16~0.25、 0.25~0.4、0.4~0.63、 0.63~1、1~1.6、 1.6~2.5、2~3.2、 2.5~4、3.2~5、 4~6.3、5~8、 6.3~10、8~12.5、 10~16、14~20	1~1.6、1.6~2.5、 2.5~4、4~6.3、 6.3~10、8~12.5、 10~16、12.5~20、 16~25、22~32	6.3~10、10~16、 16~25、22~32、 28~40、36~50、 45~63、45~56
通断能力 (有效值)	220V	1.5/0.95	10/0.5	20/0.3
	380V	1.5/0.95	10/0.5	20/0.3
	660V	1.0/0.95	3/0.9	5/0.7
控制电动机 功率 kW	220V	5.5	9	18
	380V	10	16	32
	660V	13	26	58
机械寿命 万次		10	10	3
保护特性	1.05I <sub>c</sub>	≥2h 不动作	≥2h 不动作	≥2h 不动作
	1.2I <sub>e</sub>	<2h 动作	<2h 动作	<2h 动作
	12I <sub>e</sub>	瞬动	瞬动	瞬动
质 量 kg		0.285	0.52	1.2
外形尺寸 mm		82×54×87.5	110×54×106	160×70×115.5
安装尺寸 mm		75×45 2-5.5×4.2(长圆孔)或标准卡轨 35	100 2-φ4.5 或标准卡轨 35	150 2-φ4.5 或标准卡轨 35

生产厂: 北京机床电器公司。

## 2.2 控制电路的开关器件

### 2.2.1 转换开关和组合开关

(1) LW6 系列万能转换开关 LW6 系列万能转换开关适用于交流 50Hz、电压 380V 或直流电压 220V、电流 5A 的控制电路中, 用于各种线路的控制与换接。其采用组合结构, 可组装多达 20 层,

LW6-1~LW6-10 为单列开关, LW6-12~LW6-20 为双列开关, 操作频率小于 120 次/h。选用时, 应将定位特征代号注在型号后面, 其定位特征代号如表 29-16。外形及安装尺寸如表 29-17。

表 29-16 LW6 系列万能转换开关的定位特征代号

定位特征代号	手柄定位角度													
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	0°	30°	60°	90°			
A								0°	30°					
B								30°	0°	30°				
C								30°	0°	30°	60°			
D				60°	30°			0°	30°	60°				
E				60°	30°			0°	30°	60°	90°			
F			90°	60°	30°			0°	30°	60°	90°			
G			90°	60°	30°			0°	30°	60°	90°	120°		
H		120°	90°	60°	30°			0°	30°	60°	90°	120°		
I		120°	90°	60°	30°			0°	30°	60°	90°	120°	150°	
J	150°	120°	90°	60°	30°			0°	30°	60°	90°	120°	150°	
K	150°	120°	90°	60°	30°			0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
L								0°	60°					
M								60°	0°	60°				
N								60°	0°	60°	120°			
O				120°	60°			0°	60°	120°				
P				120°	60°			0°	60°	120°	180°			

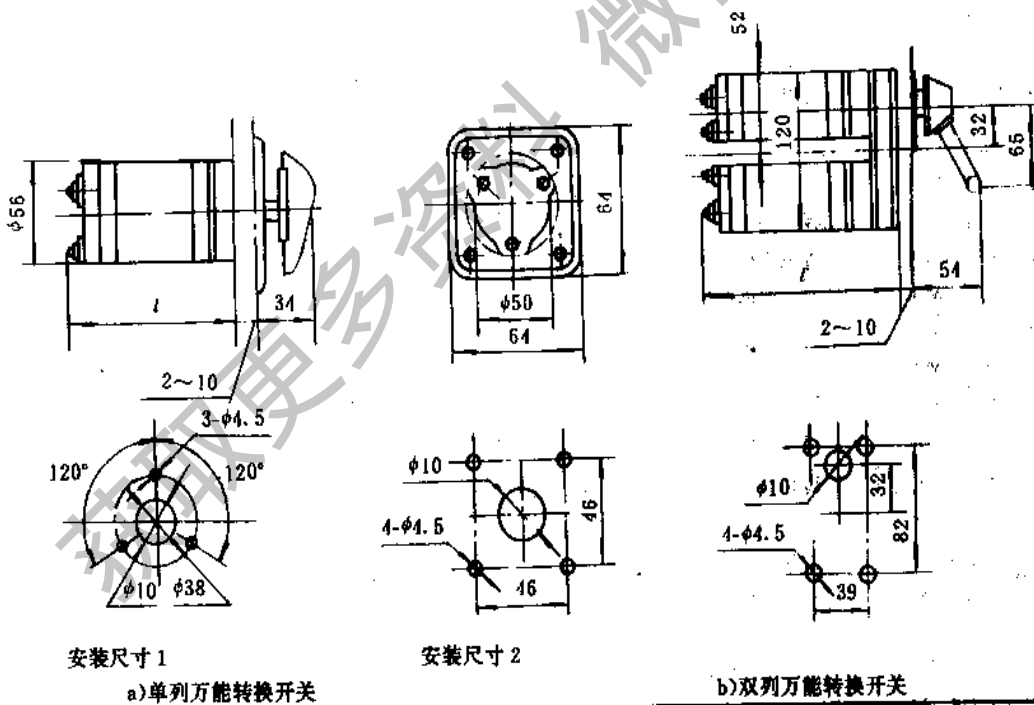
超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

注：1. 自复位式在定位特征代号之后并列一个字母 Z 表示，如 AZ、BZ 等；

2. K 型和 P 型的开关无限位机构，能够连续旋转 360°（顺转或逆转）。

生产厂：北京机床电器厂、苏州机床电器厂、西安机床电器二厂、哈尔滨机床电器厂。

表 29-17 LW6 系列万能转换开关的外形及安装尺寸



续表 29-17

型 号	触头元件数	l mm	型 号	触头元件数	l mm	型 号	触头元件数	l mm
LW6-1	1	44	LW6-5	5	96	LW6-12	12	129
LW6-2	2	57	LW6-6	6	109	LW6-16	16	155
LW6-3	3	70	LW6-8	8	135	LW6-20	20	181
LW6-4	4	83	LW6-10	10	161			

(2) HZ5 系列组合开关 HZ5 系列组合开关 机可逆转换开关、多速电动机变速开关、Y-Δ 启动适用于交流 50Hz、电压 380V、电流 60A 以内的电气开关以及控制电路的换接开关。线路中，作为电源引入开关或电动机启动开关、电动

表 29-18 HZ5 系列组合开关技术数据及外形、安装尺寸

型 号	名 称	额定电压 V	额定电流 A	可控电 动机功 率 kW	外 形 尺 寸 mm		安 装 尺 寸 mm
					旋钮式手柄	机床手柄	
HZ5-10/1 L01	双极开关	380	10	1.7	66×66×88		46×46 4-φ3.5
HZ5-10/1 L02	三极开关				66×66×103		
HZ5-10/1 L03	四极开关				66×66×103		
HZ5-10/1 M04	两种电压双极开关				66×66×103		
HZ5-10/1 M05	感应电动机逆转开关				66×66×118		
HZ5-10/1 M06	两种电压三极开关				66×66×118		
HZ5-10/1 M08	双速电动机用开关				66×66×131		
HZ5-10/1 M16	三速电动机用开关				66×66×214		
HZ5-20/4 L01	双极开关	380	20	4	66×66×93		φ38 3-φ4.5 或 46×46 4-φ4.5
HZ5-20/4 L02	三极开关				66×66×105		
HZ5-20/4 L03	四极开关				66×66×105		
HZ5-20/4 M04	两种电压双极开关				66×66×105		
HZ5-20/4 M05	感应电动机逆转开关				66×66×120		
HZ5-20/4 M06	两种电压三极开关				66×66×120		
HZ5-20/4 M07	星-三角启动开关				66×66×130		
HZ5-20/4 M08	双速电动机用开关				66×66×130		
HZ5-20/4 M16	三速电动机用开关				66×66×207		
HZ5-40/7.5 L01	双极开关				380	40	
HZ5-40/7.5 L02	三极开关	77×77×121					
HZ5-40/7.5 L03	四极开关	77×77×121					
HZ5-40/7.5 M04	两种电压双极开关	77×77×121					
HZ5-40/7.5 M05	感应电动机逆转开关	77×77×128					
HZ5-40/7.5 M06	两种电压三极开关	77×77×128					
HZ5-40/7.5 M07	星-三角启动开关	77×77×151					
HZ5-40/7.5 M08	双速电动机用开关	77×77×151					
HZ5-40/7.5 M16	三速电动机用开关	77×77×247					



续表 29-18

型 号	名 称	额定电压 V	额定电流 A	可控电 动机功 率 kW	外形尺寸 mm		安装尺寸 mm
					旋钮式手柄	机床手柄	
HZ5-60/10 L01	双极开关	380	60	10	102×102×115	102×102×136	φ67.5 3-φ5.5
HZ5-60/10 L02	三极开关				102×102×175	102×102×156	
HZ5-60/10 L03	四极开关				102×102×175	102×102×156	
HZ5-60/10 M04	两种电压双极开关				102×102×175	102×102×156	
HZ5-60/10 M05	感应电动机逆转开关				102×102×201	102×102×182	
HZ5-60/10 M06	两种电压三极开关				102×102×201	102×102×182	
HZ5-60/10 M07	星—三角起动开关				102×102×226	102×102×207	
HZ5-60/10 M08	双速电动机用开关				102×102×226	102×102×207	

注：“L”、“M”为定位特征代号，见表 29-16。

生产厂：北京机床电器厂。

### 2.2.2 按钮

常用的按钮分为一般按钮、紧急按钮、带灯按钮、旋转按钮、点动按钮和选择按钮几类。

(1) LA18 系列按钮 LA18 系列按钮适用于

交流 50Hz、电压 380V 或直流电压 220V、电流 5A 以下的控制电路中，作为磁力起动器、接触器、继电器及其他电气线路的远距离控制之用。该系列按钮采用积木式结构，触头数量可按需要进行拼接，触头系统为双断点双触桥对接式结构。

表 29-19 LA18 系列按钮技术数据及外形、安装尺寸

型 号	触头数量		钮 头 颜 色	外 形 尺 寸 mm	安 装 尺 寸 mm	结 构 型 式
	常 开	常 闭				
LA18-22	2	2	红、绿、黑、白	48×36×69	φ25	一般按钮
LA18-44	4	4	红、绿、黑、白	48×36×105		一般按钮
LA18-66	6	6	红、绿、黑、白	48×36×143		一般按钮
LA18-22J	2	2	红	48×36×80		紧急按钮
LA18-44J	4	4	红	48×36×116		紧急按钮
LA18-66J	6	6	红	48×36×154		紧急按钮
LA18-22Y	2	2	金属件	48×36×90		钥匙按钮
LA18-44Y	4	4	金属件	48×36×126		钥匙按钮
LA18-66Y	6	6	金属件	48×36×164		钥匙按钮
LA18-22X2	2	2	黑	48×36×87		二位式旋钮
LA18-22X3	2	2	黑	48×36×87		三位式旋钮
LA18-44X	4	4	黑	48×36×123		二位式旋钮
LA18-66X	6	6	黑	48×36×161		二位式旋钮

生产厂：上海市第二机床电器厂，天水 213 机床电器厂，青岛机床开关厂，成都机床电器厂，宁波机床电器厂。

(2) LA20 系列按钮 LA20 系列按钮适用于交流 50Hz、电压 380V 或直流电压 220V、电流 5A 以下的控制电路中，作为磁力起动器、接触器、继电器的远距离控制之用。该系列按钮有采用一个按钮

元件与信号灯组合而成的信号灯按钮，有由两个或三个按钮元件组合而成的二组或三组开启式与保护式按钮。信号灯按钮兼作信号灯的灯罩，并具有各种颜色。

表 29-20 LA20 系列按钮技术数据及外形、安装尺寸

型 号	触头数量		元件数	钮头颜色	信号灯		外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	结构型式
	常开	常闭			电压 V	功率 W			
LA20-11	1	1	1	红、绿、黄、蓝、白			43×31×67	φ25	平钮
LA20-11J	1	1	1	红			43×31×77	φ25	紧急钮
LA20-11D	1	1	1	红、绿、黄、蓝、白	6	1	43×31×67	φ25	带灯钮
LA20-11DJ	1	1	1	红	6	<1	43×31×77	φ25	带灯紧急钮
LA20-22	2	2	1	红、绿、黄、蓝、白、黑			43×31×92	φ25	平钮
LA20-22J	2	2	1	红			43×31×102	φ25	紧急钮
LA20-22D	2	2	1	红、绿、黄、蓝、白	6	<1	43×31×92	φ25	带灯钮
LA20-22DJ	2	2	1	红	6	<1	43×31×102	φ25	带灯紧急钮
LA20-2K	2	2	2	红-白、绿-红			72×52×44	58 2-φ4.5	组合钮、开启式
LA20-3K	3	3	3	红-绿-白			95×52×44	81 2-φ4.5	组合钮、开启式
LA20-2H	2	2	2	红-白、绿-红			78×52×48	30×24 2-φ4.5	组合钮、开启式
LA20-3H	3	3	3	红-绿-白			101×52×48	52×24 2-φ4.5	组合钮、开启式

生产厂：上海第二机床电器厂、宁波机床电器厂。

(3) LAY1 系列按钮 LAY1 系列按钮适用于交流 50 或 60Hz、电压 380V 或直流电压 220V、电流 5A 的控制电路中，作为磁力起动器、接触器及其他电气线路的远距离控制之用。该系列按钮采用通

用基座，触头数量可按要求进行组合，最多至四对常开和四对常闭触点，有多种型式的钮头，以构成各种用途的按钮。LAY1 系列按钮还配有各种指示标牌，供用户选用。该系列按钮均采用 φ31 孔安装。

表 29-21 LAY1 系列按钮指示标牌

序号	标牌名称	序号	标牌名称	序号	标牌名称	序号	标牌名称
1	通	13	自动	25	受信	51	0/1/2
2	断	14	复位	26	紧急停	52	1/0/2
3	起动	15	上升	31	断/通	53	断/起动/运转
4	停止	16	下降	32	停止/起动	54	手动/断/自转
5	点动	17	开	33	点动/运转	55	反转/断/正转
6	运转	18	关	34	手动/自动	56	低速/停止/高速
7	正转(向前)	19	左	35	反转/正转	57	开/断/关
8	反转(向后)	20	右	36	低速/高速	58	下降/断/上升
9	高速	21	高	37	开/关	59	1/2/3
10	中速	22	低	38	下降/上升	60	本机/断/电屏
11	低速	23	试验	39	1/2		
12	手动	24	微动	40	本机/电屏		

表 29-22 LAY1 系列按钮技术数据及外形尺寸

型 号	常开、常闭触头组合形式	钮头颜色	外形尺寸 mm	结构型式
LAY1-□□	11、01、10、22、02、20、12、21	红、黄、绿、黑	50×47×81	平钮
LAY1-□□	33、03、30、13、31、23、32、44、 04、40、14、41、24、42、34、43	红、黄、绿、黑	50×47×125	平钮
LAY1-□□/1	11、01、10、22、02、20、12、21	红、黄、绿、黑	50×47×92	高护罩一般钮

续表 29-22

型 号	常开、常闭触头组合形式	钮 头 颜 色	外形尺寸 mm	结 构 型 式
LAY1-□□/1	33, 03, 30, 13, 31, 23, 32, 44, 04, 40, 14, 41, 24, 42, 34, 43	红、黄、绿、黑	50×47×136	高护罩一般钮
LAY1-□□J/2	01, 02	红	50×47×94	紧急钮(蘑菇头 φ40)
LAY1-□□J/2	03, 04	红	50×47×138	紧急钮(蘑菇头 φ40)
LAY1-□□J/3	01, 02	红	φ62×96	紧急钮(蘑菇头 φ60)
LAY1-□□J/3	03, 04	红	φ62×140	紧急钮(蘑菇头 φ60)
LAY1-□□J/4	01, 02	红	φ82×99	紧急钮(蘑菇头 φ80)
LAY1-□□J/4	03, 04	红	φ82×140	紧急钮(蘑菇头 φ80)
LAY1-□□D	11, 01, 10, 22, 02, 20, 12, 21	红、黄、绿、蓝、无色	50×47×95	带灯钮
LAY1-□□D	33, 03, 30, 13, 31, 23, 32, 44, 04, 40, 14, 41, 24, 42, 34, 43	红、黄、绿、蓝、无色	50×47×138	带灯钮
LAY1-□□DJ/2	01, 02	红	50×47×96	带灯紧急钮(蘑菇头 φ40)
LAY1-□□DJ/2	03, 04	红	50×47×139	带灯紧急钮(蘑菇头 φ40)
LAY1-□□DJ/3	01, 02	红	φ62×98	带灯紧急钮(蘑菇头 φ60)
LAY1-□□DJ/3	03, 04	红	φ62×141	带灯紧急钮(蘑菇头 φ60)
LAY1-□□X	11, 22		50×47×110	旋钮(二位式)
LAY1-□□X	33, 44		50×47×154	旋钮(二位式)
LAY1-□□X/7	11, 22		50×47×110	旋钮(三位式)
LAY1-□□X/7	33, 44		50×47×154	旋钮(三位式)
LAY1-□□SX	11, 22		50×47×118	点动旋钮(二位式)
LAY1-□□SX	33, 44		50×47×162	点动旋钮(二位式)
LAY1-□□SX/7	11, 22		50×47×118	点动旋钮(三位式)
LAY1-□□SX/7	33, 44		50×47×162	点动旋钮(三位式)
LAY1-22XZ/8	22		50×47×119	选择钮
LAY1-44XZ/8	44		50×47×163	选择钮
LAY1-22XZ/9	22		50×47×119	选择钮
LAY1-44XZ/9	44		50×47×163	选择钮
LAY1-22XZ/10	22		50×47×119	选择钮
LAY1-44XZ/10	44		50×47×163	选择钮

注：“□□”处指明常开、常闭触头对数。

生产厂：上海第二机床电器厂、西安机床电器厂、宁波机床电器厂、邯郸机床电器厂、北京房山电器厂。

### 2.2.3 行程开关

行程开关(包括微动开关和接近开关)在机械设备上使用很多,用来作为机械部件限位、位置检测以及计数和测速等测量元件。普通行程开关防护一般较好,控制功率大,能用在较差的工作环境下;组合式行程开关有多个驱动头,可相继发出多个控制信号;微动开关体积较小,动作灵敏;接近开关体积小,安装方便,工作频率和动作精度高,耐震防潮,控制功率较小。行程开关的选用,主要依据工作条件选

择其种类,根据机械位置对开关动作的要求及触点数目的要求确定其型号。

(1) LX19、LX19B 系列行程开关 LX19、LX19B 系列行程开关适用于交流 50Hz、电压至 380V 或直流电压至 220V 的控制电路中,将机械讯号转变为电信号,用来控制机械动作或作程序控制之用。行程开关采用一个 LX19K 或 LX19K-B 型微动开关元件,具有一常开、一常闭各一对触头,装入铝合金外壳,可组成单轮、双轮及径向传动杆等各种传动型式的行程开关。

表 29-23 LX19、LX19B 系列行程开关技术数据

型 号	结 构 型 式	工作行程	超行程	动作力 N
LX19K LX19K-B	元件	3mm	1mm	<10
LX19-001 LX19-001B	无滚轮,仅径向传动杆,能自动复位	4mm	3mm	<15
LX19-111 LX19-111B	单轮,滚轮装在传动杆内侧,能自动复位	~30°	~20°	<20
LX19-121 LX19-121B	单轮,滚轮装在传动杆外侧,能自动复位	~30°	~20°	<20
LX19-131 LX19-131B	单轮,滚轮装在传动杆凹槽内,能自动复位	~30°	~20°	<20
LX19-212 LX19-212B	双轮,滚轮装在 U 形传动杆内侧,不能自动复位	~30°	~15°	<20
LX19-222 LX19-222B	双轮,滚轮装在 U 形传动杆外侧,不能自动复位	~30°	~15°	<20
LX19-232 LX19-232B	双轮,滚轮装在 U 形传动杆内外侧各一,不能自动复位	~30°	~15°	<20

注:触头切换时间小于 0.04s。

生产厂:北京第一机床电器厂、天津市尖山电器厂、长沙第二机床电器厂、哈尔滨机床电器厂、温州机床电器厂。

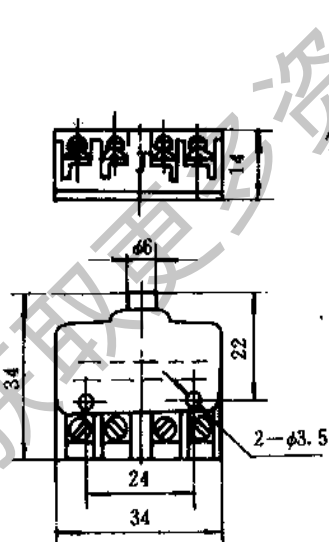


图 29-6 LX19K(-B)微动开关元件外形及安装尺寸

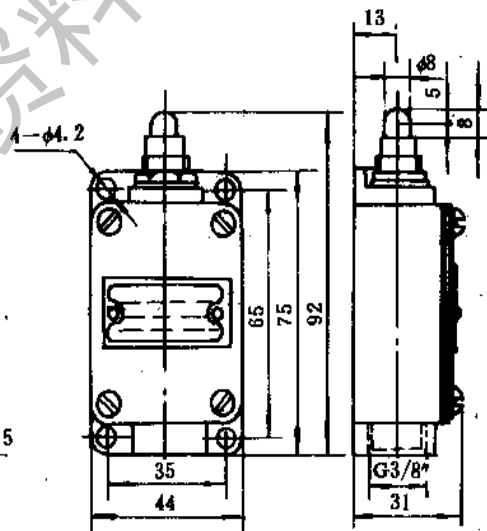


图 29-7 LX19-001(B)行程开关外形及安装尺寸

表 29-24 LXP1(3SE3)系列行程开关型号与规格

序号	型号	触头数量		动作力 N	结构形式	序号	型号	触头数量		动作力 N	结构形式
		常开	常闭					常开	常闭		
1	LXP1(3SE3)020-1A	1	1	4. 2±20% 6. 1±20%	瞬动型、开启式直动	31	LXP1(3SE3)404-3B	2	2	≥5	瞬动型、保护式直动
2	LXP1(3SE3)050-1A	1	1		瞬动型、开启式直动(有尾顶杆)	32	LXP1(3SE3)303-4B	1	2	瞬动型、保护式直动(二对交叉)	
3	LXP1(3SE3)040-1A	1	1		瞬动型、开启式直动	33	LXP1(3SE3)303-5B	2	1	瞬动型、保护式直动(二对交叉)	
4	LXP1(3SE3)020-0A	1	1		瞬动型、开启式直动	34	LXP1(3SE3)100-0C	1	1	瞬动型、保护式直动	
5	LXP1(3SE3)040-0A	1	1		瞬动型、开启式直动(有尾顶杆)	35	LXP1(3SE3)120-0C	1	1	瞬动型、保护式直动	
6	LXP1(3SE3)020-2A	1	1		瞬动型、开启式直动	36	LXP1(3SE3)303-0C	1	2	瞬动型、保护式直动	
7	LXP1(3SE3)040-2A	1	1		瞬动型、开启式直动(有尾顶杆)	37	LXP1(3SE3)404-0C	2	2	瞬动型、保护式直动	
8	LXP1(3SE3)020-3A	1	1		瞬动型、开启式直动	38	LXP1(3SE3)100-1C	1	1	瞬动型、保护式直动	
9	LXP1(3SE3)040-3A	1	1		瞬动型、开启式直动(有尾顶杆)	39	LXP1(3SE3)120-1C	1	1	瞬动型、保护式直动	
10	LXP1(3SE3)023-0A	1	2		瞬动型、开启式直动	40	LXP1(3SE3)303-1C	2	1	瞬动型、保护式直动	
11	LXP1(3SE3)023-1A	2	1		瞬动型、开启式直动(一对交叉)	41	LXP1(3SE3)404-1C	2	2	瞬动型、保护式直动	
12	LXP1(3SE3)023-2A	1	2		瞬动型、开启式直动(一对交叉)	42	LXP1(3SE3)100-2C	1	1	瞬动型、保护式直动	
13	LXP1(3SE3)023-3A	2	1		瞬动型、开启式直动(一对交叉)	43	LXP1(3SE3)120-2C	1	1	瞬动型、保护式直动	
14	LXP1(3SE3)023-4A	1	2		瞬动型、开启式直动(二对交叉)	44	LXP1(3SE3)303-2C	1	2	瞬动型、保护式直动	
15	LXP1(3SE3)023-5A	2	1		瞬动型、开启式直动(二对交叉)	45	LXP1(3SE3)404-2C	2	2	瞬动型、保护式直动(一对交叉)	
16	LXP1(3SE3)100-0B	1	1	瞬动型、保护式直动	46	LXP1(3SE3)100-3C	1	1	瞬动型、保护式直动(二对交叉)		
17	LXP1(3SE3)120-0B	1	1	瞬动型、保护式直动	47	LXP1(3SE3)120-3C	1	1	瞬动型、保护式直动(二对交叉)		
18	LXP1(3SE3)303-0B	1	2	瞬动型、保护式直动	48	LXP1(3SE3)303-3C	1	1	瞬动型、保护式直动(一对交叉)		
19	LXP1(3SE3)404-0B	2	2	瞬动型、保护式直动	49	LXP1(3SE3)404-3C	2	2	瞬动型、保护式直动		
20	LXP1(3SE3)100-1B	1	1	瞬动型、保护式直动	50	LXP1(3SE3)303-4C	1	2	瞬动型、保护式直动(二对交叉)		
21	LXP1(3SE3)120-1B	1	1	瞬动型、保护式直动	51	LXP1(3SE3)303-5C	2	1	瞬动型、保护式直动(二对交叉)		
22	LXP1(3SE3)303-1B	2	1	瞬动型、保护式直动	52	LXP1(3SE3)100-0D	1	1	瞬动型、保护式直动		
23	LXP1(3SE3)404-1B	2	2	瞬动型、保护式直动	53	LXP1(3SE3)120-0D	1	1	瞬动型、保护式直动		
24	LXP1(3SE3)100*2B	1	1	瞬动型、保护式直动	54	LXP(3SE3)303-0D	1	2	瞬动型、保护式直动		
25	LXP1(3SE3)120-2B	1	1	瞬动型、保护式直动	55	LXP1(3SE3)404-0D	2	2	瞬动型、保护式直动		
26	LXP1(3SE3)303-2B	1	2	瞬动型、保护式直动(一对交叉)	56	LXP1(3SE3)100-1D	1	1	瞬动型、保护式直动		
27	LXP1(3SE3)404-2B	2	2	瞬动型、保护式直动(二对交叉)	57	LXP1(3SE3)120-1D	1	1	瞬动型、保护式直动		
28	LXP1(3SE3)100-3B	1	1	瞬动型、保护式直动	58	LXP1(3SE3)303-1D	2	1	瞬动型、保护式直动		
29	LXP1(3SE3)120-3B	1	1	瞬动型、保护式直动							
30	LXP1(3SE3)303-3B	2	1	瞬动型、保护式直动(一对交叉)							

请通过浏览器提醒：  
禁用本复制品  
保护知识产权！





续表 29-24

序号	型号	触头数量		动作力 N	结构形式	序号	型号	触头数量		动作力 N	结构形式					
		对	常开常闭					对	常开常闭							
59	LXPI(3SE3)404-1D	2	2	≥13	联动型、保护式滚轮直动	89	LXPI(3SE3)120-0F	1	1	≥5	联动型、保护式杠杆					
60	LXPI(3SE3)100-2D	1	1		联动型、保护式滚轮直动	90	LXPI(3SE3)303-0F	1	2		联动型、保护式滚轮直动	91	LXPI(3SE3)404-0F	2	2	联动型、保护式滚轮直动
61	LXPI(3SE3)120-2D	1	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	92	LXPI(3SE3)100-1F	1	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	93	LXPI(3SE3)120-1F	1	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)
62	LXPI(3SE3)303-2D	1	2		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	94	LXPI(3SE3)303-1F	2	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	95	LXPI(3SE3)404-1F	2	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)
63	LXPI(3SE3)404-2D	2	2		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	96	LXPI(3SE3)100-2F	1	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	97	LXPI(3SE3)120-2F	1	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)
64	LXPI(3SE3)100-3D	1	1		联动型、保护式滚轮直动	98	LXPI(3SE3)303-2F	1	2		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	99	LXPI(3SE3)404-2F	2	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)
65	LXPI(3SE3)120-3D	1	1		联动型、保护式滚轮直动	100	LXPI(3SE3)100-3F	1	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	101	LXPI(3SE3)120-3F	1	1	联动型、保护式滚轮直动
66	LXPI(3SE3)303-3D	2	1		联动型、保护式滚轮直动	102	LXPI(3SE3)303-3F	2	2		联动型、保护式滚轮直动	103	LXPI(3SE3)404-3F	2	2	联动型、保护式滚轮直动
67	LXPI(3SE3)404-3D	2	2		联动型、保护式滚轮直动	104	LXPI(3SE3)303-4F	1	2		联动型、保护式滚轮直动	105	LXPI(3SE3)303-4F	2	1	联动型、保护式滚轮直动
68	LXPI(3SE3)303-4D	1	2		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	106	LXPI(3SE3)100-0G(H)	1	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	107	LXPI(3SE3)120-0G(H)	1	1	联动型、保护式滚轮直动
69	LXPI(3SE3)303-5D	2	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	108	LXPI(3SE3)303-0G(H)	1	2		联动型、保护式滚轮直动	109	LXPI(3SE3)404-0G(H)	2	2	联动型、保护式滚轮直动
70	LXPI(3SE3)100-0E	1	1		联动型、保护式滚轮直动	110	LXPI(3SE3)100-1G(H)	1	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	111	LXPI(3SE3)120-1G(H)	1	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)
71	LXPI(3SE3)120-0E	1	1		联动型、保护式滚轮直动	112	LXPI(3SE3)303-1G(H)	2	1		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	113	LXPI(3SE3)404-1G(H)	2	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)
72	LXPI(3SE3)303-0E	1	2		联动型、保护式滚轮直动	114	LXPI(3SE3)303-2G(H)	1	2		联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	115	LXPI(3SE3)404-2G(H)	2	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)
73	LXPI(3SE3)404-0E	2	2	联动型、保护式滚轮直动	116	LXPI(3SE3)100-3G(H)	1	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)	117	LXPI(3SE3)120-3G(H)	1	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)		
74	LXPI(3SE3)100-1E	1	1	联动型、保护式滚轮直动	118	LXPI(3SE3)303-3G(H)	2	1	联动型、保护式滚轮直动							
75	LXPI(3SE3)120-1E	1	1	联动型、保护式滚轮直动												
76	LXPI(3SE3)303-1E	2	1	联动型、保护式滚轮直动												
77	LXPI(3SE3)404-1E	2	2	联动型、保护式滚轮直动												
78	LXPI(3SE3)100-2E	1	1	联动型、保护式滚轮直动												
79	LXPI(3SE3)120-2E	1	1	联动型、保护式滚轮直动												
80	LXPI(3SE3)303-2E	1	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
81	LXPI(3SE3)404-2E	2	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
82	LXPI(3SE3)100-3E	1	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
83	LXPI(3SE3)120-3E	1	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
84	LXPI(3SE3)303-3E	2	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
85	LXPI(3SE3)404-3E	2	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
86	LXPI(3SE3)303-4E	1	2	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
87	LXPI(3SE3)303-5E	2	1	联动型、保护式滚轮直动(一对交叉)												
88	LXPI(3SE3)100-0F	1	1	联动型、保护式滚轮直动												

浏览器提醒您：  
请勿复制  
相关产品  
知识产权！

微取奥科 行星球



超星浏览器提醒您：  
使用日本复制品  
尊重相关知识产权！

续表 29-24

序号	型号	触头数量 对	动作力 N	结构形式	序号	型号	触头数量 对	动作力 N	结构形式
119	LXP1(3SE3)404-3G(H)	2	≥9	蜗动型,保护式单轮	149	LXP1(3SE3)303-2V(P)	1	2	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
120	LXP1(3SE3)303-4G(H)	1		蜗动型,保护式单轮(二对交叉)	150	LXP1(3SE3)404-2V(P)	2	2	蜗动型,保护式杠杆可调(二对交叉)
121	LXP1(3SE3)303-5G(H)	2		蜗动型,保护式单轮(二对交叉)	151	LXP1(3SE3)100-3V(P)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
122	LXP1(3SE3)120-0J(K)	1		蜗动型,保护式单轮	152	LXP1(3SE3)120-3V(P)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
123	LXP1(3SE3)120-1J(K)	1		蜗动型,保护式单轮	153	LXP1(3SE3)303-3V(P)	2	1	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
124	LXP1(3SE3)120-3J(K)	1		蜗动型,保护式单轮(一对交叉)	154	LXP1(3SE3)404-3V(P)	2	2	蜗动型,保护式杠杆可调
125	LXP1(3SE3)100-0U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	155	LXP1(3SE3)303-4V(P)	1	2	蜗动型,保护式杠杆可调(二对交叉)
126	LXP1(3SE3)120-0U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	156	LXP1(3SE3)303-5V(P)	2	1	蜗动型,保护式杠杆可调(二对交叉)
127	LXP1(3SE3)303-0U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	157	LXP1(3SE3)100-0W(Q)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调
128	LXP1(3SE3)404-0U(N)	2		蜗动型,保护式滚轮可调	158	LXP1(3SE3)120-0W(Q)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调
129	LXP1(3SE3)100-1U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	159	LXP1(3SE3)303-0W(Q)	1	2	蜗动型,保护式杠杆可调
130	LXP1(3SE3)120-1U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	160	LXP1(3SE3)404-0W(Q)	2	2	蜗动型,保护式杠杆可调
131	LXP1(3SE3)303-1U(N)	2		蜗动型,保护式滚轮可调	161	LXP1(3SE3)100-1W(Q)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调
132	LXP1(3SE3)404-1U(N)	2		蜗动型,保护式滚轮可调(一对交叉)	162	LXP1(3SE3)120-1W(Q)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调
133	LXP1(3SE3)303-2U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调(二对交叉)	163	LXP1(3SE3)303-1W(Q)	2	1	蜗动型,保护式杠杆可调
134	LXP1(3SE3)404-2U(N)	2		蜗动型,保护式滚轮可调(二对交叉)	164	LXP1(3SE3)404-1W(Q)	2	2	蜗动型,保护式杠杆可调
135	LXP1(3SE3)100-3U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调(一对交叉)	165	LXP1(3SE3)303-2W(Q)	1	2	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
136	LXP1(3SE3)120-3U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调(一对交叉)	166	LXP1(3SE3)404-2W(Q)	2	2	蜗动型,保护式杠杆可调(二对交叉)
137	LXP1(3SE3)303-3U(N)	2		蜗动型,保护式滚轮可调(一对交叉)	167	LXP1(3SE3)100-3W(Q)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
138	LXP1(3SE3)404-3U(N)	2		蜗动型,保护式滚轮可调(一对交叉)	168	LXP1(3SE3)120-3W(Q)	1	1	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
139	LXP1(3SE3)303-4U(N)	1		蜗动型,保护式滚轮可调(二对交叉)	169	LXP1(3SE3)303-3W(Q)	2	1	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
140	LXP1(3SE3)303-5U(N)	2		蜗动型,保护式滚轮可调(二对交叉)	170	LXP1(3SE3)404-3W(Q)	2	2	蜗动型,保护式杠杆可调(一对交叉)
141	LXP1(3SE3)100-0V(P)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	171	LXP1(3SE3)303-4W(Q)	1	2	蜗动型,保护式杠杆可调
142	LXP1(3SE3)120-0V(P)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	172	LXP1(3SE3)303-5W(Q)	2	1	蜗动型,保护式杠杆可调
143	LXP1(3SE3)303-0V(P)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	173	LXP1(3SE3)100-1R	1	1	蜗动型,保护式弹簧杆
144	LXP1(3SE3)404-0V(P)	2		蜗动型,保护式滚轮可调	174	LXP1(3SE3)120-1R	1	1	蜗动型,保护式弹簧杆
145	LXP1(3SE3)100-1V(P)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	175	LXP1(3SE3)100-1T	1	1	蜗动型,保护式双轮
146	LXP1(3SE3)120-1V(P)	1		蜗动型,保护式滚轮可调	176	LXP1(3SE3)120-1T	1	1	蜗动型,保护式双轮
147	LXP1(3SE3)303-1V(P)	2		蜗动型,保护式滚轮可调	177	LXP1(3SE3)404-1T	2	2	蜗动型,保护式双轮
148	LXP1(3SE3)404-1V(P)	2		蜗动型,保护式滚轮可调				≥5	蜗动型,保护式双轮

注:G(H)型:插杆可调的(阻尼)驱动头;J(K)型:驱动头;U(N)形:(阻尼)驱动头;V(P)型:插杆(阻尼)驱动头;W(Q)型:塑料杆(阻尼)驱动头。  
生产厂:上海第一机床电器厂,北京第一机床电器厂。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
37.5%重相关知识产权！

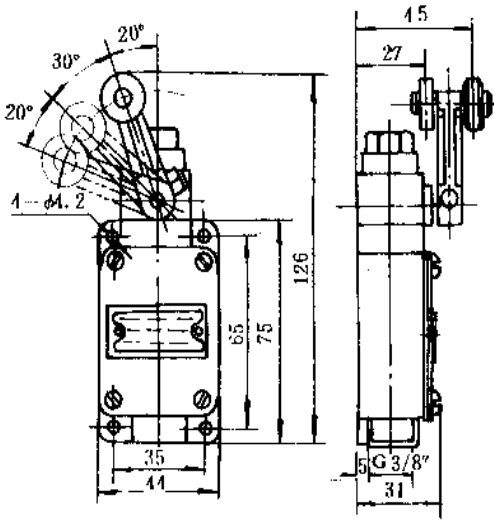


图 29-8 LX19-111(B), LX19-121(B)  
行程开关外形及安装尺寸

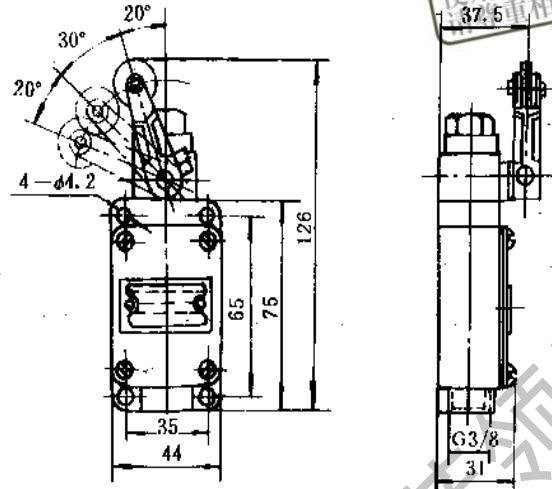


图 29-9 LX19-131(B)行程  
开关外形及安装尺寸

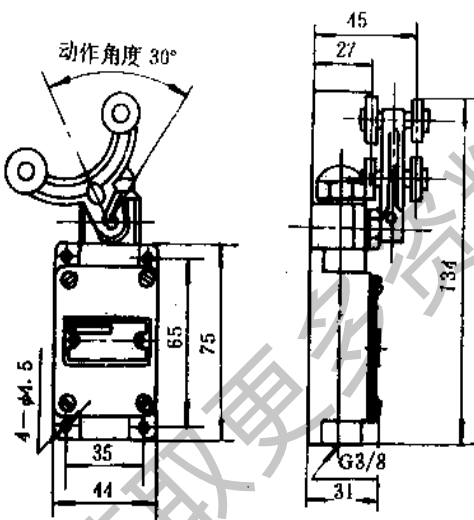


图 29-10 LX19-212(B), LX19-222(B)  
行程开关外形及安装尺寸

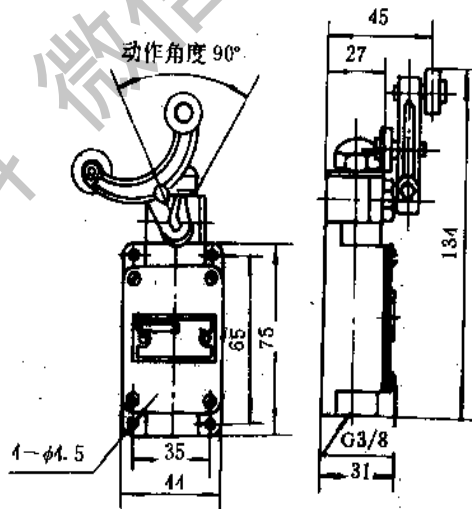


图 29-11 LX19-232(B)行程  
开关外形及安装尺寸

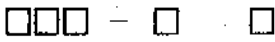
(2) LXP1(3SE3)系列行程开关 LXP1(3SE3)系列行程开关用于交流 50Hz 或 60Hz、电压 380V 或直流电压 220V、电流 10A 以内的控制电路和辅助电路中,控制机械行程和速度之用,重复动作

精度可达 0.02mm。该系列行程开关开关元件和驱动头种类各有十几种,又分为开启式和防护式两大类,所以其品种相当多。

其型号含义如下:

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

LXP1(3SE3)



A: 开启式行程开关、开关元件  
B、C、D……: 防护式驱动头的型式

二级

- 0 蠕动开关
- 1 瞬动开关
- 2 蠕动大行程开关
- 3 蠕动交叉开关

三级(蠕动)

- 0: 一常开二常闭一般行程
- 1: 二常开一常闭一般行程
- 2: 一常开二常闭交叉行程
- 3: 二常开一常闭交叉行程
- 4: 二常开二常闭交叉行程
- 5: 二常开二常闭交叉行程

- 000: 开关元件
- 010: 开关元件(有尾顶杆)
- 020: 开启式行程开关
- 040: 开启式行程开关(有尾顶杆)
- 050: 开启式行程开关(有防护罩)
- 003: 三极开关元件
- 023: 三极开启式行程开关
- 100: 二极防护外壳, 宽型
- 120: 二极防护外壳, 窄型
- 303: 三极防护外壳
- 404: 四极防护外壳

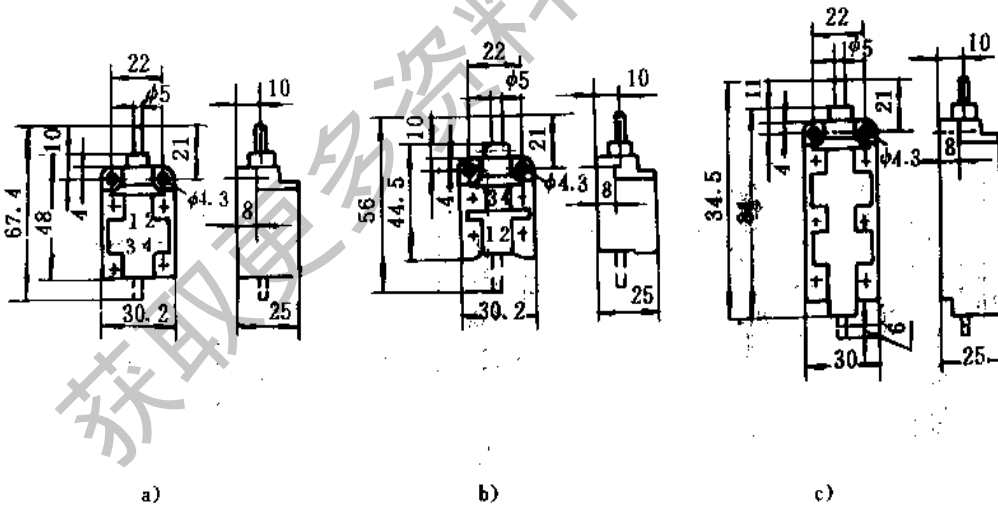


图 29-12 LXP1(3SE3)系列开启式行程开关外形及安装尺寸  
a) 二极蠕动开启式; b) 二极瞬动开启式; c) 三极开启式

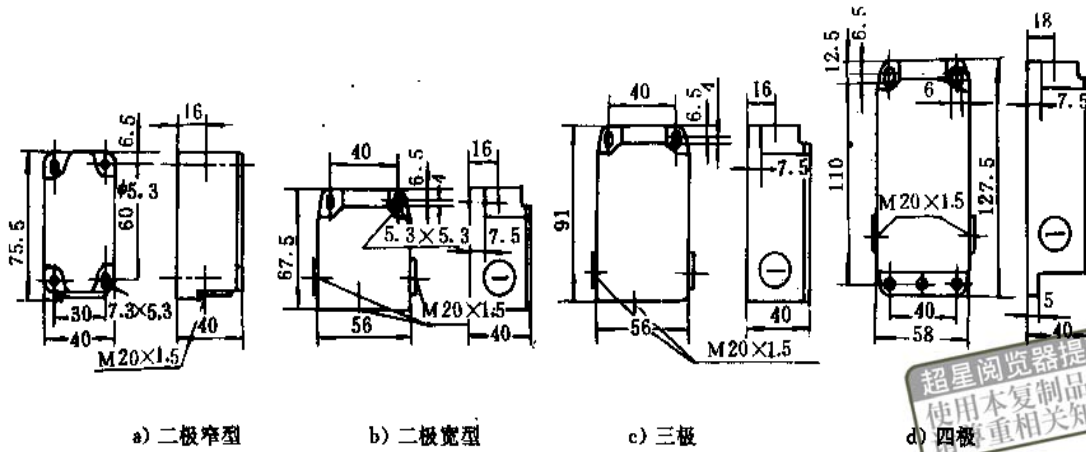


图 29-13 LXP1(3SE3)系列行程开关防护外壳外形及安装尺寸

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
重相关知识产权！

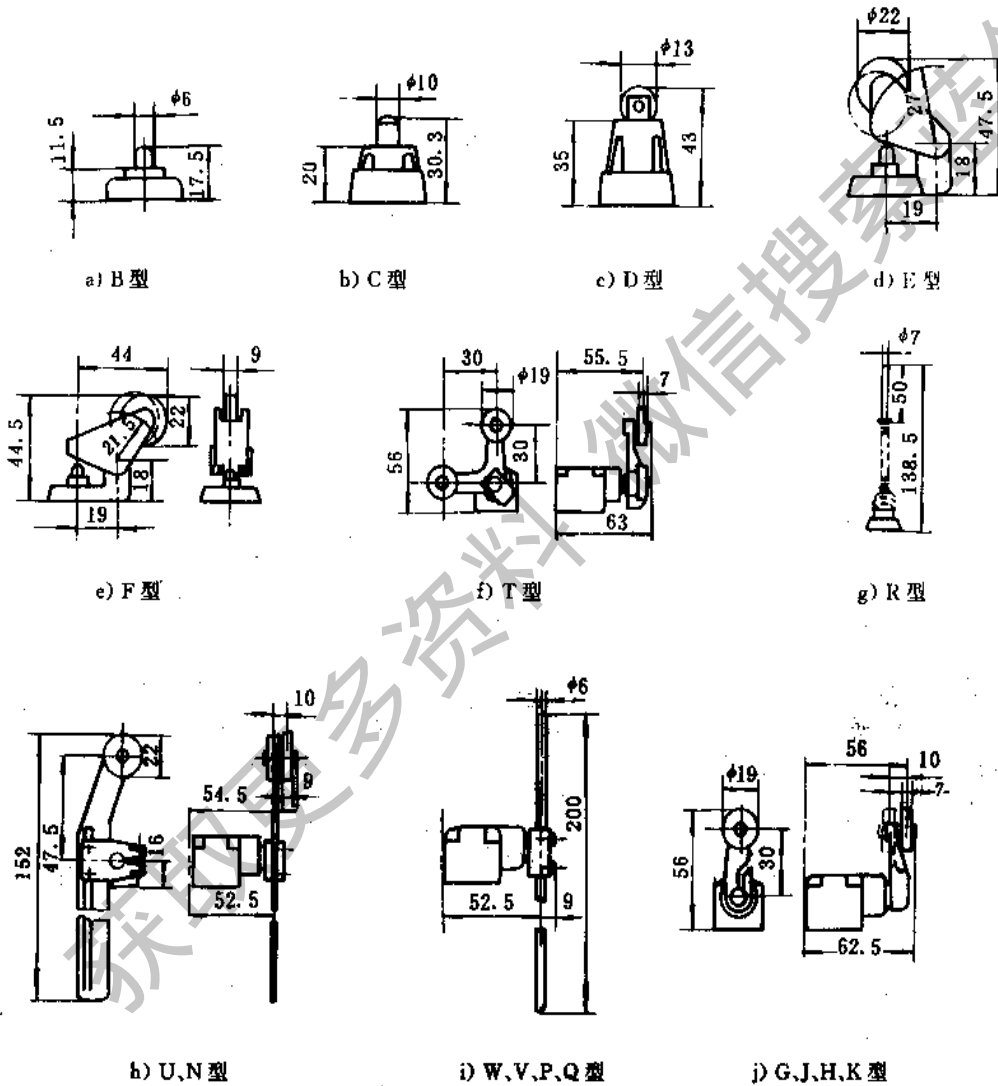
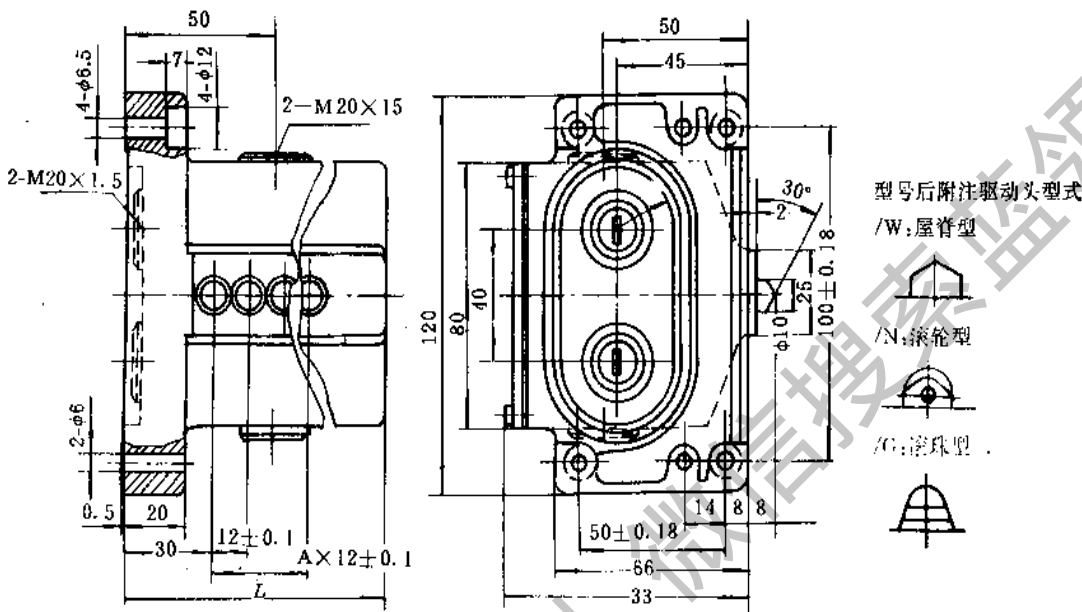


图 29-14 LXP1(3SE3)系列行程开关驱动头

(3) LXZ1 系列组合式行程开关 LXZ1 系列组合式行程开关适用于交流 50Hz、220V 或直流 220V、15A 以下的控制电路中实现限位、定位、信号控制及程序转换等功能。该系列行程开关的开关元

件是一个微开距开关,具有类似分析天平一样的结构,因此开关动作灵活、转换速度快、定位精度高,特别适用于要求定位准确的场合,普通型重复精度可达 0.02mm,精密型重复精度可达 0.005mm。

表 29-25 LXZ1 系列组合式行程开关技术数据、外形及安装尺寸



型 号	驱动头数	动作行程 mm	超行程 mm	驱动力 N	外形尺寸	
					A	L mm
LXZ1-02L	2	2±0.5	≥2	15~18	1	68
LXZ1-03L	3				2	80
LXZ1-04L	4				3	92
LXZ1-05L	5				4	104
LXZ1-06L	6				5	116
LXZ1-08L	8				7	140

生产厂:北京第一机床电器厂。

(4) LXW6-11 系列微动开关 LXW6-11 系列微动开关适用于交流 50Hz、380V、35A 或直流 220V、3A 的控制电路中作行程控制或限位保护之用。该系列微动开关都具有常开、常闭触头，具有多种驱动形式。生产厂为沈阳 213 机床电器厂。

表 29-26 LXW6-11 系列微动开关驱动形式

型 号	驱 动 机 构 特 征
LXW6-11	基型
LXW6-11CG	长杠杆驱动
LXW6-11DG	短杠杆驱动
LXW6-11CL	长杠杆带滚轮驱动
LXW6-11DL	短杠杆带滚轮驱动
LXW6-11DCL	单方向长杠杆带滚轮驱动
LXW6-11DDL	单方向短杠杆带滚轮驱动
LXW6-11CA	长按钮驱动
LXW6-11DA	短按钮驱动
LXW6-11BZ	带安装螺母、长按钮驱动
LXW6-11ZL	带安装螺母、纵向滚轮驱动
LXW6-11HL	带安装螺母、横向滚轮驱动

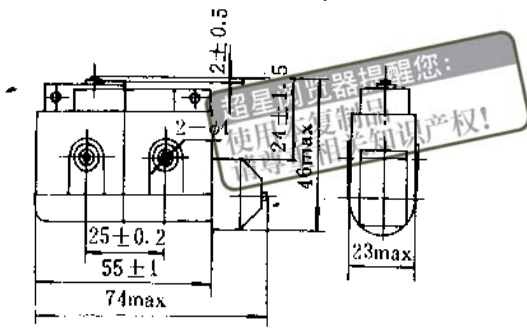


图 29-15 LXW6-11 微动开关元件外形及安装尺寸

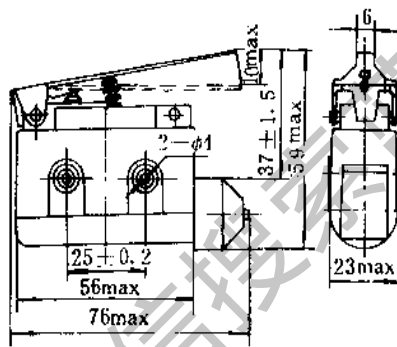


图 29-16 LXW6-11CG 微动开关外形及安装尺寸

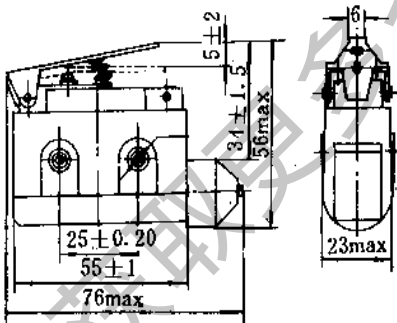


图 29-17 LXW6-11DG 微动开关外形及安装尺寸

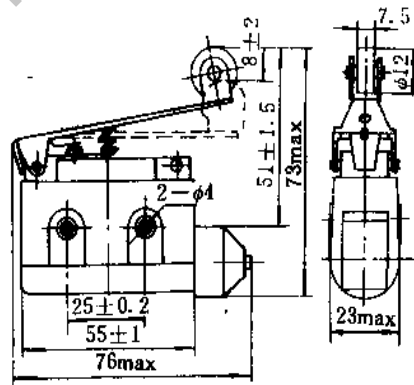


图 29-18 LXW6-11CL 微动开关外形及安装尺寸



755  
 超星阅读器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权！

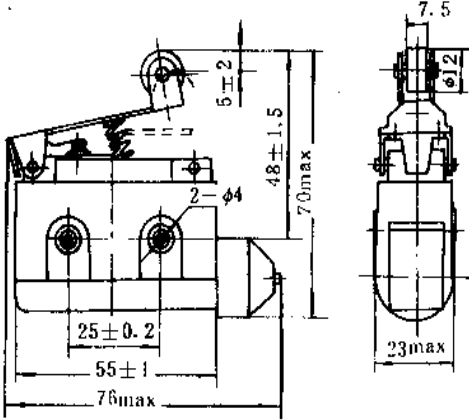


图 29-19 LXW6-11DL 微动开关  
外形及安装尺寸

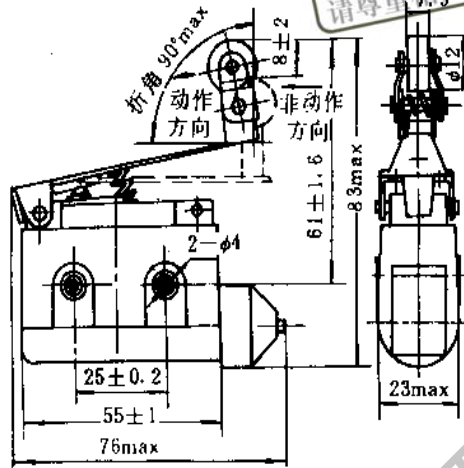


图 29-20 LXW6-11DCL 微动开关  
外形及安装尺寸

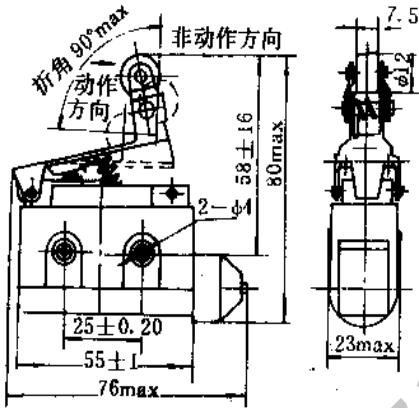


图 29-21 LXW6-11DDL 微动开关  
外形及安装尺寸

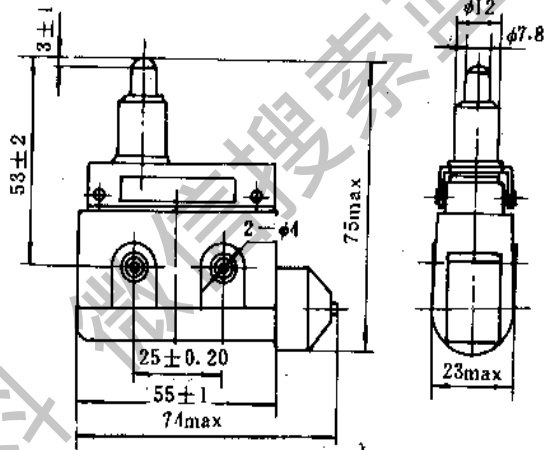


图 29-22 LXW6-11CA 微动开关  
外形及安装尺寸

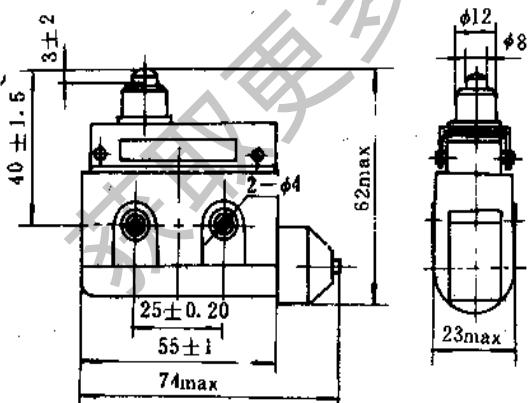


图 29-23 LXW6-11DA 微动开关  
外形及安装尺寸

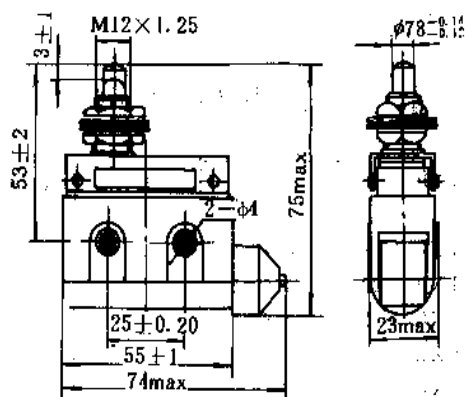


图 29-24 LXW6-11BZ 微动开关  
外形及安装尺寸

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

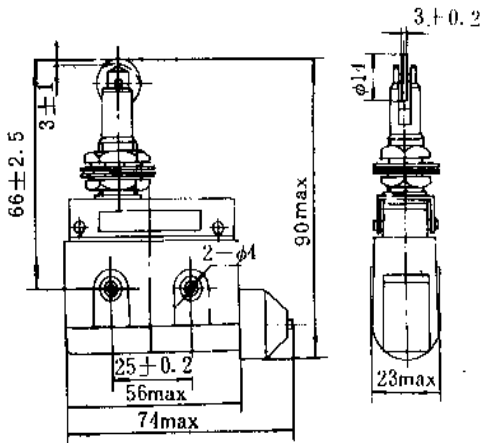


图 29-25 LXW6-11ZL 微动开关  
外形及安装尺寸

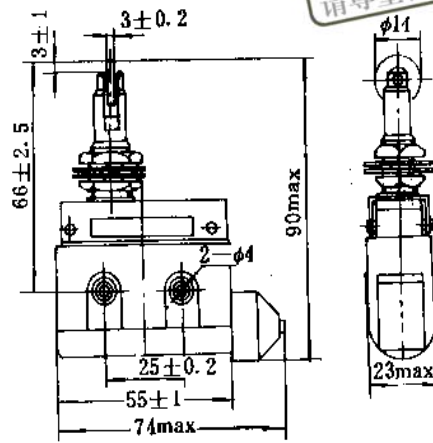


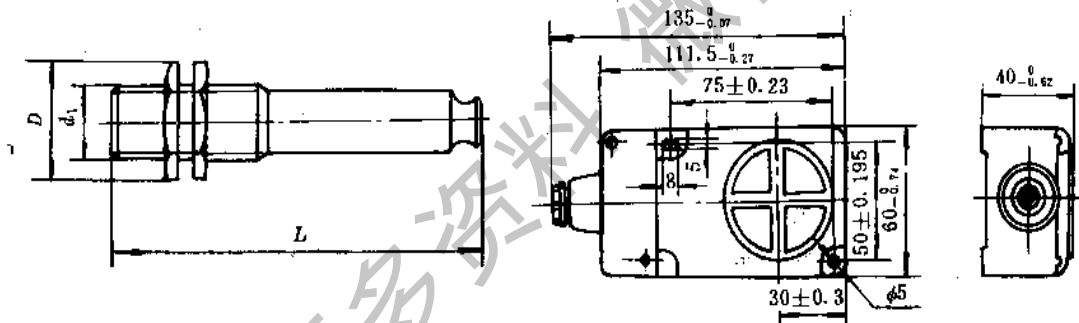
图 29-26 LXW6-11HL 微动开关  
外形及安装尺寸

(5) LXJ6、LXJ7 系列交流二线式接近开关  
LXJ6、LXJ7 系列交流二线式接近开关,用于交流 50~60Hz,电压 100~250V 的线路中,作机床或自动线的定位或检测信号用,当运动的金属接近本开关的感应面并达到作用距离时,开关无接触、无压力地

发出检测信号,用以驱动小容量接触器或中间继电器。

LXJ6 型开关呈方形,感应头在壳体有中心标志的一方,LXJ7 型开关采用螺母直接紧固的筒式结构,都用环氧树脂封固,外壳材料采用增强尼龙。

表 29-27 LXJ6、LXJ7 系列接近开关技术数据及外形、安装尺寸



型 号	作用距离 mm	复位行程差 mm	额定工作电压 V	输出能力		重复精度 mm	外形及安装尺寸 mm		
				长 期	瞬 时		$d_1$	$D$	$L$
LXJ6-2/18	2±1	∠1	AC100~250	30~200mA	1A (t≤20ms)	0.15	M18	29	79
LXJ6-4/18	4±1	∠2					M22	35	79
LXJ6-4/22	4±1								
LXJ6-6/22	6±1								
LXJ6-8/30	8±1								
LXJ6-10/30	10±1								
LXJ7-10	10±2.5	∠0.2				0.5	见图		
LXJ7-15	15±2.5	∠0.3							
LXJ7-20	20±2.5	∠0.4							

生产厂:沈阳 213 机床电器厂。

(6) LXJ8(3SG)系列接近开关 LXJ8(3SG) 控制线路中作机构限位、检测、计数、测速等用。系列感应式接近开关适用于宽范围交流及直流电气

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-28 LXJ8 系列接近开关技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定电压 V	额定动作 距离 mm	动作频率 Hz	重复定位精 度 mm	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	感应面 位 置
LXJ8 3231-OAH31	DC10~30	1	800	0.02	M8×40	M8	前
LXJ8 2231-OAJ81	DC20~30	1	3000	0.02	M8×50	M8	前
LXJ8 3232-OAJ33	DC6~30	2	500	0.06	M12×61	M12	前
LXJ8 3234-OAJ33	DC6~30	5	180	0.15	M18×82	M18	前
LXJ8 3234-ONR01	AC30~250	8	15	0.2	M18×82	M18	前
LXJ8 3266-1BR86	AC30~250	25	15	0.5	119×60×40	45×45 2-5.3 ×7.3(长圆孔)	上
LXJ8 3202-ONJ33	DC6~30	5	100	0.15	56×27×12	M14×1	前
LXJ8 2220-3FJ31	DC20~30	(槽宽×深) 2.6×15	100	≤0.1	27×10×20	20 2-3.5×6 (长圆孔)或 M14×1	槽中
LXJ8 3275-1FJ86	DC10~30	15	60	0.5	118×40×40	30×60 2-5.3 ×7.3(长圆孔)	可转换

生产厂：上海第二机床电器厂。

### 2.3 控制继电器

控制继电器是将输入继电器的电量或非电量转换为触头的机械运动，以达到控制电路的目的。主要有中间继电器及时间继电器等。

中间继电器主要在电路中起信号传递、转换和隔离作用，用它可实现多路控制，可将小功率的控制信号转换为大容量的触点动作以驱动电气执行元件工作。中间继电器根据线圈电源的不同又分为直流继电器和交流继电器。随着微电子技术的发展，小型

继电器现在也被广泛地使用，其体积小，控制功率较小，线圈电压为直流，与微电子控制系统接口方便，起到控制信号的放大、隔离作用。选择中间继电器主要依据控制电路的电压种类和等级以及触点的数量、容量和种类等。

时间继电器用于控制用电设备的延时或定时动作，如起动、停止、换向等。时间继电器主要种类如表 29-29 所示。选择时间继电器主要依据控制回路的特点及延时时间长短来选择时间继电器的种类，再依据触点数量、容量及线圈电压选择具体的型号。

表 29-29 时间继电器分类及特点

种 类	原 理	特 点
电磁式时间继电器	利用电磁惯性制成	结构简单，延时时间较短，允许操作频率高，应用在直流线路中
空气阻尼式时间继电器	利用空气阻尼原理制成	工作可靠，延时时间范围较大，应用较广
电动式时间继电器	利用同步电动机，减速机构的精确转速制成	结构复杂，体积较大，延时范围大，可达数十小时以上，延时精度较高，抗干扰能力强
电子式时间继电器	利用电子延时线路、计数电路等原理制成	体积小，延时范围较大，精度较高。采用集成电路的时间继电器精度更高，延时范围更大，还可配数显，是发展趋势

(1) JZ7、JDZ 系列中间继电器 JZ7、JDZ 系列中间继电器适用于交流 50Hz，电压 380V 或直流电压 220V，5A 以下的控制电路中，主要用来控制各

种电磁线圈，以使讯号得到放大、隔离，或将讯号同时传给各种有关的控制元件，其中 JDZ 为新产品。

表 29-30 JZ7、JDZ 系列中间继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定电压 V		额定电 流 A	触头数量		操作频率 次/h	通电率 %	线圈电压 V 50 或 60Hz	外形尺寸	安装尺寸
	交流	直流		常开	常闭				mm	mm
JZ7-44	380	220	5	4	4	1200	40	12、36、110、 127、220、380、 420、440	66×52×90	54×36
JZ7-62				6	2					2-φ5
JZ7-80				8	0					
JDZ-22				2	2			24、48、 110、127、 220、380	65×46×85	54×36
JDZ-40				4	0					2-5×6
JDZ-44				4	4				65×46×98	(长圆孔)
JDZ-62				6	2					
JDZ-80				8	0					

生产厂：北京机床电器厂、上海机床电器厂、沈阳 213 机床电器厂、苏州机床电器厂、天水 213 机床电器厂、长沙机床电器厂、桂林机床电器厂、西安机床电器厂、宁波机床电器厂、济南机床电器厂。

(2) JZC1、JZC2 系列接触器式继电器 JZC1、JZC2 (3TH) 系列辅助接触器 (又称接触器式继电器) 适用于交流 50Hz 或 60Hz, 额定电压至 660V, 直流电压至 600V、10A 的控制电路中, 用来控制各种电磁线圈, 以使信号放大或将信号同时传递给有关控制元件。JZC2 系列继电器也适用于控制小容量交

流电动机 (220V 2.2kW 或 380V ~ 660V 4kW)。JZC1、JZC2 系列继电器触头组合形式多样, 动作灵活, 手动检查方便, 结构设计紧凑, 外形尺寸及安装面积小。安装时可用螺钉紧固, 也可用 35mm 的标准卡轨, 装卸迅速、方便。触头使用寿命长, 接触可靠。灭弧室呈封闭形, 确保使用安全。

表 29-31 JZC1、JZC2 系列继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定工作电流 A		触头数量 (常开常 闭)	控制线圈电压 V		控制线圈 功率 W		机械 寿命 次	电寿命 次	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm
	AC11	DC11		50Hz	60Hz	吸合时	吸合后				
JZC1	127V : 5.6	110V : 0.64	40、31、	24、36、	68	10	15×10 <sup>6</sup>	1×10 <sup>6</sup>	45×78.5×104	35×60 2-φ5 或 35mm 卡轨	
	220V : 3.2	220V : 0.32	22、80、	48、110、							
	380V : 1.9	660V : 0.10	71、62、	127、220、							
	660V : 0.9		53、44、	220、440、							
JZC2	220V : 10	24V : 16	40、31、	24、36、	68	10	30×10 <sup>6</sup>	1.2×10 <sup>6</sup>	79×46×90 (四组触头) 79×46×105 (八组触头)	35×60 2-φ4、8 或 35mm 卡轨	
	380V : 6	110V : 0.9	22、13、	42、48、							
	500V : 4	220V : 0.45	04、80、	58、110、							
	660V : 2	440V : 0.25	71、62	110、220、							
	600V : 0.2	53、44	240、380、	132、220、	264、460						

生产厂：沈阳 213 机床电器厂、长江机床电器厂、苏州机床电器厂、长沙机床电器厂、上海机床电器厂。

(3) 小型继电器 表 29-32 列举了一些常见的小型密封电磁继电器, 其控制线圈都为直流, 而且电压较低, 其触点可以控制中间继电器、电磁铁及部

分接触器等, 也可直接控制小容量负载。其安装方式为直接焊在线路板上或插在专用插座上。

表 29-32 小型电磁继电器主要技术数据及外形尺寸

型 号	功 耗 W	线圈额定值 V	抗电强度 V	触点形式		触点负荷	寿 命 次	外形尺寸 mm
				转换	常闭			
JZX-6MA	≤2.5	27	500	6		27V×2A	1×10 <sup>5</sup>	φ31×34
JZX-10M	0.15~0.75	6,12,18,24, 27,36,60	500	2		28V×2A 115V×1A	1×10 <sup>5</sup>	21×11×24
JRC-7M	≤0.5	9,12,18,24, 27,36	触点间 350 对外壳 500	4		28V×0.5A	1×10 <sup>5</sup>	21×11×24
JRC-8M	≤0.8	20,27,40	500	4		28V×2A	2×10 <sup>4</sup>	21×11×25
JRC-9M	≤1.2	24,27,48	500	6		28V×2A 28V×1A	5×10 <sup>3</sup> 2×10 <sup>4</sup>	21×11×25
JRC-12M	≤0.57	16	500	4		28V×1A	1×10 <sup>4</sup>	21×11×12
JQX-5M	≤3	27	500	2		27V×10A 115V×5A	1×10 <sup>4</sup>	25×13×30.5
JZC-1M	≤0.86	6,12,18,24,27	500	2		27V×1A 27V×2A	1×10 <sup>5</sup> 2×10 <sup>4</sup>	21×11×11
JZC-10M	≤0.5	12,18,27	300	2	2	27V×1A 27V×0.5A	5×10 <sup>4</sup> 1×10 <sup>5</sup>	13.5×6.5×11.8

(4) JSK、JS7 系列空气式时间继电器 JSK、JS7 系列空气式时间继电器适用于交流 50Hz, 电压至 380V 的控制电路中, 可按预定的时间使被控制元件动作。

表 29-33 JSK、JS7 系列时间继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	不延时触头数量		延时触头数量				额定电压 V	额定电流 A	延时范围 s	重复误差 %	线圈电压 V 50 或 60Hz	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm
	常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭							
JSK1-1			1	1			380	5	0.4~60	±15	36,48,110,	114×58×88	55×40
JSK1-2	1	1							0.4~180		127,220, 380		3-φ4.5
JSK1-3					1	1							
JSK1-4	1	1											
JJSK2-1			1	1							12,24,36,	105×54×78	
JJSK2-2	1	1									110,127,	105×54×82	
JJSK2-3					1	1					220,380	105×54×78	
JJSK2-4	1	1										105×54×82	
JS7-1N, JS7-1A			1	1				3			24,36,110,	107×54×66	
JS7-2N, JS7-2A	1	1									127,220, 380		
JS7-3N, JS7-3A					1	1							
JS7-4N, JS7-4A	1	1											

生产厂: 长江机床电器厂、天水 213 机床电器厂、上海机床电器厂、沈阳建新机床电器厂、苏州机床电器厂、北京电器厂、杭州机床电器厂。

(5) JS20 系列电子式时间继电器 JS20 系列时间继电器适用于交流 50Hz, 电压至 380V 或直流电压至 110V 的控制电路中, 作为时间控制元件, 可按预定时间接通或分断电路。本系列继电器具有装置式与面板式两种结构型式, 装置式配有带接线端

子的胶木底座, 面板式配有通用电子管大八脚插座。其顶部有延时刻度, 并装有旋钮及指示灯, 供调节延时及讯号指示, 其中, 波段开关供粗调, 电位器供微调。



表 29-34 JS20 系列时间继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	延时触头对数		瞬动触头对数	延时整定方式	延时整定元件位置	安装方式	重复误差 %	环境温度 °C	额定工作电压 V		延时范围 s	外形尺寸 mm
	通 电 延时	断 电 延时							交 流	直 流		
JS20-□□/00	2 转换			无波段开关	内接	装置式	±3	-10~+40	36,110, 127,220, 380	24, 48, 110	0.1~1	84×47×125
JS20-□□/01	2 转换				内接	面板式					0.5~5	106×54×129
JS20-□□/02	1 常开 1 常闭				外接	装置式					1~10	84×47×110
JS20-□□/03	1 转换		1 转换		内接	装置式			36,110, 127,220		3~30	84×47×125
JS20-□□/04	1 转换		1 转换	无波段开关	内接	面板式					6~60	106×54×129
JS20-□□/05	1 常开		1 常开	无波段开关	外接	装置式					12~120	84×47×110
JS20-□□/10	2 转换			带波段开关	内接	装置式			36,110, 127,220, 380		18~180	84×47×125
JS20-□□/11	2 转换			带波段开关	内接	面板式					24~240 30~300	106×54×129
JS20-□□/13	1 转换		1 转换	带波段开关	内接	装置式			36,110, 127,220		60~600	84×47×125
JS20-□□/14	1 转换		1 转换	带波段开关	内接	面板式					90~900	106×54×129
JS20-□□D/00		1 转换		无波段开关	内接	装置式			36,110, 127,220, 380		0.1~1 0.5~5	84×47×125
JS20-□□D/01				无波段开关	内接	面板式					1~10 3~30	106×54×129
JS20-□□D/02				无波段开关	外接	装置式					6~60 12~120, 18~180	84×47×110

注:1.“D”表示断电延时型,无字母表示通电延时型。

2. 安装尺寸:装置式 2— $\phi$ 4.5 两个,孔距 56mm;面板式:2— $\phi$ 4.5 两个孔距 90mm

生产厂:沈阳 213 机床电器厂、上海第二机床电器厂、杭州机床电器厂、北京电器厂、长江机床电器厂、天津市第三机床电器厂。

(6) JS11 系列电动式时间继电器 JS11 系列电动机时间继电器适用于交流 50Hz,电压至 380V 的控制电路中,用来向需要延时的被控电路发送讯号。该继电器具有延时长、延时精度高的特点。继电器由同步电动机、离合电磁铁、减速齿轮、差动轮系、复位游丝、不延时触头、延时触头和推动延时触头脱扣机构的凸轮等组成。按延时调节方式可将其分为用螺丝刀调节和用旋钮调节两种。

表 29-35 JS11 系列时间继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定电压 V	触头额定控制容量	延时触头数量				不延时触头数量		延时范围	重复误差 %	复位时间 s	线圈电压 V 50 或 60Hz	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm
			通 电 延 时		断 电 延 时		头 数 量							
			常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭						
JS11-11,11B	380	接通: 700W	3	2	3	2	1	1	0.4~8s	±1	0.3	110,127, 220,380	螺丝刀调 节型: *—M4	70×70
JS11-12,12B		0.55	3	2	3	2			0.4~8s					
JS11-21,21B		断开: 100W	3	2	3	2			2~40s					
JS11-22,22B		0.35	3	2	3	2			2~40s					
JS11-31,31B		3	2	3	2				10~240s					
JS11-32,32B		3	2	3	2				10~240s					
JS11-41,41B		3	2	3	2				1~20min					
JS11-42,42B		3	2	3	2				1~20min					
JS11-51,51B		3	2	3	2				5~120min					
JS11-52,52B		3	2	3	2				5~120min					
JS11-61,61B		3	2	3	2				0.5~12h					
JS11-62,62B		3	2	3	2				0.5~12h					
JS11-71,71B		3	2	3	2				3~72h					
JS11-72,72B		3	2	3	2				3~72h					

注:表中型号未带“B”者,为螺丝刀调节型,带“B”者为旋钮调节型。

生产厂:上海机床电器厂、温州机床电器厂。



(7) JS11-C、JS11-D 系列数显时间继电器  
JS11-C、JS11-D 系列时间继电器适用于交流 50Hz，电压为 110V 或 220V 的电路中。通常用在按预定时间使被控元件动作的控制系统中。产品采用了

CMOS 数字集成电路和 LED 显示器。该继电器采用振荡、分频、符号显示等电路经逻辑组合而成。数码按钮开关设定动作时间具有断电复位及外控复位两种复位方式。

表 29-36 JS11-C、JS11-D 系列时间继电器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	电源电压 V	额定控制容量 W	重复误差 %	延时误差 %	消耗功率 W	分辨率 s	延时范围 s	转换触头对数		外形尺寸 mm	安装尺寸 mm
								瞬时动作	延时动作		
JS11-11C	50Hz:	100	$\leq 0.1$	$\leq 1$	3	0.01	0.01~99.99	1	1	96×96 ×124	70×70 4-M4
JS11-12C	110、								2		
JS11-21C	220					0.1	0.1~999.9	1	1		
JS11-22C									2		
JS11-31C						1	1~9999	1	1		
JS11-32C									2		
JS11-41C						10	10~99990	1	1		
JS11-42C									2		
JS11-51D	50Hz:	100	$\leq 0.1$	$\leq 1$	3	0.01	0.01~9.99	1	1	77×45 ×106	35×60 2-φ4.5
JS11-52D	110、								2		
JS11-61D	220					0.1	0.1~99.9	1	1		
JS11-62D									2		
JS11-71D						1	1~999	1	1		
JS11-72D									2		

生产厂：上海机床电器厂。

## 2.4 接触器、磁力起动器

接触器是一种用于远距离频繁接通和断开交流主电路及大容量控制电路的电器，如起动和停止交流电动机等。按线圈电源种类分为直流和交流接触器。

接触器主要依据主触点的额定电流及工作电压、辅助触点数量及吸引线圈的电压等来选择。

磁力起动器一般由接触器、热继电器和控制按钮组合而成。主要用于三相鼠笼式电动机的起动控制，并具有过载、失压等保护性能。起动器选择主要

参考接触器和热继电器的选择方法综合考虑。

(1) CJ0、CJ10 系列交流接触器 CJ0、CJ10 系列交流接触器适用于交流 50Hz 或 60Hz，电压至 380V 的电力线路中，供远距离闭合及断开线路之用，并适用于频繁地控制交流鼠笼式感应电动机的起动和停止。该系列接触器系开启式、直动式立体布置结构，磁系统采用迎击式缓冲，触头系统采用桥式双断点结构。每台 CJ0 系列接触器具有三对常开主触头及两对常闭辅助触头；每台 CJ10 系列接触器具有三对常开主触头及两对常开和两对常闭辅助触头（CJ10-5 型交流接触器只有一对常开辅助触头）。

表 29-37 CJ0、CJ10 系列交流接触器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定电压 V	额定电流 A		可控电动机最大功率 kW		操作频率 次/h	通电持续率 %	线圈电压 V 50 或 60Hz	外形尺寸 安装尺寸 mm	
		主触头	辅助触头	220V	380V				mm	mm
CJ0-10A	380	10	5	2.5	4	1200	40	36,110,127,220,380	72×72×90	58×54 3-φ5
CJ0-20A		20		5.5	10			36,110,127,220,380	105×93×112	68×76 3-φ5
CJ0-40A		40		11	20			36,110,127,220,380	122×112×123	76×96 3-φ5
CJ0-10B		10		2.5	4.5			127,220,380	70×70×86	58×58 3-φ4.5
CJ0-20B		20		5.5	10			127,220,380	100×91×106	88×60 3-φ5.5
CJ0-40B		40		11	20			127,220,380	120×110×121	76×96 3-φ5
CJ0-40C		40		11	20			36,110,127,220,380	130×116×126	76×96 3-φ5
CJ0-40D		40		11	20			36,110,127,220,380	122×112×123	75×100 3-φ5.5
CJ10-5	380	5	5	1.2	2.2	600	40	36,110,127,220,380	55×56×68	44×40 2-φ4.5
CJ10-10		10		2.2	4				70×70×92	56×58 3-φ5
CJ10-20		20		5.5	10				92×102×108	76×68 3-φ5
CJ10-40		40		11	20				115×128×125	100×75 3-φ5.5
CJ10-60		60		17	30				168×177×135	98×180 3-φ7

生产厂：沈阳 213 机床电器厂、北京机床电器厂、上海机床电器厂、长江机床电器厂、天水 213 机床电器厂、长沙机床电器厂、江西机床电器厂。

(2) CJX1 系列交流接触器 CJX1 系列交流接触器适用于交流 50 或 60Hz, 电压至 660V 的电力线路中, 供远距离接通和分断电路及频繁地起动和停止交流电动机之用, 并可与热继电器组成电磁起动器。本系列产品采用整体结构, 基本上是半封闭的, 它可拆成上、下两部分, 上部分是触头系统, 磁系统在下半部分, 用两只螺钉即可把两部分组成一个整体。接触器可采用螺钉安装, 也可采用标准卡轨安装(30A 以下的接触器。)

表 29-38 CJX1 系列交流接触器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定绝缘电压 V	额定发热电流 A	AC3 使用类别时, 可控三相感应电动机的最大功率 kW			线圈电压等级 V	操作频率 次/h		通电持续率 %	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm
			220V	380V	660V		AC3	AC4			
CJX1-9	660	20	2.2	4	5.5	(50Hz);	1200	300	40	75×45	60×35
CJX1-12		20	3	5.5	7.5	24,36,42,48,110、	1200	300		×102	2-φ5
CJX1-16		31.5	4	7.5	11	127,220,380、	600	300		85×46	75×35
CJX1-22		31.5	5.5	11	11	(60Hz);	600	300		×113	2-φ5
CJX1-30		50	8.2	15	15	24,42,110、	600	300		85×70	75×50
CJX1-32		45		15	15	220,440,460	600	300		×100	2-φ5
CJX1-37		80	12	18	30		600	300		70×85	50×75
CJX1-45		80	15	22	37		600	300		×105	12-φ5
										115×118	100×70
										×118	2-φ5

生产厂：沈阳 213 机床电器厂、长江机床电器厂、苏州机床电器厂、北京机床电器厂。

(3) CJX3(3TB) 系列交流接触器 CJX3(3TB) 系列交流接触器适用于交流 50 或 60Hz, 额定绝缘电压为 660V, 在 AC3 使用类别下, 额定工作电流为 9~32A 的场合。主要供远距离接通或分断电路之用, 并适用于频繁地起动及控制交流电动机。该系列接触器系 E 字形铁心, 触点直动式运动结构。接线端子处都有端子罩覆盖, 并有标志, 可以用 35mm 标准卡轨安装, 接触器具有三对常开触头和一常开、一常闭或二常开、二常闭辅助触头。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-39 CJX3(3TB)系列交流接触器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定工作电流 A		操作频率 次/h	可控电动机功率 kW		辅 助 触 头 数 量		额定工作电流		吸引线圈电压 V		外形尺寸 mm	安装尺寸 mm							
	发热电流 A	380V		660V	380V	660V	常开	常闭	AC11 DC11		50Hz			60Hz						
									380V	220V										
CJX3-9/100A (3TB40 10-0A)	22	9	7.2	1200	4	5.5	1				24、36、42、48、110、220、240、380	29、42、50、58、132、264、460	75×45 ×85	60×35 2-φ4.8						
CJX3-9/110A (3TB40 11 0A)							1													
CJX3 9/120A (3TB40 12-0A)							1	1												
CJX3-9/170A (3TB40 17-0A)							2	2												
CJX3-12/100A (3TB41 10-0A)												1		6	0.45			75×45 ×85	60×35 2-φ4.8	
CJX3-12/110A (3TB41 11-0A)												1								
CJX3-12/120A (3TB41 12-0A)							1	1								通用 24、110、120、220		75×45 ×100	60×35 2-φ4.8	
CJX3 12/170A (3TB41 17-0A)							2	2												
CJX3-16/170A (3TB42 17 0A)							35	16	13.5		7.5	11	2	2					85×45 ×112	75×35 φ4.8,φ5
CJX3-22/170A (3TB43 17-0A)							35	22			11	11	2	2						
CJX3-32/170A (3TB44 17-0A)	55	32	18	750	15	15	2	2	4	0.9			85×70 ×105	75×50 φ4.8,φ5						

生产厂：沈阳 213 机床电器厂、上海机床电器厂。

(4) QC10 系列磁力起动器 QC10 系列磁力起动器适用于交流 50Hz、电压至 500V、电流 60A 的电力线路中，供远距离直接控制三相笼式异步电动机的起动、停止及正反向运转之用，当电网电压消失时，起动器起失压保护作用，带有热继电器的起动器还能在电动机过载和断相时进行保护。

其型号意义为：

QC10 - □ / □

- 2 有热保护的不可逆开启式
  - 3 无热保护的不可逆开启式
  - 4 有热保护的不可逆开启式
  - 5 无热保护的不可逆保护式
  - 6 有热保护的不可逆保护式
  - 7 无热保护的不可逆保护式
  - 8 有热保护的不可逆保护式
- 起动器等级：1,2,3,4,5,6,7

磁力起动器系列型号

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-40 QC10 系列磁力起动器的技术数据

型 号	额 定 电 流 A	所配接触器	可控鼠笼式电动机功率 kW		
			220V	380V	550V
QC10-1	5	CJ10-5	1.2	2.2	2.2
QC10-2	10	CJ10-10	2.2	4	4
QC10-3	20	CJ10-20	5.5	10	10
QC10-4	40	CJ10-40	11	20	26
QC10-5	60	CJ10-60	17	30	
QC10-6	100	CJ10-100	29	50	
QC10-7	150	CJ10-150	47	75	

注:QC10 系列起动器配 JR16 系列热继电器。  
生产厂:长沙机床电器厂。

表 29-41 QC10 系列磁力起动器外形及安装尺寸

型 号	外 形 尺 寸 mm	安 装 尺 寸 mm	型 号	外 形 尺 寸 mm	安 装 尺 寸 mm
QC10-2/3, 2/4	142×142×97	130×130 3-φ5	-5/2	292×168×142	278×100 4-φ7
QC10-2/5, -2/6	204×111×113	150×60 3-φ5	-5/3, -5/4	485×182×142	470×100 4-φ7
QC10-2/7, -2/8	204×184×113	150×130 3-φ5	-5/5, -5/6	378×220×170	305×120 4-φ7
QC10-3/2	190×93×113	175×76 3-φ6	-5/7, -5/8	600×220×170	500×150 4-φ7
QC10-3/3	122×190×113	108×90 4-φ6	-6/2	370×205×156	350×125 4-φ9
QC10-3/4	190×190×113	175×100 4-φ6	-6/3, -6/4	585×205×156	565×125 4-φ9
QC10-3/5, -3/6	230×140×143	175×80 3-φ6	-6/5, -6/6	450×276×193	350×210 4-φ9
QC10-3/7, -3/8	230×237×143	175×170 3-φ6	-6/7, -6/8	770×320×200	625×240 4-φ9
QC10-4/2	200×117×130	185×95 3-φ6	-7/2	400×232×160	380×155 4-φ9
QC10-4/3	132×238×130	118×110 4-φ6	-7/3, -7/4	645×232×160	625×155 4-φ9
QC10-4/4	200×238×130	185×200 4-φ6	-7/5, -7/6	500×316×200	380×240 4-φ10
QC10-4/5, -4/6	300×170×154	230×100 3-φ6	-7/7	770×320×200	625×240 4-φ10

### 2.5 控制变压器

控制变压器用于提供控制电路(包括照明电路等)的电源,并与主电路隔离作用。

控制变压器的选择主要依据控制线路的最大负载功率选择变压器的容量,以及系统要求的初次级线圈电压等级选择其型号。

(1) BK、BKC 系列控制变压器 BK、BKC 系列控制变压器适用于交流 50Hz,电压至 380V 的电路中,作为机床控制电器、照明灯、信号灯的电源变压器。BK、BKC 系列控制变压器均为单相多绕组开启式变压器,其初、次级绕组是分开绕制的。其初、次级额定电压可任意选配,次级各绕组的容量分配可按用户的要求制造。

表 29-42 BK、BKC 系列控制变压器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定容量 W	初级额定电压 V	次级额定电压 V	外 形 尺 寸 mm	安 装 尺 寸 mm	
BK 50	50	110 220 380 420	12、36 12-6.3 36-6.3 127、127-6.3	90×73×91	75×61 4-φ6	
BK-100	100		12、36 127、12-6.3 36-6.3、127-6.3	108×91.5×107	90×77.5 4-φ6	
BK-150	150		127-12 127-36	108×108.5×107	90×94.5 4-φ6	
BK-200	200		127-36-6.3	108×108.5×107	90×94.5 4-φ6	
BK-250	250		36、36-6.3 127-6.3 127	144×114×147	120×93 4-φ7	
BK-300	300		127-12 127-36	144×114×147	120×93 4-φ7	
BK-400	400		127-12-6.3 127-36-6.3	144×133×147	120×109 4-φ7	
BK-500	500			144×133×147	120×109 4-φ7	
BK-700	700		127	194×155×190	164×131 4-φ10	
BK-1000	1000		127-6.3 127-12	206×160×200	174×140 4-φ10	
BK 1500	1500		127-36 127-12-6.3	230×168×214	194×156 4-φ10	
BK-2000	2000		127-36-6.3	252×174×230	214×160 4-φ10	
BKC-25	25		110 220 380	6、(6.3)、12、	75×85×95	60 2长圆孔 4.5×6.5
BKC-50	50			24、36、48、	85×85×110	50×59.4 2长圆孔 5×8
BKC-100	100	(110)、127、		100×105×121	56×76 2长圆孔 6×9	
BKC-150	150	220、(380)		110×105×135	56×76 2长圆孔 6×9	
BKC-250	250			125×115×155	78×77 2长圆孔 6×9	

注：BK 系列变压器各生产厂的外形及安装尺寸略有不同，仅供参考。

生产厂：上海第三机床电器厂、沈阳建新机床电器厂、无锡第二机床电器厂、江西机床电器厂、沙市机床电器厂、北京电器厂。

(2) JBK1 系列控制变压器 JBK1 系列变压器适用于交流 50 至 60Hz、额定输入电压不超过 660V，额定输出电压不超过 380V 的电路中，作为机械设备一般电器的控制电源和局部照明及指示灯电

源用。本系列控制变压器都为单相内装式，其初、次级绕组是分开绕制的，接线头装于组合式绝缘柜内，铁心分为插片式和卷片式两种。

表 29-43 JBK1 系列控制变压器技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定容量 W	初级额定 电 压 V	次级额定电压 V			各绕组分配容量 W			外 形 尺 寸 mm		安 装 尺 寸 (长圆孔) mm
			控制	照明	指示	控制	照明	指示	插 片 式	卷 片 式	
JBK1-40	40	220、 380、 660	42、 48、 110、 (127)	24、 (36)	6	40			84×92×93	84×92×102	70×70
							40				4-7×12
JBK1-63	63	220~380 (二档)	220、 380	220、 380	6	37		3	96×92×105	102×92×110	80×70
						63					4-7×12
							60	3			
JBK1-100	100					20	40	3	96×112×105	100×112×118	80×90
						60		3			4-7×12
						100					
							90	10			
JBK1-160	160					90			126×108×128	114×108×122	90×85
						40	60				4-7×12
						50	40	10			
JBK1-250	250					160			126×133×128	120×133×148	90×110
								10			4-7×12
						170	80				
JBK1-400	400					160	80	10	150×146×146		110×110
						400					4-8×14
						390		10			
JBK1-630	630					320	80		150×176×146		110×140
						310	80	10			4-8×14
						630					
JBK1-1000	1000					610		20	180×176×171		130×140
						510	120				4-8×14
						490	120	20			
JBK1-1600	1600					1000			198×193×186		150×160
						980		20			4-10×16
						880	120				
JBK1-2000	2000					860	120	20	198×233×186		150×200
						1600					4-10×16
						1580		20			
						1400	200				
						1380	200	20			150×200
						2000					4-10×16
						1980		20			
						1800	200				
						1780	300	20			

生产厂：上海第三机床电器厂、天津市第二电气控制设备厂、桂林机床电器厂、成都第一机床电器厂、北京电器厂。



## 2.6 电磁铁

电磁铁主要有牵引、操纵用的牵引电磁铁和电磁阀用电磁铁,又根据线圈电压种类分为直流和交流电磁铁。

(1) MQ3 系列交流牵引电磁铁 MQ3 系列

交流牵引电磁铁适用于交流 50Hz、额定电压至 380V 的电路中,作为各种机械及自动化系统中多种操作机构的远距离控制之用。该系列电磁铁为交流螺管式“T”形衔铁结构,采用有骨架线圈,橡胶缓冲垫及不锈钢导轨。产品体积小,重量轻,使用维修方便。

表 29-44 MQ3 系列交流牵引电磁铁技术数据及外形、安装尺寸

型号	额定吸力 N	额定行程 mm	操作频率 次/h	通电率 %	线圈电压 V	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	结构型式
MQ3-6.2	6.2	10	1200	60	36、110、220、380	82.5×50×46.5	30×32.5 4-4.5×5	推拉两 用式,拉 动式
MQ3-7.8	7.8	10	1200		36、110、220、380	82.5×50×48.5	30×34.5 4-4.5×5	
MQ3-9.8	9.8	10	1200		36、110、220、380	82.5×50×51.5	30×37 4-4.5×5	
MQ3-12.3	12.3	10	1200		36、110、220、380	82.5×50×54.5	30×40 4-4.5×5	
MQ3-15.7	15.7	20	600		110、220、380	122×62×65	46×49 4-6×8	
MQ3-19.5	19.5	20	600		110、220、380	122×62×67	46×51 4-6×8	
MQ3-24.5	24.5	20	600		110、220、380	122×62×70.5	46×54 4-6×8	
MQ3-31	31	20	600		110、220、380	122×62×76	46×59.5 4-6×8	
MQ3-39	39	20	600		110、220、380	122×62×81.5	46×65 4-6×8	
MQ3-5.0	50	30	600		110、220、380	166×94×81	73×61 4-7×9	
MQ3-6.3	63	30	600		110、220、380	166×94×87	73×67 4-7×9	
MQ3-8.0	80	30	600		110、220、380	166×94×95	73×75 4-7×9	
MQ3-10.0	100	30	600		110、220、380	166×94×104	73×84 4-7×9	
MQ3-12.5	125	40	300		220、380	199×132×102	108×80 4-9×13	
MQ3-16	160	40	300		220、380	199×132×111	108×89 4-9×13	
MQ3-20	200	40	300		220、380	199×132×121	108×99 4-9×13	
MQ3-25	250	40	300		220、380	199×132×133	108×111 4-9×13	

(2) MFZ1、MFZ1-Y、MFB1、MFB1-Y 及 MFJ1 系列阀用电磁铁 MFZ1、MFZ1-Y、MFB1、MFB1-Y 及 MFJ1 系列阀用电磁铁分别适用于直流或交流控制电路中,作为机床及其他液压、气动系统中各种电磁换向阀的远距离控制之用。

a. MFZ1 系列直流阀用电磁铁为装甲螺管直动式结构,使用时直接安装在阀体上组成电磁阀。电磁铁本身没有复位装置,靠阀杆的复位弹簧复位。在未接通电源时,衔铁被阀杆推出到额定行程距离,在接通电源后,产生电磁力推动阀杆移动,以控制油路或气路的开、闭及换向。该系列电磁阀用于干式电磁阀

的控制。

b. MFZ1-Y 系列直流湿式阀用电磁铁与 MFZ1 系列电磁铁的结构基本相同,仅增加了密封导套,用于湿式阀。

c. MFB1 系列本整型交流阀用电磁铁与 MFZ1 结构完全相同,仅在接插件内装有半导体整流装置,因而适用于交流操作。

d. MFB1-Y 系列本整型交流式阀用电磁铁的结构与 MFZ1-Y 系列直流湿式阀用电磁铁的结构完全相同,仅在接插件内装有半导体整流装置,因而适用于交流操作。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

e. MFJ1 系列交流阀用电磁铁适用于交流 50Hz、电压至 380V 的控制电路中,作为机床及其他液压、气动系统中各种干式电磁换向阀的远距离控

制之用。该系列电磁铁为单相交流螺管式结构,所有零部件均装在铝合金压铸的外壳内,其余结构特征与 MFZ1 系列电磁阀基本相同。

提醒您:  
请尊重知识产权!

表 29-45 MFZ1、MFZ1-Y、MFB1、MFB1-Y、MFJ1 系列阀用电磁铁技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定吸力	额定行程	操作频率	通电率	线圈电压	外形尺寸	安 装 尺 寸	
	N	mm	次/h	%	V	mm	mm	
MFZ1-0.7	7	4	3000	60	DC12、24、36、 48、110、220	36.5×36.5×65	29×29 4-φ3.5	
MFZ1-1.5	15	4				42.5×42.5×65	34×34 4-φ4.5	
MFZ1-2	20	5				47.5×47.5×70	38×38 4-φ4.5	
MFZ1-2.5	25	4(5)				47.5×47.5×70	38×38 4-φ4.5	
MFZ1-4D	38	7				55.6×55.6×80	45×45 4-φ4.5	
MFZ1-4C	40	8				52×52×90	42×42 4-φ4.5	
MFZ1-4.5	45	6				55.6×55.6×80	45×45 4-φ4.5	
MFZ1-5.5	55	4				55.6×55.6×80	45×45 4-φ4.5	
MFZ1-7	70	7(8)				72.6×72.6×100	60×60 4-φ4.5	
MFZ1-10	100	4				72.6×72.6×100	60×60 4-φ4.5	
MFZ1-1.5YC	15	3	3000	60	DC24、110	36×84×76	28×28 4-φ4.5	
MFZ1-2.5YC	25	3				47×95×76	38×38 4-φ4.5	
MFZ1-3YC	30	5				50×100×92	41×41 4-φ4.5	
MFZ1-4YC	40	6				55×103×95	45×45 4-φ5.5	
MFZ1-5.5YC	55	4				55×103×101	45×45 4-φ5.5	
MFZ1-7YC	70	7				72×120×106	60×60 4-φ6.5	
MFB1-1.5C	15	4	3000	60		AC110、220、380	42.5×90×65	34×34 4-φ4.5
MFB1-2C	20	5			47.5×90×70		38×38 4-φ4.5	
MFB1-4.5C	45	6			55.6×100×88		45×45 4-φ4.5	
MFB1-7C	70	7			72.6×120×100		60×60 4-φ6.5	
MFB1-10C	100	4			72.6×120×100		60×60 4-φ6.5	
MFB1-1.5YC	15	3	3000	60	AC110、220、380		36×84×76	28×28 4-φ4.5
MFB1-2.5YC	25	3					47×95×76	38×38 4-φ4.5
MFB1-3YC	30	5					50×100×92	41×41 4-φ4.5
MFB1-4YC	40	6					55×100×95	45×45 4-φ5.5
MFB1-5.5YC	55	4					55×103×101	45×45 4-φ5.5
MFB1-7YC	70	7				72×120×106	60×60 4-φ6.5	
MFJ1-0.7	7	5	2000	60		AC110、220、380	48×48×80	40×40 4-φ3.6
MFJ1-1.5	15	6		60	57×57×88		48×48 4-φ4.5	
MFJ1-3	30	5		100	61×61×97		50×50 4-φ4.5	
MFJ1-4	40	6		60	71×71×103		60×60 4-φ5.5	
MFJ1-4.5	45	7		100	71×71×105		60×60 4-φ5.5	
MFJ1-5.5	55	8		60	71×71×105		60×60 4-φ5.5	
MFJ1-7	70	7		60	81×81×109		68×68 4-φ6	

生产厂:天津市第二电气控制设备厂、湘潭机床电器厂、安阳机床电器厂、成都机床电器研究所、上海第三机床电器厂、无锡机床电器厂、湘潭南湖机电厂。

## 2.7 辅助元器件及常用材料

## 2.7.1 信号灯

(1) XD 系列信号灯 XD 系列信号灯种类较

多,分别用于电压 6.3V~380V 的交直流电路中,作各种灯光信号指示、预告用。其中 XD13、XD14 型为氩泡辉光,发光柔和,寿命长,其余为白炽灯泡。XD 系列都采用 E10/13 螺口灯泡,可安装在 1~6mm 的控制面板上。

表 29-46 XD 系列信号灯技术数据

信号灯型号	灯 泡		附件	颜色
	电压 V	功率 W		
XD0-6.3 XD1-6.3	6.3	1		红、绿、黄、 蓝、乳白、 无色
XD0-12 XD1-12	12	1.2		
XD7-24 XD8-24	12	1.2	变压器 24V/12V	
XD7-36 XD8-36	12	1.2	变压器 36V/12V	
XD7-48 XD8-48	12	1.2	变压器 48V/12V	
XD7-110 XD8-110	12	1.2	变压器 110V/12V	
XD7-220 XD8-220	12	1.2	变压器 220V/12V	
XD7-380 XD8-380	12	1.2	变压器 380V/12V	
XD11-6.3 XD12-6.3	6.3	1		
XD11-12 XD12-12	12	1.2		
XD13-110 XD14-110	60	氩泡	RJ-0.5-20K	红、黄、白  绿  红、黄、白  绿
XD13-220 XD14-220	150	氩泡	RJ-0.5-30K	
XD13-220 XD14-220	130	氩泡	RJ-0.5-30K	
XD13-380 XD14-380	150	氩泡	RJ-1-80K	
XD13-380 XD14-380	130	氩泡	RJ-1-80K	

注:信号灯型号后面数字表示信号灯电压。

生产厂:朝阳机床电器厂、邯郸机床电器厂、长沙五金电器厂。

表 29-47 XD 系列信号灯外形及安装尺寸

mm

型 号	外 形 尺 寸	安 装 尺 寸	灯 罩 形 状	型 号	外 形 尺 寸	安 装 尺 寸	灯 罩 形 状
XD0	φ23.5×49	φ17	半球形	XD11	44×36×52	φ26	圆台形
XD1	φ23.5×49	φ17	圆柱形	XD12	42×40×50	φ26	长方形
XD7	45×36×88	φ26	圆台形	XD13	44×36×58	φ26	圆台形
XD8	45×40×85	φ26	长方形	XD14	42×40×54	φ26	长方形

(2) AD1 系列信号灯 AD1 系列信号灯适用于交流 50Hz、380V 以下,直流 220V 以下的电气线路中作指挥信号、预告信号、事故信号及其他指示之

用。该系列信号灯分为直接式信号灯、电阻器减压式信号灯、变压器减压式信号灯和氩泡辉光式信号灯,可安装在 1~6mm 的控制面板上。

表 29-48 AD1 系列信号灯技术数据、外形及安装尺寸

直接式信号灯	型 号	额定电压 V	功耗 W	灯泡规格	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	灯罩形状
	AD1-22/11	6	1	E10	31×34×55	22	半球形
	AD1-25/11				33×34×55	25	
	AD1-30/11	24	1.5	E10	39×34×60	30	长方形
	AD1-22/12	36			37×31×54	22	
	AD1-25/12	48			39×33×54	25	
	AD1-30/12				47×39×54	30	
	AD1 30/111	24, 36, 48, 110,	3	E14	φ39×94	30	半球形
AD1 30/121	127, 220	5	47×39×83		30	长方形	

电阻器减压式信号灯	型 号	额定电压 V	电阻器	灯泡规格	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	灯罩形状
	AD1-22/21	110	1k 3W 2 只	60V 1.5W E10	31×34×100	22	半球形
	AD1-25/21		3k 7W 2 只		33×34×100	25	
	AD1-30/21	220			39×34×105	30	长方形
	AD1-22/22				37×31×100	22	
	AD1-25/22				39×33×100	25	
AD1-30/22	47×39×100				30		

变压器减压式信号灯	型 号	额定电压 V	变压器	灯泡规格	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	灯罩形状
	AD1-22/31	110	110V/6V	6V 1W E10	31×34×100	22	半球形
	AD1-25/31	220	220V/6V		33×34×100	25	
	AD1-30/31	380	380V/6V		39×34×105	30	长方形
	AD1-22/32				37×31×100	22	
	AD1-25/32				39×33×100	25	
AD1-30/32	47×39×100				30		

氙泡辉光式信号灯	型 号	额定电压 V	辉光灯泡	串联电阻	并联电阻	外形尺寸 mm	安装尺寸 mm	灯罩形状
	AD1-22/212	110	ND1 85V	15k	100k	φ33×75	22	半球形
	AD1-25/212		NDL1	1W	1W	φ33×75	25	
	AD1-30/212	220	ND1 176V	27k	200k	φ39×80	30	长方形
	AD1-22/222		NDL1	1W	1W	39×33×75	22	
	AD1-25/222	380	ND1 176V	75k	0k	39×33×75	25	
AD1-30/222	NDL1		1W	1W	47×39×73	30		

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆

2.7.2 接线座

及控制回路中,作各导线的电连接之用。该系列接线座采用了整体式的基座,用螺钉—弹簧片压线法接线,并配置了透明的塑料罩盖,提高了安全性,并兼有防尘、美观的作用。

(1) JF4-4 系列接线座 JF4-4 系列接线座适用于交流 50Hz、电压至 500V,直流电压至 440V,额定电流 6~32A (导线截面积 0.5~4mm<sup>2</sup>) 的主回路

表 29-49 JF4-4 系列接线座技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定电压 V	额定容量 mm <sup>2</sup>	额定电流 A	电路数	外形尺寸 mm	安 装 尺 寸 mm
JF4-4/2	交流 500	0.5~4	6~32	2	37×25×23	25 2-φ3.5
JF4-4/3				3	47×25×23	35 2-φ3.5
JF4-4/5				5	61.5×25×23	35 2-φ3.5
JF4-4/7				7	81.5×25×23	55 2-φ3.5
JF4-4/9				9	101.5×25×23	75 2-φ3.5
JF4-4/11	直流 440			11	121.5×25×23	75 2-φ3.5

(2) TD 系列通用端子排 TD 系列通用端子排适用于额定电压至 500V、电流至 60A 的电力传达到控制屏、台、箱、机械电气控制装置, 信号系统及各种自动化装置中, 作为导线连接用。该系列端子排采用铝合金型材统一基座, 产品体积小, 结构新颖, 具有统一的标号槽、标号片、打印、书写方便, 标记清晰。接线方式采用压接, 可配用标准端头。

表 29-50 TD 系列通用端子排技术数据及外形、安装尺寸

型 号	额定电压 V	额定电流 A	规 格 mm	单节厚 mm	外形尺寸 mm	安 装 尺 寸 mm
			基座长/端子节数 (L/n)			
TD-15	380	15	110/6、150/10、170/13、220/20、 290/28、350/36、400/42	8	L×30×31	L-25.5 2-4.5×14.5
TD-20		20	110/4、150/8、170/9、220/14、 290/20、350/26、400/30	11	L×39×40	
TD-30		30	110/3、150/6、170/7、220/11、 290/16、350/20、400/24	14	L×43×45	
TD-60		60	150/4、170/6、220/8、290/12、 350/16、400/18	18	L×52×54	

生产厂: 营口市机床电器厂。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
须尊重相关知识产权!

2.7.3 电线

常用布电线及电气装备用导线主要为橡皮、塑料绝缘导线。橡皮、塑料绝缘导线一般适用于交流电压 500V 以下或直流 1000V 以下的电气装备及照明装置的固定敷设用。电线的线芯长期允许工作温度应不超过 +65℃。

表 29-51 橡皮、塑料绝缘导线品种

名 称	型 号
铜芯 (铝芯) 橡皮线	BX (BLX)
铜芯 (铝芯) 塑料线	BV (BLV)
铜芯 (铝芯) 塑料护套线	BVV (BLVV)
铜芯橡皮软线	BXR
铜芯塑料软线	BVR
铜芯平行塑料绝缘软线	RVB
铜芯绞形塑料绝缘软线	RVS

表 29-52 BX (BLX)、BV (BLV)、BVV (BLVV) 型导线规格及数据

标称截面 mm <sup>2</sup>	线芯结构 根数/线径 mm	成 品 外 径 mm			单 位 质 量 kg/km					
		BX BLX	BV BLV	BVV BLVV	BX	BLX	BV	BLV	BVV	BLVV
0.75	1/0.97	4.0	2.4	3.9	22		10.2		19.1	
1.0	1/1.13	4.2	2.6	4.1	26		13.6		22.3	
1.5	1/1.37	4.4	3.3	4.4	32		21.0	11.3	27.8	18.7
2.5	1/1.76	4.8	3.7	4.8	43	28	30.9	15.3	38.5	23.4
4.0	1/2.24	5.3	4.2	5.3	58	34	36.2	21.0	54.6	30.2
6.0	1/2.73	5.8	4.8	6.5	80	44	65.4	27.8	81.4	45.2
10.0	7/1.33	7.4	6.6	8.3	135	74	114.2	50.5	134	73.3
16	7/1.70	8.5	7.8		200	100	173.5	73.5		
25	7/2.12	10.2	9.6		302	148	261.6	113.0		
35	7/2.50	11.3	10.9		403	188	368.7	147.0		
50	19/1.83	13.4	13.2		569	256	521.8	207.0		
70	19/2.12	14.8	14.9		742	323	708.0	305.0		
95	19/2.50	17.1	17.3		1020	437	964.0	365.0		
120	37/2.00	19.2			1260	520				
150	37/2.24	21.3			1560	644				
185	37/2.50	23.5			1950	787				
240	61/2.24	26.6			2530	1030				



表 29-53 BVR 型电线规格及数据

标称截面 mm <sup>2</sup>	线芯结构 根数/线径 mm	成品外径 mm		单位质量 kg/km
		2 芯	3 芯	
0.75	7/0.37	2.5		4.4
1	7/0.43	2.7		5.1
1.5	7/0.52	3.5		8.4
2.5	19/0.41	4.0		10.4
4	19/0.52	4.6		12.6
6	19/0.64	5.3		14.3
10	49/0.52	7.4		28.3
16	49/0.64	8.5		35.0
25	98/0.58	11.1		54.6
35	133/0.58	12.2		60.3
50	133/0.68	14.3		82.5

表 29-54 RVB 型平行电线和 RVS 型绞型  
电线规格及数据

标称截面 mm <sup>2</sup>	线芯结构 芯数×根数 /线径 mm	成品外径 mm		单位质量 kg/km	
		RVB	RVS	RVB	RVS
0.12	2×7/0.15	1.6×3.2	3.2	6.32	6.48
0.20	2×12/0.15	2.0×4.0	4.0	10.1	10.4
0.30	2×16/0.15	2.1×4.2	4.2	11.9	12.2
0.40	2×23/0.15	2.3×4.6	4.6	15.1	15.5
0.50	2×28/0.15	2.4×4.8	4.8	17.3	17.8
0.75	2×42/0.15	2.9×5.8	5.8	25.3	26.0
1.00	2×32/0.20	3.1×6.2	6.2	30.6	31.4
1.50	2×48/0.20	3.4×6.8	6.8	41.4	42.4
2.00	2×64/0.20	4.1×8.2	8.5	55.8	57.2
2.50	2×77/0.20	4.5×9.0	9.0	66.0	67.7

表 29-55 BV 型二芯及三芯绞型电线  
规格及数据

标称截面 mm <sup>2</sup>	线芯结构 根数/线径 mm	成品外径 mm		单位质量 kg/km	
		2 芯	3 芯	2 芯	3 芯
0.03	1/0.20	1.6	1.7	1.5	2.3
0.06	1/0.30	2.0	2.1	2.8	4.3
0.12	1/0.40	2.2	2.4	4.3	6.4
0.2	1/0.50	2.9	3.1	7.0	10.5
0.3	1/0.60	3.0	3.3	9.0	13.5
0.4	1/0.70	3.4	3.6	11.1	16.7
0.5	1/0.80	4.0	4.3	15.2	22.8
0.75	1/0.97	4.8	5.1	21.1	31.5

表 29-56 BVV 型二芯及三芯平型电线  
规格及数据

标称截面 mm <sup>2</sup>	线芯结构 根数/线径 mm	成品外径 mm		单位质量 kg/km	
		2 芯	3 芯	2 芯	3 芯
0.75	1/0.97	3.9×6.3	4.2×8.9	34.4	52.6
1	1/1.03	4.1×6.7	4.3×9.5	42.5	65.1
1.5	1/1.37	4.4×7.2	4.6×10.2	53.5	81.9
2.5	1/1.76	4.8×8.1	5.0×11.5	75.6	115.6
4	1/2.24	5.3×9.1	5.5×13.1	108.5	165.5
6	1/2.73	6.5×11.3	7.0×16.5	103.4	253.8
10	7/1.33	8.4×14.5	8.8×21.1	264.5	407.7

表 29-57 BLVV 型二芯及三芯平型电线  
规格及数据

标称截面 mm <sup>2</sup>	线芯结构 根数/线径 mm	成品外径 mm		单位质量 kg/km	
		2 芯	3 芯	2 芯	3 芯
1.5	1/1.37	4.4×7.2	4.6×10.2	35.1	55.4
2.5	1/1.76	4.8×8.1	5.0×11.5	45.0	69.6
4	1/2.24	5.3×9.1	6.5×13.1	59.0	91.3
6	1/2.73	6.5×11.3	7.0×16.5	89.3	142.2
10	7/1.33	8.4×14.5	8.8×21.1	145.6	230.7

2.7.4 电缆

表 29-58 通用橡套电缆型号及主要用途

型号	名称	主要用途
YQ	轻型 橡套电缆	连接交流电压 250 伏及以下的轻型移动电气设备
YQW		同上,并具有耐气候性和一定的耐油性能
YZ	中型 橡套电缆	连接交流 500 伏及以下的各种移动电气设备
YZW		同上,并具有耐气候性和一定的耐油性能
YC	重型 橡套电缆	同 YZ,但能承受较大的机械外力作用
YCW		同上,并具有耐气候性和一定的耐油性能

注:长期工作温度不大于 65℃。



表 29-59 通用橡套电缆规格及数据

型 号	标称截面 mm <sup>2</sup>	导电线芯结构		绝缘标 称厚度 mm	成品 外 径 mm			四芯 (3+1 芯)	
		单线根数	单线直径 mm		单芯	二芯	三芯	主线芯数×截面+ 地线芯数×截面 mm <sup>2</sup>	成品外径 mm
YQ YQW	0.3	16	0.15	0.5		5.5	5.8		
	0.5	23	0.15	0.5		6.5	6.8		
	0.75	42	0.15	0.6		7.4	7.8		
YZ YZW	0.5	28	0.15	0.8		8.3	8.7	3×0.5+1×0.5	9.5
	0.75	42	0.15	0.8		8.8	9.3	3×0.75+1×0.75	10.5
	1.0	32	0.20	0.8		9.1	9.6	3×1+1×1	10.8
	1.5	40	0.20	0.8		9.7	10.7	3×1.5+1×1	11.4
	2	64	0.20	0.8		10.9	11.5	3×2+1×1	12.6
	2.5	77	0.20	1.0		13.2	14.0	3×2.5+1×1.5	15.0
	4	77	0.26	1.0		15.2	16.0	3×4+1×2.5	17.6
YC YCW	6	77	0.32	1.0		16.7	18.1	3×6+1×4	19.4
	2.5	49	0.26	1.0	8.1	13.9	14.6	3×2.5+1×1.5	16.6
	4	49	0.32	1.0	8.7	15.0	17.0	3×4+1×2.5	18.0
	6	49	0.39	1.0	9.3	17.4	18.3	3×6+1×4	19.5
	10	84	0.39	1.2	12.5	22.7	23.9	3×10+1×6	24.9
	16	84	0.49	1.2	13.8	25.1	26.5	3×16+1×6	28.2
	25	133	0.49	1.4	17.3	32.1	33.9	3×25+1×10	36.0
	35	133	0.58	1.4	18.6	34.8	36.8	3×36+1×10	38.6
	50	133	0.68	1.6	21.3	38.7	43.4	3×50+1×16	45.8
	70	189	0.68	1.6	24.1	45.8	48.4	3×70+1×25	51.5
95	259	0.68	1.8	26.3	50.1	53.1	3×95+1×35	53.3	
120	259	0.76	1.8	30.4	53.5	56.7	3×120+1×35	60.0	

### 3 控制电机

#### 3.1 自整角机

自整角机是一种感应式机电元件。在系统中通常是两个或两个以上组合使用，将转轴上的转角变换为电气信号或将电气信号变换为转轴上的转角，实现角度的远距离传输、变换和接收。广泛应用在同

步传动、随动系统中，借发送机和接收机之间无机械联接传递角位移的方式，达到自动指示角度、位置和距离等目的。

KL 系列控制式自整角机主要用于信号传输系统作检测元件用，分为 KF 控制式自整角发送机、KCF 控制式差动发送机和 KB 控制式自整角变压器。

表 29-60 KL 系列自整角机技术数据

型 号	频 率 Hz	原方电压 V	最大输出电压 V	空载电流 A	空载功率 (不大于) W	质 量 kg
12KF4G	400	20	9	0.07		25
12KCF4G	400	9	9	0.1		25
12KB4G	400	9	18	0.05		25
20KF4E	400	36	16	0.10	1.5	60
20KB4E	400	16	32	0.10	1.0	60
20KCF4E	400	16	16	0.148		60
20KF4B	400	36	16	0.09	1.30	45
20KCF4B	400	16	16	0.12	0.65	45
20KB4B	400	16	32	0.08	0.43	45
20KB4	400	16	32	0.054	0.30	
28KF4E	400	36	16	0.22	2.0	130
28KB4E	400	16	32	0.14	1.0	130
28KF4A	400	115	90	0.025	0.60	120
28KCF4A	400	90	90	0.025	0.50	120
28KB4A	400	90	58	0.01	0.30	120
28KF4B	400	36	16	0.06	0.50	120
28KCF4B	400	16	16	0.09	0.40	120
28KB4B	400	16	32	0.05	0.25	120
28KB4B-1 (28KB4B)	400	90	58	0.01	0.2	150
28KF4E-1 (28KF4A)	400	36	16	0.09	0.8	150
28KCF4E-1 (28KCF4A)	400	16	16	0.188	0.8	150
28KB4E-2 (28KB4A)	400	16	32	0.076	0.4	150
28KF4A	400	36	16	0.271	1.5	
28KF4B	400	115	90	0.042	1.0	
28KB4A	400	16	32	0.138	0.4	
28KB4B	400	90	58	0.025	0.4	150
28KCF4B	400	90	90	0.039	0.7	150
28ZKF01-S	400	115	90	0.042	1.0	
28ZKB01-S	400	90	58	0.011	0.3	
28ZKB02-S	400	90	58	0.025	0.5	
28KCF4E	400	16	16	0.252		150
28KB4E1	400	16	32	0.059		150
36KF4B	400	115	90	0.092	2.0	200
36KB4B	400	90	58	0.04	1.0	200
36KF4A	400	115	90	0.06	2.0	170
36KCF4A	400	90	90	0.044	0.80	170
36KCF4B	400	90	90	0.08	1.5	200
36KB4A	400	90	58	0.022	0.50	170

浏览器提醒您：  
使用本产品  
请尊重知识产权！

微信搜索 领星球

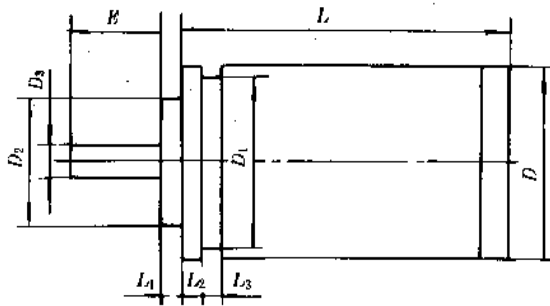
续表 29-60

型 号	频 率 Hz	原方电压 V	最大输出电压 V	空载电流 A	空载功率 (不大于) W	质 量 g
36KF5C	50	36	16	0.038	1.20	170
36KB5C	50	16	32	0.046	0.50	170
36KF4B-1 (36KF4A)	400	115	90	0.06	1.5	200
36KCF4B-1 (36KCF4A)	400	90	90	0.06	0.40	200
36KB4B-1 (36KB4A)	400	90	58	0.024	0.40	200
36KF4	400	115	90	0.14	2.5	
36KB4	400	90	58	0.053	0.9	
36ZKB03-S	400	90	58	0.055	1.0	
36KCF4B	400	90	90	0.078		200
45KF4A	400	115	90	0.058	1.20	335
45KCF4A	400	90	90	0.06	0.55	335
45KB4A	400	90	58	0.025	0.35	335
45KF5B	50	110	90	0.032	2.0	350
45KCF5B	50	90	90	0.053	1.84	350
45KB5B	50	90	58	0.015	0.60	350
45KF4B-1 (45KF4A)	400	115	90	0.27	5.0	400
45KF4B-2 (45KF4A3)	400	115	90	0.27	5.0	400
45KB4B	400	90	58	0.078		400
45KF5C-1 (45KF5A)	50	110	90	0.05	5.0	400
45KF4	400	115	90	0.185	2.1	
45KB4	400	90	58	0.078	0.78	
45KF5	50	110	90	0.038	0.9	
45KB5	50	90	58	0.028	0.7	
45ZKE01-S	400	115	90	0.20	2.5	
45KF4B	400	115	90	0.20		400
45KCF4B	400	90	90	0.156		400
45KB4B	400	90	58	0.078		400
45KF5C	50	110	90	0.038		400
45KCF5C	50	90	90	0.035		400
45KB5C	50	90	58	0.028		400

注：型号中的“S”代表双轴伸。

生产厂：沈阳微电机厂、上海微型电机厂、西安微电机厂、天津微电机厂。

表 29-61 12~45 机座号 KL 自整角机外形及安装尺寸



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

机座号	mm								
	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	E	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L
	h10	h11	h6	f7	—	±0.1	±0.1	±0.2	(不大于)
12	12.5	11	10	2	7	1	1	1	35
20	20	18.5	13	2.5	9	1.2	1.2	1.2	40
28	28	26.5	26	3.0	10	3.0	1.5	1.5	50
36	36	34.0	32	4.0	12	4.0	2.0	2.0	60
45	45	42.0	41	4.0	12	4.0	2.0	2.0	75

3.2 测速发电机

度检测元件,它可将机械转速转换为电信号,其输出电势与转速成线性关系。

3.2.1 CK 系列交流测速发电机

本系列测速发电机具有惯量小,动作快速,输出电压频率不随转速的变化而变化,输出线性好,精度高,运行可靠,抗干扰能力强等特点。

CK 系列空心杯转子异步测速发电机是一种速

表 29-62 CK 系列交流测速发电机技术数据

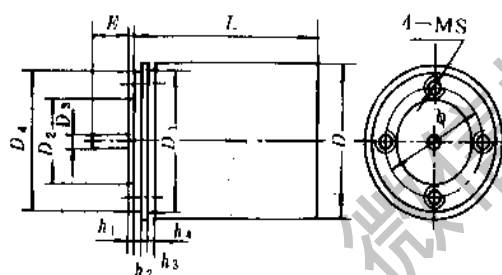
型 号	励磁电压	频 率	励磁电流	励磁功率	输出斜率	剩余电压	线性误差	线性转速
	V	Hz	A	W	V·min/kr	(不大于) mV	(不大于) %	范 围 r/min
20CK4A	26	400	0.045	0.65	0.5	20	0.3	0~3600
20CK4E0.25	36	400	0.12		0.25	20	0.5	0~3600
20CK4E0.4	36	400	0.12		0.4	25	0.5	0~3600
28CK4A	115	400	0.08	4.5	2.6~2.75	40、60	0.3	0~3600
28CK4B	36	400	0.25	5.0	0.8	20	0.5	0~3600
28CK4A	36	400	0.13		0.35~3.5	100	1	0~4000
28CK4B0.8	115	400	0.075		0.8	30	0.1	0~3600
28CK4E0.8	36	400	0.14		0.8	30	0.5	0~3600
28CK4B2.5	115	400	0.075		2.5	60	0.3	0~3600
28CK4B1.5	115	400	0.075		1.5	40	0.2	0~3600
36CK4A	115	400	0.08	4.0	2.85~3.0	40、60	0.3	0~3600
36CK4B	36	400	0.25	4.0	1.0	15	0.2	0~3600
36CK4B2	115	400	0.075		2	60	0.2	0~3600
36CK4E1	36	400	0.24		1	25	0.2	0~3600
36CK4B3	115	400	0.075		3	70	0.3	0~3600

续表 29-62

型 号	励磁电压 V	频 率 Hz	励磁电流 A	励磁功率 W	输出斜率 V·min/kr	剩余电压 (不大于) mV	线性误差 (不大于) %	线性转速 范 围 r/min
36CK4B2	115	400	0.075		2	60	0.2	0~3600
45CK5A	110	50	0.11	7.5	3.0	25	0.5	0~1800
45CK4A	115	400	0.23	6.0	3.0	40、60	0.1~0.2	0~3600
45CK4B4	115	400	0.1		4	8	0.5	0~3600
45CK5C4	110	50	0.045		4	50	1	0~1800
45CK5C3	110	50	0.045		3	50	0.5	0~1800
45CK4B3	115	400	0.1		3	70	0.2	0~3600
45CK5C2	110	50	0.045		2	50	0.5	0~1800
55CK5B	110	50	0.1		6	60	1	
55CK5C5	110	50	0.05		5	70	1	0~1800
55CK5A	110	50	0.05	2.5	5.0	50	1.0	0~1800

生产厂：天津微型特种电机厂，西安微电机研究所。

表 29-63 20~45 机座号 CK 系列测速发电机外形及安装尺寸



机座号	mm												
	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	E	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	φ	S	L
20	h 10	h 11	h 9	f 7	b 6	—	±0.1	±0.1	±0.1	+0.2 0	±0.1	—	不大于
28	20	18.5	13	2.5	13	9	—	1.2	1.2	1.2	—	—	37
36	28	26.5	18	3	26	10	1.5	1.5	1.5	1.5	22	M2.5	50.5
45	36	34.0	22	4	32	12	1.5	2.5	2.0	2.0	27	M3	60.0
	45	42.0	25	4	41	12	1.5	2.5	2.0	2.0	33	M3	70.0

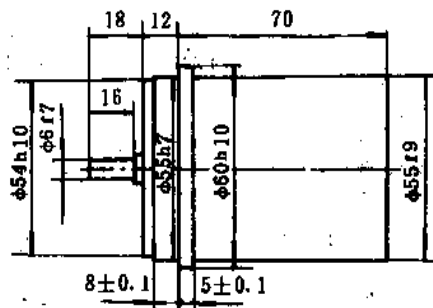


图 29-27 55 机座号 CK 系列测速发电机外形及安装尺寸

### 3.2.2 ZCF 系列直流测速发电机

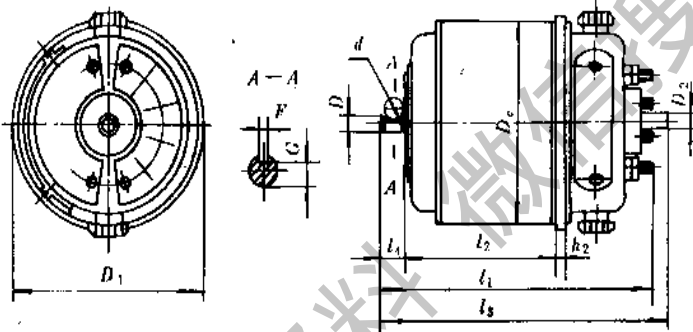
ZCF 系列直流测速发电机系封闭自冷式具有换向器的他激直流发电机，在恒定的激磁电流下，产生的电枢电压正比于电枢转速。在自动控制系统中作为测速和反馈等元件。

表 29-64 ZCF 系列测速发电机技术数据

型 号	激 磁		电枢电压 V	负 载 电 阻 Ω	转 速 r/min	输出电压 不对称度 % (不大于)	输出电压 线性误差 %	质 量 kg (不大于)
	电 流 A	电 压 V						
ZCF121、ZCF121A	0.09		50±2.5	2000	3000	1	±1	0.44
ZCF221、ZCF221A、ZCF221C	0.3		51±2.5	2000	2400	1	±1	0.9
ZCF221AD	0.3		≥16	2000	2400	1	+1	0.9
ZCF222	0.06		74±3.7	2500	3500	2	±3	0.9
ZCF321		110	100±5 <sup>0</sup>	1000	1500	3	±3	1.7
ZCF361	0.3		106±5	10000	1100	1	±1	2.0
ZCF361C	0.3		174±8.7	9000	1100	1	±1	2.0

生产厂：博山电机厂、本溪微电机厂。

表 29-65 ZCF 系列测速发电机外形及安装尺寸



型 号	mm											
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$D_1$	$D_2$	$l_4$	$h_2$	$D$	$d$	$D_2$	$F$	$G$
ZCF121、ZCF121A	88	51.5	89.5	55	50	7	3	4	7	4	1	3
ZCF221、ZCF222	107	59		74	70	9.5	4	6	7		2	4.6
ZCF221A、ZCF221AD、ZCF221C	107	59	113.5	74	70	9.5	4	6		6		
ZCF321	124	66.5		89	85	13	5	8	10		2	5.1
ZCF361、ZCF361C	134	76.5		89	85	13	5	8	10		2	5.1

### 3.2.3 CYD 系列永磁式低速直流测速发电机

本系列电机系永磁式低速直流测速发电机。该电机具有灵敏度高，反应快，线性度好，结构简单等特点，供高精度低速伺服系统中作阻尼反馈元件，也

可供解算装置作计算元件。本系列电机和永磁式直流力矩电动机相配合，可组成低速调速系统。



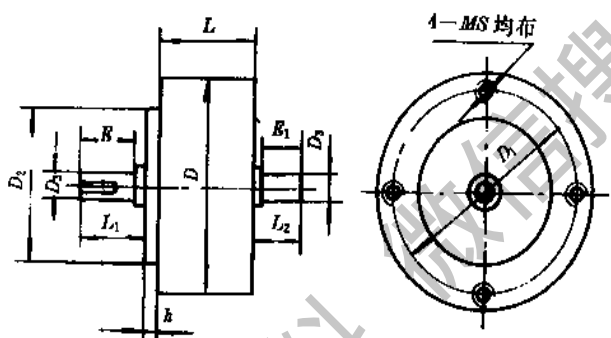
超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-66 CDY 系列测速发电机技术数据

型 号	输出斜率 (不小于) V/(rad/s)	最大工作转速 r/min	最大转速时的电压 V	纹波系数 (不大于) %	输出电压不对称度 (不大于) %	线性误差 (不大于) %	每转纹波频率 Hz	最小负载电阻 kΩ	电枢转动惯量 μkg·m <sup>2</sup>	激磁静摩擦力矩 (不大于) mN·m
70CYD-0.25	0.25	1600	41	1	1	1	33	2.5	0.1	30
70CYD-0.5	0.5	800	41	1	1	1	33	6.6	0.1	30
70CYD-1	1	400	41	1	1	1	33	23	0.1	30
130CYD-2.7	2.7	300	84	1	1	1	79	9	2	100
130CYD-6	6	100	62	1	1	1	79	42	2	100
130CYD-11	11	30	34	1	1	1	79	170	2	100
160CYD-10	10	60	62	1	1	1	85			160
160CYD-20	20	30	62	1	1	1	85			160
160CYD-30	30	20	62	1	1	1	85			160

生产厂：北京微电机总厂。

表 29-67 70、160 机座号 CYD 测速发电机外形及安装尺寸



机 座 号	D <sub>2</sub>	h	D	D <sub>1</sub>	S	D <sub>3</sub>	L <sub>2</sub>	E	L <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	L
		h7	±0.1	h10	—	—	f7	—	—	—	—
70	70	3	85	77	4	8	22	20	13	12	44
160	160	6	180	170	8	16	42	40	16	15	52

mm

### 3.3 步进电动机

步进电动机是一种将脉冲指令转换为角位移或转速的电动机，其机械角位移与脉冲数量严格成正比，改变脉冲频率实现调速。BF 系列步进电动机具有定位精度高，同步运行特性好，调速范围宽，能快速启动、反转和定位等特点，广泛应用于数控机床、计算机外围设备、各种自动控制装置、自动调节仪器仪表装置中作执行和驱动元件。

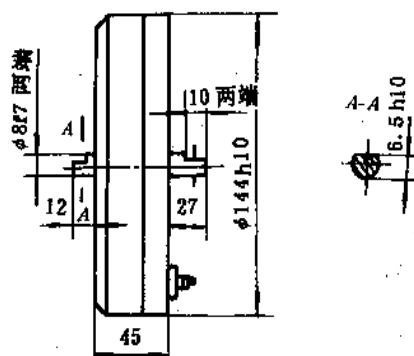
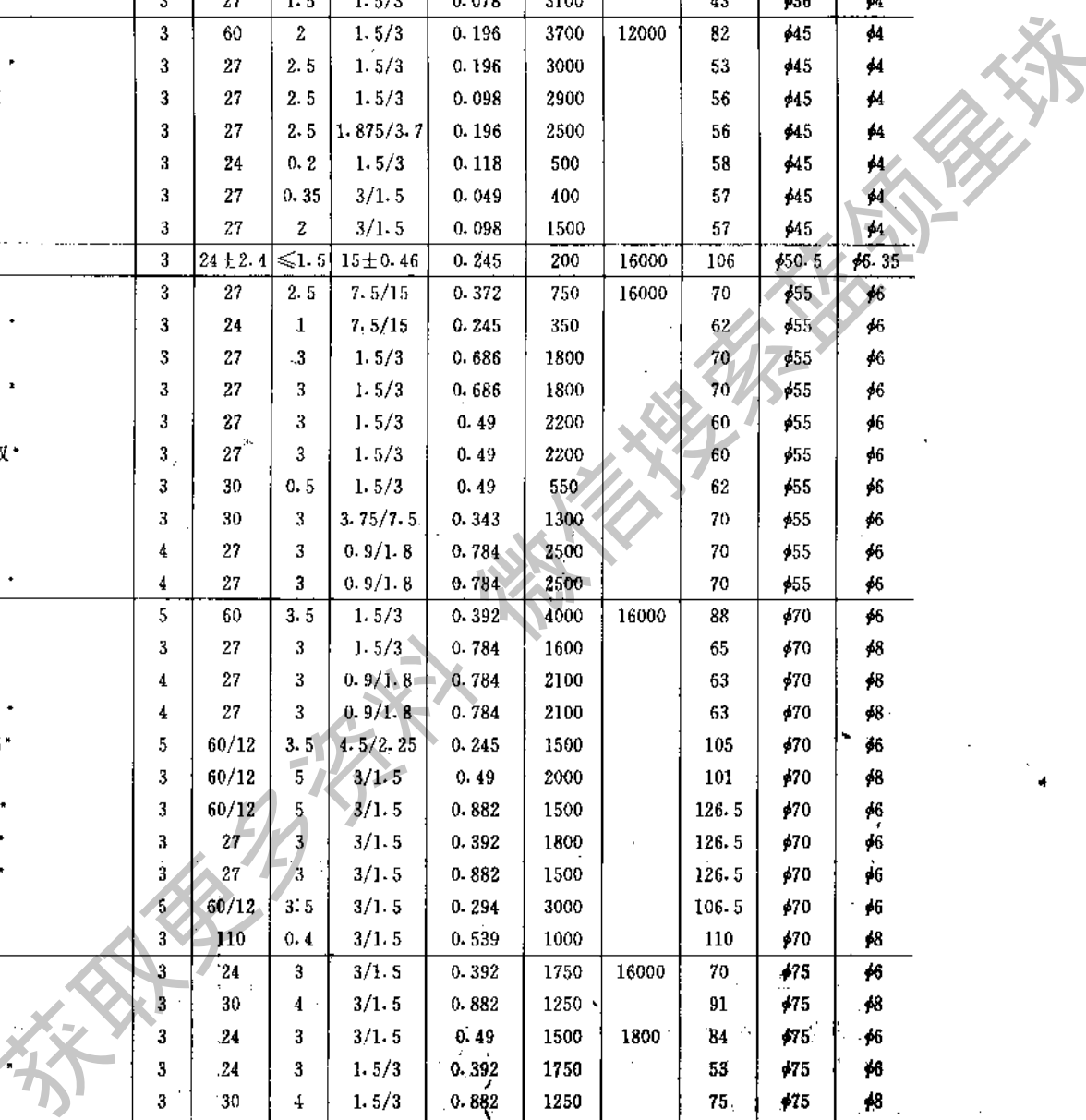


图 29-28 130 机座号 CYD 系列测速发电机外形及安装尺寸

表 29-68 BF 系列步进电动机技术数据及主要外形、安装尺寸

型 号	相数	额定电压 V	静态 电流 A	步距角 °	保持转矩 N·m	空载起 动频率 PPS	空载运 行频率 PPS	外 形 尺 寸 mm		
								总 长	外 径	轴 径
28BF001	3	27	0.8	3/6	0.0176	1800	12000	30	φ23	φ3
36BF002 I	3	27	0.6	3/6	0.049	1900	12000	42	φ36	φ4
36BF003	3	27	1.5	1.5/3	0.078	3100		43	φ36	φ4
36BF003 I *	3	27	1.5	1.5/3	0.078	3100		43	φ36	φ4
45BF003 I	3	60	2	1.5/3	0.196	3700	12000	82	φ45	φ4
45BF005 I *	3	27	2.5	1.5/3	0.196	3000		53	φ45	φ4
45BF005 II	3	27	2.5	1.5/3	0.098	2900		56	φ45	φ4
45BF006	3	27	2.5	1.875/3.7	0.196	2500		56	φ45	φ4
45BF008	3	24	0.2	1.5/3	0.118	500		58	φ45	φ4
45BF3 3 *	3	27	0.35	3/1.5	0.049	400		57	φ45	φ4
45BF3-3A	3	27	2	3/1.5	0.098	1500		57	φ45	φ4
50BF1	3	24±2.4	≤1.5	15±0.46	0.245	200	16000	106	φ50.5	φ6.35
55BF001	3	27	2.5	7.5/15	0.372	750	16000	70	φ55	φ6
55BF002 I *	3	24	1	7.5/15	0.245	350		62	φ55	φ6
55BF003	3	27	3	1.5/3	0.686	1800		70	φ55	φ6
55BF003 I *	3	27	3	1.5/3	0.686	1800		70	φ55	φ6
55BF004	3	27	3	1.5/3	0.49	2200		60	φ55	φ6
55BF004 双 *	3	27	3	1.5/3	0.49	2200		60	φ55	φ6
55BF004 I	3	30	0.5	1.5/3	0.49	550		62	φ55	φ6
55BF005	3	30	3	3.75/7.5	0.343	1300		70	φ55	φ6
55BF009	4	27	3	0.9/1.8	0.784	2500		70	φ55	φ6
55BF009 I *	4	27	3	0.9/1.8	0.784	2500		70	φ55	φ6
70BF001	5	60	3.5	1.5/3	0.392	4000	16000	88	φ70	φ6
70BF003	3	27	3	1.5/3	0.784	1600		65	φ70	φ8
70BF004	4	27	3	0.9/1.8	0.784	2100		63	φ70	φ8
70BF004 I *	4	27	3	0.9/1.8	0.784	2100		63	φ70	φ8
70BF5-4.5 *	5	60/12	3.5	4.5/2.25	0.245	1500		105	φ70	φ6
70BF3-3	3	60/12	5	3/1.5	0.49	2000		101	φ70	φ8
70BF3-3A *	3	60/12	5	3/1.5	0.882	1500		126.5	φ70	φ6
70BF3-3B *	3	27	3	3/1.5	0.392	1800		126.5	φ70	φ6
70BF3-3C *	3	27	3	3/1.5	0.882	1500		126.5	φ70	φ6
70BF5-3 *	5	60/12	3.5	3/1.5	0.294	3000		106.5	φ70	φ6
70BF3-3J *	3	110	0.4	3/1.5	0.539	1000		110	φ70	φ8
75BF01 *	3	24	3	3/1.5	0.392	1750	16000	70	φ75	φ6
75BF03 *	3	30	4	3/1.5	0.882	1250		91	φ75	φ8
75BF3	3	24	3	3/1.5	0.49	1500	1800	84	φ75	φ6
75BF001 I *	3	24	3	1.5/3	0.392	1750		53	φ75	φ6
75BF003	3	30	4	1.5/3	0.882	1250		75	φ75	φ8
75BF003 I *	3	30	4	1.5/3	0.882	1250		75	φ75	φ8
75BF004	3	80	5.8	1.5/3	0.49	2500	16000	72	φ75	φ6
90BF001	4	80	7	0.9/1.8	3.92	2000	8000	145	φ90	φ9
90BF001 I *	4	80	7	0.9/1.8	3.92	2000	8000	145	φ90	φ9
90BF002	5	80	7	0.75/1.5	3.92	3800	16000	145	φ90	φ9
90BF002 I *	5	80	7	0.75/1.5	3.92	3800	16000	145	φ90	φ9

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！



超星阅览提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！  
续表 29-68

型 号	相数	额定电压 V	静态 电流 A	步距角 °	保持转矩 N·m	空载起 动频率 PPS	空载运 行频率 PPS	外 形 尺 寸 mm		
								总 长	外 径	轴 径
90BF003	3	60	5	1.5/3	1.96	1500	8000	125	φ90	φ9
90BF003 I *	3	60	5	1.5/3	1.96	1500	8000	125	φ90	φ9
90BF004	5	60	7	0.75/1.5	2.45	4000	16000	118	φ90	φ9
90BF004 I *	5	60	7	0.75/1.5	2.45	4000	16000	118	φ90	φ9
90BF006	5	24	3	0.36/0.7	2.156	2400		65	φ90	φ9
90BF006 I *	5	24	3	0.36/0.7	2.156	2400		65	φ90	φ9
90BF4-1.8	4	60/12	7	1.8/0.9	2.55	1500		151	φ90	φ9
90BF3-3	3	60/12	5	3/1.5	1.960	1000		128.5	φ90	φ9
90BF5-1.5	5	60/12	5	1.5/0.75	1.568	2500		128.5	φ90	φ9
90BF3-3 *	3	60/12	5	3/1.5	1.47	1000	8000	136	φ90	φ8
90BF 1	3	40	6	0.75/1.5	1.96	1000	3200	164	φ90	φ11
110BF4-0.36 *	4	60/12	2.5	0.36	1.96	1000	8000	163	φ110	φ11/φ8
110BF3 1.5/0.75	3	80/12	6	1.5/0.75	9.8	1500	6000	231	φ110	φ11
110BF5-1.5 *	5	60/12	7	1.5/0.75	2.646	2000		161	φ110	φ11
110BF5-1.5A *	5	60/12	7	1.5/0.75	4.410	1500		186	φ110	φ11
110BF3-1.5	3	40	6	1.5/0.75	8.33	1000		196	φ110	φ14
110BF02	3	80	6	1.5/0.75	7.87	1500	8000	185	φ110	φ11
110BF003	3	80	6	1.5/0.75	7.84	1500	7000	160	φ110	φ11
110BF003 I *	3	80	6	1.5/0.75	7.84	1500	7000	160	φ110	φ11
110BF004	3	30	4	1.5/0.75	4.9	500		110	φ110	φ11
110BF004 I *	3	30	4	1.5/0.75	4.9	500		110	φ110	φ11
110BF3	3	80	8	1.5/0.75	10	1300	>7000	212	φ110	φ11
110BF3-1.5/0.75	3	80/12	6	1.5/0.75	9.8	1500	8000	181	φ110	φ11
110BF-1	3	80	6	0.75	7.84	1500		192	φ110	φ14
110BF-2	3	48	7	0.75	9.8	1000		222	φ110	φ14
120BF4-1	4	50	6	3/1.5	3.43	1000	1300	170	φ120	φ17
130BF02	3	380/12		0.75	9.807	2000		330	φ130	
130BF5-1.5/0.75	5	110/12	10	1.5/0.75	11.7	2000	8000	135.5	φ130	φ16
130BF001	5	80/12	10	1.5/0.75	9.31	3000	16000	170	φ130	φ14
130BF5-1.5/0.75 I	5	110/12	10	1.5/0.75	12.74	2000	8000	179.5	φ130	φ16
150BF002	5	80/12	12	0.75/1.5	13.72	2800	8000	155	φ150	φ18
150BF003	5	80/12	13	0.75/1.5	15.68	2600	8000	178	φ150	φ18
150BF003 I *	5	80/12	13	0.75/1.5	15.68	2600	8000	178	φ150	φ18
150BF01	5	80/12	13	0.75/1.5	15.68	2000		227	φ150	φ12
150BF5	5	80/12	13	0.75/1.5	20	2500	>15000	234	φ150	M18
150BF51	5	80/12	8	0.75/1.5	10	2500	>15000	194	φ150	M18
160BF5B-1.5/0.75	5	80/12	13	0.75/1.5	20.6	2000	8000	187.5	φ160	φ12
160BF5C-1.5/0.75	5	80/12	13	0.75/1.5	16.2	2000	8000	162.5	φ160	φ12
160BF5C-1.5/0.75 I	5	110/12	13	0.75/1.5	16.17	2000	10000	222.5	φ160	φ12
160BF5D-1.5/0.75	5	80/12	10	0.75/1.5	16.2	2000	8000	162.5	φ160	φ12
160BF5B-1.5/0.75 I	5	80/12	13	1.5/0.75	19.6	1800	8000	241.5	φ160	M12
160BF5C-1.5/0.75 II	5	80/12	13	1.5/0.75	15.68	1800	8000	222.5	φ160	M12
200BF001	5	24	4	10°/20°	14.7	1300	8000	93	φ200	φ28
200BF01	5	300/15	18	1.5/0.75	29.4	800		301	φ200	φ28
200BF02	5	300/15	20	1.5/0.75	39.2	800		329	φ200	φ28
200BF03	5	300/15	25	1.5/0.75	49	800		365	φ200	φ28

注：“\*”为双轴伸。

生产厂：常州电机电器总厂。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

### 3.4 伺服电动机及伺服测速机组

伺服电动机，其功用是将电信号转变为轴上的机械转矩。它具有良好的可控性，起动和制动迅速，无自转现象，电机运行平稳。转速随转矩的增加而均匀下降。本系列伺服电动机广泛用于自动控制随动系统和计算技术装置中作执行元件。

#### 3.4.1 SL 系列交流伺服电动机

SL 系列交流伺服电动机为鼠笼转子式两相伺

表 29-69 SL 系列交流伺服电动机技术数据

型 号	频率 Hz	激磁电压 V	控制电压 V	堵转转矩 (不小于) mN·m	堵转激 磁电流 (不大于) A	堵转控 制电流 (不大于) A	额定输 出功率 (不小于) W	空载转速 (不小于) r/min	时间常数 (不大于) ms	质 量 (不大于) g
12SL4G4	400	20	20	0.65	0.13	0.13	0.16	9000	12	15
12SL4G6	400	20	20				0.1	5600	8	20
20SL4E6	400	36	36	2	0.15	0.15	0.32	6000	12	50
20SL4E4	400	36	36	1.8	0.15	0.15	0.5	9000	25	50
20SL4G6	400	20	20	2	0.25	0.25	0.32	6000	12	50
20SL4G4	400	20	20	1.8	0.25	0.25	0.5	9000	25	50
20SL5F2	50	26	26	1.8	0.15	0.15	0.13	2700	12	50
20SL02	400	36	36	1.5	0.11	0.11	0.25	6000	15	50
20SL4A	400	36	36	1.8			0.5	9000	25	50
28SL4B8	400	115	115	6	0.09	0.09	1	4800	20	160
28SL4B6	400	115	115	5.5	0.09	0.09	1.2	6000	15	160
28SL4E8	400	36	36	6	0.28	0.28	1	4800	20	160
28SL4E6	400	36	36	5.5	0.28	0.28	1.2	6000	15	160
28SL416	400	115	36	5.5	0.09	0.28	1.2	6000	15	160
28SL5E2	50	36	36	5	0.12	0.12	0.4	2700	8	160
28SL5G2	50	20	20	5	0.15	0.15	0.4	2700	8	160
28SL02	400	115	115	5	0.10	0.10	1.0	6000	20	160
28SL4A6	400	115	115/57.5	6			1	6000	15	100
28SL4B6	400	36	36/18	5			1	6000	15	100
28SL4A	400	115	115	5			0.74	4800	20	
28SL4B	400	36	36	5			0.74	4800	20	
28SL418	400	115	36	5.5	0.09	0.28	1.2	6000	15	100
36SL4B8	400	115	115	11	0.10	0.16	1.8	4800	15	260
36SL4B4	400	115	115	8	0.15	0.15	2.5	9000	35	260
36SL4E8	400	36	36	11	0.415	0.415	1.8	4800	15	260
36SL4E4	400	36	36	8	0.48	0.48	2.5	9000	35	260
36SL418	400	115	36	11	0.16	0.415	1.8	4800	15	260
36SL414	400	115	36	8	0.15	0.48	2.5	9000	35	260
36SL5C2	50	110	110	11	0.07	0.07	1	2700	8	260
36SL5E2	50	36	36	11	0.21	0.21	1	2700	8	260
36SL5J2	50	110	20	11	0.07	0.385	1	2700	8	260
36SL02	400	115	115	9	0.17	0.17	1.5	4800	20	260
36SL52	50	110	110	9	0.07	0.07	0.63	2700	15	260
36SL4A8	400	115	115/57.5	12			1.8	4800	20	190
36SL4B8	400	36	36/18	12			1.8	4800	20	190
36SL4C8	400	115	36/18	12			1.8	4800	20	190
45SL4B8	400	115	115	22	0.3	0.3	4	4800	20	450
45SL4B4	400	115	115	16	0.32	0.32	6	9000	40	450
45SL4E8	400	36	36	22	1	1	4	4800	20	450

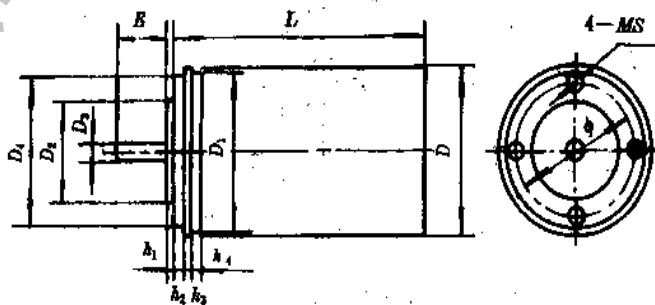
超星阅读器提醒您：  
使用本阅读器  
请尊重相关知识产权！  
续表 29-69

型 号	频率 Hz	激磁电压 V	控制电压 V	堵转转矩 (不小于) mN·m	堵转激磁 电流 (不大于) A	堵转控制 电流 (不大于) A	额定输出 功率 (不小于) W	空载转速 (不小于) r/min	时间常数 (不大于) ms	质 量 (不大于) g
45SL4E4	400	36	36	16	1.02	1.02	6	9000	40	450
45SL4F8	400	115	36	22	0.3	1	4	4800	20	450
45SL4I4	400	115	36	16	0.32	1.02	6	9000	40	450
45SL5C4	50	110	110	55	0.18	0.18	2.5	1200		450
45SL5C2	50	110	110	45	0.18	0.18	4	2700	15	450
45SL5E2	50	36	36	45	0.54	0.54	4	2700	15	450
45SL5J2	50	110	20	45	0.18	0.99	4	2700	15	450
45SL5H4	50	110	15	15	0.06	0.4	4	1250		450
45SL02	400	115	115	17	0.28	0.28	2.5	4800	20	450
45SL4A8	400	115	115/57.5	25			4	4800	20	360
45SL4B8	400	36	36/18	25			4	4800	20	360
45SL4A	400	115	115	22			3.7	4800	20	
45SL4B	400	36	36	22			3.7	4800	20	
55SL4B8	400	115	115	55	0.60	0.60	9.2	4800	25	1000
55SL4B4	400	115	115	40	0.75	0.75	16	9000	50	1000
55SL4I8	400	115	36	55	0.60	1.92	9.2	4800	25	1000
55SL5A2	50	220	220	85	0.15	0.15	8	2700	15	1000
55SL5C2	50	110	110	85	0.30	0.30	8	2700	15	1000
55SL5K2	50	110	36	90	0.25	0.75	6	2700	15	1000
55SL57	50	110	110	72	0.32	0.32	6.3	2700	20	1000
55SL54	50	110	110	40	0.18	0.18		2700		850
55SL54A	50	220	220	40	0.09	0.09		2700		850
55SL5A4	50	220	220	68	0.13	0.13	2.5	1250	15	850
55SL5C2G	50	110	110	100	0.32	0.32	10	2700	15	850
70SL4B4	400	115	115	70	1.2	1.2	28	9000		1600
70SL5A2	50	220	220	180	0.30	0.30	16	2700		1600
70SL5C2	50	110	110	180	0.60	0.60	16	2700		1600
90SL55	50	220	220	300	0.55	0.55	25	2700	30	
90SL5A8*	50	220		840				740		
110SL5*	50	200		1000				900		
110SL5C*	50	110		1200				900		

注：“\*”为短时工作制，在额定电压下工作时间不得超过10min，在2/3额定电压时可长期运行。

生产厂：西安微电机研究所、南京微电机厂、青海微电机厂、沈阳微电机厂、天津微型特种电机厂。

表 29-70 12~45 机座号 SL 系列伺服电动机外形及安装尺寸

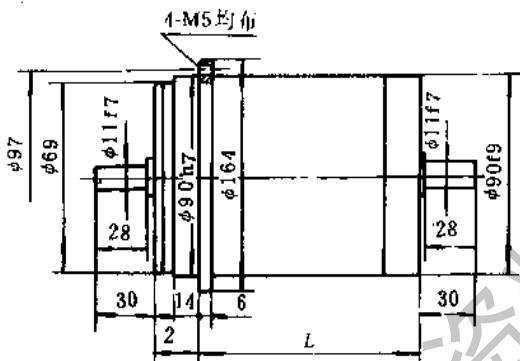


超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！  
续表 29-70

机座号	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	E	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	φ	S	L
	h10	h11	h9	f7	h6	—	±0.1	±0.1	±0.1	+0.2	±0.1	—	(不大于)
12	12.5	11	10	2		10	1	0	1	1			30
20	20	18.5	13	2.5		9	1.2	0	1.2	1.2			30
28	28	26.5	18	3	26	10	1.5	1.5	1.5	1.5	22	M2.5	45
36	36	34.0	22	4	32	12	1.5	2.5	2.0	2.0	27	M3	50
45	45	42.0	25	4	41	12	1.5	2.5	2.0	2.0	33	M3	60

表 29-71 55、70 机座号 SL 系列伺服电动机外形及安装尺寸

机座号	D	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	d	J	L <sub>1</sub>	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	L
	h7	h10	h10	f9	f7	—	—	—	h12	±0.1	(不大于)
55	55	54	60	55	6	16	18	12	8	5	73.5
70	70	69	76	70	8	20	22	19	12	6	90



90SL55 : L=90, 单轴伸  
90SL5A8 : L=116, 双轴伸  
图 29-29 90SL 伺服电动机外形及安装尺寸

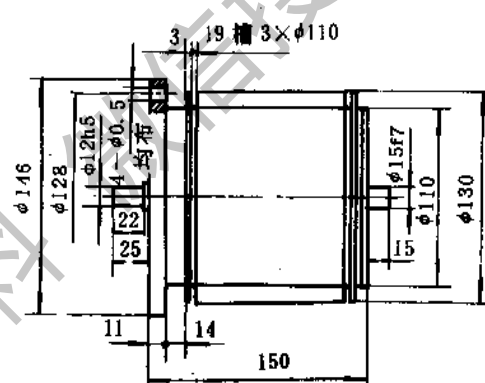


图 29-30 110SL5 伺服电动机外形及安装尺寸

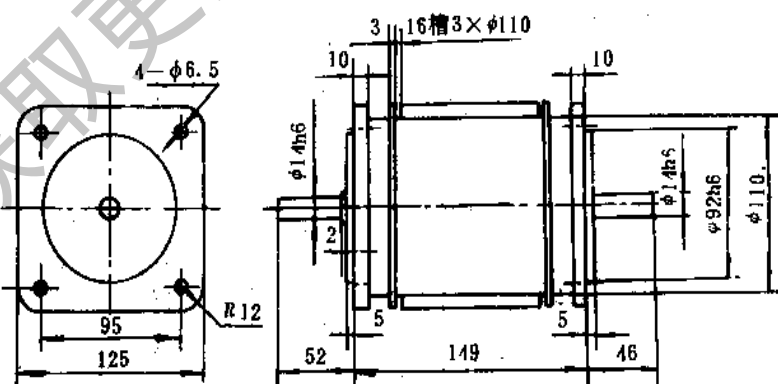


图 29-31 110SL5C 伺服电动机外形及安装尺寸



## 3.4.2 SZ系列直流伺服电动机

电动机。它具有机械特性、调节特性线性度好，调速范围宽，起动转矩大等优点。广泛用于自动控制系统中作执行元件，亦可作驱动元件。

SZ系列直流伺服电动机系电磁式直流伺服电

表 29-72 SZ系列直流伺服电动机技术数据

型 号	转 矩 mN·m	转 速 r/min	功率 W	电 压 V		电 流 (不大于) A		允许顺逆 转速差 r/min	转动惯量 (不大于) $\mu\text{kg}\cdot\text{m}^2$	备 注
				电 枢	激 磁	电 枢	激 磁			
55SZ01	66	3000	20	24		1.55	0.43	200	15	
55SZ02	66	3000	20	27		1.37	0.42	200	15	
55SZ03	66	3000	20	48		0.79	0.22	200	15	
55SZ04	66	3000	20	110		0.34	0.09	200	15	
55SZ05	56	6000	35	24		2.7	0.43	300	15	
55SZ06	56	6000	35	27		2.3	0.42	300	15	
55SZ07	56	6000	35	48		1.34	0.22	300	15	
55SZ08	56	6000	35	110		0.54	0.09	300	15	
55SZ09	43	8000~10000	40	110		0.66	0.09	400	15	
55SZ51	93	3000	29	24		2.25	0.49	200	20	
55SZ52	93	3000	29	27		2	0.44	200	20	
55SZ53	93	3000	29	48		1.15	0.24	200	20	
55SZ54	93	3000	29	110		0.46	0.097	200	20	
55SZ55	80	6000	50	24		3.45	0.49	300	20	
55SZ56	80	6000	50	27		3.1	0.44	300	20	
55SZ57	80	6000	50	48		1.74	0.24	300	20	
55SZ58	80	6000	50	110		0.74	0.097	300	20	
55SZ60	67	4200	29	48	24	1.25	0.49	250	20	
70SZ01	130	3000	40	24		3	0.5	200	60	
70SZ02	130	3000	40	27		2.6	0.44	200	60	
70SZ03	130	3000	40	48		1.6	0.25	200	60	
70SZ04	130	3000	40	110		0.6	0.11	200	60	
70SZ05	110	6000	68	24		4.8	0.5	300	60	
70SZ06	110	6000	68	27		4.4	0.44	300	60	
70SZ07	110	6000	68	48		2.4	0.25	300	60	
70SZ08	110	6000	68	110		1	0.11	300	60	
70SZ51	180	3000	55	24		4	0.57	200	72	
70SZ52	180	3000	55	27		3.5	0.5	200	72	
70SZ53	180	3000	55	48		1.9	0.31	200	72	
70SZ54	180	3000	55	110		0.8	0.13	200	72	
70SZ55	150	6000	92	24		6	0.57	300	72	
70SZ56	150	6000	92	27		5.4	0.5	300	72	
70SZ57	150	6000	92	48		3	0.31	300	72	
70SZ58	150	6000	92	110		1.2	0.13	300	72	
70SZ59	95	8000~10000	88	110		1.32	0.13	400	72	

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

续表 29-72

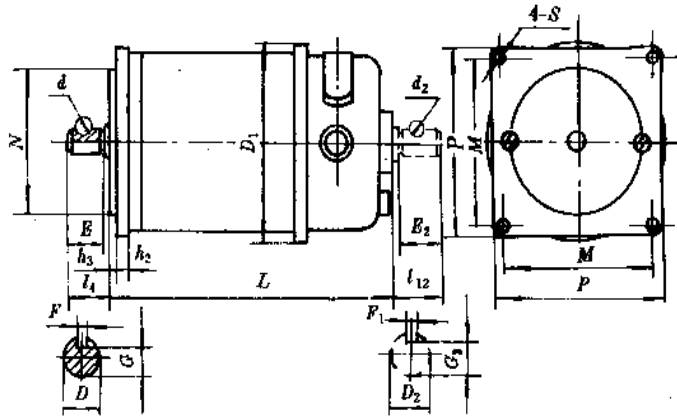
型 号	转 矩 mN · m	转 速 r/min	功 率 W	电 压 V		电 流 (不大于) A		允许顺逆 转速差 r/min	转动惯量 (不大于) μkg · m <sup>2</sup>	备 注
				电 柜	激 磁	电 柜	激 磁			
90SZ01	330	1500	50	110		0.66	0.2	100	190	
90SZ02	330	1500	50	220		0.33	0.11	100	190	
90SZ02M	330	1500	50	220		0.33	0.11	100	190	
90SZ03	300	3000	92	110		1.2	0.2	200	190	
90SZ04	300	3000	92	220		0.6	0.11	200	190	
90SZ05	300	3000	92	24		6.1	0.8	200	190	
90SZ10	300	3000	92	180	200	0.7	0.12	200	190	
90SZ51	520	1500	80	110		1.1	0.23	100	260	
90SZ52	520	1500	80	220		0.55	0.13	100	260	
90SZ53	490	3000	150	110		2	0.23	200	260	
90SZ54	490	3000	150	220		1	0.13	200	260	
90SZ55	520	1500	80	24		5	1	100	260	
90SZ57	325	15000	500	220		3.7	0.13	700	260	短时 2min
110SZ01	800	1500	123	110		1.8	0.27	100	570	
110SZ02	800	1500	123	220		0.9	0.13	100	570	
110SZ03	650	3000	200	110		2.8	0.27	200	570	
110SZ04	650	3000	200	220		1.4	0.13	200	570	
110SZ07	487	10000±750	500	110		7.2	0.42	500	570	短时 10min
110SZ51	1200	1500	185	110		2.5	0.32	100	780	
110SZ52	1200	1500	185	220		1.25	0.16	100	780	
110SZ53	1000	3000	308	110		4	0.32	200	780	
110SZ54	1000	3000	308	220		2	0.16	200	780	
110SZ55	1000	3000 <sup>+200</sup> <sub>-500</sub>	308	24		20	1.3	200	780	
110SZ56	1200	1000	123	110		1.7	0.32	100	780	
110SZ57	840	1450±145	125	54	54	3.24	0.54		780	
		2000 <sup>+100</sup> <sub>-200</sub>	172	54		4.5			780	
110SZ59	1300	3000	400	96		6.1		200	780	短时 1h
110SZ60	975	3000	300	110		4		200	780	
130SZ01	2300	1500	355	110		4.4	0.28	100	2000	
130SZ02	2300	1500	355	220		2.2	0.18	100	2000	
130SZ03	1950	3000	600	110		7.6	0.28	200	2000	
130SZ03M	1950	3000	600	110		7.6	0.28	200	2000	
130SZ04	1950	3000	600	220		3.8	0.18	200	2000	
130SZ04M	1950	3000	600	220		3.8	0.18	200	2000	
130SZ06	2300	750	177	110		2.3	0.28	75	2000	

注：上述产品型号中 01—49 为短铁心，51—99 为长铁心。

生产厂：博山电机厂、青海微电机厂、天津微型特种电机厂、本溪微电机厂。

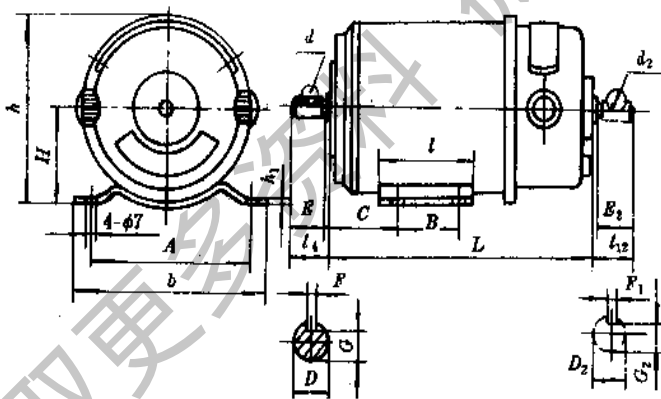
787 浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-73 端盖凸缘安装型式的 36~110 机座号 SZ 系列伺服电动机外形及安装尺寸



型 号	N	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	M	P	S	D <sub>1</sub>	L	D	E	l <sub>4</sub>	F	G	d	D <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	l <sub>12</sub>	F <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>
	b7	—	h12	±0.15	—	—	—	h6	—	—	$\begin{matrix} +0.005 \\ -0.015 \end{matrix}$	h11	H11	h6	—	—	$\begin{matrix} +0.005 \\ -0.015 \end{matrix}$	h11	H11	
55SZ01~49	42	4	2.5	48	58	4.5	60	91	5	12	13.5	2	3.3	7	4	12	13.5	光	轴	—
55SZ51~99								101												
70SZ01~49	54	5	3	60	72	5.5	74	114	6	14	16	2	4.3	7	5	12	13.5	2	3.3	7
70SZ51~99								124												
90SZ01~49	70	6	3	76	92	6.6	95	127	8	16	18	2	5.2	10	6	14	16	2	4.3	7
90SZ51~99								147												
110SZ01~49	85	7	4	94	112	9	115	164	10	20	22	3	7.3	10	8	16	18	2	5.2	10
110SZ51~99								194												

表 29-74 底脚安装型式的 90、110 机座号 SZ 系列伺服电动机外形及安装尺寸



型 号	H	h	h <sub>1</sub>	A	b	C	B	l	L	D	E	l <sub>4</sub>	F	G	d	D <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	l <sub>12</sub>	F <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>
	—	—	—	±0.25	—	—	±0.25	—	—	h6	—	—	$\begin{matrix} +0.005 \\ -0.015 \end{matrix}$	h11	H11	h6	—	—	$\begin{matrix} +0.005 \\ -0.015 \end{matrix}$	h11	H11
90SZ01~49	50 <sup>-0.4</sup>	97.5	3	100	116	26.5	44	64	8	16	18	2	5.2	10	6	14	16	2	4.3	7	
90SZ51~99						40.5		147													
110SZ01~49	63 <sup>-0.5</sup>	120.5	4	115	32	70	85	10	20	22	3	7.3	10	8	16	18	2	5.2	10		
110SZ51~99					47		194														

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

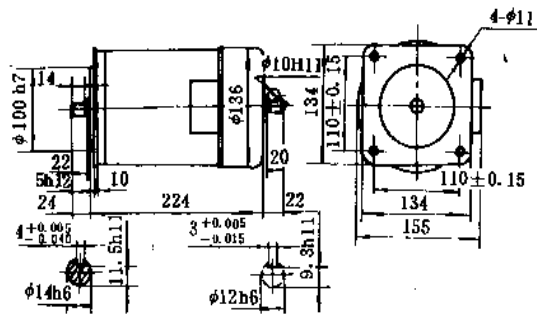


图 29-32 端盖凸缘安装型式的 130 机座号 SZ 系列伺服电动机外形及安装尺寸

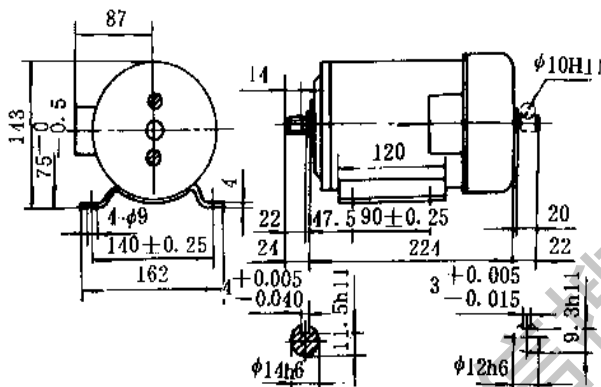


图 29-33 底脚安装型式的 130 机座号 SZ 系列伺服电动机外形及安装尺寸

适用于自动控制等系统中作执行元件或驱动元件。

### 3.4.3 SY 系列永磁式直流伺服电动机

SY 系列直流伺服电动机采用永久磁铁激磁。

表 29-75 SY 系列伺服电动机技术数据

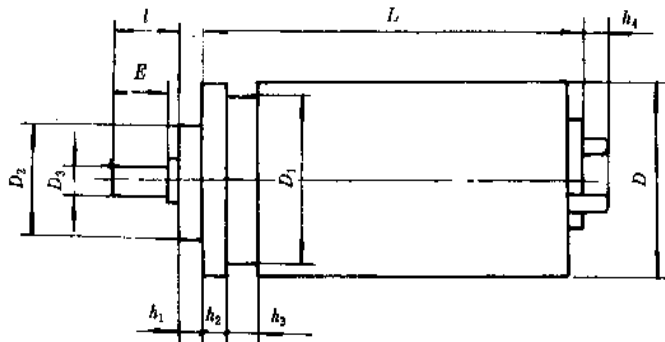
型 号	电 压 V	电 流 (不大于) A	转 矩 mN·m	转 速 r/min	功 率 W	允许顺逆 转速差 r/min	转动惯量 (不大于) μkg·m <sup>2</sup>
20SY01	9	0.5	2	6000	1.2	300	0.27
20SY02	9	0.65	2	9000	1.8	400	0.27
20SY03	12	0.36	2	6000	1.2	300	0.27
20SY04	12	0.45	2	9000	1.8	400	0.27
20SY05	5	0.48	2	3000	0.6	300	0.27
24SY01	9	0.54	3	6000	1.8	300	0.54
24SY02	9	0.75	3	9000	2.8	400	0.54
24SY03	12	0.4	3	6000	1.8	300	0.54
24SY04	12	0.57	3	9000	2.8	400	0.54
28SY01	9	0.6	5	3000	1.5	200	0.92
28SY02	9	0.95	5	6000	3.1	300	0.92
28SY03	9	1.3	5	9000	4.6	400	0.92
28SY04	12	0.45	5	3000	1.5	200	0.92
28SY05	12	0.7	5	6000	3.1	300	0.92

型 号	电 压 V	电 流 (不大于) A	转 矩 mN·m	转 速 r/min	功 率 W	允许顺逆 转 速 差 r/min	转动惯量 (不大于) $\mu\text{kg}\cdot\text{m}^2$
28SY06	12	0.9	5	9000	4.6	400	0.92
28SY07	27	0.2	5	3000	1.5	200	0.92
28SY08	27	0.32	5	6000	3.1	300	0.92
28SY09	27	0.4	5	9000	4.6	400	0.92
28SY11	18	0.55	7	3000	2	150	0.92
28SY51	9	0.9	8	3000	2.5	200	1.2
28SY52	9	1.3	8	6000	4.9	300	1.2
28SY53	9	1.8	8	9000	7.4	400	1.2
28SY54	12	0.65	8	3000	2.5	200	1.2
28SY55	12	1.0	8	6000	4.9	300	1.2
28SY56	12	1.3	8	9000	7.4	400	1.2
28SY57	27	0.27	8	3000	2.5	200	1.2
28SY58	27	0.42	8	6000	4.9	300	1.2
28SY59	27	0.58	8	9000	7.4	400	1.2
28SY61	18	0.70	10	3000	3	150	1.2
36SY01	12	0.85	12	3000	3.7	200	2.7
36SY02	12	1.4	12	6000	7.4	300	2.7
36SY03	12	1.8	12	9000	11	400	2.7
36SY04	27	0.35	12	3000	3.7	200	2.7
36SY05	27	0.65	12	6000	7.4	300	2.7
36SY06	27	0.9	12	9000	11	400	2.7
36SY51	12	1.4	20	3000	6.2	200	3.2
36SY52	12	1.9	20	6000	12	300	3.2
36SY53	12	2.9	20	9000	19	400	3.2
36SY54	27	0.6	20	3000	6.2	200	3.2
36SY55	27	0.85	20	6000	12	300	3.2
36SY56	27	1.3	20	9000	19	400	3.2
45SY01	12	1.6	30	3000	9	200	6.4
45SY02	12	3.0	30	6000	19	300	6.4
45SY03	12	3.8	30	9000	28	400	6.4
45SY04	27	0.73	30	3000	9	200	6.4
45SY05	27	1.2	30	6000	19	300	6.4
45SY06	27	1.8	30	9000	28	400	6.4
45SY51	12	2.0	40	3000	12	200	10
45SY52	12	3.6	40	6000	25	300	10
45SY53	12	5.0	40	9000	37	400	10
45SY54	27	0.9	40	3000	12	200	10
45SY55	27	1.6	40	6000	25	300	10
45SY56	27	2.2	40	9000	37	400	10

生产厂：博山电机厂、本溪微电机厂。

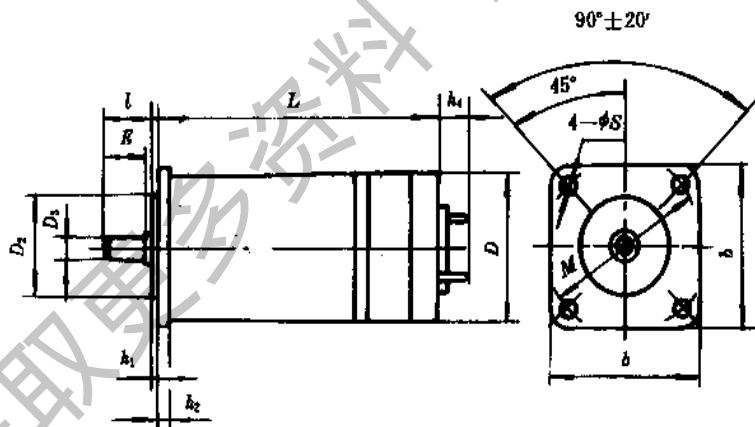
超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-76 端部止口及凹槽安装型式的 20~45 机座号  
SY 系列伺服电动机外形及安装尺寸



型 号	mm										
	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	l	E	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	L
20SY01~49	20	18.5	13	2.5	9	8	±0.1	±0.1	±0.2	—	—
24SY01~49	24	22.5	15	3	10	—	±0.1	±0.1	±0.2	—	—
28SY01~49	28	26.5	26	3	10	9	±0.1	±0.1	±0.2	—	—
28SY51~99	28	26.5	26	3	10	9	±0.1	±0.1	±0.2	—	—
36SY01~49	36	34	32	4	12	11	±0.1	±0.1	±0.2	—	—
36SY51~99	36	34	32	4	12	11	±0.1	±0.1	±0.2	—	—
45SY01~49	45	42	41	4	12	11	±0.1	±0.1	±0.2	—	—
45SY51~99	45	42	41	4	12	11	±0.1	±0.1	±0.2	—	—

表 29-77 前端凸缘安装型式的 36、45 机座号  
SY 系列伺服电动机外形及安装尺寸



型 号	mm											
	D	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	E	l	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>4</sub>	S	M	b	L
36SY01~49	36	22	4	11	12	—	±0.1	—	—	±0.15	—	—
36SY51~99	36	22	4	11	12	—	±0.1	—	—	±0.15	—	—
45SY01~49	45	25	4	11	12	2.5	±0.1	—	—	±0.15	—	—
45SY51~99	45	25	4	11	12	2.5	±0.1	—	—	±0.15	—	—



超791浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

3.4.4 SC 系列交流伺服测速机组

SC 系列伺服测速机组是由交流伺服电动机和交流测速发电机组成。在自动控制系统中，测速发电

机通常与伺服电动机直接连接使用。机组的特点是转子惯量小，结构紧凑，体积小，重量轻，同时避免了两电机轴连接不良产生的不利影响等。本系列机组在自动控制系统中作为速度反馈的执行元件。

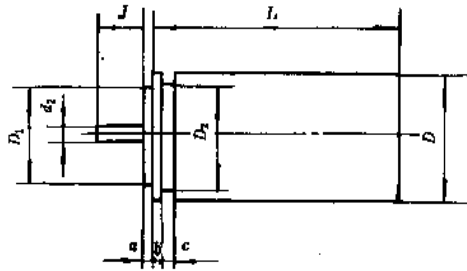
表 29-78 SC 系列伺服测速机组技术数据

型 号	激磁电压 V	频率 Hz	伺 服 电 动 机							测 速 发 电 机				质量 g
			控 制 电 压 V	堵 转 每 相 输入 功 率 (不 大 于) W	堵 转 矩 (不 大 于) mN·m	空 载 转 速 r/min	额 定 转 速 r/min	空 载 正 反 转 速 偏 差 (不 大 于) r/min	输 出 功 率 (不 小 于) W	输 出 斜 率 V/(kr·min <sup>-1</sup> ) ±10%	同 相 线 性 误 差 %	最 大 线 性 工 作 转 速 r/min	剩 余 电 压 mV	
20SC4E6-0.25	36	400	36/18	2.5	1.5	5500	4000	200	0.24	0.25	0.5	3600	20	66
20SC4E6-0.4	36	400	36/18	3.5	2	5500	4000	200	0.32	0.4	0.3	3600	30	66
20SC4E4-0.4	36	400	36/18	3.5	1.8	8500	6000	200	0.5	0.4	0.3	3600	30	66
24SC4L4-0.5	115	400	26	4	2.5	9000	6000	100	0.7	0.5	0.5	3600	25	66
28SC4I6-2.5	115	400	36/18	6	5.5	8500	4000	100	1.2	2.5	0.3	3600	60	254
28SC4B6-0.8	115	400	115/57.5	6	5.5	8500	4000	100	1.2	0.8	0.1	3600	30	254
28SC4E6-0.8	36	400	36/18	6	5.5	6000	4000	100	1.2	0.8	0.5	3600	30	254
28SC4B6-2.5	115	400	115/57.5	6	5.5	6000	4000	100	1.2	2.5	0.3	3600	60	254
28SC4I6-0.8	115	400	36/18	6	5.5	8500	4000	100	1.2	0.8	0.1	3600	30	254
28SC4B6-1.5	115	400	115/57.5	6	5.5	8500	4000	100	1.2	1.5	0.2	3600	40	254
28SC4I6-1.5	115	400	36/18	6	5.5	8500	4000	100	1.2	1.5	0.2	3600	40	254
36SC4B8-2	115	400	115/57.5	8	11	4800	3000	100	1.8	2	0.2	3600	50	335
36SC4E8-1	36	400	36/18	8	11	4800	3000	100	1.8	1	0.2	3600	25	335
36SC4B8-3	115	400	115/57.5	8	11	4800	3000	100	1.8	3	0.3	3600	70	335
36SC4B4-2	115	400	115/57.5	8	8	9000	6000	100	2.5	2	0.2	3600	60	335
36SC4I4-2	115	400	36/18	8	8	8500	6000	100	2.5	2	0.2	3600	60	335
36SC4I8-2	115	400	36/18	8	11	4500	3000	100	1.8	2	0.2	3600	60	335
36SC4I8-3	115	400	36/18	8	11	4500	3000	100	1.8	3	0.3	3600	70	335
45/36SC4B8-3	115	400	115/57.5	14	22	4800	3000	100	4	3	0.3	3600	70	500
45/36SC4I8-3	115	400	36/18	14	22	4800	3000	100	4	3	0.3	3600	70	500
45/36SC4E4-1	36	400	36/18	16	16	9000	6000	100	6	1	0.2	3600	25	500
45SC5H2-4	110	50	20/10	14	45	2600	1500	100	4	4	0.5	2000	50	500
45SC4B8-4	115	400	115/57.5	14	22	4500	3000	100	4	4	0.5	3600	80	500
45SC5C2-4	110	50	110/55	14	45	2500	1500	100	4	4	1	1800	50	500
45/36SC4E8-1	36	400	36/18	14	22	4500	3000	100	4	1	0.2	3600	25	500
45/36SC4B4-3	115	400	115/57.5	16	16	8500	6000	100	6	3	0.3	3600	70	500
45/36SC4B8-2	115	400	115/57.5	14	22	4500	3000	100	4	2	0.2	3600	60	500
45/36SC4I8-2	115	400	36/18	14	22	4500	3000	100	4	2	0.2	3600	60	500
55/45SC5C2-3	110	50	110	24	85	2600	1500	50	8	3	0.5	2000	50	1200
55/45SC4B8-3	115	400	115	28	55	4800	3000	100	9.2	3	0.2	3600	70	1200
55/45SC5K2-2	110	50	36/18	24	85	2600	1500	50	8	2	0.5	2000	50	1200
55/45SC5K2-3	110	50	36/18	24	85	2600	1500	50	8	3	0.5	2000	50	1200
55/45SC5N2-3	110	50	150	24	85	2600	1500	50	8	3	0.5	2000	50	1200
55/45SC5C2-4	110	50	110	24	85	2500	1500	50	8	4	1	1800	50	1200
70/55SC5C2-5	110	50	110	40	180	2600	1500	50	16	5	1	2000	70	2100
70/55SC4B4-1	115	400	115	54	70	9000	6000	100	28	1	0.8	3600	35	2100

生产厂：天津微型特种电机厂。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-79 20~36 机座号 SC 系列伺服测速机组外形及安装尺寸



机座号	mm								
	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	d	J	a	b	c	L (不大于)
	h10	h6	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$	f7	—	—	—	—	—
20	φ20	φ13	φ18.5	φ2.5	10	1.2	1.2	1.2	44
24	φ24	φ18	φ22.5	φ3	12	1.5	1.5	1.5	52
28	φ28	φ26	φ26.5	φ3	12	3	1.5	1.5	82.5
36	φ36	φ32	φ33.5	φ4	14	4	2	2	90
45	φ45	φ41	φ41.5	φ4	14	4	2	2	100

表 29-80 55、70 机座号 SC 系列伺服测速机组外形及安装尺寸

机座号	mm										
	D	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	d	J	a	b	L <sub>1</sub>	L (不大于)	
	h9	h10	—	h10	f7	—	—	—	—	—	
55	φ55	φ54	φ60	φ45	φ6	18	8	5	12	135	
70	φ70	φ69	φ76	φ55	φ6	20	12	6	19	—	

3.4.5 110SZ-C 系列伺服测速机组

械组合而成,可用作驱动元件,亦可在自动控制系统中作执行元件。

本机组由直流伺服电动机和交流测速发电机

表 29-81 110SZ-C 系列伺服测速机组主要数据

型号	直流伺服电动机					交流测速发电机			质量 (不大于) kg
	电压 V		转矩 mN·m	功率 W	转速 r/min	电流 (不大于) A	输出斜率 V/(kr·min <sup>-1</sup> )	负载电阻 Ω	
	励磁	电枢							
110SZ-C02	110	约 70	650	约 700	10000	16	≥2	10000	8
110SZ-C03	110	约 130	650	约 800	13000	10	≥2	10000	8
110SZ-C04	110	110	800	240	3000±300	电枢	≥23	10000	8
						励磁			
						3	0.3		

生产厂：博山电机厂

超 793 浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

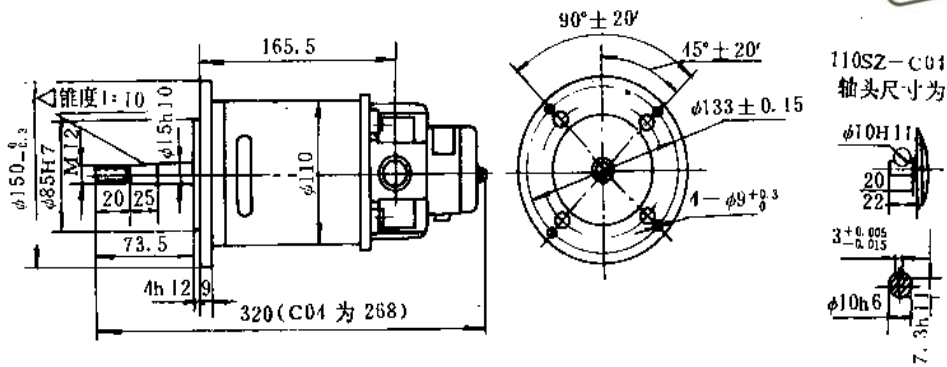


图 29-34 110SZ-C 机组外形及安装尺寸

#### 4 普通驱动电动机

##### 4.1 电动机的工作制、绝缘等级与允许温升

表 29-82 电动机的工作制

分类	说 明	电流、温升与时间的特性曲线
长期工作制	运行时间长, $t_g > (3 \sim 4) T_c$ ( $t_g$ 为工作时间; $T_c$ 为电动机发热时间常数, 电动机达到稳定温升而又不超过允许值。) 在额定温升下运行的电动机, 不允许过载	
短时工作制	运行时间短, $t_g \ll (2 \sim 4) T_c$ , 电动机未能达到稳定温升; 停歇时间长, 电动机能完全冷却到周围环境的温度。在不超过额定温升的条件下, 允许电动机有一定的过载。这种电动机短时定额分为 15、30、60、90 min 四种	
断续工作制	工作时间 $t_g$ 和停歇时间 $t_0$ 相交替, 周期性重复。工作时间短, 电动机温升来不及达到稳定值; 停歇时间不长, 电机也来不及完全冷却到周围环境的温度。重度运行的周期 $T$ , $T = t_g + t_0$ , 不大于 10 min, 大于 10 min 的一般按长期工作考虑。这种工作制通常用负载持续率 FC 表明特点。 $FC = \frac{t_g}{T} \times 100\%$ 标准断续工作制电动机的标准持续率分为 15%、25%、40% 及 60% 四种。这种电动机名牌标示的额定数据通常是指 $FC = 40\%$ 时的 (老产品为 25%)	

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-83 绝缘等级与允许温升

绝缘等级	A	E	B	F	H
允许工作温度 / °C	105	120	130	155	180
环境温度为 40°C 时, 允许温升值 / °C	60	75	80	100	125

电动机名牌标示的额定功率, 应理解为, 当电动机在额定条件下长期运行时, 因发热而升高的温度

恰如达到制造厂所规定的允许温升(即额定温升)数值。

电动机的选择与使用, 都以不超过额定温升为原则。

4.2 电动机的特点、用途及使用条件

表 29-84 电动机的特点、用途及使用条件

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
般 异 步 电 动 机	Y 系列 (IP23) 三相异步电动机	该系列为一般用途防护式笼型电动机。符合国标防护等级要求。能防止手指触及机壳内带电体或转动部分; 防止直径大于 12mm 的小固体异物进入, 并防止沿垂直线成 60°角或小于 60°角的淋水对电机的影响。 该系列电动机具有效率高、起动性能好、噪声低、体积小、重量轻等优点。适于驱动无特殊要求的各种机械设备, 如水泵、鼓风机、金属切削机床及运输机械等。 电动机防护等级为 IP23	1. 海拔不超过 1000m; 2. 环境温度不高于 +40°C; 3. 额定电压 380V 允许电压偏差 ±5%; 4. 额定频率 50Hz; 允许频率偏差 ±1%; 5. 3kW 及以下为 Y 接法, 4kW 及以上为 Δ 接法; 6. 绝缘等级: B 级 7. 工作方式: 连续 (S1)	B3: 机座带底脚, 端盖上无凸缘; B5: 机座不带底脚, 端盖上有凸缘 B35: 机座带底脚, 端盖上有凸缘	Y—异步电动机; IP23—国标防护等级符号 (2 级防固体, 3 级防水); S—短机座; M—中机座; L—长机座; S1—连续工作制
	Y 系列 (IP44) 三相异步电动机	该系列电动机为封闭自扇冷式鼠笼型三相异步电动机, 效率高、节能, 堵转转矩高、噪声低、振动小, 运行安全可靠。能防止灰尘、铁屑或其他杂物侵入电机内部, 具有与 Y 系列 (IP23) 相同的用途外, 还能适用于灰尘多、水土飞溅的场所, 如球磨机、碾米机、磨粉机、脱谷机及其他农业机械、食品机械、矿山机械等。 其防护等级为 IP44	同上	B3, 派生型式 V5、V6、B8、B6、B7 B5, 派生型式 V1、V3 B35, 派生型式 V15、V36	IP44 为 4 级防固体, 4 级防水; 其他同上
	YH 系列 高转差率三相异步电动机	该系列电动机是 Y 系列 (IP44) 三相异步电动机的派生产品, 也是取代 JH02 系列的更新换代产品, 具有体积小、质量轻、性能优良、运行可靠的特点。并具有转差率高、堵转转矩大、堵转电流小、机械特性软、能承受冲击负载的特点, 适用于传动飞轮转矩较大和不均匀冲击负载以及反转次数较多的金属加工机床。如锤击机、剪切机、冲压机、锻冶机等	工作方式为断续周期工作制 (S3), 如不能按基本额定负载持续率 (FC) 使用, 可以按表 29-99 数据调整电动机的输出功率	B3 B5 B35	H—高转差率 S3—断续周期工作制

续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
一般异步电动机	YEJ 系列 电磁制动三相异步电动机	<p>该系列电动机是全封闭自扇冷式鼠笼型带有直流圆盘式电磁制动器的三相异步电动机。是 Y 系列 (IP44) 电机的派生产品。</p> <p>它适用于要求快速停止准确定位的传动机构或装置上,如主轴传动或辅助传动。具有制动快,定位准确的优点。冷却方式为 ICO141</p>	<p>制动器防护等级为 IP23;</p> <p>其他同 Y 系列 (IP44)</p>	<p>基本结构型: B3、B5、B35。</p> <p>常用安装结构型式: B3、B5、B35、B8、B7、B6</p>	YEJ——系列代号
变速异步电动机	YCT 系列 电磁调速电动机	<p>该系列电机是一种恒转矩调速电动机,通过可控硅进行控制达到均匀调速。它由异步电动机、电磁转差离合器、测速发电机及控制装置组成。它具有交流无级调速,速度负反馈的自动调节系统,速度变化率低于 3%,结构简单,使用维护方便,价格低廉;无失控区、调速范围广;控制功率小,便于手控、自控和遥控,适应范围广;起动性能好,起动转矩小,起动平滑。广泛适用于恒转矩无级调速的各种机器设备上,如纺织、电影制片、化工、印染、冶金、造纸、水泥、橡胶、电线、制糖、塑料、发电厂等,更适用于变转矩的离心式水泵和风机负载上,用转速调节来代替阀门的开闭以控制流量或压力,从而达到节能的目的。防护等级为 IP21</p>	<p>适于在无爆炸,且无足以腐蚀金属和破坏绝缘的气体的地方工作。</p> <p>其他同 Y 系列 (IP44)</p>	B3	<p>C——电磁</p> <p>T——调速</p> <p>其他同上</p>
电动机	YLJ 系列 (IP21) 三相力矩电动机	<p>YLJ 系列力矩电动机是交流异步电动机的一个专用品种,具有其独特的电气特性,当负载增加时,电机的出轴转速能自动地随之降低,使产品卷绕时的张力保持不变。这个优越的性能与卷绕特性是协调匹配的。</p> <p>由于电动机具有较大的阻抗,堵转电流较小,及采用强迫通风形式,因此电机能长期运转在低速范围,甚至处于堵转状态。而且具有结构简单、无电刷、滑环整流子等,具有同一般电机维护、保养简便的优点。防护等级为 IP21</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 周期性负载 (从高速至低速) 下使用;</li> <li>2. 电动机在使用时,鼓风机必须常开;</li> <li>3. 其他同 Y 系列 (IP44)</li> </ol>	B3	<p>LJ——力矩电动机</p> <p>其他同前</p>

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产

微信搜索 索蓝领星球

续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
变速异步电动机	YD 系列 (IP44) 变极多速三相异步电动机	<p>该系列电动机是 Y 系列三相异步电动机的电气派生系列,是我国八十年代取代 JD02、JD03 系列的更新换代产品。</p> <p>它是利用改变定子绕组的接线方法以及变电动机的极数来达到变速的。电动机具有可随负载的不同要求有级地变化功率和转速的特性,从而达到与负载的合理匹配。</p> <p>这对简化变速系统和节约能源有很大意义。它具有体积小,性能优良,运行可靠控制系统简单,效率高、堵转转矩高、振动小、噪声低等特点。广泛用于机床、矿山、冶金、纺织等工业部门的各式万能、组合、专用金属切削机床以及需要变速的各种传动机构</p>	同 Y 系列 (IP44)	B3、B5、B35。 派生安装型式 B5; V1、V3; H3; V5、V6、 B8、B6、B7; B35; V15、 V36	D——多速 其他同前
	YWT (IP44) 鼠笼型交流无级调速电动机	<p>该电动机是专利产品,其原理是利用定子转子错位,使磁场发生变化,从而使转子上的力矩变化,以此来改变电机转速。能从额定转速下调至所需的转速。</p> <p>该电动机具有使用方便,运行可靠维修简单,节电效果显著。可以降低启动电流,随着电机转速降低,风机噪声也降低,对环境污染可以减轻。</p> <p>由于该电动机转矩随转速的变化而变化,因此它适用于离心风机、轴流风机等随转速降低负载转矩也降低的负载。</p> <p>其防护等级为 IP44</p>	参见 Y 系列 (IP44)	B3	WT——无级调速 编者注 其他同前
冶金及起重用异步电动机	YZR、YZ 系列冶金及起重用三相异步电动机	<p>YZR 系列为绕线转子电动机, YZ 系列为鼠笼转子电动机。</p> <p>YZR、YZ 系列电动机适用于各种型式的起重机械及其他类似设备的专用产品,具有较大的过载能力和较高的机械强度,因此,它特别适用于那些短时或断续运转、频繁启动、制动、有过载负荷及有显著振动与冲击的设备。</p> <p>电动机具有良好的密封性,用于一般场所的电动机防护等级为 IP44,用于冶金场所的电动机防护等级为 IP54</p>	<p>绝缘等级为 F 级,环境温度不超过 40℃; 绝缘等级为 H 级,环境温度不超过 60℃; 工作方式: S3—基准负载持续率 40%,其他 S2、S4、S5 等工作制。 其他参见 Y 系列 (IP44)</p>	IM1001 IM1003 IM1002 IM1004 IM3001 IM3003 IM3011 IM3013	Z——冶金及起重用; R——转子为绕线型; S2——短时工作制; S4——带启动的断续周期工作制; S5——带电制动的断续周期工作制。其他同前
	YZD 系列起重用多速三相异步电动机	<p>该系列电动机为起重用变极多速笼型转子三相异步电动机,在 YZ 系列上的派生。具有 YZ 系列的特点,适用于起重机械、建筑机械等。防护等级为 IP44。</p>	<p>绝缘等级为 F; 其他参见 YZR、YZ 及 Y 系列 (IP44)</p>	IM1001 IM1003 IM1002 IM1004	D——多速 其他同上

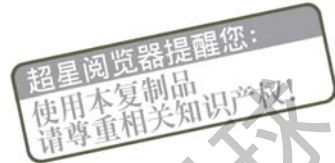
超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

微信搜索 蓝领星球



续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
冶金及起重用异步电动机	YZRW 系列滑流制动三相异步电动机	<p>电机由 YZR 系列绕线转子三相异步电动机和感应式涡流制动器组成, 是一种新运转, 适于频繁启动和制动的场所, 调速范围可从电动机额定转速调至同步转速的 1/5~1/10。适用于驱动各种类型的冶金及起重机械或其他设备。</p> <p>防护等级 IP44, IP54 (冶金), 涡流制动器防护等级 IP00</p>	<p>绝缘等级 F、H (冶金)</p> <p>其他参见 YZR、Y 系列 (IP44)</p>	<p>IM1001</p> <p>IM1003</p> <p>IM3011</p> <p>IM3013</p>	<p>W——涡流制动</p> <p>其他同上</p>
防爆异步电动机	YB 系列隔爆型三相异步电动机	<p>该系列电动机是全封闭自扇冷鼠笼式隔爆型三相异步电动机, 是防爆电机的基本系列。具有效率高、振动小、噪声低, 隔爆结构先进, 使用维护方便等优点。电动机的绝缘等级为 F 级, 但温升限值按 B 级考核, 温升裕度大, 寿命长, 使用可靠性高。适用于长期或暂时有爆炸性混合物存在的危险场所。</p> <p>本系列电动机还可制成 YB-TH 湿热带型或 YB-W 户外型。</p> <p>此外还派生了防爆标志为 d I CT4 的 YB 系列。</p> <p>防护等级为 IP44, 也可为 IP54, 接线盒为 IP54, V1 安装型式与户外为 IP55</p>	<p>防爆标志:</p> <p>d I、d I AT4、</p> <p>d I BT4、d I CT2、</p> <p>d I CT4; 电压: 220、380、660、1140、220/380、380/660V; 环境温度: 不超过 40℃;</p> <p>频率: 50Hz</p> <p>工作方式: 连续额定 (S1)</p>	<p>B3</p> <p>B5</p> <p>B35</p>	<p>B——隔爆型</p> <p>W——环境代号; W 代表户外;</p> <p>TH——环境代号; TH 代表湿热带型;</p> <p>其他同上</p>
	YBK 系列煤矿用隔爆型三相异步电动机	<p>该系列电动机为轴向通风全封闭自扇冷鼠笼式隔爆型三相异步电动机, 是八十年代取代 BJ02、BJQ02、BJQ 等系列的新产品。它具有效率高、堵转转矩大, 噪声低、振动小、温升裕度大, 性能良好, 隔爆结构合理, 使用安全可靠, 外形美观等优点。制成隔爆型“d I”, 适用于有甲烷或煤尘爆炸性混合物的矿井中。</p> <p>防护等级 IP44, 接线盒 IP54、风罩 IP20</p>	<p>环境空气温度: 35℃; 电压: 380/660 或 660/140V;</p> <p>其他同 Y 系列 (IP44)</p>	<p>B3</p> <p>B5</p>	<p>K——矿用</p> <p>d——隔爆型电气设备</p> <p>I——煤矿井下用</p>
	YWb 系列无火花型三相异步电动机	<p>该系列电动机是全封闭自扇冷鼠笼式无火花型三相异步电动机, 是 Y 系列的派生产品。本系列电动机具有效率高, 大转矩, 低噪声, 寿命长, 性能优良等优点。其结构先进合理, 使用安全可靠, 质量轻, 体积小, 外型美观。</p> <p>制成无火花型, 防爆标志为“n I T4”。适用于工厂 2 区爆炸性危险场所中具有温度组别不低于 T4 组的爆炸性气体混合物, 并且具有轻微腐蚀介质的场所</p>	<p>电压: 220、380、660、1140、220/380、380/660V 主体防护等级为 IP54, 接线盒为 IP55</p> <p>其他同 Y 系列</p>	<p>B3</p> <p>B5</p> <p>B35</p>	<p>Wb——无火花型</p>



续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
防爆异步电动机	YBD 系列隔爆型变极多速三相异步电动机	<p>YBD 系列隔爆型变极多速三相异步电动机是在 YD 系列电动机的基础上, 制成隔爆型变极多速电动机。</p> <p>本系列电动机具有效率高, 起动转矩大, 噪声低, 振动小, 温升裕度大, 性能优良, 隔爆结构先进合理, 使用安全可靠, 体积小、质量轻、外形美观等优点。适用于有爆炸性气体混合物存在的场所。</p> <p>本系列电动机还可制成 YBD-W 户外型或 YBD-TH 湿热带型。</p>	<p>隔爆级别: d I、d II AT4、d II BT4、d I CT4;</p> <p>外壳防护等级为 IP44, 接线盒为 IP54;</p> <p>其他同 Y 系列 (IP44)</p>	B3 B5 B35	D—多速
振动电动机	JZO 系列通用型振动电动机	<p>JZO 系列电动机为全封闭结构的各类振动机械通用型激振源, 可在任何无防爆要求的粉尘条件下工作, 如, 振动给料机、振动输送机、振动破碎机、振动放矿机、振动落砂机、振动筛分机、振动沉没桩机、振动料仓、料仓的振动防闭塞装置等。适用于各种电气制动方式, 如能耗制动, 反接制动, 可多机组合成各种振动形式, 以完成各种作业。可广泛用于电力、建材、煤炭、矿山、化工、冶金、铸造、轻工等各种行业。并具有体积小, 激振力大并可无级调节, 使用维护方便; 耐振力强, 振动加速度可达 <math>196\text{m/s}^2</math>; 轴承寿命可达 5000 小时以上, 以及启动迅速, 停车平稳等优点</p>	可连续额定运行		JZO—系列代号
振动电动机	TO5 系列立式振动电动机	<p>该振动电机(激振器)是各种平旋型或复旋型振动机械理想的激振源, 如旋振筛、旋振磨机、旋振清理机、振动光饰机、振动混料机。可使其工作部位同时产生一平旋运动和空间摇摆运动。该机具有体积小, 质量轻, 使用维护方便; 耐振力强; 启动迅速, 停车平稳; 可调激振块的方位角等优点</p>	<p>额定振动加速度 <math>196\text{m/s}^2</math>;</p> <p>额定温升 <math>65^\circ\text{C}</math>; 环境温度不高于 <math>40^\circ\text{C}</math>, 否则应降低功率使用;</p> <p>海拔不超过 1000m, 否则应降低额定温升</p>		TO5—系列代号

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

微信搜索 超星领星球

续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
微 型 电 机	AO2 系列微型三相异步电动机	本系列电动机为全封闭结构, 外壳防护等级为 IP44, E 级绝缘。 本系列电动机具有国际上同类产品的优点, 结构简单, 运行可靠, 技术经济指标优异, 维护方便, 并符合 IEC 标准中的有关规定, 适用于一般驱动用	电压: 380V。可根据用户需要设计成 220/380V 及 420V; 工作方式: S1; 其他参见 Y 系列 (IP44)	IMB3、 IMB34、 IMB14; IMB5 (45、50、56 三个机座号无此种安装方式)	AO——系列代号 号
	BO2 系列微型单相分相起动异步电动机	本系列电动机可用于小型机床, 鼓风机, 医疗器械、工业缝纫机等设备上。其他同 AO2 系列	电压: 220V; 也可制成电压为 110/220V 和频率 60Hz, 其他同 AO2 系列	同 AO2 系列	BO——系列代号 号
	CO2 系列微型单相电容起动异步电动机	本系列电动机可用于空气压缩机、泵、冰箱、洗衣机等设备上。特点等同 AO2 系列	同 BO2	同上	CO——系列代号 号
	DO2 系列微型单相电容运转异步电动机	本系列电动机可用于家用电器、泵、风扇、记录仪等设备上, 特点等同 AO2 系列	同上	同上	DO——系列代号 号
	GA 系列三相异步电动机	本系列电动机符合 IEC 标准中的有关规定。电动机基本构件采用钢板结构, E 级绝缘, 适用于各种机械设备。 GAO 系列电动机为全封闭式, 外壳防护等级为 IP44。 GAK 系列电动机为防滴式保护型, 外壳防护等级为 IP23	参见 AO2 系列	IMB3 IMB34 IMB14 IMB3K	GA——系列代号 号 O——封闭式 K——保护型
	GB 系列单相电阻起动异步电动机	本系列电动机特点结构、绝缘等级与 GA 系列相同, 适用于起动转矩要求不太大的机械设备, 如, 小型机床、鼓风机等。 GBO 外壳防护等级为 IP44。 GBK 外壳防护等级为 IP23	参见 AO2、BO2 系列	同 GA 系列	GB——系列代号 号
	GC 系列单相电容起动异步电动机	该系列电动机基本构件采用钢板结构, E 级绝缘, 电动机, 起动转矩大, 多适用于要求满载起动的机械设备, 如, 空气压缩机, 木工机械、金属切削机床等。 GCO 系列电动机为全封闭式, 外壳防护等级为 IP44。 GCK 系列电动机为防滴保护型, 防护等级为 IP23	参见 GA 系列	IMB3、 IMB34、 IMB14 IMB3K	GC——系列代号 号

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜索 领星球

续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
微 型 电 动 机	GD 系列单相电容运转异步电动机	<p>该系列电动机基本构件采用钢板结构, E 级绝缘, 电机功率因数高, 运行平稳, 适用于风扇、电子仪器、仪表、医疗器械等起动转矩要求较低的机构</p> <p>GDO 系列电动机为全封闭式, 外壳防护等级为 IP44。</p> <p>GDK 系列为防滴保护型, 防护等级为 IP23</p>	参见 GA 系列	同上	GD——系列代号
	YC 系列单相电容起动异步电动机	<p>YC 系列电动机防护型式为 IP44 全封闭自扇冷式, 采用电容起动, 在额定电压下起动转矩大于 2.5 倍, 温升低, 噪声小, 过载能力强。</p> <p>该系列大马力单相电动机适用于小型机床、水泵、冷冻机、空气压缩机、木工机械, 对只有单相电源的家庭作坊尤为适用。其安装尺寸的名称, 符号及名义值符合 IEC 标准</p>	<p>额定电压: 220V;</p> <p>频率: 50~60Hz</p> <p>可制成 220/380V</p>	<p>IMB5</p> <p>IMB35</p> <p>IMB5</p>	YC——系列代号
	YLX 系列双值电容单相异步电动机	<p>该系列电动机防护等级为 IP44 全封闭自扇冷式, 是以电容起动, 电容运转的一种单相异步电动机。</p> <p>其在单相电源下工作, 有能耗小, 体积小, 质量轻、输出功率大等特点。适用于带动小型机床、水泵、空气压缩机等机械设备</p>	额定电压: 220V	IMB3	YLX——系列代号 (双值异步高效)
	JY 系列单相电容起动异步电动机	本系列电动机适用于带动空气压缩机、冰箱等起动转矩要求较大的机械或起动电流有一定限制的场所	电压: 110/220V	IMB3	JY——系列代号
	3CD4 系列磁滞同步电动机	该系列电动机, 在电源频率恒定的情况下, 转速不变, 因此可广泛地应用于自动记录遥控和计算装置中, 亦可作其他同步指示之用	<p>海拔不超过 1000m</p> <p>环境温度为 0℃~+50℃;</p> <p>周围空气的相对湿度不大于 80% (20±5℃时); 可连续运行</p>	B5	CD——磁滞同步电动机

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

微信搜索 索蓝领星球

资料

续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
微型电动机	YYTD 系列单相电子调速电动机	该系列单相电子调速电动机能在 90~1400r/min 范围内实现平滑无级调速和连续运转,并能方便地实现正反转。电动机具有运行时无电刷接触,无火花干扰,结构简单,工作可靠,寿命长,噪声低等特点。电动机可作为需要调速的小功率驱动元件使用,并可以在一些有调速要求的使用场所替代小功率直流电动机	环境温度 -10℃~+40℃; 相对湿度 ≤ 90% (25℃); 海拔高度 ≤ 1000m; 连续工作制。63--2、63--4 型 B 级绝缘,转速 90~2600r/min	IMB3 IMB5 IMB35	YYTD 品代号
	YLJ 系列力矩三相异步电动机	该系列电动机具有结构紧凑、体积小、质量轻等特点。它广泛应用于造纸、电缆、纺织化工等部门,作为卷绕、塔转和调速等设备上的驱动元件	海拔不超过 1000m; 环境温度不高于 40℃ 相对湿度 ≤ 90% (25℃)	IMB5 IMB34 IMB3 IMB14	YLJ—系列 代号
直流电动机	Z2 系列小型直流电动机	Z2 系列为一般工业用小型直流电动机,其适用于恒功率调速范围不大于 2:1,过载能力不大于 1.5 倍额定转矩的电力拖动。可用于金属切削机床、造纸、染织、印刷、水泥等工业。 Z2 系列为适应其他各种不同的特殊需要,还派生了另外一些特殊规格: 1. ZT2 广调速电动机,电机的恒功率调速调速范围为 1:3 及 1:4。 2. 特殊电压电机额定电压为 180V、340V 及 440V 的电动机适用于单相及三相可控硅供电。 3. ZO2 封闭电机,为全封闭型,适用于特殊的,需要防尘的工作环境。 4. 根据特殊需要 Z2 系列还可派生带补偿绕组的电动机,此时过载倍数可增加至 2.5 倍左右的额定转矩。 Z2 系列基本品种采用防滴、单轴伸,自扇冷的结构。电机亦可制成双轴伸	额定电压: 110V、220V,特殊额定电压为 180V、340V 及 440V。 下列条件均可连续使用: 1. 海拔不超过 1000 m; 2. 周围空气温度不大于 40℃。 绝缘等级: 1~3 号机座 E 级; 4~8 号机座 B 级; 9~11 号机座定子采用 B 级,转子采用 F 级	A101 A211 A201 A212 A202 A361 A301 A362 A302 A363 A303	Z—直流电机

续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
直 流 电 机	Z4 系列小 型直流电动 机	<p>该系列小型直流电动机广泛用于 各类机械的传动源,如轧机传动、金 属切削机床、造纸、印刷、纺织、印 染、水泥、塑料挤出机械等。</p> <p>本系列电动机的外形安装尺寸除 两底脚孔间轴向尺寸“B”之外,其他 符合 IEC72 国际标准。</p> <p>本系列电机性能及技术要求可按 IEC34-1 或 DIN57530 考核。</p> <p>本系列电机绝缘等级为 F 级,保证 绝缘性能稳定。</p> <p>本系列电机具有体积小、性能好、 重量轻、输出功率大、效率高及可靠 性高等特点</p>	<p>1. 海拔不超过 1000m;</p> <p>2. 周围空气温度不 大于 40℃;</p> <p>3. 工作环境不应含 有酸性、碱性或其他 对绝缘有腐蚀作用 的气体;</p> <p>4. 电机为连续工作 制 (S1);</p> <p>5. 电机电枢回路和 励磁回路可由静止 整流电源供电,也适 用于直流发电机供 电。</p> <p>6. 额定电压为 160V、220V、400V、 440V 或其他电压</p>	<p>IMB3</p> <p>IMB35</p> <p>IMV1</p> <p>IMV15</p>	<p>Z4——直流电 机系列代号</p>
	ZZJ-800 系列轧机辅 传动直流电 动机	<p>ZZJ-800 系列轧机辅传动直流电 动机的功率、等级、性能、外形及安 装尺寸均符合 IEC34-13《起重、冶 金用辅机电动机技术规范》和 GB5227-85《轧机辅传动直流电动 机》,电机各部尺寸公差符合 ISO 标 准。可以与国外进口 800 系列电机互 换使用。</p> <p>本系列电动机允许逆转,具有优良 的过载特性,特别适用于频繁启动制 动要求的机械传动,如轧钢机辅机传 动设备,起重机、挖掘机等,可以更 新取代 ZZJ2、ZZY、ZZ 等系列起重冶 金用直流电动机。</p> <p>电动机外壳防护等级为 IP44, IP23;电机冷却方法分别为 ICOO40 或 ICOO41、IC16 或 IC17、IC37</p>	<p>电动机工作制为 S1、S2、S3;</p> <p>使用条件:</p> <p>1. 海拔不超过 1000m;</p> <p>2. 环境气温 -30℃ 至 +40℃;</p> <p>3. 可控硅电源或机 组电源供电</p>	<p>IM1004</p> <p>IM1003</p>	<p>Z——直流</p> <p>Z——起重</p> <p>J——冶金</p>
	ZKG 系列中 型直流电动 机	<p>ZKG 系列直流电动机适应可控硅 整流电源供电,主要适用于拖动轧机 和轧机辅助设备,以及广泛调速的金 属切削机床、煤矿竖井、高炉、挖土 机、造纸机、榨糖机、塑料压延机等 机械设备。</p> <p>该电动机在基速以下,采用恒转矩 调压调速;在基速与高速之间时,采 用恒功率弱磁调速。</p> <p>通风方式为自带鼓风机或管道通 风式</p>	<p>采用 B 级绝缘环境 空气温度不超过 + 40℃;无酸性、碱性 或其他对绝缘无腐 蚀的环境中;</p> <p>采用他励励磁,励磁 电压为 110V、220V 两种;</p> <p>连续额定</p>	<p>IMB3</p>	<p>Z——直流电动 机</p> <p>K——可控硅 整流电源供电</p> <p>G——广调速</p>

提醒您:  
超本知识产品  
知识产权!

蓝领星球

蓝领星球



续表 29-84

类别	系列名称	特点与用途	使用条件及工作方式	安装型式	符号含义
直流电动机	ZDU 系列中型直流电动机	<p>本系列电动机的性能及技术符合 GB755-87 标准。</p> <p>本系列电动机可采用直流发电机电源供电,也可采用可控硅电源供电。</p> <p>本系列电动机适用于传动金属轧机和轧机的辅助设备、榨糖机、挖土机、造纸机、广调速金属切削机床、煤矿竖井和高炉等设备。</p> <p>外壳防护等级为 IP21 和 IP44 两种</p>	<p>用于周温不超过 +40℃, 海拔不超过 1000m 的室内环境中;</p> <p>冷却方法有: IC06、IC17、IC37</p>	IM133	<p>Z—直流</p> <p>D—电动机</p> <p>U—优化设计</p>
	Z 系列中型直流电动机	<p>本系列电动机的性能、外形安装尺寸及技术要求均符合 GB 和 IEC 标准,电机各部分机械尺寸、公差符合 ISO 标准。</p> <p>本系列电动机采用薄钢板多角形叠片结构,具有体积小,重量轻等优点,适用可控硅整流电源,在负载电流的迅速变化下,电机有良好的换向性能。有良好的抗潮能力和机械强度,并且绝缘和导热性能优良,具有良好的导磁性能。电机采用 F 级绝缘</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 选择正确的冷却方法和防护等级,可安装在环境条件比较恶劣的场合;</li> <li>2. 冷却空气中不应含有酸、碱等有害于绝缘和换向性能的气体;</li> <li>3. 海拔不超过 1000m; 环境空气温度不超过 40℃;</li> <li>4. 额定为连续工作方式 (S1)</li> </ol>	<p>IM1001 可派生</p> <p>IM1002</p>	<p>Z—产品代号 (Z 系列直流电动机)</p>

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

### 4.3 电动机的选择

#### 4.3.1 电动机选择应综合考虑的问题

a. 根据机械的负载性质和生产工艺对电动机的起动、制动、反转、调速等要求,选择电动机类型。

b. 根据负载转矩、速度变化范围和起动频繁程度等要求,考虑电动机的温升限制、过载能力和起动转矩,选择电动机的容量,并确定冷却通风方式,所选电动机容量应留有余量,负荷率一般取 0.8~0.9。过大的备用容量会使电动机的效率降低,对于感应电动机,其功率因数将变坏,并使按电动机最大转矩校验强度的机械造价提高。

c. 根据使用场所的环境条件,如温度、湿度、灰

尘、雨水、腐蚀和易燃易爆气体等考虑必要的保护方式,选择电动机的结构形式。

d. 根据企业的电网电压标准和对功率因数的要求,确定电动机的电压等级和类型。

e. 根据生产机械的最高转速和对电力传动调速系统的过渡过程性能的要求,以及机械减速机构的复杂程度,选择电动机的额定转速。

此外,选择电动机还必须符合节能要求,考虑运行可靠性、设备的供货情况、备品备件的通用性、安装检修的难易,以及产品价格、建设费用及考虑生产过程中前后期电动机容量变化等各因素。

#### 4.3.2 电动机外壳结构形式及选择

表 29-85 电动机外壳结构形式及选择

外 壳 结 构 形 式		选 择 方 法
结构形式	保 护 方 式	
开启式	转动及带电部分无专门的保护	1) 在正常介质的室内, 一般采用防护式电动机, 在保证人身和设备安全的条件下, 宜采用开启式电动机。
防护式:	外壳和轴承座的结构可以防护带电及转动部分免受机械损伤而不显著妨碍通风	在使用地点可能有水滴落、飞溅时, 应采用防滴、防溅或封闭式电动机。
网罩式	通风口有穿孔遮盖物, 使带电与转动部分不能与外物直接接触	2) 在湿热带地区应尽量采用湿热带型电动机。如采用普通型电动机, 应在设计或运行中采取适当的防潮措施。
防滴式	通风口结构可以防止垂直下落的液体或固体物, 直接进入电机内部	3) 在空气中经常存在腐蚀性气体或游离物的地点, 应尽量采用化工防腐型电动机或管道通风式电动机(引入干净的冷却空气); 在加强对场所通风和电动机维护的情况下, 也可采用封闭式或防护式电动机。
防溅式	通风口结构可以防止与垂线成 100°角以内的任何方向的滴水或固体物进入电动机	4) 在空气中经常存在较多灰尘的地点, 宜采用封闭式电动机。
封闭式:	外壳全封闭, 可以防止注水或固体物及灰尘进入电动机	5) 在露天场所, 宜采用户外型电动机, 如有防止日晒、雨雪、风沙等措施, 可采用封闭式或防护式电动机。
自然冷却式	靠外壳表面(有的带散热片)自然冷却, 无附带冷却装置	6) 安装在爆炸、火灾危险场所和矿井下等特殊场所的电动机, 按有关规范选择
自扇冷却式	在本身转轴上(封闭部分以外)装有风扇, 以冷却机身	
管道通风式	有特殊通风口与通风管道相联接, 电动机靠外通风冷却	
防爆式	系全封闭型, 机壳有足够的强度, 能抵抗内部气体的爆炸而不致传到外部的可燃性气体	

1.3.3 电动机类型选择

表 29-86 电动机类型选择

负 载 类 别			选 用 电 动 机 类 型	
恒转矩和通风机负载特性的机械			选择机械特性为硬特性的电动机为宜	
恒功率负载特性的机械			选用调激磁的变速直流电动机或带有机械变速的交流异步电动机	
无调速要求的机械	负载平稳; 对起动、制动无特殊要求的长期运行的机械		小功率 选用普通笼型电动机	
			大功率 采用同步电动机	
	带周期性变动负载的机械(如带飞轮), 或起动条件沉重时	大中功率		采用绕线型电动机
		小功率, 经过载能力及起动条件校验通过的		采用高转差率电动机
		单纯因起动条件沉重的机械	经起动条件校验通过	采用双笼型或深槽型电动机
	若起动校验不通过, 或起动时电网电压降过大		采用绕线型电动机	
	某些断续运行的机械虽无调速要求, 如采用交流电动机在发热、起动、制动特性等方面不能满足要求或技术经济指标过低时			采用直流电动机
	只要求几种转速的小功率机械			采用变换定子极数的多速(双速、三速、四速)笼型电动机
	对调速平滑程度要求不高, 且调速比不大时			采用绕线型电动机
	调速范围在 1:3 以上	需连续稳定平滑调速的机械		采用直流电动机
需起动转矩大的机械(如电车, 牵引机车)		采用直流串激电动机		
某些特殊场所(如要求防爆)又需平滑调速时			采用由变频电源供电的笼型电动机	
某些要求调速范围不大(1:2左右)的大功率机械(如风机、水泵)以及无频繁起动、制动要求, 和无冲击性负载的机械			采用带有串级调速装置的绕线型电动机, (可使电能回馈电网, 提高经济指标)	
要求调速范围很大, 且具有恒功率负载特性的机械			采用机械电气联合调速型式(可节省电动机装机容量)	

## 4.3.4 电动机电压和转速选择

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## (1) 电动机的电压选择

表 29-87 电动机电压和容量范围

交 流 电 动 机				直 流 电 动 机	
电 压 V	容 量 范 围 kW			电 压 V	容 量 范 围 kW
	同 步 电 动 机	异 步 电 动 机			
		笼 型	绕 线 型		
380	3~320	0.37~320	0.6~320	110	0.25~110
3000	250~2200	90~2500	75~3200	220	0.25~320
6000	250~10000	200~5000	200~5000	440	1.0~500
				600~870	500~4600
供电系统电压为 10kV 时： 1. 大容量同步电动机采用 10kV 直接供电为宜； 2. 中等容量电动机视降压变压器而定，如用三线圈变压器，则应采用 6kV 电动机；如双线圈变压器，电动机电压应作经济比较而定，若采用 10/3kV 与 10/6kV 变压器差别不大时，宜用 6kV 电动机。 供电系统电压为 6kV 时： 1. 大、中容量电动机均用采用 6kV 直接供电； 2. 小容量电动机，电压一般选用 380V				直流电动机常用 220V，随电动机容量的增大，采用的电压等级也应相应提高，一般需经电动机、电缆、控制设备等各项投资的综合比较而定	

(2) 电动机的转速选择 电动机的额定转速是根据生产机械的要求而选定的。在确定电动机额定转速时，必须考虑减速装置的传动比，两者相互配合，经过技术、经济全面比较才能确定。通常，电动机转速不低于 500r/min，因为当功率一定时，电动机的转速愈低，则其尺寸愈大，价格愈贵，而且效率也较低。如选用高速电动机，势必加大机械减速装置的传动比，致使机械传动部分复杂起来。

对于一些不需调速的高、中速机械，如水泵、鼓风机、空气压缩机等，可选用相应转速的电动机不经机械减速装置而直接传动。需要调速的机械，电动机的最高转速应与生产机械转速相适应。若采用改变激磁的直流变速电动机时，为充分利用电动机的容量，应选好调磁调速的基速。又如某些轧钢机械、提升机等，工作速度较低，经常处于频繁地正、反转运行状态，为缩短正、反转过渡时间，提高生产效率降低消耗，并减小噪声，节省投资，选择适当的低速电动机，采用无减速机的直接传动更为合理。

要求快速频繁起、制动的机械，通常是电动机飞轮转矩与额定转速的平方之积( $GD_0^2 \cdot n_N^2$ )为最小时，能获得起、制动最快的效果。在空载(或负载很小可

以忽略)情况下起、制动时，当达到快速的目的，按下式考虑最为合理：

$$GD_0^2 \cdot n_N^2 = GD_m^2 \cdot n_m^2 \quad (29-1)$$

即所谓最佳传动比为

$$i_j \approx \sqrt{\frac{GD_m^2}{GD_0^2}} \quad (29-2)$$

式中  $GD_0^2$ ——电动机(包括电动机轴上的传动装置)的飞轮转矩  $\text{Nm}^2$ ；

$n_N$ ——电动机额定转速  $\text{r/min}$ ；

$GD_m^2$ ——生产机械在机械轴上的飞轮转矩  $\text{Nm}^2$ ；

$n_m$ ——机械轴转速  $\text{r/min}$ ；

$i_j$ ——最佳传动比。

如果上式(29-2)中的  $GD^2$  用转动惯量  $J$  来代替，则  $J$  的单位应为  $\text{kgm}^2$ 。

## 4.4 电动机规格

## 4.4.1 一般异步电动机

## (1) Y 系列(IP23)三相异步电动机

表 29-88 Y 系列 (IP23) 技术数据

型 号	额定功率 kW	电 流 (380 V 时) A	转 速 r/min	效 率 %	功 率 因 数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	
同步转速 3000 r/min									
Y160M-2	15	29	2910	89	0.89	1.7	7.0	2.2	
Y160L1-2	18.5	36		89.5		1.8			
Y160L2-2	22	42		91		2.0			
Y180M-2	30	57		92		1.7			
Y180L-2	37	70	2940	90.5	0.89	1.9	7.0	2.2	
Y200M-2	45	84		91					
Y200L-2	55	103	2950	91.5	0.89	1.8	7.0	2.2	
Y225M-2	75	140		92					
Y250S-2	90	167	2960	92	0.89	1.7	7.0	2.2	
Y250M-2	110	201		92.5					
Y280M-2	132	241		92.5					
Y315SA-2	160	286.3	2960	91.5	0.90	1.4	7.0	2.0	
Y315SB-2	185	330.6							
Y315M1A-2	200	355.1							
Y315M1B-2	220	390.4							
Y315M2-2	250	441.9							
同步转速 1500 r/min									
Y160M-4	11	23	1460	87.5	0.85	1.9	7.0	2.2	
Y160L1-4	15	30		88		2.0			
Y160L2-4	18.5	37		89.5		1.9			
Y180M-4	22	43		90.5		2.0			
Y180L-4	30	58	1470	91.5	0.87	1.8	7.0	2.2	
Y200M-4	37	71							92
Y200L-4	45	86	1480	92.5	0.88	1.7	7.0	2.2	
Y225M-4	55	104							93
Y250S-4	75	141							91
Y250M-4	90	168	1480	91.5	0.88	1.4	7.0	2.0	
Y280S-4	110	205							
Y280M-4	132	245							
Y315S-4	160	292							
Y315M1A-4	185	333.9							
Y315M1B-4	200	360.2	92	0.88	1.4	7.0	2.0		
Y315M2A-4	220	396							
Y315M2B-4	250	448	92.5	0.88	1.4	7.0	2.0		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆 超星数字图书馆 超星数字图书馆

续表 29-88

型 号	额定功率 kW	电 流 (380 V 时) A	转 速 r/min	效 率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩
同步转速 1000 r/min								
Y160M-6	7.5	17	960	85	0.79	2.0	6.5	2.0
Y160L-6	11	25		86.5	0.78			
Y180M-6	15	32	970	88	0.81	1.8	6.5	2.0
Y180L-6	18.5	38		88.5	0.83			
Y200M-6	22	44	980	89	0.85	1.7	6.5	2.0
Y200L-6	30	59		89.5	0.87			
Y225M-6	37	71	980	90.5	0.86	1.8	6.5	2.0
Y250S-6	45	87		91				
Y250M-6	55	106	980	91.5	0.87	1.8	6.5	2.0
Y280S-6	75	143						
Y280M-6	90	169	980	92	0.88	1.3	6.5	1.8
Y315S-6	110	206.3		92.5	0.87			
Y315M1-6	132	245.2	980	92.5	0.87	1.3	6.5	1.8
Y315M2-6	160	296.5						
同步转速 750 r/min								
Y160M-8	5.5	14	720	83.5	0.73	2.0	6.0	2.0
Y160L-8	7.5	18		85	0.74			
Y180M-8	11	26	720	86.5	0.76	1.8	6.0	2.0
Y180L-8	15	34		87.5				
Y200M-8	18.5	41	730	88.5	0.78	1.7	6.0	2.0
Y200L-8	22	48	89	0.81	1.8			
Y225M-8	30	63	740	89.5	0.80	1.7	6.0	2.0
Y250S-8	37	78		90		1.6		
Y250M-8	45	94	740	90.5	0.81	1.8	6.0	2.0
Y280S-8	55	115		91				
Y280M-8	75	154	720	91.5	0.81	1.3	6.5	1.8
Y315S-8	90	181.3						
Y315M1-8	110	222	720	92	0.81	1.3	6.5	1.8
Y315M2-8	132	262						
同步转速 600 r/min								
Y315S-10	55	122.7	580	89.5	0.74	1.2	6.5	1.8
Y315M1-10	75	164.6		90.0	0.75			
Y315M2-10	90	190.4		90.5	0.76			

注：表中数据系山西电机厂、江西电机厂提供。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

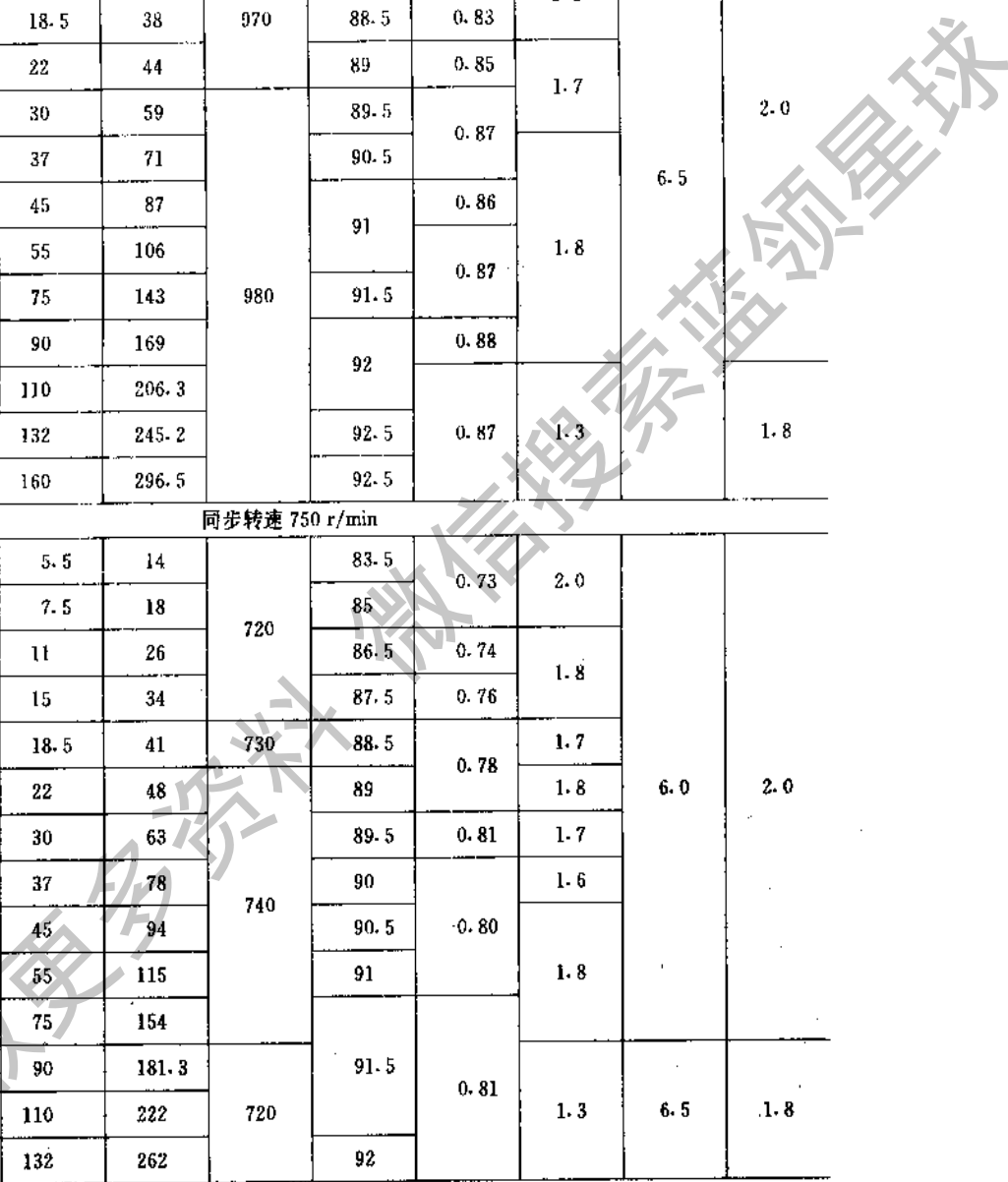
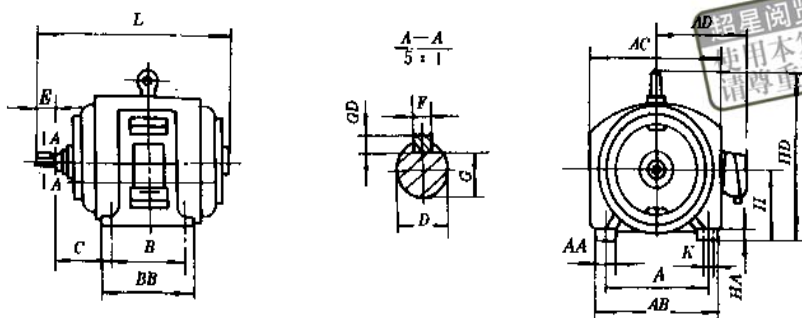
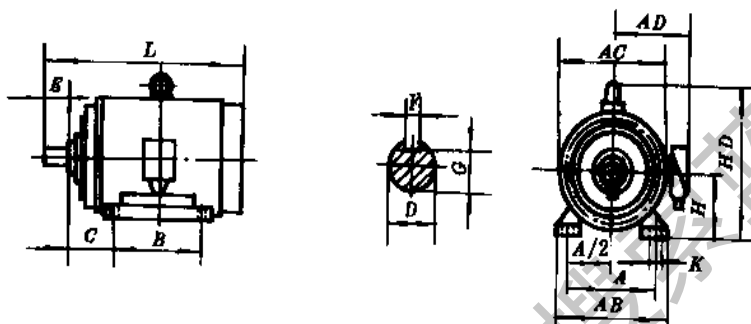


表 29-89 Y 系列 (IP23) 安装及外形尺寸



Y160~280 B3 卧式, 机座带底脚, 端盖无凸缘



Y315 B3 卧式机座带底脚, 端盖无凸缘

mm

机座号	安装尺寸											外形尺寸										
	A	A/2	B	C	D		E		F		G		H	K	AB	BB	AD	AC	HA	HD	L	
					2极	其他	2极	其他	2极	其他	2极	其他									2极	其他
160M	254	127	210	108	48	110	14	42.5	160	15	330	270	290	380	20	405	540					
160L			315									585										
180M	279	139.5	241	121	55	16	49	180	350	315	325	420	22	445	595							
180L			350													635						
200M	318	159	267	133	60	18	53	200	19	400	355	350	465	25	495	675						
200L			395								710											
225M	356	178	311	149	60	65	140	53	58	225	450	395	395	520	28	545	750					
250S	406	203	311	168	65	75	18	58	250	24	420	410	550	30	600	785						
250M			450								825											
280S	457	228.5	368	190	80	140	170	22	71	280	530	450	610	35	655	920						
280M			585								940						970					
315S	508	254	406	216	70	90	140	170	20	25	62.5	81	315	28								
315M			457																			

(2) Y 系列 (IP44) 三相异步电动机



表 29-90 Y 系列 (IP44) 三相异步电动机技术数据

型 号	额定功率 kW	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质 量 (B3) kg	
		转 速 r/min	电 流 A	效 率 %	功率因数 cosφ						
同步转速 3000 r/min											
Y801-2	0.75	2830	1.81	75	0.84	6.5				0.0075	16
Y802-2	1.1		2.52	77	0.86					0.0090	17
Y90S-2	1.5	2840	3.44	78	0.85					0.012	22
Y90L-2	2.2		4.74	80.5	0.86					0.014	25
Y100L-2	3.0	2870	6.39	82	0.87					0.029	33
Y112M-2	4.0	2890	8.17	85.5							
Y132S1-2	5.5	2900	11.1		86.2	0.88					
Y132S2-2	7.5		15.0	0.126						70	
Y160M1-2	11	2930	21.8	87.2						0.377	117
Y160M2-2	15		29.4	88.2						0.449	125
Y160L-2	18.5	2940	35.5	89						0.550	147
Y180M-2	22		42.2							0.75	180
Y200L1-2	30	2950	56.9	90						1.24	240
Y200L2-2	37		69.8	90.5						1.39	255
Y225M-2	45	2970	83.9	91.5	0.89					2.33	309
Y250M-2	55		103							3.12	403
Y280S-2	75	2980	140	92						5.97	544
Y280M-2	90		167							6.75	620
Y315S 2	110	2980	203	92.5						11.8	980
Y315M-2	132		242	93						18.2	1080
Y315L1-2	160		292	93.5						20.8	1160
Y315L2-2	200										
同步转速 1500 r/min											
Y801-4	0.55	1390	1.51	73	0.76	6.0				0.018	17
Y802-4	0.75		2.01	74.5						0.021	18
Y90S-4	1.1	1400	2.75	78	0.78	6.5				0.021	22
Y90L-4	1.5		3.65	79	0.79					0.027	27
Y100L1-4	2.2	1430	5.03	81	0.82					0.054	34
Y100L2-4	3.0		6.82	82.5	0.81					0.067	38
Y112M-4	4.0	1440	8.77	84.5	0.82					0.095	43
Y132S-4	5.5		11.6	85.5	0.84					0.214	68
Y132M-4	7.5	1460	15.4	87	0.85					0.296	81
Y160M-4	11		22.6	88	0.84					0.747	123
Y160L-4	15	1470	30.3	88.5	0.85					0.918	144
Y180M-4	18.5		35.9	91	0.86					1.39	182
Y180L-4	22	1480	42.5	91.5	0.87					1.58	190
Y200L-4	30		56.8	92.2						2.62	270
Y225S-4	37	1480	69.8	91.8						4.06	284
Y225M-4	45		84.2	92.3						4.69	320
Y250M-4	55	1490	103	92.6	0.88					6.6	427
Y280S-4	75		140	92.7						11.2	562
Y280M-4	90	1490	164	93.5						14.6	667
Y315S-4	110		201	93.5						31.1	1000
Y315M-4	132	1490	240	94	0.89					36.2	1100
Y315L1-4	160		289	94.5						41.3	1160
Y315L2-4	200		362							49.4	1270

续表 29-90

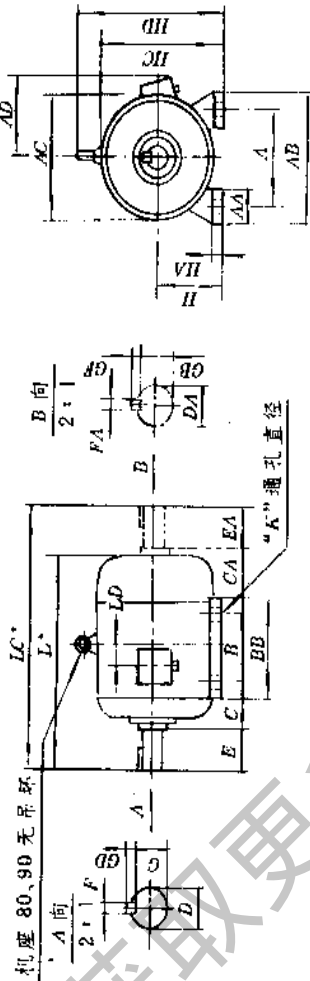
型 号	额定功率 kW	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质 量 (B3) kg	
		转 速 r/min	电 流 A	效 率 %	功率因数 cosφ						
同步转速 1000 r/min											
Y90S-6	0.75	910	2.25	72.5	0.70	5.5			0.029	23	
Y90L-6	1.1		3.15	73.5	0.72					25	
Y100L-6	1.5	940	3.97	77.5	0.74	6.0			0.069	33	
Y112M-6	2.2		5.61	80.5						45	
Y132S-6	3.0	960	7.23	83	0.76	2.0			0.286	63	
Y132M1-6	4.0		9.40	84	0.77					73	
Y132M2-6	5.5		12.6	85.3	0.77					84	
Y160M-6	7.5	970	17.0	86	0.78	6.5			0.881	119	
Y160L-6	11		24.6	87	0.78					147	
Y180L-6	15		31.4	89.5	0.81					195	
Y200L1-6	18.5		37.7	89.8	0.83					220	
Y200L2-6	22	980	44.6	90.2	0.85	1.7			3.60	250	
Y225M-6	30		59.5							0.85	292
Y250M-6	37	980	72	90.8	0.86	6.5			8.34	408	
Y280S-6	45		85.4	92	0.86					536	
Y280M-6	55		104	92	0.86					595	
Y315S-6	75	990	141	92.8	0.87	6.5			41.1	990	
Y315M-6	90		169	93.2						0.87	1080
Y315L1-6	110		206	93.5						0.87	1150
Y315L2-6	132		246	93.8						0.87	1210

同步转速 750 r/min

Y132S-8	2.2	710	5.81	81	0.71	5.5			0.314	63
Y132M-8	3.0		7.72	82	0.72					79
Y160M1-8	4.0	720	9.91	84	0.73	6.0	2.0	2.0	0.753	118
Y160M2-8	5.5		13.3	85	0.74					119
Y160L-8	7.5		17.7	86	0.75					145



表 29-92 B3 的安装及外形尺寸



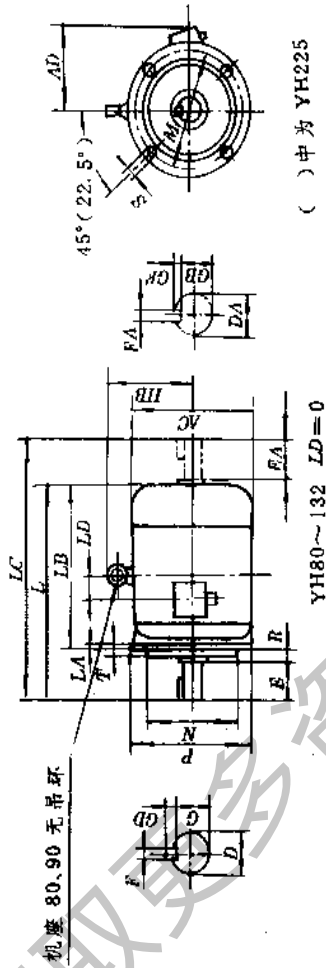
机座号	国际标准机座号		尺寸/mm																	
	2P	4.6.8.10P	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	CA	H	HA	HC	HD	K	L*	LC*	LD	
80	80-19	90S24	125	37	165	165	150	100	135	50	100	80-8.5	13	170	—	10	285	332	—	
90S	90L24	100L28	140	—	180	175	155	125	160	56	110	90-8.5	—	190	—	—	310	368	—	
100L	112M28	132S38	160	42	205	205	180	180	180	63	120	100-8.5	15	245	245	12	380	445	0	
112M	132M38	150M42	190	52	245	230	190	140	185	70	131	112-8.5	17	265	265	—	400	463	—	
132S	150M42	160L42	216	63	280	270	270	178	243	89	168	132-8.5	20	315	315	—	475	559	—	
132M	180M48	180L48	254	—	330	325	255	210	275	108	177	160-8.5	22	385	385	15	515	597	—	
160M	180L48	200L55	279	73	365	360	285	279	353	121	199	180-8.5	24	430	430	—	600	717	—	
160L	255S60	225M55	318	—	395	400	310	305	378	133	221	200-8.5	27	475	475	19	645	761	—	
200L	225M60	250M65	356	83	435	450	345	286	382	149	247	225-8.5	—	530	530	—	775	881	—	
225S	250M60	280S75	395	88	490	495	385	311	407	168	267	250-8.5	33	575	575	24	820	934	—	
225M	280S75	280M75	406	93	550	555	410	368	535	190	307	280-8.5	38	640	640	—	815	929	—	
250M	315S80	315M80	457	120	640	645	576	406	610	216	402	315-8.5	45	865	865	19	930	1036	—	
280S	315L80	315L65	508	120	640	645	576	457	660	216	402	315-8.5	45	865	865	28	1000	1117	—	
280M																				
315S																				
315M																				
315L																				

注: 1. 第二轴伸肩到风罩距离约 8mm, 表中 L\*, LC\* 等外形尺寸为最大值;

2. 轴伸尺寸见表 29-96.

表 29-93 B5 的安装及外形尺寸

B5 型



机座号	国际标准机座号		尺寸												LD		
	2P	4、6、8P	AC	AD	HB	L*	LA	LB	LC*	M	N	P	R	S		T	
80	19F165		165	150	—	285	13	245	2P	4.6.8P	332	165	130j6	200	4-φ12	3.5	
90S			175	155	—	310		260		368							
90L					—	335		285		393							
100L			205	180	145	380	15	320		445		215	180j6	250		4	0
112M			230	190	160	400		340		463							
132S			270	210	178	475	16	395		559		265	230j6	300			
132M						515		435		597							
160M			325	255	215	600	18	490		717							95
160L						645		535		761		300	250j6	350			86
180M			360	285	250	670	20	560		783					4-φ	5	105
180L						710		600		821							102
200L			400	310	280	775		665		881		350	300js6	400			103
225S			450	345	298	820	22	680		934		400	350js6	450			116
225M	55F400					815		705		959					8-φ19		

注:1. 第二轴伸肩到风罩距离约 8mm,表中 L\*、LC\* 等外形尺寸为最大值;  
2. 轴伸尺寸见表 29-97。

超星阅读器提醒  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

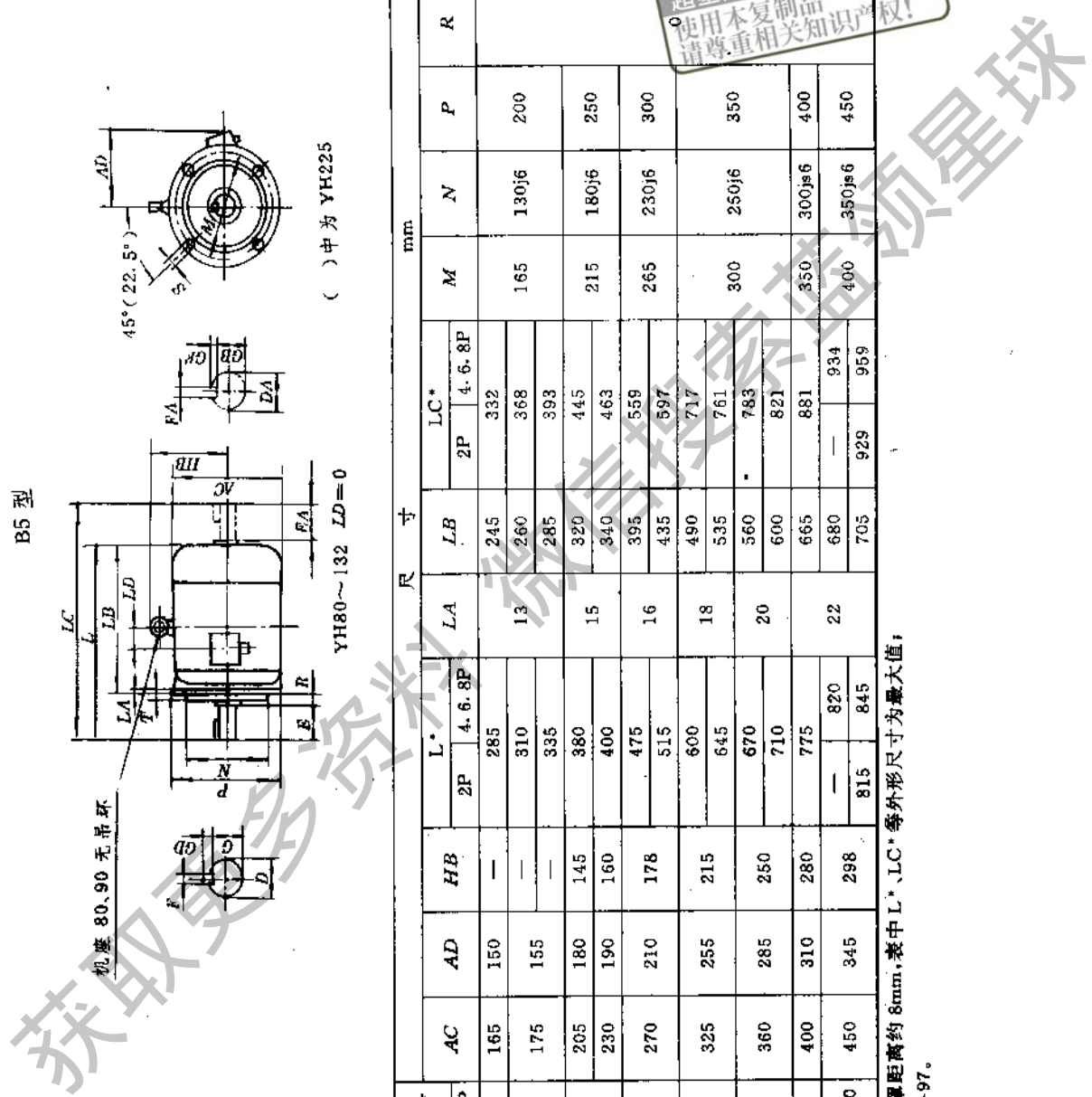
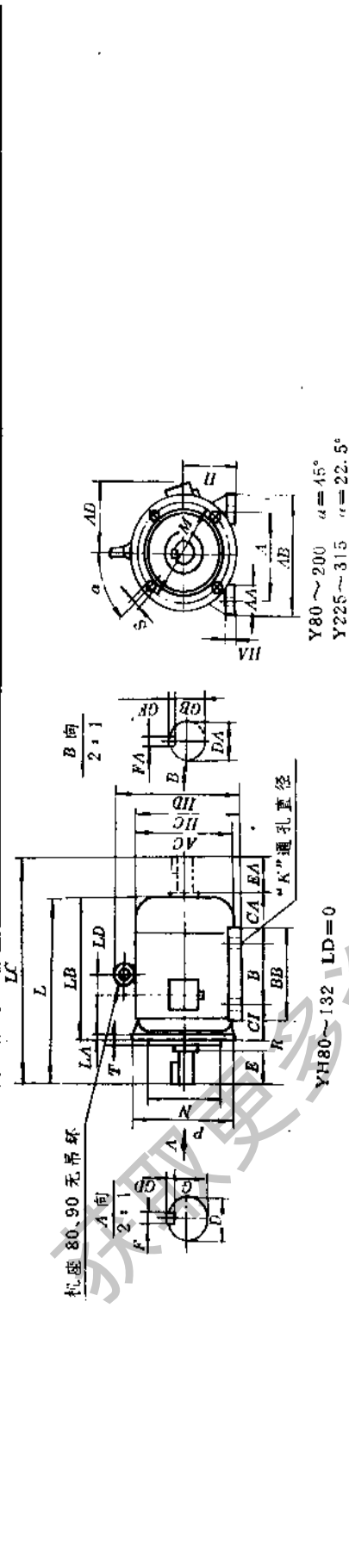


表 29-94 B35 的安装及外形尺寸



机座号	国际标准机座号		尺寸																mm								
	2P	4, 6, 8, 10P	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	CA	H	HA	HC	HD	K	L*	LC*	LA	LB	M	N	P	R	S	T	LD
80	125	165	165	165	150	100	135	50	100	80 <sup>0.5</sup>	170	10	285	332	245	245	285	332	13	260	165	130	6	200	4-φ12	3.5	55
90S	140	180	175	155	125	160	56	110	90 <sup>0.5</sup>	13	190	10	310	368	285	310	368	13	260	165	130	6	200	4-φ12	3.5	86	
90L	160	205	205	180	180	63	120	100 <sup>0.5</sup>	15	243	243	12	380	445	320	380	445	15	320	215	180	6	250	4-φ15	4	105	
100L	190	245	230	190	140	185	70	131	112 <sup>0.5</sup>	17	265	12	400	463	340	400	463	15	340	215	180	6	250	4-φ15	4	102	
112M	216	280	270	210	178	243	89	168	132 <sup>0.5</sup>	20	315	15	475	559	395	475	559	16	395	265	230	6	300	4-φ19	5	103	
132S	254	330	325	255	210	275	108	177	160 <sup>0.5</sup>	22	385	15	600	717	490	600	717	18	535	300	250	6	350	4-φ19	5	106	
132M	279	355	360	285	254	320	121	189	180 <sup>0.5</sup>	24	430	15	645	761	560	645	761	20	600	300	250	6	400	4-φ19	5	108	
160M	318	395	400	310	305	378	133	221	200 <sup>0.5</sup>	27	475	19	775	881	665	775	881	22	665	350	300	6	400	4-φ19	5	110	
225S	356	435	450	345	286	382	149	247	225 <sup>0.5</sup>	33	530	19	820	934	705	820	934	22	705	400	350	6	450	4-φ19	5	116	
225M	406	490	495	385	319	458	168	267	250 <sup>0.5</sup>	33	575	24	845	953	790	845	953	24	790	500	450	6	550	4-φ19	5	116	
250M	457	550	555	410	368	535	190	307	280 <sup>0.5</sup>	38	640	24	1000	1147	860	1000	1147	24	860	500	450	6	550	4-φ19	5	131	
280S	457	550	555	410	368	535	190	307	280 <sup>0.5</sup>	38	640	24	1050	1198	860	1050	1198	24	860	500	450	6	550	4-φ19	5	168	
280M	457	550	555	410	368	535	190	307	280 <sup>0.5</sup>	38	640	24	1050	1198	860	1050	1198	24	860	500	450	6	550	4-φ19	5	194	



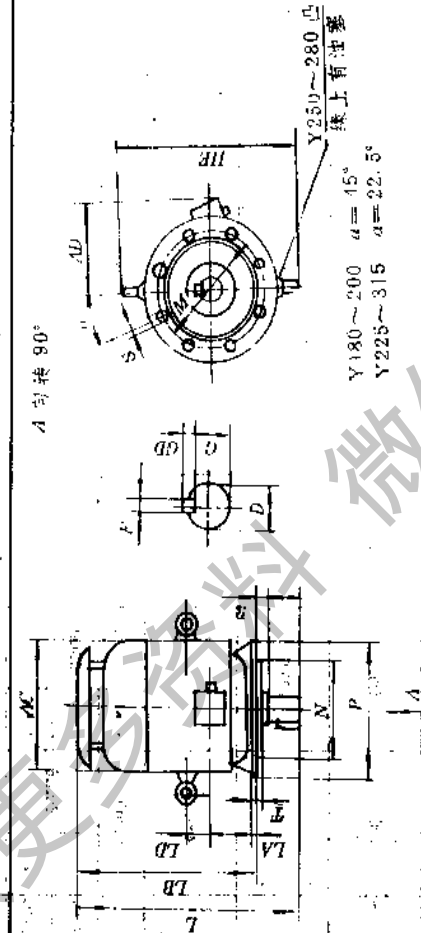
续表 29-94

机座号	尺寸																				
	国际标准机座号		L				LC*				L'			LA LB M							
	2P	4, 6, 8, 10P	AA	AB, AC, AD	B, BB, C	CA	H	HA	HC, HDK	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	LA	LB	M	N	P, R	S	T	LD
315S	315S65F600	315S80F600	508	120, 640	660, 576, 457, 660	406, 610	398	315-315	45	865, 281, 240	1190	1220	1302	1362	1060						213
315M	315M65F600	315M80F600	508	120, 640	660, 576, 457, 660	406, 610	402	315-315	45	865, 281, 240	1310	1340	1450	1510	1170						238
315L	315L65F600	315L80F600				457, 660	402														283

注1. 第二轴伸端到风罩距离约 8mm, 表中 L', LC\*, CA 等外形尺寸为最大值;

2. 轴伸尺寸见表 29-96.

表 29-95 V1 的安装及外形尺寸



机座号	尺寸																																				
	国际标准机座号		L				E				F			G			GD			HA, M			N			P, R			S			T			LD		
	2P	4, 6, 8, 10P	AC, AD	2P	4, 6, 8, 10P	LA	LB	N	D	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P	2P	4, 6, 8, 10P
180M	48F800	360, 285	730	770	850	820	660	48k6	110	14	16	18	42.5	9	500, 300	250js6	330	4-#19	86	105	102	103	116	191	168	194	213	238	283								
180L	55F950	400, 310	850	910	935	740	55m6	110	140	16	18	49	49	10	350, 350	300js6	400	4-#19	105	102	103	116	191	168	194	213	238	283									
225S	60F400	450, 345	905	935	1035	795	60m6	110	140	18	18	53	53	11	610, 400	350js6	450	4-#19	105	102	103	116	191	168	194	213	238	283									
250M	65F500	495, 395	1035	1120	1170	895	65m6	140	170	18	20	56	56	11	650	450js6	550	4-#19	105	102	103	116	191	168	194	213	238	283									
280S	75F600	555, 410	1170	1310	1360	980	75m6	140	170	18	22	58	58	11	720	500js6	600	4-#19	105	102	103	116	191	168	194	213	238	283									
315S	80F600	645, 576	1360	1480	1530	1170	80m6	140	170	18	22	58	58	11	900, 600	500js6	650	4-#19	105	102	103	116	191	168	194	213	238	283									

表 29-96 B3、B35 轴伸尺寸与第二轴伸尺寸

机座号	国际标准机座号																尺寸																mm	
	2P		4.6.8.10P		2P		4.6.8.10P		2P		4.6.8.10P		2P		4.6.8.10P		2P		4.6.8.10P		2P		4.6.8.10P		2P		4.6.8.10P							
	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P	2P	4.6.8.10P				
80	80-90	80-19F165	1936	40	6	6	15.5	15.5	6	6	15.5	15.5	6	6	15.5	15.5	6	6	15.5	15.5	6	6	15.5	15.5	6	6	15.5	15.5	6	6				
90S	90S74	90S24F165	2436	50	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8				
90L	90L24	90L24F165	2436	50	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8	20	20	8	8				
100L	100L78	100L28F215	2836	60	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8				
112M	112M28	112M23F215	2836	60	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8	24	24	8	8				
132S	132S38	132S38F265	38k6	80	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10				
132M	132M38	132M38F265	38k6	80	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10	33	33	10	10				
160M	160M42	160M42F300	42k6	110	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12				
160L	160L42	160L42F300	42k6	110	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12	37	37	12	12				
180M	180M48	180M48F300	48k5	110	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14				
180L	180L48	180L48F300	48k5	110	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14	42.5	42.5	14	14				
200L	200L55	200L55F350	55m6	140	16	16	49	49	16	16	49	49	16	16	49	49	16	16	49	49	16	16	49	49	16	16	49	49	16	16				
225S	—	225S60	—	55m6	—	—	55m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
225M	225M55	225M60	60m6	55m6	—	—	60m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
225M	225M55	225M55F400	55m6	55m6	—	—	55m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
225M	225M55	225M55F400	55m6	55m6	—	—	55m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
250M	250M60	250M65	60m6	65m6	—	—	60m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
250M	250M60	250M60F500	60m6	65m6	—	—	60m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
280S	280S65	280S75	75m5	60m6	—	—	60m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
280M	280M65	280M75	65m6	60m6	—	—	60m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
315S	315S65	315S80	80m6	80m6	—	—	80m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
315M	315M65	315M80	80m6	80m6	—	—	80m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
315L	315L65	315L80	80m6	80m6	—	—	80m6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				

超图阅览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

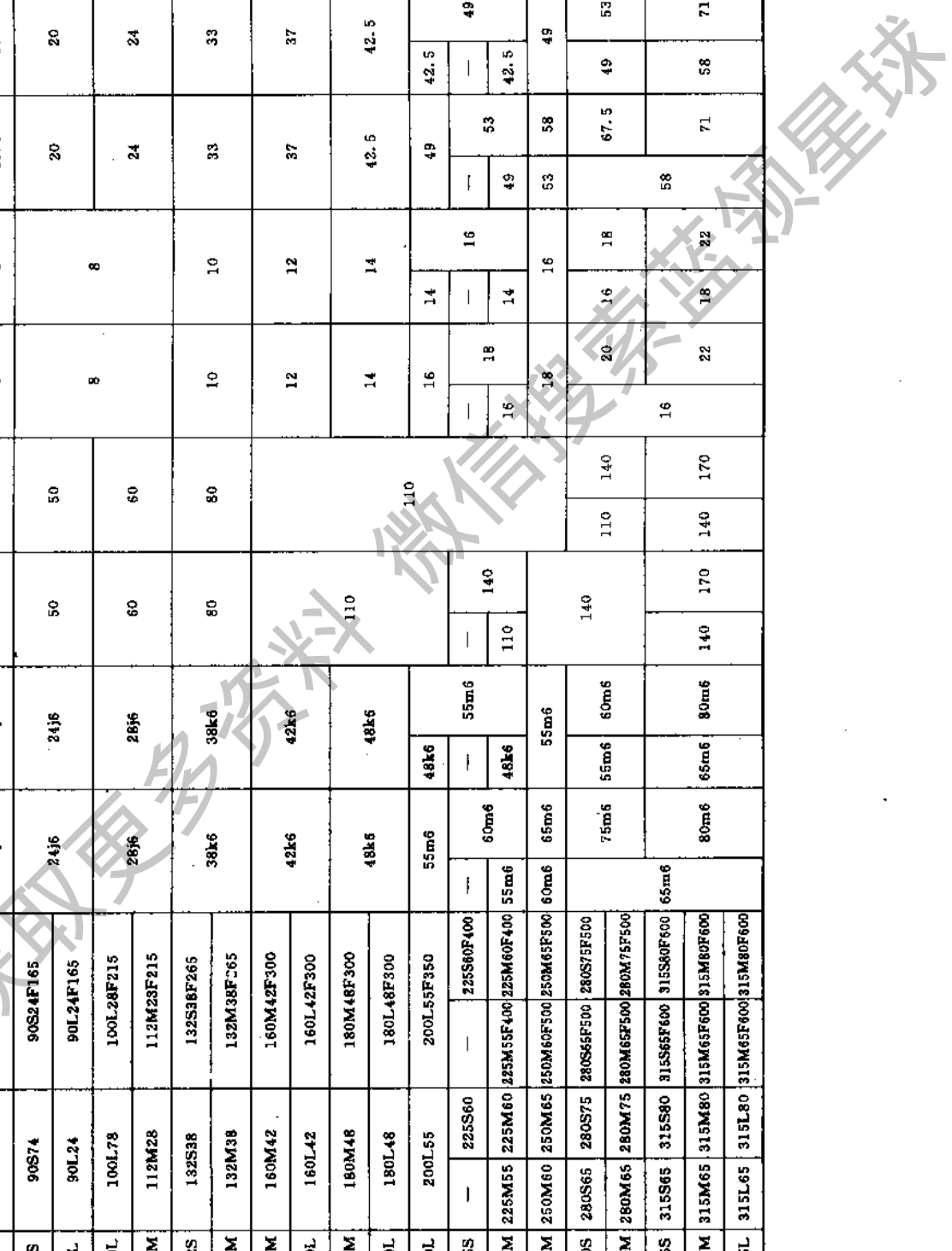


表 29-97 B5 轴伸尺寸与第二轴伸尺寸

机座号	国际标准机座号		尺寸																GF			
			D		DA		E		EA		F		FA		G		GB			GD		
			2P	4.6.8P	2P	4.6.8P	2P	4.6.8P	2P	4.6.8P	2P	4.6.8P	2P	4.6.8P	2P	4.6.8P	2P	4.6.8P		2P	4.6.8P	2P
80	19F165		19j6	19j6	40	40	40	40	6	6	6	6	15.5	15.5	15.5	6	6	6	6	6	6	
90S	24F165		24j6	24j6	50	50	50	50	8	8	8	8	20	20	20							
90L																						
100L																						
112M	28F215		28j6	28j6	60	60	60	60	8	8	8	8	24	24	24							
132S																						
132M	38F285		38k6	38k6	80	80	80	80	10	10	10	10	33	33	33							
160M																						
160L	42F300		42k6	42k6	110	110	110	110	12	12	12	12	37	37	37							
180M																						
180L	48F300		48k6	48k6	110	110	110	110	14	14	14	14	42.5	42.5	42.5							
200L	55F350		55m6	48k6	110	110	110	110	16	14	14	14	49	42.5	42.5	10	9	10	10	9	9	10
225S	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
225M	55F400		55m6	48k6	110	110	110	110	16	14	14	14	49	42.5	42.5	10	9	10	10	9	9	10

超星阅读器提醒您：  
 请勿复制或  
 请尊重相关知识产权！

微信搜索 蓝领星球

(3) YH 系列高转差率三相异步电动机

表 29-98 YH 系列 (高转差率) 技术数据

超星浏览器提醒您：  
此为本复制品  
请尊重相关知识产权！

型 号	额定功率 kW	在额定功率时						堵转 电流 额定 电流	堵转 转矩 额定 转矩	最大 转矩 额定 转矩	GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质 量 kg
		转 速 r/min	电 流 A	负 载 持续率 %	转 差 率 %	效 率 %	功 率 因 数					
YH801-2	0.75	2670	1.87	60	11	71	0.86	5.5	2.7	2.7	0.0075	16
YH802-2	1.1	2670	2.63	60	11	73	0.87	5.5	2.7	2.7	0.0090	17
YH90S-2	1.5	2670	3.67	40	11	73	0.85	5.5	2.7	2.7	0.012	22
YH90L-2	2.2	2670	5.15	40	11	75.5	0.86	5.5	2.7	2.7	0.014	25
YH100L-2	3.0	2700	6.89	40	10	76	0.87	5.5	2.7	2.7	0.029	33
YH112M-2	4.0	2730	8.81	40	9	77.5	0.89	5.5	2.7	2.7	0.055	45
YH132S1-2	5.5	2730	11.9	40	9	78	0.90	5.5	2.7	2.7	0.109	64
YH132S2-2	7.5	2730	16.0	25	9	78.5	0.91	5.5	2.7	2.7	0.126	70
YH160M1-2	11	2760	22.9	25	8	81	0.90	5.5	2.7	2.7	0.377	117
YH160M2-2	15	2760	30.5	25	8	82	0.91	5.5	2.7	2.7	0.449	125
YH160L-2	18.5	2760	37.4	25	8	82.5	0.91	5.5	2.7	2.7	0.550	147
YH801-4	0.55	1305	1.65	60	13	66.5	0.76	5.5	2.7	2.7	0.018	17
YH802-4	0.75	1305	2.18	60	13	68	0.77	5.5	2.7	2.7	0.021	18
YH90S-4	1.1	1305	2.98	60	13	70	0.80	5.5	2.7	2.7	0.021	22
YH90L-4	1.5	1305	3.96	60	13	72	0.80	5.5	2.7	2.7	0.027	27
YH100L1-4	2.2	1305	5.52	40	13	73	0.83	5.5	2.7	2.7	0.054	34
YH100L2-4	3.0	1305	7.42	40	13	74	0.83	5.5	2.7	2.7	0.067	38
YH112M-4	4.0	1335	9.51	40	11	77	0.83	5.5	2.7	2.7	0.095	43
YH132S-4	5.5	1350	12.5	40	10	77.5	0.86	5.5	2.7	2.7	0.214	68
YH132M-4	7.5	1350	17.0	40	10	78	0.87	5.5	2.7	2.7	0.296	81
YH160M-4	11	1365	24.3	25	9	80	0.86	5.5	2.6	2.6	0.747	123
YH160L-4	15	1380	32.3	25	8	82	0.86	5.5	2.6	2.6	0.918	144
YH180M-4	18.5	1380	38.5	25	8	82	0.89	5.5	2.6	2.6	1.39	182
YH180L-4	22	1380	45.2	25	8	83	0.89	5.5	2.6	2.6	1.58	190
YH200L-4	30	1380	61	25	8	84	0.89	5.5	2.6	2.6	2.62	270
YH225S-4	37	1395	74.4	25	7	84	0.90	5.5	2.6	2.6	4.06	284
YH225M-4	45	1395	88.9	25	7	84.5	0.91	5.5	2.6	2.6	4.69	320
YH250M-4	55	1395	108	25	7	86	0.90	5.5	2.6	2.6	6.6	427
YH280S-4	75	1395	144	15	7	86	0.92	5.5	2.6	2.6	11.2	562
YH280M-4	90	1395	172	15	7	86.5	0.92	5.5	2.6	2.6	14.6	667

续表 29-98

型 号	额定功率 kW	在额定功率时						堵转 电流	堵转 转矩	最大 转矩	GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质 量 kg
		转 速 r/min	电 流 A	负 载 持续率 %	转 差 率 %	效 率 %	功 率 因 数	额定 电流	额定 转矩	额定 转矩		
YH90S-6	0.75	870	2.48	60	13	66.5	0.69	5.0	2.7	2.7	0.029	23
YH90L-6	1.1	870	3.46	60	13	67	0.72	5.0	2.7	2.7	0.035	25
YH100L-6	1.5	880	4.28	40	12	70	0.76	5.0	2.7	2.7	0.069	33
YH112M-6	2.2	880	6.02	40	12	73	0.76	5.0	2.7	2.7	0.138	45
YH132S-6	3.0	900	7.69	40	10	76	0.78	5.0	2.7	2.7	0.286	63
YH132M1-6	4.0	900	10	40	10	77	0.79	5.0	2.7	2.7	0.357	73
YH132M2-6	5.5	900	13.6	40	10	78	0.79	5.0	2.7	2.7	0.449	84
YH160M-6	7.5	890	17.8	25	11	79	0.81	5.0	2.5	2.5	0.881	119
YH160L-6	11	890	25.8	25	11	80	0.81	5.0	2.5	2.5	1.16	147
YH180L-6	15	910	33.5	25	9	82	0.83	5.0	2.5	2.5	2.07	195
YH200L1-6	18.5	920	39.8	25	8	82	0.86	5.0	2.5	2.5	3.15	220
YH200L2-6	22	920	46.6	25	8	82.5	0.87	5.0	2.5	2.5	3.60	250
YH225M-6	30	930	62.7	25	8	83	0.87	5.5	2.5	2.5	5.47	292
YH250M-6	37	930	75.2	25	7	84	0.89	5.5	2.5	2.5	8.34	408
YH280S-6	45	930	90.9	25	7	84.5	0.89	5.5	2.5	2.5	13.9	536
YH280M-6	55	930	110	25	7	85	0.89	5.5	2.5	2.5	16.5	595
YH132S-8	2.2	660	6.27	60	12	73	0.73	4.5	2.6	2.6	0.314	63
YH132M-8	3.0	660	8.21	60	12	74	0.75	4.5	2.6	2.6	0.395	79
YH160M1-8	4.0	670	10.5	60	11	77	0.75	4.5	2.4	2.4	0.753	118
YH160M2-8	5.5	670	13.9	60	11	78	0.77	4.5	2.4	2.4	0.931	119
YH160L-8	7.5	670	18.5	60	11	79	0.78	4.5	2.4	2.4	1.26	145
YH180L-8	11	675	27.3	25	10	76.5	0.80	4.5	2.4	2.4	2.03	184
YH200L-8	15	683	36.6	25	9	77.5	0.80	4.5	2.4	2.4	3.39	250
YH225S-8	18.5	683	45	25	9	80	0.78	4.5	2.4	2.4	4.91	266
YH225M-8	22	683	51.6	25	9	81	0.80	4.5	2.4	2.4	5.47	292
YH250M-8	30	690	67.4	25	8	81.5	0.83	4.5	2.4	2.4	8.34	405
YH280S-8	37	690	84.6	25	8	82	0.81	4.5	2.4	2.4	13.9	520
YH280M-8	45	690	99.8	25	8	82.5	0.83	4.5	2.4	2.4	16.5	592

注：1. 安装结构型式同 Y 系列 (IP44)；

2. 安装及外形尺寸亦同 Y 系列 (IP44)；

3. 表中数据系大连电机厂提供。

表 29-99 不同负载持续率 (FC) 时的输出功率

型 号	在下列 FC 下的输出功率 kW					型 号	在下列 FC 下的输出功率 kW				
	15%	25%	40%	60%	100%		15%	25%	40%	60%	100%
YH801-2	1.0	0.9	0.8	0.75	0.65	YH802 2	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0
YH90S-2	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	YH90L 2	2.7	2.4	2.2	2.0	1.8
YH100L-2	3.8	3.3	3.0	2.7	2.4	YH112M-2	5.0	4.4	4.0	3.6	3.2
YH132S1 2	7.0	6.0	5.5	5.0	4.4	YH132S2-2	8.5	7.5	6.7	6.0	5.3
YH160M1-2	12.5	11	9.8	8.8	7.8	YH160M2 2	17	15	13.5	12	10.6
YH160L-2	21	18.5	16.5	14.5	13	YH801 4	0.75	0.65	0.6	0.55	0.48
YH802-4	1.0	0.9	0.8	0.75	0.66	YH90S-4	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
YH90L-4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	YH100L1 4	2.8	2.5	2.2	2.0	1.8
YH100L2-4	3.8	3.3	3.0	2.7	2.4	YH112M-4	5.0	4.5	4.0	3.6	3.2
YH132S 4	7.0	6.0	5.5	5.0	4.3	YH132M-4	9.5	8.4	7.5	6.6	6.0
YH160M-4	12.5	11	9.8	8.8	7.6	YH160L 4	16	15	13	11.5	10
YH180M-4	21	18.5	16.5	14.8	13	YH180L-4	25	22	20	17.8	15.8
YH200L-4	34	30	27	24	21	YH225S-4	42	37	33	29	25
YH225M-4	51	45	40	35	30	YH250M-4	62	55	49	43	37
YH280S-4	75	66	59	52	45	YH280M-4	90	79	70	62	54
YH90S 6	1.0	0.9	0.8	0.75	0.6	YH90L-6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9
YH100L 6	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	YH112M-6	2.7	2.4	2.2	1.9	1.7
YH132S-6	3.7	3.2	3.0	2.6	2.3	YH132M1-6	5.0	4.3	4.0	3.5	3.0
YH132M2-6	6.5	6.0	5.5	4.5	4.0	YH160M-6	8.5	7.5	7.0	6.0	5.0
YH160L-6	12.5	11	10	8.5	7.5	YH180L-6	17	15	13.5	11.5	10
YH200L1-6	21	18.5	17	14.5	12.5	YH200L2-6	25	22	20	17	15
YH225M 6	34	30	27	23	20	YH250M-6	42	37	34	29	25
YH280S-6	51	45	41	35	31	YH280M-6	62	55	50	42	37
YH132S-8	3.2	2.8	2.7	2.2	1.9	YH132M-8	4.4	3.8	3.7	3.0	2.6
YH160M1-8	6.0	5.1	5.0	4.0	3.7	YH160M2-8	8.1	7.1	6.5	5.5	4.7
YH160L-8	10.1	8.7	8.5	7.5	6.5	YH180L-8	12.5	11	10.5	8.5	7.2
YH200L-8	17	15	14	11.5	10	YH225S-8	21	18.5	18	14.5	12.5
YH225M-8	25	22	21	17	14.5	YH250M-8	34	30	29	23	20
YH280S-8	42	37	35	28	24	YH280M-8	52	45	43	34	29

注：表中各 FC 下的输出功率为近似计算值；FC 为 100% 者，表示电动机作为连续工作制 (S1) 运行。



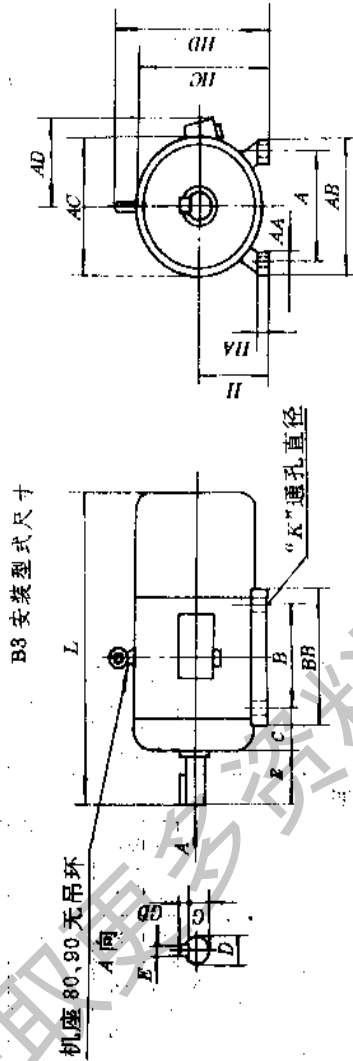
(4) YEJ 系列电磁制动三相异步电动机

表 29-100 YEJ 系列技术数据

型 号	额定 功率 kW	满 载 时				堵转 电流 额定 电流	堵转 转矩 额定 转矩	最大 转矩 额定 转矩	$GD^2$ Nm <sup>2</sup>	静 制 动力矩 Nm	空载制 动时间 s	励磁 电压 (DC) V	质量 (B3) kg	
		转 速 r/min	电 流 A	效 率 %	功 率 因 数									
2 极														
YEJ801-2	0.75	2830	1.81	75	0.84	7.0	2.2	2.2	0.0095	7.5	0.2	99	22	
YEJ802-2	1.1		2.52	77	0.86				0.011				23	
YEJ90S-2	1.5	2840	3.44	78	0.85				0.0154	15	0.25		30	
YEJ90L-2	2.2		4.74	80.5	0.86				0.0174				33	
YEJ100L-2	3.0	2870	6.39	82	0.87				0.0337	30	0.3		40	
YEJ112M-2	4.0	2890	8.17	85.5					0.0674	40	0.35		55	
YEJ132S1-2	5.5	2900	11.1		0.88				0.143	75	0.4		170	84
YEJ132S2-2	7.5		15.0	86.2					0.160				89	
4 极														
YEJ801-4	0.55	1390	1.51	73	0.76	6.5	2.2	2.2	0.020	7.5	0.2	99	23	
YEJ802-4	0.75		2.01	74.5					0.023				24	
YEJ90S-4	1.1	1400	2.75	78	0.78				0.0244	15	0.25		30	
YEJ90L-4	1.5		3.65	79	0.79				0.0304				35	
YEJ100L1-4	2.2	1430	5.03	81	0.82				0.0587	30	0.3		41	
YEJ100L2-4	3.0		6.82	82.5	0.81				0.0717				45	
YEJ112M-4	4.0	1440	8.77	84.5	0.82				0.107	40	0.35		170	59
YEJ132S1-4	5.5		11.6	85.5	0.84				0.248					84
YEJ132S2-4	7.5		15.4	87	0.85	0.330	93							
6 极														
YEJ90S-6	0.75	910	2.25	72.5	0.70	6.0	2.0	2.0	0.0324	15	0.25	99	31	
YEJ90L-6	1.1		3.15	73.5	0.72				0.0384				33	
YEJ100L-6	1.5	940	3.97	77.5	0.74				0.0737	30	0.3		40	
YEJ112M-6	2.2		5.61	80.5					0.150	40	0.35		55	
YEJ132S-6	3.0	960	7.23	83	0.76				0.320	75	0.4		170	81
YEJ132M1-6	4.0		9.4	84	0.77				0.391					91
YEJ132M2-6	5.5		12.6	85.3	0.78				0.483					98
8 极														
YEJ132S-8	2.2	710	5.81	80.5	0.71	5.5	2.0	2.0	0.348	75	0.4	170	81	
YEJ132M-8	3.0		7.72	82	0.72				0.429				97	

注：1. 表中数据系大连电机厂提供；  
2. 噪声、振动水平同 Y 系列电动机。

表 29-101 B3 的安装及外形尺寸

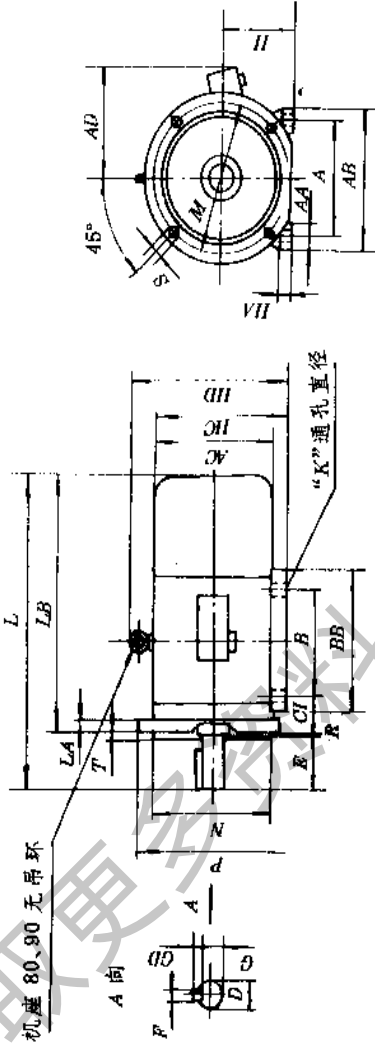


型号	尺寸 mm																		
	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	H	HA	HC	HD	K	L	E	D	G	F	GD
100	125		165	165	150	100	135	50	80-8.5	170				375	40	1916	15.3	6	6
100S		37	180	175	155	125	160	56	90-8.5	190			10	400	50	2416	20		
100L														425					
112M	160	42	205	205	180	140	180	63	100-8.5	15	245			465	60	2816	24	8	7
132M	190	52	245	230	190	178	185	70	112-8.5	17	265		12	495					
152S							205							575	80				
132M	216	63	280	270	210	178	243	89	132-8.5	20	315			615	80	3816	33	10	8

超星阅读器提醒您：  
 尊重版权，知识无价！

表 29-102 B35 的安装及外形尺寸

B35 安装型式尺寸

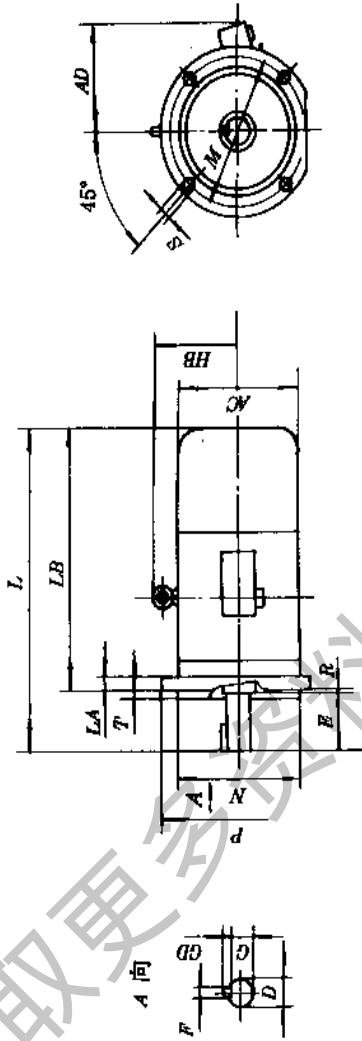


机 座 号	尺 寸 mm																											
	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C1	H	HA	HC	HD	K	L	E	D	G	F	GD	T	R	LA	LB	P	N	S	M	
80	125		165	165	150	100	135	50	80 <sup>+0.6</sup>		170			375	40	19j6	15.5	6	6	3.5			335					
90S	140	37	180	175	155	125	160	56	90 <sup>+0.5</sup>	13	190	10	400	50	24j6	20						13	350	200	130j6	4-φ12	165	
90L													425										375					
100L	160	42	205	205	180		180	63	100 <sup>+0.5</sup>	15	245		465	60	28j6	24		8	7			405	250	180j6			215	
112M	190	52	245	230	190	140	185	70	112 <sup>+0.5</sup>	17	265	12	495							4		435						
132S	216	63	280	270	210	178	205	89	132 <sup>+0.5</sup>	20	315		575	80	38k	33	10	8				495	300	230j6	4-φ15	265		
132M							243						615									535						

超星网产品知识  
使用本产品知识

表 29-103 B5 的安装及外形尺寸

B5 安装型式尺寸



机座号	尺寸 mm																
	AC	AD	HB	L	LA	LB	M	N	P	R	S	T	E	D	G	F	GD
80	165	150		375		335		130j6	200		4-φ12	3.5	40	19j6	15.5	6	6
80S	175	155	—	400	13	350	165	130j6	200	0±2	4-φ12	3.5	50	24j6	20	8	7
				425		60							24				
100L	205	180	145	465	15	405	215	180j6	250		4-φ15	4	60	28j6	24		
112M	230	190	160	495		435		180j6									
132S	270	210	178	575	16	495	265	230j6	300				80	38k6	33	10	8
132M				615		535											

超星阅读器提醒  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

## 4.4.2 变速异步电动机

## (1) YCT 系列电磁调速电动机

表 29-104 YCT 系列技术数据

型 号	拖动电动机功率 kW	额定转矩 Nm	调速范围 r/min	转速变化率 (%)	质 量 kg
YCT112	4A	3.6	1250~125	3	50
	4B	4.9			53
YCT132	4A	7.13	1250~125	3	75
	4B	9.72			77
YCT160	4A	14.1	1250~125	3	112
	4B	19.2			117
YCT180-4A	4.0	25.20	1250~125	3	157
YCT200	4A	35.1	1250~125	3	224
	4B	47.7			244
YCT225	4A	69.1	1250~125	3	390
	4B	94.3			420
YCT250	4A	116	1320~132	3	460
	4B	137			502
YCT280-4A	30	189	1320~132	3	632
YCT315	4A	232	1320~132	3	810
	4B	282			850
YCT355	4A	314	1320~440	3	1510
	4B	469			1655
	4C	564	1320~600		1700

注：1. 电磁转差离合器最大激磁电压为 90V，激磁绕组为 B 级绝缘；

2. 额定电压、额定频率时的转速变化率公式：

$$\text{转速变化率}(\%) = \frac{10\% \text{额定负载时转速} - \text{额定负载时转速}}{\text{额定负载时最高额定转速}} \times 100\%$$

3. 表中数据系沈阳市调速电机厂提供。

**自然机械特性(开环特性)** 电磁转差离合具有软的自然特性，如图 29-35 所示，在一定的激磁电流下，转速随着负载转矩的增加而下降，这种特性可适用于对张力要求不过分严的收卷机械，在设计时只要选用适当，开环控制即可达到卷制过程中转速与转矩的自动调整。

**人工机械特性(闭环特性)** YCT 电磁调速电机配上控制器后的机械特性如图 29-36 所示。当负载的额定转矩的 10% 到 100% 范围内变化时，控制器根据测速发电机的信号自动调节激磁电流，使输出转速基本不变，转速变化率小于 3%。

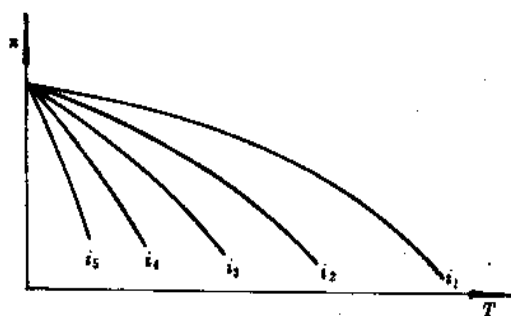
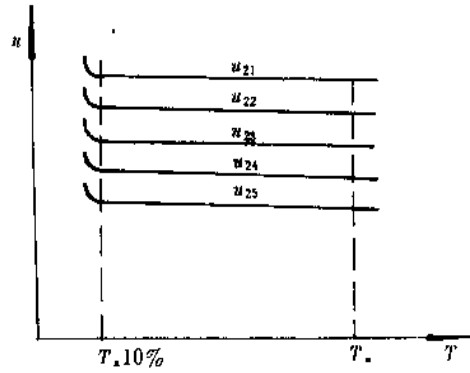


图 29-35 自然特性曲线

注： $i_1 > i_2 > i_3 > i_4 > i_5$ ， $i$  为激磁电流



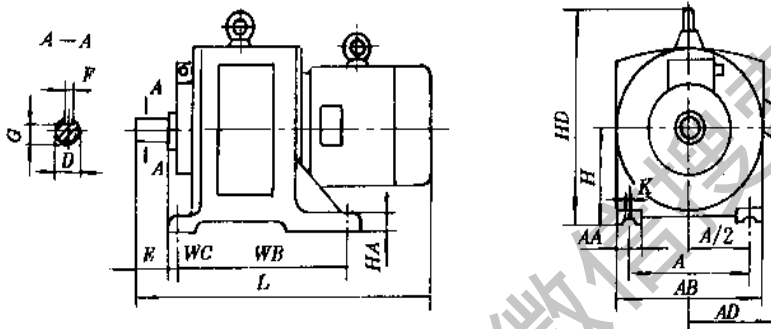
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

图 29-36 人工特性曲线

注：  $u_{21} > u_{22} > u_{23} > u_{24} > u_{25}$

$u$  为控制回路给定电压。

表 29-105 YCT 系列安装及外形尺寸



mm

机座号	安装尺寸										外形尺寸					
	A	A/2	WB	WC	D	E	F	G	H	K	AB	AD	HD	L	HA	AA
112-4A 4B	190	95	210	40	19j6	40	6h9	15.5- $\frac{0}{-0.1}$	112- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 12$	273	150	275	520	16	40
132-4A 4B	216	108	241	40	24j6	50	8h9	20- $\frac{0}{-0.2}$	132- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 12$	305	158	330	550 575	20	55
160-4A 4B	254	127	267	45	28j6	60	8h9	24- $\frac{0}{-0.2}$	160- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 15$	340	185	385	645 665		65
180-4A	279	139.5	305	45	28j6	60	8h9	24- $\frac{0}{-0.2}$	180- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 15$	375	188	430	685		70
200-4A 4B	318	159	356	50	38k6	80	10h9	33- $\frac{0}{-0.2}$	200- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 19$	420	230	485	805 845	30	80
225-4A 4B	356	178	406	56	42k6	110	12h9	37- $\frac{0}{-0.2}$	225- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 19$	485	255	530	965 1010		94
250-4A 4B	406	203	457	63	48k6	110	14h9	42.5- $\frac{0}{-0.1}$	250- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 24$	540	285	580	1130 1170	35	105
280-4A	457	228.5	508	70	55m6	110	16h9	49- $\frac{0}{-0.2}$	280- $\frac{0}{-1.0}$	$\phi 24$	580	320	655	1260	40	110
315-4A 4B	508	254	560	89	60m6	140	18	53- $\frac{0}{-0.2}$	315- $\frac{0}{-0.5}$	$\phi 28$	650	345	720	1400 1425	45	
355-4A 4B 4C	610	305	630	108	65m6 75m6		18 20	58- $\frac{0}{-0.2}$ 67.5- $\frac{0}{-0.2}$	355- $\frac{0}{-1.0}$	$\phi 28$		385 410 410		1500 1630 1660	55	130



(2) YLJ 系列 (IP21) 三相力矩电动机

本系列电动机作卷绕特性使用时, 输出力矩的选择应和所需相近。避免选得过大, 使卷绕精度变坏。一般情况下, 输入电压降不应低于 200V。

为了求得良好的卷绕特性, 转速的应用范围——即最高转速和最低转速也很重要, 常使转速处于  $(1/3 \sim 2/3) n_0$  (同步转速) 范围内。如速比要求大时, 可向上述范围的两旁延伸。选用不同电动机的同步转速和不同卷径比 (速比) 时电动机的最佳工作转速范围见表 29-106。

表 29-106 最佳工作转速范围

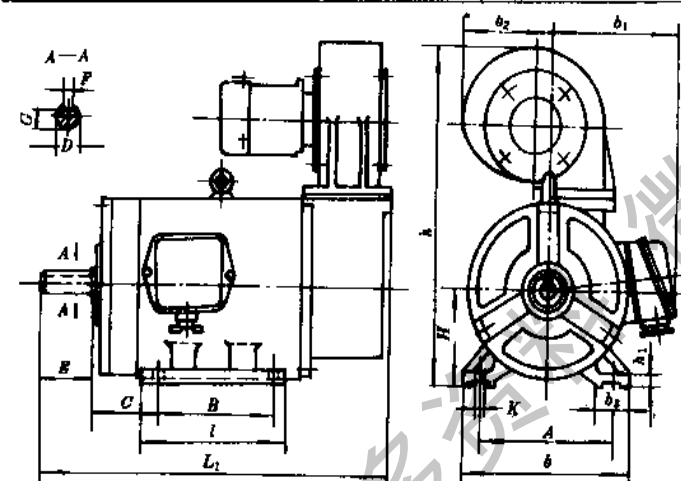
卷径比	同步转速 $r/\text{min}$		最佳工作转速 $r/\text{min}$	
	1500	1000	空盘	满盘
1:2	1000	500	666	333
1:3	1125	375	750	250
1:4	1200	300	800	200

表 29-107 YLJ 系列技术数据

型 号	输出力矩 Nm	极数	热态最大 电流 A	允许堵转 时间 min
YLJ112-6/4	6	4	3.1	17
YLJ112-10/4	10	4	5.0	
YLJ132-16/4	16	4	7.0	12
YLJ132-25/4	25	4	11	
YLJ132-40/4	40	4	16.5	
YLJ160-60/4	60	4	25	5
YLJ160-80/4	80	4	34	
YLJ160-100/4	100	4	44	
YLJ112-10/6	10	6	4.5	17
YLJ132-16/6	16	6	6.0	
YLJ132-25/6	25	6	8.5	12
YLJ132-40/6	40	6	13	
YLJ160-60/6	60	6	19	
YLJ160-80/6	80	6	26	7
YLJ160-100/6	100	6	32	

表 29-108 安装及外形尺寸

mm

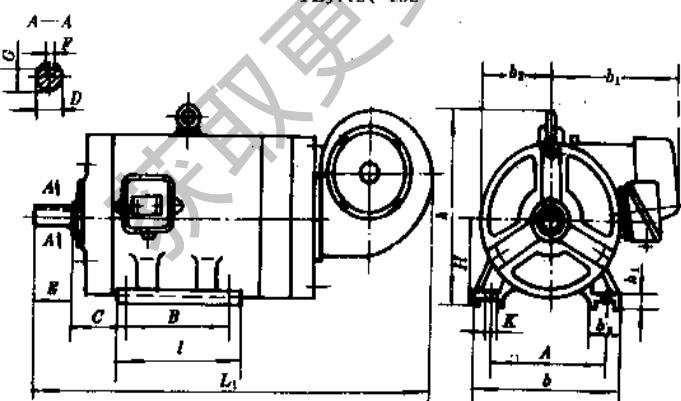


YLJ112、132

机座号	A	B	C	D	E	F
112	190	140	70	28	60	8
132	216	178	89	38	80	10
160	254	254	108	42	110	12

机座号	G	H	K	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
112	24	112	12	230	210	195
132	33	132	12	266	225	195
160	37	160	15	315	270	162

机座号	b <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h	l	L <sub>1</sub>
112	40	16	470	180	455
132	50	20	505	228	530
160	60	22	380	260	821



YLJ160

(3) YD 系列变极多速三相异步电动机

表 29-109 YD 系列技术数据

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
4/2 极									
YD801-4/2	4	0.45	380	1.4	1420	6.5	1.5	1.8	17
	2	0.55		1.5	2860	7	1.7		
YD802-4/2	4	0.55	380	1.7	1420	6.5	1.6	1.8	18
	2	0.75		2.0	2860	7	1.8		
YD90S-4/2	4	0.85	380	2.3	1430	6.5	1.8	1.8	22
	2	1.1		2.8	2850	7	1.9		
YD90L-4/2	4	1.3	380	3.3	1430	6.5	1.8	1.8	27
	2	1.8		4.3	2850	7	2		
YD100L1-4/2	4	2	380	4.8	1430	6.5	1.7	1.8	34
	2	2.4		5.6	2850	7	1.9		
YD100L2-4/2	4	2.4	380	5.6	1430	6.5	1.6	1.8	38
	2	3		6.7	2850	7	1.7		
YD112M-4/2	4	3.3	380	7.4	1450	6.5	1.9	1.8	43
	2	4		8.6	2890	7	2		
YD132S-4/2	4	4.5	380	9.8	1450	6.5	1.7	1.8	68
	2	5.5		11.9	2860	7	1.8		
YD132M-4/2	4	6.5	380	13.8	1450	6.5	1.7	1.8	81
	2	8		17.1	2880	7	1.8		
YD160M-4/2	4	9	380	18.5	1460	6.5	1.6	1.8	123
	2	11		22.9	2920	7	1.8		
YD160L-4/2	4	11	380	22.3	1460	6.5	1.7	1.8	144
	2	14		28.8	2920	7	1.9		
YD180M-4/2	4	15	380	29.4	1470	6.5	1.8	1.8	182
	2	18.5		36.7	2940	7	1.9		
YD180L-4/2	4	18.5	380	35.9	1470	6.5	1.6	1.8	190
	2	22		42.7	2940	7	1.8		
YD200L-4/2	4	26	380	49.9	1470	6.5	1.4	1.8	270
	2	30		58.3	2950	7	1.6		
YD225S-4/2	4	32	380	60.7	1480	6.5	1.4	1.8	318
	2	37		71.1	2960	7	1.6		

续表 29-109

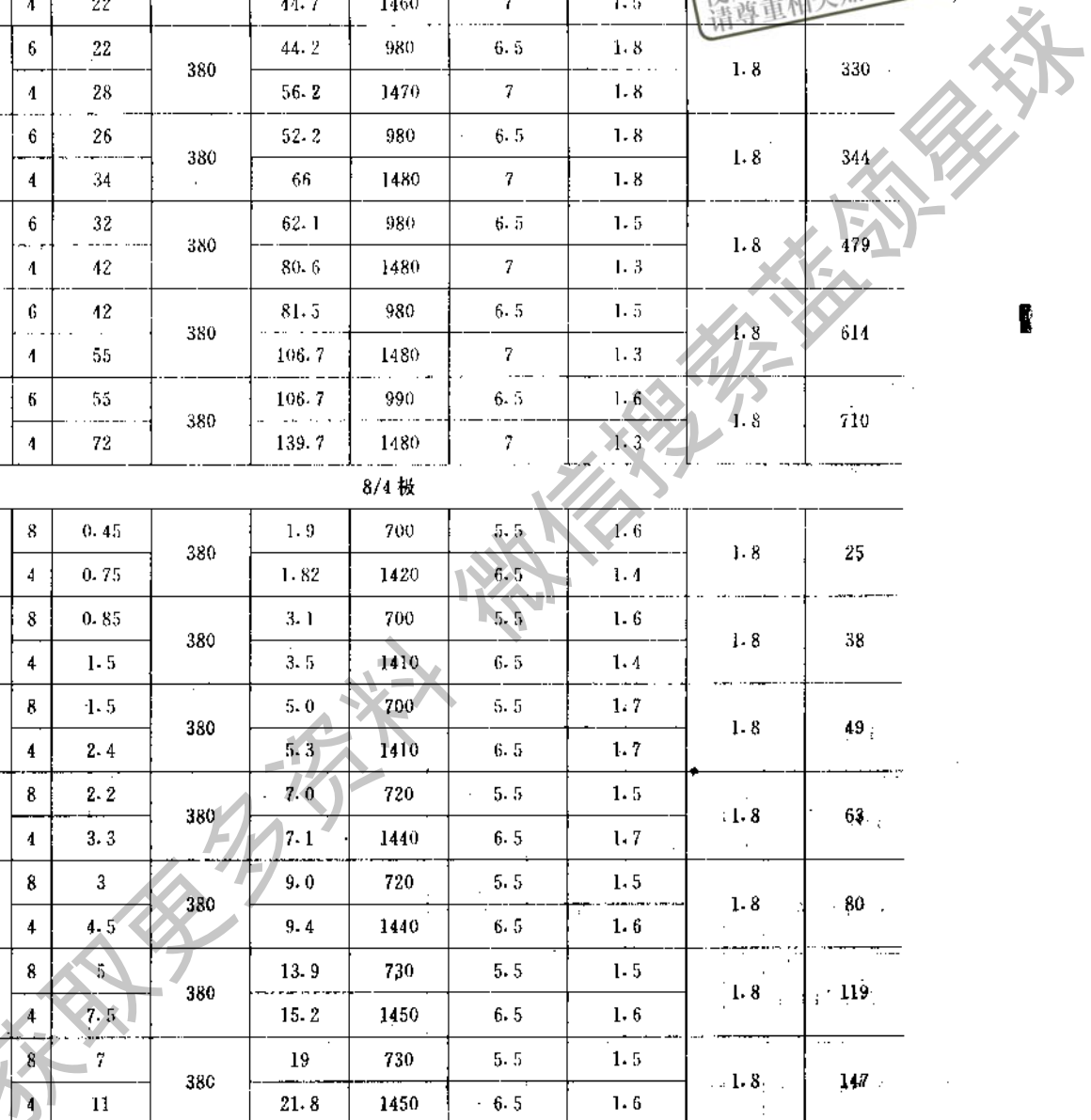
型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
YD225M-4/2	4	37	380	69.4	1480	6.5	1.6	1.8	427
	2	45		86.4	2960	7	1.6		
YD250M-4/2	4	45	380	84.4	1480	6.5	1.6	1.8	427
	2	55		104.4	2960	7	1.6		
YD280S-4/2	4	60	380	111.3	1490	6.5	1.4	1.8	597
	2	72		135.1	2970	7	1.5		
YD280M-4/2	4	72	380	133.6	1480	6.5	1.4	1.8	667
	2	82		152.2	2970	7	1.5		
6/4 极									
YD90S-6/4	6	0.65	380	2.2	920	6	1.6	1.8	23
	4	0.85		2.3	1420	6.5	1.4		
YD90L-6/4	6	0.85	380	2.8	930	6	1.6	1.8	25
	4	1.1		3	1400	6.5	1.5		
YD100L1-6/4	6	1.3	380	3.8	940	6	1.7	1.8	34
	4	1.8		4.4	1440	6.5	1.4		
YD100L2-6/4	6	1.5	380	4.3	940	6	1.6	1.8	38
	4	2.2		5.4	1440	6.5	1.4		
YD112M-6/4	6	2.2	380	5.7	960	6	1.8	1.8	49
	4	2.8		6.7	1440	6.5	1.5		
YD132S-6/4	6	3	380	7.7	970	6	1.8	1.8	65
	4	4		9.5	1440	6.5	1.7		
YD132M-6/4	6	4	380	9.8	970	6	1.6	1.8	84
	4	5.5		12.3	1440	6.5	1.4		
YD160M-6/4	6	6.5	380	15.1	970	6	1.5	1.8	119
	4	8		17.4	1460	6.5	1.5		
YD160L-6/4	6	9	380	20.6	970	6	1.6	1.8	147
	4	11		23.4	1460	6.5	1.7		
YD180M-6/4	6	11	380	25.9	980	6	1.6	1.8	192
	4	14		29.8	1470	6.5	1.7		
YD180L-6/4	6	13	380	29.4	980	6	1.7	1.8	224
	4	16		33.6	1470	6.5	1.7		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

续表 29-109

型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
YD200L-6/4	6	18.5	380	41.4	980	6.5	1.6	1.8	250
	4	22		44.7	1460	7	1.5		
YD225S 6/4	6	22	380	44.2	980	6.5	1.8	1.8	330
	4	28		56.2	1470	7	1.8		
YD225M 6/4	6	26	380	52.2	980	6.5	1.8	1.8	344
	4	34		66	1480	7	1.8		
YD250M 6/4	6	32	380	62.1	980	6.5	1.5	1.8	479
	4	42		80.6	1480	7	1.3		
YD280S 6/4	6	42	380	81.5	980	6.5	1.5	1.8	614
	4	55		106.7	1480	7	1.3		
YD280M-6/4	6	55	380	106.7	990	6.5	1.6	1.8	710
	4	72		139.7	1480	7	1.3		
8/4 极									
YD90L-8/4	8	0.45	380	1.9	700	5.5	1.6	1.8	25
	4	0.75		1.82	1420	6.5	1.4		
YD100L-8/4	8	0.85	380	3.1	700	5.5	1.6	1.8	38
	4	1.5		3.5	1410	6.5	1.4		
YD112M-8/4	8	1.5	380	5.0	700	5.5	1.7	1.8	49
	4	2.4		5.3	1410	6.5	1.7		
YD132S 8/4	8	2.2	380	7.0	720	5.5	1.5	1.8	63
	4	3.3		7.1	1440	6.5	1.7		
YD132M-8/4	8	3	380	9.0	720	5.5	1.5	1.8	80
	4	4.5		9.4	1440	6.5	1.6		
YD160M-8/4	8	5	380	13.9	730	5.5	1.5	1.8	119
	4	7.5		15.2	1450	6.5	1.6		
YD160L-8/4	8	7	380	19	730	5.5	1.5	1.8	147
	4	11		21.8	1450	6.5	1.6		
YD180L-8/4	8	11	380	26.7	730	6	1.5	1.8	254
	4	17		32.3	1470	7	1.5		
YD200L1-8/4	8	14	380	33	740	6	1.8	1.8	261
	4	22		41.3	1470	7	1.7		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



续表 29-109

型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
YD200L2-8/4	8	17	380	40.1	740	6	1.5	1.8	301
	4	26		48.8	1470	7	1.7		
YD225M-8/4	8	24	380	53.2	740	6	1.5	1.8	340
	4	34		66.7	1470	7	1.5		
YD250M-8/4	8	30	380	64.9	740	6	1.6	1.8	479
	4	42		78.8	1480	7	1.7		
YD280S-8/4	8	40	380	83.5	740	6	1.6	1.8	585
	4	55		102	1480	7	1.7		
YD280M-8/4	8	47	380	96.9	740	6	1.6	1.8	730
	4	67		122.9	1480	7	1.7		
8/6 极									
YD90S-8/6	8	0.35	380	1.6	700	5	1.8	1.8	23
	6	0.45		1.4	930	6	2		
YD90L-8/6	8	0.45	380	1.9	700	5	1.7	1.8	25
	6	0.65		1.9	920	6	1.8		
YD100L-8/6	8	0.75	380	2.9	710	5	1.8	1.8	38
	6	1.1		3.1	950	6	1.9		
YD112M-8/6	8	1.3	380	4.5	710	5	1.7	1.8	51
	6	1.8		4.8	950	6	1.9		
YD132S-8/6	8	1.8	380	5.8	730	5	1.6	1.8	63
	6	2.4		6.2	970	6	1.9		
YD132M-8/6	8	2.6	380	8.2	730	5	1.9	1.8	84
	6	3.7		9.4	970	6	1.9		
YD160M-8/6	8	4.5	380	13.3	730	5	1.6	1.8	119
	6	6		14.7	980	6	1.9		
YD160L-8/6	8	6	380	17.5	730	5	1.6	1.8	147
	6	8		19.4	980	6	1.9		
YD180M-8/6	8	7.5	380	21.9	730	5	1.9	1.8	195
	6	10		24.2	980	6	1.9		
YD180L-8/6	8	9	380	24.8	730	5	1.8	1.8	224
	6	12		28.3	980	6	1.8		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆

续表 29-109

型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
YD200L1-8/6	8	12	380	32.6	730	5	1.8	1.8	250
	6	17		39.1	980	6	2		
YD200L2-8/6	8	15	380	40.3	730	5	1.8	1.8	301
	6	20		45.4	980	6	2		
12/6 极									
YD160M-12/6	12	2.6	380	11.6	480	4	1.2	1.8	119
	6	5		11.9	970	6	1.4		
YD160L-12/6	12	3.7	380	16.1	480	4	1.2	1.8	147
	6	7		15.8	970	6	1.4		
YD180L-12/6	12	5.5	380	19.6	490	4	1.3	1.8	224
	6	10		20.5	980	6	1.3		
YD200L1-12/6	12	7.5	380	24.5	490	4	1.5	1.8	270
	6	13		26.4	970	6	1.5		
YD200L2-12/6	12	9	380	28.9	490	4	1.5	1.8	301
	6	15		30.1	980	6	1.5		
YD225M-12/6	12	12	380	35.2	490	4	1.5	1.8	292
	6	20		39.7	980	6	1.5		
YD250M-12/6	12	15	380	42.1	490	4	1.5	1.8	408
	6	24		47.1	990	6	1.5		
YD280S-12/6	12	20	380	54.8	490	4	1.5	1.8	536
	6	30		58.9	990	6	1.5		
YD280M-12/6	12	24	380	63.7	490	4	1.5	1.8	585
	6	37		72.6	990	6	1.5		
8/6/4 极									
YD112M-8/6/4	8	0.85	380	3.7	710	5.5	1.7	1.8	45
	6	1.0		3.1	950	6.5	1.3		
	4	1.5		3.5	1440	7	1.5		
YD132S-8/6/4	8	1.1	380	4.1	730	5.5	1.4	1.8	65
	6	1.5		4.2	970	6.5	1.3		
	4	1.8		4.0	1460	7	1.3		

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆 超星阅读器 超星数字图书馆



续表 29-109

型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
YD132M1-8/6/4	8	1.5	380	5.2	730	5.5	1.3	1.8	78
	6	2		5.4	970	6.5	1.5		
	4	2.2		4.9	1460	7	1.4		
YD132M2-8/6/4	8	1.8	380	6.1	730	5.5	1.5	1.8	84
	6	2.6		6.8	970	6.5	1.5		
	4	3		6.5	1460	7	1.5		
YD160M 8/6/4	8	3.3	380	10	720	5.5	1.7	1.8	120
	6	4		9.9	960	6.5	1.4		
	4	5.5		11.6	1440	7	1.5		
YD160L 8/6/4	8	4.5	380	13.8	720	5.5	1.6	1.8	147
	6	6		14.5	960	6.5	1.6		
	4	7.5		15.6	1440	7	1.5		
YD180L-8/6/4	8	7	380	20.2	740	6.5	1.6	1.8	205
	6	9		20.6	980	7	1.5		
	4	12		24.1	1470	7	1.4		
YD200L-8/6/4	8	10	380	24.8	740	6.5	1.6	1.8	301
	6	13		28.4	980	7	1.5		
	4	17		33.4	1470	7	1.4		
YD225S-8/6/4	8	14	380	34.8	740	6.5	1.8	1.8	330
	6	18.5		39.9	990	7	1.6		
	4	24		46.6	1480	7	1.5		
YD225M-8/6/4	8	17	380	42.4	740	6.5	1.8	1.8	360
	6	22		45.2	980	7	1.6		
	4	28		54.3	1480	7	1.5		
YD250M-8/6/4	8	24	380	55.2	740	6.5	1.5	1.8	490
	6	26		52.8	990	7	1.6		
	4	34		63.8	1480	7	1.4		
YD280S-8/6/4	8	30	380	68.3	740	6.5	1.5	1.8	667
	6	34		67.5	990	7	1.6		
	4	42		77.9	1480	7	1.4		

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆 领星球

续表 29-109

型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
YD280M-8/6/4	8	34	380	77.4	740	6.5	1.4	1.8	740
	6	37		73.4	990	7	1.5		
	4	50		92.8	1480	7	1.4		
6/4/2 极									
YD100L-6/4/2	6	0.75	380	2.6	950	5.5	1.8	1.8	38
	4	1.3		3.7	1450	6	1.6		
	2	1.8		4.5	2920	7	1.6		
YD112M-6/4/2	6	1.1	380	3.5	960	5.5	1.7	1.8	43
	4	2		5.1	1450	6	1.4		
	2	2.4		5.8	2920	7	1.6		
YD132S-6/4/2	6	1.8	380	5.1	970	5.5	1.4	1.8	68
	4	2.6		6.1	1460	6	1.3		
	2	3		7.4	2910	7	1.7		
YD132M1-6/4/2	6	2.2	380	6	970	5.5	1.3	1.8	78
	4	3.3		7.5	1460	6	1.3		
	2	4		8.8	2910	7	1.7		
YD132M2-6/4/2	6	2.6	380	6.9	970	5.5	1.5	1.8	84
	4	4		9	1460	6	1.4		
	2	5		10.8	2910	7	1.7		
YD160M-6/4/2	6	3.7	380	9.5	980	5.5	1.5	1.8	124
	4	5		11.2	1470	6	1.3		
	2	6		13.2	2930	7	1.4		
YD160L-6/4/2	6	4.5	380	11.4	980	5.5	1.5	1.8	145
	4	7		15.1	1470	6	1.2		
	2	9		18.8	2930	7	1.3		
8/4/2 极									
YD112M-8/4/2	8	0.65	380	2.7	700	4.5	1.4	1.8	45
	4	2		5.1	1450	6	1.3		
	2	2.4		5.8	2920	7	1.2		
YD132S-8/4/2	8	1	380	3.6	720	4.5	1.4	1.8	68
	4	2.6		6.1	1460	6	1.2		
	2	3		7.1	2910	7	1.4		

超星浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权！

续表 29-109

型 号	极 数	额定数据				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
		功率 kW	电压 V	电流 A	转速 r/min				
YD132M-8/1/2	8	1.3	380	4.6	720	4.5	1.5	1.8	81
	4	3.7		8.4	1460	6	1.3		
	2	4.5		10	2910	7	1.4		
YD160M-8/4/2	8	2.2	380	7.6	720	4.5	1.4	1.8	124
	4	5		11.2	1440	6	1.3		
	2	6		13.2	2910	7	1.4		
YD160L-8/4/2	4	2.8	380	9.2	720	4.5	1.3	1.8	145
	4	7		15.1	1440	6	1.2		
	2	9		18.8	2910	7	1.3		

12/8/6/4 极

YD180L- 12/8/6/4	12	3.3	380	13	480	5	1.6	1.8	210
	8	5		16	740	6	1.5		
	6	6.5		14	970	6	1.3		
	4	9		19	1470	7	1.3		
YD200L1- 12/8/6/4	12	4.5	380	17	490	5	1.3	1.8	285
	8	7		20	740	6	1.3		
	6	8		17	980	6	1.3		
	4	11		23	1480	7	1.3		
YD200L2- 12/8/6/4	12	5.5	380	20	490	5	1.3	1.8	301
	8	8		22	740	6	1.3		
	6	10		21	980	6	1.3		
	4	13		27	1480	7	1.3		
YD225M- 12/8/6/4	12	7	380	21	490	5	1.6	1.8	340
	8	11		27	740	6	1.6		
	6	13		26	980	6	1.5		
	4	20		39	1480	7	1.3		
YD250M- 12/8/6/4	12	9	380	26	490	5	1.6	1.8	479
	8	14		34	740	6	1.6		
	6	16		33	990	6	1.5		
	4	26		49	1480	7	1.3		
YD280S- 12/8/6/4	12	11	380	32	490	5	1.6	1.8	650
	8	18.5		43	740	6	1.6		
	6	20		41	990	6	1.5		
	4	34		65	1490	7	1.3		
YD280M- 12/8/6/4	12	13	380	37	490	5	1.7	1.8	730
	8	22		51	740	6	1.7		
	6	24		49	990	6	1.6		
	4	40		75	1490	7	1.5		

注：1. 安装型式、安装及外形尺寸同 Y 系列 (IP44)；如因极数不同，使尺寸有所不同时，则 YD 系列应为在 Y 系列 (IP44) 中 4 极以上的尺寸；

2. 表中数据系大连电机厂提供；提供资料的单位还有重庆电机厂，山西电机厂。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

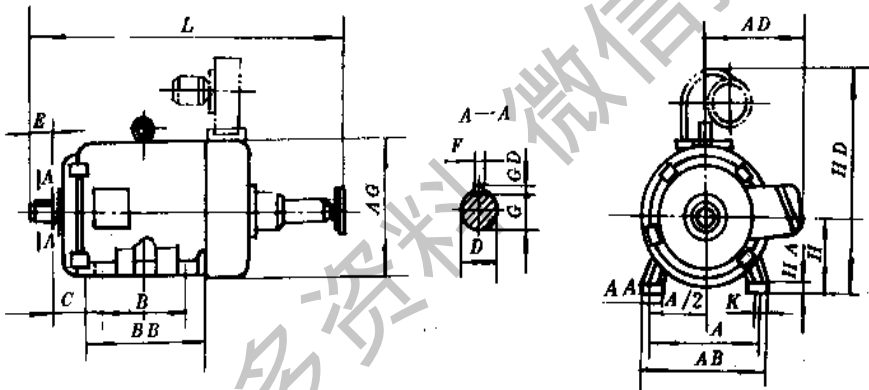
(4) YWT (IP44) 鼠笼型交流无级调速电动机

表 29-110 YWT 电动机技术数据

机座号	同步转速		r/min
		1500	1000
	调速范围		r/min
		1400~500	900~300
	功率		kW
	225M	18.5	15
	22	18.5	
250M	30	22	
	37	30	
280S	45	37	
280M	55	45	
280L		55	

注：表中数据系重庆电机厂提供。

表 29-111 安装及外形尺寸



机座号	尺寸 mm																		
	H	A	A/2	B	C	D	E	F	G	GD	K	AB	AC	AD	HD	AA	BB	HA	L
225M	225	356	178	311	149	60	140	18	53	11	19	435	450	345	820	75	393	28	1350
250M	250	406	203	349	168	65	140	18	58	11	24	490	495	385	870	80	455	30	1480
280S				368															
280M	280	457	228.5	419	190	75	140	20	67.5	12	24	560	565	540	930	112	581	32	1550
280L				508															

注：有关尺寸偏差参照 Y 系列 (IP44) 编者。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

4.4.3 冶金及起重用异步电动机

(1) YZR、YZ 系列冶金及起重用三相异步电动机

表 29-112 YZR 系列技术数据

工作方式	S2								S3								
	30min				60min				15%				25%				
	FC	额定功率 kW	定子电流 A	转子电流 A	转速 r/min	额定功率 kW	定子电流 A	转子电流 A	转速 r/min	额定功率 kW	定子电流 A	转子电流 A	转速 r/min	额定功率 kW	定子电流 A	转子电流 A	转速 r/min
	同步转速 1000 r/min																
	112M	1.8	5.3	13.4	815	1.5	4.63	12.5	866	2.2	6.6	18.4	725	1.8	5.3	13.4	815
	132M1	2.5	6.5	12.9	892	2.2	6.05	12.6	908	3.0	8	16.1	855	2.5	6.5	12.9	892
	132M2	4.0	9.7	14.2	900	3.7	9.2	14.5	908	5	12.3	18.2	875	4	9.7	14.2	900
	160M1	6.3	16.4	29.4	921	5.5	15	25.7	930	7.5	18.5	35.4	910	6.3	16.4	29.4	921
	160M2	8.5	19.6	29.8	930	7.5	18	26.5	940	11	24.6	39.6	908	8.5	19.6	29.8	930
	160L	13	28.6	31.6	942	11	24.5	27.6	957	15	34.7	39	920	13	28.6	31.6	942
	180L	17	36.7	49.8	955	15	33.8	46.5	962	20	42.6	58.7	946	17	36.7	49.8	955
	200L	26	56.1	82.4	956	22	49.1	69.9	964	33	62	68	942	26	56.1	82.4	956
	225M	34	70	85	957	30	62	74.4	962	40	80	101	947	34	70	85	957
	250M1	42	80	103	960	37	70.5	91.5	965	50	99	123	950	42	80	103	960
	250M2	52	97	110	958	45	84.5	95	965	63	121	134	947	52	97	110	958
	280S	63	118	142	966	55	101.5	129.8	969	75	144	169.5	960	63	118	142	966
	280M	85	157	140	966	75	139	124	970	100	185	166	960	85	157	140	966
	同步转速 750 r/min																
机	160L	9	22.4	28.1	694	7.5	19.1	23	705	11	27.5	35.3	676	9	22.4	28.1	694
	180L	13	29.1	47.8	700	11	27	44	700	15	34	56	690	13	29.1	47.8	700
座	200L	18.5	40	67.2	701	15	33.5	53.5	712	22	48	81	690	18.5	40	67.2	701
	225M	26	55	71.2	708	22	46.9	59.1	715	33	70	92	696	26	55	71.2	708
号	250M1	35	64	80	715	30	63.4	67.7	720	42	75	97.5	710	35	64	80	715
	250M2	42	86	79	716	37	78	70	720	52	103	98	706	42	86	79	716
	280S	52	108	106	712	45	93.5	94	723	60	120	126	713	51	106	108	718
	280M	63	126	110	722	55	110.5	92.5	725	75	150	132	715	63	126	110	722
	315S	85	148	180	724	75	134	159	727	100	172	213	719	85	148	180	724
	315M	100	190	183	715	90	172	160.9	720	125	250	232	717	100	190	183.5	715
	同步转速 600 r/min																
	280S	42	92	177.1	571	37	84.8	153.2	560	55	112	235.2	564	42	92	177.1	571
	280M	55	127	207	556	45	103.8	165	560	63	146	241	548	55	127	207	556
	315S	63	132	161.9	580	55	118.3	138.7	580	75	154	194	574	63	132.5	161.9	580
	315M	85	179	171	576	75	160	149.3	679	100	210	203	570	85	179	171	576
	355M	110	218	207	581	90	180	166.6	585	132	266	252	576	110	218	207	581
	355L1	132	257	213	576	110	217	172	582	160	314	261	571	132	257	213	578
	355L2	150	275	194	588	132	262	167.5	588	185	353	241	585	150	293	194	588
	400L1	190	390	290	585	160	339	250	588	236	472	370	582	190	390	300	585
	400L2	240	490	302	585	200	427	258	588	270	540	340	582	240	490	308	586

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

续表 29-112

工作方式		S3															
		6 次/h															
FC		40%							60%				100%				
项 目	额定功率	定子电流	转子电流	最大转矩	空载电流	转速	效率	功率因数	额定功率	定子电流	转子电流	转速	额定功率	定子电流	转子电流	转速	
	kW	A	A	额定转矩	A	r/min	%	cosφ	kW	A	A	r/min	kW	A	A	r/min	
同步转速 1000 r/min																	
	112M	1.5	4.6	12.5	2.3	3.37	866	62.9	0.79	1.1	3.8	7.3	912	0.8	3.5	5.16	940
	132M1	2.2	6.1	12.6	2.9	4.04	908	73	0.76	1.8	5.4	9	924	1.5	5	7.3	940
	132M2	3.7	9.2	14.5	2.5	5.58	908	77	0.8	3.0	7.9	10.2	937	2.5	7.2	8.4	950
	160M1	5.5	15	25.7	2.6	7.95	930	75.7	0.74	5.0	14	22.9	935	4	12.5	18.2	944
	160M2	7.5	18	26.5	2.8	11.2	940	79.4	0.8	6.3	16	21.7	949	5.5	15	18.8	956
	160L	11	24.9	27.6	2.5	13	945	82	0.82	9	21	22.3	952	7.5	18.8	18.5	970
	180L	15	33.8	46.5	3.2	18.8	962	83	0.81	13	29.7	37.3	968	11	25.5	31.4	975
	200L	22	49.5	69.9	2.88	26.6	964	86	0.803	19	44.5	60.5	969	17	40.5	52.6	973
	225M	30	62	74.4	3.1	29.9	962	88.3	0.83	26	55	64.5	968	22	50	54.2	975
	250M1	37	70.5	91.5	3.1	26.5	960	89.2	0.9	32	61	79	970	28	55	69	975
	250M2	45	84.5	95	3.1	28.2	965	90.6	0.89	39	73	83	969	33	64	71	974
	280S	55	101.5	119.8	3.0	34	969	89	0.9	48	88	107.1	972	40	76	88.9	976
	280M	75	138	122.6	3.1	50	969	91	0.906	63	118	104	975	50	96.3	82	980
同步转速 750 r/min																	
机 座 号	160L	7.5	19.1	23	2.7	12.7	705	83	0.73	6	16.4	18.2	717	5	14	15	724
	180L	11	27	44	2.7	14.8	700	81	0.77	9	21.9	32.1	720	7.5	19.6	26.6	726
	200L	15	33.5	53.5	2.9	17.7	712	85	0.79	13	30	46.1	718	11	27	38.7	723
	225M	22	46.9	59.1	2.9	24.2	715	87.4	0.82	18.5	41	49.5	721	17	38	45	723
	250M1	30	63.4	68.8	2.8	31.4	720	87	0.80	26	52	59.1	725	22	46	49.7	729
	250M2	37	78	70	2.8	36.9	720	85	0.80	32	68	60	725	27	60	51	729
	280S	45	93.5	94	3.1	48.5	723	89	0.81	38	82	80	728	34	75	70.5	729
	280M	55	110.5	92.5	2.8	52.3	725	89.5	0.84	48	103	82.8	730	40	93	68.7	732
	315S	75	134	159	2.9	62	727	89.5	0.87	63	116	132	731	55	104	115	734
	315M	90	172	160.9	3.1	57.7	720	90.2	0.88	75	140	136	725	63	124	113.8	728
同步转速 600 r/min																	
	280S	37	84.8	153.2	2.8	44.2	572	87	0.76	32	77	133.4	578	27	69	111.8	582
	280M	45	103.8	165	3.2	63.6	560	85.6	0.78	37	90	136	569	33	89.6	116	587
	315S	55	118.3	138.7	3.1	62.5	580	89.3	0.79	48	106.6	122	585	40	95.2	101	588
	315M	75	160	149.3	3.1	85.3	579	89.7	0.79	63	140	124.8	584	50	125	98.5	587
	355M	90	180	166.6	3.1	83	589	92.1	0.825	75	154	140	588	63	136	117	589
	355L1	110	217	172	2.9	90	582	92.2	0.84	90	181	143	585	75	157	119	588
	355L2	132	262	167.5	3.3	126	588	92.4	0.815	110	226	141.8	591	90	191	115.6	592
	400L1	160	339	250	3.0	182	588	91	0.79	135	300	210	590	110	263	174	592
	400L2	200	423	258	2.85	213	589	92	0.77	177	372	224	591	145	332	183	592



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

续表 29-112

工作方式	S4 及 S5												
	150 次/h												
FC	25%				40%				60%				
	额定 功率 kW	定子 电流 A	转子 电流 A	转速 r/min	额定 功率 kW	定子 电流 A	转子 电流 A	转速 r/min	额定 功率 kW	定子 电流 A	转子 电流 A	转速 r/min	
机 座 号	同步转速 1000 r/min												
	112M	1.6	4.75	11.3	845	1.3	4.2	8.85	890	1.0	3.75	6.57	920
	132M1	2.2	6	11.2	908	2	5.7	10	913	1.7	5.3	8.4	931
	132M2	3.7	9.7	13.1	915	3.5	9.2	11.2	925	2.8	8.5	9.65	940
	160M1	5.8	15.5	27.3	927	5	14.1	23.4	935	4.8	13.8	22.7	937
	160M2	7.5	18	27.6	940	7	17.1	25.6	945	6.0	15.6	21.8	954
	160L	11	28.3	27.8	950	10	23	25	957	8	19.5	19.8	969
	180L	15	33	43.7	960	13	29.5	37.7	965	12	28	34.6	969
	200L	21	47	55.4	965	18.5	42.5	48.5	970	17	40.5	53.8	973
	225M	28	58	70	965	25	53	62.2	969	22	50	54.5	973
	250M1	33	63	82.6	970	30	58	74.9	973	28	54	69.8	975
	250M2	42	78	90.5	967	37	70	79.3	971	33	63	70.5	975
	280S	52	95	116	970	45	83	100	974	42	80	93.6	975
	280M	70	130	115	972	62	114	102	975	55	90	104	975
	同步转速 750 r/min												
	160L	7.5	19	22.8	712	7	18.1	21.2	716	5.8	16.4	17.3	724
	180L	11	25.4	40.6	711	10	23.5	36.6	717	8	20.5	28.8	728
	200L	15	34	54.1	713	13	30	46.6	718	12	28.5	43	720
	225M	21	45	56.8	718	18.5	41	49.7	721	17	38	45.6	724
	250M1	29	61.5	68.5	700	25	54	58.7	705	22	49	51.9	712
250M2	33	70	62.5	725	30	64	56.6	727	28	61	52.8	728	
280S	42	91	85.5	719	37	83	75.6	722	33	76.2	67	726	
280M	52	104	90.2	727	45	93	77.7	730	42	89	72.4	732	
315S	64	118	132.7	731	60	110.5	124.2	733	56	106	115.8	733	
315M	75	142	136	725	72	136	130.7	725	65	126	117.6	727	
同步转速 600 r/min													
280S	33	78.7	141.8	578	30	74	125	579	28	71	116	580	
280M	42	98.7	154	575	37	90	136	570	33	84	118	573	
315S	50	110	128.4	583	45	100	115.3	585	42	96	107.4	586	
315M	65	144	129	584	60	136	119	585	55	130	109	586	
355M	80	160.5	149.7	587	72	156	134.5	588	65	140	121	589	
355L1	100	185	159	586	90	170	142	588	80	155	126.5	589	
355L2	120	250	149.8	588	110	230	137.5	589	95	210	122.7	591	
400L1	145	314	223	588	132	290	199	589	120	278	180	590	
400L2	185	396	238	590	165	365	262	589	150	342	195	592	

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

项 目	S4 及 S5												转 子 电 压 V	飞 轮 矩 GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质 量 kg
	300 次/h				600 次/h				600 次/h						
	40%				60%				60%						
额 定 功 率 kW	定 子 电 流 A	转 子 电 流 A	转 速 r/min	额 定 功 率 kW	定 子 电 流 A	转 子 电 流 A	转 速 r/min	额 定 功 率 kW	定 子 电 流 A	转 子 电 流 A	转 速 r/min				
同步转速 1000 r/min															
112M	1.2	4.0	8.0	900	0.9	3.7	5.87	930	0.7	3.4	4.46	946	100	1.1	73.5
132M1	1.8	5.4	8.95	926	1.6	5.1	7.87	936	1.35	4.9	6.8	945	132	2.3	96.5
132M2	3.3	9.4	11.9	925	2.8	8.5	9.65	940	2.3	6	7.5	950	185	2.6	107.5
160M1	4.8	14.1	23.4	935	4.5	13.8	22.4	937	3.8	12.2	17.5	946	138	4.7	153.5
160M2	6.0	15.6	21.8	954	5.5	14.8	19.8	959	4.0	13	14.2	970	185	5.8	159.5
160L	8.0	19.5	19.8	969	7.5	18.7	18.5	971	5.6	16.7	14.2	978	250	7.8	174
180L	12	28	34.6	969	11	26.6	31.7	972	9	23.6	22.9	978	218	15	230
200L	17	40.5	52.5	973	15	37	40	975	11	31.5	28.5	981	200	26	390
225M	22	50	54.5	973	20	46	49.4	977	15	39	36.8	982	250	33	398
250M1	26	52	64.6	977	25	50	62.1	978	17.5	39	43.2	984	250	60	512
250M2	31	60	66.1	976	30	58	63.9	977	24	49	50.9	981	290	70	559
280S	40	76	89	977	37	71	82.2	978	30	64	66.5	980	280	92	746.5
280M	52	98	85.5	979	47	92	77	981	37	78	61	982	370	112	840
同步转速 750 r/min															
160L	6.0	16.7	18	722	5.5	15.5	14.9	727	3.8	13.7	11.2	732	205	7.8	172
180L	8.0	20.5	28.8	728	7.5	19.7	26.9	729	5.8	17.8	20.6	736	172	15	230
200L	12	28.2	43	720	11	27	39.1	724	8.0	23	28.1	731	178	26	317
225M	17	38	45.6	724	15	35.1	40	727	11	31	29.1	733	232	32	390
250M1	22	49	51.9	712	20	46	46.2	716	15	39	34.2	725	272	60	515
250M2	26	58	48.9	730	25	57	47	731	18.5	45	34.4	736	335	70	563
280S	31	74	63	728	30	72	61.5	732	24	64	49.1	733	305	92	745
280M	42	89	72.4	732	37	83	63.5	735	30	73	51.4	737	360	112	847.5
315S	52	100	107	735	48	94	98.8	736	35	80	71.7	740	302	282	1050
315M	60	120	108	729	55	116	99	729	41	100	73.7	732	372	340	1170
同步转速 600 r/min															
280S	26	68	108	582	25	66	103	583	17	56	69.8	588	150	140	766
280M	31	82	110	574	28	78.5	98	577	22	72.5	75	582	172	156	840
315S	40	94	102.2	587	37	90	94.5	587	30	84	76.3	589	242	282	1026
315M	50	126	98.7	587	48	124	94.7	588	37	114	73	589	325	340	1156
355M	60	130	112	590	55	124	102.4	590	41	104	76.19	591	330	560	1520
355L1	75	150	119	590	70	145	111	591	50	120	78.4	594	388	670	1764
355L2	90	205	116.2	591	80	190	130.2	592	60	165	77.1	594	475	750	1810
400L1	110	260	168	591	96	247	148	592	75	220	114	594	395	960	2400
400L2	140	324	180	592	120	298	155	592	95	265	122	594	460	1100	2950

注：提供资料的单位有佳木斯电机厂、南阳防爆电机厂、山西电机厂、重庆特种电机厂和大连第二电机厂等。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
尊重相关知识产权！

表 29-113 YZ 系列技术数据

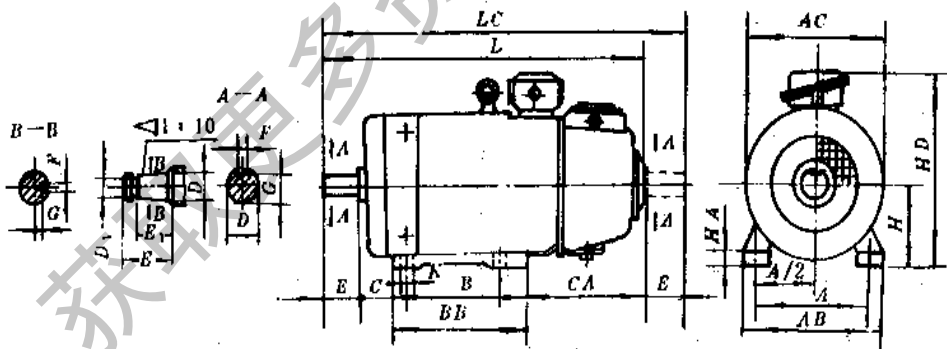
工作方式	S2												S3												质量 kg			
	60min						15%						25%						6次/h							GD <sup>2</sup> N·m <sup>2</sup>		
	30min		60min		15%		25%		6次/h		40%		50%		100%													
额定功率 kW	定子电流 A	转速 r/min	额定功率 kW	定子电流 A	转速 r/min	额定功率 kW	定子电流 A	转速 r/min	额定功率 kW	定子电流 A	转速 r/min	最大转矩 额定转矩	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	效率 %	功率因数 cosφ	额定功率 kW	定子电流 A	转速 r/min	额定功率 kW	定子电流 A	转速 r/min						
同步转速 1000 r/min																												
112M	1.8	4.9	892	1.5	4.25	920	2.2	6.5	810	1.8	4.9	892	1.5	4.25	920	2.7	2.44	4.47	69.5	0.765	1.1	2.7	946	0.8	3.5	980	0.8	58
132M1	2.5	6.5	920	2.2	5.9	935	3.0	7.5	804	2.5	6.5	920	2.2	5.9	935	2.9	3.1	5.16	74	0.745	1.8	5.3	950	1.5	4.9	960	2.1	80
132M2	4.0	9.2	915	3.7	8.8	912	5	11.6	890	4	9.2	915	3.7	8.8	912	2.8	3.0	5.54	79	0.79	3.0	7.5	940	2.8	7.2	945	2.3	91.5
160M1	6.3	14.1	922	5.5	12.5	933	7.5	16.8	903	6.3	14.1	922	5.5	12.5	933	2.7	2.5	4.9	80.6	0.83	5.0	11.5	940	4.0	10	953	4.2	118.5
160M2	8.5	18	943	7.5	15.9	948	11	25.4	926	8.5	18	943	7.5	15.9	948	2.9	2.4	5.52	83	0.84	6.3	14.2	956	5.5	13	961	5.3	131.5
160L	15	32	920	11	24.6	953	15	32	920	13	28.7	936	11	24.6	953	2.9	2.7	6.17	84	0.85	9	20.6	964	7.5	18.8	972	7.1	152
同步转速 750 r/min																												
160L	9	21.1	694	7.5	18	705	11	27.4	675	9	21.1	694	7.5	18	705	2.7	2.5	5.1	82	0.74	6	15.6	717	5	14.2	724	7.1	152
180L	13	30	675	11	25.8	694	15	35.3	654	13	30	675	11	25.8	694	2.5	2.6	4.9	80.9	0.81	9	21.5	710	7.5	19.2	718	13	205
200L	18.5	40	697	15	33.1	710	22	47.5	686	18.5	40	697	15	33.1	710	2.8	2.7	6.1	85	0.8	13	28.1	714	11	26	720	23	276
225M	26	53.5	701	22	45.8	712	33	69	687	26	53.5	701	22	45.8	712	2.9	2.9	6.2	84	0.83	18.5	40	718	17	37.5	720	30	347
250M1	35	74	681	30	63.3	694	42	89	663	35	74	681	30	63.3	694	2.54	2.7	5.47	85	0.84	26	56	702	22	45	717	53	462

注：同表 29-112 之注。

表 29-114 安装型式及其他结构

安装型式	代 号	制造范围	轴伸	冷却方式	传动方式
	IM1001	112-160	圆柱轴伸	112~132 机座号为自然冷却 (ICO141), 160~355 机座号为自扇冷却 (ICO141), 400 机座号为具有内循环通风外扇冷却 (ICO151)	采用联轴器或直齿轮传动, 采用直齿轮传动时, 其齿轮分度圆最小直径应不少于轴伸直径的 2 倍
	IM1003	180-400	锥形轴伸		
	IM1002	112-160	圆柱轴伸		
	IM1004	180-400	锥形轴伸		
	IM3001	112-160	圆柱轴伸		
	IM3003	180	锥形轴伸		
	IM3011	112-160	圆柱轴伸		
	IM3013	180-315	锥形轴伸		

表 29-115 YZR 系列 1001、1003、1002、1004 安装及外形尺寸



机座带底脚、端盖上无凸缘

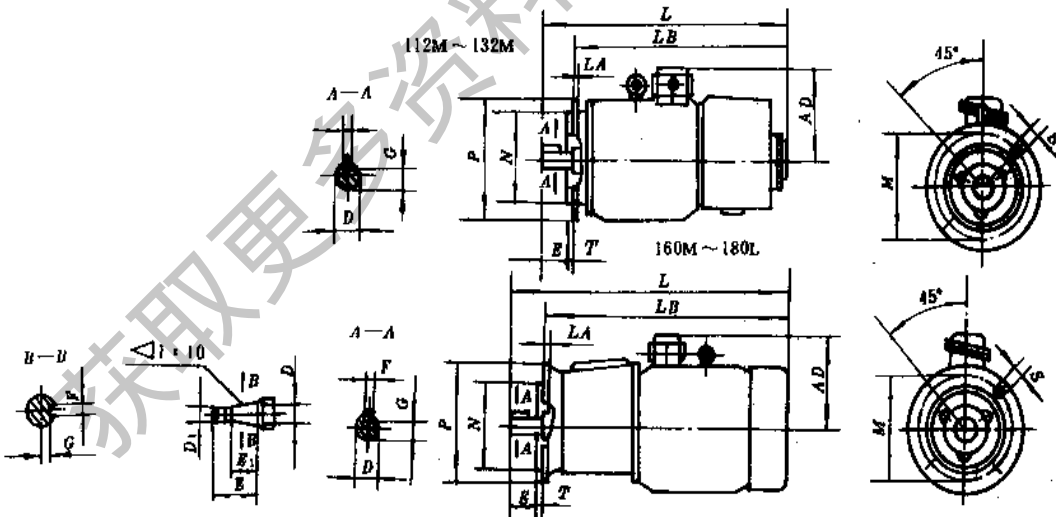
超星阅读器提醒您：  
续表 29-115  
使用本软件时  
请尊重相关知识产权！

机座号	尺寸 mm																		
	A	B	C	CA	D	D <sub>1</sub>	E	E <sub>1</sub>	F	G	H	K	AB	AC	BB	HA	HD	L	LC
112M	190	140	70	300	32k6		80		10N9	27- $\frac{0.2}{2}$	112- $\frac{0.5}{5}$	12	250	245	235	18	355(330)	590	670
132M	216	178	89		38k6										33- $\frac{0.2}{2}$	132- $\frac{0.5}{5}$		275	285
160M	254	210	108	330	48k6		110		14N9	42.5- $\frac{0.2}{2}$	160- $\frac{0.5}{5}$	15	320	325	290	25	425(420)	758	868
160L		254									335			800	912				
180L	279	279	121	360	55°	M36×3		82		19.9- $\frac{0.2}{2}$	180- $\frac{0.5}{5}$		360	360	380		465(460)	870	980
200L	318	305	133	400	60°	M42×3	140	105	16N9	21.4- $\frac{0.2}{2}$	200- $\frac{0.5}{5}$	19	405	405	400	28	510	975	1118
225M	356	311	149	450	65°									23.9- $\frac{0.2}{2}$	225- $\frac{0.5}{5}$			455	430
250M	406	349	168	540	70°	M48×3			18N9	25.4- $\frac{0.2}{2}$	250- $\frac{0.5}{5}$		516	480	510	30	605	1195	1337
280S	457	368	190		85°	M56×4				20N9	31.7- $\frac{0.2}{2}$	280- $\frac{0.8}{8}$	24	575	535	530	32	665	1263
280M		419																	
315S	508	406	216	600	95°	M64×4	170	130	22N9	35.2- $\frac{0.2}{2}$	315- $\frac{0}{0}$	28	640	620	580	35	750	1390	1562
315M		457																	
355M	610	560	254	630	110°	M80×4	210	165	25N9	41.9- $\frac{0.2}{2}$	355- $\frac{0}{0}$	28	740	710	730	38	840	1650	1864
355L		630																	
400L	686	710	280		130°	M100×4	250	200	28N9	50- $\frac{0.2}{2}$	400- $\frac{0}{0}$	35	855	840	910	45	950	1865	2120

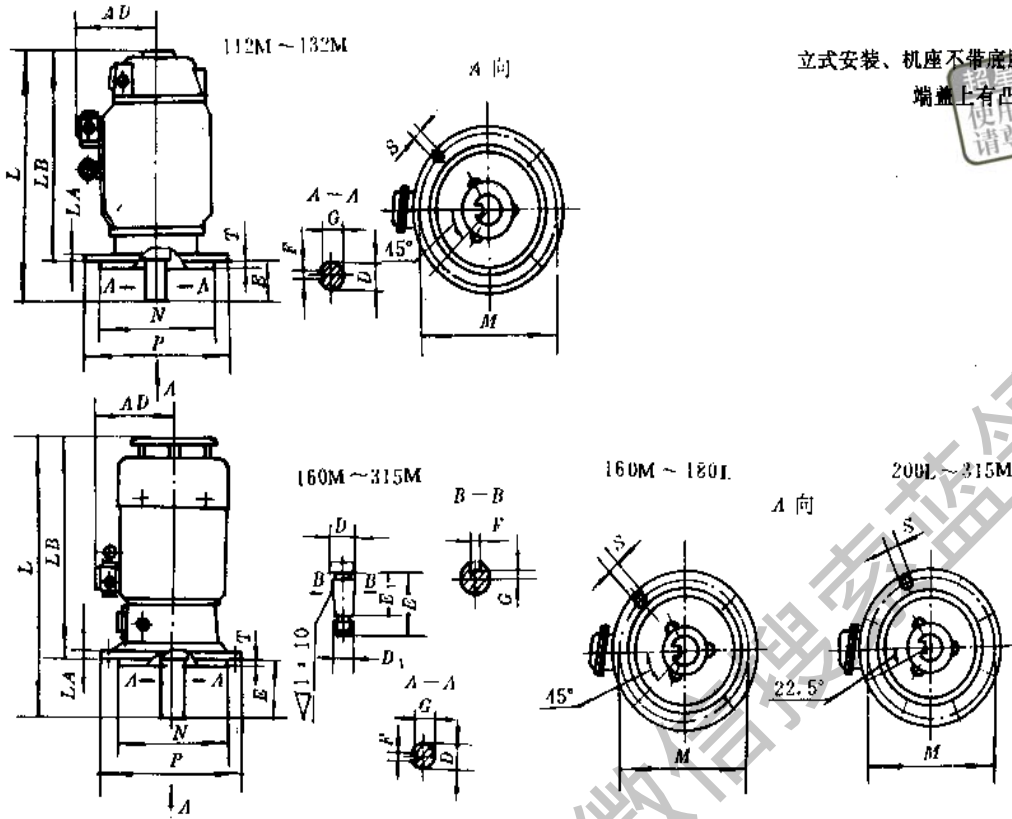
注：1. 本表按山西电机厂，佳木斯电机厂提供的资料编写。括号内的数据只适用于佳木斯电机厂；  
2. 圆锥形轴伸的直径偏差按 JB684—65 《电机安装尺寸公差》规定的方法和标准确定。

表 29-116 YZR 系列 3001、3003、3011、3013 安装及外形尺寸

卧式安装，机座不带底脚，端盖上有凸缘



续表 29-116



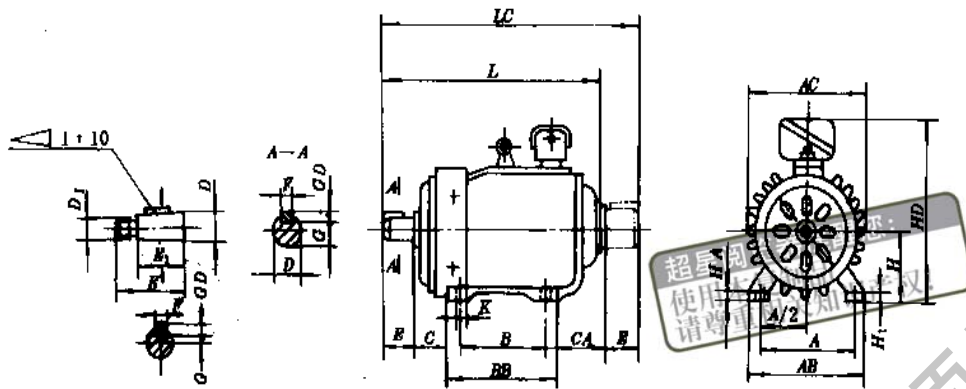
立式安装、机座不带底脚，  
端盖上有凸缘  
浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

机座号	凸级号	尺寸 mm														螺栓直径			
		D	D <sub>1</sub>	E	E <sub>1</sub>	F	G	M	N	P	S	T	孔数个	AD	L		LA	LB	
112M	FF215	32k6		80		10N9	27 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	215	180j6	250			15	4	220	595	14	515	M12
132M	FF265	38k6					33 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	265	230j6	300					230	645		565	
160M		48k6		110		14N9	42.5 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	300	250j6	350				4	260	828		718	M16
160L	FF300						19.9 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>							(250)	872	18	762		
180L		55°	M36×3											280	915		805		
200L		60°	M42×3		82	16N9	21.4 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	400	350j6	450	19	5			320	1050	20	910	
225M	FF400	65°	M48×3	140	105		23.9 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>								355(320)	1110		970	
250M		70°	M48×3			18N9	25.4 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>								385	1266		1126	
280S	FF500	85°	M56×4			20N9	31.7 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	500	450j6	550			8		1370	22	1200		
280M				170	130									435	1420		1250		
315S															1475		1355	M20	
315M	FF600	95°	M64×4			22N9	35.2 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	600	550js6	660	24	6			1525	25	1355		

注：同表 29-115 之注。



表 29-117 YZ 系列 1001、1003、1002、1004 安装及外形尺寸

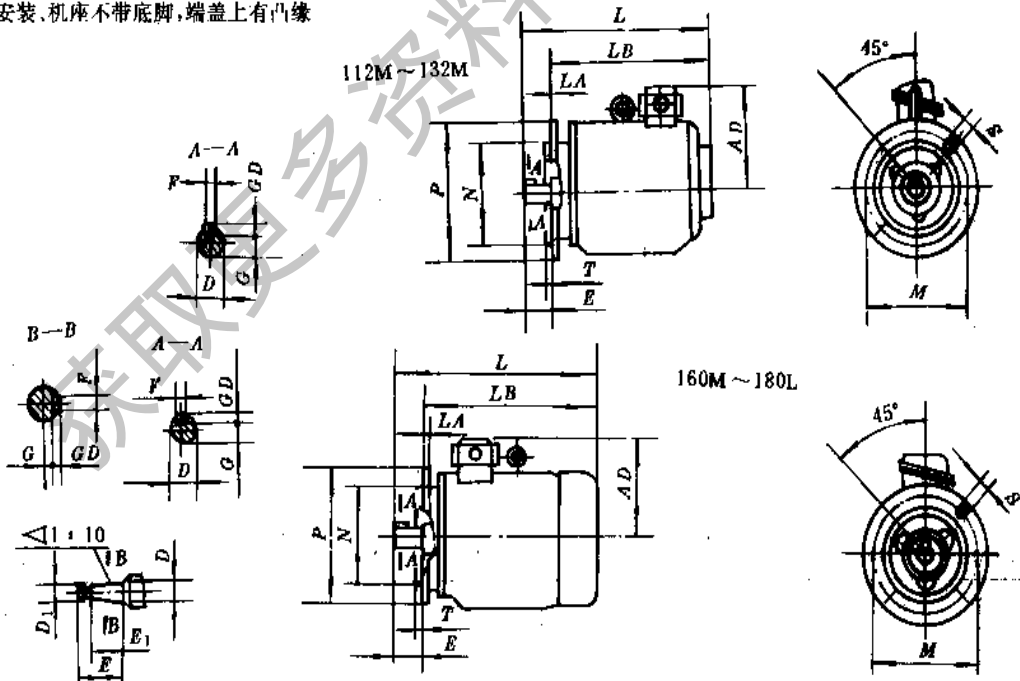


机座带底脚,端盖上无凸缘

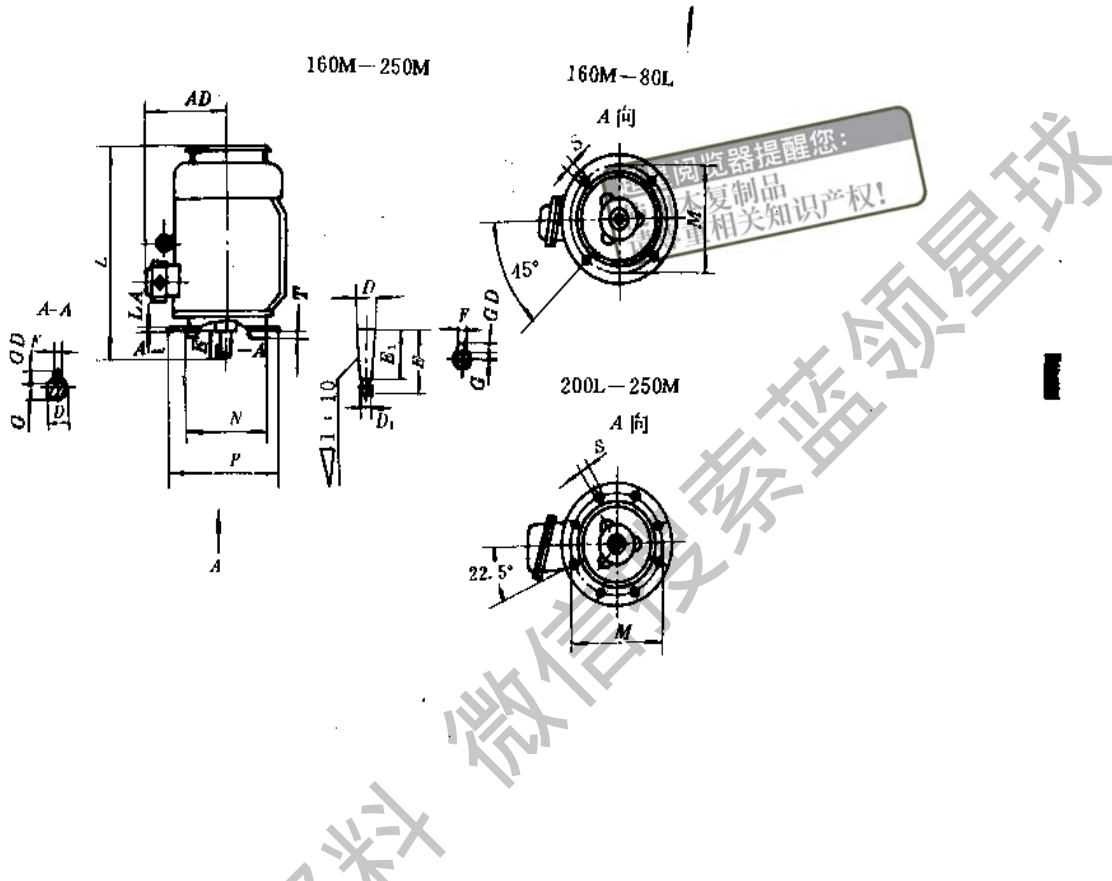
机座号	尺寸 mm																				
	H	A	B	C	CA	K	螺栓直径	D	D <sub>1</sub>	E	E <sub>1</sub>	F	G	GD	AC	AB	HD	BB	L	LC	HA
112M	112 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	190	140	70	135		12 M10	32k6		80		10N9	27 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	8	245	250	325(330)	235	420	505	15
132M	132 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	216	178	89	150		12 M10	38k6					33 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>		285	275	355(360)	260	495	577	17
160M	160 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	254	210	108	180	15	M12	48k6		110		14N9	42.5 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	9	325	320	420	290	608	718	20
160L			254															335	650	762	
180L	180 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	279	279	121				55° M36×3		82			19.9 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>		360	360	460	380	685	800	22
200L	200 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	318	305	133	210			60° M42×3					21.4 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>		405	405	510	400	780	928	25
225M	225 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	356	311	149	258		19 M16	65° M42×3		140	105	16N9	23.9 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	10	430	455	545	410	850	998	28
250M	250 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	406	349	168	295		21 M20	70° M48×3				18N9	25.4 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	11	480	515	605	510	935	1092	30

表 29-118 YZ 系列 3001、3003、3002、3004 安装及外形尺寸

卧式安装,机座不带底脚,端盖上有凸缘



立式安装、机座不带底脚，端盖上有凸缘



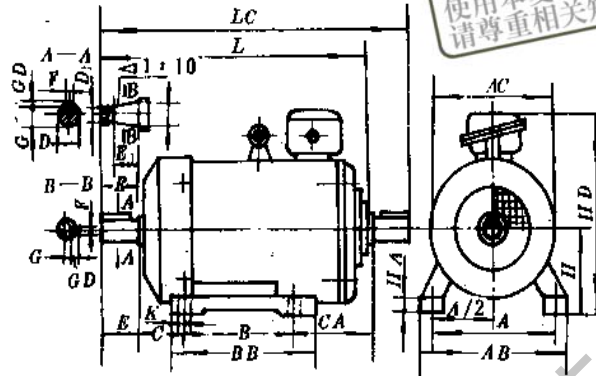
机座号	尺寸 mm																
	M	N	P	LA	T	S	螺栓孔数 直径(个)	D	D <sub>1</sub>	E	E <sub>1</sub>	F	CD	G	L	LB	AD
112M	215	180j6	250	14	4	15	M12	32k6		80		10N9	8	27 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	430	350	220
132M	265	230j6	300					38k6						33 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>			
160M	300	250j6	350	18	5	19	M16	48k6		110		14N9	9	42.5 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	700	590	250
160L								55°						M36×3	82	19.9 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	
180L								60°	M42×3	140	105	16N9	10	21.4 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	855	715	310
200L	65°	23.9 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	915	775	320												
225M	400	350j6	450	20			ø	70°	M48×3			18N9	11	25.4 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	1005	865	355

注：参见表 29-115 之注。

(2) YZD 系列起重用多速三相异步电动机

表 29-119 YZD 系列功率等级安装外形尺寸

- IM1001(卧式、单圆柱轴伸)H160
- IM1003(卧式、单圆锥轴伸)
- H180~250
- IM1002(卧式双圆柱轴伸)
- H160
- IM1004(卧式双圆锥轴伸)
- H180~250



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

同步转速				机座号	尺寸 mm					
1500/375	1500/250	1000/375	750/300		A	A/2	B	C	CA	
功率 kW										
5.5/1.5	—	3.7/1.0 5.5/1.5	—	YZD16M <sup>1</sup> <sub>2</sub>	254	127	210	108	180	
7.5/2.0	—	7.5/2.0	—	YZD160L	254	127	254	108	180	
11/3.0	—	11/3.0	—	YZD180L	279	139.5	279	121	180	
—	11/1.5	—	11/3.7	YZD200L	318	159	305	133	210	
—	15/2.2	—	15/3.7	YZD225M	356	178	311	149	258	
—	22/3.0	—	22/6.3	YZD250M	406	203	349	168	295	

机座号	尺寸 mm								
	D	D <sub>1</sub>	E	E <sub>1</sub>	F	G	GD	H	K
YZD160M <sup>1</sup> <sub>2</sub>	48	—	110	—	14	42.5	9	160	15
YZD160L	48	—	110	—	14	42.5	9	160	15
YZD180L	55	M36×3	110	82	14	19.9	9	180	15
YZD200L	60	M42×3	140	105	16	21.4	10	200	19
YZD225M	65	M42×3	140	105	16	23.9	10	225	19
YZD250M	70	M48×3	140	105	18	25.4	11	250	24

机座号	尺寸 mm								质量 kg
	螺栓直径	AC	AB	HD	BB	L	LC	HA	
YZD160M <sup>1</sup> <sub>2</sub>	M12	325	320	425	290	608	718	25	118.5 131.5
YZD160L	M12	325	320	425	385	650	762	25	152
YZD180L	M12	360	360	465	380	685	800	25	205
YZD200L	M16	405	405	510	400	780	928	28	276
YZD225M	M16	430	465	545	410	850	998	28	347
YZD250M	M20	480	515	605	510	935	1092	30	462

注：本表资料系重庆特种电机厂提供。

(3) YZRW 系列涡流制动三相异步电动机

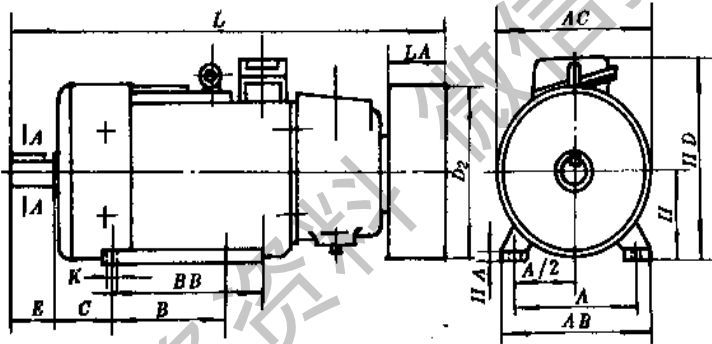
表 29-120 YZRW 系列技术数据

机座号	电动机功率 kW			涡流制动器 FC15%						总质量 kg
	S3 40%			额定制动力矩 Nm	额定转速 r/min	励磁电压 V	励磁电流 A	1000 r/min 最大制动力矩 Nm	飞轮转矩 $GD^2$ kgm <sup>2</sup>	
	6P	8P	10P							
112M	1.5	—	—	7	100	65	1.5	26	5	
132M	2.2	—	—	18	100	55	2	64	12	125
	3.7	—	—							136
160M	5.5	—	—	64	100	80	3	196	23	
	7.5	—	—							
160L	11	7.5	—							
180L	15	11	—	118	100	105	5.5	245	50	320
200L	22	15	—	170	100	104	5	390	75	420
225	30	22	—	235	100	60	2.5	540	11.5	552
250M	37	30	—	390	100			785	210	
	45	37	—							
280	S	55	45	590	100			1180	350	
	M	75	55							

注：表中数据系重庆特种电机厂提供。

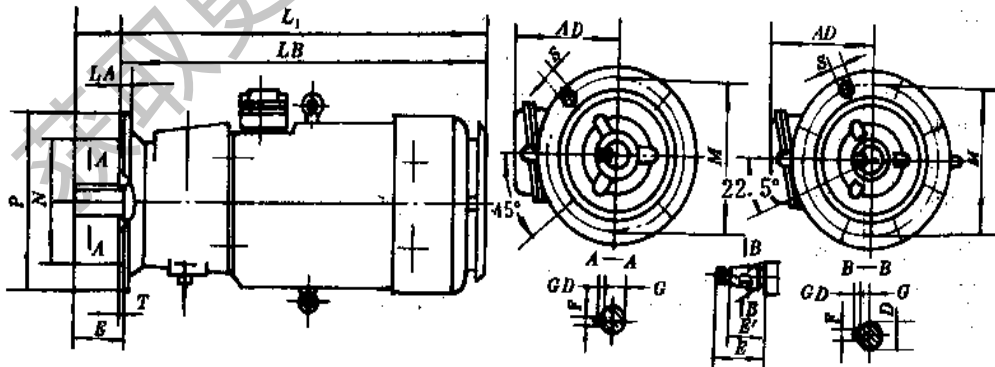
表 29-121 YZRW 系列的安装及外形尺寸

YZRW112~280 卧式安装



YZRW112~225 立式安装

YZRW250~280 立式安装



续表 29-121

超星阅读器提醒您：  
禁止复制  
请尊重相关知识产权！

机座号	A	A/2	B	C	D	D <sub>1</sub>	E	E'	F	G	GD
YZRW112M	190	95	140	70	32	—	80	—	10	27	8
132M	216	108	178	89	38	—	80	—	10	33	8
160M	254	127	210	108	48	—	110	—	14	42.5	9
160L	254	127	254	108	48	—	110	—	14	42.5	9
180L	279	139.5	279	121	55	M36×3	110	82	14	19.9	9
200L	318	159	305	133	60	M42×3	140	105	16	21.4	10
225M	356	178	311	149	65	M42×3	140	105	16	23.9	10
250M	406	203	349	168	70	M48×3	140	105	18	25.4	11
280S	457	228.5	368	190	85	M56×4	170	130	20	31.7	12
280M	457	228.5	419	190	85	M56×4	170	130	20	31.7	12

机座号	H	K	M	N	P	S	T	卧式安装 螺栓直径	立式安装 螺栓直径	凸缘孔数	AB
YZRW112M	112	12	215	180	250	15	4	M10	M12	4	250
132M	132	12	265	230	300	15	4	M10	M12	4	275
160M	160	15	300	250	350	19	5	M12	M16	4	320
160L	160	15	300	250	350	19	5	M12	M16	4	320
180L	180	15	300	250	350	19	5	M12	M16	4	360
200L	200	19	400	350	450	19	5	M16	M16	8	405
225M	225	19	400	350	450	19	5	M16	M16	8	455
250M	250	24						M20			515
280S	280	24						M20			575
280M	280	24						M20			575

机座号	AC	AD	BB	HA	HD	L	L <sub>1</sub>	LA	LA <sub>1</sub>	LB	D <sub>2</sub>
YZRW112M	245	220	235	18	335	698	735	125	14	655	φ220
132M	285	230	260	20	365	775	805	145	14	725	φ260
160M	325	260	290	25	425	916	1084	171	18	974	φ315
160L	325	260	335	25	425	960	1128	171	18	1018	φ315
180L	360	280	380	25	465	1070	1241	241	18	1131	φ355
200L	405	320	400	28	510	1175	1364	222	20	1224	φ395
225M	430	320	410	28	545	1270	1453	245	20	1313	φ445
250M	480		510	30	605	1455		310			φ495
280S	535		530	32	665	1569		341			φ555
280M	535		580	32	665	1620		341			φ555

注:1.“H”的公差为 $-\frac{0}{0.5}$ ;

2.“D”的公差 160 以下为 $+\frac{0.018}{0.002}$ ;180 以上为圆锥轴伸。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

4.4.4 防爆异步电动机

(1) YB 系列隔爆型三相异步电动机

表 29-122 YB 系列隔爆型技术数据

型号	功率 kW	电流 A	转速 r/min	效率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	质量 kg
同步转速 3000 r/min									
YB801-2	0.75	1.8	2825	75	0.84	2.2	7.0	2.2	23
YB802-2	1.1	2.5	2825	77	0.86	2.2	7.0	2.2	24
YB90S-2	1.5	3.4	2840	78	0.85	2.2	7.0	2.2	31
YB90L-2	2.2	4.7	2840	82	0.86	2.2	7.0	2.2	37
YB100L-2	3	6.4	2880	82	0.87	2.2	7.0	2.2	45
YB112M-2	4	8.2	2890	85.5	0.87	2.2	7.0	2.2	53
YB132S1-2	5.5	11.1	2900	85.5	0.88	2.0	7.0	2.2	77
YB132S2-2	7.5	15.0	2900	86.2	0.88	2.0	7.0	2.2	84
YB160M1-2	11	21.8	2930	87.2	0.88	2.0	7.0	2.2	135
YB160M2-2	15	29.4	2930	88.2	0.88	2.0	7.0	2.2	151
YB160L-2	18.5	35.5	2930	89	0.89	2.0	7.0	2.2	170
YB180M-2	22	42.2	2940	89	0.89	2.0	7.0	2.2	215
YB200L1-2	30	56.9	2950	90	0.89	2.0	7.0	2.2	264
YB200L2-2	37	69.8	2950	90.5	0.89	2.0	7.0	2.2	290
YB225M-2	45	83.9	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2	420
YB250M-2	55	102.7	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2	505
YB280S-2	75	140.1	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2	650
YB280M-2	90	167	2970	92	0.89	2.0	7.0	2.2	700
同步转速 1500 r/min									
YB801-4	0.55	1.5	1390	73	0.76	2.2	6.5	2.2	23
YB802-4	0.75	2.0	1390	74.5	0.76	2.2	6.5	2.2	24
YB90S-4	1.1	2.7	1400	78	0.78	2.2	6.5	2.2	33
YB90L-4	1.5	3.7	1400	79	0.79	2.2	6.5	2.2	37
YB100L1-4	2.2	5.0	1420	81	0.82	2.2	7.0	2.2	45
YB100L2-4	3	6.8	1420	82.5	0.81	2.2	7.0	2.2	47
YB112M-4	4	8.8	1440	84.5	0.82	2.2	7.0	2.2	58
YB132S-4	5.5	11.6	1440	85.5	0.84	2.2	7.0	2.2	80
YB132M-4	7.5	15.4	1440	87	0.85	2.2	7.0	2.2	95
YB160M-4	11	22.6	1460	88	0.84	2.2	7.0	2.2	148
YB160L-4	15	30.3	1460	88.5	0.85	2.2	7.0	2.2	166
YB180M-4	18.5	35.9	1470	91	0.86	2.0	7.0	2.2	220



续表 29-122

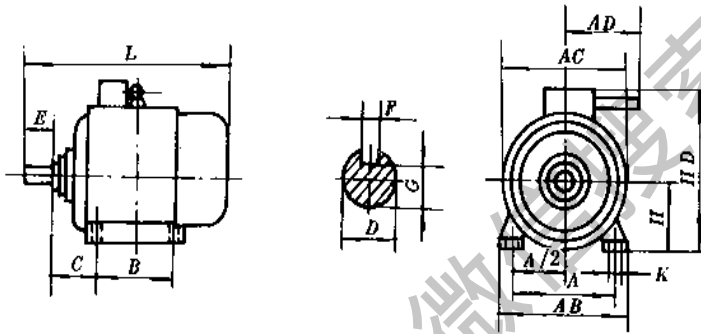
型号	功率 kW	电流 A	转速 r/min	效率 %	功率因数 $\cos\phi$	堵转转矩	堵转电流	最大转矩	质量 kg
						额定转矩	额定电流	额定转矩	
同步转速 1500 r/min									
YB180L-4	22	42.5	1470	91.5	0.86	2.0	7.0	2.2	270
YB200L-4	30	56.8	1470	92.2	0.87	2.0	7.0	2.2	300
YB225S-4	37	69.8	1480	91.8	0.87	1.9	7.0	2.2	390
YB225M-4	45	84.2	1480	92.3	0.88	1.9	7.0	2.2	440
YB250M-4	55	102.5	1480	92.6	0.88	2.0	7.0	2.2	510
YB280S-4	75	139.7	1480	92.7	0.88	1.9	7.0	2.2	650
YB280M-4	90	164.3	1480	93.5	0.89	1.9	7.0	2.2	800
同步转速 1000 r/min									
YB90S-6	0.75	2.3	910	72.5	0.70	2.0	6.0	2.0	33
YB90L-6	1.1	3.2	910	73.5	0.72	2.0	6.0	2.0	38
YB100L-6	1.5	4.0	940	77.5	0.74	2.0	6.0	2.0	44
YB112M-6	2.2	5.6	940	80.5	0.74	2.0	6.0	2.0	53
YB132S-6	3	7.2	960	83	0.76	2.0	6.5	2.0	76
YB132M1-6	4	9.4	960	84	0.77	2.0	6.5	2.0	86
YB132M2-6	5.5	12.6	960	85.3	0.78	2.0	6.5	2.0	101
YB160M-6	7.5	17.0	970	86	0.78	2.0	6.5	2.0	141
YB160L-6	11	24.6	970	87	0.78	2.0	6.5	2.0	165
YB180L-6	15	31.6	970	89.5	0.81	1.8	6.5	2.0	260
YB200L1-6	18.5	37.7	970	89.8	0.83	1.8	6.5	2.0	265
YB200L2-6	22	44.6	970	90.2	0.83	1.8	6.5	2.0	287
YB225M-6	30	59.5	980	90.2	0.85	1.7	6.5	2.0	405
YB250M-6	37	72	980	90.8	0.86	1.8	6.5	2.0	505
YB280S-6	45	85.4	980	92	0.87	1.8	6.5	2.0	620
YB280M-6	55	104.9	980	92	0.87	1.8	6.5	2.0	690
同步转速 750 r/min									
YB132S-8	2.2	5.8	710	81	0.71	2.0	5.5	2.0	77
YB132M-8	3	7.7	710	82	0.72	2.0	5.5	2.0	87
YB160M1-8	4	9.9	720	84	0.73	2.0	6.0	2.0	123
YB160M2-8	5.5	13.3	720	85	0.74	2.0	6.0	2.0	141
YB160L-8	7.5	17.7	720	86	0.75	2.0	5.5	2.0	165
YB180L-8	11	25.1	730	86.5	0.77	1.7	6.0	2.0	255
YB200L-8	15	34.1	730	88	0.76	1.8	6.0	2.0	265
YB225S-8	18.5	41.3	730	89.5	0.76	1.7	6.0	2.0	353
YB225M-8	22	47.6	730	90	0.78	1.8	6.0	2.0	402
YB250M-8	30	63	730	90.5	0.80	1.8	6.0	2.0	470
YB280S-8	37	78.7	740	91	0.79	1.8	6.0	2.0	610
YB280M-8	45	93.2	740	91.7	0.80	1.8	6.0	2.0	690

注:按佳木斯电机厂提供的资料编写。

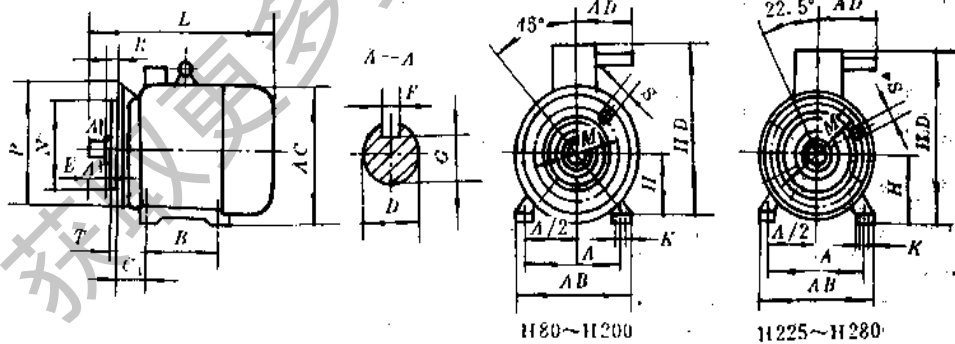
表 29-123 安装结构型式

基本结构型式	B3						B5			B35		
安装结构型式	B3	B6	B7	B8	V5	V6	B5	V1	V3	B35	V15	V36
示意图												
机座号 (中心高)	80~280	80~160					80~225	80~280	80~160	80~280	80~160	

表 29-124 B3、B35 的安装及外形尺寸



B3: 机座带底脚, 端盖无凸缘



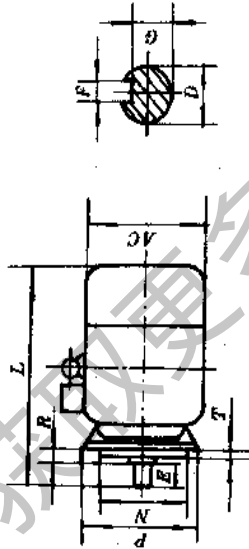
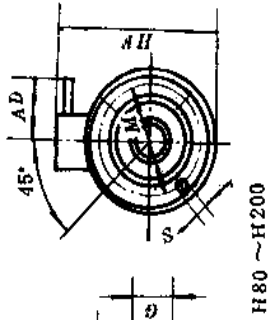
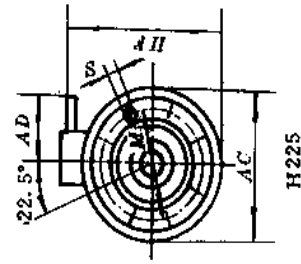
B35: 机座带底脚, 端盖有凸缘

H80~H200

H225~H280



表 29-125 B5 的安装及外形尺寸



机座号	极数	安装尺寸												外形尺寸				
		D	E	F	G	M	N	P	R	S	T	凸缘孔数	进线口管 螺 纹	AC	AD	HF	L	
80	2.4	19	40	6	15.5	165	130	200		12	3.5		M30×2	165		345	330	
90S		24	50	8	20.0												360	
90L	2.4.6														225	355	385	
100L		28	60		24.0	215	180	250		15	4	4		205		395	430	
112M														230		420	460	
132S		38	80	10	33.0	265	230	300								475	510	
132M																	550	
160M		42		12	37.0		250	350	0				M36×2	325	240	540	655	
160L	2.4.6.8		110	14	42.5	300											695	
180M		48												360		565	730	
180L		55		16	49.0	350	300	400		19	5			400		625	750	
200L		60	140	18	53.0												805	
225S	4.8	60				400	350										845	
		55	110	16	49.0	400	350	450									840	
225M	2	55															870	
	4.6.8	60	140	18	53.0													

超星阅读器  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

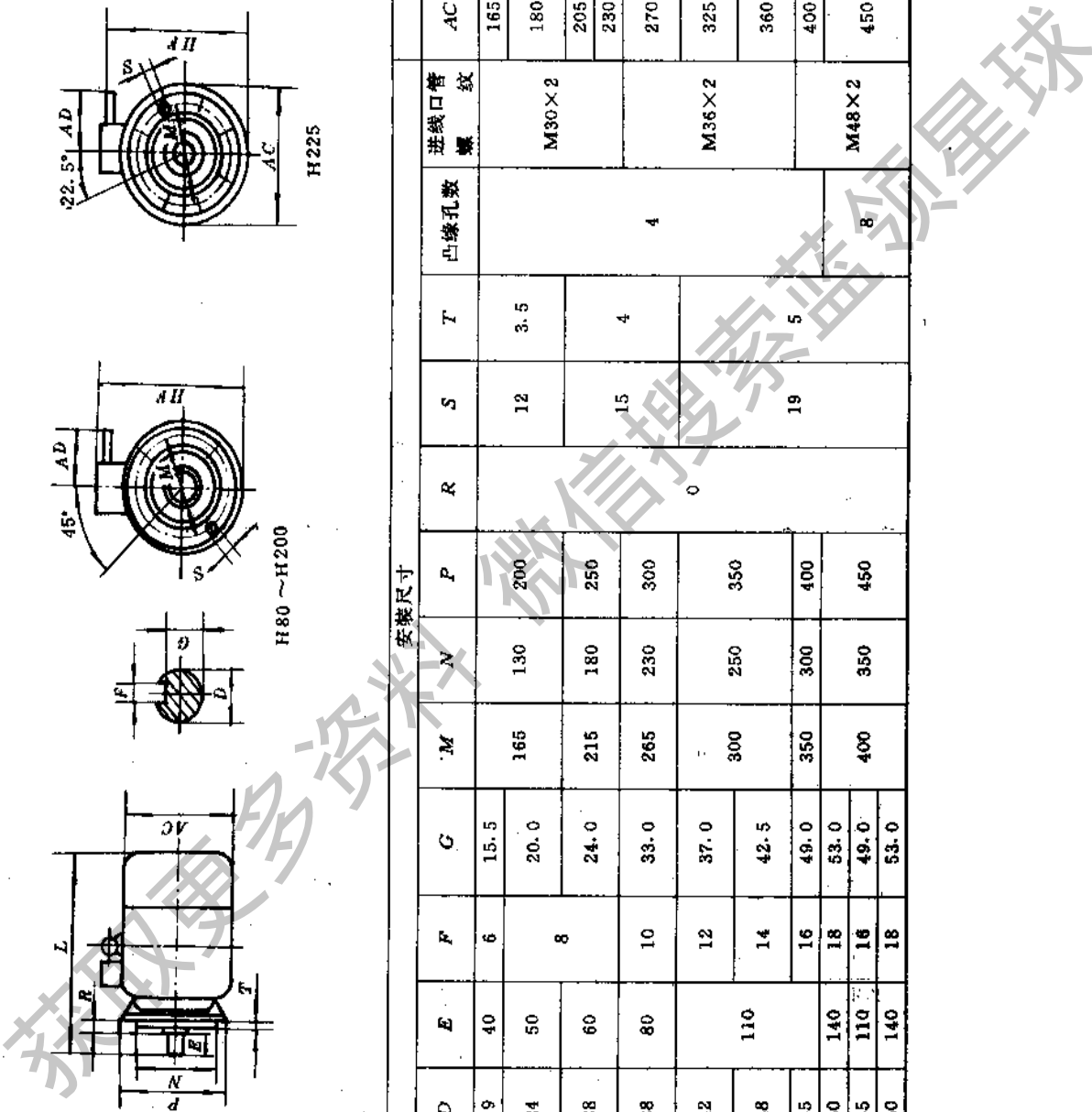
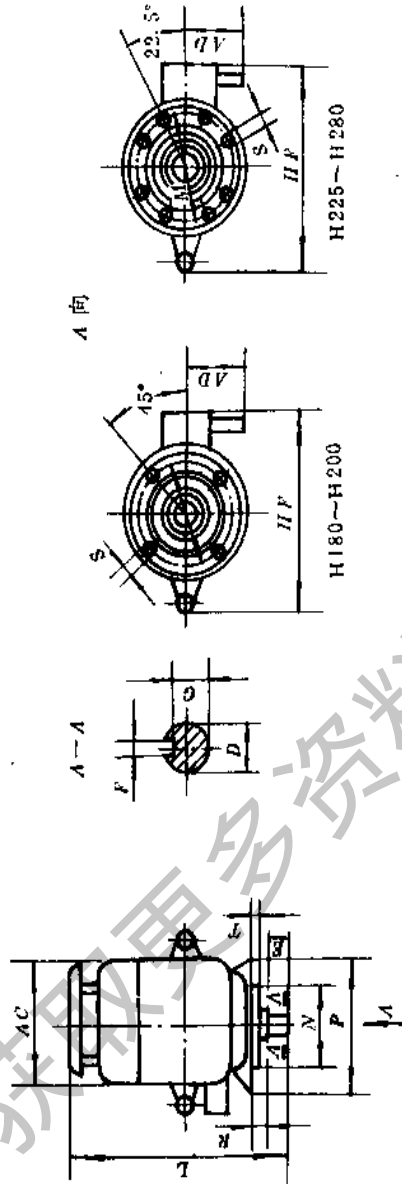


表 29-126 V1 的安装及外形尺寸



机座号	极数	安装尺寸											外形尺寸				
		D	E	F	G	M	N	P	R	S	T	凸缘孔数	进线口管 螺 纹	AC	AD	HF	L
180M	2.4.6.8	48	110	14	42.5	300	250	350	0	19	5	4	M36×2	360	240	610	800
180L		55	16	49.0	350	300	400	820									
200L		60	140	18	53.0	400	350	450	915								
225S	4.8	55	110	16	49.0	400	350	450	0	19	5	M48×2	450	290	715	910	
225M	60	53.0	53.0	940													
250M	2	65	140	18	58.0	500	450	550	0	19	5	8	M64×2	500	330	845	1025
280S	4.6.8	75	20	67.5	67.5	560	880										
	280M	2	65	18	58.0	560	880	1100									
4.6.8		75	20	67.5	67.5	1150											

(2)YB315—355 隔爆型三相异步电动机

表 29-127 YB315~355 隔爆型电动机技术数据

机座号	功率 kW	电流 A	效率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩	堵转电流	最大转矩	振动 m/s	声功率级 dB(A)	GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质量 kg			
					额定转矩	额定电流	额定转矩							
同步转速 3000 r/min														
315S	110	203	92.5	0.89	1.8	6.8	2.2	4.5	102/97	81.1	950			
315M	132	242	93						85.9	1000				
315L1	160	292	93.5						104/99	97.8	1150			
315L2	200	365	93.5						108.3	1300				
355S1	185	330	94.5	0.90	1.7	7	2.4		109/104	108.3	1420			
355S2	200	357	94.5						120.3	1490				
355S3	220	391	95						126.3	1550				
355S4	250	444	95						135.4	1630				
355M	280	492	95						111/106	157	1775			
355L	315	551	95						172.1	1900				
同步转速 1500 r/min														
315S	110	201	93.5	0.89	1.8	6.8	2.2	2.8	98/93	129.4	900			
315M	132	240	94						136.7	980				
315L1	160	289	94.5						101/96	159.2	1150			
315L2	200	361	94.5						178.8	1350				
355S1	185	338	94.5	0.88	1.6	7	2.2		106/101	266.7	1695			
355S2	200	365	94.5						286	1738				
355S3	220	400	95						308.7	1820				
355S4	250	452	95						336.9	1890				
355M	280	500	95.5	0.89					108/103	376.4	2095			
355L	315	560	95.5						393.4	2180				
同步转速 1000 r/min														
315S	75	142	92.8	0.87	1.6	6.5	2.0	2.8	92/87	154	840			
315M	90	169	93.2							168.5	900			
315L1	110	206	93.5							189.1	980			
315L2	132	247	93.8							223.1	1150			
355S2	160	296	94.0				2.1					103/98	451.5	1690
355S3	185	341	94.0									471.5	1740	
355S4	200	368	94.5									542.5	1820	
355M	220	402	94.5									588.5	1910	
355L	250	457	94.5	688.5	2120									



续表 29-127

机座号	功率 kW	电流 A	效率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	振动 m/s	声功率级 dB(A)	GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质量 kg
同步转速 750 r/min											
315S	55	109	92.0	0.8	1.6	6.5	2.0	2.8	87/82	136.4	840
315M	75	148	92.5	0.81						167.1	900
315L1	90	177	93.0	0.82		6.3			188.6	980	
315L2	110	216	93.3						221.2	1150	
355S2	132	256	94	0.82	1.4	6.5	2.1	99/94	474.5	1820	
355S4	160	310	94						565.5	1900	
355M	185	356	94.5						656.5	2100	
355L	200	385	94.5						690.5	2180	
同步转速 600 r/min											
315S	45	98	91.5	0.74	1.4	6.0	2.0	2.8	87/82	120.1	840
315M	55	119	92.0	0.74						170.5	900
315L2	75	159	92.5	0.75						221.2	1100
355S2	90	186	93.5	0.78	1.3	6	2.0	99/94	561.7	1690	
355S4	110	228	93.5						643.2	1820	
355M	132	272	94						697.5	1910	
355L	160	330	94						792.6	2120	

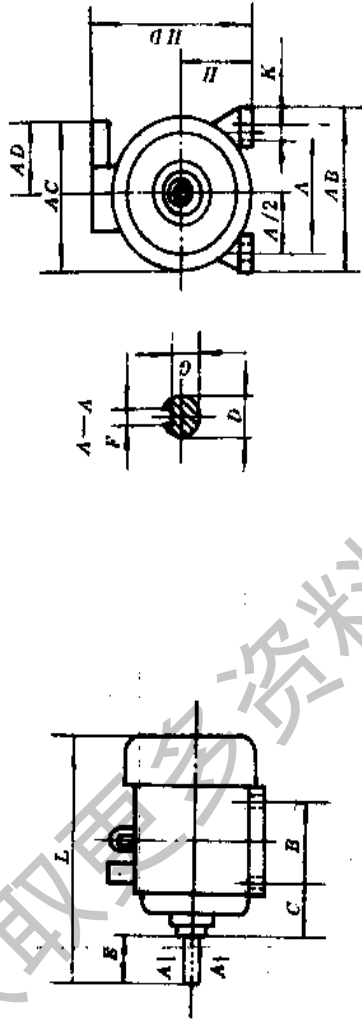
注: 1. 表中声功率级栏内“/”号下边为 1 级的规定, 上边为 2 级的规定;

2. 按佳木斯电机厂提供的资料编写。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

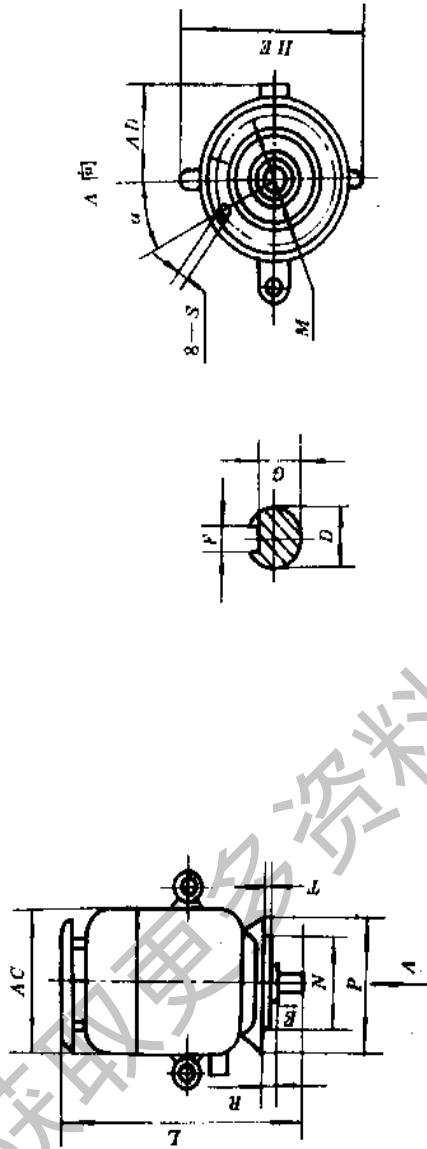
表 29-128 B3 的安装及外形尺寸



机座号	安装尺寸										外形尺寸								
	A	B	C	D		E		F		G	H	K	AB	AC	AD	HD	L		
				2极	4极及以上	2极	4极及以上	2极	4极及以上								2极	4极及以上	
315S	508	406	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	630	625	480	1020	1240	1270
315M	508	457	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	630	625	480	120	1320	1350
315L	508	508	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	630	625	480	1020	1410	1440
355S	610	500	254	75	90	140	170	20	25	67.5	81	355	28	760	790	600	1100	1600	1540
355M	610	560	254	75	90	140	170	20	25	67.5	81	355	28	760	790	600	1100	1730	1670
355L	610	630	254	75	90	140	170	20	25	67.5	81	355	28	760	790	600	1100	1730	1670

获取资料 微信 13802714601 星球

表 29-129 V1 的安装及外形尺寸



mm

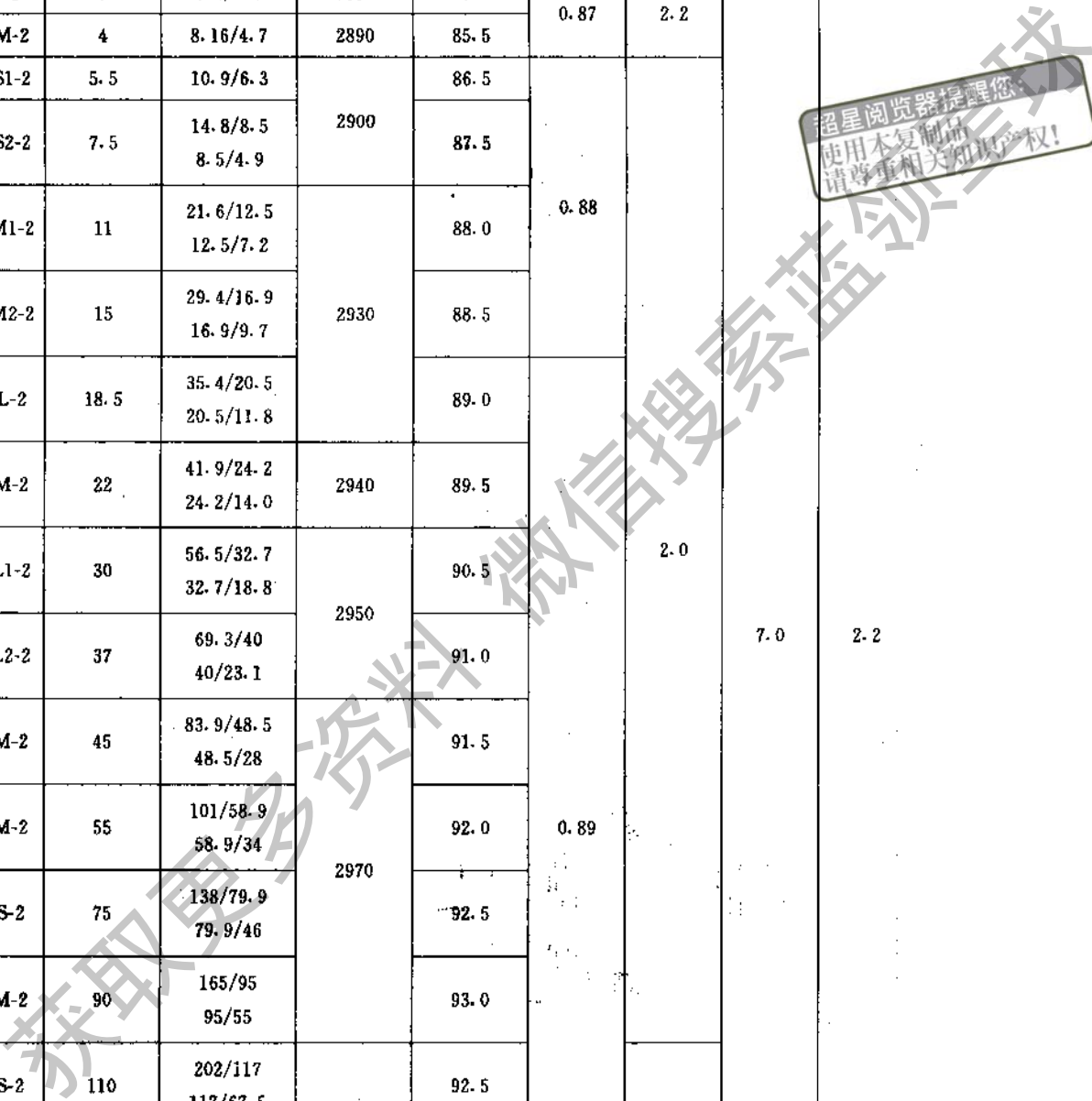
机座号	安装尺寸																			
	D		E		F		G		M	N	P	R	S	T	AD	α	AC	HE	L	
	2极	4极及以上	2极	4极及以上	2极	4极及以上	2极	4极及以上											2极	4极及以上
315S	65	80	140	170	18	22	58	71	600	550	660	0	8-φ24	6	500	22.5°	630	900	1400	1370
315M	65	80	140	170	18	22	58	71	600	550	660	0	8-φ24	6	500	22.5°	630	900	1420	1450
315L	65	80	140	170	18	22	58	71	600	550	660	0	8-φ24	6	500	22.5°	630	900	1530	1560
355S	75	90	140	170	20	25	67.5	81	740	680	800	0	8-φ24	6	600	22.5°	735	1000	1750	1690
355M	75	90	140	170	20	25	67.5	81	740	680	800	0	8-φ24	6	600	22.5°	735	1000	1880	1820
355L	75	90	140	170	20	25	67.5	81	740	680	800	0	8-φ24	6	600	22.5°	735	1000	1880	1820

(3)YBK 系列煤矿用隔爆型三相异步电动机

表 29-130 YBK 系列隔爆型电动机技术数据

型 号	功 率 kW	电 流 380/660 V 660/1140 A	转 速 r/min	效 率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩		最大转矩 额定转矩
						堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	
同步转速 3000r/min								
YBK100-2	3	6.2/3.6	2880	84	0.87	2.2		
YBK112M-2	4	8.16/4.7	2890	85.5				
YBK132S1-2	5.5	10.9/6.3	2900	86.5	0.88			
YBK132S2-2	7.5	14.8/8.5 8.5/4.9		87.5				
YBK160M1-2	11	21.6/12.5 12.5/7.2	2930	88.0				
YBK160M2-2	15	29.4/16.9 16.9/9.7		88.5				
YBK160L-2	18.5	35.4/20.5 20.5/11.8		89.0				
YBK180M-2	22	41.9/24.2 24.2/14.0	2940	89.5	0.89			
YBK200L1-2	30	56.5/32.7 32.7/18.8	2950	90.5				
YBK200L2-2	37	69.3/40 40/23.1		91.0				
YBK225M-2	45	83.9/48.5 48.5/28	2970	91.5				
YBK250M-2	55	101/58.9 58.9/34		92.0				
YBK280S-2	75	138/79.9 79.9/46		92.5				
YBK280M-2	90	165/95 95/55	2980	93.0	1.8			
YBK315S-2	110	202/117 117/67.5		92.5				
YBK315M1-2	132	242/139 139/80.7		93.0				
YBK315M2-2	160	291/168.7 168.7/97.2		93.5				

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



续表 29-130

型 号	功 率 kW	电 流 380/660 V 660/1140 A	转 速 r/min	效 率 %	功 率 因 数 cosφ	堵 转 转 矩	堵 转 电 流	最 大 转 矩	
						额 定 转 矩	额 定 电 流	额 定 转 矩	
			同步转速	1500r/min					
YBK100L2-4	3	6.7/3.9	1420	85.5	0.81	2.2			
YBK112M-4	4	8.7/5.0 5.0/2.87	1440	85.0	0.82				
YBK132S-4	5.5	11.6/6.7 6.7/3.9		86.0	0.84				
YBK132M-4	7.5	15.4/8.9 8.9/5.1		87.0	0.85				
YBK160M-4	11	22.6/13.0 13/7.5	1460	88.0	0.84				
YBK160L-4	15	30.2/17.4 17.4/10		89.0	0.85				
YBK180M-4	18.5	36.0/20.7 20.7/12	1470	91.0	0.86	2.0	7.0	2.2	
YBK180L-4	22	42.5/24.5 24.5/14.2		91.5					
YBK200L-4	30	56.9/32.8 32.8/19.0		92.2	0.87				
YBK225S-4	37	70.0/40.5 40.5/23.4	1480	92.5	0.88	1.9			
YBK225M-4	45	84.1/48.5 48.5/28.0							92.6
YBK250M-4	55	102.7/59.2 59.2/34.2							98.0
YBK280S-4	75	139.4/80.4 80.4/46.5		93.5	0.89	1.9			
YBK280M-4	90	164.5/94.9 94.9/54.8							
YBK315S-4	110	200/116 116/66.9		94.0	1.8				
YBK315M1-4	132	239/138 138/80	94.5						
YBK315M2-4	160	288.7/166.9 166.9/96.2							

超星阅览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星资料库 微信搜索 超星资料库 超星资料库 超星资料库

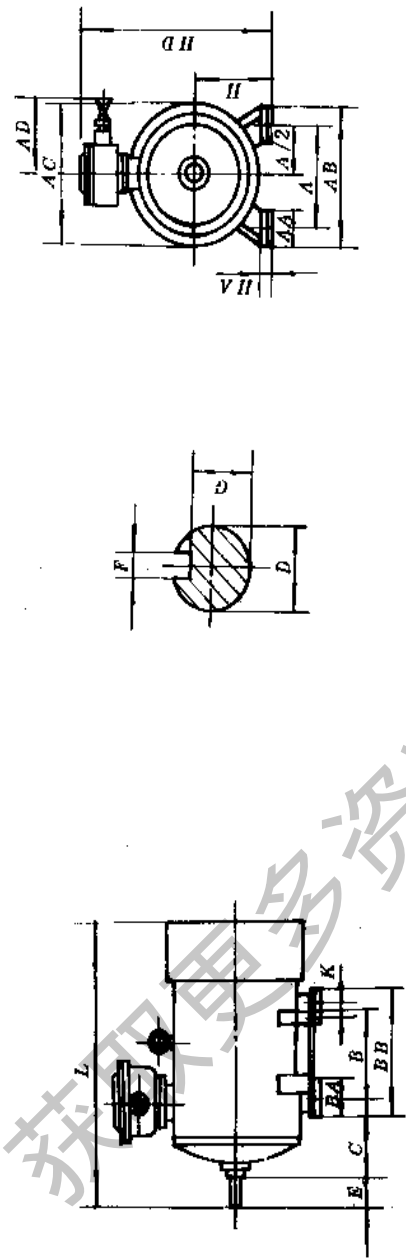
续表 29-130

型 号	功 率 kW	电 流 380/660 660/1140 A	转 速 r/min	效 率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩			
同步转速 1000r/min											
YBK132S-6	3	7.2/4.2	960	83	0.76	2.0					
YBK132M1-6	4	9.4/5.4		84	0.77						
YBK132M2-6	5.5	12.5/7.3		85.3							
YBK160M-6	7.5	17/9.8	970	86	0.78						
YBK160L-6	11	24.6/14.2		87							
YBK180L-6	15	31.4/18.2		89.5	0.81						
YBK200L1-6	18.5	37.7/21.7		89.8	0.83						
YBK200L2-6	22	44.6/25.8		90.2							
YBK225M-6	30	59.2/34.2	980	90.5	0.85	1.7	6.5	2.0			
YBK250M-6	37	71.7/41.5		91	0.86	1.8					
YBK280S-6	45	85/49 49/28		92							
YBK280M-6	55	104/60 60/34		92		1.6					
YBK315S-6	75	140/81 81/46		93	0.87						
YBK315M1-6	90	168/97 97/56		93.4							
YBK315M2-6	110	204/118 118/68		93.7							
YBK315M3-6	132	245/141 141/81		94		—					
同步转速 750r/min											
YBK132S-8	2.2	5.8/3.4		710	81	0.71			2.0	2.5	
YBK132M-8	3	7.7/4.5	82.5		0.72						
YBK160M1-8	4	9.9/5.7	720	84.0	0.73	2.0	6.0				
YBK160M2-8	5.5	13.3/7.7		85.0	0.74						
YBK160L-8	7.5	17.6/10.2		86.0	0.75						
YBK180L-8	11	24.9/14.4	730	87.0	0.77	1.7	6.0	2.0			
YBK200L-8	15	34/19.6		88	0.76	1.8					
YBK225S-8	18.5	41.3/23.9		89.5	0.76	1.7					
YBK225M-8	22	47.6/27.5		90	0.78	1.8					
YBK250M-8	30	62.9/36.4		90.5	0.80						
YBK280S-8	37	78.1/45.1	740	91.0	0.79	1.6	6.5				
YBK280M-8	45	93/53.8		91.7	0.80						
YBK315S-8	55	112/64.7		92.5	0.80						
YBK315M1-8	75	151/87		93	0.81						
YBK315M2-8	90	179/103		93	0.82						
YBK315M3-8	110	218/126		93.3	0.82						

注：按南阳防爆电机厂提供的资料编写。



表 29-131 IMB3 的安装及外形尺寸



机座号	极数	安装尺寸及公差 mm										外形尺寸 mm									
		A	A/2	B	C	D	E	F	G	H	K	AA	AB	AC	AD	BA	BB	HA	HD	L	
		尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	位置公差
100L	2.4.6	160	±0.009	63	±0.009	8	0	24	0	100		12		175		14		390	450		
112M		190	-0.004	70	-0.004	10	±0.37	33	-0.035	112		15		180		16		415	480		
132S		216		89		12		37		132		0		200		20		280	265		ϕ1.0(M)
132M		178		89		10		33		132		0		225		238		16	470	585	
160M	2.4.6.8	254	±2.0	108	±2.0	12	±0.018	37	-0.200	160		0.5		270		270		330	320		
160L		254		108		12	±0.002	37		160		0		315		315		20	520	720	
180M		279	±0.75	121	±0.75	14	±0.435	42.5	±0.043	180		15		85		85		355	360	225	ϕ1.5(M)
180L		279		121		14		42.5		180		15		345		345		22	555	785	
200L		318		133		16	±0.030	49	±0.030	200		19		365		365		23	630	845	

续表 29-131

机座号	安装尺寸及公差 mm										外形尺寸 mm																					
	A		A/2		B		C		D		E		F		G		H		K		AA	AB	AC	AD	BA	BB	HA	HD	L			
	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差										尺寸	公差	尺寸
225S	4-8			286		60		140	$\pm 0.50$	18		53		225		19									368				900			
225M	2	356	$\pm 0.75$	149		55		110	$\pm 0.435$	16		49									$\phi 1.5(M)$						28	670	896			
	4-6.8			311		60	$\pm 3.0$					53	$0$ $-0.043$		$0$ $-0.5$										392			925				
250M	2	406		349	168	65		140		18		58		250													425	30	750	985		
	4-6.8					65	$\pm 4.0$																									
280S	2			368		75		140		20	$-0.052$	67.5	$0$ $-0.200$	280													300	105	448	1050		
	4-6.8					75	$\pm 0.030$ $\pm 0.011$																									
280M	2	457	228.5	419	190	65		140		18	$-0.043$	5.8																				
	4-6.8					75				20	$-0.052$	67.5																				
315S	2			406		65		170		18	$-0.043$	5.8																				
	4-6.8					80				27	$-0.052$	71																				
315M	2	508	254	457	216	65		140		18	$-0.043$	58		315																		
	4-6.8					80				27	$-0.052$	71																				

注:GE=D-G 其极限偏差为  $\pm 0.200$ 。

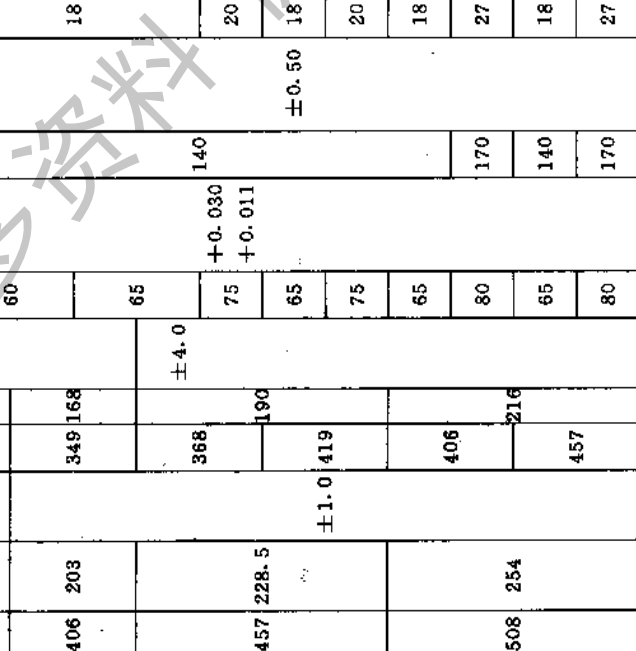
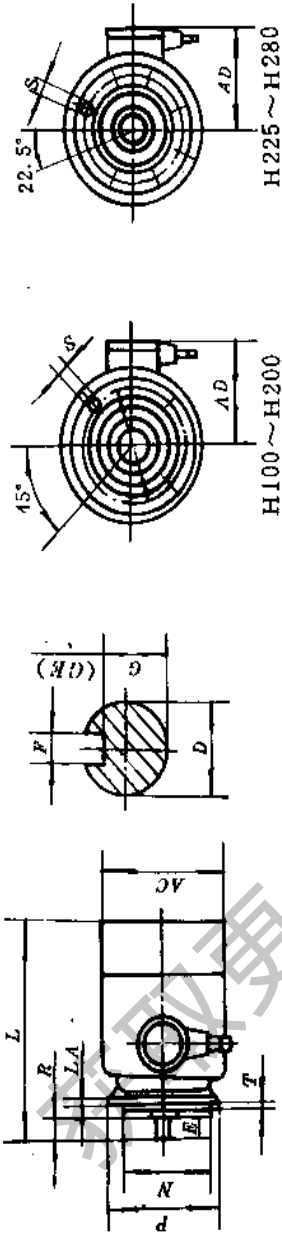


表 29-132 IMB5 的安装及外形尺寸

机座号	极数	安装尺寸及公差										外形尺寸																
		D		E		F		G		M		N		P		R		S		T		AC	AD	L	LA			
		尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	凸缘孔数						
100L	2.4.6	28	+0.009	60		8	0	24		215	+0.014	250											4	200	290	450	18	
112M			-0.004								-0.011													225	300	480		
132S		38		80	±0.37	10	-0.036	33		265	230	300												265	335	545		
132M																								320	360	680	20	
160M	2.4.6.8	42	+0.018			12		37		300	+0.016													360	375	765		
160L			+0.002	110	±0.43	14		42.5			-0.013	350												400	430	720		
180M		48																								785		
180L																												
200L		55				16		49		350	±0.016	400														845		
225S	4.8	60		140	±0.50	18	0	53	-0.200																	900	22	
255M	2	55		110	±0.43	16	-0.043	49		400	±0.018	450														895		
	4.6.8	60																								925		
250M	2		+0.030					53																		965		
	4.6.8	65		140	±0.50	18		58																				
280S	2	75								500	±0.020	550															1050	24
	4.6.8	85						67.5																				
280M	2	85						58																				
	4.6.8	75						67.5																			1100	
	4.6.8	75						67.5																				

注:GE=D-G,其极限偏差为 +0.200  
0

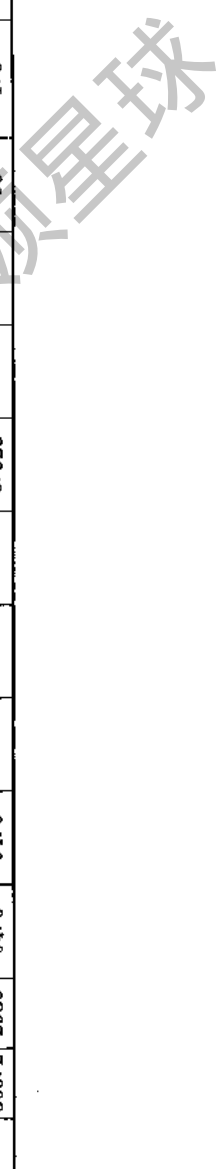


超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

(4) YWb 系列无火花型三相异步电动机

表 29-133 YWb 系列无火花型电动机技术数据

功率 kW	型 号	电 流 A	转 速 r/min	各种负载下的效率 %					各种负载下的功率因数 cosφ					堵 转 电 流 额 定 电 流	堵 转 转 矩 额 定 转 矩	最 大 转 矩 额 定 转 矩	质 量 kg
				6/5	5/5/	4/5	3/5	6/5	5/5	4/5	3/5	6/5	5/5				
同步转速 3000r/min																	
0.75	YWb801-2	1.8	2825	73.6	75.0	75.5	74.7	0.862	0.840	0.800	0.730	0.042	2.2	6.5	2.3	22	
1.1	YWb802-2	2.5	2825	75.1	77.0	78.1	78.0	0.876	0.860	0.828	0.766	0.05	2.2	7.0	2.3	24	
1.5	YWb90S-2	3.4	2840	76.4	78.0	78.8	78.4	0.872	0.850	0.809	0.737	0.075	2.2	7.0	2.3	33	
2.2	YWb90L-2	4.7	2840	78.6	80.5	81.7	81.5	0.868	0.860	0.838	0.788	0.097	2.2	7.0	2.3	37	
3	YWb100L-2	6.4	2880	80.8	82.0	82.6	82.3	0.888	0.870	0.838	0.777	0.174	2.2	7.0	2.3	43	
4	YWb112M-2	8.2	2890	84.8	85.5	85.7	85.0	0.884	0.870	0.843	0.790	0.303	2.2	7.0	2.3	54	
5.5	YWb132S1-2	11.1	2900	84.5	85.5	85.9	85.4	0.887	0.880	0.865	0.832	0.631	2.0	7.0	2.3	79	
7.5	YWb132S2-2	15.0	2900	84.8	86.2	87.0	86.9	0.883	0.880	0.867	0.839	0.733	2.0	7.0	2.3	87	
11	YWb160M1-2	21.8	2930	87.1	87.2	86.8	85.5	0.887	0.880	0.863	0.825	2.05	2.0	7.0	2.3	134	
15	YWb160M2-2	29.4	2930	87.6	88.2	88.3	87.6	0.882	0.880	0.868	0.839	2.48	2.0	7.0	2.3	149	
18.5	YWb160L-2	35.5	2930	88.5	89.0	89.1	88.5	0.891	0.890	0.881	0.856	3.07	2.0	7.0	2.2	167	
22	YWb180M-2	42.2	2940	88.8	89.0	88.8	87.1	0.899	0.890	0.871	0.833	3.66	2.0	7.0	2.2	210	
30	YWb200L1-2	56.9	2950	89.9	90.0	89.6	88.5	0.898	0.890	0.873	0.838	6.29	2.0	7.0	2.2	290	
37	YWb200L2-2	69.8	2950	90.4	90.5	90.2	89.3	0.898	0.890	0.824	0.840	7.21	2.0	7.0	2.2	304	
45	YWb225M-2	83.9	2970	91.6	91.5	91.0	89.9	0.895	0.890	0.876	0.842	12.78	2.0	7.0	2.2	380	
55	YWb250M-2	102.7	2970	91.7	91.5	91.0	89.8	0.896	0.890	0.876	0.841	15.5	2.0	7.0	4.2	449	
75	YWb280S-2	140.1	2920	92.4	92.0	91.4	89.9	0.895	0.890	0.876	0.845	28.7	2.0	7.0	2.2	640	
90	YWb280M-2	167	2920	92.8	92.5	91.9	90.7	0.896	0.890	0.877	0.844	33.0	2.0	7.0	2.2	710	
110	YWb315S-2	203	2980	93.82	93.5	92.91	91.68	0.916	0.914	0.906	0.881	7.5	1.8	6.8	2.5	1000	
132	YWb315M1-2	242.3	2980	94.22	94.0	93.48	92.43	0.915	0.915	0.907	0.885	80	1.8	6.8	2.5	1040	
160	YWb315M2-2	292.1	2980	94.74	94.6	94.1	93.18	0.921	0.923	0.917	0.899	95	1.8	6.8	2.5	1350	
185	YWb315L1-2	337.8	2980	94.74	94.6				0.923		95	95	1.8	6.8	2.5	1500	
200	YWb315L2-2	365.2	2980	94.6	94.6				0.923		95	95	1.8	6.8	2.5	1600	



续表 29-133

功率 kW	型号	电 流 A	转 速 r/min	各种负载下的效率 %					各种负载下的功率因数 $\cos\phi$					GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	堵 转 电 流 额 定 电 流	最 大 转 矩 额 定 转 矩	质 量 kg
				6/5	5/5	4/5	3/5	6/5	5/5	4/5	3/5	6/5	5/5				
同步转速 1500r/min																	
0.55	YWb80L-4	1.5	1390	71.1	73.0	73.8	72.9	0.803	0.760	0.696	0.602	0.06	2.4	2.3	22		
0.75	YWb802-4	2.0	1390	72.4	74.5	75.5	75.0	0.799	0.760	0.698	0.604	0.077	2.3	2.3	24		
1.1	YWb90S-4	2.7	1400	75.9	78.0	79.1	78.9	0.816	0.780	0.629	0.012	2.3	2.3	33			
1.5	YWb90L-4	3.7	1400	76.6	79.0	80.5	80.8	0.818	0.790	0.739	0.654	0.15	2.3	2.3	37		
2.2	YWb100L1-4	5.0	1420	79.1	81.0	82.2	82.3	0.849	0.820	0.773	0.691	0.31	2.2	2.3	43		
3	YWb100L2-4	6.8	1420	81.0	82.5	83.4	83.2	0.845	0.810	0.756	0.669	0.39	2.2	2.3	47		
4	YWb117M-4	8.8	1440	83.3	84.5	85.2	84.9	0.846	0.820	0.774	0.696	0.59	2.2	2.3	58		
5.5	YWb132S-4	11.6	1440	84.6	85.5	85.9	85.7	0.860	0.840	0.805	0.740	1.13	2.2	2.3	80		
7.5	YWb132M-4	15.4	1440	86.1	87.0	87.5	87.4	0.866	0.850	0.819	0.759	1.67	2.2	2.3	95		
11	YWb160M-4	22.6	1460	87.2	88.0	88.3	88.0	0.851	0.840	0.813	0.760	3.96	2.2	2.3	148		
15	YWb160L-4	30.3	1460	87.7	88.5	88.9	88.7	0.859	0.850	0.822	0.774	4.93	2.2	2.3	166		
18.5	YWb180M-4	35.9	1470	90.5	91.0	91.1	90.7	0.877	0.860	0.828	0.770	7.06	2.0	2.2	210		
22	YWb180L-4	42.5	1470	90.7	91.5	92.0	91.9	0.875	0.860	0.833	0.780	8.12	2.0	2.2	234		
30	YWb200L-4	56.8	1470	91.5	92.2	92.6	92.5	0.883	0.870	0.846	0.797	13.5	2.0	2.2	320		
37	YWb225S-4	69.8	1480	91.4	91.8	91.9	91.5	0.872	0.870	0.859	0.831	21.8	1.9	2.2	360		
45	YWb225M-4	84.2	1480	91.9	92.3	92.4	92.1	0.886	0.880	0.865	0.831	25.4	1.9	2.2	388		
55	YWb250M-4	102.5	1480	92.3	92.6	92.6	92.2	0.886	0.880	0.865	0.829	33.5	2.0	2.2	530		
75	YWb280S-4	139.7	1480	92.5	92.7	92.6	92.1	0.884	0.880	0.866	0.831	59.5	1.9	2.2	650		
90	YWb280M-4	164.3	1480	93.4	93.5	93.3	92.8	0.897	0.890	0.875	0.830	79.4	1.9	2.2	780		
110	YWb315s-4	200.8	1485	93.63	93.6	93.31	92.5	0.909	0.905	0.896	0.867	118	1.8	2.5	1000		
132	YWb315M1-4	239.7	1485	94.13	94.48	93.77	92.99	0.91	0.905	0.892	0.861	12.5	1.8	2.5	1100		
160	YWb315M2-4	289.0	1485	94.52	94.5	94.22	93.51	0.908	0.905	0.892	0.864	15.4	1.8	2.5	1100		
185	YWb315L1-4	330.5	1485	94.62	94.59	94.27	93.5	0.91	0.909	0.896	0.866	20.5	1.8	2.5	1450		
200	YWb315L2-4	357.3	1485		94.59				0.909				1.8	2.5	1600		

续表 29-133

功率 kW	型号	电 流 A	转 速 r/min	各种负载下的效率 %					各种负载下的功率因数 cosφ					GD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	质 量 kg
				6/5	5/5/	4/5	3/5	6/5	5/5	4/5	3/5	6/5	5/5					
同步转速 1000r/min																		
0.75	YWB90S-6	2.3	910	69.9	72.5	73.7	73.1	0.752	0.700	0.626	0.526	0.17	2.0	5.5	2.2	34		
1.1	YWB90L-6	3.2	910	69.4	73.5	75.7	75.9	0.766	0.720	0.653	0.556	0.20	2.0	5.5	2.2	37		
1.5	YWB100L-6	4.0	940	75.5	77.5	78.5	77.9	0.782	0.740	0.675	0.579	0.39	2.0	6.0	2.0	43		
2.2	YWB112M-6	5.6	940	78.6	80.5	84.5	84.0	0.747	0.740	0.725	0.692	0.68	2.0	6.0	2.2	54		
3.0	YWB132S-6	7.2	960	81.7	83.0	83.6	83.0	0.792	0.760	0.709	0.624	1.61	2.0	6.5	2.2	79		
4.0	YWB132M1-6	9.4	960	82.6	84.0	84.6	84.3	0.799	0.770	0.721	0.639	2.03	2.0	6.5	2.2	90		
5.5	YWB132M2-6	12.6	960	83.7	85.3	86.3	86.4	0.800	0.780	0.740	0.668	2.58	2.0	6.5	2.2	100		
7.5	YWB160M-6	17.0	970	85.1	86.0	86.3	85.8	0.801	0.780	0.739	0.667	4.62	2.0	6.5	2.0	144		
11	YWB160L-6	24.6	970	86.1	87.0	87.4	87.1	0.799	0.780	0.745	0.675	6.15	2.0	6.5	2.0	166		
15	YWB180L-6	31.6	970	88.8	89.5	89.8	89.4	0.826	0.810	0.771	0.700	10.6	1.8	6.5	2.0	215		
15.5	YWB200L1-6	37.7	970	89.2	89.8	90.0	89.5	0.846	0.830	0.797	0.737	16.0	1.8	6.5	2.0	275		
22	YWB200L2-6	44.6	970	89.6	90.2	90.5	90.1	0.844	0.830	0.801	0.743	10.4	1.8	6.5	2.0	300		
30	YWB225M-6	59.5	980	89.7	90.2	90.4	90.0	0.853	0.850	0.834	0.793	27.4	1.7	6.5	2.0	368		
37	YWB250M-6	72.0	980	90.3	90.8	91.0	90.7	0.868	0.860	0.846	0.811	50.5	1.8	6.5	2.0	516		
45	YWB280S-6	85.4	980	91.7	92.0	92.1	91.6	0.872	0.870	0.859	0.828	72.6	1.8	6.5	2.0	620		
55	YWB280M-6	104.9	980	91.6	92.0	92.1	91.7	0.870	0.870	0.861	0.834	88.9	1.8	6.5	2.0	700		
75	YWB315S-6	140.8	990	93.64	93.64	93.39	92.65	0.886	0.879	0.862	0.823	13.0	1.6	6.5	2.0	920		
90	YWB315M-6	168.3	990	93.94	93.92	93.67	93.13	0.885	0.884	0.865	0.835	15.3	1.6	6.5	2.0	1100		
110	YWB315L1-6	205.0	990	93.97	94.15	94.09	93.63	0.888	0.888	0.88	0.852	17.8	1.6	6.5	2.0	1100		
132	YWB315L2-6	245.2	990	94.28	94.36	94.19	93.67	0.884	0.882	0.869	0.841	21.7	1.6	6.5	2.0	1200		



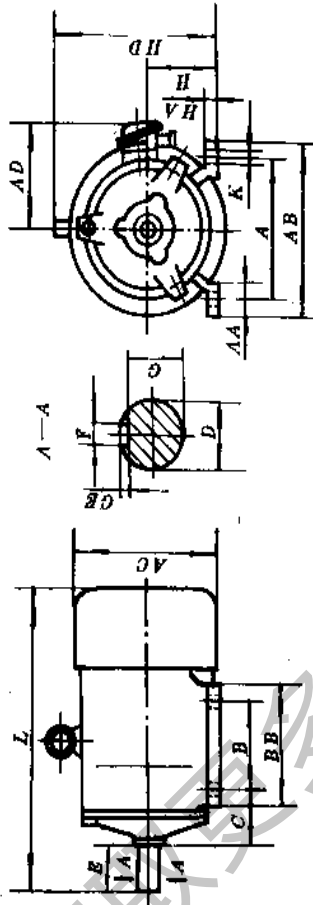
续表 29-133

功率 kW	型号	电流 A	转速 r/min	各种负载下的效率 %					各种负载下的功率因数 $\cos\phi$					$GD^2$ Nm <sup>2</sup>	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	质量 kg
				同步转速 750r/min					同步转速 600r/min									
				6/5	5/5	4/5	3/5	6/5	5/5	4/5	3/5	6/5	5/5					
2.2	YWB132S-8	5.8	710	78.8	80.5	81.28	80.7	0.751	0.710	0.648	0.556	1.2	2.0	5.0	2.0	79		
3.0	YWB132M-8	7.7	710	80.1	82.0	83.0	82.8	0.755	0.720	0.662	0.572	2.0	2.0	5.5	2.0	90		
4.0	YWB160M1-8	9.9	720	82.8	84.0	84.6	84.2	0.764	0.730	0.676	0.591	3.6	2.0	6.0	2.0	132		
5.5	YWB160M2-8	13.3	720	83.7	85.0	85.8	85.6	0.771	0.774	0.689	0.605	4.6	2.0	5.5	2.0	144		
7.5	YWB160L-8	17.7	720	84.5	86.0	87.0	87.0	0.776	0.750	0.704	0.625	6.1	2.0	6.0	2.0	166		
11	YWB180L-8	25.1	730	85.2	87.5	86.4	86.0	0.783	0.770	0.698	0.603	10.6	0.7	6.0	2.0	215		
15	YWB200L-8	34.1	730	87.1	88.0	88.4	88.1	0.788	0.760	0.713	0.632	16.0	1.8	6.0	2.0	288		
18.5	YWB225S-8	41.3	730	89.0	89.5	89.6	89.0	0.782	0.760	0.720	0.648	22.8	1.7	6.0	2.0	337		
22	YWB225M-8	47.6	730	89.4	90.0	90.2	89.7	0.789	0.780	0.744	0.676	27.4	1.8	6.0	2.0	365		
30	YWB250M-8	63.0	730	90.0	90.5	90.7	90.3	0.818	0.800	0.765	0.699	50.5	1.8	6.0	2.0	515		
37	YWB280S-8	78.7	740	90.6	91.0	91.0	90.5	0.807	0.790	0.756	0.690	72.8	1.8	6.0	2.0	620		
45	YWB280M-8	93.2	740	91.3	91.7	91.8	91.4	0.812	0.800	0.775	0.712	88.9	1.8	6.0	2.0	700		
55	YWB315S-8	113.5	740	93.06	93.08	92.81	92.0	0.828	0.811	0.778	0.713	130	1.6	6.5	2.2	920		
75	YWB315M-8	151.3	740	93.22	93.33	95.15	92.49	0.824	0.805	0.769	0.703	153	1.6	6.5	2.2	1100		
90	YWB315L1-8	179.3	740	93.44	93.6	93.51	92.59	0.83	0.816	0.785	0.725	176	1.6	6.5	2.2	1100		
110	YWB315L2-8	218.5	740	93.59	93.81	93.78	93.33	0.835	0.826	0.798	0.742	217	1.6	6.5	2.2	1300		
45	YWB315S-10	101.1	590	91.52	91.61	91.34	90.45	0.805	0.781	0.737	0.665	135	1.4	6.0	2.2	920		
55	YWB315L1-10	122.7	590	92.89	91.95	91.58	90.58	0.768	0.758	0.707	0.625	158	1.4	6.0	2.2	1100		
75	YWB315L2-10	164.3	590	92.49	92.5	92.18	91.29	0.799	0.76	0.722	0.644	185	1.4	6.0	2.2	1100		

注:1. 按南阳防爆电机厂提供的资料编写;

2. 安装结构型式及其制造范围均同YB系列隔爆型三相异步电动机,见卷29-123。

表 29-134 B3、B6、B7、B8、V5、V6 的安装及外形尺寸



机座号	尺寸 mm												制造范围	出线口 螺纹								
	H		A		B		C		D		E				F		G		L 极数			
	2	4.6.8.10	2	4.6.8.10	2	4.6.8.10	2	4.6.8.10	2	4.6.8.10	2	4.6.8.10			2	4.6.8.10	2	4.6.8.10				
80	80	125	100	50	19	40	6	15.5	10	165	190	160	175	34	135	10	B6 B7 B8 V5 V6	M30×2				
90S	90	140	100	56	24	50	8	20	10	180	195	180	195	36	135	14						
90L	90	140	125	56	24	50	8	20	10	180	195	180	195	36	14	340	B3	M36×2				
100L	100	160	140	63	28	60	8	24	12	205	220	200	245	40	180	14						
112M	112	190	140	70	28	60	8	24	12	245	230	225	270	50	185	16	B3	M36×2				
132S	132	216	140	89	38	80	10	33	12	280	250	265	320	60	205	18						
132M	132	216	178	89	38	80	10	33	12	280	250	265	320	60	242	18	B3	M48×2				
160M	160	254	210	108	42	110	12	37	15	330	280	320	390	70	275	20						
160L	160	255	254	108	42	110	12	37	15	330	280	320	390	70	320	20	B3	M64×2				
180M	180	279	241	121	48	110	14	42.5	15	355	300	360	430	70	325	22						
180L	180	279	279	21	48	110	14	42.5	15	355	300	360	430	70	365	22	B3	M48×2				
200L	200	318	305	133	55	110	16	49	19	395	340	400	475	70	385	25						
225S	225	356	286	149	55	60	110	140	16	18	49	53	19	435	380	450	530	75	375	28	B3	M64×2
225M	225	356	311	149	55	60	110	140	16	18	49	53	19	435	380	450	530	75	400	28		
250M	250	406	349	168	65	140	18	53	58	24	490	445	500	575	80	430	30	B3	M64×2			
280S	280	457	368	190	65	75	20	58	67.5	24	545	470	560	640	85	455	35					
280M	280	457	419	190	65	75	20	58	67.5	24	545	470	560	640	85	505	35	B3	M80×2			
315S	315	508	406	216	65	80	140	170	18	22	58	71	28	744	576	645	865			1240	1270	1310
315M	315	508	457	216	65	80	140	170	18	22	58	71	28	744	576	645	865	1310	1340	1340		
315L	315	508	508	216	65	80	140	170	18	22	58	71	28	744	576	645	865	1310	1340	1340		





## (5) YBD 系列隔爆型变极多速三相异步电动机

表 29-137 YBD 系列隔爆型技术数据

型号	功率 kW	电 流 A	效 率 %	功 率 因 数 $\cos\phi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	质量 kg
同步转速 1500/3000 r/min							
801	0.45/0.55	1.37/1.45	66/55	0.74/0.85	1.5/1.7	6.5/7	22
802	0.55/0.75	1.64/1.9	68/66	0.74/0.85	1.6/1.8	6.5/7	24
90S	0.85/1.1	2.269/2.68	74/72	0.77/0.85	1.8/1.9	6.5/7	33
90L	1.3/6.6	3.2/3.6	76/74	0.78/0.85	1.8/2	6.5/7	37
100L1	2/2.4	4.76/5.52	78/76	0.81/0.86	1.7/1.9	6.5/7	43
100L2	2.4/3	5.42/6.27	79/77	0.83/0.89	1.6/1.7	6.5/7	43
112M	3.3/4	7.33/8.47	82/79	0.83/0.89	1.9/2	6.5/7	54
132S	4.5/5.5	9.63/11.78	83/79	0.84/0.89	1.7/1.8	6.5/7	79
132M	6.5/8	13.46/16.24	84/80	0.85/0.89	1.7/1.8	6.5/7	95
160M	9/11	18.12/22.03	87/82	0.85/0.89	1.6/1.8	6.5/7	134
160L	11/14	21.84/26.81	87/82	0.86/0.90	1.7/1.9	6.5/7	167
180M	15/18.5	29.01/36.58	89/85	0.87/0.90	1.8/1.9	6.5/7	210
180L	18.5/22	35.42/41.52	89/86	0.88/0.91	1.6/1.8	6.5/7	234
200L	26/30	49.1/55.4	89/85	0.89/0.92	1.4/1.4	6.5/7	290
225S	32/37	59.57/68.65	90/86	0.89/0.92	1.4/1.4	6.5/7	360
225M	34/45	68.4/82.7	91/86	0.89/0.92	1.4/1.4	6.5/7	380
250M	45/55	83.28/100.3	91/88	0.89/0.92	1.4/1.4	6.5/7	449
280S	60/72	109.78/132.01	91/88	0.90/0.92	1.4/1.4	6.5/7	640
280M	72/82	131.2/146.7	91/88	0.90/0.93	1.4/1.4	6.5/7	710
同步转速 1000/1500 r/min							
90S	0.65/0.85	2.12/2.18	64/70	0.68/0.79	1.6/1.4	6/6.5	33
90L	0.85/1.1	2.72/2.8	66/71	0.70/0.79	1.6/1.5	6/6.5	37
100L1	1.3/1.8	3.71/4.37	74/77	0.70/0.80	1.7/1.4	6/6.5	43
100L2	1.5/2.2	4.23/5.23	75/77	0.70/0.80	1.6/1.4	6/6.5	47
112M	2.2/2.8	5.68/6.36	78/77	0.75/0.82	1.8/1.5	6/6.5	58
132S	3/4	7.57/8.84	79/78	0.75/0.82	1.8/1.7	6/6.5	80
132M	4/5.5	9.63/11.55	82/80	0.76/0.85	1.6/1.4	6/6.5	95
160M	6.5/8	14.74/16.55	84/83	0.78/0.84	1.5/1.5	6/6.5	148
160L	9/11	20.11/22.51	85/84	0.78/0.85	1.6/1.7	6/6.5	166
180M	11/14	24.89/28.79	85/84	0.76/0.85	1.6/1.7	6/6.5	210
180L	13/16	29.25/32.76	86/85	0.78/0.85	1.7/1.7	6/6.5	234
200L	18.5/24	40.3/43.78	87/87	0.78/0.86	1.4/1.3	6.5/7	320
225S	22/28	42.41/54.11	88/87	0.86/0.87	1.4/1.3	6.5/7	360
225M	26/34	49.71/63.01	88/87	0.86/0.90	1.4/1.3	6.5/7	388
250M	32/42	60.17/76.55	90/88	0.87/0.91	1.4/1.3	6.5/7	530
280S	42/55	88.35/101.9	90/89	0.87/0.90	1.4/1.3	6.5/7	650
280M	55/72	104.8/135.1	90/89	0.87/0.90	1.4/1.3	6.5/7	780



续表 29-137

型号	功率 kW	电 流 A	效 率 %	功 率 因 数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	质量 kg
同步转速 750/1500 r/min							
90L	0.45/0.75	1.888/1.780	58/72	0.63/0.87	1.6/1.4	5.5/6.5	37
100L	0.85/1.5	2.979/3.29	67/74	0.63/0.88	1.6/1.4	5.5/6.5	43
112M	1.5/2.4	4.97/5.19	72/78	0.63/0.88	1.7/1.7	5.5/6.5	58
132S	2.2/3.3	6.76/6.8	75/80	0.64/0.88	1.5/1.7	5.5/6.5	80
132M	3/4.5	8.82/9.05	78/82	0.65/0.89	1.5/1.6	5.5/6.5	95
160M	5/7.5	13.72/14.96	83/84	0.66/0.89	1.5/1.6	5.5/6.5	148
160L	5.5/11	9.42/21.82	85/86	0.66/0.89	1.5/1.6	5.5/6.5	166
180L	11/17	24.92/31.45	87/88	0.72/0.91	1.5/1.5	6/7	234
200L1	14/22	32.6/40.99	87/88	0.74/0.92	1.5/1.5	6/7	320
225M	24/34	51.48/65.18	89/88	0.78/0.88	1.5/1.5	6/7	388
250M	30/42	61.18/75.14	90/89	0.78/0.91	1.5/1.5	6/7	530
280S	40/55	81.87/99.83	91/90	0.80/0.91	1.5/1.5	6/7	650
280M	47/67	94.59/119.14	91/90	0.81/0.92	1.5/1.5	6/7	780
同步转速 750/1000 r/min							
90S	0.35/0.45	1.54/1.35	56/70	0.60/0.72	1.8/2	5/6	34
90L	0.45/0.65	1.87/1.82	59/71	0.63/0.73	1.7/1.8	5/6	37
100L	0.75/1.1	2.82/2.84	65/75	0.60/0.73	1.8/1.9	5/6	43
112M	1.3/1.8	4.49/4.53	72/78	0.61/0.73	1.7/1.9	5/6	54
132S	1.8/2.4	5.77/6.22	76/80	0.62/0.73	1.6/1.9	5/6	79
132M	2.6/3.7	7.97/9.04	78/82	0.62/0.73	1.9/1.9	5/6	90
160M	4.5/6	12.54/14.11	83/85	0.62/0.73	1.6/1.9	5/6	144
160L	6/8	16.56/18.53	84/86	0.62/0.73	1.6/1.9	5/6	166
180M	7.5/10	21.0/23.5	84/86	0.62/0.73	1.9/1.9	5/6	234
180L	9/12	24.3/27.66	85/86	0.65/0.75	1.8/1.8	5/6	215
200L1	12/17	31.23/37.85	86/87	0.65/0.76	1.5/1.5	5/6	275
200L2	15/20	38.52/44.21	87/88	0.65/0.76	1.5/1.5	5/6	300
同步转速 500/1000 r/min							
160M	2.6/5	10.86/11.28	74/84	0.46/0.76	1.2/1.4	4/6	144
160L	3.7/7	15.52/15.60	76/85	0.46/0.79	1.2/1.4	4/6	166
180L	5.5/10	19.17/19.8	79/86	0.54/0.86	1.3/1.3	4/6	215
200L1	7.5/13	25.03/25.19	82/87	0.56/0.86	1.2/1.3	4/6	275
200L2	9/15	28.41/29.52	83/87	0.57/0.81	1.2/1.3	4/6	300
225M	12/20	33.86/38.92	85/88	0.61/0.87	1.2/1.3	4/6	368
250M	15/24	40.84/45.87	86/88	0.63/0.87	1.2/1.3	4/6	516
280S	20/30	53.99/57.44	88/89	0.63/0.87	1.2/1.3	4/6	620
280M	24/37	61.14/69.85	88/89	0.65/0.87	1.2/1.3	4/6	700
同步转速 1000/1500/3000 r/min							
100L	0.75/1.3/1.8	2.51/3.74/4.33	67/72/71	0.65/0.75/0.85	1.8/1.6/1.6	5.5/6/7	43
112M	1.1/2/2.4	3.44/4.92/5.5	73/73/74	0.65/0.81/0.85	1.7/1.4/1.6	5.5/6/7	54
132S	1.8/2.6/3	4.76/5.96/6.98	75/78/71	0.71/0.83/0.87	1.4/1.3/1.7	5.5/6/7	79

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请遵守相关知识产权！



续表 29-137

型号	功率 kW	电 流 A	效 率 %	功 率 因 数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	质量 kg
同步转速 1000/1500/3000 r/min							
132M1	2.3/3.3/4	5.82/7.19/8.3	77/80/76	0.72/0.84/0.91	1.3/1.3/1.7	5.5/6/7	95
132M2	2.6/4/5	6.75/8.69/10.22	80/80/77	0.72/0.84/0.91	1.5/1.4/1.7	5.5/6/7	100
160M	3.7/5/6	9.37/10.96/12.77	82/81/76	0.72/0.84/0.91	1.5/1.3/1.4	5.5/6/7	134
160L	4.5/7/9	11.25/14.9/18.12	83/83/79	0.72/0.85/0.92	1.5/1.2/1.3	5.5/6/7	167
同步转速 750/1500/3000 r/min							
112M	0.65/2/2.4	2.57/4.92/5.5	59/73/74	0.63/0.81/0.85	1.4/1.3/1.2	4.5/6/7	54
132S	1/2.6/3	3.61/5.96/6.98	69/78/74	0.61/0.83/0.87	1.4/1.2/1.4	4.5/6/7	79
132M1	1.3/3.7/4.5	4.4/8.16/9.46	71/80/75	0.61/0.84/0.91	1.5/1.3/1.4	4.5/6/7	95
160M	2.2/5/6	7.56/10.96/12.77	75/81/76	0.59/0.84/0.91	1.4/1.8/1.4	4.5/6/7	134
160L	2.8/7/9	8.98/14.9/18.2	77/83/79	0.60/0.85/0.92	1.3/1.2/1.3	4.5/6/7	167
同步转速 750/1000/3000 r/min							
112M	0.85/1/1.5	3.72/3.08/3.47	62/68/75	0.56/0.73/0.86	1.7/1.3/1.5	5.5/6/7	58
132M	1.1/1.5/1.8	4.10/4.18/3.95	68/74/78	0.60/0.73/0.87	1.4/1.3/1.3	5.5/6.5/7	80
132M1	1.5/2/2.2	5.09/5.28/4.7	71/77/79	0.62/0.73/0.87	1.3/1.5/1.4	5.5/6.5/7	95
132M2	1.8/2.6/3	6.25/6.79/6.34	72/78/80	0.62/0.74/0.87	1.5/1.7/1.6	5.5/6.5/7	100
160M	3.3/4/5.5	10.15/9.89/11.15	79/81/83	0.62/0.76/0.87	1.7/1.4/1.5	5.5/6.5/7	148
160L	4.5/6/7.5	13.26/14.45/14.89	80/83/84	0.62/0.76/0.87	1.6/1.6/1.5	5.5/6.5/7	166
180L	7/9/12	17.49/20.23/22.8	81/83/84	0.65/0.80/0.90	1.7/1.7/1.5	6.5/7/7	230
200L	10/13/17	24.14/27.95/32.12	83/85/86	0.68/0.81/0.90	1.6/1.5/1.4	6.6/7/7	320
225S	14/18.5/24	33.41/37.57/44.47	86/87/87	0.70/0.81/0.90	1.6/1.5/1.4	6.5/7/7	360
225M	17/22/28	41.6/42.5/52.5	87/87/87	0.70/0.85/0.90	1.6/1.5/1.4	6.6/7/7	388
250M	24/26/34	54.13/51.32/60.8	88/88/89	0.75/0.85/0.92	1.2/1.5/1.4	6.5/7/7	530
280S	30/34/42	67.4/66.3/75.2	89/89/89	0.75/0.86/0.92	1.2/1.5/1.4	6.5/7/7	560
280M	34/37/50	75.57/71.29/89.45	89/89/90	0.75/0.86/0.92	1.2/1.5/1.4	6.5/7/7	780
同步转速 500/750/1000/1500 r/min							
180L	3.3/5/ 6.5/9	12.37/14.57/ 13.33/17.9	72/79/ 82/83	0.55/0.62/ 0.88/0.89	1.6/1.5/1.3/1.3	5/6/6/7	234
200L1	4.5/7/ 8/11	16/18.64/16.33/ 21.16	73/81/ 83/84	0.56/0.67/ 0.88/0.88	1.3/1.3/1.3/1.3	5/6/6/7	320
200L2	5.5/8/ 10/13	19.47/21.15/ 20.30/25.3	74/81/ 83/84	0.56/0.67/ 0.88/0.88	1.3/1.3/1.3/1.3	5/6/6/7	304
225M	7/11/ 13/20	19.55/26.22/ 25.6/37.84	81/84/ 85/86	0.63/0.72/ 0.85/0.90	1.3/1.3/1.3/1.3	5/6/6/7	388
250M	9/14/ 16/26	20.24/32.94/ 31.52/48.26	82/85/ 85/87	0.63/0.72/ 0.88/0.92	1.3/1.3/1.3/1.3	5/6/6/7	530
280S	11/18.5/ 20/34	31.9/41.36/ 39.22/62.7	83/87/ 85/87	0.63/0.75/ 0.88/0.92	1.3/1.3/1.3/1.3	5/6/6/7	650
280M	13/22/ 24/40	36.04/49.68/ 46.58/73.29	84/87/ 85/88	0.63/0.75/ 0.88/0.92	1.3/1.3/1.3/1.3	5/6/6/7	780

注:1. 效率用实测杂耗的损耗分析法确定;

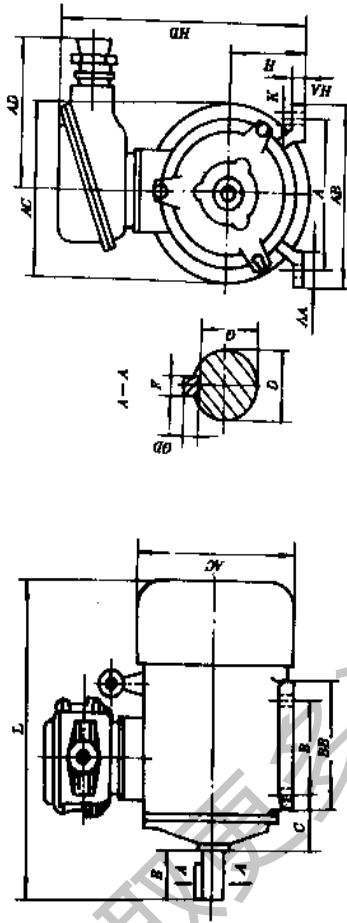
2. 在额定电压下,电动机起动过程中最小转矩的保证值应不低于0.8倍额定转矩;

3. 在额定电压下,电动机最大转矩对额定转矩之比的保证值应不低于1.8倍;

4. 表中数据系南阳防爆电机厂提供;

5. B3、B35、V1 安装型式的机座号为 H80~280; B5 安装型式的机座号 H80~225; B6、B7、B8、V5、V6、V3、V15、V36 安装型式的机座号为 H80~160。

表 29-138 B6、B7、B8、V5、V6 的安装及外形尺寸



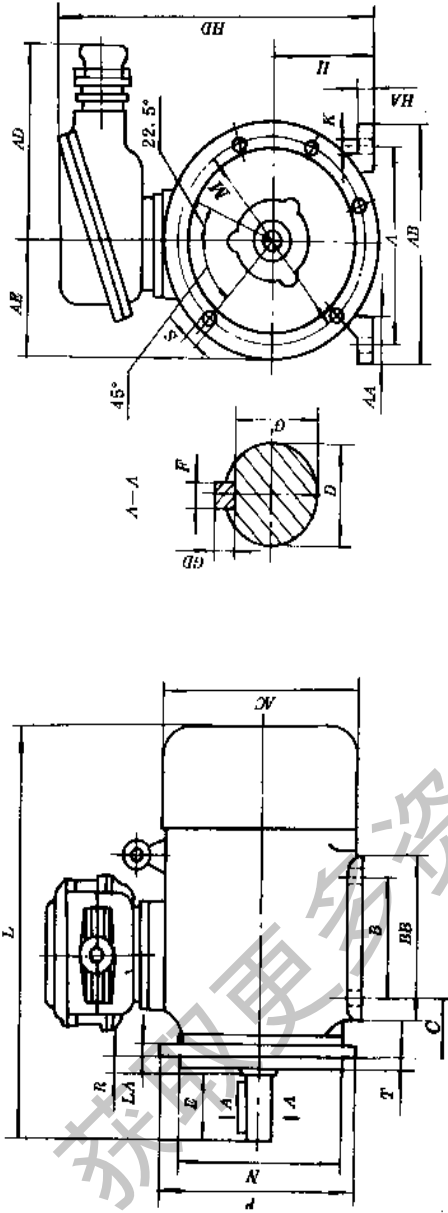
机座号	尺寸 mm												出线口 螺纹	制造 范围						
	H	A	B	C	D		E	F×G×D		K	AB	AD			AC	HD	AA	BB	HA	L
					2	4, 6, 8		2	4, 6, 8											
80	80	125	100	50	19	40	6×6	15.5	10	165	225	160	340	34	135	10	330	M30×2	B6 B7 B8 V5 V6	
90S	90	140	100	56	24	50	8×7	20	10	180	225	180	355	36	135	14	360			
90L	90	140	125	56	24	50	8×7	20	10	180	225	180	355	36	160	14	385	M36×2	B3	
100L	100	160	140	63	28	60	8×7	24	12	205	225	200	380	40	180	14	450			
112M	112	190	140	70	28	60	8×7	24	12	245	225	225	400	50	185	16	460	M48×2		
132S	132	216	140	89	38	80	10×8	33	12	280	240	265	470	60	205	18	510			
132M	132	216	178	89	38	80	10×8	33	12	280	240	265	470	60	242	18	550	M64×2		
160M	160	254	210	108	42	110	12×8	37	15	330	240	320	530	70	275	20	655			
160L	160	254	254	108	42	110	12×8	37	15	330	240	320	530	70	320	20	695	M36×2		
180M	180	279	241	121	48	110	14×9	42.5	15	355	240	360	565	70	325	22	730			
180L	180	279	279	121	48	110	14×9	42.5	15	355	240	360	565	70	365	22	750	M48×2		
200L	200	318	305	133	55	110	16×10	49	19	395	290	400	625	70	385	22	805			
225S	225	356	286	149	55	60	16×10	49	53	435	290	450	670	75	375	25	845	M64×2		
225M	225	356	311	149	55	60	16×10	49	53	435	290	450	670	75	400	28	840			
250M	250	406	349	168	60	65	18×11	53	58	490	330	500	770	80	430	30	935	M64×2		
280S	280	457	368	190	65	75	18×11	58	67.5	545	330	560	830	85	455	35	1010			
280M	280	457	419	190	65	75	18×11	58	67.5	545	330	560	830	85	505	35	1060			

注: 1. 225M4/2 极数的 D 尺寸为 55, F 为 16, G 为 49.      3. 280S 4/2 极数的 D 尺寸为 65, F 为 18, G 为 58.  
 2. 250M4/2 极数的 D 尺寸为 60, F 为 18, G 为 53.      4. 280M 4/2 极数的 D 尺寸为 65, F 为 18, G 为 58.

提醒您:  
 请使用本复制品  
 尊重知识产权!

球

表 29-139 B5、V15、V36 的安装及外形尺寸



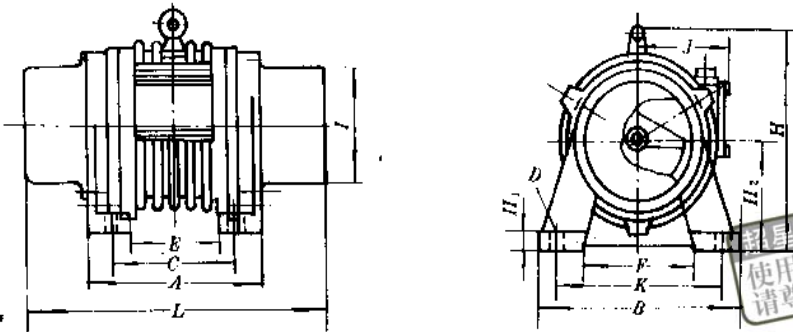
机座号	H A B C			D		E		F × G D		R		寸		mm		极数		L		出线口	制造	规格	纹						
	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8	2	4.6.8										
80	125	100	50	19	40	6 × 6	15.5	10	3.5	1.65	1.30	200	0	4 × φ12	165	225	105	340	34	135	10	160	12	330	M30 × 2	V15	B5	2	4.6.8
90S	140	100	56	24	50	8 × 7	20	10	3.5	1.65	1.30	200	0	4 × φ12	180	225	105	355	36	135	14	180	12	360	M30 × 2	V15	B5	2	4.6.8
90L	140	125	56	24	50	8 × 7	20	10	3.5	1.65	1.30	200	0	4 × φ12	180	225	105	335	36	160	14	180	12	385	M30 × 2	V15	B5	2	4.6.8
100L	160	140	63	28	60	8 × 7	24	12	4	2.15	1.80	250	0	4 × φ15	205	225	130	380	40	180	14	200	14	430	M36 × 2	V36	B5	2	4.6.8
112M	180	140	70	38	80	10 × 8	33	12	4	2.65	2.30	300	0	4 × φ15	280	240	155	470	60	205	18	265	14	510	M36 × 2	V36	B5	2	4.6.8
132S	132	216	140	89	80	10 × 8	33	12	4	2.65	2.30	300	0	4 × φ15	280	240	155	470	60	242	18	265	14	550	M36 × 2	V36	B5	2	4.6.8
132M	132	216	178	89	80	10 × 8	33	12	4	2.65	2.30	300	0	4 × φ15	280	240	155	470	60	242	18	265	14	550	M36 × 2	V36	B5	2	4.6.8
160M	160	254	210	108	110	12 × 8	37	15	5	3.00	2.50	350	0	4 × φ19	330	240	180	530	70	275	20	320	16	655	M48 × 2	V36	B5	2	4.6.8
160L	160	254	254	108	110	12 × 8	37	15	5	3.00	2.50	350	0	4 × φ19	330	240	180	530	70	275	20	320	16	695	M48 × 2	V36	B5	2	4.6.8
180M	180	279	241	121	110	14 × 9	42.5	15	5	3.00	2.50	350	0	4 × φ19	355	240	180	555	70	325	22	360	18	730	M48 × 2	V36	B5	2	4.6.8
180L	180	279	279	121	110	14 × 9	42.5	15	5	3.00	2.50	350	0	4 × φ19	355	240	180	555	70	325	22	360	18	750	M48 × 2	V36	B5	2	4.6.8
200L	200	318	305	133	110	16 × 10	49	19	5	3.50	3.00	400	0	4 × φ19	395	290	200	625	70	385	23	400	18	805	M64 × 2	V36	B5	2	4.6.8
225S	225	356	286	149	110	16 × 10	49	19	5	4.00	3.50	450	0	8 × φ19	435	290	225	670	75	375	28	450	20	845	M64 × 2	V36	B5	2	4.6.8
225M	225	356	311	149	110	16 × 10	49	19	5	4.00	3.50	450	0	8 × φ19	435	290	225	670	75	375	28	450	20	845	M64 × 2	V36	B5	2	4.6.8
250M	250	406	349	168	140	18 × 11	53	24	5	5.00	4.50	550	0	8 × φ19	490	330	250	770	80	430	30	500	22	935	M64 × 2	V36	B5	2	4.6.8
280S	280	457	368	190	140	18 × 11	58	24	5	5.00	4.50	550	0	8 × φ19	545	330	280	830	85	455	35	560	22	1010	M64 × 2	V36	B5	2	4.6.8
280M	280	457	419	190	140	18 × 11	58	24	5	5.00	4.50	550	0	8 × φ19	545	330	280	830	85	455	35	560	22	1060	M64 × 2	V36	B5	2	4.6.8

注: 1. 225M4/2 极数的 D 尺寸为 55, F 为 16, G 为 49.      3. 280S 4/2 极数的 D 尺寸为 65, F 为 18, G 为 58.  
 2. 250M4/2 极数的 D 尺寸为 60, F 为 18, G 为 53.      4. 280M4/2 极数的 D 尺寸为 65, F 为 18, G 为 58.

4.4.5 振动电动机

(1) JZO 系列通用型振动电动机

表 29-140 JZO 系列振动电动机的技术数据与安装及外形尺寸



智慧浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识版权

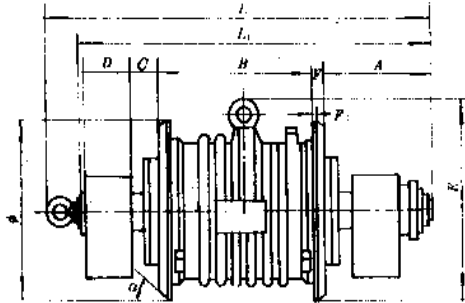
序号	型号	激振力 N	功率 kW	电流 A	主要尺寸 mm													质量 kg
					L	A	B	C	K	E	F	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	D	I	J	
同步转速 3000 r/min					3相 380V 50Hz													
1	JZO-0.7-2	700	0.075	0.24	270	140	175	116	152	92	55	170	22	70	∅10	∅91	80	13
2	JZO 1.5-2	1500	0.15	0.47	310	150	214	126	180	102	70	196	25	80	∅10	∅97	97	19
3	JZO 1.5-2D	1500	0.15	1.07	310	150	214	126	180	102	70	196	25	80	∅10	∅97	97	21
4	JZO-2.5-2	2500	0.25	0.79	318	168	214	140	180	112	70	196	30	80	∅12	∅110	97	23
5	JZO-2.5-2D	2500	0.25	1.76	318	168	214	140	180	112	70	196	30	80	∅12	∅110	97	23
6	JZO-5-2	5000	0.4	1.24	370	208	270	175	220	144	90	216	40	90	∅14	∅136	110	36
7	JZO 8 2	8000	0.75	2.03	430	250	292	180	235	123	160	285	25	140	∅18	∅137	147	51
8	JZO 16-2	16000	1.5	4.74	536	300	330	224	270	164	120	327	30	190	∅20	∅200	153	93
9	JZO-35-2	35000	3.0	9.5	619	387	465	283	385	207	245	443	35	220	∅30			115
同步转速 1500 r/min					3相 380V 50Hz													
10	JZO-2.5-4	2500	0.1	0.32	330	168	250	140	220	114	80	213	30	97	∅12	∅151	97	31
11	JZO 2.5-4D	2500	0.1	0.73	330	168	250	140	220	114	80	213	30	97	∅12	∅151	97	31
12	JZO-5 4	5000	0.2	0.6	390	208	300	175	250	114	100	223	40	107	∅14	∅170	110	47
13	JZO-8-4	8000	0.4	1.1	430	250	292	180	235	123	160	285	25	140	∅18	∅225	147	60
14	JZO-16-4	16000	0.75	2.3	550	300	330	224	270	164	120	327	30	190	∅20	∅240	153	102
15	JZO-32-4	32000	1.3	4.74	542	298	420	184	350	116	200	431	25	225	∅30	∅353	180	164
16	JZO-50-4	50000	2.2	6.96	561	311	480	155	390	55	250	473	30	220	∅33	∅420	206	223
17	JZO-75-4	75000	3.7	11.7	620	404	520	248	440	154	240	533	40	250	∅36	∅464	226	320
同步转速 1000 r/min					3相 380V 50Hz													
18	JZO-2.5-6	2500	0.2	0.62	350	178	280	150	240	122	100	233	30	107	∅12	∅174	110	42
19	JZO-5-6	5000	0.4	1.24	490	208	300	175	250	144	100	233	40	107	∅14	∅174	110	60
20	JZO-10-6	10000	0.75	2.3	471	250	290	180	235	123	160	305	25	140	∅18	∅253	147	78
21	JZO 20-6	20000	1.5	4.6	550	300	390	224	270	164	120	327	30	170	∅20	∅320	153	120
22	JZO-30-6	30000	2.2	6.43	510	288	440	184	350	184	176	431	25	205	∅30	∅380	180	190
23	JZO-50-6	50000	3.7	11.4	545	311	480	155	390	55	250	473	30	225	∅33	∅420	206	253
24	JZO-75-6	75000	5.5	17.4	645	404	520	248	440	154	240	533	40	250	∅36	∅464	245	370
25	JZO-100-6	100000	7.5	23.74	660	430	620	240	460	90	220	605	40	260	∅60			630

注：1. 带 D 者为单相电机，220V 供电；

2. 表中数据系新乡市电机厂提供。

(2) TO5 系列立式振动电动机

表 29-141 TO5 系列振动电动机技术数据与安装及外形尺寸



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

序号	型号	激振力 N	激振力调节范围 N	功率 kW	电流 A	主要尺寸 mm											质量 kg
						L	L <sub>1</sub>	A	B	C	D	E	F	F <sub>1</sub>	φ	α	
同步转速 1500 r/min						3 相 380 V 50 Hz											
1	T0520-4	20000	10000~24 000	1.023	2.9	555	496	103	310	38	40	327	24	5	310	30°	103
2	T0532-4	31500	16000~37 800	1.6	5.1	624	560	135	320	46	54	409	25	5	370	30°	145
3	T05 50-4	50000	30000~60 000	2.5	8.69	715	651	156	370	50	66	418	30	5	380	30°	250
同步转速 1000 r/min						3 相 380 V 50 Hz											
4	T05 50-6	50000	30000~50000	3.7	11	855	791	226	370	50	136	414	30	5	380	30°	258
5	T05100-6	100000	73000~103000	7.5	19.8	862	798	118	600	38	40	512	50	10	510	30°	450

注：表中数据系新乡市电机厂提供。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

4.4.6 微型电动机

(1) AO2、BO2、CO2、DO2 微型单、三相异步电动机

表 29-142 AO2、BO2、CO2、DO2 微型电动机技术数据

型 号	功率 W	电 流 A	电 压 V	频 率 Hz	转 速 r/min	效 率 %	功 率 因 数 cosφ	堵 转 转 矩 额定转矩	堵 转 电 流 额定电流	最 大 转 矩 额定转矩
AO2 系列										
AO2-4512	16	0.092	380	50	2800	46	0.57	2.2	6	2.4
AO2-4522	25	0.12				52	0.60			
AO2-4514	10	0.12			1400	28	0.45			
AO2-4524	16	0.16				32	0.49			
AO2-5012	40	0.17			2800	55	0.65			
AO2-5022	60	0.23				60	0.66			
AO2-5014	25	0.17			1400	42	0.53			
AO2-5024	40	0.23				50	0.54			
AO2-5612	90	0.32			2800	62	0.68			
AO2-5622	120	0.38				67	0.71			
AO2-5614	60	0.28			1400	56	0.58			
AO2-5624	90	0.39				58	0.61			
AO2-6312	180	0.53	220/380	50	2800	69	0.75	2.2	6	2.4
AO2-6322	250	0.67				72	0.78			
AO2-6314	120	0.48			1400	60	0.63			
AO2-6324	180	0.65				64	0.66			
AO2-7112	370	0.95			2800	73.5	0.80			
AO2-7122	550	1.35				75.5	0.82			
AO2-7114	250	0.83			1400	67	0.68			
AO2-7124	370	1.12				69.5	0.72			
AO2-8012	750	1.75			2800	76.5	0.85			
AO2-8014	550	1.55				73.5	0.73			
AO2-8024	750	2.01			1400	75.5	0.75			
BO2 系列										
BO2-6312	90	1.09	220	50	2800	56	0.67	1.5	12	1.8
BO2-6322	120	1.36				58	0.69	1.4	14	
BO2-6314	60	1.23			1400	39	0.57	1.7	9	
BO2-6324	90	1.64				43	0.58	1.5	12	
BO2-7112	180	1.89			2800	60	0.72	1.3	17	
BO2-7122	250	2.40				64	0.74	1.1	22	
BO2-7114	120	1.88			1400	50	0.58	1.5	14	
BO2-7124	180	2.49				53	0.62	1.4	17	
BO2-8012	370	3.36			2800	65	0.77	1.1	30	
BO2-8014	250	3.11				58	0.63	1.2	22	
BO2-8024	370	2.24			1400	62	0.64	1.2	30	



续表 29-142

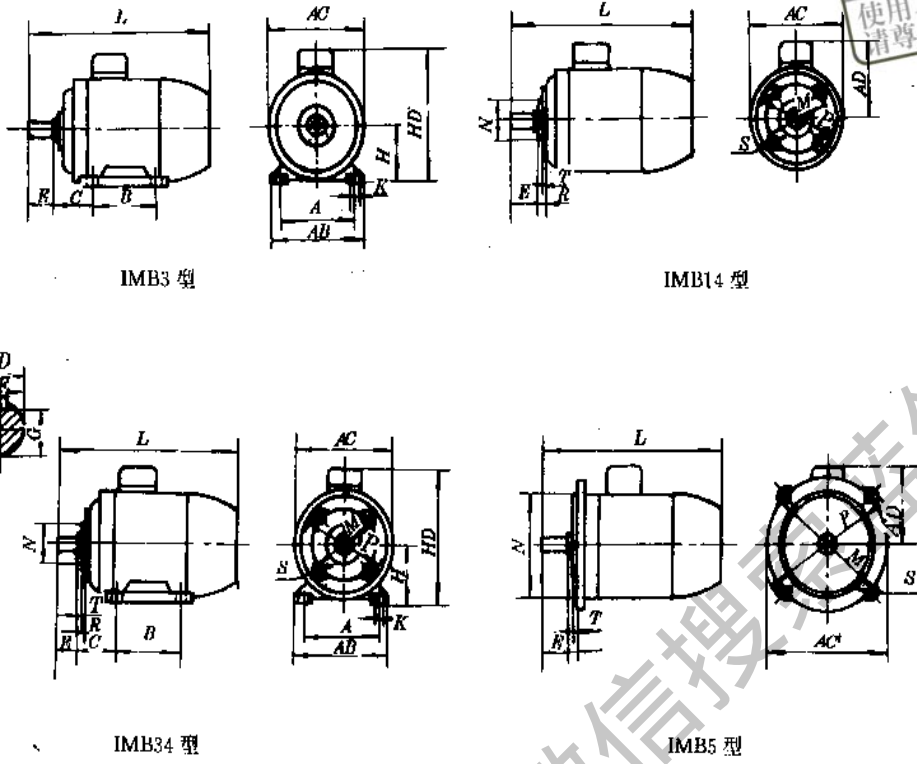
型 号	功率 W	电流 A	电压 V	频率 Hz	转速 r/min	效率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩			
CO2 系列													
CO2-7112	180	1.89	220	50	2800	60	0.72	3.0	12	1.8			
CO2-7122	250	2.40				64	0.74				1400	50	0.58
CO2-7114	120	1.88			53	0.62	9						
CO2-7124	180	2.49			65	0.77	2.8	21					
CO2-8012	370	3.36			68	0.79		29					
CO2-8022	550	4.65			1400	58	0.63	2.5	15				
CO2-8014	250	3.11				62	0.64		21				
CO2-8024	370	4.24			70	0.82	37						
CO2-90S2	750	5.94			2800	65	0.69	2.5	29				
CO2-90S4	550	5.57				69	0.73		37				
CO2-90L4	750	6.77			1400	69	0.73	37					
DO2 系列													
DO2-4512	10	0.20			220	50	2800	28	0.80		0.60	0.8	1.8
DO2-4522	16	0.26						35					
DO2-4514	6	0.20	1400	17			1.0	0.5					
DO2-4524	10	0.24		24			0.8						
DO2-5012	25	0.33	2800	40			0.85	0.60	1.5				
DO2-5022	40	0.48		42			0.90	0.50	2.01				
DO2-5014	16	0.28	1400	33			0.80	0.60	1.0				
DO2-5024	25	0.36		38			0.82	0.50	1.5				
DO2-5612	60	0.51	2800	53			0.90	0.35	2.5				
DO2-5622	90	0.81		56					3.2				
DO2-5614	40	0.49	1400	45			0.82	0.50	2.0				
DO2-5624	60	0.64		50			0.85		2.5				
DO2-6312	120	0.91	2800	63			0.95	0.35	5.0				
DO2-6322	180	1.29		67					7.0				
DO2-6314	90	0.94	1400	51			0.85		3.2				
DO2-6324	120	1.17		55			5.0						
DO2-7112	250	1.73	2800	69			0.95		10				
DO2-7114	180	1.58	1400	59			0.88		7.0				
DO2-7124	250	2.04		62			0.90	10					

注:按沈阳微电机厂,北京市微电机总厂,天津市第二微电机厂提供的资料编写。

提醒您:  
使用本产品  
请尊重相关知识产权!

领星球

表 29-143 AO2、BO2、DO2 系列的安装及外形尺寸

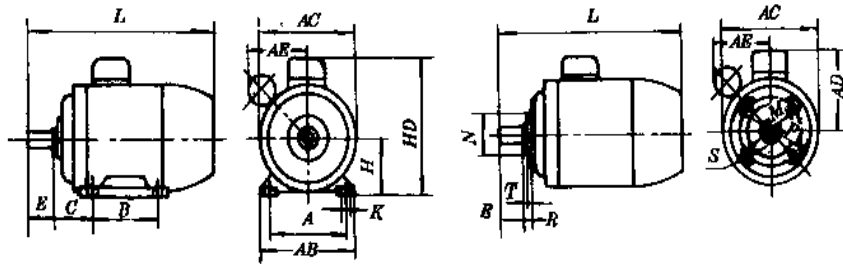


超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸 不 大 于														
	安 装 尺 寸										IMB34、IMB14				IMB5				IMB3、IMB34、IMB14				IMB5						
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AD	HD	L	AC'	AD	L
45	71	56	28	9	20	3	7.2	4.5	4.8	45	32	60	0	M5	2.5							90	100	70	115	50			
50	80	63	32	9	20	3	7.2	5.0	5.8	55	40	70	0	M5	2.5							100	110	75	125	155			
56	90	71	36	9	20	3	7.2	5.6	5.8	65	50	80	0	M5	2.5							115	120	80	135	165			
63	100	80	40	11	23	4	8.5	6.3	7	75	60	90	0	M5	2.5	115	95	140	0	10	3.0	130	130	100	165	230	130	100	250
71	112	90	45	14	30	5	11	7.1	7	85	70	105	0	M6	2.5	130	110	160	0	10	3.5	145	145	110	180	255	145	110	275
80	125	100	50	19	40	6	15.5	8	10	100	80	120	0	M6	3.0	165	130	200	0	12	3.5	160 (130)	165 (160)	120	200	295	175	120	300

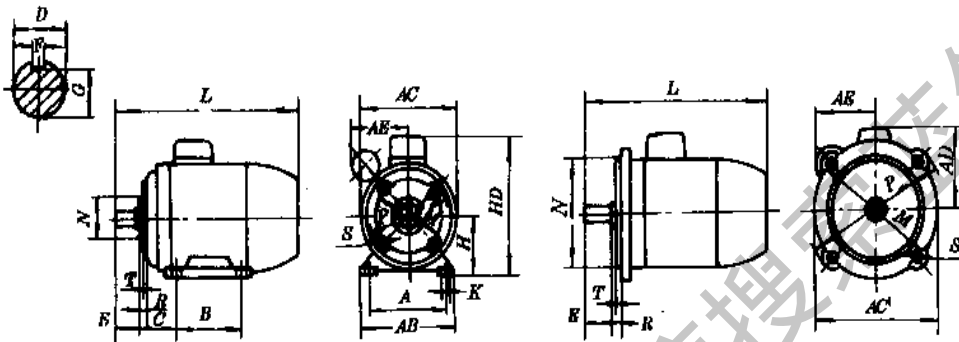
注：1. BO2 系列为 63~80 的机座号；DO2 系列为 45~71 的机座号；  
2. 括号内的尺寸适于 BO2 系列；  
3. 表中数据系沈阳微电机厂提供，各厂数据基本相近。

表 29-144 CO<sub>2</sub> 系列的安装及外形尺寸



IMB3 型

IMB14 型



IMB34 型

IMB5 型

mm

机座号	安装尺寸																				外形尺寸 不大于									
	安装尺寸										安装尺寸					外形尺寸 不大于														
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AD	AE	HD	L	AC'	AD	AE
71	112	90	45	14	30	5	11	71	7	85	70	105	0	M62.5	130	110	160	0	10	3.5	145	145	110	95	180	255	145	175	185	185
80	125	100	50	19	40	6	15	80	10	100	80	120	0	M63.0	165	130	200	0	12	3.5	160	165	120	110	200	295	110	120	130	120
90S	140	100	56	24	50	8	20	90	10	115	95	140	0	M83.0	165	130	200	0	12	3.5	180	185	130	120	220	310	95	110	120	120
90L	140	125	56	24	50	8	20	90	10	115	95	140	0	M83.0	165	130	200	0	12	3.5	180	185	130	120	220	335	275	300	335	350

注：表中数据系沈阳微电机厂提供，各厂数据基本接近。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜一搜 领星球

(2) GA、GB、GC、GD 系列三相、单相电阻启动、单相电容启动、单相电容运转异步电动机

表 29-145 GA 系列三相异步电动机技术数据

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

型 号	输出功率 W	极数	电 压 V	频 率 Hz	转 速 r/min	效 率 %	功率因数 $\cos\phi$	堵转转矩	堵转电流	最大转矩 额定转矩		
								额定转矩	额定电流			
GA90	1150	2	380	50	2800	78	0.85	2.2	7.0	2.3		
	1100	2			2800	77	0.86	2.2	7.0			
	1500	4			1400	79	0.79	2.3				
	1100	4			1400	78	0.78	2.3				
GA80	750	2					2800	76.5	0.85			
	550	2					2800	75.5	0.82			
	750	4					1400	75.5	0.75			
	550	4					1400	73.5	0.73			
GA71	550	2					2800	75.5	0.82			
	370	2					2800	73.5	0.80			
	370	4					1400	69.5	0.72			
	250	4					1400	67	0.68			
GA63	250	2					2800	72	0.78		6.5	
	180	2					2800	69	0.75	2.2		2.4
	180	4					1400	64	0.66			
	120	4					1400	60	0.63			
GA56	120	2			2800	67	0.71					
	90	2			2800	62	0.68					
	90	4			1400	58	0.61					
	60	4			1400	56	0.58					
GA50	60	2			2800	60	0.66					
	40	2			2800	55	0.65					
	40	4			1400	50	0.54					
	25	4			1400	42	0.53					

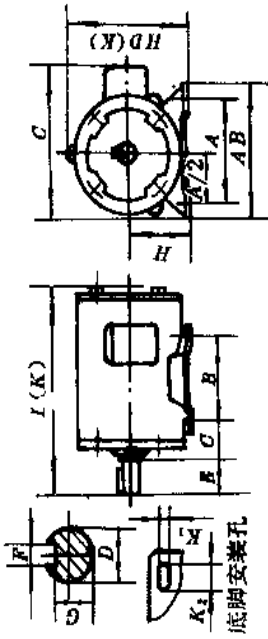
注：表中数据系北京市微电机总厂提供。

表 29-146 GB 单相电阻起动,GC 单相电容起动,GD 单相电容运转异步电动机技术数据

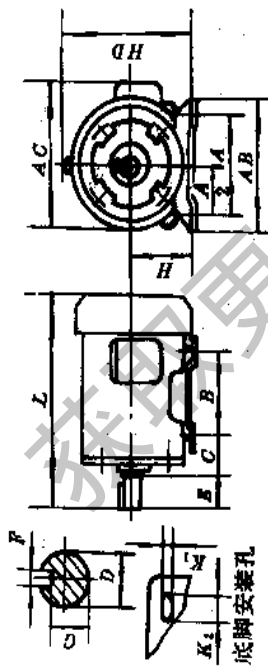
型 号	输出功率 W	极数	电 压 V	频 率 Hz	转 速 r/min	效 率 %	功率因数 cosφ	堵转转矩		最大转矩 额定转矩	
								堵转转矩 额定转矩	堵转电流 A		
GB80	370	2	220	50	2800	65	0.77	1.1	30	1.8	
	250	2			2800	64	0.74	1.1	22		
	370	4			1400	62	0.64	1.2	30		
	250	4			1400	58	0.63	1.2	22		
GB71	250	2			2800	64	0.74	1.1	22		20
	180	2			2800	60	0.72	1.3	20		20
	180	4			1400	55	0.62	1.4	20		20
	120	4			1400	50	0.58	1.5	14		14
GB63	120	2			2800	58	0.69	1.4	14		14
	90	2			2800	56	0.67	1.5	12		12
	90	4			1400	43	0.58	1.5	12		12
	60	4			1400	39	0.57	1.7	9		9
GC90	1100	2			2800	72	0.82	2.5	60		60
	750	2			2800	70	0.82	2.5	37		37
	750	4			1400	69	0.73	2.5	37		37
	550	4			1400	65	0.69	2.5	29		29
GC80	550	2			2800	68	0.79	2.8	29		29
	370	2			2800	65	0.77	2.8	21		21
	370	4			1400	62	0.64	2.5	21		21
	250	4			1400	58	0.63	2.8	15		15
GC71	250	2			2800	64	0.74	3.0	15		15
	180	2			2800	60	0.72	3.0	13		13
	180	4			1400	55	0.62	3.0	13		13
	120	4			1400	50	0.58	3.0	9		9
GD80	550	2			2800	70	0.95	0.35	15		15
	550	4			1400	64	0.92	0.40	15		15
	370	4			1400	62	0.92	0.45	10		10
	370	2			2800	68	0.95	0.35	10		10
GD71	250	2	2800	69	0.95	0.35	10	10			
	250	4	1400	62	0.90	0.35	10	10			
	180	4	1400	59	0.88	0.35	7	7			
	180	2	2800	67	0.95	0.35	7	7			
GD63	120	2	2800	63	0.95	0.35	5	5			
	120	4	1400	55	0.85	0.35	5	5			
	90	4	1400	51	0.85	0.35	3.2	3.2			
	90	2	2800	56	0.90	0.35	3.2	3.2			
GD56	60	2	2800	53	0.90	0.50	2.5	2.5			
	60	4	1400	50	0.85	0.50	2.5	2.5			
	40	4	1400	42	0.82	0.50	2.0	2.0			
	40	2	2800	45	0.90	0.50	2.0	2.0			
GD50	25	2	2800	40	0.85	0.60	1.5	1.5			
	25	4	1400	38	0.82	0.50	1.5	1.5			
	16	4	1400	33	0.80	0.60	1.0	1.0			

注:表中数据系北京市微电机总厂提供。

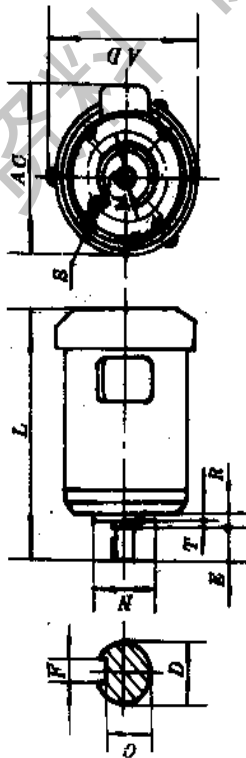
表 29-147 GA、GB、GD 系列安装及外形尺寸



IMB3K



IMB3



IMB14

型号	功率 W	极数	机 体										轴 伸			法 兰 盘							
			L	L(K)	A	B	C	H	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	AB	AC	AD	HD(K)	D(j6)	E	F	G	R	S	T	M	N
GA90	1500	2	315	280	125	100	56	90	10	25	180	220	180	174	165	24	50	8	20	0	3.0	115	95 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>
	1100	2	298	265	140	100	56	90	10	25	180	220	180	174	165	24	50	8	20	0	3.0	115	95 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>
	1500	4	315	280	125	100	56	90	10	25	180	220	180	174	165	24	50	8	20	0	3.0	115	95 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>
	1100	4	298	265	100	100	56	90	10	25	180	220	180	174	165	24	50	8	20	0	3.0	115	95 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>

mm

星阅 提醒您：  
 使用本产品  
 请尊重相关知识产权！

蓝领星球



续表 29-147

mm

型号	功率 W	极数	机 体																					
			L	L(K)	A	B	C	H	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	AB	AC	AD	HD(K)	D(φ)	E	F	G	R	S	T	M	N	
GA80 GD80 GD80	750(370)	2	270	233																				
	550(250)[550]	2	249	214	125	100	50	80	10	25	165	212	164	160	150	40	6	15.5	0	M6	3.0	100	80 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>	
	750(370)[550]	4	270	233																				
	550(250)[370]	4	270	233																				
GA71 GB71 GD71	550(250)[370]	2	246	207																				
	370(180)[250]	2	227	188	112	90	45	71	7	19	150	202	146	143	136	30	5	11	0	M6	2.5	85	70 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>	
	370(180)[250]	4	246	207																				
	250(120)[180]	4	246	207																				
GA63 GB63 GD63	250(120)[180]	2	218	185																				
	180(90)[120]	2	208	175	100	80	40	63	7	10	122	160	132	130	118	23	4	8.5	0	M5	2.5	75	60 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>	
	180(90)[120]	4	218	185																				
	120(60)[90]	4	208	175																				
GA56 GD56	120 [90]	2	160	160																				
	90 [60]	2	160	160	90	71	36	56	6	8	110	125	105	94	105	20	3	7.2	0	M5	2.5	65	50 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>	
	90 [60]	4	160	160																				
	60 [40]	4	160	160																				
GA50 GD50	60 [40]	2	155	155																				
	40 [25]	2	155	155	80	63	32	50	6	8	100	130	92	84	92	20	3	7.2	0	M5	2.5	55	40 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>	
	40 [25]	4	155	155																				
	25 [16]	4	155	155																				

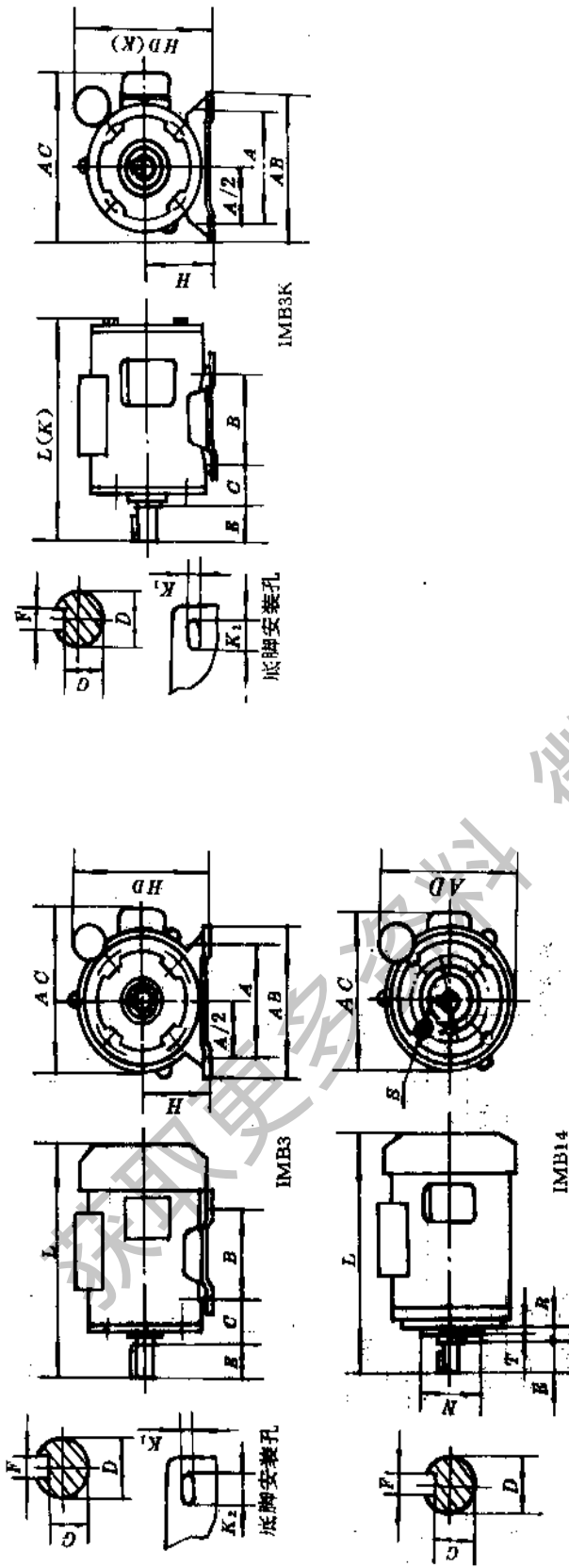
注: 括号“()”内的数据适于型号 GB; 括号“[]”内的数据适于型号 GD.

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

超星数字图书馆

超星阅读器提醒您：  
 请勿复制  
 70-0.03 尊重相关知识产权！

表 29-148 GC 系列安装及外形尺寸



型号	功率 W	极数	机 体										轴 伸			法 兰 盘					mm				
			L	L(K)	A	B	C	H	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	AB	AC	HD	AD	HD(K)	D(φ)	E	F	G	R		S	T	M	N
GC90	1100	2	335	285		125		90	10	25	180	220	210	195	210	24	50	8	20	0	M8	3.0	115	95 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>	
	750	2	315	265	140	100																			
	750	4	335	285		125																			
	550	4	315	265		100																			
GC80	370	2	298	265																					
	250	2	279	244	125	100	50	80	10	25	165	212	203	199	203	19	40	6	15.5	0	M6	3.0	100	80 <sup>0</sup> <sub>-0.03</sub>	
	370	4	298	265																					
	250	4	278	265																					
GC71	250	2	270	233																					
	180	2	251	214	112	90	45	71	7	19	150	202	191	188	191	14	30	5	11	0	M6	2.5	85		
	180	4	270	233																					
	120	4	251	214																					

微星科技 微星球

(3) YC 系列单相电容起动大马力异步电动机

表 29-149 YC 系列技术数据

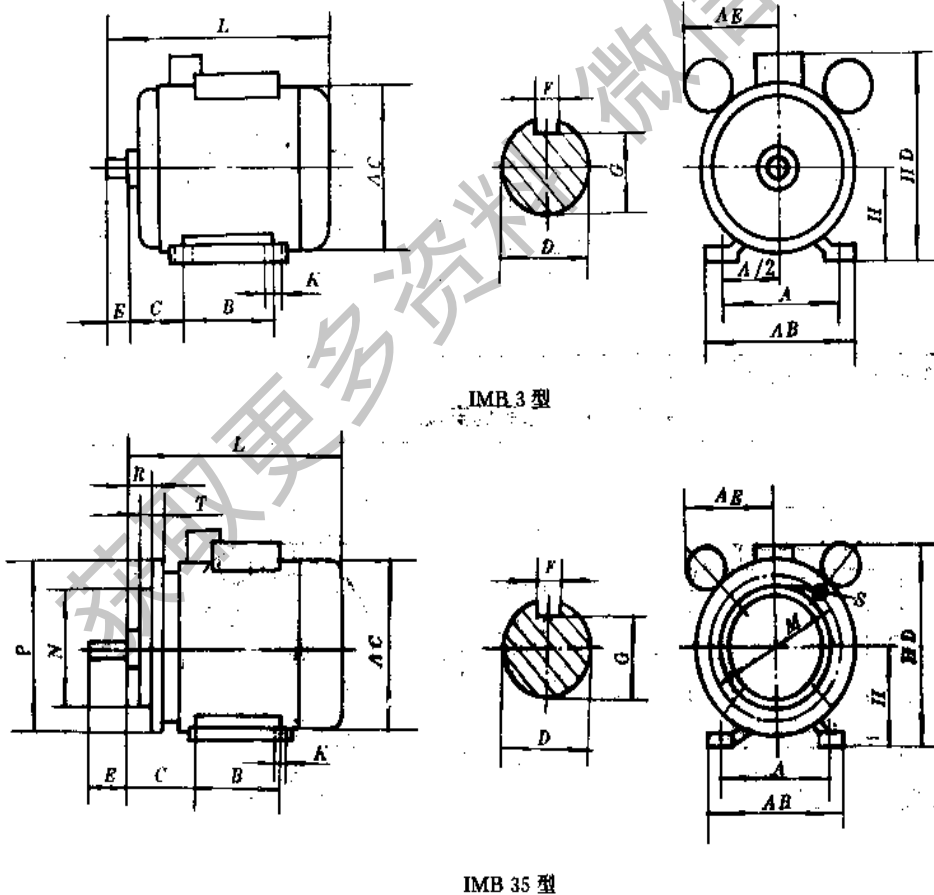
型 号	额定功率 kW	转 速 r/min	电 流 A	效 率 %	功率因数 $\cos\phi$	堵转电流	堵转转矩	最大转矩
						额定电流	额定转矩	额定转矩
YC90S-2	0.75	2880	6.58	70	0.74	6.8	2.5	1.8
YC90L1-2	1.1		9.13	72	0.76	6.6		
YC90L2-2	1.5		11.8	74	0.78	6.8		
YC100L1-2	1.5		11.8	74	0.78	6.8		
YC100L2-2	2.2		16.9	75	0.79	6.5	2.2	
YC112M-2	3		22.4	76	0.80	6.7		
YC132S-2	3.7		26.96	77	0.81	6.5	2.5	
YC90S-4	0.55		1450	5.74	65	0.67		
YC90L1-4	0.75	7.26		68	0.69			
YC90L2-4	1.1	10.1		71	0.70			
YC100L1-4	1.1	10.1		71	0.70			
YC100L2-4	1.5	12.9		72	0.73	6.5		
YC112M-4	2.2	18.3		73	0.75			
YC132S-4	3	24		74	0.77			2.2
YC132M-4	3.7	28.4		75	0.79			

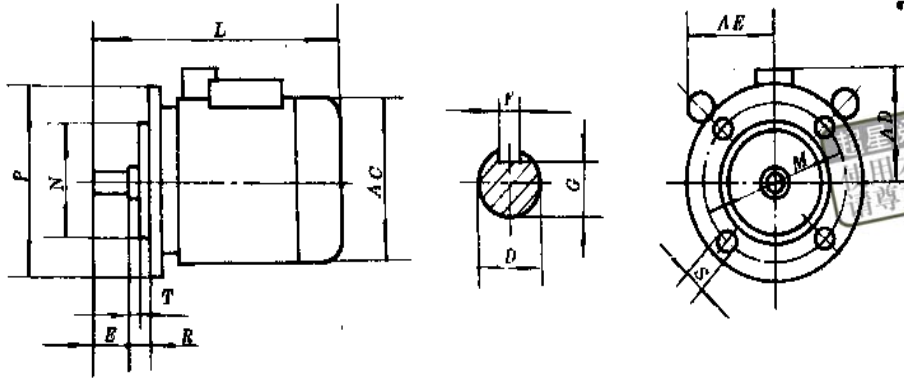
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星领星球

注：表中数据系沈阳分马力电机厂提供。

表 29-150 YC 系列的安装及外形尺寸





IMB 5 型

mm

机座号	安 装 尺 寸										IMB5, IMB35 安装尺寸					IMB3, IMB35 外形尺寸				IMB5 外形尺寸					
	A	A/2	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AE	HD	L	AC	AD	AE	L
90	S	140	70	100	56	24	50	8	20	90	10	165	130	200	12	3.5	180	185	120	240	355	185	130	120	355
	L			125																				385	
100L		160	80	140	63	28	60		24	100		215	180	250	0		205	220	130	260	415	220	140	130	415
112M		190	95	140	70				112		12					15	245	250	140	300	440	250	150	140	440
132	S	216	108	140	89	38	80	10	33	132		265	230	300			280	290	155	350	500	290	165	155	500
	M			178																	540			540	

注：表中数据系沈阳分马力电机厂提供。

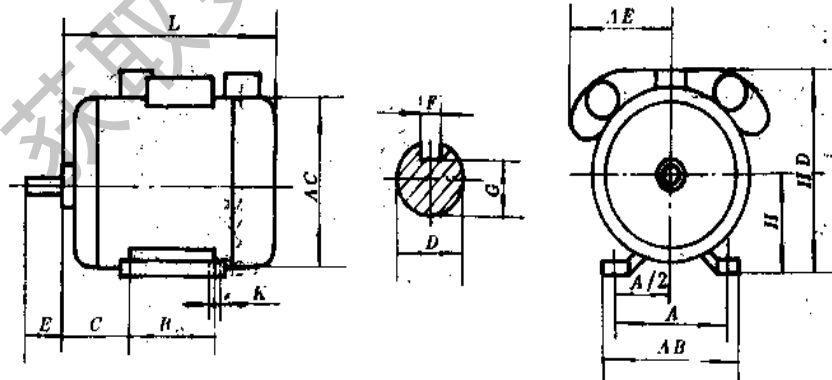
(4) YLX 系列双值电容单相异步电动机

表 29-151 YLX 系列技术数据

型 号	额定功率 kW	转 速 r/min	电 流 A	效 率 %	功率因数 cosφ	堵转电流	堵转转矩
						额定电流	额定转矩
YLX90S-4	0.75	1450	5.12	74	0.90	6.5	1.7
YLX90L1-4	1.1		7.22	77			
YLX90L2-4	1.5		9.39	78	0.95		
YLX100L2-4	2.2		13.32	79			
YLX112M-4	3		17.75	80	0.96		

注：表中数据系沈阳分马力电机厂提供。

表 29-152 YLX 系列的安装及外形尺寸



续表 29-152

机座号		安 装 尺 寸										外 形 尺 寸				
		A	A/2	B	C	D	E	F	G	H	K	AB	AC	AE	HD	L
90	S	140	70	100	56	24	50	8	20	90	10	180	185	120	240	355
	125													385		
100L		160	80	140	63	28	60	24	100	12	205	220	130	260	415	
112M		190	95		70				112		245	250	150	300	440	

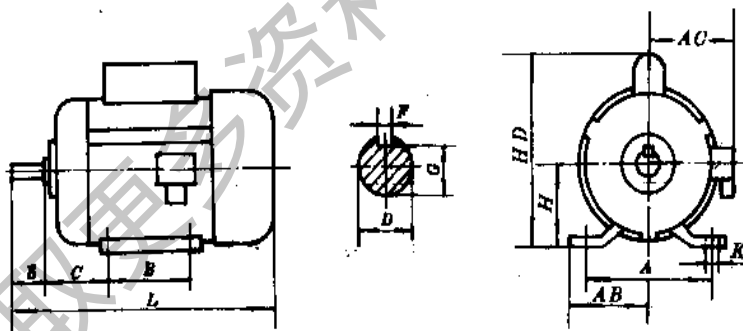
(5) JY 系列单相电容起动异步电动机

表 29-153 JY 系列技术数据

型 号	电 压 V	输 出 W	转 速 r/min	消耗功率 (约) W	额定电流 (约) A	起动转矩 N·m	起动电流 A	质 量 kg
JY09B-2	110/220	180	2800	300	3.8/1.9	1.25	24/12	10
JY09A-2	110/220	250	2800	396	5.0/2.5	1.75	30/15	11.4
JY1B-2	110/220	370	2800	578	7.0/3.5	2.64	42/21	15
JY1A-2	110/220	550	2800	821	10.6/5.3	3.93	58/29	16
JY2B-2	110/220	750	2800	1086	13.4/6.7	5.36	80/40	20
JY2A-2	110/220	1100	2800	1584	19.2/9.6	8.0	120/60	22
JY09B-4	110/220	120	1400	240	4.6/2.3	2.1	18/9	8.2
JY09A-4	110/220	180	1400	322	3.6/1.8	3.15	24/12	11.5
JY1B-4	110/220	250	1400	416	5.8/2.9	4.35	30/15	15
JY1A-4	110/220	370	1400	578	8.0/4.0	5.28	42/21	16
JY2B-4	110/220	550	1400	820	11.2/5.6	7.7	58/29	20
JY2A-4	110/220	750	1400	1080	13.4/6.7	10.4	74/37	22
JY2C-4	110/220	1100	1400	1527	18.8/9.4	15.1	100/50	28

注：表中数据系沈阳分马力电机厂提供。

表 29-154 JY 系列安装及外形尺寸



机座号	尺 寸 mm													
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	AB	AC	HD	L	
09	125	100	50	14	30	4	11.5	80	10	78	108	190	260	
1	140	100	56	16	40	5	13	90	10	88	121	220	290	
2	A	160	112	63	19	40	6	15.5	100	12	95	128	240	325
	C		140											364

(6) 3CD4 系列磁滞同步电动机

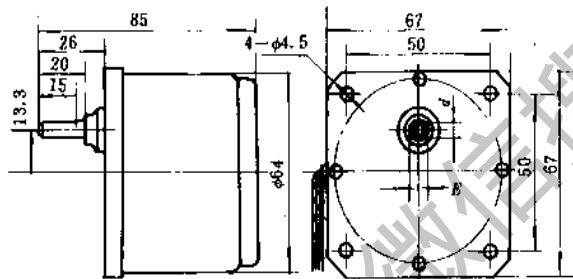
(7) YYTD 系列单相电子调速电动机

表 29-155 3CD4 系列技术数据

型 号	电 压 V	频 率 Hz	输入功率 W	移相电容 $\mu\text{F}$	空载起 动电压 V	额定转矩 $\text{N} \cdot \text{mm}$	最大同 步转矩 $\text{N} \cdot \text{mm}$	减 速 比	输出轴 转 速 $\text{r}/\text{min}$
3CD4-1	220	50	9	0.47	120	1800	2200	1:1500	1
3CD4-2	220	50	9	0.47	120	900	1200	1:750	2
3CD4-4	220	50	9	0.47	120	500	700	1:375	4
3CD4-6	220	50	9	0.47	120	380	530	1:250	6
3CD4-12	220	50	9	0.47	120	200	280	1:125	12
3CD4-15	220	50	9	0.47	120	160	220	1:100	15
3CD4-30	220	50	9	0.47	120	83	113	1:50	30
3CD4-60	220	50	9	0.47	120	41	60	1:25	60
3CD4-300	220	50	9	0.47	120	8.5	12	1:5	300

注：1. 本系列电机的最大质量为 600g。2. 表中数据系沈阳微电机厂提供。

表 29-156 3CD4 系列的安装与外形尺寸



型 号	$E$	$d$
3CD4-1, 2	$\phi 8$ -0.013 -0.035	7
3CD4-4, 6	$\phi 6$ -0.013 -0.035	5
3CD4-12, 15 30, 60, 300	$\phi 5$ -0.01 -0.028	4.5

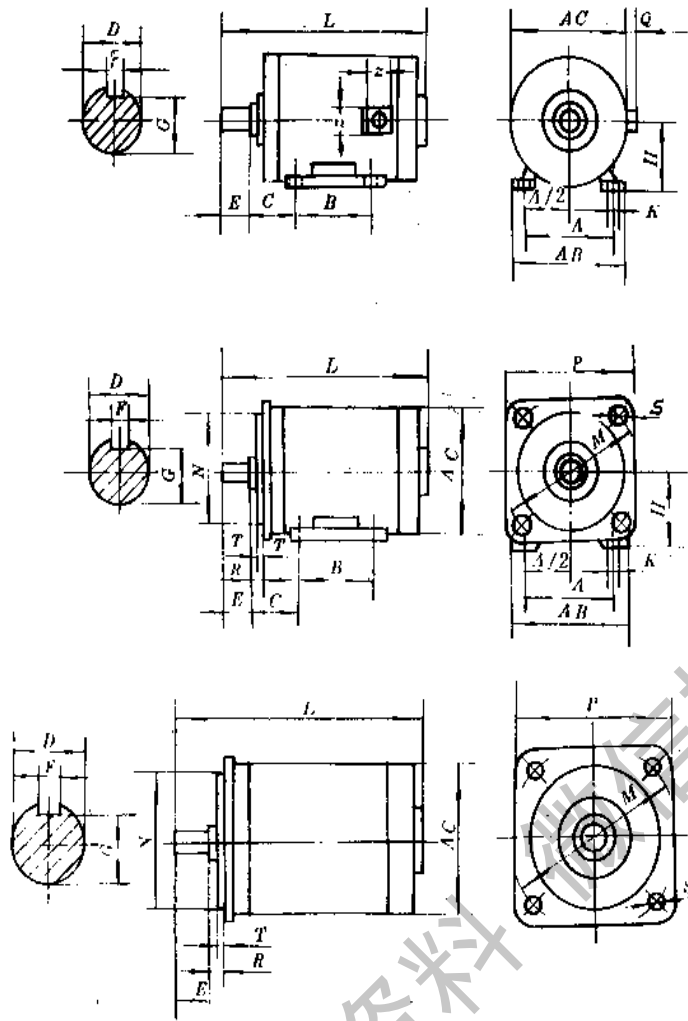
表 29-157 YYTD 系列技术数据

型 号	电 压 V	频 率 Hz	功 率 W	转 速 $\text{r}/\text{min}$	转 矩 $\text{N} \cdot \text{m}$	转 速 变 化 率 $\geq \%$	堵 转 电 流 A	噪 声 $\geq \text{dB}$
					1300 $\text{r}/\text{min}$			
YYTD404A	220	50	6	90~1400	44.1	2	0.4	55
YYTD404B	220	50	10	90~1400	73.5	2	0.7	55
YYTD404C	220	50	16	90~1400	118	2	0.9	55
YYTD454	220	50	16	90~1400	118	2	0.9	55
YYTD504	220	50	25	90~1400	184	2	1.3	55
YYTD564	220	50	40	90~1400	294	2	1.6	55
YYTD634	220	50	60	90~1400	441	2	1.8	55

注：表中数据系天津安全电机有限公司提供。



表 29-158 YYTD 系列的安装及外形尺寸



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请注明相关知识产权！

机座带底脚，端盖上无凸缘

机座带底脚，端盖上有凸缘

机座不带底脚，端盖上有凸缘

机座号	安 装 尺 寸 mm														外形尺寸 mm					
	A	B	C	D(j6)	E	F(N9)	G	H	K(H14)	M	N(j6)	P	R(Z)	S	T	凸缘孔数	AB	AC	L	Q
40	63	50	25	7	16	2	5.8 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	40 <sup>0</sup> <sub>-0.4</sub>	4.8	85	70	79	0	7 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	2.5	4	80	72	138	—
45	71	56	28	9	20	3	7.2 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	45 <sup>0</sup> <sub>-0.4</sub>	4.8	100	80	89	0	7 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	3.0	4	90	82	145	—
50	80	63	32	9	20	3	7.2 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	50 <sup>0</sup> <sub>-0.4</sub>	5.8	100	80	92	0	7 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	3.0	4	100	92	155	—
56	90	71	36	9	20	3	7.2 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	56 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	5.8	115	95	102	0	10 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	3.0	4	115	102	165	—
63	100	80	40	11	23	4	8.5 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	63 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	7	130	110	118	0 (30)	10 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	3.5	4	130	112	185	—
63-2	100	80	40	11	23	4	8.5 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	63 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	7								130	112	210	35
63-4				11	23	4	8.5 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>			130	110	118	7	10 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	3.5	4	130	200		—

注：1. 除尺寸 Z 外其他括号内为公差符号；  
2. 当底脚孔 K 为长圆孔时，不考核 A/2。

表 29-159 YYTD63-2、63-4 型技术数据

型 号	电 压 V	频 率 Hz	功 率 W	转速范围 r/min	额定转速 r/min	转 矩 N·mm		堵转电流 A
						额定低速时	额定高速时	
YYTD63-2	220	50	180	200~2600	200、2600	123	661.5	5.0
YYTD63-4	220	50	100	90~1400	90、1300	137	735	3.0

注：1. 电动机在电压、频率、转矩为额定，转速为额定高速时，其效率和功率因数的保证值分别为 0.55 和 0.8；  
 2. 电动机的安装及外形尺寸见表 29-158；  
 3. 表中数据系天津市微型特种电机厂提供。

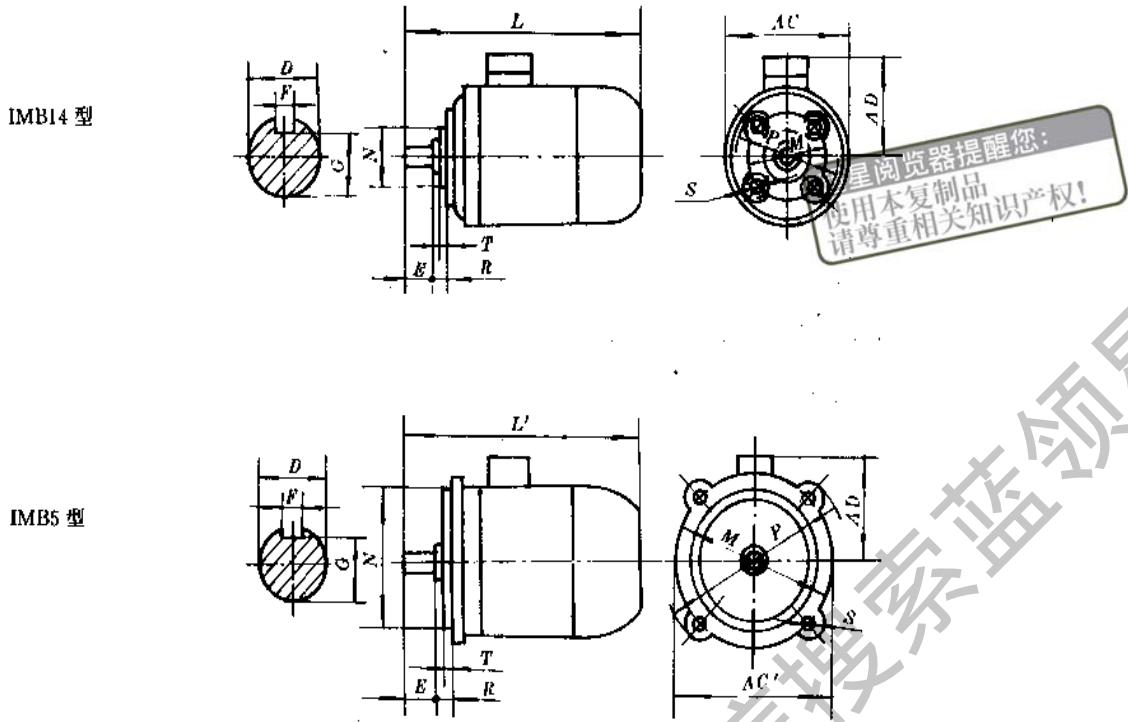
(8) YLJ 系列力矩三相异步电动机。

表 29-160 YLJ 系列技术数据

型 号	堵转转矩 N·m	空载转速 r/min	电 压 V	堵转电流 A	频 率 Hz
YLJ6314	0.3	1400	380	0.15	50
YLJ6324	0.5	1400	380	0.25	50
YLJ6318	0.5	700	380	0.20	50
YLJ6328	0.8	700	380	0.25	50
YLJ7114	0.8	1400	380	0.35	50
YLJ7124	1.2	1400	380	0.45	50
YLJ7118	1.2	700	380	0.35	50
YLJ7128	1.6	700	380	0.45	50
YLJ8014	1.6	1400	380	0.65	50
YLJ8024	2.0	1400	380	0.85	50
YLJ8018	2.0	700	380	0.65	50
YLJ8028	2.5	700	380	0.86	50
YLJ90S4	2.5	1400	380	1	50
YLJ90L4	3.0	1400	380	1.1	50
YLJ90S8	3.0	700	380	1	50
YLJ90L8	4.0	700	380	1.1	50
YLJ90L6	3.0	1000	380	0.9	60

注：表中数据系沈阳微电机厂提供。

表 29-161 YLJ 系列的安装及外形尺寸 (IMB14 型、IMB5 型)



mm

机座号	安 装 尺 寸										外 形 尺 寸				
	D(j6)	F	F(N9)	G	M	N(j6)	P	R	S	T	AC	AD	L	AC'	L'
63	11	23	4	8.5 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	75(115)	60(95)	90(140)	0	M5(10)	2.5(3.0)	130	100	200	130	215
71	14	30	5	11 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	85(130)	70(110)	105(160)	0	M6(10)	2.5(3.5)	145	110	215	145	240
80	19	40	6	15.5 <sup>0</sup> <sub>-0.1</sub>	100(165)	80(130)	120(200)	0	M6(12)	3.0(3.5)	165	120	290	175	290
90S	24	50	8	20 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	115(165)	95(130)	140(200)	0	M8(12)	3.0(3.5)	185	130	305	185	330
90L	24	50	8	20 <sup>0</sup> <sub>-0.2</sub>	115(165)	95(130)	140(200)	0	M8(12)	3.0(3.5)	185	130	330	185	355

注: 括号“( )”内的尺寸适用于 IMB5 型。



4.4.7 直流电动机

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

(1) Z2 系列小型直流电动机

表 29-163 Z2 系列技术数据

型 号	额定功率 kW	额定电流 A		最高转速 r/min		飞 轮 矩 $GD^2 \text{ N} \cdot \text{m}^2$	质 量 kg
		110V	220V	110V	220V		
额 定 转 速 3000 r/min							
Z2-11	0.8	10.0	5.00	3000	3000	0.12	30
Z2-12	1.1	13.0	6.52			0.15	35
Z2-21	1.5	17.5	8.85			0.45	50
Z2-22	2.2	24.7	12.3			0.55	55
Z2-31	3.0	33.2	16.60			0.85	67
Z2-32	4.0	43.3	22.40			1.05	79
Z2-41	5.5	62.3	31.00			1.5	82
Z2-42	7.5	83.0	41.50			1.8	96
Z2-51	10.0	107.5	54.50			3.5	144
Z2-52	13.0		68.30			4.00	156
Z2-61	17.0		88.80			5.60	180
Z2-62	22.0		113.60			6.50	200
额 定 转 速 1500 r/min							
Z2-11	0.4	5.20	2.64	3000	3000	0.12	30
Z2-12	0.6	7.55	3.77			0.15	35
Z2-21	0.8	9.85	4.92			0.45	50
Z2-22	1.1	13.00	6.50			0.55	55
Z2-31	1.5	17.50	8.74			0.85	67
Z2-32	2.2	24.80	12.50			1.05	79
Z2-41	3.0	34.50	17.20			1.50	82
Z2-42	4.0	44.40	22.70			1.80	96
Z2-51	5.5	61.00	30.90			3.50	144
Z2-52	7.5	81.70	41.00			4.00	156
Z2-61	10.0	107.50	53.50			5.60	180
Z2-62	13.0	134.40	68.60			6.50	200
Z2-71	17.0	183.00	91.00	10.00	265		
Z2-72	22.0	235.00	116.00	12.00	300		
Z2-81	30.0	317.00	157.50	28.00	403		
Z2-82	40.0		207.50	32.00	430		
Z2-91	55.0		287.00	2000	59.00	647	
Z2-92	75.0		383.00		70.00	681	
Z2-101	100.0		511.00	1800	103.00	945	
Z2-102	125.0		630.00		120.00	1083	
Z2-111	160.0		808.00	1500	204.00	1265	
Z2-112	200.0		1000.00		230.00	1501	

超星浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重知识产权！  
 续表 26-163

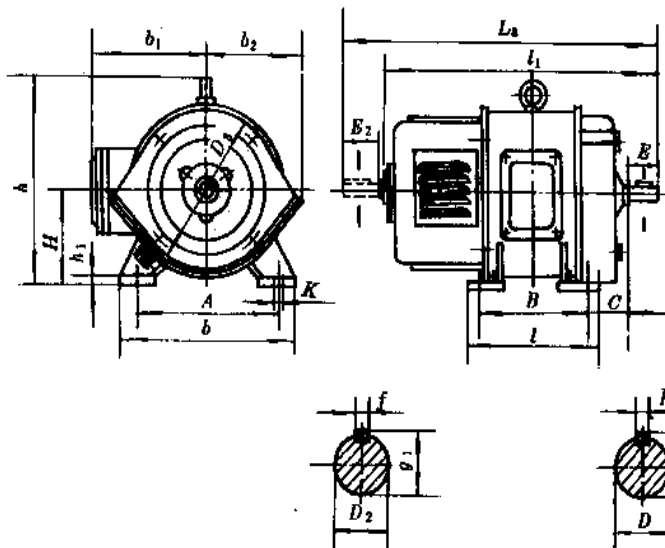
型 号	额定功率 kW	额定电流 A		最高转速 r/min		飞 轮 矩 GD <sup>2</sup> N·m <sup>2</sup>	质 量 kg
		110V	220V	110V	220V		
额定转速 1000 r/min							
Z2-21	0.4	5.31	2.64			0.45	50
Z2-22	0.6	7.40	3.70			0.55	55
Z2-31	0.8	9.96	4.98			0.85	67
Z2-32	1.1	13.25	6.60			1.05	79
Z2-41	1.5	18.30	8.87			1.5	82
Z2-42	2.2	26.40	12.67			1.8	96
Z2-51	3.0	34.30	17.10			3.5	144
Z2-52	4.0	45.20	22.40		2000	4.0	156
Z2-61	5.5	61.30	30.40			5.6	180
Z2-62	7.5	82.20	41.10	2000		6.5	200
Z2-71	10.0	111.60	55.00			10	265
Z2-72	13.0	142.50	70.10			12	300
Z2-81	17.0	188.40	93.60			28	403
Z2-82	22.0	238.00	118.30			32	430
Z2-91	30.0	322.00	161.00			59	647
Z2-92	40.0	425.00	211.50			70	881
Z2-101	55.0		285.50			103	945
Z2-102	75.0		385.00		1500	120	1083
Z2-111	100.0		510.00			204	1265
Z2-112	125.0		630.00			230	1510
额定转速 750 r/min							
Z2-31	0.6	7.91	3.96			0.85	67
Z2-32	0.8	10.10	5.1			1.05	79
Z2-41	1.1	14.40	7.1			1.5	82
Z2-42	1.5	18.50	9.2			1.8	96
Z2-51	2.2	26.50	13.2			3.5	144
Z2-52	3	35.60	17.7			4.0	156
Z2-61	4	47.00	22.8			5.6	180
Z2-62	5.5	61.50	30.5	1500	1500	6.5	200
Z2-71	7.5	86.00	42.8			10	265
Z2-72	10	112	55.4			12	300
Z2-81	13	148.50	73.8			28	403
Z2-82	17	188.30	93.6			32	430
Z2-91	22	242.00	121			59	647
Z2-92	30	325.00	161.5			70	681
Z2-101	40	427.50	212.5			103	945
Z2-102	55		285			120	1086
Z2-111	75		387			204	1265
Z2-112	100		514			230	1510
额定转速 600 r/min							
Z2-91	17	192	95.5			5.9	647
Z2-92	22	242.5	120.5			7.0	681
Z2-101	30	327.0	162.5	1200	1200	10.3	945
Z2-102	40	430.0	214			12.0	1083
Z2-111	55		287			20.4	1265
Z2-112	75		387			23.0	1510

注：1. 虚线以下型号仅有额定电压 220V 的；  
 2. 表中数据系上海南洋电机厂提供。



表 29-164 安装及外形尺寸

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



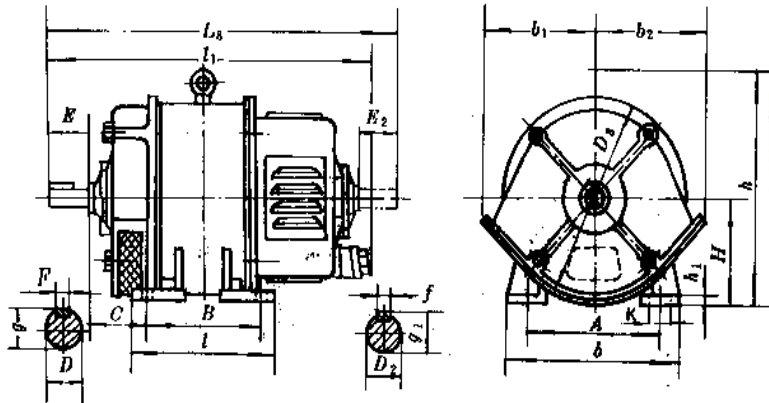
卧式，机座带底脚

mm

型号	A	B	C	D	D <sub>2</sub>	E	E <sub>2</sub>	F	f	g	g <sub>1</sub>	H	K	L <sub>a</sub>	h <sub>1</sub>	b	l	l <sub>1</sub>	h	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
Z2-11	145	155	80	14	14	30	30	4	4	15.5	15.5	112	12	420.5	11	180	180	390	215	135	120	200
Z2-12	145	175	80	14	14	30	30	4	4	15.5	15.5	112	12	440.5	11	180	200	410	215	185	120	200
Z2-21	200	180	73	18	18	40	40	5	5	19.8	19.8	140	15	464.5	15	240	215	425	310	215	160	258
Z2-22	200	205	73	18	18	40	40	5	5	19.8	19.8	140	15	489.5	15	240	240	450	310	215	160	258
Z2-31	225	225	74	22	22	50	50	6	6	24.2	24.2	150	15	552	15	270	255	500	345	230	160	282
Z2-32	225	260	74	22	22	50	50	6	6	24.2	24.2	150	15	587	15	270	290	535	345	230	160	282
Z2-41	240	195	103	28	28	60	60	8	8	30.5	30.5	160	15	580	15	290	235	520	370	250	180	305
Z2-42	240	225	103	28	28	60	60	8	8	30.5	30.5	160	15	610	15	290	270	555	370	250	180	305
Z2-51	264	225	115	32	32	80	80	10	10	34.8	34.8	180	19	700	18	345	285	625	420	295	210	355
Z2-52	264	265	115	32	32	80	80	10	10	34.8	34.8	180	19	740	18	345	315	665	420	295	210	355
Z2-61	300	265	106	38	38	80	80	12	12	40.8	40.8	225	19	736	18	370	325	660	490	330	230	410
Z2-62	300	300	106	38	38	80	80	12	12	40.8	40.8	225	19	771	18	370	360	695	490	330	230	410
Z2-71	410	315	95	42	38	110	80	12	12	44.8	40.8	250	24	857	20	500	365	785	540	355	270	445
Z2-72	410	355	95	42	38	110	80	12	12	44.8	40.8	250	24	897	20	500	405	825	540	355	270	445
Z2-81	460	355	105	48	42	110	110	14	12	51.2	44.8	280	24	963	25	560	410	855	610	380	285	510
Z2-82	460	395	105	48	42	110	110	14	12	51.2	44.8	280	24	1000	25	560	450	895	610	380	285	510

注：表列 Z2-11, Z2-12 的 D、E、F、g 均为保留尺寸，也可以承接 D=16、E=40、g=17.8、F=5 的订货。

表 29-165 安装及外形尺寸

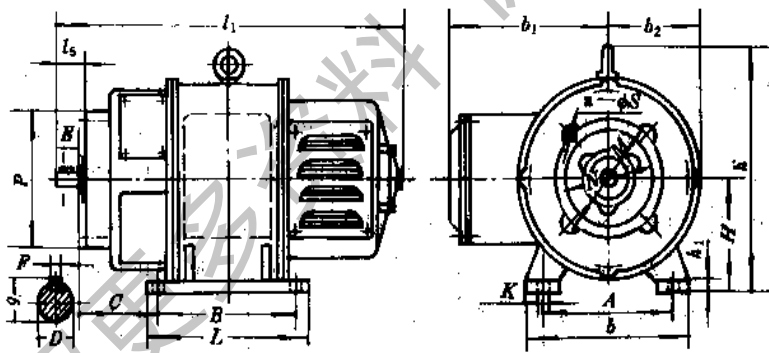


超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

卧式，机座带底脚

型 号	A	B	C	D	D <sub>2</sub>	E	E <sub>2</sub>	F	f	g	g <sub>1</sub>	H	K	L <sub>8</sub>	h <sub>1</sub>	b	l	l <sub>1</sub>	h	b <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
Z2-91	550	400	149	65	60	140	140	18	18	68.9	63.9	315	24	1168	40	660	455	1155	705	355	610
Z2-92	550	455	149	65	60	140	140	18	18	68.9	63.9	315	24	1212	40	660	510	1200	705	355	610
Z2-101	600	460	171	75	70	140	140	20	20	79.2	74.2	355	28	1311	40	730	520	1310	795	400	670
Z2-102	600	510	171	75	70	140	140	20	20	79.2	74.2	355	28	1361	40	730	570	1360	795	400	670
Z2-111	650	535	164	90	85	170	170	24	24	95	90	400	35	1482	45	800	600	1450	890	440	740
Z2-112	650	585	164	90	85	170	170	24	24	95	90	400	35	1532	45	800	650	1500	890	440	740

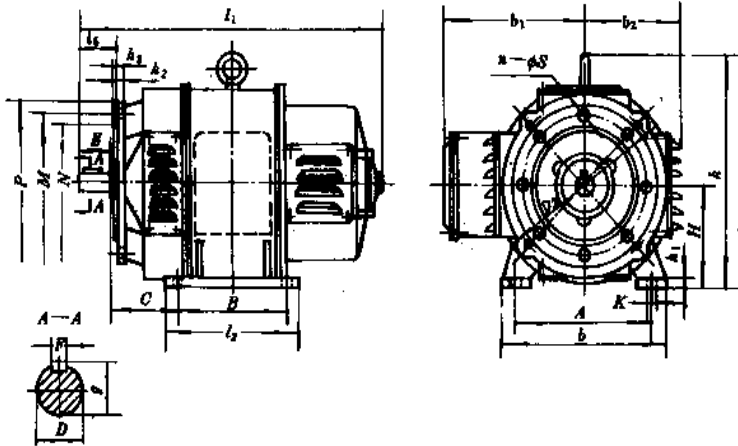
表 29-166 安装及外形尺寸



卧式，机座带底脚，端盖有凸缘

型 号	A	B	C	D	E	F	g	H	h	h <sub>1</sub>	M	N	l	l <sub>1</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	S	π	ρ	K	l <sub>5</sub>	D <sub>3</sub>
Z2-11	145	155	80	14	30	4	15.5	112	215	11	115	95	180	390	180	185	110	M8	4	135	12	29	201
Z2-12	145	175	80	14	30	4	15.5	112	215	11	115	95	200	410	180	185	110	M8	4	135	12	26.5	201
Z2-21	200	180	73	18	40	5	19.8	140	310	15	145	120	215	425	240	215	135	M10	4	169	15	39	253
Z2-22	200	205	73	18	40	5	19.8	140	310	15	145	120	240	450	240	215	135	M10	4	169	15	39	253
Z2-31	225	225	74	22	50	6	24.2	150	345	15	145	120	255	500	270	230	150	M10	4	169	15	55.5	282
Z2-32	225	260	74	22	50	6	24.2	150	345	15	145	120	290	535	270	230	150	M10	4	169	15	55.5	282

表 29-167 安装及外形尺寸



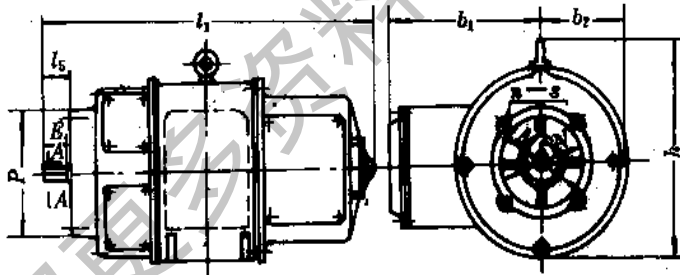
超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

卧式，机座带底脚，端盖有凸缘

mm

型 号	A	B	C	D	E	F	g	H	K	S	$\pi$	N	M	$l_5$	P	$h_1$	$h_2$	$h_3$	b	$l_2$	$l_1$	h	$b_1$	$b_2$	$D_3$
Z2-41	240	195	111	28	60	8	30.5	160	15	19	8	180	215	65	250	15	15	4	290	235	530	370	250	160	305
Z2-42	240	225	113.5	28	60	8	30.5	160	15	19	8	180	215	65	250	15	15	4	290	270	565	370	250	160	305
Z2-51	264	225	125	32	80	10	34.8	180	19	19	8	215	255	86.5	300	18	15	4	345	285	630	420	295	185	355
Z2-52	264	265	125	32	80	10	34.8	180	19	19	8	215	255	86.5	300	18	15	4	345	315	670	420	295	185	355
Z2-61	300	265	121	38	80	12	40.8	225	19	19	8	250	300	85.5	350	18	18	5	370	325	675	490	330	210	410
Z2-62	300	300	121	38	80	12	40.8	225	19	19	8	250	300	85.5	350	18	18	5	370	360	710	490	330	210	410
Z2-71	410	315	149	42	110	12	44.8	250	24	19	4	350	400	115	470	20	20	5	500	365	840	540	355	240	445
Z2-72	410	355	149	42	110	12	44.8	250	24	19	4	350	400	115	470	20	20	5	500	405	880	540	355	240	445
Z2-81	460	355	149.5	48	110	14	51.2	280	24	19	4	400	465	115	530	20	20	5	560	410	900	610	380	270	510
Z2-82	460	395	147	48	110	14	51.2	280	24	19	4	400	465	115	530	20	20	5	560	450	935	610	380	270	510

表 29-168 安装及外形尺寸



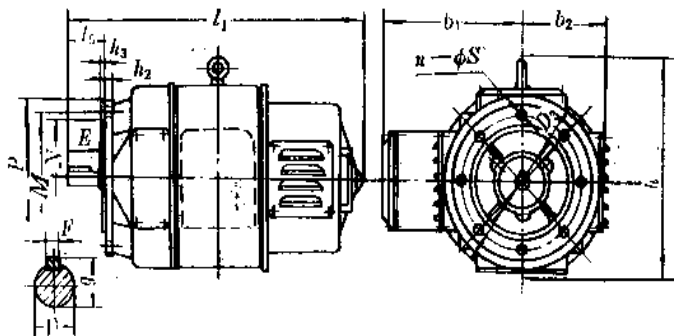
卧式，机座不带底脚，端盖有凸缘

mm

型 号	D	E	F	g	S	$\pi$	M	N	$l_1$	h	$b_1$	$b_2$	P	$l_5$	$D_3$
Z2-11	14	30	4	15.5	M8	4	115	95	390	210	185	110	135	29	201
Z2-12	14	30	4	15.5	M8	4	115	95	410	210	185	110	135	26.5	201
Z2-21	18	40	5	19.8	M10	4	145	120	425	295	215	135	169	39	253
Z2-22	18	40	5	19.8	M10	4	145	120	450	295	215	135	169	39	253
Z2-31	22	50	6	24.2	M10	4	145	120	500	330	230	150	169	55.5	282
Z2-32	22	50	6	24.2	M10	4	145	120	530	330	230	150	169	55.5	282

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

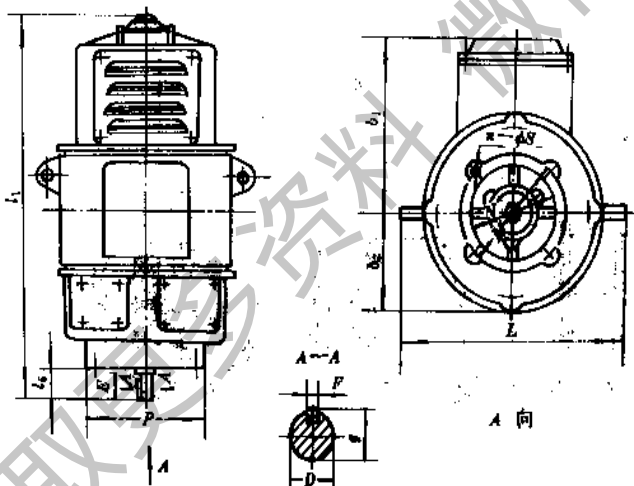
表 29-169 安装及外形尺寸



卧式，机座不带底脚，端盖有凸缘

型号	D	E	F	g	S	n	N	M	l <sub>5</sub>	P	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	l <sub>1</sub>	h	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
Z2-41	28	60	8	30.5	19	8	180	215	65	250	15	4	530	360	250	160	305
Z2-42	28	60	8	30.5	19	8	180	215	65	250	15	4	565	360	250	160	305
Z2-51	32	80	10	34.8	19	8	215	255	86.5	300	15	4	630	415	295	185	355
Z2-52	32	80	10	34.8	19	8	215	255	86.5	300	15	4	670	415	295	185	355
Z2-61	38	80	12	40.8	19	8	250	300	85.5	350	18	5	675	465	330	210	410
Z2-62	38	80	12	40.8	19	8	250	300	85.5	350	18	5	710	465	330	210	410

表 29-170 安装及外形尺寸

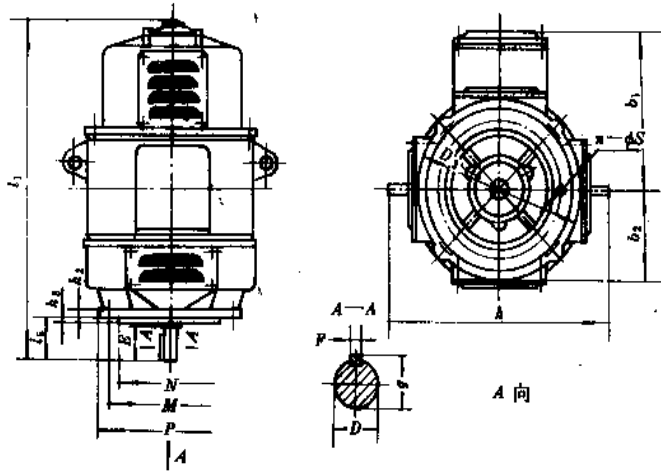


立式，机座不带底脚，端盖有凸缘

型号	D	E	F	g	S	n	N	M	l <sub>1</sub>	h	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	P	l <sub>5</sub>	D <sub>3</sub>
Z2-11	14	30	4	15.5	M8	4	95	115	390	210	185	110	135	29	201
Z2-12	14	30	4	15.5	M8	4	95	115	410	210	185	110	135	26.5	201
Z2-21	18	40	5	19.8	M10	4	120	145	425	340	215	135	169	39	253
Z2-22	18	40	5	19.8	M10	4	120	145	450	340	215	135	169	39	253
Z2-31	22	50	6	24.2	M10	4	120	145	500	365	230	150	169	55.5	282
Z2-32	22	50	6	24.2	M10	4	120	145	530	365	230	150	169	55.5	282

超星阅读器提示 903  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

表 29-171 安装及外形尺寸

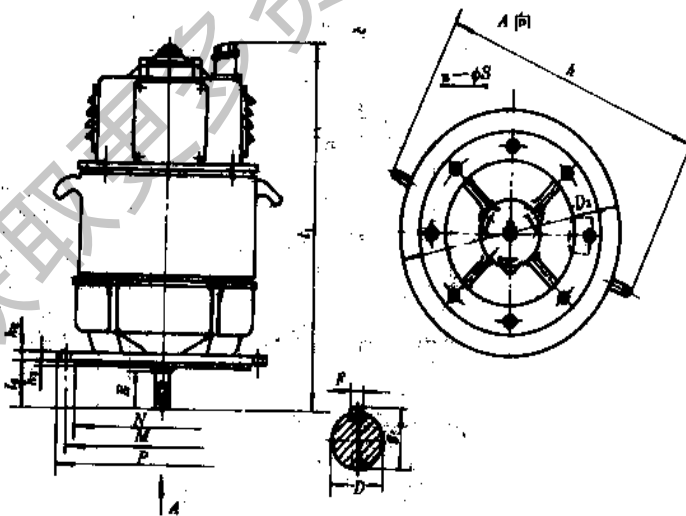


立式，机座不带底脚，端盖有凸缘

mm

型号	D	E	F	g	S	n	N	M	$l_5$	P	$h_2$	$h_3$	$l_1$	h	$b_1$	$b_2$	$D_3$
Z2-41	28	60	8	30.5	19	8	180	215	65	272	15	4	530	390	250	160	305
Z2-42	28	60	8	30.5	19	8	180	215	65	272	15	4	565	390	250	160	305
Z2-51	32	80	10	34.8	19	8	215	255	86.5	300	15	4	630	445	295	185	355
Z2-52	32	80	10	34.8	19	8	215	255	86.5	300	15	4	670	445	295	185	355
Z2-61	38	80	12	40.8	19	8	250	300	85.5	350	18	5	675	505	330	210	410
Z2-62	38	80	12	40.8	19	8	250	300	85.5	350	18	5	710	505	330	210	410
Z2-71	42	110	12	44.8	19	4	350	400	115	470	20	5	840	530	355	240	445
Z2-72	42	110	12	44.8	19	4	350	400	115	470	20	5	880	530	355	240	445
Z2-81	48	110	14	51.2	19	4	400	465	115	530	20	5	900	600	380	270	510
Z2-82	48	110	14	51.2	19	4	400	465	115	530	20	5	935	600	380	270	510

表 29-172 安装及外形尺寸



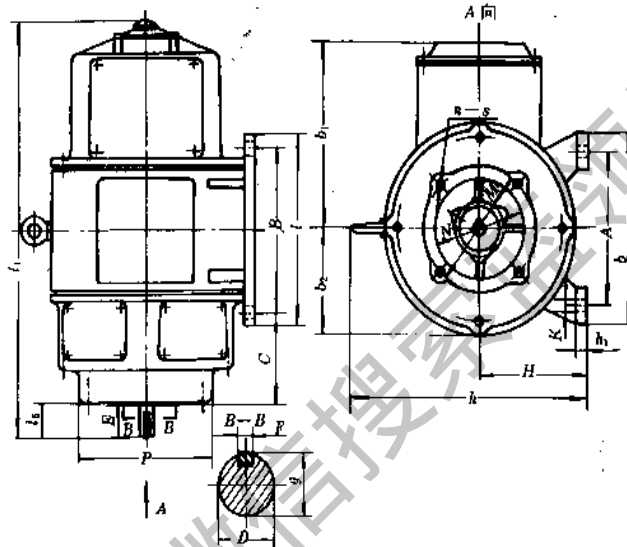
立式，机座不带底脚，端盖有凸缘

续表 29-172

浏览器提醒您：  
本复制品  
重相关知识产权！

型 号	D	E	F	g	S	n	N	M	l <sub>5</sub>	P	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	l <sub>1</sub>	h	D <sub>3</sub>
Z2-91	65	140	18	68.9	24	8	610	660	146	720	25	6	1200	750	715
Z2-92	65	140	18	68.9	24	8	610	660	146	720	25	6	1235	750	715
Z2-101	75	140	20	79.2	24	4	560	610	146	720	25	6	1390	860	715
Z2-102	75	140	20	79.2	24	4	560	610	146	720	25	6	1440	860	715
Z2-111	90	170	24	95	24	4	610	670	183	805	30	8	1540	930	800
Z2-112	90	170	24	95	24	4	610	670	183	805	30	8	1590	930	800

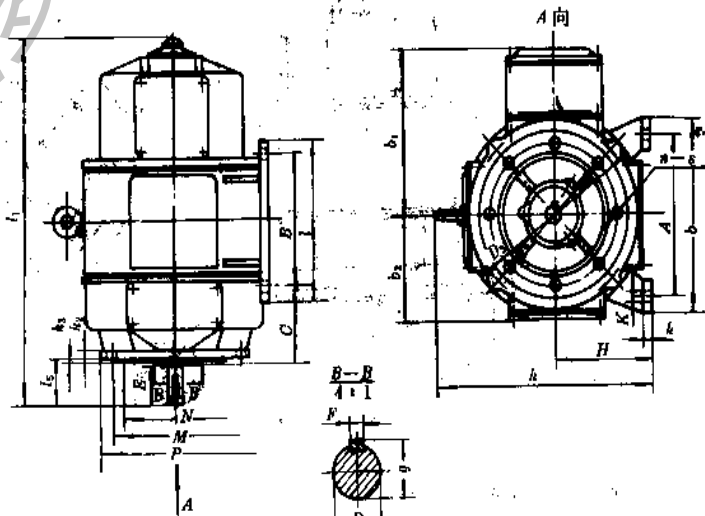
表 29-173 安装及外形尺寸



立式，机座带底脚，端盖有凸缘

型 号	A	B	C	D	E	F	g	H	K	S	n	N	M	P	h <sub>1</sub>	b	l	l <sub>1</sub>	h	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	l <sub>5</sub>	D <sub>3</sub>
Z2-11	145	155	80	14	30	4	15.5	112	12	M8	4	95	115	135	11	180	180	390	215	185	110	29	201
Z2-12	145	175	80	14	30	4	15.5	112	12	M8	4	95	115	135	11	180	200	410	215	185	110	26.5	201
Z2-21	200	180	73	18	40	5	19.8	140	15	M10	4	120	145	169	15	240	215	425	310	215	135	39	253
Z2-22	200	205	73	18	40	5	19.8	140	15	M10	4	120	145	169	15	240	240	450	310	215	135	39	253
Z2-31	225	225	74	22	50	6	24.2	150	15	M10	4	120	145	169	15	270	255	500	345	230	150	55.5	282
Z2-32	225	260	74	22	50	6	24.2	150	15	M10	4	120	145	169	15	270	290	535	345	230	150	55.5	282

表 29-174 安装及外形尺寸



立式，机座带底脚，端盖有凸缘



续表 29-174

浏览器提醒您：  
本复制品  
重相关知识产权！

型号	A	B	C	D	E	F	κ	II	K	S	n	N	M	l <sub>s</sub>	P	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	b	l	l <sub>1</sub>	h	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>
Z2-41	240	195	111	28	60	8	30.5	160	15	19	8	180	215	65	250	15	15	4	290	235	530	370	250	160	305
Z2-42	240	225	113.5	28	60	8	30.5	160	15	19	8	180	215	65	250	15	15	4	290	270	565	370	250	160	305
Z2-51	264	225	125	32	80	10	34.8	180	19	19	8	215	255	86.5	300	18	15	4	345	285	630	420	295	185	355
Z2-52	264	265	125	32	80	10	34.8	180	19	19	8	215	255	86.5	300	18	15	4	345	315	670	420	295	185	355
Z2-61	300	265	121	38	80	12	40.8	225	19	19	8	250	300	85.5	350	18	18	5	370	325	675	490	330	210	410
Z2-62	300	300	121	38	80	12	40.8	225	19	19	8	250	300	85.5	350	18	18	5	370	360	710	490	330	210	410
Z2-71	410	315	149	42	110	12	44.8	250	24	19	4	350	400	115	470	20	20	5	500	365	845	540	355	240	470
Z2-72	410	355	149	42	110	12	44.8	250	24	19	4	350	400	115	470	20	20	5	500	405	880	540	355	240	470
Z2-81	460	355	149.5	48	110	14	51.2	280	24	19	4	400	465	115	530	20	20	5	410	560	900	610	380	270	530
Z2-82	460	395	147	48	110	14	51.2	280	24	19	4	400	465	115	530	20	20	5	410	560	935	610	380	270	530

(2) Z4 系列小型直流电动机

表 29-175 技术数据

型号	额定功率 kW	额定转速		弱磁转速 r/min	电枢电流 A	励磁功率 W	电枢回路电阻 Ω (20℃)	电枢回路电感 mH	磁场电感 H	外接电感 mH	效率 %	飞轮矩 CD <sup>2</sup> Nm <sup>2</sup>	质量 kg
		160V 400V 440V	r/min										
Z4-100-1	2.2	1490		3000	17.9	315	1.19	11.2	22	15	67.8	0.44	72
	1.5	955		2000	13.3		2.17	21.4	13	15	58.5		
	4		2630	4000	12		2.82	26	18		78.9		
	4		2960	4000	10.7						80.1		
	2		1310	3000	6.6		9.12	86	18		68.4		
	2.2		1480	3000	6.5		16.76	163	18		70.6		
	1.4		860	2000	5.1						60.3		
	1.5		990	2000	4.77						63.2		
Z4-112/2-1	3	1540		3000	24	320	0.785	7.1	14	20	69.1	0.72	100
	2.2	975		2000	19.6		1.498	14.1	13	20	62.1		
	5.5		2630	4000	16.4		1.933	17.9	17		79.9		
	5.5		2940	4000	14.7						81.1		
	2.8		1340	3000	9.1		6	59	17		71.2		
	3		1500	3000	8.6		11.67	110	13		72.8		
	1.9		855	2000	6.9						61.1		
	2.2		965	2000	7.1						63.5		
Z4-112/2-2	4	1450		3000	31.3	350	0.567	6.2	14	12	72.6	0.88	107
	3	1070		2000	24.8		0.934	10.3	14	10	66.8		
	7		2660	4000	20.4		1.305	14	19		82.4		
	7.5		2980	4000	19.7						83.5		
	3.7		1320	3000	11.7		4.24	48.5	19		74.1		
	4		1500	3000	11.2						76		
	2.6		895	2000	9						65.1		
	3			1010	2000		9.1	7.62	83	14			

续表 29-175

型 号	额定 功率 kW	额定转速		弱磁 转速 r/min	电枢 电流 A	励磁 功率 W	电枢回路 电 阻 $\Omega$ (20℃)	电枢回路 电 感 mH	磁场 电感 H	外接 电感 mH	效率 %	飞轮矩 $GD^2$ Nm <sup>2</sup>	质量 kg		
		160V	400V											440V	
		r/min													
Z4-112/4-1	5.5	1520		3000	42.5	500	0.38	3.85	6.8	6.5	73	1.28	106		
	4	990		2000	33.7		0.741	7.7	6.7	4.5	64.9				
	10		2680	4000	29		0.89	9	6.8		82.7				
	11			2950	4000		28.8				83.3				
	5		1340		2200		15.7	3.01	30.5	6.8				74.3	
	5.5			1480	2200		15.4							75.7	
	3.7		855		1400		13	5.78	60	6.7				65.2	
	4			980	1400		12.2							68.7	
Z4-112/4-2	5.5	1090		2000	43.5	570	0.441	5.1	7.8	6	69.5	1.56	114		
	13		2740	4000	37		0.574	6.4	5.8		84.4				
	15			3035	4000		38.6							85.4	
	6.7		1330		2200		20.6	2.12	24.1	7.8				76.8	
	7.5			1480	2200		20.6							78.4	
	5		955		1500		16.1	3.46	40.5	5.8				71.1	
	5.5			1025	1500		15.7							71.9	
	18.5		2610		4000		52.2	0.368	5.3	6.5				85	
Z4-132-1	18.5			2850	4000	47.1					85.9	3.2	140		
	10		1330		2400	30.1	1.309	18.9	8.9		79.4				
	11			1480	2500	29.6					80.9				
	7		865		1600	22.7	2.56	37.5	6.3		71.9				
	7.5			975	1600	21.4					74.5				
	20		2800		3600	55.4	0.226	3.65	10		87.8				
Z4-132-2	22			3090	3600	55.3					88.3	4.0	160		
	15		1360		2500	44.5	0.811	13.5	7.7		81.2				
	15			1510	2500	39.5					83.4				
	10		905		1600	31.1	1.565	26	6		75.6				
	11			995	1600	30.5					77.7				
型 号	额定 功率 kW	额定转速		弱磁 转速 r/min	电枢 电流 A	励磁 功率 W	电枢回路 电 阻 $\Omega$ (20℃)	电枢回路 电 感 mH	磁场 电感 H	效率 %	飞轮矩 $GD^2$ Nm <sup>2</sup>	质量 kg			
		400V	440V												
Z4-132-3	27	2720		3600	74.5	800	0.1905	3.4	21	6.6	88.2	4.8	180		
	30		3000	3600	75						88.6				
	18.5	1390		2800	53.2						83.6				
	18.5		1540	3000	47.6						84.7				
	15.5	945		1600	40.5						79.4				
	15		1050	1600	40.5						80.5				
Z4-160-11	33	2710		3500	93.4	820	0.1835	3.15	10	7.7	87.4	6.4	220		
	37		3000								88.5				
	19.5	1350									3000			58.8	80.4
	22		1500								82.6				
Z4-160-22 21	40.5	2710		3500	113	920	0.1426	2.7	10	6	88.2	7.6	242		
	45		3000								89.1				
	16.5	900									2000			50.5	77.9
	18.5		1000								79.4				

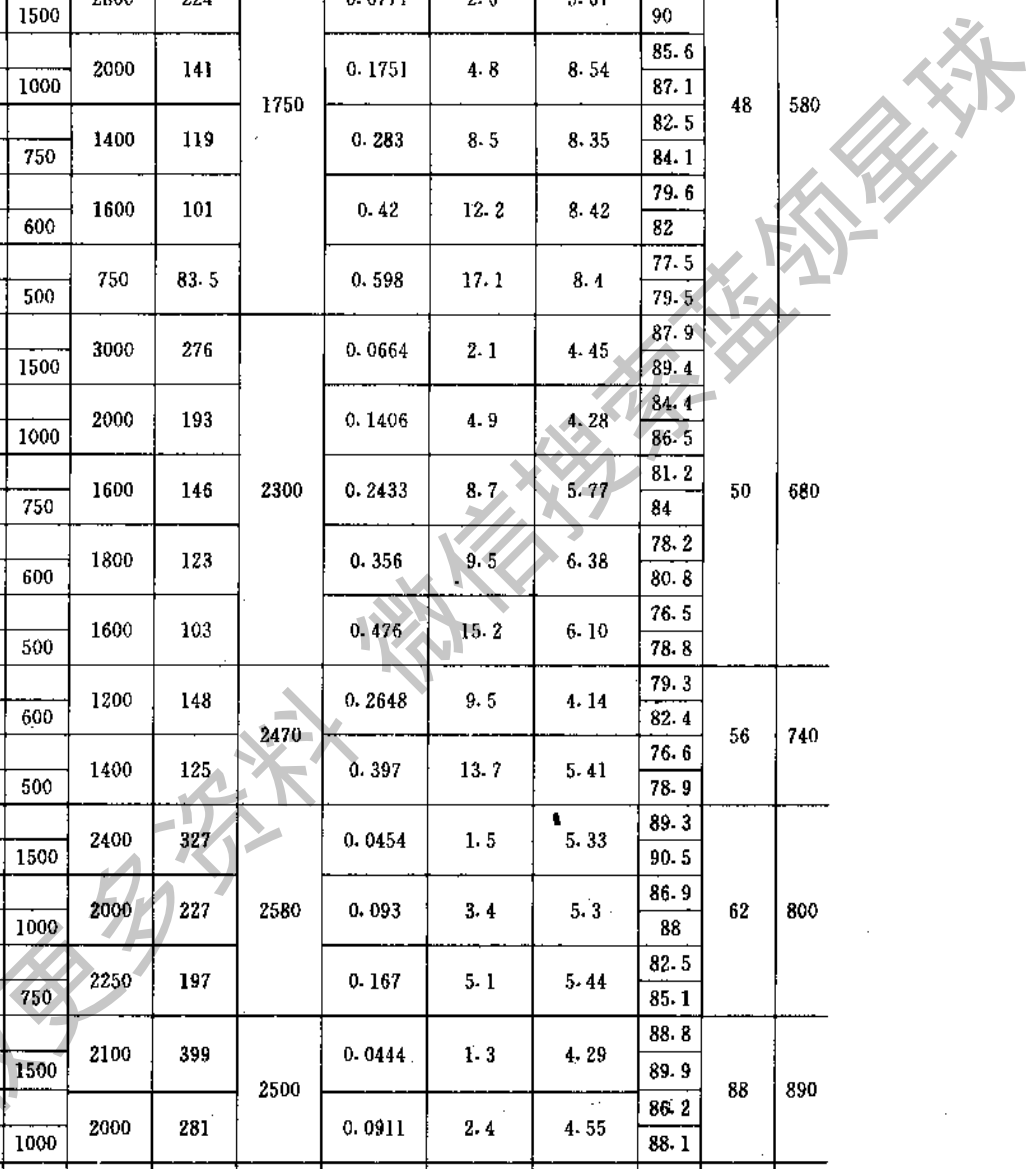
续表 29-175

型 号	额定 功率 kW	额定转速		弱磁 转速 r/min	电枢 电流 A	励磁 功率 W	电枢回路 电 阻 $\Omega$ (20℃)	电枢回路 电 感 mH	磁场 电感 H	效率 %	飞轮矩 $GD^2$ Nin <sup>2</sup>	质量 kg
		400V	440V									
		r/min										
Z4-160-31	32	49.5	2710	3500	137	1050	0.097	2.07	11	89.1	8.8	268
		55	3010							90.2		
	31	27	1350	3000	77.8		0.376	8.3	10	84.7		
			30							1500		
	31	19.5	900	2000	59.1		0.675	15.2	6.3	79.1		
			22							1000		
Z4-180-11	33	1350	3000	95.4	1200	0.29	5.8	7.1	84.7	15.2	326	
		37							1500			86.5
	21	16.5	670	1900		51.4	0.947	17.6	5.6			75.5
			18.5									750
	21	13	540	2000		42.4	1.264	25	5.6			73
			15									600
Z4 180-21	22	67	2710	3400	185	1400	0.0555	1.16	6.9	89.5	17.2	350
		75	3000							90.7		
	21	40.5	1350	2800	115		0.2125	4.65	6.6	85.8		
			45							1500		
	21	27	900	2000	78.78		0.419	9.3	7.3	82.2		
			30							1000		
	21	19.5	670	1400	60.3		0.756	15.7	7.1	77.3		
			22							750		
	21	16.5	540	1600	52		1.003	21.9	5	73.8		
			18.5							600		
Z4-180-31	33	900	2000	96.6	1500	0.332	7.7	6.6	82.8	19.2	380	
		37							1000			83.6
	21	19.5	540	1250		61.8	0.801	19	6.6			74.8
			22									600
Z4-180-41	42	81	2710	3200	221	1700	0.051	1.16	12	91	22	410
		90	3000							91.3		
	41	50	1350	3000	139		0.1417	3.2	5.7	87.5		
			55							1500		
	41	27	670	2250	79.5		0.459	10.4	6.3	80.4		
		30	750			81.1						
Z4-200-	12	99	2710	3000	271	1400	0.0373	0.83	7.62	90.2	36.8	485
		110	3000							91.6		
	11	40.5	900	2000	118		0.2653	8.4	7.01	83.4		
			45							1000		
	11	33	670	2000	99		0.369	10.6	7.77	80.9		
			37							750		
	11	19.5	450	1350	63.5		0.93	21.9	7.3	73.5		
			22							500		
Z4-200-	21	67	1350	3000	188	1500	0.0885	2.8	6.78	88.7	42	530
		75	1500							89.6		
	21	27	540	1000	82		0.535	14	9.64	78.8		
			30							600		

续表 29-175

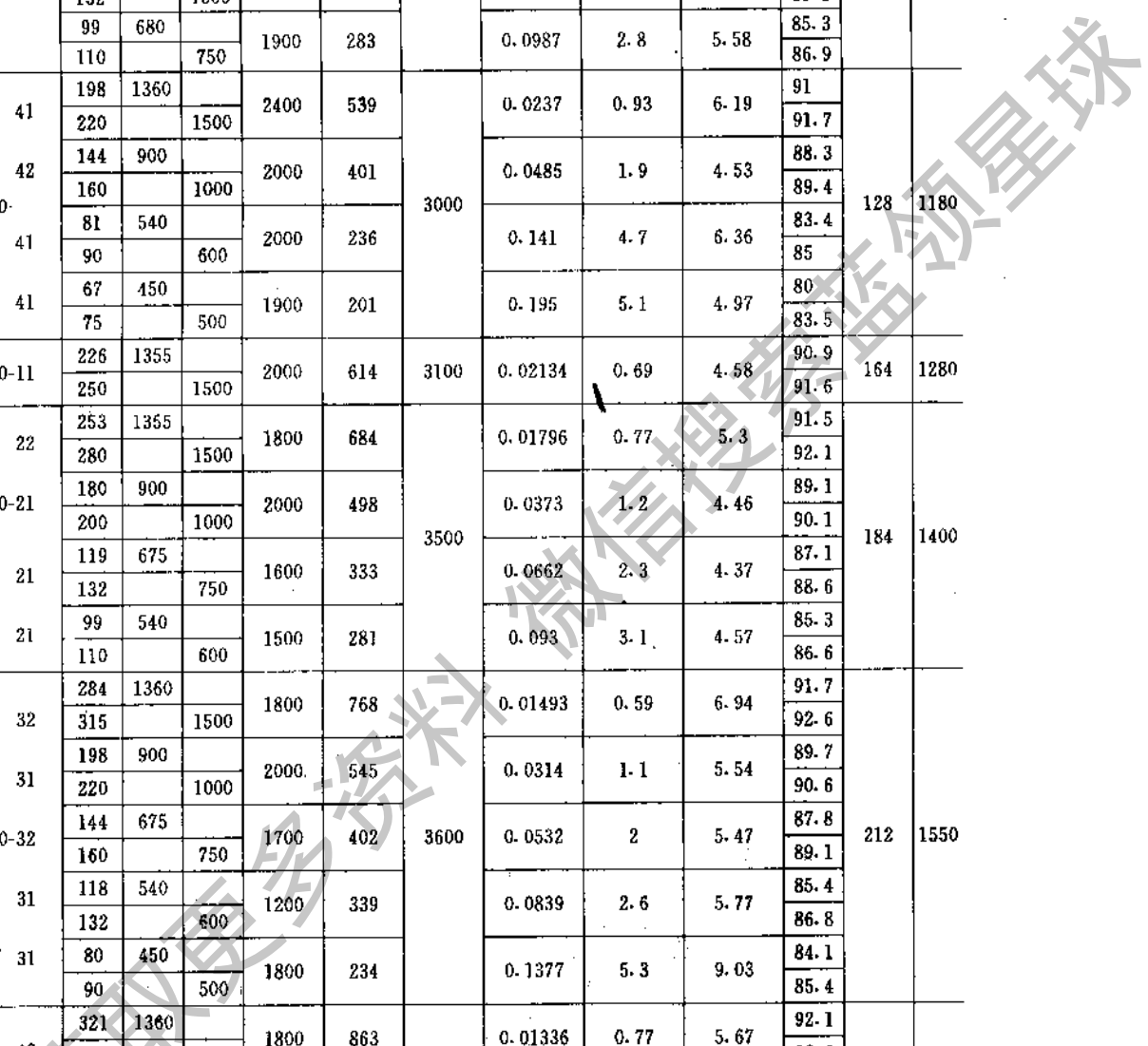
型 号	额定 功率 kW	额定转速		弱磁 转速 r/min	电枢 电流 A	励磁 功率 W	电枢回路 电 阻 $\Omega$ (20°C)	电枢回路 电 感 mH	磁场 电感 H	效率 %	飞轮矩 $GD^2$ Nm <sup>2</sup>	质量 kg
		400V	440V									
		r/min										
32	119	2710		3200	322	1750	0.0266	0.79	10.9	91.7	48	580
	132		3000							92.4		
31	81	1350		2800	224	1750	0.0771	2.6	5.61	88.7	48	580
	90		1500							90		
31	49.5	900		2000	141	1750	0.1751	4.8	8.54	85.6	48	580
	55		1000							87.1		
31	40.5	670		1400	119	1750	0.283	8.5	8.35	82.5	48	580
	45		750							84.1		
31	33	540		1600	101	1750	0.42	12.2	8.42	79.6	48	580
	37		600							82		
31	27	450		750	83.5	1750	0.598	17.1	8.4	77.5	48	580
	30		500							79.5		
99	1360		3000	276	2300	0.0664	2.1	4.45	4.45	87.9	50	680
	110									1500		
67	900		2000	193	2300	0.1406	4.9	4.28	4.28	84.4	50	680
	75									1000		
49	680		1600	146	2300	0.2433	8.7	5.77	5.77	81.2	50	680
	55									750		
40	540		1800	123	2300	0.356	9.5	6.38	6.38	78.2	50	680
	45									600		
33	450		1600	103	2300	0.476	15.2	6.10	6.10	76.5	50	680
	37									500		
49	540		1200	148	2470	0.2648	9.5	4.14	4.14	79.3	56	740
	55									600		
40	450		1400	125	2470	0.397	13.7	5.41	5.41	76.6	56	740
	45									500		
119	1360		2400	327	2580	0.0454	1.5	5.33	5.33	89.3	62	800
	132									1500		
81	900		2000	227	2580	0.093	3.4	5.3	5.3	86.9	62	800
	90									1000		
67	680		2250	197	2580	0.167	5.1	5.44	5.44	82.5	62	800
	75									750		
144	1360		2100	399	2500	0.0444	1.3	4.29	4.29	88.8	88	890
	160									1500		
99	900		2000	281	2500	0.0911	2.4	4.55	4.55	86.2	88	890
	110									1000		
167	1360		2200	459	2750	0.0325	0.91	4.28	4.28	89.8	100	970
	185									1500		
81	680		2250	234	2750	0.1306	3.9	5.41	5.41	84.3	100	970
	90									750		
67	540		2000	202	2750	0.198	4.4	4.4	4.4	80.5	100	970
	75									600		
49	450		1000	150	2750	0.294	7.9	5.44	5.44	78.4	100	970
	55									500		

提醒您：  
使用本产品  
请仔细阅读  
说明书  
有关知识产权！



型 号	额定功率		额定转速		弱磁 转速 r/min	电枢 电流 A	励磁 功率 W	电枢回路 电 阻 $\Omega$ (20℃)	电枢回路 电 感 mH	磁场 电感 H	效率 %	飞轮矩 $GD^2$ Nm <sup>2</sup>	质量 kg			
	kW	400V	r/min													
			440V													
Z4-250-31	180	1360			2400	493	2850	0.0281	0.87	5.32	90.4	112	1070			
	200		1500								91.5					
	119	900			2000	334					0.0668			1.7	5.46	87.4
	132		1000													89.1
	99	680			1900	283					0.0987			2.8	5.58	85.3
	110		750													86.9
Z4-250-41	198	1360			2400	539	3000	0.0237	0.93	6.19	91	128	1180			
	220		1500								91.7					
	144	900			2000	401					0.0485			1.9	4.53	88.3
	160		1000													89.4
	81	540			2000	236					0.141			4.7	6.36	83.4
	90		600													85
	67	450			1900	201					0.195			5.1	4.97	80
	75		500													83.5
Z4-280-11	226	1355			2000	614	3100	0.02134	0.69	4.58	90.9	164	1280			
	250		1500													91.6
Z4-280-21	253	1355			1800	684	3500	0.01796	0.77	5.3	91.5	184	1400			
	280		1500													92.1
	180	900			2000	498					0.0373			1.2	4.46	89.1
	200		1000													90.1
	119	675			1600	333					0.0662			2.3	4.37	87.1
	132		750													88.6
	99	540			1500	281					0.093			3.1	4.57	85.3
	110		600													86.6
Z4-280-32	284	1360			1800	768	3600	0.01493	0.59	6.94	91.7	212	1550			
	315		1500													92.6
	198	900			2000	545					0.0314			1.1	5.54	89.7
	220		1000													90.6
	144	675			1700	402					0.0532			2	5.47	87.8
	160		750													89.1
	118	540			1200	339					0.0839			2.6	5.77	85.4
	132		600													86.8
	80	450			1800	234					0.1377			5.3	9.03	84.1
	90		500													85.4
Z4-280-41	321	1360			1800	863	4000	0.01336	0.77	5.67	92.1	240	1700			
	355		1500													92.6
	225	900			1800	616					0.02545			0.96	5.29	90.2
	250		1000													91.1
	166	675			1900	464					0.0457			1.7	5.19	88.1
	185		750													89.4
	98	450			1200	282					0.0993			3.7	6.86	85.1
	110		500													86.9
Z4-315-12	253	900			1600	690	3850	0.02355	0.46	5.06	90.4	212	1890			
	280		1000													91.6
	180	680			1900	500					0.04371			0.83	4.97	88.4
	200		750													89.4

续表 29-175  
提醒您：  
超期未检产品  
请停止使用！







续表 29-175

型 号	额定功率 kW	额定转速 r/min		弱磁转速 r/min	电枢电流 A	励磁功率 W	电枢回路电阻 $\Omega$ (20℃)	电枢回路电感 mH	磁场电感 H	效率 %	飞轮矩 $GD^2$ $\text{Nm}^2$	质量 kg
		400V	440V									
Z4-355-32	406	680		1500	1098	6200	0.01362	0.39	19	91.3	520	3490
	450		750							92.1		
	320	540		1600	877		0.02153	0.7	24.3	89.9		
	355		600							91		
	284	450		1500	789		0.0293	0.91	18.5	88.3		
	315		500							89.5		
Z4-355-31	197	360		1200	559	0.04957	1.3	34.6	86.6			
	220		400						88.4			
Z4-355-32	361	540		1600	985	6700	0.01836	0.64	29.6	90.5	600	3840
	400		600							91.2		
	320	450		1600	882		0.02361	0.76	17.7	88.9		
	355		500							89.2		
	225	360		1200	627		0.0358	1.2	17.7	87.5		
	250		400							88.8		

注：表中数据系上海南洋电机厂提供。

表 29-176 Z4 系列安装型式及使用范围

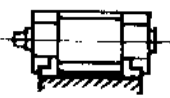
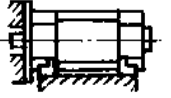

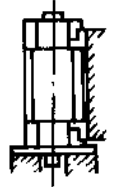
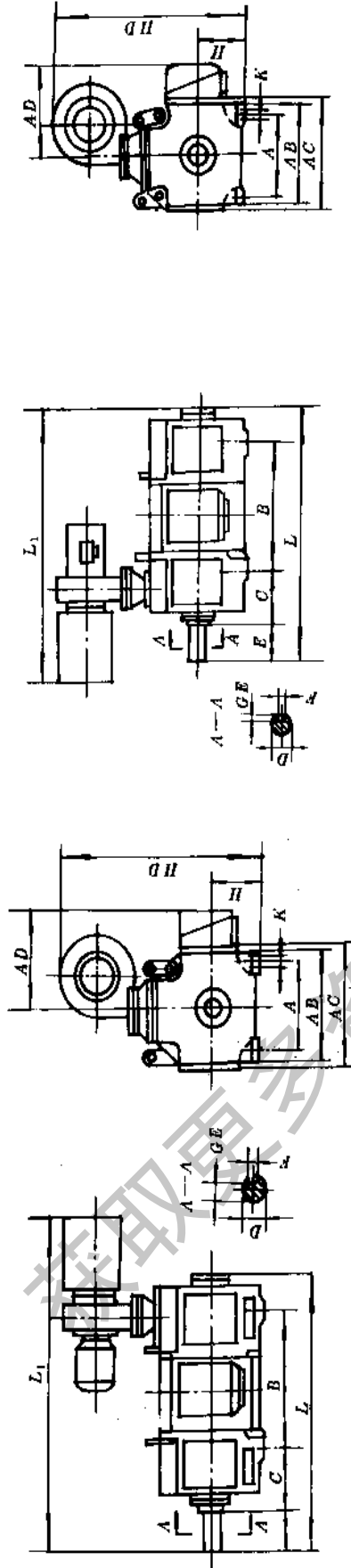
安装型式				
	IMB3	IMB35	IMV1	IMV35
使用范围	Z4-100~Z4-355	Z4-100~Z4-315	Z4-100~Z4-315	Z4-100~Z4-315

表 29-177 冷却风量、风压及风机电动机功率

机座号	风量 $\text{m}^3/\text{h}$	静压 $\text{mmH}_2\text{O}$	风机电动机功率 kW
Z4-100	160	20	0.04
Z4-112	220	30	0.06
Z4-132	360	45	0.18
Z4-160	790	60	0.37
Z4-180	1200	94	1.1
Z4-200	1600	80	1.1
Z4-225	2880	140	3.0
Z4-250	3000	140	3.0
Z4-280	4000	160	4.0
Z4-315	4680	160	5.5
Z4-355	5200	160	5.5

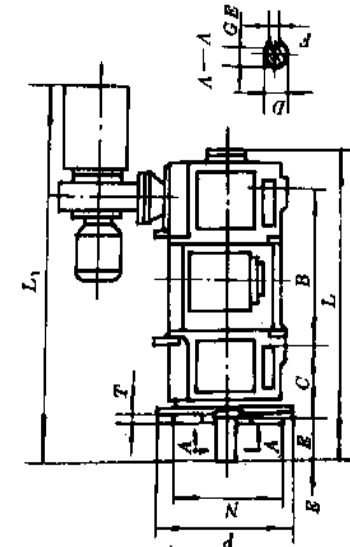
注：风机电动机均为三相二极 380V。

表 29-178 安装及外形尺寸



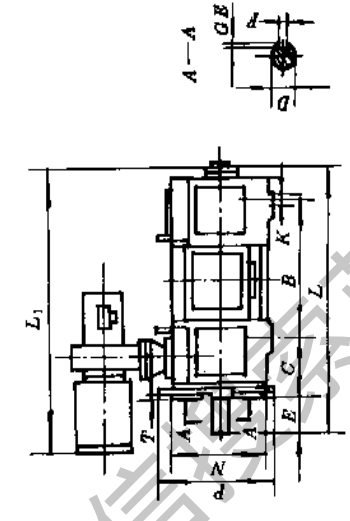
Z4-100~Z4-160

卧式, 机座带底脚

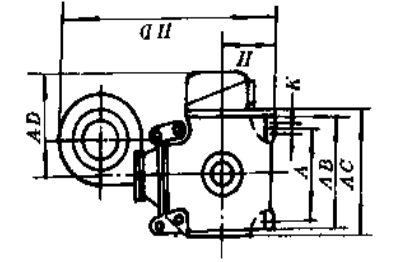


Z4-100~Z4-160

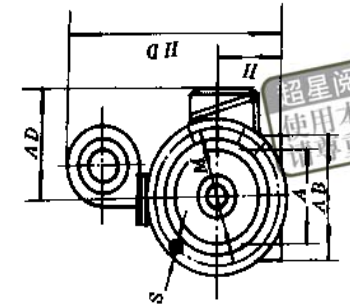
卧式, 机座带底脚, 端盖有凸缘



Z4-180~Z4-315



Z4-180~Z4-355



超星浏览器提醒:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

蓝领星球

续表 29-178

型号	A	B	C	D	E	F	GE	H	K	M	N	S	Holes	T	P	AB	AC	AD	HD	L	L1
Z4-100-1	160	318	63	24	50	8	4(5.5)	100	12	215	180	15	4	4	250	197	234	179	398	500	580
Z4-112/2-1	190	337	70	28	60	8	4	112	12	215	180	15	4	4	250	221	255	202	452	544	612
Z4-112/2-2	190	347	70	32	80	10	5	112	12	215	180	15	4	4	250	221	255	202	452	573	642
Z4-112/4-1	190	387	70	32	80	10	5	112	12	215	180	15	4	4	250	221	255	202	452	613	682
Z4-112/4-2	190	387	70	32	80	10	5	112	12	215	180	15	4	4	250	221	255	202	452	613	682
Z4-132-1	216	405	89	38	80	10	5	132	12	265	230	15	4	4	300	260	295	240	527	619	814(864)
Z4-132-2	216	405	89	38	80	10	5	132	12	265	230	15	4	4	300	260	295	240	527	619	814(864)
Z4-132-3	216	465	89	38	80	10	5	132	12	265	230	15	4	4	300	260	295	240	527	619	814(864)
Z4-160-11	254	476	108	48	110	14	5.5	160	15	300	250	19	4	5	350	316	346	283	625	744	953
Z4-160-12	254	476	108	48	110	14	5.5	160	15	300	250	19	4	5	350	316	346	283	625	744	953
Z4-160-21	254	451	108	48	110	14	5.5	160	15	300	250	19	4	5	350	316	346	283	625	784	993
Z4-160-22	254	516	108	48	110	14	5.5	160	15	300	250	19	4	5	350	316	346	283	625	784	993
Z4-160-31	279	501	121	55	110	16	6	180	15	350	300	19	4	5	400	356	390	305	731	849	1026
Z4-160-32	279	566	121	55	110	16	6	180	15	350	300	19	4	5	400	356	390	305	731	834	1043
Z4-180-11	318	436	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	899	1076
Z4-180-12	318	501	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	792	1022
Z4-180-21	318	476	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	859	1087
Z4-180-22	318	541	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	834	1062
Z4-180-31	318	526	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	899	1127
Z4-180-32	318	591	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	884	1112
Z4-180-41	318	586	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	949	1177
Z4-180-42	318	651	138	65	140	18	7	200	19	400	350	19	8	5	450	396	430	355	779	944	1172
Z4-200-11	356	566	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1009	1237
Z4-200-12	356	614	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	977	1158
Z4-200-21	356	606	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1025	1206
Z4-200-22	356	654	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1017	1198
Z4-200-31	356	686	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1065	1246
Z4-200-32	356	734	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1097	1278
Z4-225-11	356	701	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1145	1326
Z4-225-12	356	761	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1140	1605
Z4-225-21	356	751	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1200	1665
Z4-225-22	356	811	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1190	1665
Z4-225-31	356	811	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1250	1715
Z4-225-32	356	871	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1250	1715
Z4-225-32	356	871	149	75	140	20	7.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	474	398	981	1310	1775

续表 29-178

型号	A	B	C	D	E	F	GE	H	K	M	N	S	Holes	T	P	AB	AC	AD	HD	L	L1
Z4-250-11	715																			1225	1657
Z4-250-12	775																			1285	1717
Z4-250-21	765																			1275	1707
Z4-250-22	825																			1335	1767
Z4-250-31	825	406	168	85	170	22	9	250	24	600	550	24	8	6	660	490	524	432	1031	1335	1767
Z4-250-32	885																			1395	1827
Z4-250-41	895																			1405	1837
Z4-250-42	955																			1465	1897
Z4-280-11	762																			1315	1748
Z4-280-12	852																			1405	1838
Z4-280-21	822																			1375	1808
Z4-280-22	912																			1465	1898
Z4-280-31	892	457	190	95	170	25	9	280	24	600	550	24	8	6	660	550	584	462	1140	1455	1878
Z4-280-32	962																			1535	1968
Z4-280-41	972																			1525	1958
Z4-280-42	1062																			1615	2048
Z4-315-11	887																			1532(1512)	1897
Z4-315-12	977																			1622	1987
Z4-315-21	967																			1612	1977
Z4-315-22	1057																			1702	2067
Z4-315-31	1057	508	216	100	210	28	10	315	28	740	680	24	3	6	800	620	654	497	1221	1702	2067
Z4-315-32	1147																			1792	2157
Z4-315-41	1157																			1802	2167
Z4-315-42	1247																			1892	2257
Z4-355-11	968																			1689	2010
Z4-355-12	1058																			1770	2100
Z4-355-21	1058																			1779	2100
Z4-355-22	1148																			1865	2190
Z4-355-31	1158	610	254	116	210	28	10	355	28	700	640	24	3	6	800	700	734	700	1879	2200	
Z4-355-32	1248																			1869	2290
Z4-355-41	1268																			1989	2310
Z4-355-42	1368																			2079	2400

注：1. 所有型号均可带南洋电机厂出品的ZY.S-A. 普通调速发电机，此时电机长度尺寸L要增300mm。

2. 圆括号内的尺寸只适用于端盖有凸缘的型式。

3. ZZJ-800系列电机为直流电动机。

提醒您：  
星领星球  
用本复制品  
请尊重知识产权！

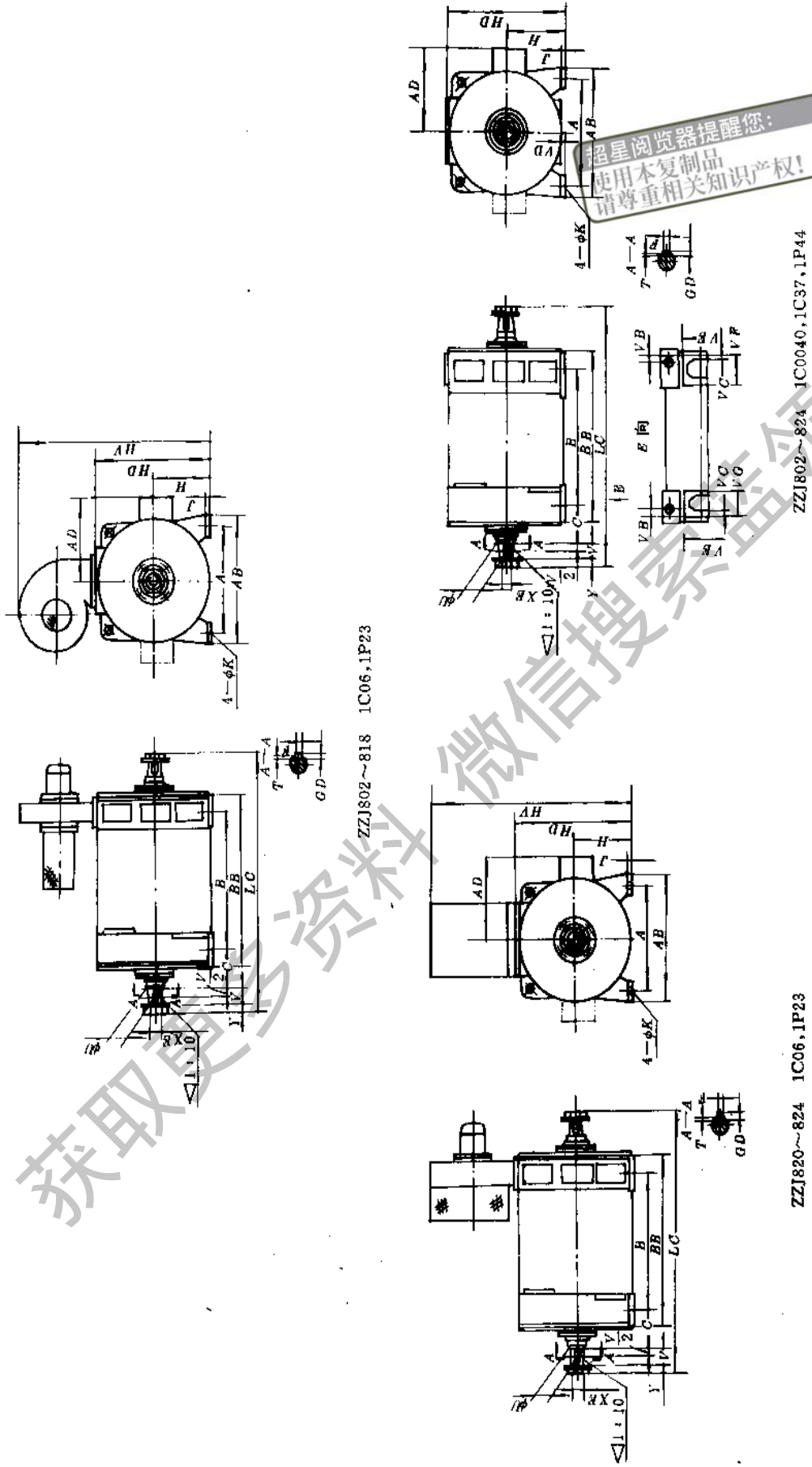
获取更多资料 微信搜索 星领星球

表 29-179 ZZJ 系列技术数据

机座号	外通风式连续工作制(S1)或全封闭式短时间工作制(S2)1h 定额		全封闭式串励短时工作制(S2)30min 定额		全封闭式断续周期性工作制(S3)负载持续率 S3=30%				外通风式连续定额时空气流量		最大堵转转矩 N·m			最大运行转矩 N·m			转动惯量 I kg·m <sup>2</sup> /r/min	最大安全转速	质量 kg
	功率 kW	额定电压 U <sub>N</sub> /min	串励 复励 并励	额定电压 U <sub>N</sub> /min	功率 kW	串励		复励		m <sup>3</sup> /s	串励 复励 并励	串励 复励 并励	串励 复励 并励	串励 复励 并励	串励 复励 并励				
						功率 kW	转速 r/min	功率 kW	转速 r/min							功率 kW			
802A	3.75	1025	1025	1025	5	4.1	840	3.75	1080	0.052	108	157	126	158	123	102	0.125	3600	245
802B	5.6	900	900	900	7.5	6	780	5.6	950	0.052	330	276	216	258	210	177	0.188	3600	260
802C	7.5	800	900	900	10	7.5	800	7.1	940	0.076	450	360	237	360	280	220	0.188	3600	260
803	11.2	725	800	800	14.1	11.2	725	10.8	840	0.094	740	610	400	600	470	360	0.45	3300	390
804	15	650	725	725	19.5	15	650	13.8	775	0.12	1100	880	590	880	680	530	0.75	3000	550
806	22.4	575	650	650	29	22.4	575	21.2	690	0.16	1870	1500	980	1490	1170	880	1.4	2500	770
808	37.3	525	575	575	48.5	30	570	28	625	0.2	3400	2800	1860	2700	2150	1650	2.15	2300	1200
810	52	500	550	550	67	45	550	39	615	0.25	5000	4000	2700	4000	3100	2450	3.15	2200	1400
812	75	475	515	515	100	63.5	525	56	580	0.35	7450	6250	4150	6000	4900	3750	5.75	1900	1700
816	150	450	480	480	200	112	500	104	540	0.57	16000	13300	8900	12600	10400	8000	14.5	1600	2785
818	186	740	435	435	248	138	485	123	490	0.75	21700	18400	12300	17400	14400	11000	22	1500	3700
820	280	370	390	390						1.7	36100	30850	20570	28900	24000	18500	52.5	1300	4800
822	370	340	360	360						2.1	51960	44160	29440	41570	34350	26500	92.5	1200	6300
824	500	320	340	340						2.6	74600	63200	42100	59700	49100	37600	160	1100	8200

注: 1. 802 机座号有三种规格, 电动机安装尺寸相同, 但电磁设计不同。2. 820、822、824 机座号为试制产品规格; 3. 为获得调速电动机的调速范围, 允许带少量串激绕组。4. 本系列任何一种规格电机的电压, 可制成 220V 或 440V, 但他励、并励电压均为 220V。断续周期性工作制(S3)指在周期 5min 内负载时间 1.5min, 不通电时间 3.5min。但他、并励磁场线圈连续通; 5. 全封闭小时工作制和 30min 工作制(S2)在负载卸去时各种线圈都不通电; 6. 最大安全转速为电动机在机械上能安全运行的最大转速; 7. 表中数据系上海电机厂提供, 提供资料的单位还有上海南洋电机厂、重庆电机厂、大连电机厂等。

表 29-180 安装及外形尺寸





续表 29-180

· 917 ·  
超星网提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

型 号	主要尺寸				底脚尺寸						轴伸尺寸						风道凸缘尺寸						接线盒尺寸	电线总高	
	H	LC	C	HD	A	B	AB	BB	K	J	U	V	Y	XE	GD	F	T	VB	VC	VD	VE	VF			VG
ZZJ-802	193.5	831	96	400	318	419	381	521	22	20	45	82	28	M30×2	8	12	5	22	10	10	184	121	56	320	690
ZZJ-803	215.8	932	127.5	444	356	457	432	597	22	20	50	82	28	M36×3	8	12	5	44	13	10	216	127	83	335	740
ZZJ-804	228.5	983	140	470	381	483	457	648	22	20	50	82	28	M36×3	8	12	5	57	13	10	229	140	70	355	760
ZZJ-806	254	1073	130	521	419	533	508	698	26	25	65	105	35	M42×3	10	16	6	54	13	19	260	152	86	385	810
ZZJ-808	285.5	1200	145.5	584	476	629	578	794	33	35	75	105	35	M48×3	11	18	4	51	13	19	292	165	89	425	940
ZZJ-810	311	1274	177	635	521	660	622	826	33	35	85	90	40	M56×4	12	20	7.5	54	13	19	305	178	92	460	990
ZZJ-812	339.5	1388	202	692	572	724	686	914	33	35	95	90	40	M64×4	14	22	9	64	16	19	349	210	124	495	1050
ZZJ-814	374.5	1538	197.5	782	635	813	762	1054	39	35	110	120	45	M80×4	14	25	9	86	16	19	387	235	140	535	1120
ZZJ-816	406.2	1703	242	829	686	889	826	1187	39	40	120	120	45	M90×4	16	28	10	114	25	19	406	279	168	580	1260
ZZJ-818	450.8	1795	212	918	762	991	914	1264	45	45	130	150	40	M100×4	16	28	10	98	25	19	457	305	181	625	1350
ZZJ-820	530.2	1980	230	1076	916	1120	1055	1320	52	50	150	150	50	M110×4	18	32	11	95	25	22	558	195	180	745	1590
ZZJ-822	584.2	2192	201	1184	1016	1310	1155	1575	52	50	160	180	60	M125×4	20	36	12	95	25	22	775	202	185	810	2000
ZZJ-824	609.5	2444	272	1235	1070	1420	1205	1728	52	50	180	180	60	M145×6	22	40	13	95	25	22	812	240	220	870	2130

超星网提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## (4) ZKG 系列中型直流电动机

表 29-181 技术数据

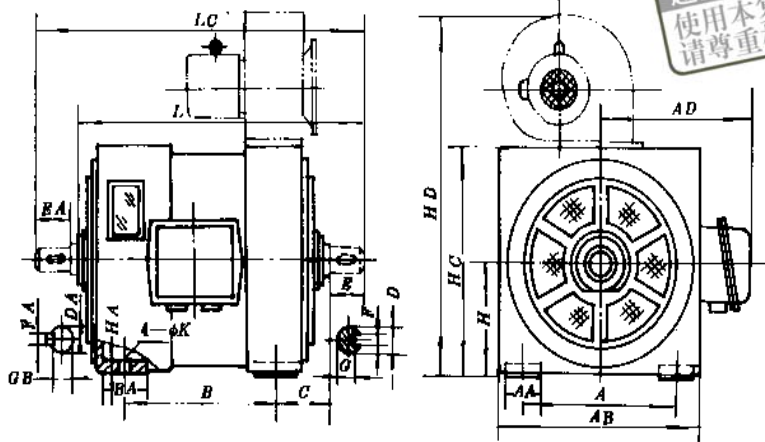
型 号	功率 kW	电压 V	电流 A	转 速 基速/高速 r/min	过 载 倍 数		效率 %	励磁 功率 kW	转动惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	风量 m <sup>3</sup> /s	风压 kPa	质量 kg
					工 作 基速/高速	切 断 基速/高速						
ZKG-121-1B	55	220	299	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	83.5	2.7	40.6	0.72	0.43	2940
ZKG-121-1B	75	220	398	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	85.5	2.7	43.4	0.83	0.53	2940
ZKG-121-1B	100	220	526	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	86.5	2.8	43.4	0.97	0.67	2940
ZKG-121-1B	100	440	260	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.5	2.7	40.6	0.89	0.59	2960
ZKG-122-1B	75	220	398	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	85.5	2.6	50.2	0.89	0.59	3230
ZKG-122-1B	100	220	526	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	86.5	3.3	50.2	1.04	0.76	3230
ZKG-122-1B	100	440	260	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.5	3.1	47.4	0.96	0.66	3230
ZKG-122-2B	125	220	640	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.9	3.4	55	0.98	0.69	3400
ZKG-122-1B	125	440	321	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.5	3.3	47.4	0.99	0.70	3190
ZKG-123-1B	100	220	532	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	85.5	3.3	57.8	1.13	0.87	3590
ZKG-123-1B	100	440	263	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	86.5	3.1	55	1.04	0.75	3610
ZKG-123-2B	125	220	650	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.5	3.8	60.6	1.1	0.84	3720
ZKG-123-1B	125	440	323	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88	3.2	55	1.08	0.79	3580
ZKG-123-2B	160	220	818	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	89	3.3	60.6	1.21	0.97	3720
ZKG-123-1B	160	440	407	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	89.3	3.5	57.8	1.15	0.89	3580
ZKG-131-2B	125	220	661	380/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	85.5	3.5	98.9	1.28	0.73	4780
ZKG-131-1B	125	440	326	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	86.2	3.1	93.6	1.19	0.65	5030
ZKG-131-2B	160	220	832	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.5	3.6	98.9	1.35	0.79	4760
ZKG-131-1B	160	440	413	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88	3.7	93.6	1.26	0.71	5030
ZKG-131-2B	200	220	1020	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	89	3.5	102.5	1.51	0.96	4800
ZKG-131-1B	200	440	500	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	90	3.6	95.2	1.39	0.85	4710
ZKG-132-2B	160	220	827	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87	3.8	113.1	1.49	0.94	5280
ZKG-132-1B	160	440	410	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.5	3.8	107.6	1.4	0.84	5090
ZKG-132-2B	200	220	1020	400/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	89	4.0	116.7	1.52	0.97	5230
ZKG-132-1B	200	440	508	400/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	89.5	4.0	109.4	1.44	0.89	5210
ZKG-132-2B	250	220	1260	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	90.2	4.0	116.7	1.67	1.14	5270
ZKG-132-2B	250	440	625	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	91	4.1	113.1	1.46	0.91	5280
ZKG-151-1B	200	220	1050	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	86.5	4.0	296.9	1.8	0.64	6620

续表 29-181

型 号	功率 kW	电压 V	电流 A	转 速 基速/高速 r/min	过 载 倍 数		效率 %	励磁 功率 kW	转动惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	风量 m <sup>3</sup> /s	风压 kPa	质量 kg
					工 作 基速/高速	切 断 基速/高速						
ZKG-151-1B	250	220	1270	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89.5	4.5	318	1.88	0.69	6720
ZKG-151-1B	250	330	850	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89.2	4.5	297	1.77	0.67	6590
ZKG-151-1B	320	220	1615	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90	4.9	318	2.05	0.80	6700
ZKG-151-1B	320	440	805	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.4	5.1	297	1.86	0.68	6600
ZKG-152-1B	250	220	1275	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89	4.6	358	2.07	0.81	7620
ZKG-152-1B	250	330	850	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89.2	4.3	337.3	1.93	0.72	7260
ZKG-152-1B	320	220	1616	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90	5.6	358	2.11	0.84	7370
ZKG-152-1B	320	440	800	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91	5.7	337.3	1.93	0.72	7250
ZKG-152-1B	400	330	1332	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91	4.4	358	2.36	1.01	7380
ZKG-152-1B	400	440	1000	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91	4.6	337.3	2.15	0.87	7250
ZKG-153-1B	320	220	1617	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90	6.0	402.8	2.33	1.00	8110
ZKG-153-1B	320	440	804	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.5	6.0	381.9	2.15	0.96	8010
ZKG-153-1B	400	330	1330	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.2	5.5	402.8	2.43	1.06	8140
ZKG-153-1B	400	440	1000	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91	5.5	381.9	2.43	1.06	8040
ZKG-153-1B	500	330	1650	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.8	5.1	402.8	2.47	1.10	8140
ZKG-153-1B	500	660	824	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92	5.9	381.9	2.43	1.07	8030
ZKG-172-1B	400	330	1345	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.2	6.7	1038	3.03	0.82	9970
ZKG-172-1B	400	440	1006	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.4	6.3	1028	2.8	0.68	10000
ZKG-172-1B	500	330	1670	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.7	4.7	1058	2.23	0.87	9940
ZKG-172-1B	500	440	1246	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.2	6.5	1038	3.17	0.85	9990
ZKG-172-1B	630	330	2085	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.5	5.6	1058	3.58	1.05	10030
ZKG-172-1B	630	660	1038	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92	5.9	1028	3.39	0.95	10010
ZKG-173-1B	500	440	1250	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91	7.2	1164	3.25	0.87	10090
ZKG-173-1B	630	660	1035	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.2	6.8	1154	3.38	0.95	11010
ZKG-173-1B	800	660	1310	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.5	6.8	1164	3.9	1.22	11000
ZKG-174-1B	630	660	1042	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.5	9.8	1286	3.59	1.00	12250
ZKG-174-1B	800	660	1310	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.5	10	1296	4.07	1.31	12240
ZKG-174-1B	1000	660	1638	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.5	7.8	1316	4.4	1.51	12220

注：表中技术数据系大连电机厂提供。

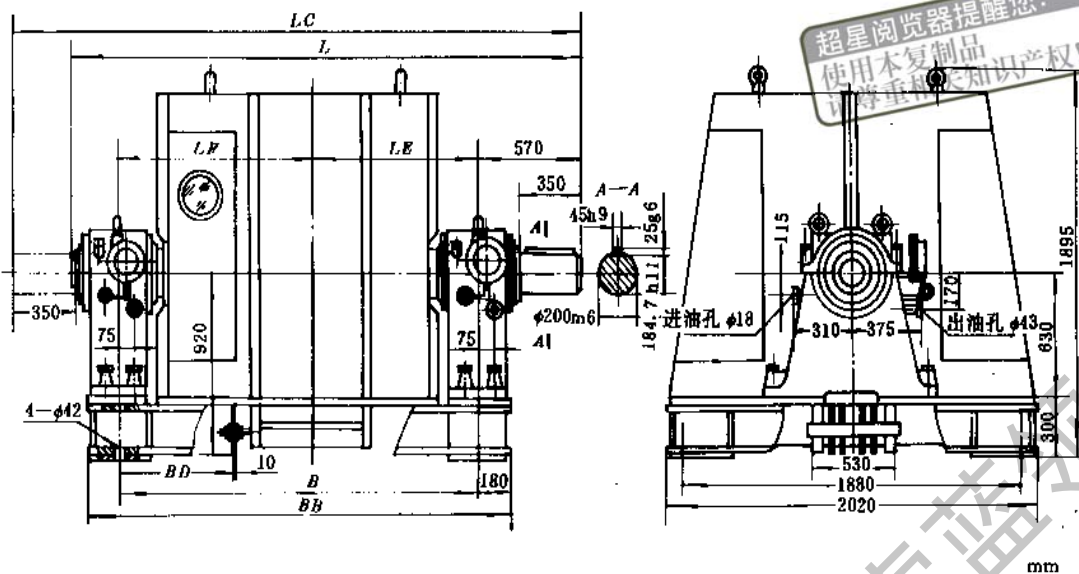
表 29-182 安装及外形尺寸



型 号	A	AA	AB	AD	B	BA	C	D	DA	E	EA	F	FA	G	GB	H	HA	HC	HD	K	L	IC
ZKG-121-1B	800	170	990	710	750	220	260	φ95	φ95	170	170	28	28	84.7	84.7	500	50	995	1560	φ35	1406	1600
ZKG-122-1B	800	170	990	710	810	220	260	φ95	φ95	170	170	28	28	84.7	84.7	500	50	995	1560	φ35	1476	1670
ZKG-122-2B	800	170	990	710	960	220	260	φ95	φ95	170	170	28	28	84.7	84.7	500	50	995	1560	φ35	1624	1818
ZKG-123-1B	800	170	990	710	885	220	260	φ95	φ95	170	170	28	28	84.7	84.7	500	50	995	1560	φ35	1551	1745
ZKG-123-2B	800	170	990	710	1035	220	260	φ95	φ95	170	170	28	28	84.7	84.7	500	50	995	1560	φ35	1699	1893
ZKG-131-1B	840	200	1220	820	950	220	265	φ110	φ110	210	210	32	32	98.5	98.5	630	60	1240	1800	φ35	1666	1900
ZKG-131-2B	840	200	1220	820	1100	220	265	φ110	φ110	210	210	32	32	98.5	98.5	630	60	1240	1800	φ35	1814	2048
ZKG-132-1B	840	200	1220	820	1030	220	265	φ110	φ110	210	210	32	32	98.5	98.5	630	60	1240	1800	φ35	1746	1980
ZKG-132-2B	840	200	1220	820	1180	220	265	φ110	φ110	210	210	32	32	98.5	98.5	630	60	1240	1800	φ35	1894	2128
ZKG-151-1B	1100	230	1400	910	1045	260	290	φ150	φ120	250	210	40	32	136.5	108.5	710	65	1410	2075	φ35	1842	2080
ZKG-152-1B	1100	230	1400	910	1120	260	290	φ150	φ120	250	210	40	32	136.5	108.5	710	65	1410	2075	φ35	1917	2155
ZKG-153-1B	1100	230	1400	910	1205	260	290	φ150	φ120	250	210	40	32	136.5	108.5	710	65	1410	2075	φ35	2002	2240

mm

表 29-183. 安 装 及 外 形 尺 寸



型 号	B	BB	BD	L	LC	LE	LF
ZKG-172-1B	1970	2330	630	2770	3110	910	1060
ZKG-173-1B	2050	2410	625	2850	3190	950	1100
ZKG-174-1B	2135	2495	620.5	2935	3275	992.5	1142.5

(5) ZDU 系列中型直流电动机

表 29-184 无补偿变速电动机技术数据

型 号	功 率 kW	电 压 V	电 流 A	转 速 r/min	过 载 倍 数	效 率 %	转 动 惯 量 I kg·m <sup>2</sup>	质 量 kg
ZDU-112-B	75	220	381	500/1200	1.5	89.5	6.18	1700
ZDU-112-B	100	220	506	600/1200	1.5	90.0	6.45	1700
ZDU-112-B	125	220	624	750/1500	1.5	91.0	6.45	1700
ZDU-112-B	160	220	795	1000/1500	1.5	92.3	6.45	1700

注: 1. 无补偿电动机之过载倍数系指基速时之过载, 高速时不作规定;

2. 表中数据系上海电机厂提供。

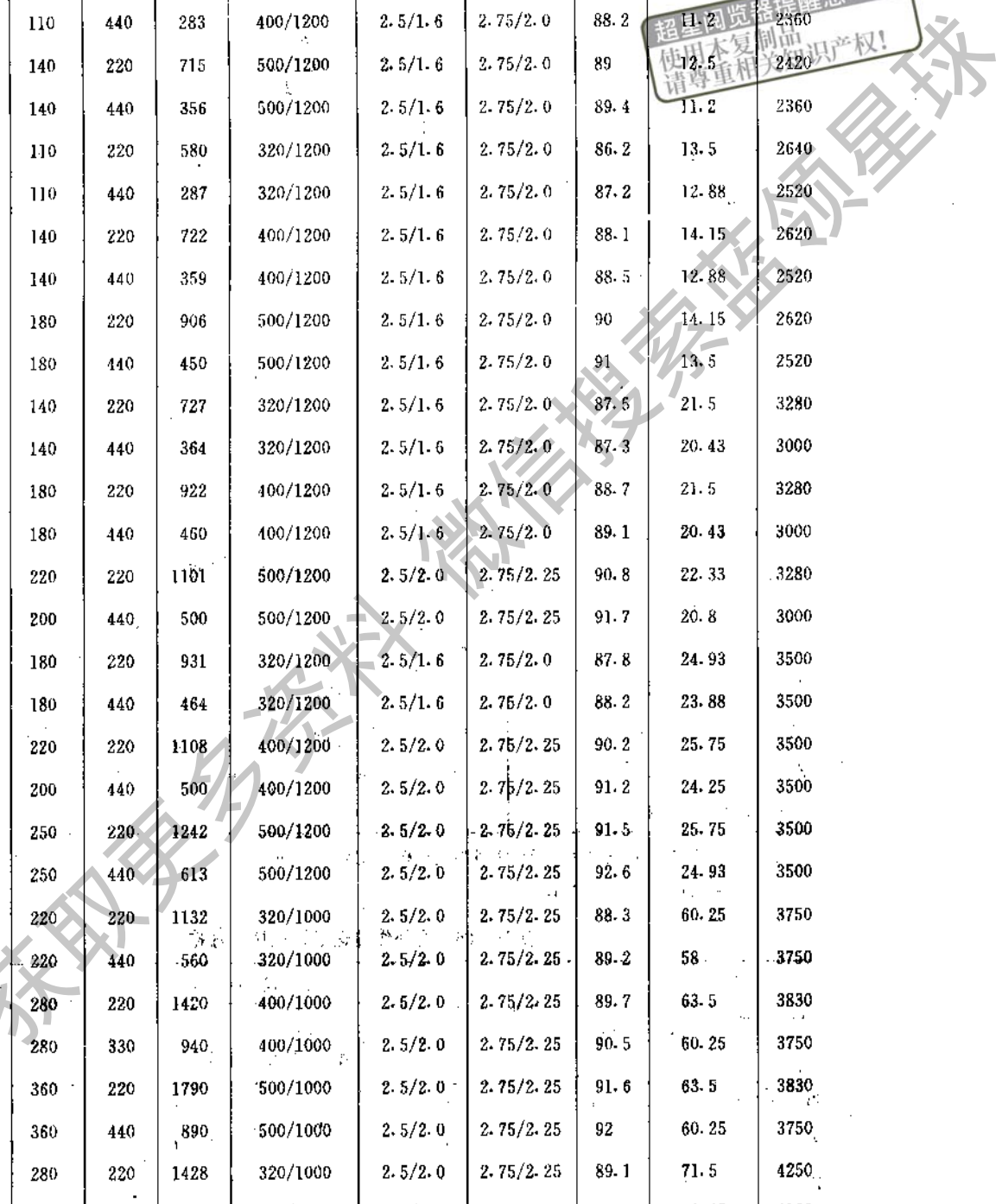
表 29-185 有补偿变速电动机技术数据

型 号	功 率 kW	电 压 V	电 流 A	转 速 r/min	过 载 倍 数		效 率 %	转 动 惯 量 I kg·m <sup>2</sup>	质 量 kg
					工 作 基速/高速	切 断 基速/高速			
ZDU-121-1B	60	220	325	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	83.9	9.98	1930
ZDU-121-1B	85	220	448	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	86.3	10.65	2050
ZDU-121-1B	110	220	567	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.1	10.65	2050
ZDU-121-1B	110	440	281	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	89	9.98	1930

续表 29-185

型 号	功 率 kW	电 压 V	电 流 A	转 速 r/min	过 载 倍 数		效 率 %	转动惯量 J kg·m <sup>2</sup>	质 量 kg
					工 作 基速/高速	切 断 基速/高速			
ZDU 122-1B	85	220	453	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	85.2	11.83	2360
ZDU-122-1B	110	220	572	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.3	11.83	2360
ZDU-122-1B	110	440	283	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.2	11.2	2360
ZDU-122-2B	140	220	715	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	89	12.5	2420
ZDU-122-1B	140	440	356	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	89.4	11.2	2360
ZDU-123-1B	110	220	580	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	86.2	13.5	2640
ZDU-123-1B	110	440	287	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.2	12.88	2520
ZDU-123-2B	140	220	722	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.1	14.15	2620
ZDU-123-1B	140	440	359	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.5	12.88	2520
ZDU-123-2B	180	220	906	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	90	14.15	2620
ZDU-123-1B	180	440	450	500/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	91	13.5	2520
ZDU 131 2B	140	220	727	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.5	21.5	3280
ZDU-131-1B	140	440	364	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.3	20.43	3000
ZDU-131-2B	180	220	922	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.7	21.5	3280
ZDU 131-1B	180	440	460	400/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	89.1	20.43	3000
ZDU-131-2B	220	220	1101	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	90.8	22.33	3280
ZDU-131-1B	200	440	500	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	91.7	20.8	3000
ZDU-132-2B	180	220	931	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	87.8	24.93	3500
ZDU-132-1B	180	440	464	320/1200	2.5/1.6	2.75/2.0	88.2	23.88	3500
ZDU-132-2B	220	220	1108	400/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	90.2	25.75	3500
ZDU-132-1B	200	440	500	400/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	91.2	24.25	3500
ZDU-132-2B	250	220	1242	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	91.5	25.75	3500
ZDU-132-2B	250	440	613	500/1200	2.5/2.0	2.75/2.25	92.6	24.93	3500
ZDU-151-1B	220	220	1132	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	88.3	60.25	3750
ZDU-151-1B	220	440	560	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89.2	58	3750
ZDU-151-1B	280	220	1420	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89.7	63.5	3830
ZDU-151-1B	280	330	940	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.5	60.25	3750
ZDU-151-1B	360	220	1790	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.6	63.5	3830
ZDU-151-1B	360	440	890	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92	60.25	3750
ZDU-152-1B	280	220	1428	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89.1	71.5	4250
ZDU 152-1B	280	330	944	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	89.9	68.25	4180

超星网提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重知识产权！



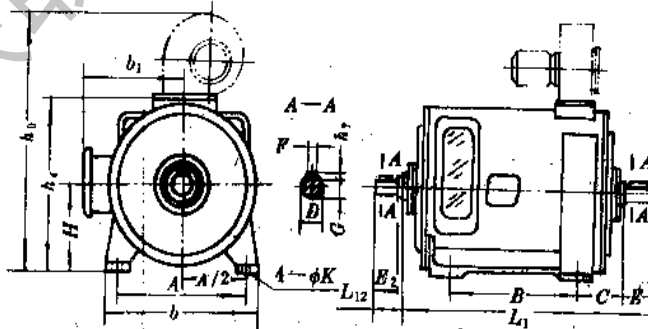


续表 29-185

型 号	功 率 kW	电 压 V	电 流 A	转 速 r/min	过 载 倍 数		效 率 %	转 动 惯 量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	质 量 kg
					工 作 基速/高速	切 断 基速/高速			
ZDU-152-1B	360	220	1791	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.3	71.5	4250
ZDU 152-1B	360	440	891	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.8	68.25	4180
ZDU-152-1B	440	330	1451	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.9	71.25	4250
ZDU-152-1B	440	440	1080	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.5	68.25	4180
ZDU-153-1B	360	220	1805	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.6	81.5	4780
ZDU-153-1B	360	440	896	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.3	78.25	4680
ZDU-153-1B	440	330	1458	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.4	81.5	4780
ZDU-153-1B	440	440	1085	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.1	78.25	4680
ZDU-153-1B	500	330	1630	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	93.2	81.5	4780
ZDU-153-1B	550	660	889	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	93.7	78.25	4680
ZDU-172-1B	400	330	1347	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90	174.25	8500
ZDU-172-1B	440	440	1100	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	90.9	172.5	8500
ZDU 172-1B	500	330	1660	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.7	178	8500
ZDU 172-1B	550	440	1361	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.8	174.25	8500
ZDU-172-1B	630	330	2080	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.7	178	8500
ZDU 172-1B	630	660	1030	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	93.2	172.5	8500
ZDU-173-1B	550	440	1370	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	91.5	192.75	9500
ZDU-173-1B	630	660	1030	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	93.0	191.25	9500
ZDU-173-1B	850	660	1378	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	93.3	192.75	9500
ZDU-174-1B	630	660	1030	320/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	92.7	224.75	10500
ZDU-174-1B	850	660	1379	400/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	93.3	226.5	10500
ZDU-174-1B	1000	660	1610	500/1000	2.5/2.0	2.75/2.25	94.2	230.25	10500

注：表中数据系上海电机厂提供。

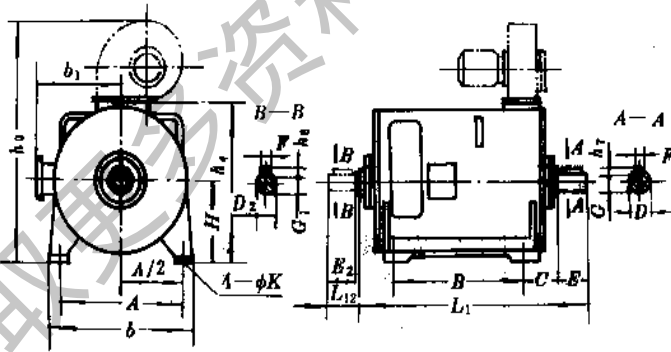
表 29-186 安 装 及 外 形 尺 寸



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！  
续表 29-186

mm																	
型 号	A	A/2	B	H	K	C	E	D	F	$h_1$	G	$l_1$	$l_{12}$	b	$b_1$	$h_4$	$h_0$
ZDU-111- $\frac{1}{1}$ B	660	330	795	400	$\phi 36$	250	170	$\phi 80$	22	14	71	1438	197	810	565	810	1205
ZDU-112- $\frac{1}{1}$ B	660	330	855	400	$\phi 36$	250	170	$\phi 80$	22	14	71	1498	197	810	565	810	1205
ZDU-121- $\frac{1}{1}$ B	800	400	750	450	$\phi 36$	260	170	$\phi 95$	25	14	86	1416	194	915	630	905	1450
ZDU-121- $\frac{2}{2}$ B	800	400	900	450	$\phi 36$	260	170	$\phi 95$	25	14	86	1564	194	915	630	905	1450
ZDU-122- $\frac{1}{1}$ B	800	400	810	450	$\phi 36$	260	170	$\phi 95$	25	14	86	1476	194	915	630	905	1450
ZDU-122- $\frac{2}{2}$ B	800	400	960	450	$\phi 36$	260	170	$\phi 95$	25	14	86	1624	194	915	630	905	1450
ZDU-123- $\frac{1}{1}$ B	800	400	885	450	$\phi 36$	260	170	$\phi 95$	25	14	86	1551	194	915	630	905	1450
ZDU-123- $\frac{2}{2}$ B	800	400	1035	450	$\phi 36$	260	170	$\phi 95$	25	14	86	1699	194	915	630	905	1450
ZDU-131-1B	840	420	950	500	$\phi 36$	265	210	$\phi 110$	28	16	100	1666	234	1015	690	1025	1570
ZDU-131-2B	840	420	1100	500	$\phi 36$	265	210	$\phi 110$	28	16	100	1814	234	1015	690	1025	1570
ZDU-131-3B	840	420	1170	500	$\phi 36$	265	210	$\phi 110$	28	16	100	1888	234	1015	690	1025	1570
ZDU-132-1B	840	420	1030	500	$\phi 36$	265	210	$\phi 110$	28	16	100	1746	234	1015	690	1025	1570
ZDU-132-2B	840	420	1180	500	$\phi 36$	265	210	$\phi 110$	28	16	100	1894	234	1015	690	1025	1570
ZDU-132-3B	840	420	1250	500	$\phi 36$	265	210	$\phi 110$	28	16	100	1968	234	1015	690	1025	1570

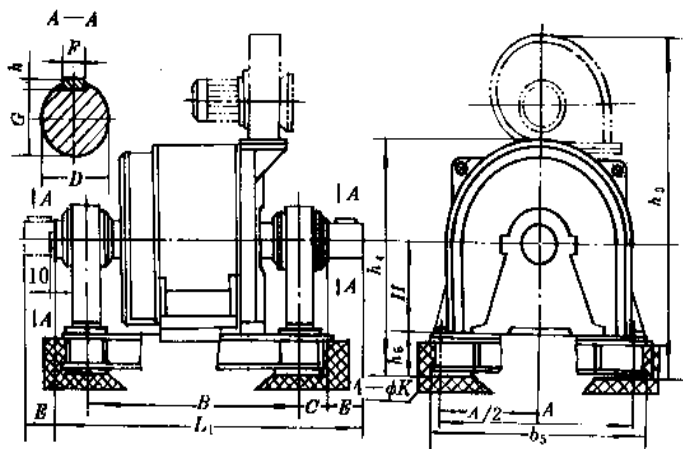
表 29-187 安 装 及 外 形 尺 寸



mm																						
型 号	A	A/2	B	H	K	C	E	D	F	G	$h_1$	$E_2$	$D_2$	$F_1$	$G_1$	$h_4$	$L_1$	$L_{12}$	b	$b_1$	$h_4$	$h_0$
ZDU-151-1B	1100	550	1045	630	$\phi 36$	290	250	$\phi 150$	36	138	20	210	$\phi 120$	32	109	18	1842	238	1265	795	1240	1895
ZDU-152-1B	1100	550	1120	630	$\phi 36$	290	250	$\phi 150$	36	138	20	210	$\phi 120$	32	109	18	1917	238	1265	795	1240	1895
ZDU-152-2B	1100	550	1205	630	$\phi 36$	290	250	$\phi 150$	36	138	20	210	$\phi 120$	32	109	18	2002	238	1265	795	1240	1895
ZDU-153-1B	1100	550	1205	630	$\phi 36$	290	250	$\phi 150$	36	138	20	210	$\phi 120$	32	109	18	2002	238	1265	795	1240	1895

925  
超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-188 安装及外形尺寸



型 号	A	A/2	B	H	K	C	E	D	F	G	h	h <sub>5</sub>	L <sub>1</sub>	b <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>	h <sub>0</sub>
ZDU-171-1B	1540	770	1930	630	φ12	220	350	φ200	45	185	25	300	2720	1695	1660	2340
ZDU-172-1B	1540	770	1970	630	φ42	220	350	φ200	45	185	25	300	2760	1695	1660	2340
ZDU-173-1B	1540	770	2050	630	φ42	220	350	φ200	45	185	25	300	2840	1695	1660	2340
ZDU-174-1B	1540	770	2135	630	φ42	220	350	φ200	45	185	25	300	2925	1695	1660	2340

(6) Z 系列中型直流电动机

容量选择:

普通工业用直流电动机 (A 类), 可以根据所需的容量、转速和电压等选定型号和规格。详细技术数据见表 29-190;

金属轧机用直流电动机 (B 类) 的额定输出功率比相同中心高, 相同底脚轴向长度的 A 类电动机略为下降, 其他数据基本相同, 具体规格和数据还可通过供需双方商定。

功率和转速的换算 (A 类);

本系列电动机除数据表中所列的 5 种电压和相应的功率、转速外, 任一规格的电动机都可派生成其他等级的电压 (但不得超过该规格允许的最高电压) 和相应的功率及转速。

换算关系如下:

$$K = \frac{U_1 - \Delta U}{U_N - \Delta U} \quad (29-3)$$

$$n_1 \approx K \cdot n_N \quad \text{r/min} \quad (29-4)$$

$$P_1 \approx K \cdot P_N \quad \text{kW} \quad (29-5)$$

式中  $\Delta U$ ——电枢回路压降 V;

$U_1$ ——新的电枢电压 V;

$n_1$ ——新的额定转速 r/min;

$P_1$ ——新的额定输出功率 kW;

$U_N, n_N, P_N$ ——在技术数据表中所列的与新的电压等级最接近, 且高于新的供电电压的额定电压及其相应的额定基速和额定功率。

电动机的短时过载能力:

表 29-189 电动机的短时过载能力

基速的百分数	A 类能承受一分钟过载		B 类能承受一分钟过载	
	额定电流的百分数			
	偶尔使用	经常使用	偶尔使用	经常使用
100	200(180)	175(160*)	200(180)	175(160)
200	160	150	200(180)	160
300 ≤	140	125	175(160)	140

注: 1. 当电动机的基速等于或大于按中心高规定的转速时, 用括号内的数值。基速如下:

中心高 mm	315	355	400	450	500	560
基速 r/min	1000	1000	900	800	710	630

2. 偶尔使用的短时过载能力是指很少发生或在紧急情况下, 电动机在一分钟内承受超过连续额定负载的能力。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 29-190 Z 系列技术数据

编 号	额定电压 $U_N$ 下的转速 r/min					功率 kW	额定 电流 $I_e$ A	效率 $\eta$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	通 风			电机回路	
	220V	330V	440V	550V	660V							风量 Q m <sup>3</sup> /s	风压 H Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 La mH	
Z315 1A																
01	436	696	958	1219	1481	61	335	80	1300	3.1	5.31	1.0	1000	34.2	0.72	
						95	327	86	1800	3.1	5.31	1.0	1000	33.5	0.69	
						124	311	89	1800	3.1	5.31	1.0	1000	32	0.71	
						152	300	90.6	1800	3.1	5.31	1.0	1000	31	0.72	
02	573	901	1229	1556	174	80	421	84.1	1700	3.1	5.48	0.9	840	25.6	0.44	
						119	399	88.5	1800	3.1	5.48	1.0	1010	24.4	0.44	
						150	370	90.6	1800	3.1	5.48	1.0	1010	22.8	0.46	
						173	339	91.6	1800	3.1	5.48	1.0	1010	21	0.5	
03	760	1185	1610	177	101	518	86.6	1800	3.1	5.48	1.0	1010	20.5	0.27		
					145	480	90.1	1800	3.1	5.48	1.0	1010	19.2	0.28		
					177	433	91.6	1800	3.1	5.48	1.0	1010	17.5	0.3		
04	957	1481	171	123	622	88.2	1800	3.1	5.83	1.0	1010	16.7	0.18			
				171	562	90.9	1800	3.1	5.83	1.1	1190	15.3	0.19			
05	1204	145	722	89.9	1800	3.1	5.83	1.0	1010	12.5	0.12					
Z315-2A																
01	344	553	762	972	1182	60	334	78.6	1200	3.1	6.07	1.0	1010	37.5	0.91	
						93	323	85.1	1500	3.1	6.07	1.0	1010	36.2	0.88	
						124	313	88.3	1800	3.1	6.07	1.0	1010	35.2	0.88	
						151	299	90.2	1800	3.1	6.07	1.0	1010	33.7	0.9	
02	453	714	977	1240	173	78	414	93.1	1500	3.1	6.24	1.0	1010	27.5	0.58	
						117	394	87.9	1800	3.1	6.24	1.0	1010	26.3	0.56	
						149	368	90.3	1800	3.1	6.24	1.0	1010	24.7	0.58	
						173	338	91.5	1800	3.1	6.24	1.0	1010	22.9	0.63	
03	605	945	1287	1629	198	99	511	85.9	1800	3.1	6.24	1.0	1010	22.1	0.34	
						144	477	89.8	1800	3.1	6.24	1.0	1010	20.8	0.35	
						178	436	91.5	1800	3.1	6.24	1.0	1010	19.1	0.37	
						198	385	92.2	1800	3.1	6.24	1.0	1010	17.1	0.42	
04	762	1183	1606	200	122	619	87.7	1800	3.1	6.58	1.1	1190	18.1	0.22		
					171	562	90.8	1800	3.1	6.58	1.1	1190	16.6	0.24		
					200	488	92	1800	3.1	6.58	1.1	1190	14.7	0.27		
05	959	1478	187	146	727	89.7	1800	3.1	6.58	1.0	1010	13.4	0.15			
				187	610	91.6	1800	3.1	6.58	1.0	1010	11.6	0.18			
Z315-3A																
01	269	436	603	770	838	57	322	76.7	900	4.1	7.03	1.1	1190	40.1	1.2	
						90	315	83.9	1500	4.0	7.03	1.1	1190	39.3	1.2	
						121	307	87.4	1800	4.0	7.03	1.1	1190	38.3	1.2	
						148	295	89.5	1800	4.0	7.03	1.1	1190	36.9	1.2	
						171	280	90.9	1800	4.0	7.03	1.1	1190	35.1	1.2	

续表 29-190

超星浏览器提醒您：  
 请禁用本复制品  
 以尊重相关知识产权！

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速					功率 kW	额定 电流 $I_e$ A	效率 $\eta$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	通 风		电枢回路	
	r/min											风量 $Q$ $\text{m}^3/\text{s}$	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
	220V	330V	440V	550V	660V										
Z315-3A															
02	357	567	776	987	76	408	81.6	1200	4.1	7.2	1.1	1190	30	0.72	
					114	386	87.1	1700	4.0	7.2	1.1	1190	28.6	0.72	
					147	365	89.7	1800	4.0	7.2	1.1	1190	27.1	0.74	
					173	339	91.2	1800	4.0	7.2	1.1	1190	25.3	0.78	
03	481	754	1028	1302	97	505	84.8	1500	4.0	7.2	1.1	1190	24.1	0.43	
					142	473	89.2	1800	4.0	7.2	1.1	1190	22.7	0.44	
					177	434	91.2	1800	4.0	7.2	1.1	1190	21	0.47	
					200	388	92.2	1800	4.0	7.2	1.1	1190	19	0.52	
					206	332	92.5	1800	4.0	7.2	1.1	1190	16.6	0.6	
04	607	945	1284	1624	119	607	87	1800	4.0	7.55	1.1	1190	19.4	0.29	
					169	556	90.5	1800	4.0	7.55	1.1	1190	17.9	0.3	
					202	492	92	1800	4.0	7.55	1.1	1190	16.1	0.33	
					211	410	92.3	1800	4.0	7.55	1.1	1190	13.7	0.39	
05	761	1175	1592		144	719	89.1	1800	4.0	7.55	1.1	1190	14.6	0.19	
					188	612	91.5	1800	4.0	7.55	1.1	1190	12.7	0.22	
					190	463	91.8	1800	4.0	7.55	1.1	1190	10.1	0.29	
Z355-3A															
01	197	327	456	586	59	357	71.3	600	4.7	12.2	1.5	1430	52.2	1.5	
					96	350	80.2	1000	4.7	12.2	1.5	1430	51.2	1.4	
					133	347	84.6	1500	4.7	12.2	1.5	1430	50.9	1.3	
					168	342	87.3	1500	4.7	12.2	1.5	1430	50.1	1.3	
					202	337	89.1	1500	4.7	12.2	1.5	1430	49.4	1.3	
02	258	416	574	733	78	441	77.1	800	4.6	12.2	1.4	1260	40.3	0.92	
					124	435	84	1500	4.6	12.2	1.5	1430	39.7	0.87	
					167	424	87.5	1500	4.7	12.2	1.5	1430	38.8	0.86	
					209	417	89.6	1500	4.6	12.2	1.5	1430	38.2	0.86	
					248	407	90.9	1500	4.6	12.2	1.5	1430	37.3	0.87	
03	365	579	794	1008	105	566	81.6	1200	4.6	12.5	1.5	1430	31.3	0.51	
					163	555	87	1500	4.6	12.5	1.5	1430	30.7	0.49	
					217	540	89.7	1500	4.6	12.5	1.5	1430	29.9	0.49	
					267	524	91.3	1500	4.6	12.5	1.6	1610	29.1	0.50	
					312	506	92.2	1500	4.6	12.5	1.6	1610	28.2	0.51	
04	439	690	940	1191	127	666	84.2	1500	4.7	13.2	1.5	1430	25.7	0.36	
					194	650	88.7	1500	4.7	13.2	1.5	1430	25.1	0.35	
					255	628	90.9	1500	4.7	13.2	1.6	1610	24.4	0.36	
					309	603	92.1	1500	4.7	13.2	1.6	1610	23.4	0.37	
					355	573	92.8	1500	4.7	13.2	1.7	1800	22.4	0.38	
05	578	898	1219	1540	166	848	87	1500	4.7	13.2	1.5	1430	19.9	0.21	
					246	811	90.5	1500	4.7	13.2	1.6	1610	19.2	0.22	
					315	768	92	1500	4.7	13.2	1.7	1800	18.3	0.22	
					371	719	92.8	1540	4.7	13.2	1.8	2000	17.2	0.24	

超星浏览器提醒您：  
 请勿对本复制品  
 进行任何形式的相关知识产权！

续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速					功率 kW	额定 电流 $I_n$ A	效率 $\eta$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_t$ kW	转动 惯量 $I$ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	通 风		电枢回路	
	r/min											风量 $Q$ $\text{m}^3/\text{s}$	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
	220V	330V	440V	550V	660V										
<b>Z355-4A</b>															
01	153	257	360	464	568	57	357	68.6	600	5.2	14.1	1.6	1610	57.9	1.9
						94	349	78.3	800	5.3	14.1	1.6	1610	56.8	1.8
						131	347	83.2	1200	5.3	14.1	1.6	1610	56.4	1.7
						166	341	86.2	1500	5.3	14.1	1.6	1610	55.5	1.7
						200	336	88.2	1500	5.3	14.1	1.6	1610	54.7	1.7
02	199	325	450	576	702	76	440	74.6	800	5.4	14.1	1.6	1610	44.6	1.2
						121	429	82.5	1200	5.4	14.1	1.6	1610	43.5	1.13
						165	423	86.3	1500	5.5	14.1	1.6	1610	42.9	1.1
						207	415	88.7	1500	5.4	14.1	1.6	1610	42.2	1.1
						247	417	90.2	1500	5.4	14.1	1.6	1610	41.4	1.1
03	286	456	627	797	968	103	564	79.8	1000	5.3	14.4	1.6	1610	34.6	0.65
						161	553	85.9	1500	5.4	14.4	1.6	1610	33.9	0.63
						215	538	88.9	1500	5.3	14.4	1.6	1610	33.1	0.62
						266	524	90.7	1500	5.3	14.4	1.7	1800	32.3	0.63
						313	509	91.8	1500	5.4	14.4	1.7	1800	31.4	0.64
04	346	546	746	946	1147	125	664	82.8	1200	5.3	15.1	1.6	1610	28.3	0.46
						192	647	87.8	1500	5.3	15.1	1.6	1610	27.7	0.45
						254	628	90.3	1500	5.3	15.1	1.7	1800	26.9	0.45
						310	605	91.7	1500	5.3	15.1	1.7	1800	26	0.46
						358	578	92.6	1500	5.3	15.1	1.8	2000	24.9	0.48
05	455	710	965	1220	1475	164	844	86	1500	5.4	15.1	1.6	1610	21.9	0.27
						245	811	89.9	1500	5.4	15.1	1.7	1800	21.1	0.27
						316	771	91.7	1500	5.4	15.1	1.7	1800	20.2	0.28
						375	726	92.7	1500	5.4	15.1	1.8	2000	19.1	0.3
						424	681	93.3	1500	5.4	15.1	1.9	2220	18.1	0.31
<b>Z400-2A</b>															
01	128	219	311	402	493	56	364	65.6	500	5.9	24.5	1.8	1310	63.9	2.3
						96	367	76.1	800	5.8	24.5	1.9	1450	64.4	2.0
						135	364	81.6	1000	5.7	24.5	1.9	1450	64	1.9
						173	361	84.9	1200	5.7	24.5	1.9	1450	63.5	1.8
						211	359	87.1	1500	5.7	24.5	1.9	1450	63.1	1.8
02	156	260	364	468	573	71	437	70.3	500	5.7	24.5	1.9	1450	55.2	1.5
						117	431	79.5	1000	5.7	24.5	1.9	1450	54.5	1.4
						162	426	84.1	1200	5.7	24.5	1.9	1450	53.9	1.4
						206	422	86.9	1500	5.7	24.5	1.9	1450	53.3	1.3
						250	419	88.8	1500	5.7	24.5	2	1590	53	1.3
03	210	341	472	604	735	93	536	75.5	800	5.9	25.2	1.9	1450	43.6	0.93
						150	532	82.9	1200	5.9	25.2	1.9	1450	43.4	0.87
						205	525	86.7	1500	5.9	25.2	1.9	1450	42.9	0.85
						258	518	88.9	1500	5.9	25.2	2	1590	42.3	0.84
						310	512	90.4	1500	5.9	25.2	2	1590	41.8	0.84



续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速 r/min					功率 kW	额定 电流 $I_a$ A	效率 $\eta^*$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	通风		电枢回路	
	220V	330V	440V	550V	660V							风量 Q m <sup>3</sup> /s	风压 H Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
Z400-2A															
04	296	472	647	823	998	128	695	80.9	1000	5.8	25.2	1.9	1450	33	0.51
						201	688	86.6	1500	5.8	25.2	1.9	1450	32.7	0.49
						272	679	89.4	1500	5.8	25.2	2	1590	32.3	0.48
						339	667	91.1	1500	5.7	25.2	2	1590	31.8	0.48
						402	653	92.2	1500	5.8	25.2	2.1	1740	31.2	0.48
05	359	566	773	979	1186	158	836	83.6	1200	5.8	26.7	1.9	1450	27.7	0.35
						244	821	88.4	1500	5.7	26.7	2	1590	27.3	0.34
						325	803	90.7	1500	5.7	26.7	2.1	1740	26.7	0.34
						401	783	92	1500	5.8	26.7	2.1	1740	26.1	0.34
						472	762	92.9	1500	5.7	26.7	2.2	1900	25.4	0.35
06	466	727	987	1248	1510	199	1026	86.1	1500	6	26.7	2	1590	22.3	0.22
						301	997	90	1500	6	26.7	2.1	1740	21.7	0.22
						395	966	91.8	1500	6	26.7	2.2	1900	21.1	0.22
						479	929	92.8	1500	6	26.7	2.3	2060	20.4	0.23
						551	886	93.3	1510	6	26.7	2.4	2230	19.5	0.24
Z400-3A															
01	96	168	239	311	382	54	371	61.8	350	6.5	28.5	2.1	1740	72.6	3.0
						93	364	73.8	600	6.6	28.5	2	1590	71.3	2.6
						132	363	79.7	800	6.6	28.5	2.1	1740	71	2.4
						171	362	83.4	1000	6.6	28.5	2.1	1740	70.8	2.3
						209	360	85.9	1200	6.6	28.5	2.1	1740	70.4	2.3
02	118	199	281	362	444	68	433	67.2	500	6.5	28.5	2	1590	61	2.1
						114	428	77.3	600	6.7	28.5	2.1	1740	60.3	1.9
						159	424	82.6	1000	6.6	28.5	2.1	1740	59.7	1.8
						204	422	85.6	1200	6.7	28.5	2.1	1740	59.4	1.7
						247	417	87.8	1500	6.6	28.5	2.1	1740	58.8	1.7
03	162	266	370	474	579	91	539	73.2	600	6.5	29.2	2.1	1740	48.9	1.2
						147	529	81.5	1000	6.5	29.2	2.1	1740	48	1.1
						203	526	85.6	1200	6.5	29.2	2.1	1740	47.7	1.1
						256	518	88.1	1500	6.6	29.2	2.1	1740	47	1.1
						308	511	89.8	1500	6.5	29.2	2.2	1900	46.4	1.1
04	229	366	504	642	780	126	698	79.1	800	6.5	29.2	2.1	1740	36.8	0.66
						199	688	84.4	1200	6.6	29.2	2.1	1740	36.3	0.63
						270	679	88.6	1500	6.6	29.2	2.1	1740	35.9	0.61
						338	668	90.5	1500	6.6	29.2	2.2	1900	35.4	0.61
						403	657	91.7	1500	6.6	29.2	2.2	1900	34.8	0.62
05	278	439	602	764	926	155	831	82.1	1000	6.6	30.7	2.1	1740	30.6	0.46
						242	821	87.4	1500	6.6	30.7	2.2	1900	30.2	0.44
						324	804	90.1	1500	6.6	30.7	2.2	1900	29.6	0.43
						402	787	91.6	1500	6.6	30.7	2.3	2060	29	0.44
						474	766	92.6	1500	6.6	30.7	2.3	2060	28.3	0.44

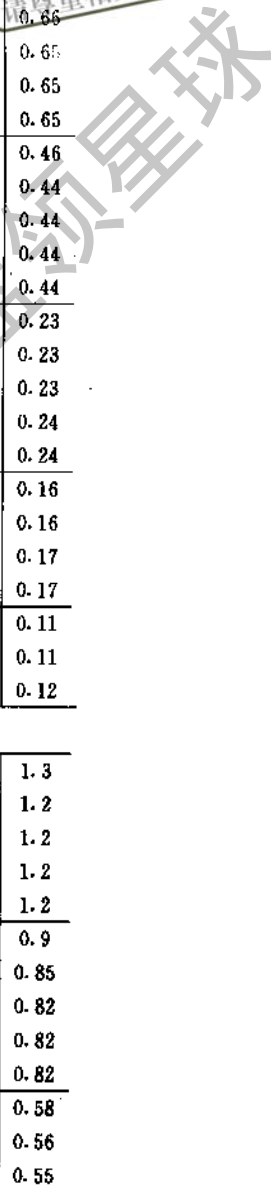
续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速 r/min					功率 kW	额定 电流 $I_e$ A	效率 $\eta$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	通 风 电 枢 回 路			
	220V	330V	440V	550V	660V							风量 $Q$ m <sup>3</sup> /s	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
Z400-3A															
06	366	573	780	987	1195	197	1025	85.1	1200	6.6	30.7	2.1	1740	24.6	0.28
						300	999	89.4	1500	6.6	30.7	2.2	1900	24.1	0.28
						396	970	91.5	1500	6.6	30.7	2.3	2060	23.4	0.28
						482	935	92.7	1500	6.6	30.7	2.4	2230	22.6	0.29
						558	896	93.4	1500	6.6	30.7	2.4	2230	21.8	0.29
Z400-4A															
01	72	129	186	243	300	50	360	57.8	300	8.0	33.4	2.3	2060	79.2	4.1
						90	365	70.7	500	7.7	33.4	2.3	2060	80.3	3.4
						128	359	77.6	600	7.7	33.4	2.3	2060	79.1	3.2
						167	359	81.6	800	7.7	33.4	2.3	2060	79.1	3.0
						204	356	84.4	1000	7.7	33.4	2.3	2060	78.3	3.0
02	90	155	220	285	350	64	424	63.9	300	7.7	33.4	2.2	1900	67.2	2.8
						110	424	75	500	7.6	33.4	2.3	2060	67.1	2.4
						155	421	80.8	800	7.7	33.4	2.3	2060	66.6	2.3
						199	417	84.3	1000	7.7	33.4	2.3	2060	66	2.2
						243	415	86.6	1200	7.7	33.4	2.3	2060	65.7	2.2
03	125	208	291	374	457	87	529	70.7	500	7.6	34.1	2.2	1900	53.2	1.6
						144	527	79.7	700	7.6	34.1	2.3	2060	53	1.4
						199	521	84.4	1000	7.6	34.1	2.3	2060	52.4	1.4
						252	514	87.2	1200	7.6	34.1	2.3	2060	51.7	1.4
						304	507	89	1500	7.6	34.1	2.3	2060	51.1	1.4
04	178	287	397	507	617	122	690	76.9	500	7.6	34.1	2.3	2060	40.9	0.86
						196	687	83.9	1000	7.7	34.1	2.3	2060	40.7	0.8
						266	675	87.5	1200	7.7	34.1	2.3	2060	40	0.78
						334	665	89.7	1500	7.7	34.1	2.4	2230	39.4	0.78
						400	655	91.1	1500	7.6	34.1	2.4	2230	38.9	0.78
05	217	346	475	604	734	152	830	80.3	800	7.7	35.5	2.3	2060	34.2	0.58
						238	815	86.2	1200	7.7	35.5	2.4	2230	33.6	0.56
						320	799	89.2	1500	7.7	35.5	2.4	2230	33	0.55
						398	783	91	1500	7.7	35.5	2.4	2230	32.3	0.56
						472	765	92.2	1500	7.7	35.5	2.5	2410	31.7	0.56
06	287	451	616	781	946	193	1017	83.7	1000	7.6	35.5	2.3	2060	27.3	0.36
						296	993	88.5	1500	7.7	35.5	2.4	2230	26.7	0.35
						393	967	90.9	1500	7.6	35.5	2.4	2230	26.1	0.35
						481	935	92.3	1500	7.6	35.5	2.5	2410	25.3	0.36
						560	900	93.2	1500	7.6	35.5	2.5	2410	24.4	0.37
Z450-1A															
01	179	293	408	522	636	96	562	74.4	600	6.2	41.8	2	1130	46.4	1.0
						155	555	82.3	1000	6.2	41.8	2.1	1230	45.9	0.97
						214	552	86.2	1200	6.1	41.8	2.1	1230	45.7	0.93
						270	545	88.5	1500	6.2	41.8	2.2	1340	45.1	0.92
						325	539	90.1	1500	6.2	41.8	2.2	1340	44.6	0.92

续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速					功率 kW	额定 电流 $I_n$ A	效率 $\eta$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	通 风		电枢回路	
	r/min											风量 $Q$ m <sup>3</sup> /s	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
	220V	330V	440V	550V	660V										
Z450-1A															
02	222	357	492	628	763	120	671	78.4	700	6.2	41.8	2.1	1230	38.4	0.71
						191	666	84.9	1000	6.2	41.8	2.1	1230	38.1	0.66
						260	658	88.1	1500	6.2	41.8	2.2	1340	37.7	0.65
						326	648	90.1	1500	6.2	41.8	2.2	1340	37.2	0.65
						390	639	91.3	1500	6.2	41.8	2.3	1450	36.6	0.65
03	282	446	610	775	939	152	817	82.1	1000	6.2	44.1	2.1	1230	30.6	0.46
						237	806	87.3	1500	6.2	44.1	2.1	1230	30.2	0.44
						318	792	89.9	1500	6.2	44.1	2.2	1340	29.7	0.44
						394	774	91.4	1500	6.2	44.1	2.3	1450	29.1	0.44
						466	756	92.4	1500	6.2	44.1	2.4	1570	28.4	0.44
04	406	634	862	1091	1320	213	1106	85.7	1500	6.1	44.1	2.2	1340	23.9	0.23
						325	1082	89.7	1500	6.2	44.1	2.3	1450	23.4	0.23
						429	1052	91.6	1500	6.2	44.1	2.4	1570	22.8	0.23
						526	1022	92.7	1500	6.2	44.1	2.5	1690	22.2	0.24
						614	988	93.4	1500	6.2	44.1	2.7	1950	21.5	0.24
05	490	760	1031	1302		258	1316	87.5	1500	6.1	46.4	2.3	1450	19.8	0.16
						388	1278	90.8	1500	6.2	46.4	2.4	1570	19.3	0.16
						506	1232	92.4	1500	6.2	46.4	2.6	1810	18.7	0.17
						610	1180	93.2	1500	6.2	46.4	2.7	1950	18	0.17
06	607	936	1266			315	1580	89.2	1500	6.2	46.4	2.4	1570	15.8	0.11
						463	1512	91.8	1500	6.2	46.4	2.5	1690	15.2	0.11
						589	1428	92.9	1500	6.2	46.4	2.8	2080	14.5	0.12
Z450-2A															
01	139	230	320	411	501	94	563	72.4	500	7.2	47.7	2.2	1340	50.5	1.3
						154	559	80.9	800	7.1	47.7	2.3	1450	50.2	1.2
						213	555	85.2	1000	7.2	47.7	2.3	1450	49.9	1.2
						270	548	87.8	1500	7.1	47.7	2.3	1450	49.3	1.2
						326	543	89.5	1500	7.2	47.7	2.4	1570	48.8	1.2
02	173	280	387	494	602	118	674	76.5	600	7.1	47.7	2.3	1450	42.3	0.9
						189	666	83.7	1000	7.1	47.7	2.3	1450	41.9	0.85
						259	661	87.3	1200	7.2	47.7	2.4	1570	41.5	0.82
						325	650	89.4	1500	7.2	47.7	2.4	1570	40.9	0.82
						390	641	90.9	1500	7.2	47.7	2.4	1570	40.4	0.82
03	220	350	480	610	741	150	818	80.7	800	7.2	50	2.2	1340	33.5	0.58
						236	809	86.4	1200	7.2	50	2.3	1450	33.2	0.56
						317	793	89.3	1500	7.2	50	2.4	1570	32.6	0.55
						395	778	91	1500	7.2	50	2.4	1570	32	0.55
						468	761	92.1	1500	7.2	50	2.5	1690	31.3	0.56
04	318	500	681	862	1044	211	1105	84.7	1200	7.2	50	2.4	1570	25.8	0.3
						325	1087	89.1	1500	7.1	50	2.5	1690	25.4	0.29
						431	1059	91.3	1500	7.2	50	2.5	1690	24.8	0.29
						530	1030	92.6	1500	7.2	50	2.6	1810	24.2	0.3
						620	997	93.4	1500	7.2	50	2.7	1950	23.5	0.3

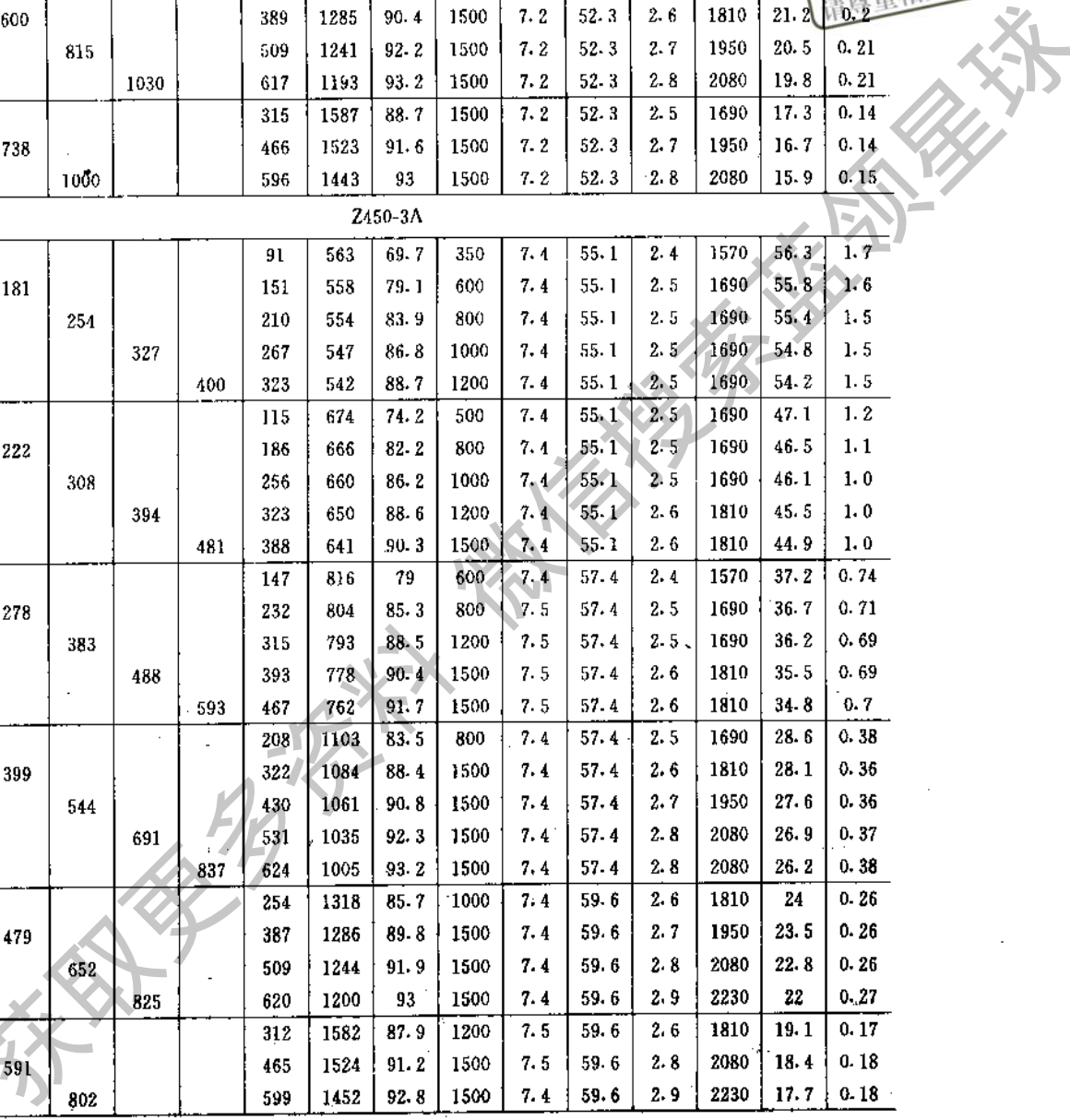
超星浏览器提醒您：  
 本复制品  
 尊重相关知识产权！



续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速 r/min					功率 kW	额定 电流 $I_N$ A	效率 $\eta^*$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	通 风		电枢回路	
	220V	330V	440V	550V	660V							风量 $Q$ m <sup>3</sup> /s	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
Z450-2A															
05	385	600	815	1030	257	1320	86.7	1500	7.2	52.3	2.7	1690	21.7	0.21	
					389	1285	90.4	1500	7.2	52.3	2.6	1810	21.2	0.2	
	478	738	1000		509	1241	92.2	1500	7.2	52.3	2.7	1950	20.5	0.21	
					617	1193	93.2	1500	7.2	52.3	2.8	2080	19.8	0.21	
06	478	738	1000		315	1587	88.7	1500	7.2	52.3	2.5	1690	17.3	0.14	
					466	1523	91.6	1500	7.2	52.3	2.7	1950	16.7	0.14	
					596	1443	93	1500	7.2	52.3	2.8	2080	15.9	0.15	
Z450-3A															
01	108	181	254	327	91	563	69.7	350	7.4	55.1	2.4	1570	56.3	1.7	
					151	558	79.1	600	7.4	55.1	2.5	1690	55.8	1.6	
					210	554	83.9	800	7.4	55.1	2.5	1690	55.4	1.5	
					267	547	86.8	1000	7.4	55.1	2.5	1690	54.8	1.5	
					323	542	88.7	1200	7.4	55.1	2.5	1690	54.2	1.5	
02	135	222	308	394	115	674	74.2	500	7.4	55.1	2.5	1690	47.1	1.2	
					186	666	82.2	800	7.4	55.1	2.5	1690	46.5	1.1	
					256	660	86.2	1000	7.4	55.1	2.5	1690	46.1	1.0	
					323	650	88.6	1200	7.4	55.1	2.6	1810	45.5	1.0	
					388	641	90.3	1500	7.4	55.1	2.6	1810	44.9	1.0	
03	174	278	383	488	147	816	79	600	7.4	57.4	2.4	1570	37.2	0.74	
					232	804	85.3	800	7.5	57.4	2.5	1690	36.7	0.71	
					315	793	88.5	1200	7.5	57.4	2.5	1690	36.2	0.69	
					393	778	90.4	1500	7.5	57.4	2.6	1810	35.5	0.69	
					467	762	91.7	1500	7.5	57.4	2.6	1810	34.8	0.7	
04	253	399	544	691	208	1103	83.5	800	7.4	57.4	2.5	1690	28.6	0.38	
					322	1084	88.4	1500	7.4	57.4	2.6	1810	28.1	0.36	
					430	1061	90.8	1500	7.4	57.4	2.7	1950	27.6	0.36	
					531	1035	92.3	1500	7.4	57.4	2.8	2080	26.9	0.37	
					624	1005	93.2	1500	7.4	57.4	2.8	2080	26.2	0.38	
05	306	479	652	825	254	1318	85.7	1000	7.4	59.6	2.6	1810	24	0.26	
					387	1286	89.8	1500	7.4	59.6	2.7	1950	23.5	0.26	
					509	1244	91.9	1500	7.4	59.6	2.8	2080	22.8	0.26	
					620	1200	93	1500	7.4	59.6	2.9	2230	22	0.27	
06	381	591	802		312	1582	87.9	1200	7.5	59.6	2.6	1810	19.1	0.17	
					465	1524	91.2	1500	7.5	59.6	2.8	2080	18.4	0.18	
					599	1452	92.8	1500	7.4	59.6	2.9	2230	17.7	0.18	
Z450-4A															
01	83	141	199	257	86	554	66.6	300	8.2	64.7	2.7	1950	62.7	2.3	
					146	553	76.9	500	8.2	64.7	2.7	1950	62.6	2.0	
					204	547	82.2	700	8.3	64.7	2.7	1950	61.9	1.9	
					262	544	85.4	800	8.3	64.7	2.8	2080	61.6	1.9	
					318	539	87.6	1000	8.3	64.7	2.8	2080	61	1.9	

超星浏览器提醒您：  
 禁止复制  
 请尊重相关知识产权！



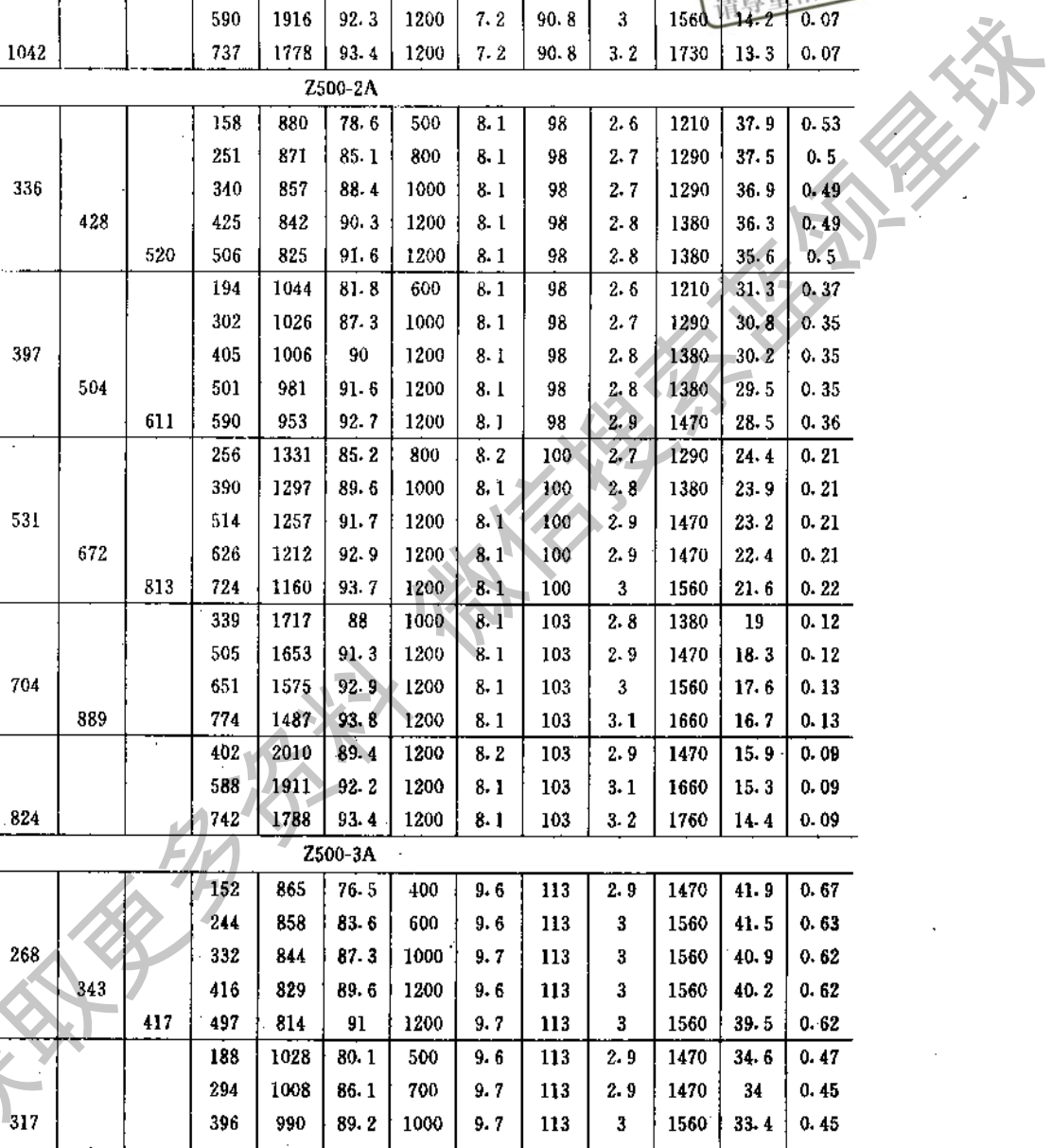
续表 29-190  
 请购买正版产品  
 请保护知识产权!

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速 r/min					功率 kW	额定 电流 $I_n$ A	效率 $\eta^*$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	通 风 电枢回路			
	220V	330V	440V	550V	660V							风量 $Q$ m <sup>3</sup> /s	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
Z450-4A															
02	104	174	242	311	380	111	669	71.6	350	8.5	64.7	2.7	1950	52	1.5
						181	658	80.6	600	8.3	64.7	2.7	1950	51.2	1.4
						251	654	85	800	8.4	64.7	2.7	1950	50.9	1.3
						318	646	87.7	1000	8.4	64.7	2.8	2080	50.3	1.3
03	135	219	302	386	470	142	807	76.7	500	8.4	66.9	2.7	1950	41.6	0.96
						227	797	83.9	800	8.3	66.9	2.7	1950	41.1	0.9
						309	786	87.4	1000	8.4	66.9	2.7	1950	40.5	0.89
						388	773	89.6	1200	8.4	66.9	2.8	2080	39.9	0.88
04	198	314	430	547	663	203	1095	81.8	600	8.3	66.9	2.8	2080	32	0.48
						317	1078	87.3	1000	8.3	66.9	2.9	2230	31.5	0.47
						425	1056	90	1500	8.3	66.9	2.9	2230	30.9	0.46
						527	1031	91.7	1500	8.3	66.9	2.9	2230	30.2	0.47
05	241	378	516	654		249	1309	84.3	800	8.3	69.2	2.9	2230	26.9	0.33
						382	1278	88.9	1200	8.4	69.2	2.9	2230	26.3	0.33
						505	1240	91.3	1500	8.4	69.2	3	2370	25.6	0.33
						619	1201	92.6	1500	8.4	69.2	3	2370	24.8	0.33
06	301	469	636			308	1573	87.1	1000	8.4	69.2	2.8	2080	20.9	0.22
						461	1516	90.8	1500	8.4	69.2	2.9	2230	20.2	0.22
						598	1452	92.5	1500	8.4	69.2	3	2370	19.4	0.23
Z500-1A															
01	195	311	427	544	600	163	891	80.4	600	7.2	85.6	2.4	1050	34.2	0.4
						256	879	86.3	1000	7.2	85.6	2.5	1130	33.8	0.39
						345	963	89.3	1200	7.2	85.6	2.6	1210	33.2	0.38
						430	847	91	1200	7.2	85.6	2.6	1210	32.6	0.38
02	234	369	504	639	775	199	1055	83.3	800	7.2	85.6	2.4	1050	28.3	0.29
						308	1038	88.2	1200	7.2	85.6	2.6	1130	27.9	0.27
						410	1013	90.7	1200	7.2	85.6	2.7	1210	27.2	0.27
						505	985	92.1	1200	7.2	85.6	2.7	1290	26.6	0.28
03	317	495	673	851	1030	261	1346	86.2	1000	7.2	87.3	2.6	1210	22.6	0.17
						395	1308	90.1	1200	7.2	87.3	2.7	1290	22	0.16
						517	1262	92	1200	7.2	87.3	2.8	1380	21.3	0.17
						627	1213	93.1	1200	7.2	87.3	2.9	1470	20.6	0.17
04	425	659	891	1124		344	1731	88.8	1200	7.2	90.8	2.7	1290	17.2	0.1
						508	1658	91.7	1200	7.2	90.8	2.8	1380	16.6	0.1
						652	1576	93.1	1200	7.2	90.8	3	1560	15.9	0.1
						769	1478	93.8	1200	7.2	90.8	3.1	1660	15	0.11

续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速					功率 kW	额定 电流 $I_n$ A	效率 $\eta$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $J$ kg·m <sup>2</sup>	通 风		电枢回路	
	r/min											风量 $Q$ m <sup>3</sup> /s	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
	220V	330V	440V	550V	660V										
Z500-1A															
05	501	771	1042			406	2024	89.8	1200	7.2	90.8	2.8	1380	14.9	0.07
						590	1916	92.3	1200	7.2	90.8	3	1560	14.2	0.07
						737	1778	93.4	1200	7.2	90.8	3.2	1730	13.3	0.07
Z500-2A															
01	152	244	336	428	520	158	880	78.6	500	8.1	98	2.6	1210	37.9	0.53
						251	871	85.1	800	8.1	98	2.7	1290	37.5	0.5
						340	857	88.4	1000	8.1	98	2.7	1290	36.9	0.49
						425	842	90.3	1200	8.1	98	2.8	1380	36.3	0.49
02	183	290	397	504	611	194	1044	81.8	600	8.1	98	2.6	1210	31.3	0.37
						302	1026	87.3	1000	8.1	98	2.7	1290	30.8	0.35
						405	1006	90	1200	8.1	98	2.8	1380	30.2	0.35
						501	981	91.6	1200	8.1	98	2.8	1380	29.5	0.35
03	248	390	531	672	813	256	1331	85.2	800	8.2	100	2.7	1290	24.4	0.21
						390	1297	89.6	1000	8.1	100	2.8	1380	23.9	0.21
						514	1257	91.7	1200	8.1	100	2.9	1470	23.2	0.21
						626	1212	92.9	1200	8.1	100	2.9	1470	22.4	0.21
04	335	520	704	889		339	1717	88	1000	8.1	103	2.8	1380	19	0.12
						505	1653	91.3	1200	8.1	103	2.9	1470	18.3	0.12
						651	1575	92.9	1200	8.1	103	3	1560	17.6	0.13
						774	1487	93.8	1200	8.1	103	3.1	1660	16.7	0.13
05	394	610	824			402	2010	89.4	1200	8.2	103	2.9	1470	15.9	0.09
						588	1911	92.2	1200	8.1	103	3.1	1660	15.3	0.09
						742	1788	93.4	1200	8.1	103	3.2	1760	14.4	0.09
Z500-3A															
01	120	194	268	343	417	152	865	76.5	400	9.6	113	2.9	1470	41.9	0.67
						244	858	83.6	600	9.6	113	3	1560	41.5	0.63
						332	844	87.3	1000	9.7	113	3	1560	40.9	0.62
						416	829	89.6	1200	9.6	113	3	1560	40.2	0.62
02	145	231	317	404	490	188	1028	80.1	500	9.6	113	2.9	1470	34.6	0.47
						294	1008	86.1	700	9.7	113	2.9	1470	34	0.45
						396	990	89.2	1000	9.7	113	3	1560	33.4	0.45
						492	967	91	1200	9.7	113	3	1560	32.7	0.45
03	198	312	426	540	654	249	1309	83.9	600	9.7	114	3	1560	26.9	0.27
						381	1275	88.7	1000	9.6	114	3	1560	26.3	0.27
						504	1238	91.1	1200	9.6	114	3	1560	25.5	0.27
						617	1197	92.5	1200	9.6	114	3.1	1660	24.8	0.27
						717	1150	93.4	1200	9.6	114	3.1	1660	23.9	0.28

超星阅读器提醒您：  
请勿复制或传播知识产权！





续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速					功率 kW	额定 电流 $I_a$ A	效率 $\eta$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $J$ kg·m <sup>2</sup>	通 风		电枢回路	
	r/min											风量 $Q$ m <sup>3</sup> /s	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
	220V	330V	440V	550V	660V										
Z500-3A															
04	268	416	565	714	331	1690	87	1000	9.6	118	3.1	1660	20.9	0.15	
						1630	90.7	1200	9.7	118	3.1	1660	20.2	0.15	
						1560	92.5	1200	9.8	118	3.2	1760	19.4	0.16	
05	316	489	662		394	1981	88.6	1000	9.7	118	3.1	1660	17.5	0.11	
						1886	91.7	1200	9.7	118	3.2	1760	16.7	0.11	
						1775	93.2	1200	9.7	118	3.3	1870	15.9	0.11	
Z500-4A															
01	93	152	212	271	331	842	73.8	300	10.7	132	3.1	1660	46.7	0.89	
						832	81.9	500	10.7	132	3.2	1760	46.2	0.83	
						820	86.1	650	10.6	132	3.2	1760	45.5	0.81	
						810	88.5	1000	10.6	132	3.2	1760	45	0.8	
02	113	182	251	321	390	795	90.2	1200	10.6	132	3.2	1760	44.2	0.8	
						999	77.9	350	10.8	132	3.1	1660	38.4	0.62	
						982	84.7	600	10.7	132	3.1	1660	37.8	0.59	
						965	88.1	800	10.7	132	3.2	1760	37.2	0.58	
03	156	247	338	429	520	922	91.6	1200	10.6	132	3.2	1760	35.6	0.59	
						1275	82.3	500	10.7	134	3.2	1760	29.9	0.36	
						1242	87.7	800	10.7	134	3.2	1760	29.1	0.34	
						1210	90.4	1200	10.6	134	3.2	1760	28.4	0.34	
04	212	330	449	569		1173	91.9	1200	10.6	134	3.3	1870	27.6	0.35	
						1131	93	1200	10.6	134	3.3	1870	26.7	0.36	
						1645	85.8	650	10.6	138	3.3	1870	23.1	0.2	
						1590	90	1000	10.7	138	3.3	1870	22.4	0.2	
05	251	389	527			1526	92	1200	10.7	138	3.3	1870	21.6	0.21	
						1455	93.2	1200	10.6	138	3.4	1970	20.7	0.21	
						1931	87.7	800	10.6	138	3.3	1870	19.3	0.15	
						1848	91.2	1200	10.7	138	3.4	1970	18.6	0.15	
Z560-2A															
01	145	232	320	408	496	1094	78.8	500	9.0	172	3.3	1310	37.5	0.44	
						1075	85.1	800	9.1	172	3.3	1310	36.9	0.42	
						1057	88.3	1000	9.1	172	3.4	1380	36.3	0.41	
						1037	90.2	1200	9.1	172	3.5	1450	35.7	0.41	
						1013	91.4	1200	9.1	172	3.6	1530	34.9	0.42	
02	180	285	390	495	600	1312	82.6	700	9.1	175	3.2	1240	29.7	0.3	
						1290	87.6	1000	9.0	175	3.3	1310	29.2	0.29	
						1260	90.1	1200	9.0	175	3.4	1380	28.6	0.29	
						1224	91.6	1200	9.0	175	3.5	1450	27.8	0.29	
						1186	92.6	1200	9.0	175	3.6	1530	27	0.29	
03	239	374	510	645	781	1676	84.9	800	9.0	175	3.5	1450	25.2	0.17	
						1630	89.2	1200	9.1	175	3.6	1530	24.5	0.17	
						1578	91.3	1200	9.0	175	3.8	1690	23.8	0.17	
						1519	92.5	1200	9.1	175	3.9	1770	23	0.18	
						1451	93.2	1200	9.1	175	4	1860	22	0.18	
04	292	454	615	777		2005	87.5	1000	9.1	180	3.5	1450	19.5	0.12	
						1931	90.8	1200	9.1	180	3.6	1530	18.9	0.12	
						1843	92.4	1200	9.1	180	3.8	1690	18.1	0.12	
						1740	93.3	1200	9.1	180	4	1860	17.2	0.12	

续表 29-190

编号	额定电压 $U_N$ 下的转速 r/min					功率 kW	额定 电流 $I_n$ A	效率 $\eta^*$ %	最大 转速 r/min	励磁 功率 $P_f$ kW	转动 惯量 $I$ kg·m <sup>2</sup>	通 风		电枢回路	
	220V	330V	440V	550V	660V							风量 $Q$ m <sup>3</sup> /s	风压 $H$ Pa	电压降 $\Delta U$ V	电感 $L_a$ mH
Z560-3A															
01	115	185	257	328	399	191	1089	76.9	400	10.1	197	3.6	1530	41.6	0.56
						305	1075	83.8	700	10.3	197	3.6	1530	41.1	0.53
						414	1056	87.4	800	10.2	197	3.7	1610	40.4	0.51
						519	1038	89.5	1000	10.2	197	3.8	1690	39.7	0.51
						618	1016	90.9	1200	10.2	197	3.8	1690	39	0.52
02	143	228	313	398	483	241	1312	81	500	10.2	200	3.5	1450	33	0.37
						375	1284	86.6	800	10.2	200	3.6	1530	32.3	0.36
						503	1257	89.5	1000	10.2	200	3.7	1610	31.7	0.35
						622	1225	91.1	1200	10.2	200	3.7	1610	30.9	0.36
						733	1191	92.2	1200	10.2	200	3.8	1690	30.1	0.37
03	190	300	410	520	630	315	1670	83.7	700	10.3	200	3.8	1690	27.8	0.22
						483	1628	88.4	7000	10.2	200	3.9	1770	27.2	0.21
						639	1579	90.8	1200	10.2	200	4	1860	26.4	0.21
						781	1524	92.2	1200	10.2	200	4.1	1950	25.6	0.22
						907	1463	93	1200	10.2	200	4.2	2030	24.6	0.23
04	234	365	496	626		389	2000	86.6	800	10.2	205	3.7	1610	21.6	0.15
						584	1932	90.3	1200	10.2	205	3.9	1770	20.9	0.15
						758	1849	92.1	1200	10.2	205	4	1860	20.1	0.15
						908	1756	93.1	1200	10.2	205	4.1	1950	19.2	0.16
Z560-4A															
01	89	146	203	261	318	184	1079	74.2	300	11.4	230	3.9	1770	46.8	0.73
						297	1064	82.1	500	11.4	230	4	1860	46.2	0.67
						406	1047	86.1	600	11.3	230	4	1860	45.5	0.66
						511	1030	88.6	800	11.2	230	4.1	1950	44.8	0.65
						611	1011	90.2	1000	11.3	230	4.1	1950	44	0.65
02	113	181	249	318	386	233	1294	79	400	11.2	232	3.8	1690	36.9	0.48
						368	1276	85.3	700	11.2	232	3.9	1770	36.4	0.45
						495	1247	88.5	800	11.3	232	3.9	1770	35.7	0.45
						616	1220	90.4	1000	11.2	232	4	1860	34.9	0.45
						728	1188	91.7	1200	11.2	232	4.1	1950	34.1	0.46
03	150	238	326	415	503	308	1654	82.3	500	11.4	232	4.1	1950	30.5	0.28
						476	1615	87.6	800	11.3	232	4.1	1950	29.9	0.27
						633	1571	90.2	1000	11.3	232	4.2	2030	29.1	0.27
						777	1521	91.8	1200	11.2	232	4.3	2130	28.2	0.28
						907	1466	92.7	1200	11.3	232	4.4	2220	27.3	0.29
04	186	290	395	500		381	1981	85.4	600	11.2	238	4	1860	24.1	0.19
						577	1921	89.6	1000	11.3	238	4.1	1950	23.5	0.19
						753	1844	91.6	1200	11.3	238	4.2	2030	22.6	0.19
						908	1760	92.8	1200	11.3	238	4.3	2130	21.7	0.2

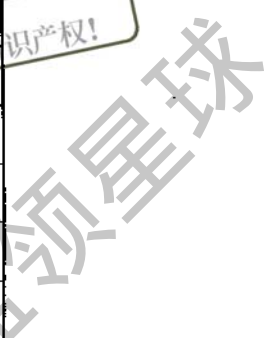
注：1. \*效率符合 GB 及 IEC 标准（包括励磁损耗）；  
 2. 适用于冷却方式 IC06, IC17, IC37, ICW37A86；  
 3. 表中数据系上海电机厂提供。



续表 29-191

型 号	主要尺寸						底脚尺寸										轴伸尺寸						出线盒 尺寸				鼓风机及 冷却器尺寸			
	H	L	C	AC	HD	LA	A	B	K	HA	AB	BB	AA	HA	BA	BC	D	E	F	G	GD	AD	CE	HV	HV'	AE				
Z315-1	315	1372	216	720	635	1427	508	770	28	25	620	985	115	230	280	124	90	170	25	81	14	490	135	1400	1405	620				
Z315-2	315	1452	216	720	635	1507	508	850	28	25	620	1065	115	230	280	124	90	170	25	81	14	490	135	1400	1405	620				
Z315-3	315	1532	216	720	635	1587	508	930	28	25	620	1145	115	230	280	124	90	170	25	81	14	490	135	1400	1405	620				
Z315-4	315	1632	216	720	635	1687	508	1030	28	25	620	1245	115	230	280	124	90	170	25	81	14	490	135	1400	1405	620				
Z355-2	355	1515	254	800	720	1647	610	800	28	35	700	1110	120	280	320	124	110	210	28	100	16	630	260	1535	1670	700				
Z355-3	355	1615	254	800	720	1747	610	900	28	35	700	1210	120	280	320	124	110	210	28	100	16	630	260	1535	1670	700				
Z355-4	355	1715	254	800	720	1847	610	1000	28	35	700	1310	120	280	320	124	110	210	28	100	16	630	260	1535	1670	700				
Z355-5	355	1835	254	800	720	1967	610	1120	28	35	700	1430	120	280	320	124	110	210	28	100	16	630	260	1535	1670	700				
Z400-1	400	1560	280	906	810	1722	686	800	35	30	790	1180	115	280	380	95	120	210	32	109	18	645	275	1705	1820	790				
Z400-2	400	1660	280	906	810	1822	686	900	35	30	790	1280	115	280	380	95	120	210	32	109	18	645	275	1705	1820	790				
Z400-3	400	1760	280	906	810	1922	686	1000	35	30	790	1380	115	280	380	95	120	210	32	109	18	645	275	1705	1820	790				
Z400-4	400	1860	280	906	810	2042	686	1120	35	30	790	1500	115	280	380	95	120	210	32	109	18	645	275	1705	1820	790				
Z450-1	450	1775	315	1000	910	1887	800	900	35	40	890	1394	120	360	340	93	140	250	36	128	20	725	280	1805	1940	890				
Z450-2	450	1875	315	1000	910	1987	800	1000	35	40	890	1494	120	360	340	93	140	250	36	128	20	725	280	1805	1940	890				
Z450-3	450	1995	315	1000	910	2107	800	1120	35	40	890	1594	120	360	340	93	140	250	36	128	20	725	280	1805	1940	890				
Z450-4	450	2125	315	1000	910	2237	800	1250	35	40	890	1694	120	360	340	93	140	250	36	128	20	725	280	1805	1940	890				
Z500-1	500	1860	280	1070	1010	1927	900	1000	42	45	1090	1345	180	320	380	105	160	300	40	147	22	815	295	1905	2040	1090				
Z500-2	500	1980	280	1070	1010	2055	900	1120	42	45	1090	1455	180	320	380	105	160	300	40	147	22	815	295	1905	2040	1090				
Z500-3	500	2110	280	1070	1010	2177	900	1250	42	45	1090	1595	180	320	380	105	160	300	40	147	22	815	295	1905	2040	1090				
Z500-4	500	2260	280	1070	1010	2327	900	1400	42	45	1090	1745	180	320	380	105	160	300	40	147	22	815	295	1905	2040	1090				
Z560-2	560	2040	315	1180	1120	2154	1000	1120	45	50	1200	1595	200	320	360	130	180	300	45	165	25	870	355	2040	2190	1195				
Z560-3	560	2170	315	1180	1120	2284	1000	1250	48	50	1200	1635	200	320	360	130	180	300	45	165	28	870	355	2040	2190	1195				
Z560-4	560	2320	315	1180	1120	2434	1000	1400	48	50	1200	1786	200	320	360	130	180	300	45	165	25	870	355	2040	2190	1195				

注:尺寸H、D、F、G之公差分别为<sup>0</sup>/<sub>-0.08</sub>、<sup>0</sup>/<sub>-0.12</sub>、<sup>0</sup>/<sub>-0.15</sub>、<sup>0</sup>/<sub>-0.18</sub>。



## 第30章 有限元法

### 1 有限元法概述

机械工程中许多构件的强度和刚度问题用传统的力学方法求解,常因构件形状和边界条件复杂而产生各种困难,以致于迫使工程设计人员不得不对构件形状和边界条件做许多理想的简化,才能求解。显然,这种简化必然给求解带来很大误差,而对复杂构件根本无法求解,只能采用“经验”或类比法设计而造成更大误差。

随着电子计算机的出现和发展,弹性力学中的各种数值解法逐渐被一种新颖和有效的数值计算方

法——有限元法代替。该法于二十世纪50年代起源于对飞机结构强度的矩阵分析,是结构强度矩阵分析法的一个分枝——位移法。在1960年 Clough, R. W. 应用该位移法分析平面应力问题时,首次引用“有限单元法——F. E. M.”(简称有限元法)这一术语,后来,相继出现以变分原理建立各种单元的有限元法公式,以及它们的计算机程序,使该法得到迅速发展。表30-1列出有限元法在工程设计中的应用情况。

表 30-1 有限元法应用情况

顺 序	应 用 情 况
1	平面问题的位移场、应力场、温度场、势场分析
2	平面和空间刚架或桁架的内力、内力矩和应力分析
3	空间实体结构的位移场、应力场、温度场、势场分析
4	薄板和薄壳弯曲问题分析
5	组合结构的强度分析
6	结构的固有频率与振型分析
7	结构的随机振动及动态应力分析
8	结构的接触问题分析
9	杆和板件的弹性稳定性问题分析
10	各向异性体的弹性力学问题分析
11	管路系统的位移场、应力场、温度场分析
12	结构的材料非线性、几何非线性、大变形及蠕变等弹塑性问题分析

有限元法是先将要计算的构件划分为有限个规则形状的微小块体,把每个小块体称为单元,相邻两单元之间只通过若干点互相连接,把每个连接点称为结点,把作用于各单元上的外荷载按虚功原理或静力等效原理化成各单元的等效结点载荷向量,用划分后的有限个小单元的集合体和等效结点载荷向量的集合体,代替原来要计算的构件。这一步称为结构离散化。图30-1是等厚度为 $t$ 的悬臂深梁划分为

47个三角形单元、35个结点的例子,每个三角形单元的三顶点都是结点。

有限元法是以结点参数作为基本未知量,根据所取结点的基本未知量不同,可分为

(1) 位移法:以结点位移作基本未知量

(2) 力法:以结点力作基本未知量

(3) 混合法:以一部分结点位移和一部分结点力作基本未知量



工程设计中广泛采用结点位移作为基本未知量。有限元法的位移法是根据分块近似逼近整体的构思,先选一简单多项式函数近似表达单元各向位移的分布规律,再把单元上任一点位移分量写成统一形式的位移插值函数式,即可用单元结点位移向量表达单元上任一点的位移、应变和应力。在保证单元满足平衡、连续和物理性质等约束条件下,利用变分或虚功原理建立单元结点位移向量与结点力向量之间的特性关系(形成单元刚度方程式)。这一步称为单元分析。

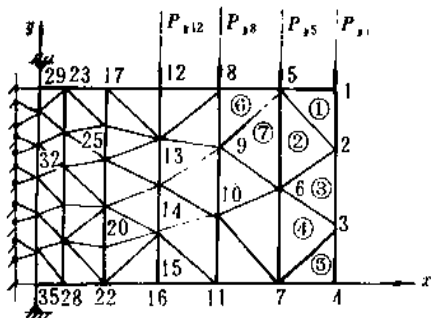


图 30-1 悬臂深梁有限元离散化模型

最后,通过结点平衡或协调条件,运用直接叠加原理,将各单元的特性关系组集成整体构件的特性关系,即建立整体构件的结点位移向量与结点力向量之间的特性关系(形成整体构件刚度方程式),从而得到一组以结点位移分量为未知量或结点力分量为未知量的多元一次联立方程组,再引入构件约束条件,就可求解构件强度问题的数值解。此步称为构件的整体分析。

上述由构件整体划分成各单元,又从各单元集成整体的分析方法,恰是有限元法的独特之处。该法的实质是采用分块近似插值函数去逼近整体连续函数,可使构件强度问题得到整体离散逼近、分块连续的近似数值解,比力学中的其他各种数值解具有很大优越性,在工程设计中获得广泛应用。

### 1.1 单元位移模式与形函数

根据构件强度问题的力学模型特点,选取合适的单元(考虑单元形状、大小和结点自由度数),将

构件离散化。因单元尺寸相对比较小,可允许将各单元内任一点位移写成统一形式的多项式函数,称此多项式函数为单元位移模式。根据解答的收敛性、连续性和精确度要求,选取单元的结点数和每个结点的自由度数,从而确定多项式位移模式的幂次和项数。对于平面单元,如设单元有  $m$  个结点,每个结点有两个位移分量  $u_i$  和  $v_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ), 则单元位移模式可写成

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & x^2 & xy & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & x & y & x^2 & xy & \dots \end{bmatrix} \{a\} \quad (30-1)$$

式中,  $\{a\}$  为由  $2m$  个常数  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{2m}$  组成的列阵。

将单元  $m$  个结点的坐标  $x_i$  和  $y_i$  代入式(30-1), 可得由  $2m$  个结点位移分量  $u_i$  和  $v_i$  组成的单元结点位移列阵

$$\{\delta\}^e = [\psi] \{a\} \quad (30-2a)$$

式中,  $[\psi]$  为将单元  $m$  个结点的坐标值  $x_i$  和  $y_i$  代入式(30-1)后得到的常数元素  $2m$  阶方阵。

式(30-2a)又可写成  $[\psi]$  的逆阵  $[\psi]^{-1}$  形式

$$\{a\} = [\psi]^{-1} \{\delta\}^e \quad (30-2b)$$

将式(30-2b)代入式(30-1)中,得

$$\{f\} = [\psi][\psi]^{-1} \{\delta\}^e = [N] \{\delta\}^e = \sum_{i=1}^m [N_i] \{\delta_i\} \quad (30-3)$$

式中  $[N]$  ——单元的形函数矩阵

$$[N] = [\psi][\psi]^{-1} = [[N_1][N_2] \dots [N_i] \dots [N_m]] \quad (30-4)$$

$[N_i]$  ——单元  $i$  结点的形函数矩阵, 见后叙;

$\{\delta_i\}$  ——单元  $i$  结点位移列阵。

$[N]$  和  $[N_i]$  中的每项元素  $N_i(x, y)$  ( $N_i$  为  $i$  结点的形函数)都是形如位移模式  $(f)$  或  $u$  和  $v$  的同幂次多项式函数, 且有  $N_i(x_i, y_i) = 1, N_i(x_j, y_j) = 0, j \neq i$ 。显然,  $\{\delta\}^e$  的行数和  $[N]$  或  $[N_i]$  的每项元素的多项式函数形式都取决于单元的类型和其结点数多少, 而后二者又和构件种类及所要求的有限元计算精度有关。

表 30-2 列出工程中常用的几种典型单元的位移模式和它们的适用情况。

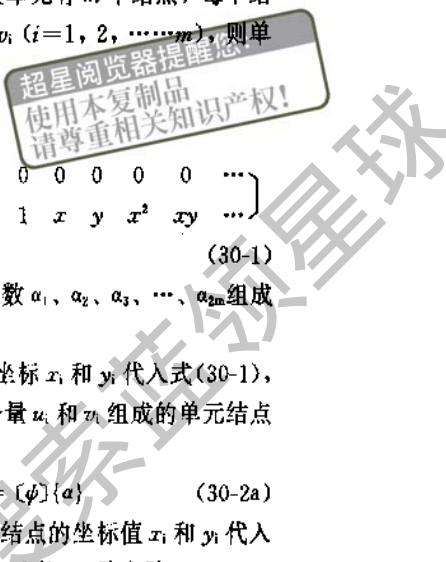
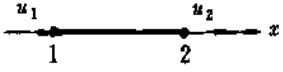
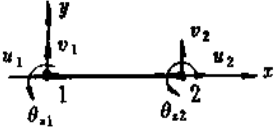
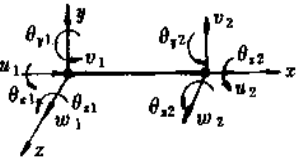
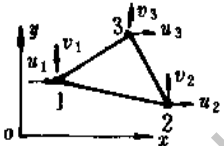

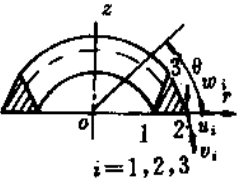




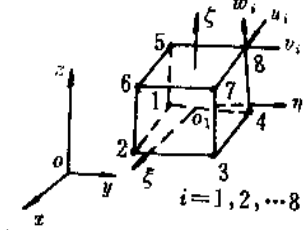
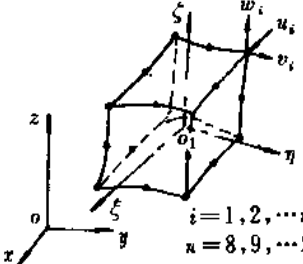
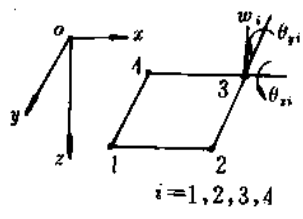
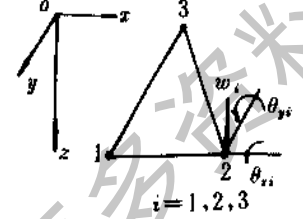
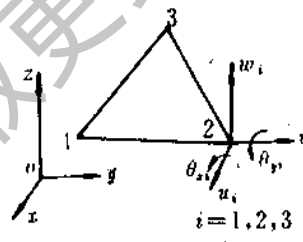
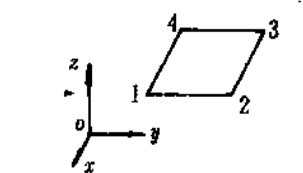
表 30-2 几种典型单元的位移模式

单元名称及适用情况	单元图形	结点数	每个结点的自由度数	单元位移模式
桁架单元 桁架问题		2	1	$u = a_1 + a_2x$
平面梁元 平面刚架问题		2	3	$u = a_1 + a_2x$ $v = a_3 + a_4x + a_5x^2 + a_6x^3$
空间梁元 空间刚架问题		2	6	xy 平面梁元、xz 平面纯弯曲梁元和绕 z 轴纯扭转元的位移模式组合
平面三角形元 平面应力或平面应变问题		3	2	$u = a_1 + a_2x + a_3y$ $v = a_4 + a_5x + a_6y$
平面四边形元 平面应力或平面应变问题		4	2	$u = a_1 + a_2\xi + a_3\eta + a_4\xi\eta$ $v = a_5 + a_6\xi + a_7\eta + a_8\xi\eta$
三角形截面环元 轴对称实体或轴对称厚壳问题		3	2 或 3	$u = (a_1 + a_2r + a_3z) \cos n\theta$ $+ (a'_1 + a'_2r + a'_3z) \sin n\theta$ $w = (a_4 + a_5r + a_6z) \cos n\theta$ $+ (a'_4 + a'_5r + a'_6z) \sin n\theta$ $v = (a_7 + a_8r + a_9z) \sin n\theta$ $+ (a'_7 + a'_8r + a'_9z) \cos n\theta$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

蓝领星球

续表 30-2

单元名称及适用情况	单元图形	结点数	每个结点的自由度数	单元位移模式
六面体等参元 三维应力问题	 <p><math>i=1, 2, \dots, 8</math></p>	8	3	$u = a_1 + a_2\xi + a_3\eta + a_4\xi + a_5\xi\eta + a_6\eta\xi + a_7\xi^2 + a_8\xi\eta + a_9\eta^2 + a_{10}\xi^2 + a_{11}\xi^2\eta + a_{12}\xi^2\eta^2 + a_{13}\eta^2\xi + a_{14}\eta^2\xi^2 + a_{15}\xi^2\eta^2 + a_{16}\xi^2\eta^2 + a_{17}\xi^2\eta^2 + a_{18}\xi^2\eta^2 + a_{19}\xi^2\eta^2 + a_{20}\xi^2\eta^2$ $v = a_{21} + \dots + a_{40}\xi\eta\xi^2$ $w = a_{41} + \dots + a_{60}\xi\eta\xi^2$
20 结点和 8~12 结点空间等参元 三维应力问题	 <p><math>i=1, 2, \dots, n</math> <math>n=8, 9, \dots, 21</math></p>	20 或 8~21	3	$u = a_1 + a_2\xi + a_3\eta + a_4\xi + a_5\xi^2 + a_6\eta^2 + a_7\xi^2 + a_8\xi\eta + a_9\eta^2 + a_{10}\xi^2 + a_{11}\xi^2\eta + a_{12}\xi^2\eta^2 + a_{13}\eta^2\xi + a_{14}\eta^2\xi^2 + a_{15}\xi^2\eta^2 + a_{16}\xi^2\eta^2 + a_{17}\xi^2\eta^2 + a_{18}\xi^2\eta^2 + a_{19}\xi^2\eta^2 + a_{20}\xi^2\eta^2$ $v = a_{21} + \dots + a_{40}\xi\eta\xi^2$ $w = a_{41} + \dots + a_{60}\xi\eta\xi^2$
矩形板元 薄板弯曲问题	 <p><math>i=1, 2, 3, 4</math></p>	4	3	$w = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 + a_7x^3 + a_8x^2y + a_9xy^2 + a_{10}y^3 + a_{11}x^3y + a_{12}xy^3$
三角形板元 薄板弯曲问题	 <p><math>i=1, 2, 3</math></p>	3	3	$w = a_1L_1 + a_2L_2 + a_3L_3 + a_4L_2L_3 + a_5L_3L_1 + a_6L_1L_2 + a_7(L_2L_3^2 - L_3L_1^2) + a_8(L_3L_1^2 - L_1L_3^2) + a_9(L_1L_2^2 - L_2L_1^2)$ <p><math>L_1, L_2, L_3</math> 为面积坐标</p>
三角形壳元 薄壳问题	 <p><math>i=1, 2, 3</math></p>	3	5 或 6	平面应力三角形元与三角形板元的位移模式组合
矩形壳元 圆柱薄壳问题		4	5 或 6	平面应力矩形元与矩形板元的位移模式组合

## 1.2 单元应变和应力

将式 (30-3) 代入弹性力学的位移与应变关系式, 可得单元上任一点应变列阵

$$\{\epsilon\} = [B]\{\delta\}^e \quad (30-5)$$

再将式 (30-5) 代入弹性力学的应变与应力关系式, 可得单元内任一点应力列阵

$$\{\sigma\} = [D][B]\{\delta\}^e + [D]\{\epsilon_0\} \quad (30-6)$$

式中  $[B]$  —— 单元应变矩阵, 它的每项元素都是  $[N]$  中各元素对坐标的偏导数;

$[D]$  —— 材料的弹性矩阵;

$\{\epsilon_0\}$  —— 单元的初应变列阵 (温度和势场影响)。

## 1.3 单元刚度方程与单元刚度矩阵

从受外力而平衡的离散后构件中取出一个单元, 则单元的结点位移列阵  $\{\delta\}^e$  或应力列阵  $\{\sigma\}$  必与单元的结点载荷列阵  $\{F\}^e$  处于平衡关系。利用与单元平衡条件等价的虚位移原理或最小势能原理建立这种平衡关系, 可得单元刚度方程

$$\{F\}^e = \iiint_V [B]^T [D] [B] dV \{\delta\}^e = [K]^e \{\delta\}^e \quad (30-7)$$

式中  $V$  —— 单元体积

$[K]^e$  —— 单元刚度矩阵

$$[K]^e = \iiint_V [B]^T [D] [B] dV \quad (30-8)$$

$[B]^T$  —— 单元应变矩阵  $[B]$  的转置矩阵

如果单元有  $m$  个结点, 则式 (30-8) 经积分后可得  $m$  行  $m$  列子块的方阵, 每个子块内元素个数视单元每个结点自由度数而定。例如, 平面元, 每个子块有 2 行 2 列元素; 空间等参元、平面梁元和板元, 每个子块有 3 行 3 列元素; 空间梁元和壳元, 每个子块有 6 行 6 列元素。显然, 式 (30-7) 和式 (30-8) 适用于各类型单元, 是单元刚度方程和刚度矩阵的通式。对于不同类型单元, 只是  $[K]^e$  中的  $[B]$  和  $[D]$  不同而已。

## 1.4 单元等效结点载荷

在有限元法计算中, 要把每个单元所受的外载荷 (体力、面力和未作用于结点上的集中力, 以及温度场和势场等) 转化为功能等效的单元等效结点载

荷。可利用虚位移原理建立各类单元各种外载荷的等效结点载荷计算式。

(1) 体力  $\{p\}$  的单元等效结点载荷

$$\{R_p\}^e = \iiint_V [N]^T \{p\} dV$$

(2) 面力  $\{q\}$  的单元等效结点载荷

$$\{R_q\}^e = \iint_S [N]^T \{q\} dS \quad (30-10)$$

式中  $S$  —— 面力  $\{q\}$  的作用域。

(3) 作用于单元上  $C$  点 (非结点) 的集中力  $\{P\}$  的单元等效结点载荷

$$\{R_p\}^e = [N]_C^T \{P\} \quad (30-11)$$

式中  $[N]_C$  —— 单元形函数矩阵在单元  $C$  点取值。

(4) 温度和势场 (初应变) 影响的单元等效结点载荷

$$\{R_{\epsilon_0}\}^e = \iiint_V [B]^T [D] \{\epsilon_0\} dV \quad (30-12)$$

单元总的等效结点载荷

$$\{R\}^e = \{R_p\}^e + \{R_q\}^e + \{R_p\}^e + \{R_{\epsilon_0}\}^e \quad (30-13)$$

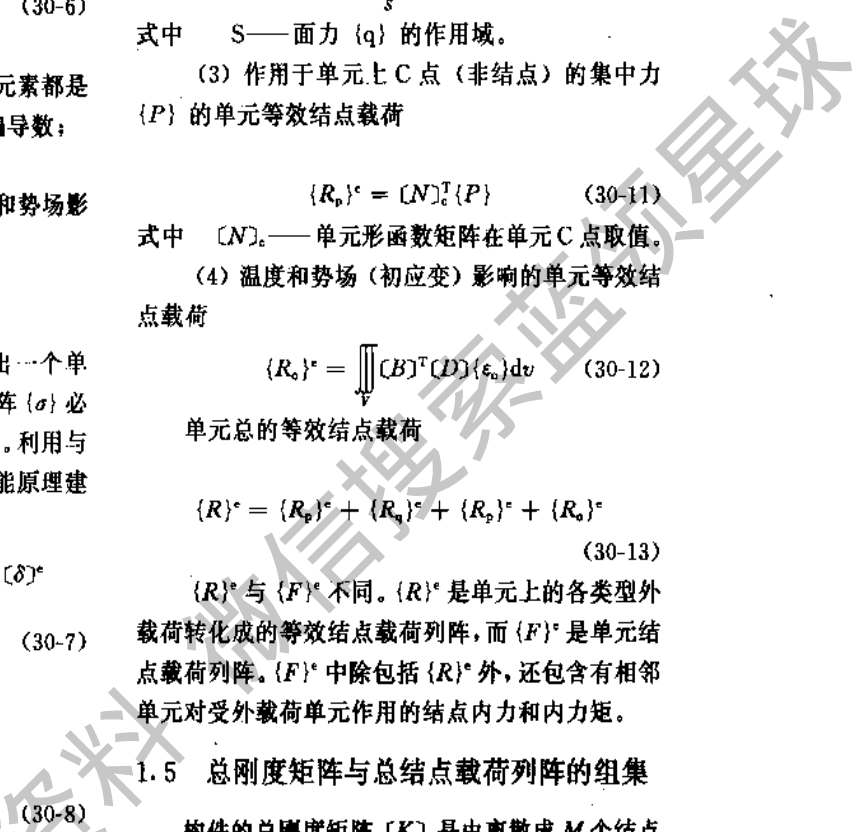
$\{R\}^e$  与  $\{F\}^e$  不同,  $\{R\}^e$  是单元上的各类型外载荷转化成的等效结点载荷列阵, 而  $\{F\}^e$  是单元结点载荷列阵。 $\{F\}^e$  中除包括  $\{R\}^e$  外, 还包含有相邻单元对受外载荷单元作用的结点内力和内力矩。

## 1.5 总刚度矩阵与总结点载荷列阵的组集

构件的总刚度矩阵  $[K]$  是由离散成  $M$  个结点和  $n_e$  个单元的单元刚度矩阵  $[K]^e$  ( $e=1, 2, \dots, n_e$ ) 直接叠加 (直接叠加规则) 而成。该直接叠加可分为两步执行, (1) 按各单元的结点编号顺序, 将每个  $[K]^e$  的  $m$  行  $n$  列 ( $m=1, 2, \dots, m; n=1, 2, \dots, m$ ) 子块送到  $[K]$  ( $[K]$  为  $M$  行  $M$  列子块方阵) 中对应结点编号的行、列位置, 而且交于同一结点编号的不同单元, 对应于该结点的刚度矩阵子块要互相叠加; (2)  $[K]$  中每个子块按结点自由度数  $l$  展成  $l^2$  个元素, 存贮于计算机内存的指定地址。形成  $[K]$  的上述两步, 实际上是交叉执行的。形成  $[K]$  的具体实例, 见本章 2.2。

构件的总结点载荷列阵  $\{F\}$  的形成方法, 可按构件离散后结点总数  $M$  及每个结点的自由度数  $l$ , 要求计算机开辟  $M \cdot l$  行一列内存地址, 且把每个内存地址充零, 再按各受外载荷的结点编号顺序及

超星浏览器提醒您:  
使用超星制品  
请尊重相关知识产权!



其自由度数, 将各受外载荷结点的结点载荷  $\{R_p\}^e$ 、 $\{R_q\}^e$ 、 $\{R_p\}^e$  和  $\{R_q\}^e$ , 以及给定的结点集中载荷直接送往计算机已开辟的指定内存地址, 而且同一受载结点受有两种以上的结点外载荷, 要互相叠加, 从而形成  $\{F\}$ 。至于离散构件上受约束结点的各向约束反力, 此时, 在  $\{F\}$  中已变成零, 这是因为有限元法一般不求构件约束反力的缘故。如果需用有限元法即求构件强度问题又要求解构件约束反力, 必须将  $[K]$  和  $\{F\}$  做特殊处理。形成  $\{F\}$  的具体实例, 见本章 2.2。

根据构件离散化后各结点的平衡关系, 可建立构件的刚度方程式

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \quad (30-14)$$

式中,  $\{\delta\}$  为构件离散化后总结点位移列阵, 它直接由结点编号顺序和每个结点自由数排列而成。 $\{\delta\}$  是式 (30-14) 中的未知量。

### 1.6 引入构件约束条件、求解位移和应力

式 (30-14) 是构件在无约束条件下, 以结点位移为未知量的联立方程组。此方程组的未知量  $\{\delta\}$  中包括结点的刚体位移和因构件变形产生的位移。因此, 必须对式 (30-14) 引入构件约束条件, 消除刚体位移 (使  $[K]$  由奇异矩阵变成非奇异矩阵), 才能求解各结点因构件变形产生的位移。

引入构件约束条件的常用方法有两种: 一种是处理构件上某一结点某一自由度方向的零位移, 另一种是处理构件某一结点某一自由度方向的非零已知位移。

对于第一种方法, 如设平面构件第  $i$  个结点  $x$  向位移  $u_i = 0$ , 则可对式 (30-14) 中的  $[K]$  和  $\{F\}$  作如下修改:

(1) 将  $[K]$  中第  $2i-1$  行和列的对角线元素  $K_{2i-1, 2i-1}$  改为 1, 该行和列的其他元素改为零;

(2) 将  $\{F\}$  中第  $2i-1$  行元素改为零

对于第二种方法, 如仍设平面构件第  $i$  个结点  $x$  向位移  $u_i = u_0$  不为零的常量, 则可对  $[K]$  和  $\{F\}$  作如下修改:

(1) 将  $[K]$  中第  $2i-1$  行和列对角线元素  $K_{2i-1, 2i-1}$  乘上  $A$  ( $A=10^{10}$ ), 其他元素不变;

(2) 将  $\{F\}$  中第  $2i-1$  行元素换成  $Au_0$ 、 $K_{2i-1, 2i-1}$ 。

经上述两种修改  $[K]$  和  $\{F\}$  后, 展开修改后的式 (30-14) 第  $2i-1$  个刚度方程式, 恰好得到  $u_i = 0$  或  $u_i = u_0$ 。上述方法对构件多个受约束结点可重复使用。对于空间构件、板和壳强度问题, 可根据其每

个结点自由度数和约束结点  $i$  的自由度修改下标  $2i-1$ , 再执行 (1)、(2) 两步。

按常用的解联立方程组方法求解修改后的式 (30-14), 可得构件离散化后的结点位移列阵  $\{\delta\}$ , 再从  $\{\delta\}$  中取出各单元的  $\{\delta\}^e$  代入式 (30-6) 中, 就可求得各单元的应力  $\{\sigma\}$ 。这样, 就可进一步绘出构件的变形图及应力分布图, 为构件强度设计提供重要基础。

## 2 用平面三角形单元解平面构件强度问题

工程上许多构件的强度问题, 可简化成弹性力学平面问题 (平面应力或平面应变问题) 进行强度计算。现以图 30-2 示的受均布载荷  $q=100 \text{ MPa}$  两端固结的深梁为例, 阐述用三结点三角形单元划分深梁构件, 进行有限元法计算的全部过程。

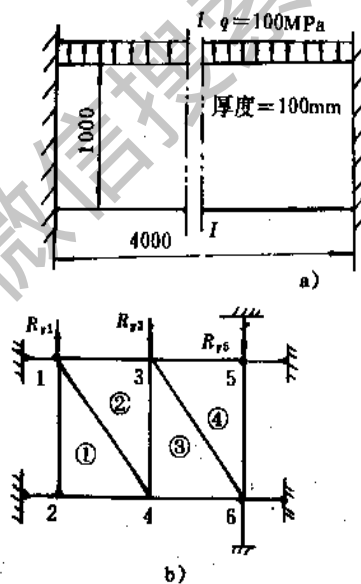


图 30-2 深梁有限元计算

a) 深梁给定数据; b) 深梁有限元分割

因图 30-2a) 示的深梁形状和外载荷都对称于其垂直中心线 I-I, 可只取其右 (或左) 半段进行有限元分析。图 30-2b) 示出粗算时对右半段深梁划分成六个结点 (1、2、3、4、5、6)、四个平面三结点三角单元 (①、②、③、④), 把半段梁上受的均布载荷  $q$  化成结点 1、3、5 上的垂直方向等效结点载荷  $R_{y1}$ 、 $R_{y3}$ 、 $R_{y5}$ , 半段梁左端 1、2 结点的水平链杆表

示 1、2 结点水平位移为零, 而 5、6 结点的水平和垂直链杆表示这两个结点的水平和垂直位移都是零。

### 2.1 平面问题有限元算式

平面三角形单元有三个结点, 每个结点有两个独立的位移分量, 整个单元有六个结点位移分量, 故

单元位移模式可选用包含六个常数的  $x$  和  $y$  一次多项式 (见表 30-2), 根据三结点平面三角形单元的上述特点, 运用本章 1.1~1.5 所列出的有限元计算式, 可列出表 30-3 示的平面三结点三角形单元有限元分析公式。

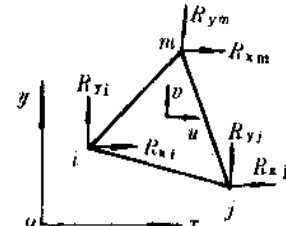
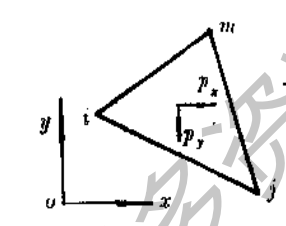
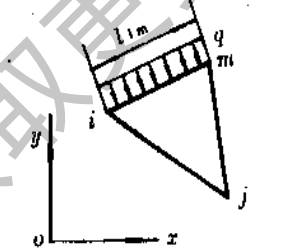
提醒您: 侵权必究 请尊重相关知识产权!

表 30-3 平面三结点三角形单元有限元分析公式表

物理量	基本公式及图形	计算用公式
位移	$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = [N] \{\delta\}^e$	$\{\delta\}^e = [u_i \ v_i \ u_j \ v_j \ u_m \ v_m]^T$ $[N] = \begin{bmatrix} N_i & 0 & N_j & 0 & N_m & 0 \\ 0 & N_i & 0 & N_j & 0 & N_m \end{bmatrix}$ $N_i = \frac{1}{2\Delta} (a_i + b_i x + c_i y)$ $N_j = \frac{1}{2\Delta} (a_j + b_j x + c_j y)$ $N_m = \frac{1}{2\Delta} (a_m + b_m x + c_m y)$ $\Delta = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_m & y_m \end{vmatrix} = \frac{1}{2} (a_i + a_j + a_m)$ <p><math>x_i, y_i</math> 为结点坐标值, (<math>i=i, j, m</math>)  <math>\Delta</math> 为三角形面积  <math>a_i = x_j y_m - x_m y_j</math> (<math>i, j, m</math> 轮换)  <math>b_i = y_j - y_m</math> (<math>i, j, m</math> 轮换)  <math>c_i = -(x_j - x_m)</math> (<math>i, j, m</math> 轮换)</p>
应变	$\{\epsilon\} = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \gamma_{xy}]^T$ $= \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix}^T$ $= [B] \{\delta\}^e$	$[B] = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_m & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_m \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_m & b_m \end{bmatrix}$ <p>该单元为常应变单元</p>
应力	$\{\sigma\} = [\sigma_x \ \sigma_y \ \tau_{xy}]^T$ $= [D] (\{\epsilon\} + \{\epsilon_0\})$ $= [D] [B] \{\delta\}^e + [D] \{\epsilon_0\}$ <p><math>E</math> 为材料的弹性模量  <math>\gamma</math> 为泊松比</p>	$[D] = \frac{E}{1-\gamma^2} \begin{bmatrix} 1 & \gamma & 0 \\ \gamma & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\gamma}{2} \end{bmatrix}$ <p>(平面应力)</p> $[D] = \frac{1}{(1+\gamma)(1-2\gamma)} \begin{bmatrix} 1-\gamma & \gamma & 0 \\ \gamma & 1-\gamma & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\gamma}{2} \end{bmatrix}$ <p>(平面应变)</p>

续表 30-3

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

物理量	基本公式及图形	计 算 用 公 式
单元刚度矩阵	$[K]^e = \int_V [B]^T [D] [B] dV$	$[K]^e = [B]^T [D] [B] t \Delta$ $= \begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] & [k_{im}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] & [k_{jm}] \\ [k_{mi}] & [k_{mj}] & [k_{mm}] \end{bmatrix}$ <p><math>t</math> 为单元厚度</p> <p>对于平面应力问题 <math>[K_{\sigma}] = \frac{Et}{4(1-\gamma^2)\Delta}</math></p> $\begin{bmatrix} b_i b_s + \frac{1-\gamma}{2} c_i c_s \gamma b_i c_s + \frac{1-\gamma}{2} c_i b_s \\ \gamma c_i b_s + \frac{1-\gamma}{2} b_i c_s & c_i c_s + \frac{1-\gamma}{2} b_i b_s \end{bmatrix}$ <p><math>r=i, j, m</math> 轮换 <math>s=i, j, m</math> 轮换</p> <p>对于平面应变问题</p> $[K_{\epsilon}] = \frac{Et(1-\gamma)}{4\Delta(1+\gamma)(1-2\gamma)}$ $\begin{bmatrix} b_i b_s + \frac{1-2\gamma}{2(1-\gamma)} c_i c_s & \frac{\gamma}{1-\gamma} b_i c_s + \frac{1-2\gamma}{2(1-\gamma)} c_i b_s \\ \frac{\gamma}{1-\gamma} c_i b_s + \frac{1-2\gamma}{2(1-\gamma)} b_i c_s & c_i c_s + \frac{1-2\gamma}{2(1-\gamma)} b_i b_s \end{bmatrix}$
单元等效结点载荷列阵		$\{R\}^e = [R_{xi} R_{yi} R_{xj} R_{yj} R_{xm} R_{ym}]^T$
均布体力的单元等效结点载荷		$R_{xi} = R_{xj} = R_{xm} = \frac{1}{3} \Delta t p_x$ $R_{yi} = R_{yj} = R_{ym} = \frac{1}{3} \Delta t (-p_y)$ <p><math>p_x</math> 为 <math>x</math> 向体力, <math>p_y</math> 为 <math>y</math> 向体力</p>
均布面力的单元等效结点载荷		$R_{xi} = R_{xm} = \frac{1}{2} q_x l_{im}$ $R_{yi} = R_{ym} = \frac{1}{2} q_y l_{im}$ $R_{xj} = R_{yj} = 0$
总刚度矩阵	$[K] = \sum_{e=1}^n [K]^e$ <p><math>n_e</math> 为单元总数</p>	<p>把各单元刚度矩阵按单元信息送到总刚对应位置并叠加一次, <math>[K]</math> 用半带存贮或一维存贮</p>
总等效结点载荷列阵	$\{F\} = \sum_{e=1}^n \{R\}^e$	<p>把各单元等效结点载荷按结点编号顺序排列并叠加一次</p>



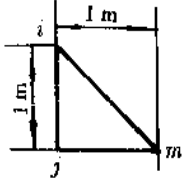
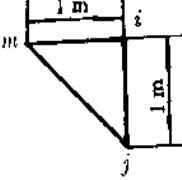
2.2 平面问题有限元粗算演示

结合图 30-2b) 示的深梁有限元模型, 运用表 30-3 示的计算公式, 对该深梁的强度和刚度进行有限元分析。由于单元①和③、单元②和④的形状和尺

寸相同, 故单元①和③的  $[B]$  相同, 单元②和④的  $[B]$  相同,  $[K]^e$  都相同。如按各单元结点编号  $i, j, m$  排列单元信息, 则各单元的  $[B]$ 、 $[D]$ 、 $[K]^e$  的计算结果列于表 30-4。

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 30-4 计算各单元  $[B]$   $[D]$  和  $[K]^e$

单元图形								
结点编号	1	2	3	4	5	6		
结点坐标 $x_i, y_i$	0, 1	0, 0	1, 1	1, 0	2, 1	2, 0		
单元编号	①		②		③		④	
单元信息 $i, j, m$	1, 2, 4		3, 4, 6		4, 3, 1		6, 5, 3	
$a_i, a_j, a_m$	0, 1, 0		0, 2, 0		1, 1, 0		1, -2, 0	
$b_i, b_j, b_m$	0, -1, 1		0, -1, 1		0, 1, -1		0, 1, -1	
$c_i, c_j, c_m$	1, -1, 0		1, -1, 0		-1, 1, 0		-1, 1, 0	
$[B]$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$				$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$			
$[D]$ $\gamma=0.3, E=2 \times 10^5 \text{MPa}$	$\begin{bmatrix} 2.2 & 0.66 & 0 \\ 0.66 & 2.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.77 \end{bmatrix} \times 10^5$				$\begin{bmatrix} 2.2 & 0.66 & 0 \\ 0.66 & 2.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.77 \end{bmatrix} \times 10^5$			
$[D][B]$	$\begin{bmatrix} 0 & 0.66 & -2.2 & -0.66 & 2.2 & 0 \\ 0 & 2.2 & -0.66 & -2.2 & 0.66 & 0 \\ 0.77 & 0 & -0.77 & -0.77 & 0 & 0.77 \end{bmatrix} \times 10^5$				$\begin{bmatrix} 0 & -0.66 & 2.2 & 0.66 & -2.2 & 0 \\ 0 & -2.2 & 0.66 & 2.2 & -0.66 & 0 \\ 0.77 & 0 & 0.77 & 0.77 & 0 & -0.77 \end{bmatrix} \times 10^5$			
$[K]^e = [B]^T [D] [B] \Delta$ $t=0.1M$ $\Delta=0.5M^2$	$\begin{bmatrix} 0.77 & 0 & -0.77 & -0.77 & 0 & 0.77 \\ 2.2 & -0.66 & -2.2 & 0.66 & 0 & 0 \\ 2.97 & 1.43 & -2.2 & -0.77 & 0 & 0 \\ 2.97 & -0.66 & -0.77 & 0 & 0 & 0 \\ 2.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.77 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.77 \end{bmatrix} \times 5 \times 10^3$ 对称 $= [K]^{\text{①}} = [K]^{\text{③}}$				$\begin{bmatrix} 0.77 & 0 & -0.77 & -0.77 & 0 & 0.77 \\ 2.2 & -0.66 & -2.2 & 0.66 & 0 & 0 \\ 2.97 & 1.43 & -2.2 & -0.77 & 0 & 0 \\ 2.97 & -0.66 & -0.77 & 0 & 0 & 0 \\ 2.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.77 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.77 \end{bmatrix} \times 5 \times 10^3$ 对称 $= [K]^{\text{②}} = [K]^{\text{④}}$			



0 星浏览器提醒您：  
使用本复制时，  
请尊重相关知识产权！

$$[K]_3 = \begin{bmatrix} 2.97 & 0 & -0.77 & 0.77 & -2.2 & -0.66 & 0 & 1.43 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 2.97 & -0.66 & -2.2 & -0.97 & -0.77 & 1.43 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 2.97 & 1.43 & 0 & 0 & -2.2 & -0.77 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 2.97 & 0 & 0 & -0.66 & -0.77 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & \underline{3.74} & \underline{1.43} & \underline{-1.54} & \underline{-1.43} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & \underline{5.17} & \underline{-1.43} & \underline{-4.4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & \underline{5.94} & \underline{1.43} & 0 & 0 & \underline{-2.2} & \underline{-0.77} \\ & & & & & & & \underline{5.94} & 0 & 0 & \underline{-0.66} & \underline{-0.77} \\ & & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & \underline{2.2} & 0 \\ & & & & & & & & & & & \underline{0.77} \end{bmatrix} \times 5 \times 10^3$$

对称

=  $[K]^{(1)} + [K]^{(2)} + [K]^{(3)}$

$$[K]_4 = \begin{bmatrix} 2.97 & 0 & -0.77 & 0.77 & -2.2 & -0.66 & 0 & 1.43 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 2.97 & -0.66 & -2.2 & -0.77 & -0.77 & 1.43 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 2.97 & 1.43 & 0 & 0 & -2.2 & -0.77 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 2.97 & 0 & 0 & -0.66 & -0.77 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & \underline{5.94} & \underline{-1.43} & \underline{-1.54} & \underline{-1.43} & \underline{-2.2} & \underline{-0.66} & 0 & \underline{1.43} \\ & & & & & \underline{5.94} & \underline{-1.43} & \underline{-4.4} & \underline{-0.77} & \underline{-0.77} & \underline{1.43} & 0 \\ & & & & & & \underline{5.94} & \underline{1.43} & 0 & 0 & \underline{-2.2} & \underline{-0.77} \\ & & & & & & & \underline{5.94} & 0 & 0 & \underline{-0.66} & \underline{-0.77} \\ & & & & & & & & \underline{2.97} & \underline{1.43} & \underline{-0.77} & \underline{-0.66} \\ & & & & & & & & & \underline{2.97} & \underline{-0.77} & \underline{-2.2} \\ & & & & & & & & & & \underline{2.97} & 0 \\ & & & & & & & & & & & \underline{2.97} \end{bmatrix} \times 5 \times 10^3$$

对称

=  $[K]^{(1)} + [K]^{(2)} + [K]^{(3)} + [K]^{(4)} = \sum_{e=1}^4 [K]^{(e)} = [K]$

$[K]_2$ 、 $[K]_3$ 、 $[K]_4$  中的元素下端带一横线者为经过一次叠加。

从形成的  $[K]$  看出， $[K]$  中非零元素聚集于主对角线两侧，是一稀疏对称的带状矩阵，而且离散后构件的结点和单元划分得越多， $[K]$  越稀疏越变成细长的带状矩阵，这是有限元分析中构件总刚度

矩阵具有的普遍特征。 $[K]$  的存储和刚度方程的求解都可利用这一特征，可节省计算机的大量内存。

实际计算时，为了利用  $[K]$  的上述特征，一般是将  $[K]$  的上三角阵改成如下的半带存储或称竖带存储矩阵  $[K]_H$

$$[K]_H = \begin{bmatrix} 2.97 & 0 & -0.77 & 0.77 & -2.2 & -0.66 & 0 & 1.43 \\ 2.97 & -0.66 & -2.2 & -0.77 & -0.77 & 1.43 & 0 & 0 \\ 2.97 & 1.43 & 0 & 0 & -2.2 & -0.77 & 0 & 0 \\ 2.97 & 0 & 0 & -0.66 & -0.77 & 0 & 0 & 0 \\ 5.94 & -1.43 & -1.54 & -1.43 & -2.2 & -0.66 & 0 & 1.43 \\ 5.94 & -1.43 & -4.4 & -0.77 & -0.77 & 1.43 & 0 & 0 \\ 5.94 & 1.43 & 0 & 0 & -2.2 & -0.77 & 0 & 0 \\ 5.94 & 0 & 0 & -0.66 & -0.77 & 0 & 0 & 0 \\ 2.97 & 1.43 & -0.77 & -0.66 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.97 & -0.77 & -2.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.97 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.97 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

此时，其半带宽  $d$  为

$$d = (\text{各单元相邻结点最大差值} + 1) \times \text{结点自由度数} \quad (30-15)$$

对于图 30-2b 示平面离散化构件， $d = (3+1) \times 2 = 8$ 。[K] 由上三角阵改成半带存贮矩阵  $[K]_H$  后， $[K]_H$  中元素的行数不变，其列数变成

$$[K]_H \text{ 中元素的列数} = [K] \text{ 中元素的列数} - \text{该元素的行数} + 1 \quad (30-16)$$

图 30-2b) 示平面离散化构件的总结点荷载列阵  $\{F\}$  的形成，可先由②单元13边和④单元35边受的面力  $q$  按表 30-3 给出的公式移置到结点 1、3、5 上，得到  $R_{y1} = -5000\text{kN}$ ， $R_{y3} = -10000\text{kN}$ ， $R_{y5} = -5000\text{kN}$ ，然后按离散化构件结点编号顺序写成

$$\{F\} = [0 \quad -5000 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -10000 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -5000 \quad 0 \quad 0]^T$$

形成  $[K]_H$  和  $\{F\}$  后，可组成构件刚度方程

$$[K]_H \{\delta\} = \{F\} \quad (30-17)$$

式中， $\{\delta\} = [u_1 \ v_1 \ u_2 \ v_2 \ u_3 \ v_3 \ u_4 \ v_4 \ u_5 \ v_5 \ u_6 \ v_6]^T$ ， $\{\delta\}$  是未知数，可不必单独开辟计算机内存，待解完刚度方程后，把解得的  $\{\delta\}$  直接存贮在  $\{F\}$  的对应内存地址。

由于未引入构件约束条件， $[K]$  或  $[K]_H$  均为奇异矩阵，直接由式 (30-17) 尚不能求出唯一的  $\{\delta\}$  解。需要按本章 1.6 所述原理，引入约束条件 ( $u_1 = u_2 = u_5 = v_5 = u_6 = v_6 = 0$ )，修改式 (30-17)，可得非奇异的刚度方程 (代数方程组)

$$5 \times 10^3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.97 & 0 & -2.2 & -0.77 & -0.77 & 1.43 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.97 & 0 & 0 & -0.66 & -0.77 & 0 & 0 & 0 \\ 5.94 & -1.43 & -1.54 & -1.43 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.94 & -1.43 & -4.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.94 & 1.43 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.94 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \\ u_5 \\ v_5 \\ u_6 \\ v_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -5000 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -10000 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

用高斯消元法解此方程组，可求出未知的结点位移分量  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $u_3$ 、 $v_3$ 、 $u_4$  和  $v_4$ ，再根据表 30-4 给出的单元信息组成各单元的  $\{\delta\}^e$ ，并使  $\{\delta\}^e$  与该表中

给出的各单元  $[D]$   $[B]$  相乘，可求得各单元应力  $\{\sigma\}$ ，还可进一步求得各单元的主应力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ ，以及主应力方向角  $\theta$  ( $\sigma_1$  与  $x$  轴夹角)，见表 30-5。

表 30-5 计算结果

结点号	结点位移, mm		单元号	单元应力, MPa					
	x 向	y 向		$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta$ 度
1	0	3.5704	①	-63.872	64.021	-64.021	90.561	-90.412	112.517
2	0	3.1004	②	78.378	25.924	-35.979	96.675	7.628	153.045
3	0.35301	2.3402	③	92.090	30.038	-119.983	184.993	-62.865	142.249
4	-0.4154	2.3282	④	-77.584	-23.275	-180.017	131.625	-232.483	130.711
5	0	0							
6	0	0							

上述六结点四单元平面离散化深梁的强度粗算,是向读者展现出有限元法计算的全部过程。对于实际工程构件的有限元法全部计算,都是在计算机内进行,而且要事先把编好的计算机程序输入给计算机,经计算,最后输出  $\{\delta\}$  和各单元  $\{\sigma\}$ , 以及各单元主应力和主应力方向角。

### 2.3 平面三结点三角形单元有限元程序说明

本手册附带两块磁盘,盘中录有平面三结点三角形单元有限元计算程序(PROGRAM FISHA),供读者应用。

使用 FISHA 程序,需要向计算机按如下顺序输入数据:

#### (1) 输入 NJ, NE, NZ, NPJ, IDD

NJ—离散化构件结点总数,  $NJ \leq 350$

NE—单元总数,  $NE = n_e \leq 450$

NZ—离散化构件支承杆总数,  $NZ \leq 100$

NPJ—离散化构件等效结点荷载分量总数,  $NPJ \leq 100$

IDD—总刚度半带矩阵  $[K]_H$  的半带宽,  $IDD = d \leq 50$

#### (2) 输入 LXM, EO, AMU, ALOU, TE

LXM—问题类型数,平面应力问题  $LXM=0$ , 平面应变问题  $LXM=1$

EO—材料弹性模量,  $EO=E$

AMU—材料泊松比,  $AMU=\nu$

ALOU—材料容重

TE—单元厚度

#### (3) 输入 AJZ 数组

AJZ—离散化构件结点坐标数组,该数组又写成  $AJZ(NJ, 2)$ ,可分成  $AJZ(I,$

1) 和  $AJZ(I, 2)$  输入,  $AJZ(I, 1)$  和  $AJZ(I, 2)$  分别代表  $I$  结点  $x$  和  $y$  坐标值

#### (4) 输入 JM 数值

JM—离散化构件单元信息数组,可写成  $JM(NE, 3)$ ,分成  $JM(IE, 1)$ 、 $JM(IE, 2)$ 、 $JM(IE, 3)$  输入,三者分别代表  $IE$  单元的三结点  $i, j, m$  的总体编号

#### (5) 输入 IZC 数值

IZC—离散化构件的支承杆数组,可写成  $IZC(NE)$

#### (6) 输入 PJ 数组

PJ—离散化构件的等效结点荷载数组,可写成  $PJ(NPJ, 2)$ ,分成  $PJ(I, 1)$  和  $PJ(I, 2)$  输入,  $PJ(I, 1)$  代表  $I$  结点荷载值,  $PJ(I, 2)$  代表  $I$  结点位移分量顺序号。如果离散化构件没有等效结点荷载,只有单元自重(不用事先划成等效结点荷载),则  $PJ$  数组只需输入  $0, 0$ ; 为此,该程序开始时,将已输入的  $NPJ$  改成  $NPJ-1$ 。因此,当离散化构件有等效结点荷载时,需要输入  $NPJ+1$  组结点荷载信息,而且开始一组需要输入  $0, 0$ ,以后各组再输入  $PJ(I, 1)$  和  $PJ(I, 2)$

程序的输出数据:

(1) 输出离散化构件的结点号  $JD$ 、结点  $x$  向位移  $U$  和  $y$  向位移  $V$

(2) 输出离散化构件的各单元编号  $IE$  及其应力  $s_x, s_y$  和  $TAU$ , 以及各单元主应力  $s_1, s_2$  和主应力方向角  $CET$

注:  $s_x = \sigma_x, s_y = \sigma_y, TAU = \tau_{xy}, s_1 = \sigma_1, s_2 = \sigma_2$

$CET=0$ 。

2.4 平面问题有限元法工程算例

长和宽都是 280mm，厚度  $t=10\text{mm}$  的方板，板中心有一圆形通孔，孔径为  $\phi 40\text{mm}$ ，沿板的横向端面作用有单向拉伸均布载荷  $q=100\text{MPa}$ （见图 30-3），方板的材料弹性模量  $E=2 \times 10^5 \text{MPa}$ ，泊松比  $\nu=0.3$ ，用有限元法计算方板中心孔边应力。

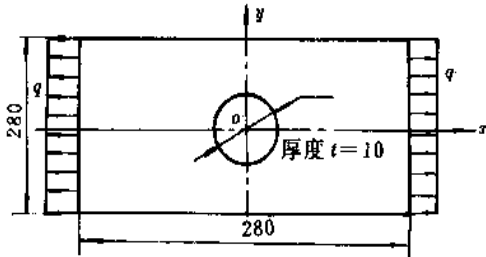


图 30-3 单向均布拉伸的方板

由于方板尺寸和所加载荷都对称于板中心线，可只取其 1/4 作为有限元计算的力学模型。把坐标原点选在孔中心， $x$  和  $y$  轴都是对称轴，并选用平面三结点三角形单元把力学模型划分成 100 个结点、160 个单元，且把对称轴上各结点设置约束（ $x$  轴上各结点设置  $y$  向约束， $y$  轴上各结点设置  $x$  向约

束）。这样，就可把 1/4 方板化成图 30-4 示离散化的计算力学模型。

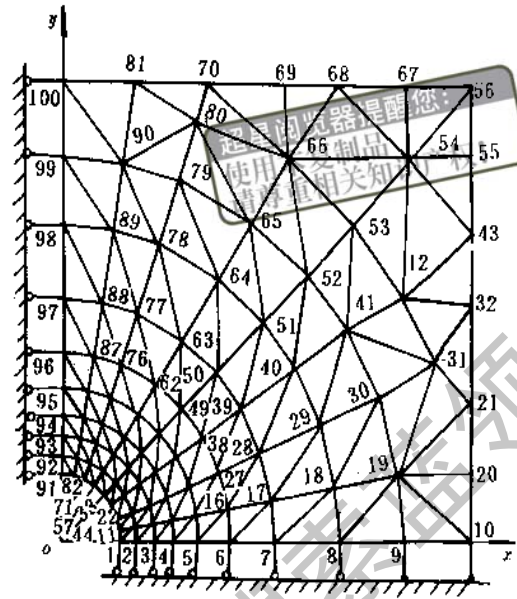


图 30-4 1/4 方板离散化计算力学模型

根据图 30-4 示的离散化力学模型，运用本章 2.3 给出的平面问题有限元程序说明，可准备表 30-6 示的输入数据。

表 30-6 平面应力问题输入数据

输入顺序	输入变量及数组的标识符	1/4 平板的输入具体数据
1	$NJ, NE, NZ, NPJ, IDD$	100, 160, 20, 7, 40
2	$LXM, EO, AMU, ALOU, TE$	0.0, 2.0E5, 0.3, 0.0, 10.0
3	$AJZ (NJ, 2)$ (先输入 $NJ$ 个 $x$ 坐标，再输入 $NJ$ 个 $y$ 坐标)	20., 26., 32., ..., 0.0, 0.0, 0.0, ..., 118., 140.
4	$JM (NE, 3)$ (先输入 $NE$ 个单元的 $i$ 结点号，再顺序输入 $NE$ 个单元的 $j$ 结点号和 $m$ 结点号)	1, 1, 2, 2, ..., 93, 93, 92, 92, 91
5	$IZC (NZ)$ (输入约束结点支杆的位移分量号)	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, ..., 199
6	$PJ [(NPJ+1), 2]$ (输入等效结点载荷值及其所在结点位移分量号)	0., 11000., 22000., 26000., 26000., 22000., 22000., 11000., 0., 19., 39., 41., 63., 85., 100., 111.

将表 30-6 中的具体数据按顺序输入计算机，起用 FISHA 程序进行计算，可输出图 30-4 示离散化构件的各结点编号  $JD$ 、 $x$  向位移  $u$  和  $y$  向位移  $v$ ，以及各单元编号  $IE$  和应力分量  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ，并输出各单元的主应力  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$ ，以及  $\sigma_1$  的主平面角  $\theta$  值。

根据输出的应力数据，可绘出孔边附近应力分

布图，如图 30-5 所示。图中曲线①表示  $\sigma_x$  沿  $y$  向的变化，曲线②表示  $\sigma_y$  沿  $x$  向的变化，还可绘出其他应力分布图和变形图。图 30-5 说明，用有限元法计算得的孔边应力状态与弹性力学理论解十分接近。只要单元划分得比较合适，有限元法算得的结果，可完全满足工程上所要求的计算精度。



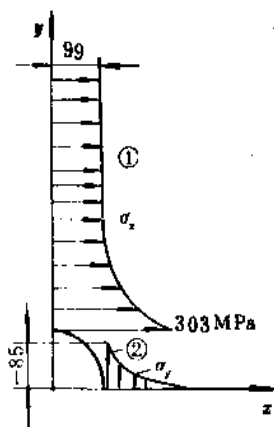


图 30-5 单向拉伸平板孔边应力分布图

其他平面构件的强度问题，都可运用上述方法和 FISHA 程序进行有限元分析。

### 3 空间轴对称结构有限元分析

几何上对轴线  $z$  对称的回转体构件，在圆柱坐标系  $rz\theta$  中受有  $r$  (径向)、 $z$  (轴向)、 $\theta$  (环向) 向的分布载荷 (非对称分布) 或集中载荷，这种构件的强度问题称为轴对称结构空间问题。当  $r$ 、 $z$ 、 $\theta$  向外载荷都沿回转体构件周向呈现均布状态时，称为空间轴对称问题。后者可化成平面问题求解。图 30-6 所示的悬臂轴属于前者，而图 30-7 所示的油缸属于后者。

轴对称结构的上述两种受载状态的有限元分析方法，都可采用有限元分析的半解析法，也可以采用等参元方法分析 (见本章 5.)，但后者程序复杂且计算量较大。

#### 3.1 轴对称结构有限元分析的半解析法

该法首先将空间轴对称结构所受的三向分布载荷，分别沿周向展成傅里叶级数 ( $a_0 + \sum_{n=1}^n a_n \cos n\theta + \sum_{n=1}^n b_n \sin n\theta$ )，把每项 (共  $2n+1$  项) 傅氏系数作为轴对称结构的三向均布载荷 (相当于  $2n+1$  个轴对称载荷)，就把轴对称结构空间问题化成  $2n+1$  个空间轴对称问题；然后分别求出  $2n+1$  个空间轴对称问题的有限元解，并把这  $2n+1$  个解分别乘上  $\cos n\theta$  或  $\sin n\theta$  ( $n=0, 1, 2, \dots, n$ )，再把周向需要计算的同一子午面 (沿周向可取 4、6、8、9 个子午面) 上  $2n+1$  个解相叠加，就求得了该子午面上真实的有限元解。沿周向所取若干子午面上的真实有限元解就组成受三向载荷的轴对称结构空间问题的有限元

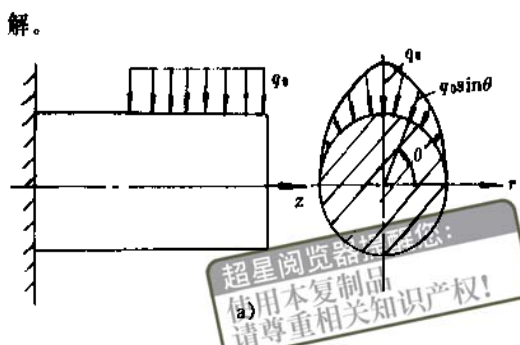


图 30-6 空间轴对称结构受载图

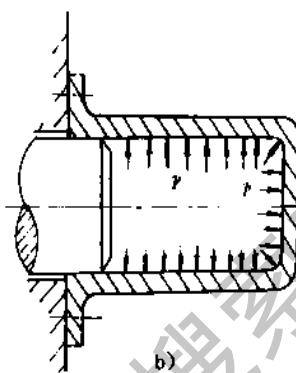


图 30-7 平面轴对称结构受载图

解。如果轴对称结构受有三向均布载荷，则此三向均布载荷相当于三向傅氏系数的  $a_0$  项 ( $n=0$ )，这相当于求解一次空间轴对称问题的有限元解。

因此，有限元分析中的半解析法，可用于求解轴对称结构受轴对称或非对称载荷的强度问题。该法可在轴对称结构任一子午面上划分三结点三角形单元，每个单元都是三角形截面的环元，如图 30-8 所示。

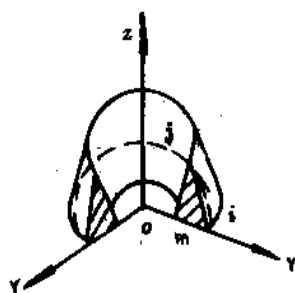
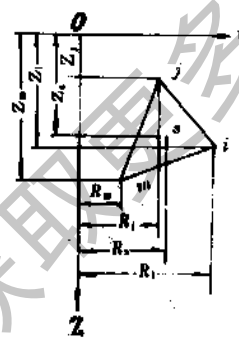


图 30-8 三角形截面环元

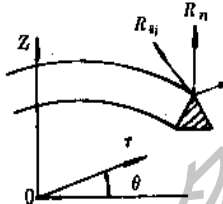
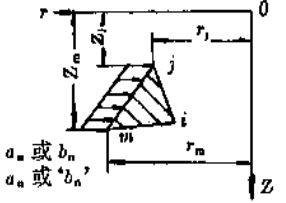
#### 3.2 三角形截面环元的有限元基本公式

用于计算轴对称空间问题的三角形截面环元的有限元基本公式，列于表 30-7。

表 30-7 轴对称结构有限元公式表

物理量	基本公式及图形	有限元计算用公式
位移  $\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ w \\ v \end{Bmatrix} = [N] \{\delta\}^e$  三角形截面环元位移模式后半部  $\{f'\} = \begin{Bmatrix} u' \\ w' \\ v' \end{Bmatrix} = [N'] \{\delta'\}^e$	$\{\delta\}^e = [u_i \ w_i \ v_i \ u_j \ w_j \ v_j \ u_m \ w_m \ v_m]^T$ $[N] = \begin{bmatrix} N_i \cos n\theta & 0 & 0 & N_j \cos n\theta & 0 & 0 \\ 0 & N_i \cos n\theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_j \sin n\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_m \cos n\theta & 0 & 0 & 0 \\ N_i \cos n\theta & 0 & 0 & N_m \cos n\theta & 0 & 0 \\ 0 & N_j \sin n\theta & 0 & 0 & N_m \sin n\theta & 0 \end{bmatrix}$ $N_i = \frac{1}{2\Delta} (a_i + b_i r + c_i z)$ $a_i = r_j z_m - r_m z_j$ $b_i = z_j - z_m$ $c_i = -(r_j - r_m)$ $\Delta = \frac{1}{2} (b_j c_m - b_m c_j)$ $\{\delta'\}^e = \{\delta\}^e$ $[N'] = \begin{bmatrix} N_i \sin n\theta & 0 & 0 & N_j \sin n\theta & 0 & 0 \\ 0 & N_i \sin n\theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_j \cos n\theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_m \sin n\theta & 0 & 0 \\ N_j \sin n\theta & 0 & 0 & N_m \sin n\theta & 0 & 0 \\ 0 & N_i \cos n\theta & 0 & 0 & N_m \cos n\theta & 0 \end{bmatrix}$	<p style="text-align: center;">星浏览器提醒您： 使用本产品 请尊重相关知识产权！</p> <p style="text-align: center;">i, j, m 轮换</p>
应变  $\{\epsilon\} = [\epsilon_r \ \epsilon_\theta \ \epsilon_z \ \epsilon_{rz} \ \epsilon_{\theta z} \ \epsilon_{r\theta}]^T$ $= \left[ \frac{\partial u}{\partial r} \ \frac{\partial w}{\partial z} \ \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} \frac{v}{r} \right]^T$ $= [B] \{\delta\}^e = [T] [\bar{B}] \{\delta'\}^e$ $\{\epsilon'\} = [T'] [\bar{B}'] \{\delta'\}^e$  	$[T] = \begin{bmatrix} \cos n\theta & & & & & 0 \\ & \cos n\theta & & & & \\ & & \cos n\theta & & & \\ 0 & & & \sin n\theta & & \\ & & & & \sin n\theta & \\ \sin n\theta & & & & & 0 \\ & \sin n\theta & & & & \\ & & \sin n\theta & & & \\ & & & \sin n\theta & & \\ 0 & & & & \cos n\theta & \\ & & & & & \cos n\theta \end{bmatrix}$ $[T'] = \begin{bmatrix} \sin n\theta & & & & & \\ & \sin n\theta & & & & \\ & & \sin n\theta & & & \\ & & & \sin n\theta & & \\ & & & & \sin n\theta & \\ 0 & & & & & \cos n\theta \\ & & & & & & \cos n\theta \end{bmatrix}$ $[\bar{B}] = ([\bar{B}_i] \ [\bar{B}_j] \ [\bar{B}_m])$ $[\bar{B}_i] = \begin{bmatrix} b_i & 0 & 0 \\ 0 & c_i & 0 \\ 2\Delta N_i/r & 0 & 2n\Delta N_i/r \\ c_i & b_i & 0 \\ 0 & -2n\Delta N_i/r & C_i \\ -2n\Delta N_i/r & 0 & b_i - 2\Delta N_i/r \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">i, j, m 轮换</p> <p>当取 <math>r = r_s = \frac{1}{3} (r_i + r_j + r_m)</math>  <math>z = z_s = \frac{1}{3} (z_i + z_j + z_m)</math> 时</p> <p>得 <math>N_i = N_j = N_m = \frac{1}{3}</math></p> <p>故 <math display="block">[\bar{B}_i] = \begin{bmatrix} b_i &amp; 0 &amp; 0 \\ 0 &amp; c_i &amp; 0 \\ 2\Delta/3r_s &amp; 0 &amp; 2n\Delta/3r_s \\ c_i &amp; b_i &amp; 0 \\ 0 &amp; -2n\Delta/3r_s &amp; C_i \\ -2n\Delta/3r_s &amp; 0 &amp; b_i - 2\Delta/3r_s \end{bmatrix}</math> i, j, m 轮换</p> <p>将 <math>[\bar{B}]</math> 中的 <math>n</math> 换成 <math>-n</math>, 即构成 <math>[\bar{B}']</math></p>	

续表 30-7

物理量	基本公式及图形	有限元计算用公式
应力	$\{\sigma\} = [\sigma_r \sigma_\theta \tau_{rz} \tau_{\theta z} \tau_{\theta r}]^T$ $= [D] [B] \{\delta\}^e$ $= [D] [T] [\bar{B}] \{\delta\}^e$	$[D] = \frac{E}{(1+\gamma)(1-2\gamma)}$ $\begin{bmatrix} 1-\gamma & & & & & \\ \gamma & 1-\gamma & & & & \\ \gamma & \gamma & 1-\gamma & & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\gamma}{2} & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\gamma}{2} & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\gamma}{2} \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">对称</p>
环元刚度矩阵	$(K)^e = \int_V [B]^T [D] [B] dV$ $= \int_V [\bar{B}]^T [T]^T [D] [T] [\bar{B}] r_n d\theta \cdot dr dz$ $(K')^e = \int_V [\bar{B}')^T [T')^T [D] [T') [\bar{B}'] r_n d\theta dr dz$	<p><math>n \neq 0</math> 时, <math>(K)^e = \pi r_n \Delta [\bar{B}]^T [D] [\bar{B}]</math>  <math>n = 0</math> 时, <math>(K)^e = 2\pi r_n \Delta [\bar{B}]^T [D] [\bar{B}]</math>              当 <math>\theta</math> 向无外载荷时</p> $[D]_n = \frac{E}{(1+\gamma)(1-2\gamma)}$ $\begin{bmatrix} 1-\gamma & & & & & \\ \gamma & 1-\gamma & & & & \\ \gamma & \gamma & 1-\gamma & & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\gamma}{2} & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">对称</p> <p>否则 <math>[D]_n = [D]</math>              将 <math>(K)^e</math> 中的 <math>[\bar{B}]</math> 矩阵元素的 <math>n</math> 换成 <math>-n</math>, 即构成 <math>(K')^e</math>,              当 <math>n \neq 0</math> 时, <math>(K')^e = \pi r_n \Delta [\bar{B}')^T [D] [\bar{B}']</math>              当 <math>n = 0</math> 时, <math>(K')^e = (K)^e</math></p>
环元等效结点载荷列阵		$\{R\}^e = [R_{ij} R_n R_{ii} R_{\theta j} R_{\theta n} R_{\theta m} R_{\theta m} R_{\theta n}]^T$ $\{R'\}^e = [R'_{ij} R'_{ii} R'_{\theta j} R'_{\theta n} R'_{\theta m} R'_{\theta m} R'_{\theta n} R'_{\theta m} R'_{\theta n}]^T$
面力等效结点载荷	<p>三向面力分别展成傅里叶级数, 把每个傅氏系数作为周向均布载荷, 并取周向单位弧度内均布载荷施于各受载环元上, 计算其合力 <math>Q_n</math> 或 <math>Q'_n</math>, 且平均分给环元受载边两结点上</p> <p><math>Q_n</math> 或 <math>Q'_n = a_n</math> (或 <math>b_n</math>) <math>\frac{r_m+r_j}{2} \times (z_m-z_j)</math></p> <p>如图示</p> 	<p>对于 <math>r</math> 向载荷傅氏系数 <math>a_n</math> 或 <math>b_n</math></p> $R_{ij} \text{ 或 } R'_{ij} = \frac{1}{2} a_n \text{ (或 } b_n) \frac{r_m+r_j}{2} (z_m-z_j) = \frac{Q_n}{2}$ $R_{im} \text{ 或 } R'_{im} = \frac{Q_n}{2}$ <p>对于 <math>z</math> 向载荷傅氏系数 <math>a'_n</math> 或 <math>b'_n</math></p> $R_{ij} \text{ 或 } R'_{ij} = \frac{Q'_n}{2} = \frac{1}{2} a'_n \text{ (或 } b'_n) \frac{r_m+r_j}{2} (z_m-z_j)$ $R_{im} \text{ 或 } R'_{im} = \frac{Q'_n}{2}$ <p>如设 <math>\theta</math> 向没有面力, 则</p> $R_{\theta j} = R_{\theta m} = R'_{\theta j} = R'_{\theta m} = 0$ <p><math>\bar{ij}</math> 和 <math>\bar{im}</math> 边不受面力</p> $R_{in} = R_{in} = R_{\theta n} = R'_{in} = R'_{in} = R'_{\theta n} = 0$

续表 30-7

物理量	基本公式及图形	有限元计算用公式
体力等效结点载荷	只有 $r$ 向和 $z$ 向体力, 且沿周向均布, 沿环元横截面上也均布, 可将单位弧度上的体力平均分配到三结点上	$R_n = R_r = R_m = \frac{1}{3} r_s \omega^2 \rho \Delta$ $R_n = R_r = R_m = \frac{1}{3} \gamma \Delta r_s$ $R_\theta = R_\theta = R_{\theta 0} = 0$ <p><math>\omega</math> 为回转角速度 <math>\rho</math> 为材料密度 <math>\gamma</math> 为材料容重</p>
总刚度矩阵	$[K]$ $[K']$	$[K] = \sum_{r=1}^m [K]^e$ $[K'] = \sum_{r=1}^m [K']^e, n_e \text{ 为环元总数}$
总等效结点载荷列阵	$\{F\}$ $\{F'\}$	$\{F\} = \sum_{r=1}^m \{R\}^e$ $\{F'\} = \sum_{r=1}^m \{R'\}^e$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

### 3.3 空间轴对称结构有限元程序说明

本手册附带磁盘中的空间轴对称结构有限元计算程序 (PROGRAM ABC), 是根据表 30-7 示的有限元计算公式编写的。读者使用 ABC 程序时, 需事先把空间轴对称结构所受三向外载荷展成傅氏级数, 求出三向外载荷的傅氏系数值 ( $a_n$  和  $b_n, n=0, 1, 2, \dots, n$ ), 然后向计算机按如下顺序输入数据:

- (1) 输入 NW, IESG, IX, NO, KY, EE, WU  
NW—结点总数,  $NW \leq 400$   
IESG—单元总数,  $IESG \leq 500$   
IZ—受约束的结点总数,  $IZ \leq 100$   
NO—环向需要计算的子午面数  
KY—受载工况类型数, 一种工况输入 1, 两种为 2, ……  
EE—材料的弹性模量  
WU—泊松比

EE、WU 内输入实型数, 其余变量输入整型数。

- (2) 输入各结点的  $R$ 、 $Z$  坐标值

需先输入的  $NW$  个结点的  $R$  坐标, 然后再输入  $NW$  个结点的  $Z$  坐标, 坐标值均为实型数。

- (3) 输入各单元信息

每个单元都按单元排列顺序输入其三结点  $i, j, m$  的总体编号数。

- (4) 输入受约束结点的约束信息

凡是受约束结点都要按该结点编号顺序输入一组约束信息。结点约束信息要按受约束结点编号、 $R$  向约束、 $z$  向约束、 $\theta$  向约束顺序填写两个实型数。例如, 4 结点的  $R$ 、 $Z$ 、 $\theta$  向都有约束, 可填写该结点约束信息 4, 333.; 如果 4 结点只在  $R$ 、 $Z$  向或只在  $R$  向有约束, 可填写 4, 331. 或 4, 311., 约束信息中的 3 为约束规格数, 1 为无约束规格数。

- (5) 输入轴对称空间结构载荷控制信息 NIJ, ICMP, ISM

NIJ—结构上非对称载荷展成傅里叶级数的项数减 1 ( $a_i$  和  $b_i$  算为一项,  $i=0, 1, 2, \dots, n$ ), 即  $NIJ=n$ , 要求  $n \leq 12$

ICMP—载荷对称性控制数。如果结构上非对称载荷展成傅氏级数后只有  $a_n$  项 (称为对称载荷), 则 ICMP 填 1; 如果只有  $b_n$  项 (称为反对称载荷), 则 ICMP 填 -1; 如果即有  $a_n$  项, 又有  $b_n$  项, 则 ICMP 填 0。

ISM—载荷傅氏级数展开性质控制数。若傅氏级数展成  $a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + \dots + a_n \cos n\theta + b_1 \sin \theta + b_2 \sin 2\theta + \dots + b_n \sin n\theta$  时, 则 ISM 填 0; 若展成  $a_1 \cos \theta + a_2 \cos \theta + a_3 \cos 5\theta + \dots$  时, 则 ISM 填写大于 0 的正

整数；若展成  $a_0 + a_2 \cos 2\theta + a_4 \cos 4\theta + \dots$  时，则 ISM 填写小于 0 的整数。

如果轴对称结构只受有对称载荷，即相当于傅氏级数只有  $a_n$  项，则此时可填写 NIJ=0, ICMP=1, ISM = -1。

(6) 输入等效结点载荷信息

按轴对称空间结构所受非对称载荷展成傅氏级数的傅氏系数  $a_n$  和  $b_n$  ( $n=0, 1, 2, \dots, n$ ) 顺序，输入承受傅氏系数载荷的结点数；输入受载结点的结点编号、受载结点的 R、Z、 $\theta$  向载荷值（实型数）。受载荷结点编号按由小到大顺序排列；受载结点的某向载荷为零时，可输入 0.0。

程序 ABC 的输出信息：

- (1) 输出已输入的信息（按原格式），便于检查
- (2) 输出中间结果

其中包括结点约束信息，各结点最后一个自由度的总体排列号，总刚度矩阵主对角线在一维存储数组中的编号，以及  $2i+2$  组 ( $i=0, 1, 2, \dots, n$ ) 总结点载荷列阵。

(3) 输出计算结果

其中包括离散化结构上各结点在所计算各子午面上的三向位移  $u, w, v$ ，以及各单元在各子午面上的三个正应力  $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\theta$ ，三个剪应力  $\tau_{rz}, \tau_{r\theta}, \tau_{z\theta}$ ，三个主应力  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 。

3.4 空间轴对称结构有限元法算例

1200 轻型液压旋回破碎机主轴，在工作时锥体（与主轴静配合）下部承受最大破碎力  $P_{max} = 2205.588kN$ ，且在主轴上、下端设有支承，其力学模型示于图 30-9。

实际上， $P_{max}$  是以分布小区域内的面力作用于锥体局部表面上，而锥体又与主轴静配合成一体，故可把主轴与锥体看成是对称于  $z$  轴的轴对称结构受非对称载荷问题。

如设锥体表面下部的分布载荷沿周向按正弦曲线  $q \sin \theta$  变化，它的水平分量为  $q_h \sin \theta$ ，沿锥体母线作用长度为  $L=100mm$ ，周向分布角为  $2\beta=20^\circ$ ，平均作用半径  $R=642mm$ （见图 30-10），则锥体下部  $P_{max}$  的水平分量

$$P_{maxh} = \int_{\frac{\pi}{2}-\beta}^{\frac{\pi}{2}+\beta} q_h \sin^2 \theta R \cdot L \cos \theta d\theta$$

上式代入具体数据，可求得  $q_h = 97.7MPa$ 。

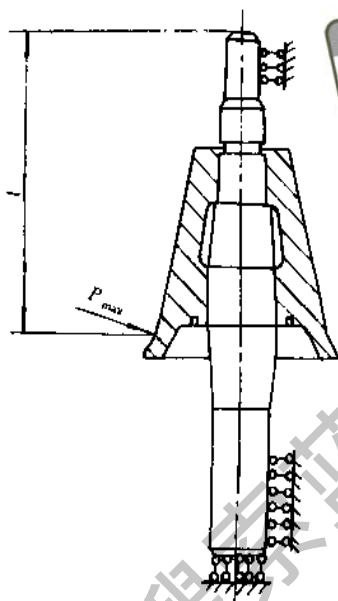


图 30-9 主轴的力学模型

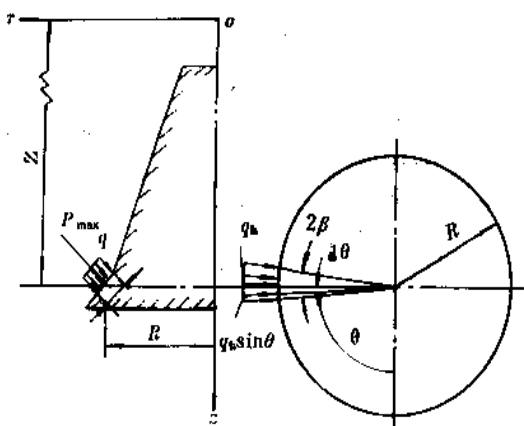


图 30-10 锥体主轴分布载荷

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜索 蓝领星球

将  $q_h \sin\theta$  沿锥体周向展成傅里叶级数, 得

$$q_h \sin\theta = \frac{q_h}{\pi} \left\{ \sin\beta + \left( \beta + \frac{\sin\beta}{2} \right) \sin\theta + \sum_{n=2,4,6,\dots} \left[ \frac{\cos(n-1)(\frac{\pi}{2} + \beta) - \cos(n-1)(\frac{\pi}{2} - \beta)}{2(n-1)} \right. \right. \\ \left. \left. \frac{\cos(n+1)(\frac{\pi}{2} + \beta) - \cos(n+1)(\frac{\pi}{2} - \beta)}{2(n+1)} \right] \cos n\theta \right. \\ \left. + \sum_{n_1=3,5,7,\dots} \left[ \frac{\sin(n_1-1)(\frac{\pi}{2} + \beta) - \sin(n_1-1)(\frac{\pi}{2} - \beta)}{2(n_1-1)} \right. \right. \\ \left. \left. \frac{\sin(n_1+1)(\frac{\pi}{2} + \beta) - \sin(n_1+1)(\frac{\pi}{2} - \beta)}{2(n_1+1)} \right] \sin n_1\theta \right\}$$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

通常, 取  $n=10$ 、 $n_1=9$ , 傅氏级数已收敛到工程上所要求的计算精度。把锥体  $q_h \sin\theta$  的傅氏系数  $a_0, a_2, a_4, a_6, a_8, a_{10}, b_1, b_3, b_5, b_7, b_9$  作为其沿周向水平布载荷, 按表 30-7 公式移置到受载范围  $L$  内的 82、96、102、结点上(见图 30-11), 可得表 30-8 示的锥体等效结点载荷。

锥体主轴划分成 120 个结点, 160 个三角形截面环元(见图 30-11)。锥体主轴材料的弹性模量  $E = 2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ , 泊松比  $\gamma = 0.3$ , 只计算其  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$  四个子午面上的三向位移和应力。

应用本手册附带磁盘中的 ABC 程序, 在计算机上计算图 30-11 示的锥体主轴强度问题, 需要按本章 3.3 准备表 30-9 示的输入数据。

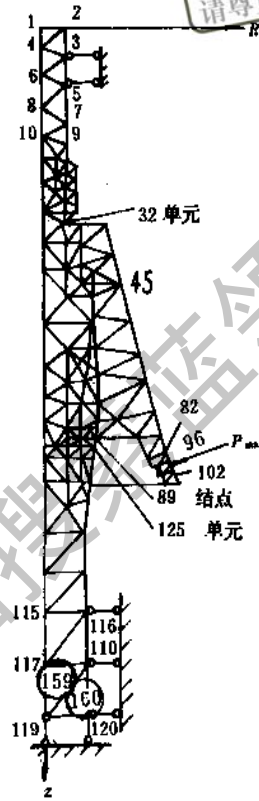


图 30-11 主轴的有限元分割

表 30-8 锥体主轴等效结点载荷

傅氏系数	R 向结点载荷 kN			Z 向结点系数 kN			θ 向结点载荷 kN		
	82	96	102	82	96	102	82	96	102
$a_0$	34.692	277.521	34.692	9.295	74.362	9.295	0	0	0
$a_2$	-67.948	-543.586	-67.948	-18.208	-143.665	-18.208	0	0	0
$a_4$	63.928	510.903	63.928	17.111	136.896	17.111	0	0	0
$a_6$	-57.394	-459.140	-57.394	-15.392	-123.155	-15.392	0	0	0
$a_8$	49.035	392.282	49.035	13.136	105.114	13.136	0	0	0
$a_{10}$	-39.912	-319.286	-39.912	-10.751	-85.553	-10.751	0	0	0
$b_1$	69.249	553.971	69.249	18.556	148.435	18.556	0	0	0
$b_3$	-66.296	-530.368	-66.249	-17.766	-142.108	-17.766	0	0	0
$b_5$	61.210	489.754	61.210	16.402	131.228	16.402	0	0	0
$b_7$	-53.445	-427.598	-53.445	-14.323	-114.571	-14.323	0	0	0
$b_9$	44.282	354.269	44.282	11.865	94.926	11.865	0	0	0



表 30-9 计算锥体主轴输入数据表

输入顺序	输入变量及数组	输入的具体数据
(1)	NW, IESG, IZ, NO, KY, EE, WU	120, 160, 6, 4, 1, 2.E+11, .3
(2)	输入 NW 个结点 R、Z 坐标, 单位为 m	0.1, 0.235, 0.235, 0.0, 0.235, 0.0, 0.235, 0.15, 0.0, 0.2, .....4.865, 5.365, 5.365, 5.865, 5.865
(3)	输入 IESG 个单元的单元信息	1, 3, 2, 1, 4, 3, 3, 4, 5, 4, 6, 5, 5, 5, 7, ..... 118, 119, 120
(4)	输入 3、5、116、118、119、120 结点约束信息	3, 311, 5, 311, 116, 311, 118, 311, 119, 131, 120, 331.
(5)	NIJ, ICMP, ISM	10, 0, 0
(6)	输入傅氏系数 $a_n$ 产生的等效结点载荷信息 ( $n=0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots, 10$ ) 共 11 组	3 82., 34692., 9296.3, 0.0, 96., 277521.3, 74342.4, 0.0, 102, 34692., 9296., 0.0
		3 82., 0., 0., 0., 96., 0., 0., 0., 102., 0., 0., 0.
		3 82., -67948.3, -18208.4, 0., 96., -543586.4, -145654.5, 0., 102., -67948.3, -18208.4, 0.
		3 82., 0., 0., 0., 96., 0., 0., 0., 102., 0., 0., 0.
		3 82., 6472.7, 17110.8, 0., 96., 540003.4, 36806.2, 0., 102., 6472.7, 17110.8, 0.
		3 82., 0., 0., 0., 96., 0., 0., 0., 102., 0., 0., 0.
		.....
		3 82., -40047.7, -10682., 0., 96., -318960.6, -85465.8, 0., 102., -40047.7, -10682., 0.
		3 82., 0., 0., 0., 96., 0., 0., 0., 102., 0., 0., 0.
		3 82., 69178.2, 18536.7, 0., 96., 553403., 148283.8, 0., 102., 69178.2, 18536.7, 0.
		3 82., 0., 0., 0., 96., 0., 0., 0., 102., 0., 0., 0.
3 82., -66228.4, -17747.8, 0., 96., -529827.2, -14962.8, 0., 102., -66228.4, -17747.8, 0.		
3 82., 0., 0., 0., 96., 0., 0., 0., 102., 0., 0., 0.		
3 82., 61152., 16385.6, 0., 96., 489255.2, 131094.6, 0., 102., 61152., 16385.6, 0.		
.....		
3 82., 44237.2, 11853., 0., 96., 353907.4, 94829.7, 0., 102., 44237.2, 11853., 0.		
3 82., 0., 0., 0., 96., 0., 0., 0., 102., 0., 0., 0.		

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

获取更多资料  
www.xueyin.com

ABC 程序根据输入表 30-9 的数据, 经计算, 可输出主轴  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$  四个子午面上的三向位移和各项应力值。根据输出数据, 可画出主轴四个子午面上的表面结点三向变形图, 以及四个子午面上的表面单元的各项应力图。下面仅绘出  $90^\circ$  子午面上的表面结点三向变形图 (见图 30-12)、表面单元的  $\sigma_r$ 、 $\sigma_z$ 、 $\sigma_\theta$  变化图 (见图 30-13) 和主应力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  变化图 (见图 30-14)。

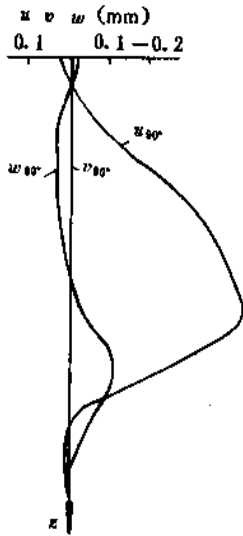


图 30-12 主轴  $90^\circ$  子午面上的变形曲线

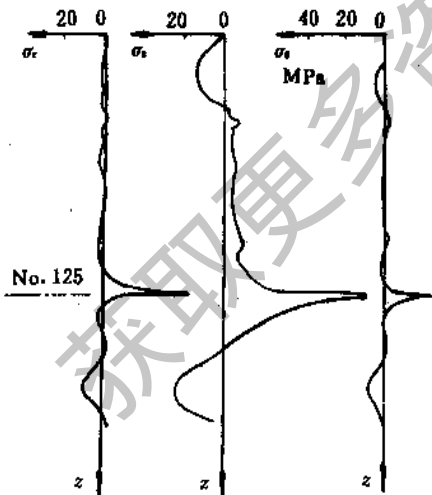


图 30-13 主轴在  $90^\circ$  子午面上的表面单元正应力曲线

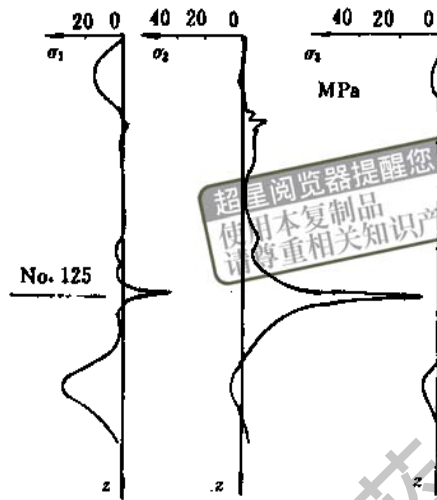


图 30-14 主轴在  $90^\circ$  子午面上的表面单元主应力曲线

根据需要, 还可画出主轴其他子午面上表面结点和表面单元的变形和应力曲线, 以及轴径上第 89 结点处横截面 (危险截面) 沿周向的径向、轴向、环向变形曲线和第 125 单元的径向、轴向、环向沿轴径周向的变化曲线。

由计算结果知, 1200 轻型液压旋回破碎机主轴危险截面 (第 89 结点或第 125 单元处) 的  $90^\circ$  和  $270^\circ$  子午面上各项应力值列于表 30-10。

表 30-10 主轴危险截面的应力

单元号	子午面	应力 MPa					
		$\sigma_r$	$\sigma_z$	$\sigma_\theta$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
125 单元	$90^\circ$	-42.9	-71.3	-26.2	-23.8	-90.5	-26.2
125 单元	$270^\circ$	23.6	66.6	22.8	75.0	15.2	22.8

其他空间轴对称结构, 如轴类零件、厚壁圆筒或锥形筒等都可以应用上述方法和 ABC 程序进行强度分析计算。

#### 4 平面刚架和空间刚架有限元分析

根据刚架结构的各构件所处位置和受载荷状态,可把刚架结构分成平面刚架和空间刚架。如果刚架的各构件和所受的外载荷都处于同一平面内,则称此刚架为平面刚架;如果刚架各构件和所受的外载荷都不在同一平面内,则称此刚架为空间刚架。

用有限元法分析刚架结构强度问题,可把刚架结构的交叉点、集中力作用点、构件横截面突变处选为结点,甚至根据需要,也可把构件任意横截面处选为结点,两相邻结点之间一段构件组成一个梁元(平面刚架上的梁元,称为平面梁元,空间刚架的梁元,称为空间梁元)。梁元每个结点都受有内力和内力矩。如果梁元结点受有集中外力,以及梁元两结点之间受有中间外载荷,则梁元每个结点还受有等效结点力和力矩。

把整个刚架离散成若干个梁元后,可分别建立各梁元的力学特性,然后把各梁元的力学特性组集成整个刚架的力学特性,以便求解。

##### 4.1 平面梁元的有限元基本公式

由平面刚架上任取结点为  $i, j$  的平面梁元,选取右手坐标系  $ixyz$  作为局部坐标系,使  $x$  轴与梁元

轴线重合,使  $y$  和  $z$  轴为梁元横截面两个主惯性轴(见图 30-15),平面梁元  $ij$  的杆端结点力列阵  $\{\bar{F}\}^e$  和与之对应的结点位移列阵  $\{\bar{\delta}\}^e$  可写成

$$\{\bar{F}\}^e = (\bar{F}_{ix}, \bar{F}_{iy}, \bar{M}_{iz}, \bar{F}_{jx}, \bar{F}_{jy}, \bar{M}_{jz})^T \quad (30-18)$$

$$\{\bar{\delta}\}^e = (\bar{u}_i, \bar{v}_i, \bar{\theta}_{iz}, \bar{u}_j, \bar{v}_j, \bar{\theta}_{jz})^T \quad (30-19)$$

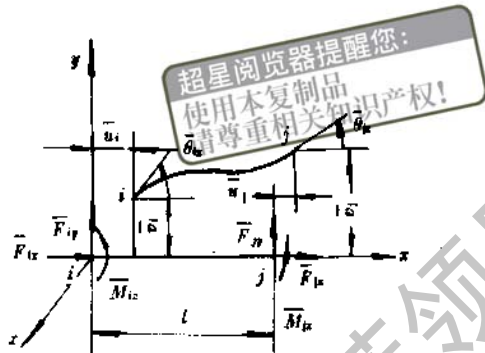


图 30-15 平面梁元内力和位移

在微小变形条件下,可把平面梁元  $ij$  的变形看成由轴向拉压和平面纯弯曲两种变形相叠加,才能运用表 30-2 示的平面梁元位移模式导出表 30-11 示的算式。

表 30-11 平面梁元有限元公式 (局部坐标下)

物理量	基本公式及图形	计算用公式
位移	$\{\bar{f}\} = \begin{Bmatrix} \bar{u} \\ \bar{v} \end{Bmatrix} = [N] \{\bar{\delta}\}^e$ <p><math>l</math> 为梁元 <math>ij</math> 长度</p>	$\{\bar{\delta}\}^e = (\bar{u}_i, \bar{v}_i, \bar{\theta}_{iz}, \bar{u}_j, \bar{v}_j, \bar{\theta}_{jz})^T$ $[N] = \begin{bmatrix} 1 - \frac{x}{l} & 0 & 0 & \frac{x}{l} \\ 0 & 1 - \frac{3x^2}{l^2} + \frac{2x^3}{l^3} & x - \frac{2x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3} & -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} & 0 \end{bmatrix}$
应变	$\{\bar{\epsilon}\} = \begin{Bmatrix} \bar{\epsilon}_a \\ \bar{\epsilon}_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{d\bar{u}}{dx} \\ -y \frac{d^2\bar{v}}{dx^2} \end{Bmatrix} = [\bar{B}] \{\bar{\delta}\}^e$ <p>(忽略切应变的影响) <math>[\bar{B}]</math> 为应变矩阵</p>	$\bar{\epsilon}_a = \frac{d\bar{u}}{dx} \text{ 为拉压应变}$ $\bar{\epsilon}_b = -y \frac{d^2\bar{v}}{dx^2} \text{ 为弯曲应变}$ $[\bar{B}] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{l} & 0 & 0 & \frac{1}{l} \\ 0 & \frac{6y}{l^2} - \frac{12xy}{l^3} & \frac{4y}{l} - \frac{6xy}{l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{6y}{l^2} + \frac{12xy}{l^3} & \frac{2y}{l} - \frac{6xy}{l^2} & 0 \end{bmatrix}$

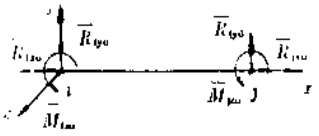
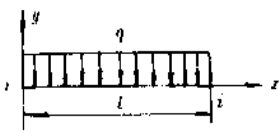
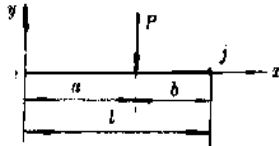
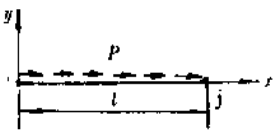

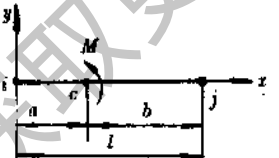
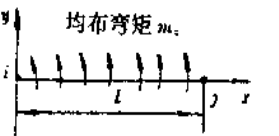
续表 30-11

物理量	基本公式及图形	计算
应力	$\{\bar{\sigma}\} = \begin{Bmatrix} \bar{\sigma}_x \\ \bar{\sigma}_y \end{Bmatrix} = E \{\bar{\epsilon}\}$	$\{\bar{\sigma}\} = E [\bar{B}] \{\bar{\delta}\}^e$ <p><math>E</math> 为材料的弹性模量</p>
单元刚度矩阵	$[\bar{K}]^e = E \int_V [\bar{B}]^T [\bar{B}] dv$ <p><math>v</math> 为梁元体积  <math>dv = dx dy dz</math>                      忽略切应变影响</p>	$[\bar{K}]^e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & & & & & \\ & 0 & \frac{12EJ_z}{l^3} & & & \\ & & \frac{6EJ_z}{l^2} & \frac{4EJ_z}{l} & & \\ -\frac{EA}{l} & & & & 0 & \frac{EA}{l} \\ & 0 & \frac{-12EJ_z}{l^3} & \frac{-6EJ_z}{l^2} & 0 & \frac{-12EJ_z}{l^3} \\ & & \frac{6EJ_z}{l^2} & \frac{2EJ_z}{l} & 0 & \frac{6EJ_z}{l^2} \frac{4EJ_z}{l} \end{bmatrix}$ <p>对称</p> <p><math>A</math> 为梁元横截面积  <math>J_z</math> 为梁元横截面对 <math>z</math> 轴的惯性矩</p>
	当梁高大于梁长 $\frac{1}{6}$ 或大于跨度的 $\frac{1}{4}$ 时, 需考虑切应变影响, 此时 $[\bar{K}]^e$ 应修改	$[\bar{K}]^e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & & & & & \\ & 0 & \frac{12EJ_z}{l^3(1+\phi_y)} & & & \\ & & \frac{6EJ_z}{l^2(1+\phi_y)} & \frac{(4+\phi_y)EJ_z}{l(1+\phi_y)} & & \\ -\frac{EA}{l} & & & & 0 & \frac{EA}{l} \\ & 0 & \frac{-12EJ_z}{l^3(1+\phi_y)} & \frac{6EJ_z}{l^2(1+\phi_y)} & 0 & \frac{12EJ_z}{l^3(1+\phi_y)} \\ & & \frac{6EJ_z}{l^2(1+\phi_y)} & \frac{(2-\phi_y)EJ_z}{l(1+\phi_y)} & 0 & \frac{-6EJ_z}{l^2(1+\phi_y)} \frac{(4+\phi_y)EJ_z}{l(1+\phi_y)} \end{bmatrix}$ <p><math>\phi_y</math> 为对 <math>y</math> 轴方向的有效剪切影响系数  <math display="block">\phi_y = \frac{12EJ_z}{GA_y l^2}</math> <math>G</math> 为材料切变模量, <math>G = \frac{E}{2(1+\gamma)}</math>  <math>A_y</math> 为沿 <math>y</math> 轴方向有效抗剪面积, <math>A_y = \frac{A}{k}</math></p> <p>圆截面深 <math>k=1.128</math>                      圆管梁 <math>k=1.885</math>                      矩形截面梁 <math>k=1.177</math>                      工字梁 <math>A_y = A_{腹板}</math>, <math>A_{腹板}</math> 为工字梁腹板面积</p>

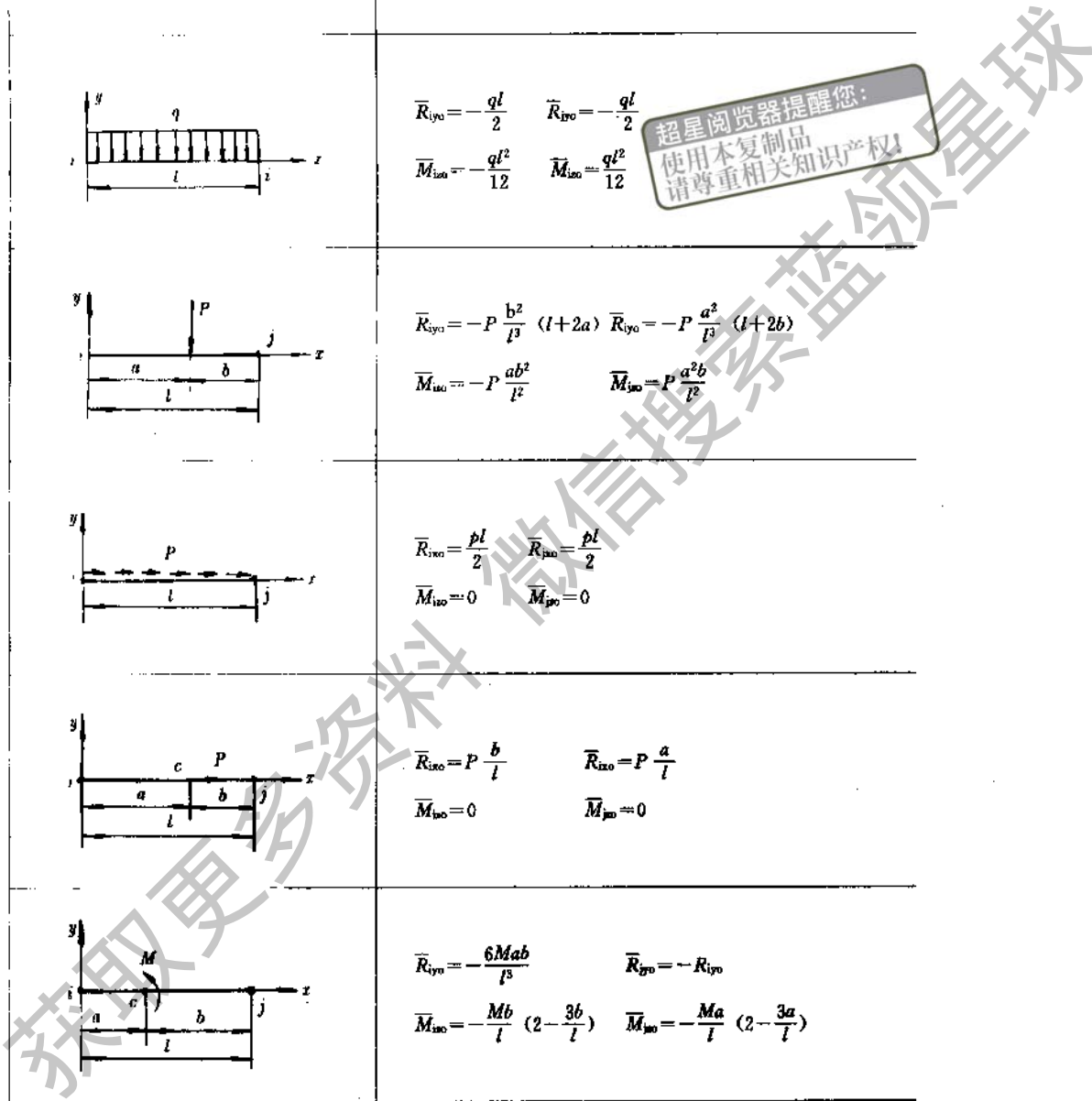
超星浏览器  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识版权!

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

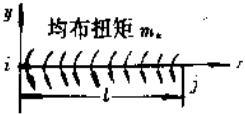
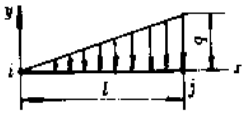
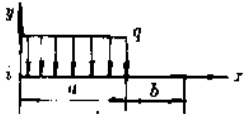
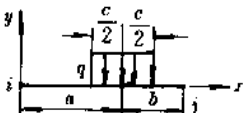
续表 30-11

物理量	基本公式及图形	计算用公式
		$(\bar{R}_0)^e = (\bar{R}_{ix0} \bar{R}_{iy0} \bar{M}_{ix0} \bar{R}_{jx0} \bar{R}_{jy0} \bar{M}_{jx0})^T$
		$\bar{R}_{iy0} = -\frac{ql}{2} \quad \bar{R}_{jy0} = -\frac{ql}{2}$ $\bar{M}_{ix0} = -\frac{ql^2}{12} \quad \bar{M}_{jx0} = \frac{ql^2}{12}$
		$\bar{R}_{iy0} = -P \frac{b^2}{l^3} (l+2a) \quad \bar{R}_{jy0} = -P \frac{a^2}{l^3} (l+2b)$ $\bar{M}_{ix0} = -P \frac{ab^2}{l^2} \quad \bar{M}_{jx0} = P \frac{a^2b}{l^2}$
梁元等效 结点荷载 列阵		$\bar{R}_{iy0} = \frac{Pl}{2} \quad \bar{R}_{jy0} = \frac{Pl}{2}$ $\bar{M}_{ix0} = 0 \quad \bar{M}_{jx0} = 0$
		$\bar{R}_{ix0} = P \frac{b}{l} \quad \bar{R}_{jx0} = P \frac{a}{l}$ $\bar{M}_{ix0} = 0 \quad \bar{M}_{jx0} = 0$
		$\bar{R}_{iy0} = -\frac{6Mab}{l^3} \quad \bar{R}_{jy0} = -R_{iy0}$ $\bar{M}_{ix0} = -\frac{Mb}{l} \left(2 - \frac{3b}{l}\right) \quad \bar{M}_{jx0} = -\frac{Ma}{l} \left(2 - \frac{3a}{l}\right)$
		$\bar{R}_{iy0} = -m_1/\text{单位长度} \quad \bar{R}_{jy0} = m_1/\text{单位长度}$ $\bar{M}_{ix0} = 0 \quad \bar{M}_{jx0} = 0$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权



续表 30-11

物理量	基本公式及图形	计算用公式
	 <p>均布扭矩 <math>m_x</math></p>	$\bar{R}_{ix0} = \bar{R}_{iy0} = \bar{R}_{jx0} = \bar{R}_{jy0} = 0$ $\bar{M}_{ix0} = \frac{m_x l}{2} \quad \bar{M}_{jx0} = \bar{M}_{ix0}$
		$\bar{R}_{iy0} = -\frac{3ql}{20} \quad \bar{R}_{jy0} = -\frac{7ql}{20}$ $\bar{M}_{ix0} = -\frac{ql^2}{30} \quad \bar{M}_{jx0} = \frac{ql^2}{20}$
		$\bar{R}_{iy0} = -\frac{qa}{2} \left( 2 - 2\frac{a^2}{l^2} + \frac{a^3}{l^3} \right) \quad \bar{R}_{jy0} = -qa + \bar{R}_{iy0}$ $\bar{M}_{ix0} = -\frac{qa^2}{12} \left( 6 - 8\frac{a}{l} + 3\frac{a^2}{l^2} \right) \quad \bar{M}_{jx0} = \frac{qa^2}{12} \left( 4 - 3\frac{a}{l} \right)$
		$\bar{R}_{iy0} = -\frac{qca}{l} - \frac{1}{l} (\bar{M}_{ix0} - \bar{M}_{jx0})$ $\bar{R}_{jy0} = -\frac{qca}{l} - \frac{1}{l} (\bar{M}_{jx0} - \bar{M}_{ix0})$ $\bar{M}_{ix0} = -\frac{qc}{12l^2} [12ab^2 + c^2 (l - 3b)]$ $\bar{M}_{jx0} = \frac{qc}{12l^2} [12ab^2 + c^2 (l - 3a)]$

上述平面梁元  $ij$  的  $\{K\}^e$ 、 $\{F\}^e$  和  $\{\delta\}^e$  都是针对局部坐标系  $ixyz$  的, 而整个平面刚架上各梁元的局部坐标各异, 在组集整体坐标  $ox'y'z'$  下的平面刚架结构刚度矩阵  $[K]$ 、等效结点荷载列阵  $\{R\}$  和结点位移列阵  $\{\delta\}$  之前, 必须把各梁元的  $\{K\}^e$ 、 $\{F\}^e$ 、 $\{\delta\}^e$  变换成整体坐标系中的  $\{K\}^e$ 、 $\{F\}^e$ 、 $\{\delta\}^e$ , 然后才能按本章 1.5 示的直接叠加规则组集成  $[K]$ 、 $\{R\}$ 、 $\{\delta\}$ 。

设平面梁元  $ij$  轴线 ( $x$  轴) 与  $x'$  轴成  $\alpha$  角,  $z'$  平行于  $z$ ,  $i$ 、 $j$  结点在  $ox'y'z'$  中的广义位移为  $u_i$ 、 $v_i$ 、 $\theta_{ix}$ 、 $u_j$ 、 $v_j$ 、 $\theta_{jx}$ , 广义结点力为  $F_{ix}$ 、 $F_{iy}$ 、 $M_{ix}$ 、 $F_{jx}$ 、 $F_{jy}$ 、 $M_{jx}$ 。由图 30-16 知, 上述向量与局部坐标  $ixyz$  下的对应向量  $\bar{u}_i$ 、 $\bar{v}_i$ 、 $\dots$ 、 $\bar{F}_{ix}$ 、 $\bar{M}_{ix}$  构成如下关系

$$\{\delta\}^e = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_{ix} \\ u_j \\ v_j \\ \theta_{jx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{v}_i \\ \bar{\theta}_{ix} \\ \bar{u}_j \\ \bar{v}_j \\ \bar{\theta}_{jx} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} [I] & 0 \\ 0 & [I] \end{bmatrix} \{\bar{\delta}\}^e = [T] \{\bar{\delta}\}^e \quad (30-20)$$

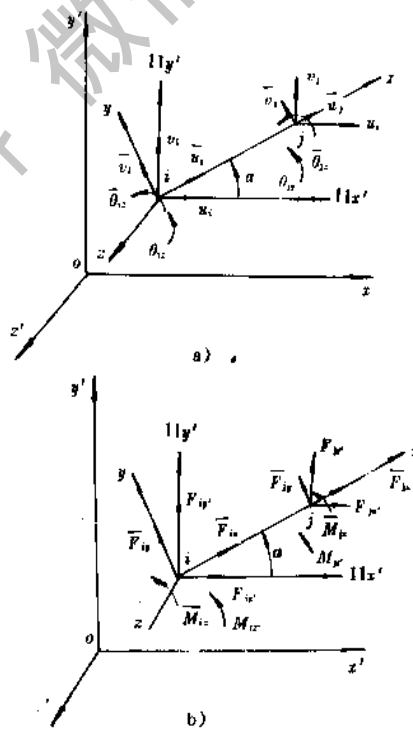


图 30-16 平面梁元坐标变换



同理  $\{F\}^e = \begin{Bmatrix} [t] & 0 \\ 0 & [t] \end{Bmatrix} \{\bar{F}\}^e = [T] \{\bar{F}\}^e$  (30-21)

$$\text{式中 } [t] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$[T]$ —平面梁元坐标变换矩阵

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(30-22)

式中  $l_{xx'}, l_{yy'}, l_{zz'}$ — $x, y, z$  轴与  $x'$  轴的方向余弦;  
 $m_{xy'}, m_{yy'}, m_{yz'}$ — $x, y, z$  轴与  $y'$  轴的方向余弦;  
 $n_{xz'}, n_{yz'}, n_{zz'}$ — $x, y, z$  轴与  $z'$  轴的方向余弦。

如设整体坐标系下平面梁元  $ij$  刚度方程

$$[K]^e \{\delta\}^e = \{F\}^e \quad (30-23)$$

则将式(30-20)和式(30-21)代入式(30-23)中,可得

$$[K]^e = [T][\bar{K}]^e [T]^{-1} = [T][\bar{K}]^e [T]^T \quad (30-24)$$

式中  $[T]^{-1}$ — $[T]$  矩阵的逆阵,  $[T]^{-1} = [T]^T$ ;

$[T]^T$ — $[T]$  矩阵的转置矩阵。

运用式(30-22)计算平面刚架每个梁元的  $[T]$ , 然后按式(30-21)和式(30-24)计算  $\{F\}^e$  和  $[K]^e$ , 再把各梁元的  $[K]^e$ 、 $\{F\}^e$  分别按直接叠加规则组成  $[K]$ 、 $\{F\}$ , 并按本章 1.6 所述方法引入约束条件, 即可求解  $\{\delta\}$ 。从解得的  $\{\delta\}$  中取出各梁元的  $\{\delta\}^e$ , 代入式(30-20)求得  $\{\bar{\delta}\}^e$ , 再把  $\{\bar{\delta}\}^e$  代入表 30-11 的应力公式中, 即可求得各梁元上任一点应力  $\{\sigma\}$ , 也可将  $\{\bar{\delta}\}^e$  代入  $[\bar{K}]^e \{\bar{\delta}\}^e = \{\bar{F}\}^e$ , 求出各梁元的杆端内力列阵  $\{\bar{F}\}^e$ , 然后使  $\{\bar{F}\}^e$  与各单元中间载荷产生的等效结点力列阵反号  $\{\bar{R}_0\}^e = -[\bar{R}_{10}, \bar{R}_{20}, \bar{M}_{10}, \bar{R}_{30}, \bar{R}_{40}, \bar{M}_{30}]^T$  相叠加, 可求得各梁元的总内力列阵, 并可绘出各梁元的内力图形。显然, 当没有中间载荷时,  $\{\bar{R}_0\}^e = 0$ , 可直接绘出各梁元的  $\{\bar{F}\}^e$  内力图。

### 4.2 空间梁元的有限元基本公式

在局部坐标系  $ixyz$  下, 空间梁元  $ij$  的每个结点有六个广义杆端内力, 与之对应必然有六个广义结

点位移(见图 30-17), 故有

$$\{\bar{F}\}^e = [\bar{F}_x, \bar{F}_y, \bar{F}_z, \bar{M}_x, \bar{M}_y, \bar{M}_z, \bar{F}_x, \bar{F}_y, \bar{F}_z, \bar{M}_x, \bar{M}_y, \bar{M}_z]^T \quad (30-25)$$

$$\{\bar{\delta}\}^e = [\bar{u}_i, \bar{v}_i, \bar{w}_i, \bar{\theta}_x, \bar{\theta}_y, \bar{\theta}_z, \bar{u}_j, \bar{v}_j, \bar{w}_j, \bar{\theta}_x, \bar{\theta}_y, \bar{\theta}_z] \quad (30-26)$$

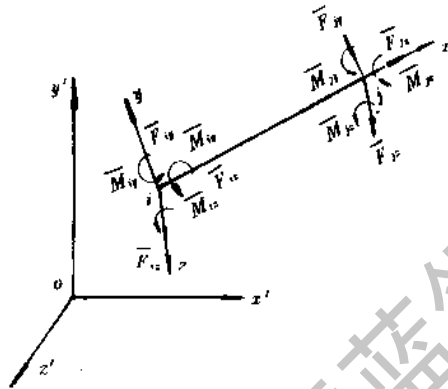


图 30-17 空间梁元杆端内力

在小变形状态下, 可把空间梁元  $ij$  的广义位移或内力看成是三种状态相叠加: (1)  $xiy$  平面内的平面梁元; (2)  $xiz$  平面内绕  $y$  轴的纯弯曲平面梁元; (3) 绕  $x$  轴的纯扭转梁元。

$xiy$  平面内的平面梁元刚度矩阵  $[\bar{K}]_x^e$  与表 30-11 中的  $[\bar{K}]_x^e$  相同;  $xiz$  平面内纯弯曲平面梁元刚度矩阵  $[\bar{K}]_y^e$  可参照表 30-11 中  $[K]^e$  的纯弯曲部分写成  $[\bar{K}]_y^e$

$$[\bar{K}]_y^e = \begin{bmatrix} 12EJ_y & & & & & \\ P^3(1+\phi_x) & & & & & \\ 6EJ_y & (4+\phi_x)EJ_y & & & & \\ P^2(1+\phi_x) & l(1+\phi_x) & & & & \\ 12EJ_y & 6EJ_y & 12EJ_y & & & \\ P^3(1+\phi_x) & P^2(1+\phi_x) & P^3(1+\phi_x) & & & \\ 6EJ_y & (2-\phi_x)EJ_y & 6EJ_y & (4+\phi_x)EJ_y & & \\ P^2(1+\phi_x) & l(1+\phi_x) & P^2(1+\phi_x) & l(1+\phi_x) & & \end{bmatrix}$$

式中  $J_y$ —梁元横截面对  $y$  轴的惯性矩;

$\phi_x$ —对  $x$  轴方向的有效剪切影响系数

$$\phi_x = \frac{12EJ_y}{GA_z l^2}$$

$A_z$ —梁元沿  $z$  轴方向的有效抗剪面积。

空间梁元  $ij$  绕  $x$  轴纯扭转刚度矩阵  $[\bar{K}]_x^e$ :

$$[\bar{K}]_x^e = \frac{GJ_x}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

式中  $GJ_x$ —梁元对  $x$  轴扭转刚度;

$J_x$ —梁元横截面对  $x$  轴的扭转惯性矩。

按空间梁元  $ij$  的  $\{\bar{F}\}^e$  和  $\{\bar{\delta}\}^e$  排列顺序, 可将  $[\bar{K}]_x^e$ 、 $[\bar{K}]_y^e$ 、 $[\bar{K}]_z^e$  排列成空间梁元刚度矩阵  $[\bar{K}]^e$



当梁的高度 ≤ 梁长  $l$  或 ≤ 跨度的  $1/4$  时, 式 (30-27) 中的  $\phi_y = \phi_z = 0$ 。

空间梁元中间载荷处理方法可参照表 (30-11), 只需把  $xiz$  平面内的等效结点载荷写成  $\bar{R}_{ix0}$ 、 $\bar{R}_{iz0}$ 、 $\bar{M}_{iy0}$ 、 $\bar{M}_{iz0}$ 。在局部坐标下空间梁元的应变和应力, 可按其三种位移状态分别求解, 然后统一组成它的应力状态。

空间梁元的坐标变换矩阵  $[T]$  或  $[t]$  可根据式 (30-25) 或式 (30-26) 直接写成

$$[T] = \begin{bmatrix} [t] & & 0 \\ & [t] & \\ 0 & & [t] \end{bmatrix} \quad (30-28)$$

而  $[t] = \begin{bmatrix} l_{xx'} & l_{yy'} & l_{zz'} \\ m_{xy'} & m_{yy'} & m_{zy'} \\ n_{xx'} & n_{yy'} & n_{zz'} \end{bmatrix} \quad (30-29)$

$$\text{式中 } \left. \begin{aligned} l_{xx'} &= \frac{x'_j - x'_i}{l}, m_{xy'} = \frac{y'_j - y'_i}{l}, n_{zz'} = \frac{z'_j - z'_i}{l} \\ l &= \sqrt{(x'_j - x'_i)^2 + (y'_j - y'_i)^2 + (z'_j - z'_i)^2} \end{aligned} \right\} \quad (3-30)$$

式中  $x'_i, y'_i, z'_i; x'_j, y'_j, z'_j$  —— 梁元  $i$  和  $j$  结

点整体坐标值, 是浏览器提醒您: 使用本复制品, 请尊重相关知识产权!

$l$  —— 梁元  $ij$  的轴线长度。

空间梁元横截面上两个主惯性轴  $y$  和  $z$  与整体坐标系  $x', y', z'$  轴的方向余弦  $l_{yx'}$ 、 $m_{yy'}$ 、 $n_{yz'}$  和  $l_{zx'}$ 、 $m_{zy'}$ 、 $n_{zz'}$ , 可通过借助于平行  $x', y', z'$  的  $x_0, y_0, z_0$  坐标轴连续旋转三次 (见图 30-18) 而求得 [58]:

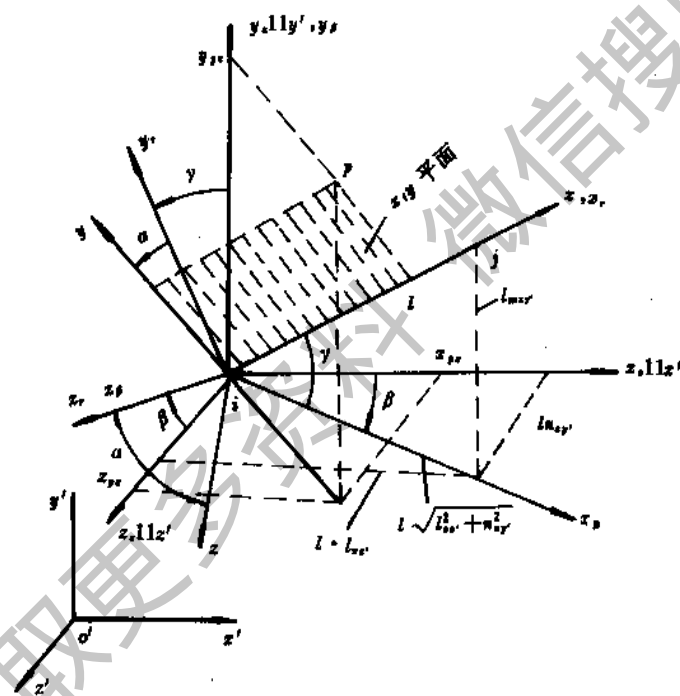


图 30-18 两坐标系变换

$$[t] = \begin{bmatrix} l_{xx'} & \frac{-l_{xx'}m_{xy'}\cos\alpha - n_{xz'}\sin\alpha}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xz'}^2}} & \frac{l_{xx'}m_{xy'}\sin\alpha - n_{xz'}\cos\alpha}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xz'}^2}} \\ m_{xy'} & \cos\alpha \sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xz'}^2} & -\sin\alpha \sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xz'}^2} \\ n_{xz'} & \frac{-m_{xy'}n_{xz'}\cos\alpha + l_{xx'}\sin\alpha}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xz'}^2}} & \frac{m_{xy'}n_{xz'}\sin\alpha + l_{xx'}\cos\alpha}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xz'}^2}} \end{bmatrix} \quad (30-31)$$

式中,  $\alpha$  为坐标旋转角, 对于倾斜和水平梁元

$$\sin\alpha = \frac{z_{py}}{\sqrt{y_{py}^2 + z_{py}^2}} \quad \cos\alpha = \frac{y_{py}}{\sqrt{y_{py}^2 + z_{py}^2}} \quad (30-32)$$

$$\left. \begin{aligned} y_{py} &= \frac{l_{xy}m_{xy'}}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xx'}^2}}x_{ps} + \sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xx'}^2}y_{ps} - \frac{m_{xy}n_{xx'}}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xx'}^2}}z_{ps} \\ z_{py} &= -\frac{n_{xx'}}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xx'}^2}}x_{ps} + \frac{l_{xx'}}{\sqrt{l_{xx'}^2 + n_{xx'}^2}}z_{ps} \\ x_{ps} &= x'_p - x'_i, \quad y_{ps} = y'_p - y'_i, \quad z_{ps} = z'_p - z'_i \end{aligned} \right\} (30-33)$$

式中

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

式 (30-33) 中的  $x'_p, y'_p, z'_p$  是在梁元  $x_i y_i z_i$  主平面内, 但不在梁元轴线上选取  $p$  点的整体坐标值 (见图 30-18)。用有限元法计算空间刚架时, 每个梁

元都要选取一个  $p$  点。

对于垂直梁元, 式 (30-31) 失效, 需要根据图 30-19 重新计算  $\{f\}$ 。

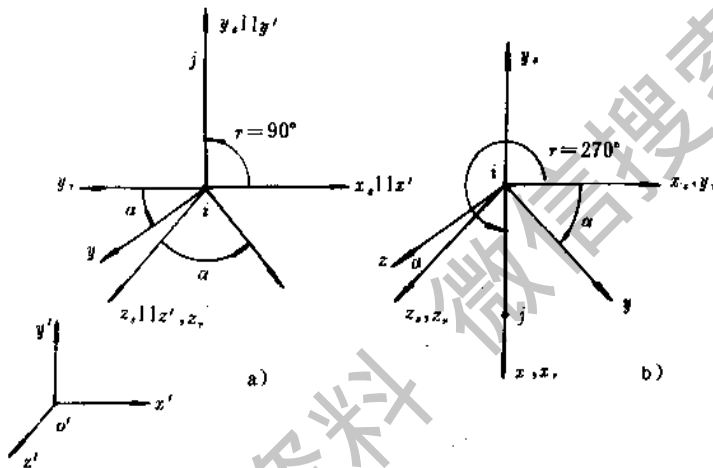


图 30-19 垂直梁元坐标变换

经过各坐标系之间的旋转, 可求得

$$[f] = \begin{bmatrix} 0 & -m_{xy}\cos\alpha & m_{xy}\sin\alpha \\ m_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (30-34)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{z_{ps}}{\sqrt{x_{ps}^2 + z_{ps}^2}} \\ \cos\alpha &= \frac{-x_{ps}m_{xy}}{\sqrt{x_{ps}^2 + z_{ps}^2}} \\ x_{ps} &= x'_p - x'_i, \quad z_{ps} = z'_p - z'_i \end{aligned} \right\} (30-35)$$

根据式 (30-31) 或式 (30-34) 求出每个空间梁

元的  $\{f\}$ , 即可由式 (30-28) 求得  $[T]$ , 然后运用式 (30-36) 和式 (30-37) 将空间梁元的  $\{\bar{F}\}^e$  和  $\{\bar{K}\}^e$  变换到整体坐标中去, 而得到

$$\{F\}^e = [T]\{\bar{F}\}^e \quad (30-36)$$

$$\{K\}^e = [T]\{\bar{K}\}^e [T]^T \quad (30-37)$$

最后, 仍按直接叠加规则组集空间刚架的刚度矩阵  $[K]$  和结点载荷列阵  $\{R\}$ , 并组成

$$[K]\{\delta\} = \{R\} \quad (30-38)$$

再引入约束条件, 求解式 (30-38), 可得  $\{\delta\}$ 。

求得了  $\{\delta\}$  后, 按单元信息从  $\{\delta\}$  中取出每个梁元在整体坐标下的位移列阵  $\{\delta\}^e$ , 并按  $\{\bar{\delta}\}^e = [T]^T \{\delta\}^e$  求得  $\{\bar{\delta}\}^e$ , 以便进一步求解每个空间梁元

的应力  $\{\bar{\sigma}\}$ ，或者直接按  $\{\bar{F}\} = [K]^{-1} \{\bar{\delta}\}$  求解每个空间梁元的杆端内力  $\{\bar{F}\}$ 。

#### 4.3 平面刚架和空间刚架有限元程序说明

本手册附带磁盘中的 *FRAME* 程序是平面刚架有限元计算程序。该程序按本章 4.1 所述的有限元基本公式编写，使用该程序，需要向计算机按如下顺序输入数据：

(1) 输入  $NE, NJ, NZ, EO$

$NE$ ——平面梁元总数

$NJ$ ——平面刚架结点总数

$NZ$ ——平面刚架支杆总数

$EO$ ——平面梁元的材料弹性模量 (MPa)

(2) 输入数组  $JM (NE, 2), AMJ (NE), GC (NE), GX (NE), GJ (NE), IZC (NZ), P (NJ_3)$

$JM (NE, 2)$ ——梁元结点编码数组，它是  $NEX2$  阶矩阵，其中  $JM (IE, 1)$  是第  $IE$  号梁元的始端结点号， $JM (IE, 2)$  是第  $IE$  号梁元的末端结点号， $IE=1, 2, \dots, NE$

$AMJ (NE)$ —— $NE$  个梁元的横截面面积数组 ( $\text{mm}^2$ )

$GC (NE)$ —— $NE$  个梁元的长度数组 (mm)

$GJ (NE)$ —— $NE$  个梁元的倾角 (与整体坐标  $x'$  轴夹角)

$GX (NE)$ —— $NE$  个梁元横截面的惯性矩数组 ( $\text{mm}^4$ )

$IZC (NZ)$ ——平面刚架支承杆数组，它是由  $NZ$  个支承杆的对应位移分量编码组成

$P (NJ_3)$ ——平面刚架的等效结点载荷数组， $NJ_3=3 \times NJ$ ，其中  $P(I)$  是第  $I$  个位移分量所对应的结点载荷分量值， $I=1, 2, \dots, NJ_3$

*FRAME* 程序的输出数据：

(1) 输出各结点的位移分量及转角 (先输出整体坐标下的、再输出局部坐标下的位移和转角)。

(2) 输出局部坐标下的杆端内力。

本手册附带磁盘中 *SFD* 程序是空间刚架有限元计算程序。该程序是按本章 4.2 的基本公式编写的，使用该程序需要向计算机按如下顺序输入数据：

(1) 输入  $M, NJ, NR, NRJ, E, G$

$M$ ——梁元总数

$NJ$ ——结点总数

$NR$ ——刚架结构约束支杆总数

$NRJ$ ——刚架结构受约束结点总数

$E$ ——材料的拉压弹性模量

$G$ ——材料的剪切弹性模量

(2) 输入  $J, X (J), Y (J), Z (J)$

$J$ ——刚架结点顺序编号

$X (J)$ —— $J$  结点整体坐标  $x'$  值

$Y (J)$ —— $J$  结点整体坐标  $y'$  值

$Z (J)$ —— $J$  结点整体坐标  $z'$  值

(3) 输入  $I, JJ (I), JK (I), AX (I), IX (I), IY (I), IZ (I), AA$

$I$ ——刚架各梁元顺序编号 (由小到大顺序排列)

$JJ (I)$ ——第  $I$  号梁元  $JK$  的  $J$  端结点号

$JK (I)$ ——第  $I$  号梁元  $JK$  的  $K$  端结点号

$AX (I)$ ——第  $I$  号梁元的横截面面积

$IX (I)$ ——第  $I$  号梁元对其局部坐标系  $x$  轴的扭转惯性矩

$IY (I)$ ——第  $I$  号梁元对其局部坐标系  $y$  轴的截面惯性矩

$IZ (I)$ ——第  $I$  号梁元对其局部坐标系  $z$  轴的截面惯性矩

$AA$ ——用以指示梁元倾角  $\alpha$  是否为零的标识符。取  $AA=0$ ，代表  $\alpha=0$ ；取  $AA=1$ ，代表  $\alpha \neq 0$ ，此时说明梁元具有倾斜的主轴

(4) 输入  $I, XP, YP, ZP$

$XP, YP, ZP$ ——第  $I$  号梁元的  $P$  点整体坐标值  $x'p, y'p, z'p$

(5) 输入  $K, RL (6k-5), RL (6k-4), RL (6k-3), RL (6k-2), RL (6k-1), RL (6k)$

$k$ ——刚架受约束结点编号 (由小向大排列)

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
尊重相关知识产权！

微星球

- RL(6k-5)——第 k 号约束结点的 x' 向约束信息, 有约束, 输入 1, 无约束, 输入 0, 下同
- RL(6k-4)——第 k 号约束结点的 y' 向约束信息
- RL(6k-3)——第 k 号约束结点 z' 向约束信息
- RL(6k-2)——第 k 号约束结点绕 x 轴转角  $\bar{\theta}_{kx}$  约束信息
- RL(6k-1)——第 k 号约束结点绕 y 轴转角  $\bar{\theta}_{ky}$  约束信息
- RL(6k)——第 k 号约束结点绕 z 轴转角  $\bar{\theta}_{kz}$  约束信息

(6) 输入 NIJ, NLM

NIJ——刚架受结点外载的结点总数目

NLM——刚架受中间外载的梁元总数目

- (7) 输入 k, A(6k-5), A(6k-4), A(6k-3), A(6k-2), A(6k-1), A(6k)

k——刚架受结点外载的结点号 (由小到大排列)

A(6k-5)、A(6k-4)、A(6k-3)、A(6k-2)、A(6k-1)、A(6k)——分别是受结点外载的结点 x'、y'、z' 向结点外力和绕 x'、y'、z' 轴结点外力矩

- (8) 输入 I, AML(I, 1), AML(I, 2), AML(I, 3), AML(I, 4), AML(I, 5), AML(I, 6), AML(I, 7), AML(I, 8), AML(I, 9), AML(I, 10), AML(I, 11), AML(I, 12)

I——刚架受中间载荷第 I 号 (I 从小到大排列, 共 NLM 个) 梁元编号

AML(I, 1), ..., AML(I, 6)——受中间载荷第 I 号梁元 JK 在局部坐标下的 J 结点六个固端广义内力

AML(I, 7), ..., AML(I, 12)——受中间载荷第 I 号梁元 JK 在局部坐标下的 k 结点六个固端广义内力

SFD 空间刚架程序的输出数据:

- (1) 输出题目标题和结构参数标题
- (2) 输出已输入的结构参数, 便于检查
- (3) 输出结点约束信息标题,

- (4) 输出受约束结点编号和结点约束信息
- (5) 输出结点坐标标题
- (6) 输出已输入的 NJ 个结点编号及整体坐标值
- (7) 输出单元信息标题
- (8) 输出各梁元的编号、梁元信息、横截面积、对 x 轴扭转惯性、对 y 和 z 轴截面惯性矩、标识符 AA 值、梁元长度
- (9) 输出载荷信息标题
- (10) 输出受结点外载荷的结点总数和受中间载荷的梁元总数
- (11) 输出受结点外载荷的结点号和结点载荷分量值
- (12) 输出结点位移分量的标题
- (13) 输出各结点号及其六个位移分量值
- (14) 输出标题及副标题
- (15) 输出各梁元在局部坐标下的杆端内力值

4.4 平面刚架和空间刚架有限元算例

例 1 跨度为 14 米的三吨单梁桥式吊车, 用有限元法计算其桥架, 可把桥架抽象成图 30-20 示的平面刚架力学模型, 其中有 7 个结点, 9 个平面梁元, 单元①、④、⑤、⑧为工字钢 I30C (主梁), 单元②、⑥、⑨为槽钢 2 [×14b (上弦杆), 单元③、⑦为槽钢 [8 (竖杆), 各梁元材料均为 A3 钢。

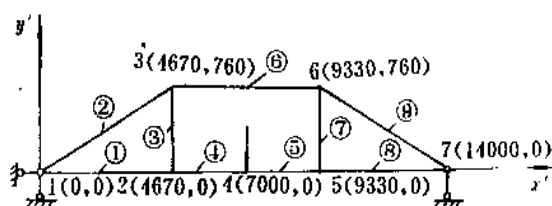


图 30-20 平面刚架力学模型

利用本手册附带磁盘中 FRAME 程序计算图 30-20 示平面刚架, 根据本章 4.3 所述, 需要准备表 30-12 示的输入数据。



表 30-12 图 30-20 示平面刚架输入数据

输入顺序	输入的物理量	输入数据
1	NE, NJ, NZ, EO	9, 7, 3, 200000.0
2	JM (NE, 2)	1, 1, 2, 2, 4, 3, 5, 5, 6, 2, 3, 3, 4, 5, 6, 6, 7, 7
3	AMJ (NE)	7340.0, 5662.0, 1824.0, 7340.0, 7340.0, 5662.0, 1824.0, 7340.0, 5662.0
4	GC (NE)	4670.0, 4731.0, 760.0, 2330.0, 2330.0, 4660.0, 760.0, 4670.0, 4731.0
5	GX (NE)	985.E+5, 1447.E+4, 890.992E+3, 985.E+5, 985.E+5, 1447.E+4, 890.992E+3, 985.E+5, 1447.E+4
6	GJ (NE)	0.0, 9.0, 90.0, 0.0, 0.0, 0.0, 90.0, 0.0, 351.0
7	IZC (NZ)	1, 2, 20
8	P (NJ3)	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -29400.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

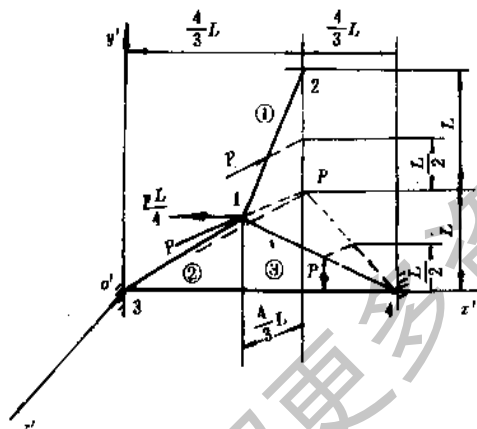


图 30-21 空间刚架

经计算，可输出平面刚架在整体坐标下各结点位移，局部坐标下各梁元位移列阵  $\{\delta\}^e$  和杆端内力列阵  $\{\bar{F}\}^e$  (参见 [57])。根据输出结果，可画出平面刚架变形图，以及各梁元弯矩图和切力图 (参见 [1])。根据局部坐标下的梁元杆端内力列阵，还可以计算各梁元的应力。现仅以桥架中点 (4 结点) 为例，

算得其上边缘轴向压应力为 33.32MPa，这与实测结果相一致。

例 2 由 3 个梁元 (①、②、③)，4 个结点 (1、2、3、4) 组成的简单空间刚架，2、3、4 结点全部约束，1 结点受有负  $z'$  向  $P=50\text{kN}$  集中力和绕  $x'$  轴力偶  $\frac{PL}{4}$ ，且  $L=960\text{mm}$ ，梁元①轴线中点作用有负  $z'$  向集中力  $P$ ，梁元③轴线中点作用有负  $y'$  向集中力  $P$ ，见图 30-21。

已知各梁元横截面相同，且  $AX=900\text{mm}^2$ ，各梁元惯性矩  $IX=64 \times 10^4\text{mm}^4$ 、 $IY=28 \times 10^4\text{mm}^4$ 、 $IZ=80 \times 10^4\text{mm}^4$ ，各梁元拉压弹性模量  $E=1000\text{kN/mm}^2$ ，剪切弹性模量  $G=400\text{kN/mm}^2$ 。

空间刚架 3 个梁元各有一个包含  $p$  点的主平面  $x_M-y_M$ ，对于图 30-21 示空间刚架，其  $p$  点位置恰在包含 2、3、4 结点的  $x'-y'$  平面内， $\bar{p}_1$  线上任何点 (1 点除外) 都能用确定该刚架各梁元的主平面。梁元①的主平面平行于  $y'oz'$  平面，该梁元的  $\alpha=0$ ，梁元②、③的主平面位置可通过给出的  $p$  点整体坐标值来确定。

图 30-21 示空间刚架的有限元计算输入数据列于表 30-13。

表 30-13 空间刚架输入数据表

输入顺序	输入的物理量	输入数据
1	<i>M, NJ, NR, NRJ, E, G</i>	3, 4, 18, 3, 1000.0, 400.0
2	<i>J, X (J), Y (J), Z (J)</i>	1, 1280.0, 960.0, 720.0 2, 1280.0, 1920.0, 0.0 3, 0.0, 0.0, 0.0 4, 2560.0, 0.0, 0.0
3, 4	<i>I, JJ (I), JK (I), AX (I), IX (I), IY (I), IZ (I), AA</i>	1, 1, 2, 900.0, 640000.0, 280000.0, 800000.0, 0, 2, 3, 1, 900.0, 640000.0, 280000.0, 800000.0, 1, 2, 1280.0, 960.0, 0.0 3, 1, 4, 900.0, 640000.0, 280000.0, 800000.0, 1, 3, 1280.0, 960.0, 0.0
5	<i>K, RL (6k-5), RL (6k-4), RL (6k-3), RL (6k-2), RL (6k-1), RL (6k)</i>	2, 1, 1, 1, 1, 1, 1 3, 1, 1, 1, 1, 1, 1 4, 1, 1, 1, 1, 1, 1
6	<i>NIJ, NLM</i>	1, 2
7	<i>k, A (6k-5), A (6k-4), A (6k-3), A (6k-2), A (6k-1), A (6k)</i>	1, 0.0, 0.0, -50.0, -12000.0, 0.0, 0.0
8	<i>I, AML (I, 1), AML (I, 2), AML (I, 3), AML (I, 4), AML (I, 5), AML (I, 6), AML (I, 7), AML (I, 8), AML (I, 9), AML (I, 10), AML (I, 11), AML (I, 12)</i>	1, -15.0, 20.0, 0.0, 0.0, 0.0, 6000.0, -15.0, 20.0, 0.0, 0.0, 0.0, -6000.0 3, -14.0, 6.0, 20.0, 0.0, -8773.0, 2700.0, -14.0, 6.0, 20.0, 0.0, 8773.0, 2700.0

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 30-13 数据按顺序输入给计算机，经 SFD 程序运算，可输出如下数据：

JOINT DISPLACEMENTS (结点位移, mm)

JOINT	$D_1 (u)$	$D_2 (v)$	$D_3 (w)$	$D_4 (\theta_x)$	$D_5 (\theta_y)$	$D_6 (\theta_z)$
1	$-.217E-02$	$-.407E-01$	$-.167E+00$	$-.521E-01$	$-.187E-02$	$-.450E-01$
2	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$
3	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$
4	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$	$.000E+01$

ELEMENT END-ACTION (梁元固端内力, kN, kNmm)

ELEMENT	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6
	AM7	AM8	AM9	AM10	AM11	AM12
1	$.509E+02$	$-.182E+02$	$-.159E+02$	$.608E+03$	$.875E+04$	$-.144E+05$
	$-.509E+02$	$.182E+02$	$-.241E+02$	$-.608E+03$	$-.136E+04$	$-.748E+04$
2	$.475E+02$	$-.486E+01$	$-.131E+01$	$.809E+03$	$.154E+04$	$-.575E+04$
	$-.475E+02$	$.486E+01$	$.131E+01$	$-.809E+03$	$.761E+03$	$-.277E+04$
3	$.458E+02$	$-.439E+01$	$-.322E+01$	$.300E+03$	$.376E+04$	$-.521E+04$
	$-.458E+02$	$.439E+01$	$.322E+01$	$.300E+03$	$.189E+04$	$-.249E+04$

利用上述数据可画出各梁元结点位移和固端内力图。

### 5 等参数单元 (简称等参元)

用有限元法分析复杂形状构件的应力和变形, 可采用精度较高的等参元, 能提高计算精度。工程上常用的等参元有: 四结点四边形平面等参元、八结点曲边四边形平面等参元、八结点六面体空间等参元、20 结点空间等参元和 8~21 可变结点空间等参元 (见图 30-22)。

分析这些等参元时, 需要采用两种坐标系——整体坐标系 (直角坐标系  $oxy$  或  $oxyz$ ) 和局部坐标系 (自然坐标系  $o_1\xi\eta$  或  $o_1\xi\eta\zeta$ )。在整体坐标系中划分单元, 确定离散化结构上各结点坐标值  $x_i, y_i$  或  $x_i, y_i, z_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, M, M$  为结点总数), 在局部坐标系中分析单元特性参数, 然后通过两种坐标系之间的变换关系, 把单元特性参数变换到整体坐标系中去, 再组集总刚  $[K]$ 、总结点载荷列阵  $\{F\}$  和结构刚度方程, 以便求解。

因此, 首先需假设等参元内任意点的位移 (位移模式) 是局部坐标的多项式 (见表 30-2), 并可写成

表 30-14 和表 30-15 示的位移插值式, 然后运用单元内任意点的整体坐标插值式

$$\left. \begin{aligned} x &= \sum_{i=1}^m N_i(\xi, \eta) x_i \\ y &= \sum_{i=1}^m N_i(\xi, \eta) y_i \end{aligned} \right\} \quad (30-39)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \sum_{i=1}^m N_i(\xi, \eta, \zeta) x_i \\ y &= \sum_{i=1}^m N_i(\xi, \eta, \zeta) y_i \\ z &= \sum_{i=1}^m N_i(\xi, \eta, \zeta) z_i \end{aligned} \right\} \quad (30-40)$$

或  
表达两种坐标之间的变换关系。式中的形函数  $N_i(\xi, \eta)$  和  $N_i(\xi, \eta, \zeta)$  是与位移模式同幂次的局部坐标多项式 (见表 30-14 和表 30-15)。由此看出, 单元内任意点位移和整体坐标都可以通过同一形函数  $N_i$  与结点参数 (位移或坐标) 而插值出来, 且插值结点数相同, 称这种单元为等参数单元或等参元。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

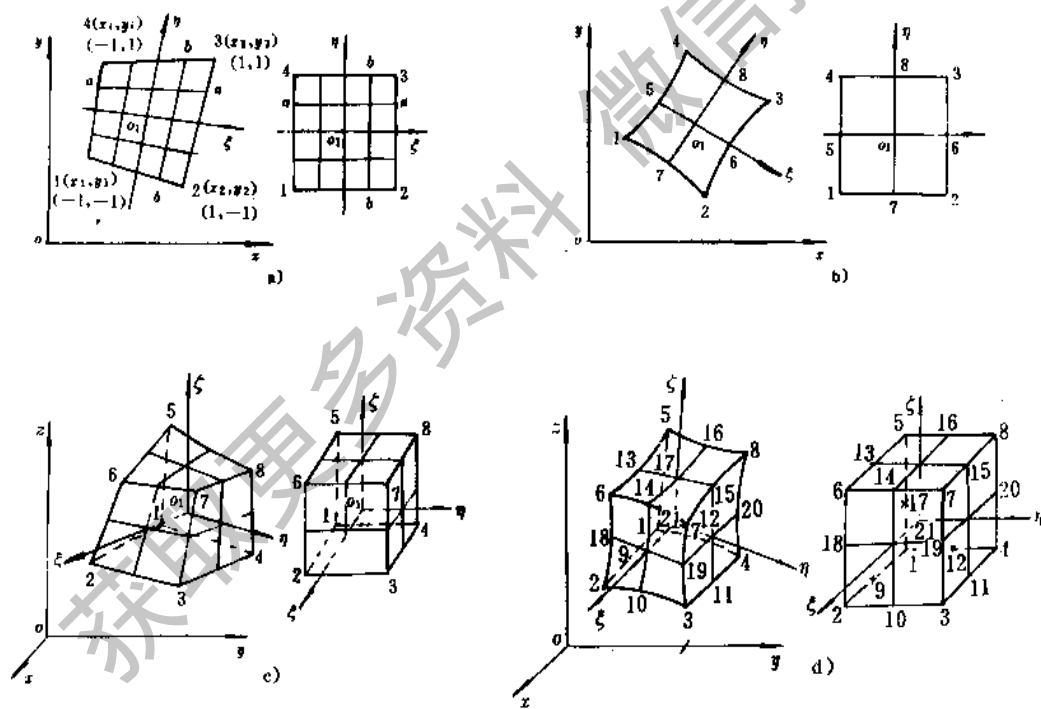


图 30-22 两种坐标系中的等参元

#### 5.1 平面与空间等参元有限元计算公式

图 30-22a、b 所示平面等参元的有限元计算公

式列于表 30-14, 图 30-22c、d 所示空间等参元的计算公式列于表 30-15。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 30-14 平面等参元计算公式

单元类型	物理量	基本公式	计算公式
四结点 四边形 等参元	位移	$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$ $= [N] \{\delta\}^e$	$\{\delta\}^e = [u_1 \ v_1 \ u_2 \ v_2 \ u_3 \ v_3 \ u_4 \ v_4]^T$ $[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix}$ $N_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta), \quad i=1, 2, 3, 4; \text{ 和 } \eta_i \text{ 为各结点局部坐$ 标值
	应变	$\{\epsilon\} = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \gamma_{xy}]^T$ $= [B] \{\delta\}^e$	$[B] = [ [B_1] \ [B_2] \ [B_3] \ [B_4] ] \text{ 应变矩阵}$ $[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad i=1, 2, 3, 4$ $\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = J \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix}$ $J \text{ 为雅克比矩阵}$ $J = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 (\xi_i x_i + \xi_i \eta_i x_i \eta) & \sum_{i=1}^4 (\xi_i y_i + \xi_i \eta_i y_i \eta) \\ \sum_{i=1}^4 (\eta_i x_i + \xi_i \eta_i x_i \xi) & \sum_{i=1}^4 (\eta_i y_i + \xi_i \eta_i y_i \xi) \end{bmatrix}$ $\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{Bmatrix} = J^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix}, \quad J^{-1} \text{ 为雅克比逆阵}$ $J^{-1} = \frac{1}{ J } \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial \eta} & -\frac{\partial y}{\partial \xi} \\ -\frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial x}{\partial \xi} \end{bmatrix}, \quad  J  \text{ 为雅克比行列式}$ $ J  = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi}$
	应力	$\{\sigma\} = [\sigma_x \ \sigma_y \ \tau_{xy}]^T$ $= [D] [B] \{\delta\}^e$	$\text{平面应力问题 } [D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$ $\text{平面应变问题 } [D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}$

超星阅读器提醒您：  
续表 30-14  
请尊重相关知识产权！

单元类型	物理量	基本公式	计算公式
	单元刚度矩阵	$[K]^e = \iiint_v [B]^T [D] [B] dv$ <p><math>v</math>—单元体积</p>	$[K]^e = t \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B]  J  d\xi d\eta$ <p><math>t</math> 单元厚度，要用二维高斯求积法确定 <math>[K]^e</math> 中各元素值</p>
	等效结点力	单元上 $c$ 点受有集中力 $\{P\} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$	$\{R\}^e = \begin{Bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$ $= [N]_c^T \{P\}$ <p><math>[N]_c^T</math> 为形函数转置矩阵的各元素 <math>N_i</math> 在 <math>C</math> 点取值</p>
	单元上受有体力	$\{p\} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$	$\{R\}^e = t \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T \{p\}  J  d\xi d\eta$ <p>要用二维高斯求积法确定 <math>\{R\}^e</math> 的各元素值</p>
八结点曲边四边形等参元	位移	$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = [N] \{\delta\}^e$	$\{\delta\}^e = [u_1 \ v_1 \ u_2 \ v_2 \ \dots \ u_8 \ v_8]^T$ $[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & \dots & N_8 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & \dots & 0 & N_8 \end{bmatrix}$ $N_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (\xi_i \xi + \eta_i \eta - 1), \quad i=1, 2, 3, 4$ $N_5 = \frac{1}{2} (1 - \xi) (1 - \eta^2)$ $N_6 = \frac{1}{2} (1 + \xi) (1 - \eta^2)$ $N_7 = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 - \eta)$ $N_8 = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 + \eta)$
	应变	$\{\epsilon\} = [B] \{\delta\}^e$	应变矩阵 $[B] = [ [B_1] [B_2] [B_3] \dots [B_8] ]$ $[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad i=1, 2, \dots, 8$ $\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{Bmatrix} = J^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix}, \quad J^{-1} = \frac{1}{ J } \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \eta} y_i & -\sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \xi} y_i \\ -\sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \eta} x_i & \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \xi} x_i \end{bmatrix}$ $ J  = \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \xi} x_i \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \eta} y_i - \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \xi} y_i \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \eta} x_i$

续表 30-14

单元类型	物理量	基本公式	计算公式
	应力	$\{\epsilon\} = [D][B]\{\delta\}^e$ $= [S]\{\delta\}^e$	应力矩阵 $[S] = [s_1] [s_2] [s_3] \dots [s_8]$ $s_i = [D][B_i], i=1, 2, 3, \dots, 8$
	单元刚度矩阵	$[K]^e = \iiint_V [B]^T [D][B] dV$	$[K]^e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D][B]  J  d\xi d\eta$
	等效结点力	单元上 C 点受有集中力	$\{P\} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$ $\{R\}^e = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & \dots & N_8 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & \dots & 0 & N_8 \end{bmatrix}^T \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$
		单元上受有体力	$\{P\} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$ $\{R\}^e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T \{p\} t  J  d\xi d\eta$
		单元 $\eta=1$ 边界上受有法向面力 $q_n$ 和切向面力 $q_t$	$\{R\}^e = \int_{-1}^1 [N]^T_{\eta=1} \begin{Bmatrix} q_t \frac{\partial x}{\partial \xi} - q_n \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ q_t \frac{\partial y}{\partial \xi} + q_n \frac{\partial x}{\partial \xi} \end{Bmatrix} d\xi$

表 30-15 空间等参元计算公式

物理量	基本公式	计算公式
位移	$\{f\} = [N]\{\delta\}^e$	$\{\delta\}^e = [u_1 \ v_1 \ w_1 \ u_2 \ v_2 \ w_2 \ \dots \ u_n \ v_n \ w_n]^T$ $n=8, 9, 10, \dots, 21$ <p>8 结点六面体单元 <math>[N] = [N_1] [N_2] [N_3] \dots [N_8]</math></p> $[N_i] = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 \\ 0 & 0 & N_i \end{bmatrix}, i=1, 2, 3, \dots, 8$ $N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta)$ <p>20 结点曲边六面体单元 <math>[N] = [N_1] [N_2] \dots [N_{20}]</math></p> $[N_i] = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 \\ 0 & 0 & N_i \end{bmatrix}$ $N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta) (\xi_i \xi + \eta_i \eta + \zeta_i \zeta - 2), i=1, 2, \dots, 8$ $N_i = \frac{1}{4} (1 - \xi^2) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta), i=9, 11, 13, 15$ $N_i = \frac{1}{4} (1 - \eta^2) (1 + \xi_i \xi) (1 + \zeta_i \zeta), i=10, 12, 14, 16$ $N_i = \frac{1}{4} (1 - \zeta^2) (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta), i=17, 18, 19, 20$ <p>8~21 可变结点六面体单元</p> $[N] = [N_1] [N_2] [N_3] \dots [N_n], n=8, 9, \dots, 21$ $[N_i] = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 \\ 0 & 0 & N_i \end{bmatrix}, i=1, 2, \dots, n, n=8, 9, 10, \dots, 21$



续表 30 15

物理量	基本公式	计算公式
		$N'_1 = N_1 - \frac{1}{2} (N_9 + N_{12} + N_{17}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_2 = N_2 - \frac{1}{2} (N_9 + N_{10} + N_{18}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_3 = N_3 - \frac{1}{2} (N_{10} + N_{11} + N_{19}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_4 = N_4 - \frac{1}{2} (N_{11} + N_{12} + N_{20}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_5 = N_5 - \frac{1}{2} (N_{13} + N_{16} + N_{17}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_6 = N_6 - \frac{1}{2} (N_{13} + N_{14} + N_{18}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_7 = N_7 - \frac{1}{2} (N_{14} + N_{15} + N_{19}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_8 = N_8 - \frac{1}{2} (N_{15} + N_{16} + N_{20}) + \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_9 = N_9 - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{10} = N_{10} - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{11} = N_{11} - \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_{12} = N_{12} - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{13} = N_{13} - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{14} = N_{14} - \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_{15} = N_{15} - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{16} = N_{16} - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{17} = N_{17} - \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_{18} = N_{18} - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{19} = N_{19} - \frac{1}{4} N'_{21}, N'_{20} = N_{20} - \frac{1}{4} N'_{21}$ $N'_{21} = (1 - \xi^2)(1 - \eta^2)(1 - \zeta^2)$ <p>上述 <math>N'_1, N'_2, \dots, N'_{20}</math> 中的 <math>N_1, N_2, \dots, N_8</math> 为 8 结点六面体单元的形函数, <math>N_9, N_{10}, \dots, N_{20}</math> 为 20 结点曲边六面体单元的形函数。1~8 结点必选, 9~21 结点可任选; 不选某结点时, 可在 <math>N'_1, N'_2, \dots, N'_{21}</math> 中去掉该不选结点的形函数 <math>N_i</math>。</p>
应变	$\{\epsilon\} = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \epsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{zx}]^T$ $= [B] \{\delta\}^e$	$[B] = \{ [B_1] [B_2] [B_3] \dots [B_n] \}, n=8, 9, \dots, 21$ $[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, n \\ n=8, 9, \dots, 21 \end{matrix}$ $\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{Bmatrix} = J^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{Bmatrix} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, n \\ n=8, 9, \dots, 21 \end{matrix}$ $J = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial \xi} & \frac{\partial N_2}{\partial \xi} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & \frac{\partial N_2}{\partial \eta} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_1}{\partial \zeta} & \frac{\partial N_2}{\partial \zeta} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & z_n \end{bmatrix}$ <p><math>J^{-1}</math> 是 <math>J</math> 的逆矩阵, <math>J</math> 为雅克比矩阵</p>

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

获取更多资料

续表 30-15

物理量	基本公式	计算公式
应力	$\{\sigma\} = [D][B]\{\delta\}^e$	弹性矩阵 $[D]$ 见表 30-7
单元刚度矩阵	$[K]^e = \iiint_V [B]^T [D] [B] dV$	$[K]^e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B]  J  d\xi d\eta d\zeta$ 用三维高斯求积法计算 $[K]^e$ 各元素 $ J  = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} x_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} y_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} z_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} x_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} y_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} z_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial z} x_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial z} y_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial z} z_i \end{vmatrix}$ 三维雅克比行列式
单元 C 点受有集中力 $\{P\} = \{P_x P_y P_z\}^T$		$\{R\}^e = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & \dots & N_n & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & \dots & 0 & N_n & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & \dots & 0 & 0 & N_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{Bmatrix}$ $= [N]_C^T \{P\}$ , $[N]_C$ 为 $[N]$ 在 C 点取值
单元受有体力 $\{p\} = \{p_x p_y p_z\}^T$		$\{R\}^e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T \{p\}  J  d\xi d\eta d\zeta$ , 用三维高斯求积法计算
等效结点力	单元 $\xi=1$ 边界面上受法向均布面力 $q$ 。(压力为正)	$\{R\}^e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]_{\xi=1}^T q_0 \begin{Bmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} y_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} z_i & -\sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} y_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} z_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} z_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} x_i & -\sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} z_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} x_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} x_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} y_i & -\sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial y} x_i & \sum_{i=1}^n \frac{\partial N_i}{\partial x} y_i \end{Bmatrix} d\xi d\eta$ 用二维高斯求积法计算

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 30-14 和表 30-15 中, 计算  $[K]^e$  和  $\{R\}^e$  各元素时都涉及高斯求积法。表 30-16 给出平面等参元和空间等参元的高斯求积法的阶数和积分点个数, 表 30-17 给出高斯积分点局部坐标值和加权系数, 供计算时选用。

表 30-16 等参元高斯求积法阶数及积分点个数

单元维数	单元结点数 阶数 和 积分点 数	4 结点		8 结点		20、21 结点	
		阶数	积分点数	阶数	积分点数	阶数	积分点数
二 维		2	4	3	9	—	—
三 维		—	—	2	8	3	27

表 30-17 积分点坐标和加权系数

阶 数	$\xi_i, \eta_i, \zeta_k$	$H_i, H_j, H_k$
2	$\pm 0.5773502692$	1
3	$\pm 0.7745966692$ 0	0.5555555556 0.8888888889

### 5.2 平面与空间等参元的有限元程序说明

从表 30-14 和表 30-15 看出，平面与空间等参元的有限元计算公式比较复杂，使得它们的有限元程序比较大。利用这种单元计算工程结构的强度问题，一般都是使用通用的结构分析程序（如 SAP-5），而不必单独编写专用程序了。SAP-5 程序的使用方法，可参见本章 8.2。

### 5.3 空间等参元计算实例

某 1100 初轧机一侧机架上横梁承受由压下螺母传来的垂直向上分布载荷  $p_1$ （合力为 9810kN），下横梁承受由下轧辊，轴承座传来的垂直向下分布载荷  $p_2$ （合力也为 9810kN）。由于一侧机架的结构、外载荷和约束都对称于它的中心线  $O_1-O_1$ ，故可抽象出图 30-23 示的力学模型。

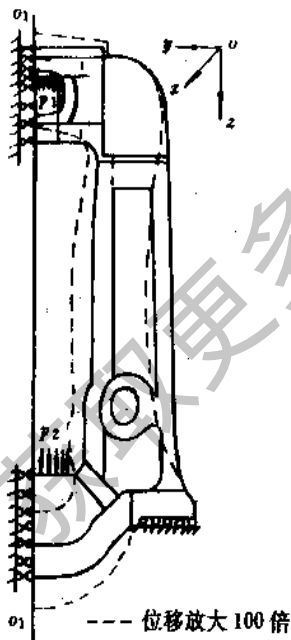


图 30-23 轧机一侧机架的力学模型

由于上述机架尺寸较大，一次有限元计算，很难

把压下螺母孔附近的应力集中问题计算准确。因此，要运用逐步求解法（见本章 7.3.1），把一侧机架分三次计算。第一次计算，把图 30-23 示的力学模型划分 840 个结点、358 个 8~21 可变结点空间等参元；第二次计算，在第一次计算的基础上，把一侧机架上半部分割出，加密网格划分，重新划分 841 个结点、388 个 8~21 可变结点空间等参元和 54 个边界单元（见本章 7.3b），见图 30-24a）；第三次计算，是在第二次计算基础上，单独把压下螺母孔部位割出，再加密网格划分，重新划分 568 个结点、168 个 8~21 可变结点空间等参元和 132 个边界单元，见图 30-24b），做了比较详细的有限元计算。

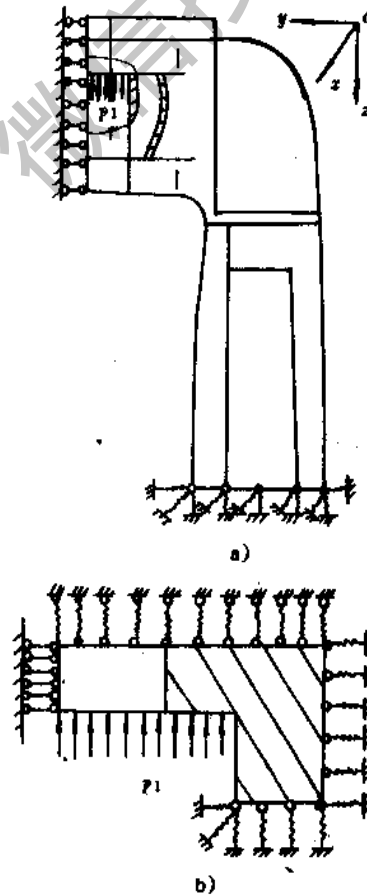


图 30-24 轧机一侧机架逐步求解

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

上述三次计算，都是运用 SAP-5 程序中的第 8 类单元（8~21 可变结点三维等参元），而第二、三次计算时还运用了 SAP-5 程序中的第 7 类单元（边界单元），每次都是在大型计算机上进行计算的。关于运用 SAP-5 程序对上述轧机一侧机架进行有限元计算的输入数据准备工作，详见本章 8.2。

根据第一次有限元计算结果，可画出一侧机架在  $y-z$  平面内的变形图（见图 30-23 中的虚线）。从图中看出，下横梁  $z$  向最大变形为 0.173mm，立柱呈现向里弯曲。根据第三次计算结果，可画出图 30-25 示的上横梁对称面在  $x-z$  平面内的变形图。从图中看出，上横梁对称面发生了偏转，这是因对称面两侧壁厚不等造成的。

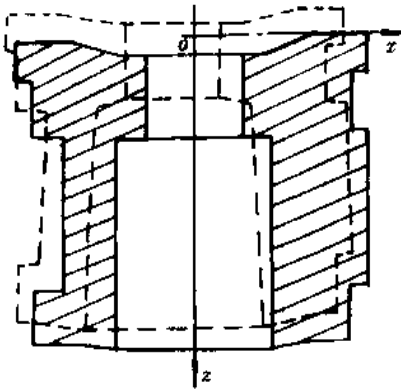


图 30-25 轧机一侧机架上横梁变形图

上横梁对称面顶部和压下螺母孔壁上的正应力  $\sigma_r$  的分布状态，示于图 30-26a)；上横梁底面压下螺母孔边缘上正应力  $\sigma_r$  的分布状态，示于图 30-26b)。

从图 30-26a) 的曲线①和②看出，上横梁上端靠近压下螺母孔附近 A、B 两点的  $\sigma_r$  应力急剧增大；从图 30-26b) 看出，压下螺母孔边缘的  $\sigma_r$  应力沿周围变化也很剧烈，甚至在局部区域内出现拉应力。上述区域的其他应力相对比较小。

实践证明，轧机机架破坏多半在压下螺母孔附近。光弹实验和有限元计算结果都表明，机架压下螺母孔过渡圆弧附近存在着整个机架的应力峰值，而且两种方法所得结果吻合。

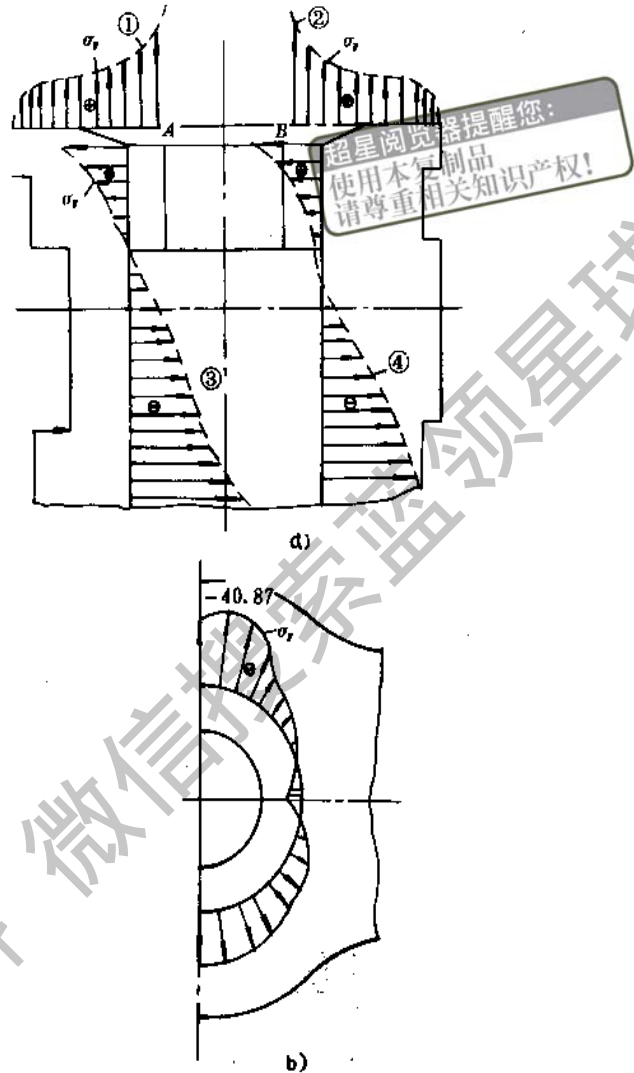


图 30-26 轧机一侧机架压下螺母孔附近应力

### 6 薄板和薄壳结构有限元分析

工程中遇到的受有垂直板面载荷（也受平行于板面的载荷）和弯矩的平板，当平板厚度  $h$  远小于其长度  $a$  与宽度  $b$  ( $h < b/5$ ) 时，称此平板为薄板。如果是曲形板，且有  $h/R \leq \frac{1}{20}$  ( $R$  为曲板中面的最小曲率半径)，则称此曲形板为薄壳。前者可用薄板单元进行有限元分析计算，后者则用薄壳单元计算。不符合上述条件的平板和曲板结构（厚板或厚壳），都可以采用三维等参元（见本章 5.1）进行有限元计

算。

### 6.1 薄板有限元分析

#### 6.1.1 薄板离散结构的结点分析

工程中常用矩形、三角形、任意四边形板单元离散薄板结构,各薄板单元之间只在结点处刚性连接,结点上必有结点内力和内力矩传递,而且整个薄板结构承受弯矩,每个板元也承受弯矩。当板元承受的弯矩不大而主要承受中面内力时,则薄板单元变成薄膜单元(见本章 8.2)。

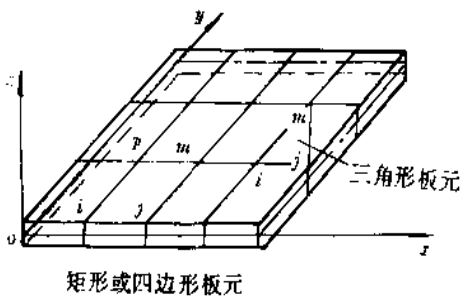


图 30-27 薄板离散化

在薄板离散结构中任取一矩形(或四边形)板元  $ijmp$  或三角形板元  $ijm$  (见图 30-27), 在整体坐标系  $oxyz$  下, 板元每个结点的广义位移应为挠度  $w_i$ 、绕  $x$  轴转角  $\theta_{xi} = \left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)_i$  和绕  $y$  轴转角  $\theta_{yi} = -\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_i$ ,  $i = i, j, m, p$  或  $i = i, j, m$  轮换。一般取  $W_i$  沿  $z$  轴

方向为正,  $\theta_{xi}$  和  $\theta_{yi}$  以右螺旋法则的矢量表示, 矢量沿  $x$  或  $y$  轴方向为正。

在矩形板元  $i$  结点附近取一微分面积  $dxdy$ , 如取  $i$  结点的  $\theta_{xi}$  为正, 则其  $\theta_{yi}$  恰为负值, 见图 30-28。如设与  $i$  结点广义位移  $w_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}$  相对应的广义结点内力为  $W_i, M_{xi}, M_{yi}$ , 则薄板上不受支承的结点  $i$  的广义位移列阵  $\{\delta_i\}$  和广义结点内力列阵  $\{F_i\}$  为

$$\{\delta_i\} = [w_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}]^T = \left[ w_i, \left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)_i, -\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_i \right]^T \quad (30-41)$$

$$\{F_i\} = [W_i, M_{xi}, M_{yi}]^T, \quad i = i, j, m, p \text{ 或 } i = i, j, m \quad (30-42)$$

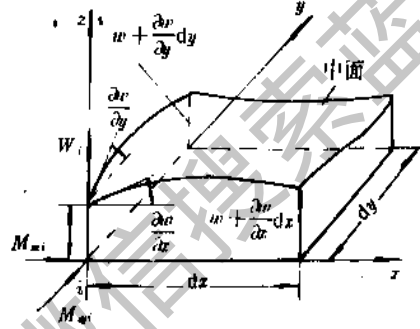


图 30-28 板元不受支承的结点分析

由于板元各结点都传递力矩, 故需对其受支承结点的变形状态进行认真分析, 以便正确处理, 避免失误。表 30-18 给出板元各种受支承结点的处理方法。

表 30-18 板元各种受支承结点分析

顺序号	受支承结点的支承状态	变 形 状 态
1	板元 $i$ 结点落在铰支承上或支承在弯曲刚度很小的支柱顶上	$W_i = 0, \theta_{xi} \neq 0, \theta_{yi} \neq 0$
2	板元 $i$ 结点落在固支座上或支承在弯曲刚度很大的支柱顶上	$W_i = \theta_{xi} = \theta_{yi} = 0$
3	板元 $i$ 结点落在弯曲刚度适中的支柱顶上	把支柱刚度叠加到薄板刚度矩阵中 (把支柱作为梁元)

续表 30-18

顺序号	受支承结点的支承状态	变 形 状 态
4	板元 $i$ 结点落在 $x=$ 常数或 $y=$ 常数的边界支承梁上, 而支承梁的弯曲刚度很大, 扭转刚度又很小	$W_i=0, \theta_{xi}=0$ 或 $W_i=0, \theta_{yi}=0$
5	板元 $i$ 结点落在弯曲刚度和扭转刚度都很大的支承梁上	$W_i=0$ $\theta_{xi}=\theta_{yi}=0$
6	板元 $i$ 结点落在弯曲刚度和扭转刚度都适中的支承梁上	把支承梁作为梁元处理, 把梁元刚度矩阵叠加到薄板总体刚度矩阵中 (见本章 7.4b)

6.1.2 四结点矩形板元有限元计算公式

根据薄板弯曲理论, 薄板的变形和应力状态, 完全由板中面的挠度  $W(x, y)$  所决定。对于矩形板

元, 可由表 30-2 查得其挠度函数 (也是位移模式), 然后通过图 30-29 示的局部坐标系  $O_1\xi\eta$  和整体坐标系  $Oxyz$  中各参量的变换关系, 可得表 30-19 的计算公式。

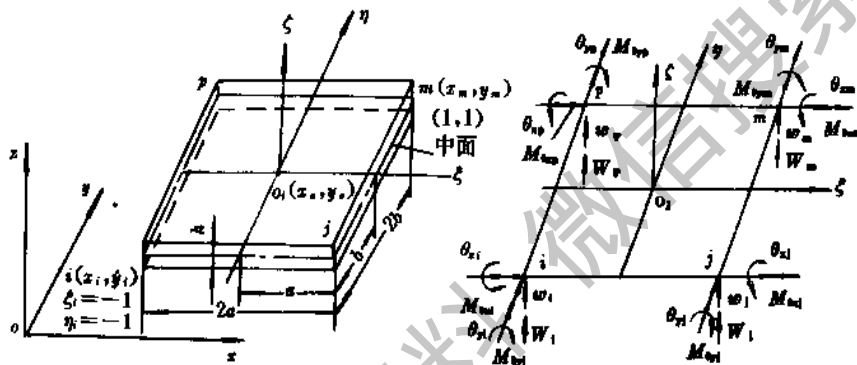


图 30-29 矩形板元的参数

表 30-19 矩形板元的有限元计算公式

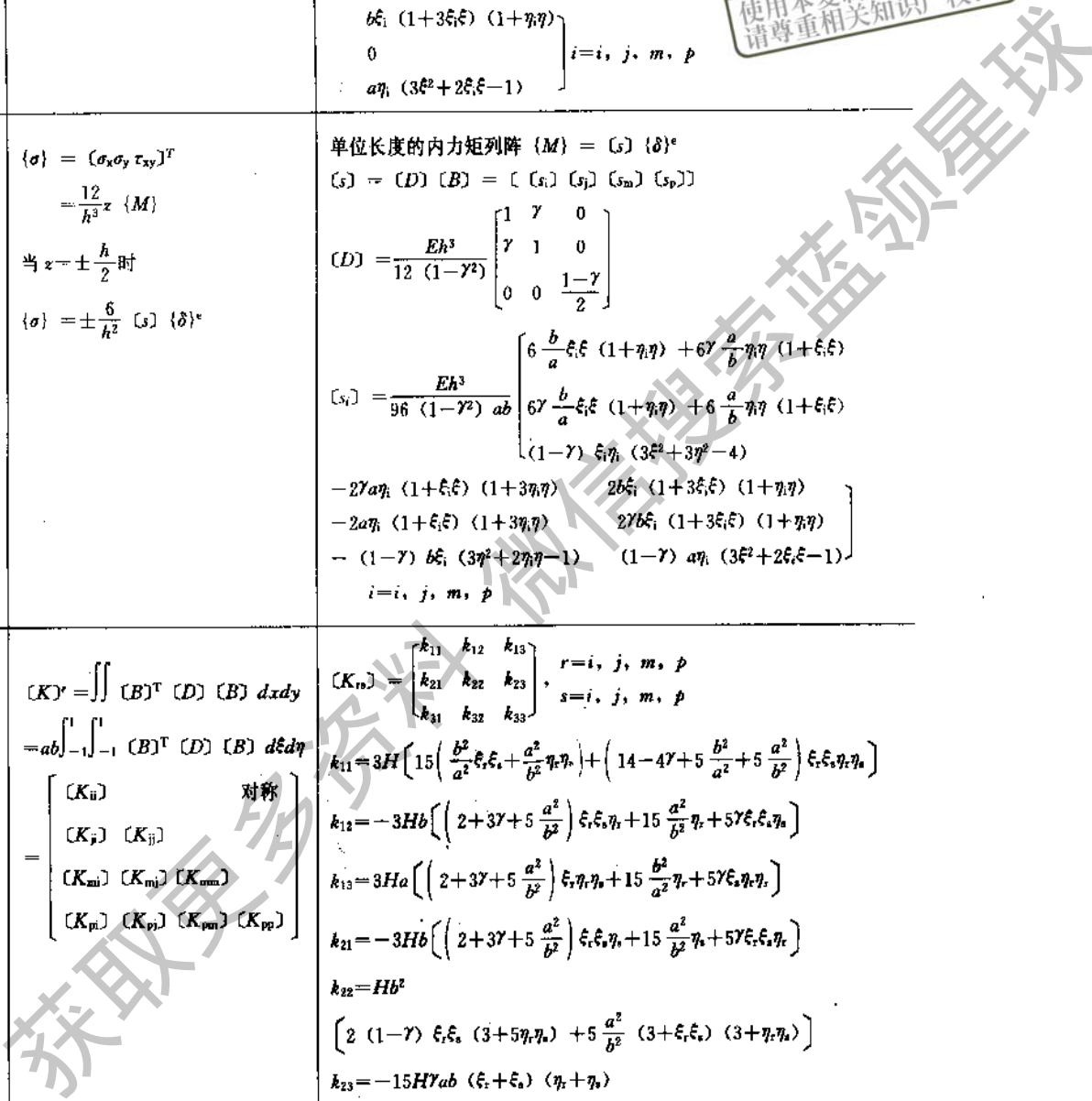
物理量	基本公式	计 算 公 式
挠度	$W = [N] \{\delta\}^e$	$\{\delta\}^e = [W_i \theta_{xi} \theta_{yi} W_j \theta_{xj} \theta_{yj} W_m \theta_{xm} \theta_{ym} W_p \theta_{xp} \theta_{yp}]^T$ $[N] = [ [N_i] [N_j] [N_m] [N_p] ]$ $[N_i] = [N_i N_{xi} N_{yi}]$ , $i = i, j, m, p$ 轮换 $N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (2 + \xi_i \xi + \eta_i \eta - \xi^2 - \eta^2)$ $N_{xi} = -\frac{b \eta_i}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 - \eta^2)$ $N_{yi} = \frac{a \xi_i}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 - \xi^2)$ , $i = i, j, m, p$ $x = x_0 + a \xi, y = y_0 + b \eta, x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2}$ $y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2}, a = \frac{x_2 - x_1}{2}, b = \frac{y_2 - y_1}{2}$



续表 30-19

物理量	基本公式	计算公式
应变	$\{\epsilon\} = [\epsilon_x \epsilon_y \gamma_{xy}]^T$ $= z \{x\}$ $\{x\} = [B] \{\delta\}^e$	$[B] = [ [B_1] [B_j] [B_m] [B_p] ], \text{应变矩阵}$ $[B_i] = \frac{1}{4ab} \begin{bmatrix} 3 \frac{a}{b} \xi_i \xi_i (1+\eta_i \eta) & 0 \\ 3 \frac{a}{b} \eta_i \eta (1+\xi_i \xi) & -a \eta_i (1+\xi_i \xi) (1+3\eta_i \eta) \\ \xi_i \eta_i (3\xi_i^2 + 3\eta_i^2 - 4) & -b \xi_i (3\eta_i^2 + 2\eta_i \eta - 1) \\ b \xi_i (1+3\xi_i \xi) (1+\eta_i \eta) & \\ 0 & \\ a \eta_i (3\xi_i^2 + 2\xi_i \xi - 1) & \end{bmatrix} \quad i=i, j, m, p$
应力	$\{\sigma\} = [\sigma_x \sigma_y \tau_{xy}]^T$ $= \frac{12}{h^3} z \{M\}$ <p>当 <math>z = \pm \frac{h}{2}</math> 时</p> $\{\sigma\} = \pm \frac{6}{h^2} [s] \{\delta\}^e$	<p>单位长度的内力矩列阵 <math>\{M\} = [s] \{\delta\}^e</math></p> $[s] = [D] [B] = [ [s_1] [s_j] [s_m] [s_p] ]$ $[D] = \frac{Eh^3}{12(1-\gamma^2)} \begin{bmatrix} 1 & \gamma & 0 \\ \gamma & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\gamma}{2} \end{bmatrix}$ $[s_i] = \frac{Eh^3}{96(1-\gamma^2)ab} \begin{bmatrix} 6 \frac{b}{a} \xi_i \xi_i (1+\eta_i \eta) + 6\gamma \frac{a}{b} \eta_i \eta (1+\xi_i \xi) \\ 6\gamma \frac{b}{a} \xi_i \xi_i (1+\eta_i \eta) + 6 \frac{a}{b} \eta_i \eta (1+\xi_i \xi) \\ (1-\gamma) \xi_i \eta_i (3\xi_i^2 + 3\eta_i^2 - 4) \\ -2\gamma a \eta_i (1+\xi_i \xi) (1+3\eta_i \eta) & 2b \xi_i (1+3\xi_i \xi) (1+\eta_i \eta) \\ -2a \eta_i (1+\xi_i \xi) (1+3\eta_i \eta) & 2\gamma b \xi_i (1+3\xi_i \xi) (1+\eta_i \eta) \\ -(1-\gamma) b \xi_i (3\eta_i^2 + 2\eta_i \eta - 1) & (1-\gamma) a \eta_i (3\xi_i^2 + 2\xi_i \xi - 1) \end{bmatrix}$ <p><math>i=i, j, m, p</math></p>
单元刚度矩阵	$[K]^e = \iint [B]^T [D] [B] dx dy$ $= ab \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] d\xi d\eta$ $= \begin{bmatrix} [K_{ii}] & & & \\ & [K_{jj}] & & \\ & & [K_{mm}] & [K_{mm}] \\ & & [K_{pi}] & [K_{pj}] & [K_{pm}] & [K_{pp}] \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">对称</p>	$[K_{rs}] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}, \quad \begin{matrix} r=i, j, m, p \\ s=i, j, m, p \end{matrix}$ $k_{11} = 3H \left[ 15 \left( \frac{b^2}{a^2} \xi_i \xi_i + \frac{a^2}{b^2} \eta_i \eta_i \right) + \left( 14 - 4\gamma + 5 \frac{b^2}{a^2} + 5 \frac{a^2}{b^2} \right) \xi_i \xi_i \eta_i \eta_i \right]$ $k_{12} = -3Hb \left[ \left( 2 + 3\gamma + 5 \frac{a^2}{b^2} \right) \xi_i \xi_i \eta_i + 15 \frac{a^2}{b^2} \eta_i + 5\gamma \xi_i \xi_i \eta_i \right]$ $k_{13} = 3Ha \left[ \left( 2 + 3\gamma + 5 \frac{a^2}{b^2} \right) \xi_i \eta_i \eta_i + 15 \frac{b^2}{a^2} \eta_i + 5\gamma \xi_i \eta_i \eta_i \right]$ $k_{21} = -3Hb \left[ \left( 2 + 3\gamma + 5 \frac{a^2}{b^2} \right) \xi_i \xi_i \eta_i + 15 \frac{a^2}{b^2} \eta_i + 5\gamma \xi_i \xi_i \eta_i \right]$ $k_{22} = Hb^2$ $\left[ 2(1-\gamma) \xi_i \xi_i (3+5\eta_i \eta_i) + 5 \frac{a^2}{b^2} (3+\xi_i \xi_i) (3+\eta_i \eta_i) \right]$ $k_{23} = -15HYab (\xi_i + \xi_i) (\eta_i + \eta_i)$ $k_{31} = 3Ha \left[ \left( 2 + 3\gamma + 5 \frac{b^2}{a^2} \right) \xi_i \eta_i \eta_i + 15 \frac{b^2}{a^2} \xi_i + 5\gamma \xi_i \eta_i \eta_i \right]$ $k_{32} = -15HYab (\xi_i + \xi_i) (\eta_i + \eta_i)$ $K_{33} = Ha^2 \left[ 2(1-\gamma) \eta_i \eta_i (3+5\xi_i \xi_i) + 5 \frac{b^2}{a^2} (3+\xi_i \xi_i) (3+\eta_i \eta_i) \right]$ $H = \frac{D}{60ab}, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\gamma^2)}$

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



续表 30-19

物理量	基本公式	计算公式
等效结点荷载列阵	集中力 $P$ 作用在板元的 $C$ 点	$\{R\}^e = [R_i M_{xi} M_{yi} R_j M_{xj} M_{yj} R_m M_{xm} M_{ym} R_p M_{xp} M_{yp}]^T$ $= [N] \bar{E} P$ $[N] \bar{E}$ 是板元形函数转置矩阵在 $C$ 点取值 当 $P$ 力作用于板元形心 ( $\xi=\eta=0$ ) 时 $\{R\}^e = P \left[ \frac{1}{4} \frac{b-a}{8} \frac{1}{8} \frac{b}{4} \frac{a}{8} \frac{1}{8} \frac{-b-a}{8} \frac{1}{8} \frac{-b-a}{8} \right]^T$
	板元 $Z$ 向 (或 $\xi$ 向) 作用有均布面力 $q_0$	$\{R\}^e = 4q_0 ab \left[ \frac{1}{4} \frac{b-a}{12} \frac{1}{12} \frac{b}{4} \frac{a}{12} \frac{1}{12} \frac{-b-a}{12} \frac{1}{12} \frac{-b-a}{12} \right]^T$

按表 30-19 列出的计算公式计算每个矩形板元的  $[K]^e$  和  $\{R\}^e$ , 然后应用直接叠加规则组集薄板总刚度矩阵  $[K]$  和总等效结点荷载列阵  $\{R\}$ , 再考虑约束条件修改  $[K]$  和  $\{R\}$ , 即可求解薄板的总位移列阵  $\{\delta\}$ ; 从解得的  $\{\delta\}$  中取出各板元的  $\{\delta\}^e$ , 代入表 30-19 中有关公式, 可求得各板元的应力  $\{\sigma\}$ , 或将  $\{\delta\}^e$  直接代入各板元刚度方程  $[K]^e \{\delta\}^e = \{F\}^e$  中, 直接求得各板元的广义内力列阵  $\{F\}^e$ 。

式中,  $\Delta_i$ 、 $\Delta_j$ 、 $\Delta_m$  为三个子三角形的面积。

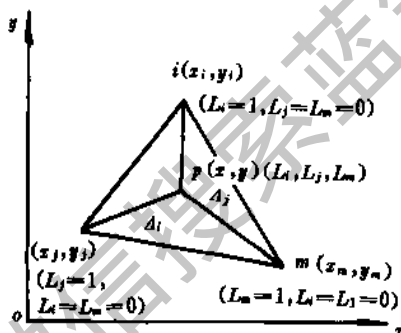


图 30-30 三角形板元的面积坐标

### 6.1.3 三结点三角形板元计算公式

具有斜边和曲线边界的薄板, 采用三角形板元分割比较方便。三角形板元的位移模式常用面积坐标多项式表示 (见表 30-2)。

如设三角形板元  $ijm$  的面积为  $\Delta$ , 则单元内任一点  $p$  的面积坐标 (见图 30-30) 为

$$L_i = \frac{\Delta_j}{\Delta}, L_j = \frac{\Delta_i}{\Delta}, L_m = \frac{\Delta_m}{\Delta} \quad (30-43)$$

且有 
$$L_i + L_j + L_m = 1 \quad (30-44)$$

面积坐标和直角坐标的变换关系, 可写成

$$\begin{cases} x = L_i x_i + L_j x_j + L_m x_m \\ y = L_i y_i + L_j y_j + L_m y_m \end{cases} \quad (30-45)$$

经直角坐标与面积坐标之间的一系列参数变换, 可得三角形板元的计算公式, 见表 30-20。

表 30-20 三结点三角形板元计算公式

物理量	基本公式	计算公式
位移	$w = [N] \{\delta\}^e$	$\{\delta\}^e = [\omega_i \theta_{xi} \theta_{yi} \omega_j \theta_{xj} \theta_{yj} \omega_m \theta_{xm} \theta_{ym}]^T$ $[N] = [ [N_i] [N_j] [N_m] ]$ $[N_i] = [N_i N_{xi} N_{yi}] \quad i = i, j, m \text{ 轮换}$ $N_i = L_i - (L_i L_i^2 - L_j L_j^2) + (L_m L_i^2 - L_i L_m^2)$ $N_{xi} = \frac{1}{2} b_j L_m L_i - \frac{1}{2} b_m L_i L_j + \frac{1}{2} b_j (L_m L_i^2 - L_i L_m^2)$ $+ \frac{1}{2} b_m (L_i L_j^2 - L_j L_i^2)$ $N_{yi} = \frac{1}{2} c_j L_m L_i - \frac{1}{2} c_m L_i L_j + \frac{1}{2} c_j (L_m L_i^2 - L_i L_m^2)$ $+ \frac{1}{2} c_m (L_i L_j^2 - L_j L_i^2)$ $b_j = y_m - y_i, \quad b_m = y_i - y_j, \quad c_j = -(x_m - x_i), \quad c_m = -(x_i - x_j)$

续表 30-20

物理量	基本公式	计算公式
应变	$\{\epsilon\} = z \{x\}$ $= [B] \{\delta\}^e$	$[B] = -\frac{z}{4\Delta^2} [T] \left[ \frac{\partial^2 [N]}{\partial L_1^2} \frac{\partial^2 [N]}{\partial L_2^2} \frac{\partial^2 [N]}{\partial L_1 \partial L_2} \right]^T$ $= [ [B_j] [B_j] [B_m] ]$ $[B_i] = \frac{z}{4\Delta^2} [T] (\phi) [G_i], \quad i=j, m \text{ 轮换}$ $\Delta = \frac{1}{2} (b_j c_i - b_i c_j), \quad b_i = b_j - b_m, \quad c_i = c_j - c_m$ $[T] = \begin{bmatrix} b_j^2 & b_i^2 & 2b_j b_i \\ c_j^2 & c_i^2 & 2c_j c_i \\ 2b_j c_i & 2b_i c_j & 2(b_j c_i + b_i c_j) \end{bmatrix}$ $[\phi] = \begin{bmatrix} [\varphi] & 0 \\ & [\varphi] \\ 0 & & [\varphi] \end{bmatrix}, \quad [\varphi] = [L_1 L_2 L_m]$ $[G_i] = [ [G_{i1}] [G_{i2}] [G_{i3}] ]^T, \quad i=j, m$ $[G_{i1}] = \begin{bmatrix} 6(\xi_i - \zeta_i) & 2b_j(2\xi_i + \zeta_i) & 2c_j(2\xi_i + \zeta_i) \\ 6\eta_i - 2 & b_m + b_j \xi_i - b_i \eta_j & c_m + c_j \xi_i - c_i \eta_j \\ -6(\xi_i - \zeta_i) & -2b_j(\xi_i + 2\zeta_i) & -2c_j(\xi_i + 2\zeta_i) \end{bmatrix}$ $[G_{i2}] = \begin{bmatrix} 6\xi_i - 2 & b_j + b_i \xi_i - b_m \xi_i & c_j + c_i \xi_i - c_m \xi_i \\ -6(\xi_i - \eta_i) & -2b_i(\xi_i + 2\eta_i) & -2c_i(\xi_i + 2\eta_i) \\ 6(\xi_i - \eta_i) & 2b_i(2\xi_i + \eta_i) & 2c_i(2\xi_i + \eta_i) \end{bmatrix}$ $[G_{i3}] = \begin{bmatrix} 2 - \xi_i & \frac{1}{2} b_j (\xi_i - 2\eta_i - 3\zeta_i) + \frac{1}{2} b_i (3\xi_i - \eta_i + 2\zeta_i) \\ 2 - 6\xi_i & \frac{1}{2} b_j (\xi_i - 2\eta_i - 3\zeta_i) + \frac{1}{2} b_i (2\xi_i + 3\eta_i - \zeta_i) \\ 6\xi_i - 2 & \frac{1}{2} b_j (2\eta_i - \xi_i + 3\zeta_i) + \frac{1}{2} b_i (\eta_i - 3\xi_i - 2\zeta_i) \\ \frac{1}{2} c_j (\xi_i - 2\eta_i - 3\zeta_i) + \frac{1}{2} c_i (3\xi_i - \eta_i + 2\zeta_i) \\ \frac{1}{2} c_j (\xi_i + 2\eta_i - 3\zeta_i) + \frac{1}{2} c_i (2\xi_i + 3\eta_i - \zeta_i) \\ \frac{1}{2} c_j (2\eta_i - \xi_i + 3\zeta_i) + \frac{1}{2} c_i (\eta_i - 3\xi_i - 2\zeta_i) \end{bmatrix}$ $[\xi_i \eta_i \zeta_i] = [100], [\xi_j \eta_j \zeta_j] = [010], [\xi_m \eta_m \zeta_m] = [001]$
单元内力矩或应力	<p>内力矩</p> $\{M\} = \sum_{i=j,m} [R] (\phi) [G_i] \{\delta_i\}$ $= \sum_{i=j,m} [S_i] \{\delta_i\}$ <p>应力</p> $[\sigma] = \frac{12}{h^2} z \sum_{i=j,m} [S_i] \{\delta_i\}$	$[\delta_i] = [c_{\alpha\beta} \theta_{\alpha\beta} \theta_{\gamma\gamma}]^T$ $[R] = \frac{Eh^3}{48(1-\nu^2)\Delta^2}$ $\begin{bmatrix} b_j^2 + \gamma c_j^2 & b_i^2 + \gamma c_i^2 & 2(b_j b_i + \gamma c_j c_i) \\ \gamma b_j^2 + c_j & \gamma b_i^2 + c_i & 2(\gamma b_j b_i + c_j c_i) \\ (1-\gamma) b_j c_i & (1-\gamma) b_i c_j & (1-\gamma)(b_j c_i + b_i c_j) \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$ $[S_i] = \begin{bmatrix} [\varphi] (R_{11} [G_{i1}] + R_{12} [G_{i2}] + R_{13} [G_{i3}]) \\ [\varphi] (R_{21} [G_{i1}] + R_{22} [G_{i2}] + R_{23} [G_{i3}]) \\ [\varphi] (R_{31} [G_{i1}] + R_{32} [G_{i2}] + R_{33} [G_{i3}]) \end{bmatrix}$ <p><math>i=j, m</math> 轮换</p>

超星浏览器提醒您  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

超星数字图书馆  
资料库

续表 30-20

物理量	基本公式	计算公式
单元刚度矩阵	$[K]^e = \iiint [B]^T [D] [B] dx dy dz$ $= \begin{bmatrix} [K_{ii}] & [K_{ij}] & [K_{im}] \\ [K_{ji}] & [K_{jj}] & [K_{jm}] \\ [K_{mi}] & [K_{mj}] & [K_{mm}] \end{bmatrix}$	$[K_{ij}] = \frac{D}{192\Delta^3} \left( [G_{11}] [p] (H_{11} [G_{j1}] + H_{12} [G_{j2}] + H_{13} [G_{j3}]) \right.$ $+ [G_{12}] [p] (H_{21} [G_{j1}] + H_{22} [G_{j2}] + H_{23} [G_{j3}])$ $+ [G_{13}] [p] (H_{31} [G_{j1}] + H_{32} [G_{j2}] + H_{33} [G_{j3}]) \left. \right)$ <p><math>i=i, j, m; j=i, j, m</math> 轮换</p> <p>板弯曲刚度 <math>D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}</math></p> $[p] = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$ $H_{11} = (b_i^2 + c_i^2)^2$ $H_{12} = H_{21} = (b_i b_j + c_i c_j)^2 + \gamma (b_i c_j - b_j c_i)^2$ $H_{13} = H_{31} = 2 (b_i^2 + c_i^2) (b_i b_j + c_i c_j), H_{22} = (b_j^2 + c_j^2)^2$ $H_{23} = H_{32} = 2 (b_j^2 + c_j^2) (b_j b_m + c_j c_m)$ $H_{33} = 2 (b_m^2 + c_m^2) (b_m^2 + c_m^2) + 2 (b_m b_i + c_m c_i)^2 - 2\gamma (b_m c_i - b_i c_m)^2$
等效结点荷载列阵	<p>集中力 <math>P</math> 作用在三角形板元 <math>C</math> 点</p>	$\{R\}^e = [R_i M_{xi} M_{yi} K_i M_{xj} M_{yj} R_m M_{xm} M_{ym}]^T$ $= [N]^e P$ <p><math>C</math> 点整体坐标 <math>x_c, y_c</math> 要化成面积坐标</p> $L_i = \frac{1}{2\Delta} (a_i + b_i x_c + c_i y_c)$ $L_j = \frac{1}{2\Delta} (a_j + b_j x_c + c_j y_c)$ $L_m = \frac{1}{2\Delta} (a_m + b_m x_c + c_m y_c)$ <p><math>a_i = x_j y_m - x_m y_j, i=i, j, m</math> 轮换</p>
	<p>三角形板元受均布面力 <math>q_0</math></p>	$\{R\}^e = \frac{\Delta}{3} q_0 \left[ 1 \quad \frac{1}{8} (b_j - b_m) \quad \frac{1}{8} (c_j - c_m) \right.$ $\left. 1 \quad \frac{1}{8} (b_m - b_i) \quad \frac{1}{8} (c_m - c_i) \quad 1 \quad \frac{1}{8} (b_i - b_j) \quad \frac{1}{8} (c_i - c_j) \right]^T$

超星浏览器提醒您  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

### 6.1.4 四结点四边形板元

四结点四边形板元可分成四个子三角形板元①、②、③、④，四个子三角形板元的公共结点  $O_1$  可取在四边形板元的形心处，或取公共结点  $O_1$  的坐标值为四个结点坐标值  $x_i$  或  $y_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 的平均值，见图 30-31。

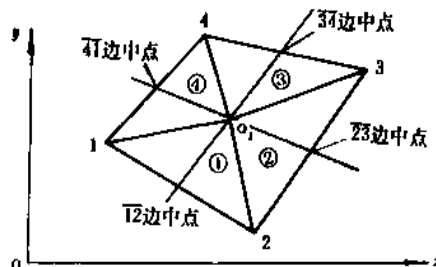


图 30-31 四结点四边形板元

按每个子三角形板元①、②、③、④利用表 30-20 结出公式形成每个子三角形板元刚度矩阵  $[K]_{\Delta}^e$ ， $\Delta = ①、②、③、④$ ，然后按四结点任意四边形板元的结点位移列阵  $\{\delta\}^e = [\omega_1 \theta_{x1} \theta_{y1} \omega_2 \theta_{x2} \theta_{y2} \omega_3 \theta_{x3} \theta_{y3} \omega_4 \theta_{x4} \theta_{y4}]^T$  组集其单元刚度矩阵  $[K]^e = \sum_{\Delta=①,②,③,④} [K]_{\Delta}^e$ 。对于四结点四边形板元的等效结点载荷列阵  $\{R\}^e$ ，也是由四个子三角形板元的  $\{R\}_{\Delta}^e$  组集而成，即

$$\{R\}^e = \sum_{\Delta=①,②,③,④} \{R\}_{\Delta}^e$$

上述矩形、三角形、四边形板元的总刚度矩阵  $[K]$  和总等效结点载荷列阵  $\{R\}$  的组集方法，仍然采用直接叠加规则。

### 6.2 薄壳有限元分析

有限元法广泛采用平面壳元计算薄壳结构强度问题。平面壳元是平面应力单元和薄板弯曲单元的组合，使计算简单且相当有效。当单元划分比较小时，可用平面壳元组合一单向或双向折曲的近似壳体代替真实壳体。对于一般形状的壳体，采用三角形或四边形平面壳元进行离散化，比较方便，对于有正交边界的柱面壳体，如圆柱壳，也可以采用矩形平面壳元进行离散化，见图 30-32。

在单元局部坐标  $oxy$  下，平面壳元的应力由平面应力和极弯曲应力相叠加，故平面壳元的结点位移列阵、结点载荷列阵和单元刚度矩阵，可由平面应力单元和板弯曲单元相对应的列阵或矩阵进行简单叠加。但是，由于薄壳结构上每个平面壳元的方位各异，在组集整体结构刚度矩阵和等效结点载荷列阵时，需要运用坐标变换方法，先把各平面壳元在局部坐标系中的上述列阵或矩阵变换到结构整体坐标系  $o'x'y'z'$  中去，然后再用直接叠加规则组集成总等效结点载荷列阵  $\{R'\}$  或总刚度矩阵  $[K']$ ，以便求解。

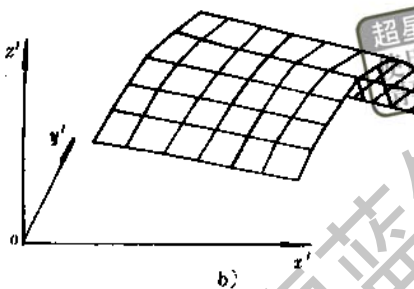
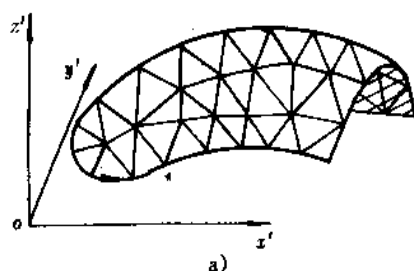


图 30-32 薄壳离散化

#### 6.2.1 三角形平面壳元

局部坐标  $oxy$  下，三角形平面单元和板弯曲单元的结点位移列阵、结点载荷列阵和刚度矩阵分别写成（见本章表 30-3 和表 30-20）

$$\left. \begin{aligned} \{\delta^p\}^e &= [ \{\delta_1^p\}^T \{\delta_2^p\}^T \{\delta_m^p\}^T ]^T \\ \{\delta_1^p\} &= [u_i \ v_i]^T, \quad i=i, j, m \\ \{F^p\}^e &= [ \{F_1^p\}^T \{F_2^p\}^T \{F_m^p\}^T ]^T \\ \{F_1^p\} &= [F_{x1} \ F_{y1}]^T, \quad i=i, j, m \\ [K^p]^e &= \begin{bmatrix} [K_{11}^p] & [K_{1j}^p] & [K_{1m}^p] \\ [K_{j1}^p] & [K_{jj}^p] & [K_{jm}^p] \\ [K_{m1}^p] & [K_{mj}^p] & [K_{mm}^p] \end{bmatrix} \\ [K_{rs}^p] &\text{见表 30-3, } r=i, j, m; S=i, j, m \end{aligned} \right\} \quad (30-46)$$

$$\left. \begin{aligned} \{\delta^b\}^e &= [ \{\delta_1^b\}^T \{\delta_2^b\}^T \{\delta_m^b\}^T ]^T \\ \{\delta_1^b\} &= [\omega_i \ \theta_{xi} \ \theta_{yi}]^T, \quad i=i, j, m \text{ 轮换} \\ \{F^b\} &= [ \{F_1^b\}^T \{F_2^b\}^T \{F_m^b\}^T ]^T \\ \{F_1^b\} &= [W_i \ M_{bx1} \ M_{by1}]^T, \quad i=i, j, m \\ [K^b]^e &= \begin{bmatrix} [K_{11}^b] & [K_{1j}^b] & [K_{1m}^b] \\ [K_{j1}^b] & [K_{jj}^b] & [K_{jm}^b] \\ [K_{m1}^b] & [K_{mj}^b] & [K_{mm}^b] \end{bmatrix} \\ [K_{rs}^b] &\text{见表 30-20 中 } [K_{ij}], \quad r=i, j, m; S=i, j, m \end{aligned} \right\} \quad (30-47)$$

式(30-46)中的上角 $P$ 代表平面应力状态;式(30-47)中的上角 $b$ 代表板弯曲应力状态。将式(30-46)和式(30-47)的对应矩阵合并,并虚设 $\theta_a=0, M_{aa}=0$  ( $i=i, j, m$ )元素,可构成三角形平面壳元的结点位移列阵 $\{\delta\}^e$ 、结点载荷列阵 $\{F\}^e$ 和刚度矩阵 $[K]^e$ ,以及刚度方程:

$$\left. \begin{aligned} \{\delta\}^e &= [\{\delta_i\}^T \{\delta_j\}^T \{\delta_m\}^T]^T \\ \{\delta_i\} &= [u_i, v_i, w_i, \theta_x, \theta_y, \theta_z]^T, i=i, j, m \text{ 轮换} \\ \{F\}^e &= [\{F_i\}^T \{F_j\}^T \{F_m\}^T]^T \\ \{F_i\} &= [F_x, F_y, W_i, M_{ax}, M_{ay}, M_{az}]^T, i=i, j, m \\ [K]^e &= \begin{bmatrix} [K_{ii}] & [K_{ij}] & [K_{im}] \\ [K_{ji}] & [K_{jj}] & [K_{jm}] \\ [K_{mi}] & [K_{mj}] & [K_{mm}] \end{bmatrix} \\ [K_{rs}] &= \begin{bmatrix} [K_{rs}^a] & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & [K_{rs}^b] & & & \\ 0 & 0 & & 0 & \\ 0 & 0 & [K_{rs}^c] & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} r=i, j, m \\ S=i, j, m \end{matrix} \end{aligned} \right\} \quad (30-48)$$

$$[K]^e \{\delta\}^e = \{F\}^e \quad (30-49)$$

如设整体坐标 $o'x'y'z'$ 下的平面壳元结点位移列阵为 $\{\delta'\}^e$ 、结点载荷列阵为 $\{F'\}^e$ 、单元刚度矩

$$\left. \begin{aligned} \{\delta'\}^e &= [\{\delta'_i\}^T \{\delta'_j\}^T \{\delta'_m\}^T]^T \\ \{\delta'_i\} &= [u', v', w', \theta'_x, \theta'_y, \theta'_z]^T, i=i, j, m \text{ 轮换} \\ \{F'\}^e &= [\{F'_{i1}\}^T \{F'_{i2}\}^T \{F'_{i3}\}^T]^T \\ \{F'_{i1}\} &= [F'_{x1}, F'_{y1}, W'_i, M'_{ax1}, M'_{ay1}, M'_{az1}]^T, i=i, j, m \\ [K']^e \{\delta'\}^e &= \{F'\}^e \end{aligned} \right\} \quad (30-50)$$

可用类似于空间梁元所使用的方法,得

$$\left. \begin{aligned} \{\delta'\}^e &= [\{\delta'_i\}^T \{\delta'_j\}^T \{\delta'_m\}^T]^T = \begin{bmatrix} [\lambda] & & 0 \\ & [\lambda] & \\ 0 & & [\lambda] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_i\} \\ \{\delta_j\} \\ \{\delta_m\} \end{Bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} [t] & & & \\ & [t] & & 0 \\ & & [t] & \\ & & & [t] \\ 0 & & & & [t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_i\} \\ \{\delta_j\} \\ \{\delta_m\} \end{Bmatrix} \\ [F']^e &= [T] \{F\}^e \\ [K']^e &= [T] [K]^e [T]^T \end{aligned} \right\} \quad (30-51)$$

式中  $[T]$  —— 三角形平面壳元坐标变换矩阵;  
 $[\lambda]$  —— 三角形平面壳元结点坐标变换矩阵;  
 $[t]$  —— 坐标变换矩阵。  
 选定薄壳结构整体坐标系 $o'x'y'z'$ , 定出离散化薄壳结构上各单元的结点坐标值 $x'_i, y'_i, z'_i; x'_j, y'_j, z'_j; x'_m, y'_m, z'_m$ , 把单元 $i, j, m$ 的 $i$ 结点选



为局部坐标系  $oxyz$  的原点, 且把  $\bar{ij}$  边定为  $x$  轴正方向,  $x$  和  $y$  轴在单元平面内, 按右手法则定出  $z$  轴 (单元法线方向), 见图 30-33。

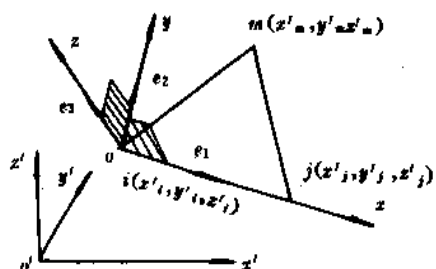


图 30 33 三角形壳元坐标变换

设  $x$  轴方向的单位矢量为  $e_1$ , 则

$$e_1 = \frac{\bar{ij}}{|\bar{ij}|} = \frac{1}{l_{ij}} \begin{Bmatrix} x'_j - x'_i \\ y'_j - y'_i \\ z'_j - z'_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} l_{xx} \\ m_{xy} \\ n_{xz} \end{Bmatrix} \quad (30-52)$$

设  $y$  轴方向单位矢量  $e_2$ , 则

$$e_2 = e_3 \times e_1 = [l_{yx} m_{yy} n_{yz}]^T \\ = \frac{1}{2\Delta} \begin{Bmatrix} (z'_j - z'_i)^2 (x'_m - x'_i) - (x'_j - x'_i) (z'_m - z'_i) (z'_i - z'_i) \\ (x'_j - x'_i)^2 (y'_m - y'_i) - (y'_j - y'_i) (x'_m - x'_i) (x'_i - x'_i) \\ (y'_j - y'_i)^2 (z'_m - z'_i) - (z'_j - z'_i) (y'_m - y'_i) (y'_i - y'_i) \\ - (x'_j - x'_i) (y'_m - y'_i) (y'_j - y'_i) + (y'_j - y'_i)^2 (x'_m - x'_i) \\ - (y'_j - y'_i) (z'_m - z'_i) (z'_j - z'_i) + (z'_j - z'_i)^2 (y'_m - y'_i) \\ - (z'_j - z'_i) (x'_m - x'_i) (x'_j - x'_i) + (x'_j - x'_i)^2 (z'_m - z'_i) \end{Bmatrix} \quad (30-54)$$

把  $x, y, z$  轴方向单位矢量排列成矩阵, 即构成两坐标之间的坐标变换矩阵

$$[L] = [e_1 e_2 e_3] \\ = \begin{bmatrix} l_{xx} & l_{yx} & l_{zx} \\ m_{xy} & m_{yy} & m_{zy} \\ n_{xz} & n_{yz} & n_{zx} \end{bmatrix} \quad (30-55)$$

由式 (30-52)、(30-53)、(30-54) 算得各平面壳元两坐标系之间的方向余弦, 再由式 (30-55) 算得  $[L]$  或  $[T]$ , 就可由式 (30-51) 算得各平面壳元的  $[K]^e$  和  $\{F\}^e$ , 然后运用直接叠加规则, 将各壳元的  $[K]^e$  和  $\{F\}^e$  组集成整体结构的刚度矩阵  $[K']$  和结点载荷列阵  $\{R'\}$ , 并组成结构刚度方程

式中  $l_{ij} =$

$$\sqrt{(x'_j - x'_i)^2 + (y'_j - y'_i)^2 + (z'_j - z'_i)^2}$$

$l_{xx}, m_{xy}, n_{xz} \dots$   $x$  轴与  $x', y', z'$  轴的方向

余弦

设  $z$  轴方向的单位矢量为  $e_3$ , 则

$$e_3 = \frac{\bar{ij} \times \bar{im}}{|\bar{ij} \times \bar{im}|} = \begin{Bmatrix} l_{xx} \\ m_{xy} \\ n_{xz} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2\Delta} \times$$

$$\begin{Bmatrix} (y'_j - y'_i) (z'_m - z'_i) - (z'_j - z'_i) (y'_m - y'_i) \\ (z'_j - z'_i) (x'_m - x'_i) - (x'_j - x'_i) (z'_m - z'_i) \\ (x'_j - x'_i) (y'_m - y'_i) - (y'_j - y'_i) (x'_m - x'_i) \end{Bmatrix} \quad (30-53)$$

式中  $l_{xx}, m_{xy}, n_{xz} \dots$   $z$  轴与  $x', y', z'$  轴方向余弦

$\Delta$ ——三角形平面壳元的三角形面积

$$\Delta = \frac{1}{2} [ \{ (y'_j - y'_i) (z'_m - z'_i) - (z'_j - z'_i) (y'_m - y'_i) \}^2 + \{ (z'_j - z'_i) (x'_m - x'_i) - (x'_j - x'_i) (z'_m - z'_i) \}^2 + \{ (x'_j - x'_i) (y'_m - y'_i) - (y'_j - y'_i) (x'_m - x'_i) \}^2 ]$$

$$[K'] \{\delta'\} = \{R'\} \quad (30-56)$$

式中,  $\{\delta'\}$  为整体坐标下薄壳结构结点位移列阵。

引入薄壳结构约束条件, 修改式 (30-56), 再去求解, 即可解得  $\{\delta'\}$ 。从解得的  $\{\delta'\}$  按单元信息取出各单元的  $\{\delta\}^e$ , 再由式 (30-51) 求得  $\{\delta\}^e = [T]^T \{\delta'\}^e$  ( $[T]^T$  是  $[T]$  的转置矩阵), 然后, 由  $\{\delta\}^e$  中的元素  $u_i, v_i, w_i, v_j, u_m, v_m$  组成  $\{\delta^o\}^e$ , 代入表 30-3 中的平面应力公式中, 可求得平面壳元的平面应力  $\sigma_x^e, \sigma_y^e, \tau_{xy}^e$ ; 再由  $\{\delta\}^e$  中的元素  $w_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}, w_j, \theta_{xj}, \theta_{yj}, w_m, \theta_{xm}, \theta_{ym}$  组成  $\{\delta^b\}^e$ , 代入表 30-20 中的薄板应力公式中, 可求得平面壳元的板弯曲应力  $\sigma_x^e, \sigma_y^e, \tau_{xy}^e$ 。三角形平面壳元的应力可近似等于

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_x^a + \sigma_x^b \\ \sigma_y &= \sigma_y^a + \sigma_y^b \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy}^a + \tau_{xy}^b \end{aligned} \right\} \quad (30-57)$$

如果薄壳结构上某一结点  $i$  周围的各平面壳元共面(几个相邻单元在同一平面上)时,则组集后的结构刚度矩阵,即使考虑了约束条件,仍然是奇异矩阵,使得结构刚度方程无法求解  $\{\delta\}$ , 克服此困难的最有效方法,是在  $i$  结点  $z$  向附加一个边界单元(见本章 7.3),此边界单元是一根扭簧,其扭转刚度  $k_{\theta} = 10^8 \sim 10^{10}$  (见图 30-34),令其在局部坐标系  $oxyz$  中的单元刚度矩阵  $[K_k]^e$  为

$$[K_k]^e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{\theta} \end{bmatrix} \quad (30-58)$$

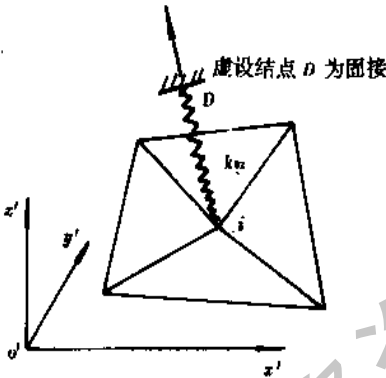


图 30-34 薄壳单元共面问题

在整体坐标系中,扭簧的单元刚度矩阵为

$$[K'_k]^e = [\lambda][K_k]^e[\lambda]^T \quad (30-59)$$

将各个共面点的扭簧刚度矩阵  $[K'_k]^e$  都叠加到薄壳结构刚度矩阵中,可得

$$[K'] = \sum_{e=1}^{m_1} [K']^e + \sum_{e=1}^{m_2} [K'_k]^e \quad (30-60)$$

式中  $m_1$ ——平面壳元总数;

$m_2$ ——薄壳结构共面点或扭簧总数。

### 6.2.2 四边形平面壳元

四结点四边形平面壳元也可分成四个子三角形平面壳元①、②、③、④,四个子三角形平面壳元的

公共结点  $o_1$  可取在四边形平面壳元的形心处,或取公共结点  $O_1$  的坐标值为四个结点整体坐标值  $x'_i$  或  $y'_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 的平均值。

按每个子三角形平面壳元①、②、③、④形成它们的单元刚度矩阵  $[K]_0^e$  和  $[K']_0^e$ , ③=①、②、③、④,然后按四结点四边形平面壳元的结点位移列阵  $\{\delta\}^e$  和  $\{\delta'\}^e$  的排列顺序来组集其单元刚度矩阵  $[K]^e$  和  $[K']^e$ 。对于四结点四边形平面壳元的  $\{R\}^e$  和  $\{R'\}^e$ ,也是由四个子三角形平面壳元的  $\{R\}_0^e$  和  $\{R'\}_0^e$  组集而成。

应该指出,对于薄壳结构的每个四结点四边形平面壳元上的公共结点  $O_1$  处,都要施加一个  $z$  向边界单元(扭簧),以便消除结构刚度矩阵的奇异性。对于薄壳结构上几个四边形平面壳元在某一结点  $i$  共面时,仍要在  $i$  结点施加一个  $z$  向边界单元。

### 6.2.3 矩形平面壳元

如果一个圆柱型或箱型薄壳结构用四结点矩形平面壳元分割,则可取整体坐标系  $o'x'y'z'$  的  $x'$  轴与圆柱面母线平行;取其局部坐标系  $oxyz$  的  $x$  轴沿圆柱面母线且与  $x'$  轴平行,  $y$  轴垂直于母线且在平面壳元中面内,  $z$  轴垂直于中面或  $x$  轴,坐标原点  $o$  在平面壳元  $ijmp$  的中心,如图 30-35 所示。

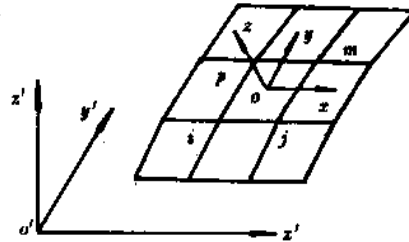


图 30-35 矩形薄壳单元

由于这样选取两坐标系,使得

$$\begin{aligned} l_{xx} &= 1, & m_{xy} &= 0, & n_{xz} &= 0 \\ l_{yx} &= 0, & m_{yy} &= \frac{y'_p - y'_i}{l_{ip}}, & n_{yz} &= \frac{z'_p - z'_i}{l_{ip}} \\ l_{xz} &= 0, & m_{zy} &= -\frac{z'_p - z'_i}{l_{ip}}, & n_{zx} &= \frac{y'_p - y'_i}{l_{ip}} \\ l_{ip} &= \sqrt{(y'_p - y'_i)^2 + (z'_p - z'_i)^2} \end{aligned}$$

故两坐标系之间的变换矩阵  $[\lambda]$  变成

$$[f] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{y'_p - y'_i}{l_{ip}} & -\frac{z'_p - z'_i}{l_{ip}} \\ 0 & \frac{z'_p - z'_i}{l_{ip}} & \frac{y'_p - y'_i}{l_{ip}} \end{bmatrix} \quad (30-61)$$

$$[T] = \begin{bmatrix} [f] & & & & & & & & 0 \\ & [f] & & & & & & & \\ & & [f] & & & & & & \\ & & & [f] & & & & & \\ & & & & [f] & & & & \\ & & & & & [f] & & & \\ & & & & & & [f] & & \\ & & & & & & & [f] & \\ 0 & & & & & & & & [f] \end{bmatrix} \quad (30-62)$$

矩形平面壳元其他计算公式，可由矩形平面单元和矩形板元的有关公式组成，可仿照三角形和四边形平面壳元有关公式进行推导。

### 6.3 薄板和薄壳结构的有限元程序说明

从本章 6.1 和 6.2 所列出的计算公式看出，计算薄板和薄壳结构所使用的矩形、三角形、四边形板壳单元的有限元计算过程都比较复杂，一般都是使用 SAP-5 中的第六类单元（四结点四边形板壳元）和第 7 类单元（边界单元）计算薄板或薄壳结构强度问题，参见本章 8.2。在使用 SAP-5 程序中的第六类单元时，必须给出单元形心  $o_1$  处的整体坐标值，否则程序按单元四个结点坐标的平均值计算  $o_1$  点的坐标分量值；如果四结点四边形板壳元  $i, j, m, p$  变成三结点三角形板壳元  $i, j, m$  可将 SAP-5 程序中第六类单元的单元数据卡片（或数据行）中的  $p$  点空白（不填写数据）。由此看出，SAP-5 程序中第六类单元可以适应四结点四边形、矩形、三结点三角形板壳元。

## 7 整体结构有限元分析中的若干问题

整体结构有限元分析中的若干问题，是指子结构法、结构对称性和重复性的利用、伪单元、逐步求解法、边界元、结构上使用不同类型单元的协调问题、结构约束不足和附加约束，以及结构的力学模型建立等问题的分析和处理。这些问题都属于结构有限元分析中更加深入的内容。

### 7.1 子结构法

把离散化结构中若干数量互相毗连的单元拼在

一起，构成一结构单位，称为子结构。用此子结构和其他子结构或单元共同组集成整体结构，称为子结构法。

一个复杂结构可离散化成若干个子结构和单元，每个子结构又可离散成若干个子结构和单元，如此等等，称此为多重子结构。

利用子结构法分析复杂结构强度问题特别有效，便于数据准备和修改结构的某一局部，使运算过程有条不紊和减少差错，能大量降低对计算机内存容量的要求，但编制计算机程序略为复杂，计算时间较长。

子结构的结点位移可分成两组，第一组是同其他子结构或单元共用的，彼此有位移协调关系，属于边界结点位移，用下角标“b”识别，其位移列阵为  $\{\delta_b\}$ ；第二组是与其它子结构或单元没有位移协调关系，属于内部结点位移，用下角标“i”识别，其位移列阵为  $\{\delta_i\}$ 。故有

$$\begin{bmatrix} [K_{bb}] & [K_{bi}] \\ [K_{ib}] & [K_{ii}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_b\} \\ \{\delta_i\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_b\} \\ \{F_i\} \end{Bmatrix} \quad (30-63)$$

式中  $[K_{bb}]$  —— 子结构边界结点的刚度矩阵子块  
 $[K_{ii}]$  —— 子结构内部结点的刚度矩阵子块  
 $[K_{bi}]$ 、 $[K_{ib}]$  —— 子结构边界结点和内部结点的刚度矩阵之间的牵连刚度矩阵子块  
 $\{F_b\}$ 、 $\{F_i\}$  —— 子结构边界结点和内部结点的结点载荷列阵

展开式 (30-63)，得

$$[K_{bb}] \{\delta_b\} + [K_{bi}] \{\delta_i\} = \{F_b\} \quad (30-64)$$

$$[K_{ib}] \{\delta_b\} + [K_{ii}] \{\delta_i\} = \{F_i\} \quad (30-65)$$

由式 (30-65) 解出  $\{\delta_i\}$ ，代入式 (30-64) 中，得

$$\{F_b\} - [K_{bi}] [K_{ii}]^{-1} \{F_i\} = ([K_{bb}] - [K_{bi}] [K_{ii}]^{-1} [K_{ib}]) \{\delta_b\} \quad (30-66)$$

令  $[K_{ii}]^{-1} [K_{ib}] = [K_{ib}^*]$ ， $[K_{ii}]^{-1} \{F_i\} = \{F_i^*\}$ ，可得

$$[K_{ii}] [K_{ii}^*] = [K_{ib}] \quad (30-67)$$

$$[K_{ii}] \{F_i^*\} = \{F_i\} \quad (30-68)$$

$$(\{F_b\} - [K_{bi}] \{F_i^*\}) = ([K_{bb}] - [K_{bi}] [K_{ii}^*]) \{\delta_b\} \quad (30-69)$$

再令式 (30-69) 中的  $[K_{bb}] - [K_{bi}] [K_{ii}^*] = [K_{bb}^*]$ ， $\{F_b\} - [K_{bi}] \{F_i^*\} = \{F_b^*\}$ ，则式 (30-69) 变成

$$[K_{bb}^*] \{\delta_b\} = \{F_b^*\} \quad (30-70)$$

由式 (30-67) 和式 (30-68) 分别解得  $[K_{bb}^*]$  和  $\{F_b^*\}$ , 则式 (30-70) 中的  $[K_{bb}]$  和  $\{F_b\}$  就皆已知。因此, 式 (30-70) 就变成凝聚掉内部结点位移  $\{\delta_i\}$  而仅保留外部结点位移  $\{\delta_e\}$  的子结构刚度方程式。

对组成整体结构的各子结构都进行上述处理, 并把每个子结构的  $[K_{bb}]$ 、 $\{F_b\}$  按直接叠加规则组成  $[K]$ 、 $\{F\}$ , 可列出

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \quad (30-71)$$

式中  $[K]$ ——各子结构刚度矩阵组成的刚度矩阵

$$[K] = \sum_1^N [K_{bb}];$$

$\{F\}$ ——各子结构结点载荷列阵组成的载荷

$$\{F\} = \sum_1^N \{F_b\};$$

$\{\delta\}$ ——各子结构结点位移列阵组成的位移列阵;

$$\{\delta\} = \sum_1^N \{\delta_b\}$$

$N$ ——整体结构分成的子结构总数。

引入结构约束条件, 求解式 (30-71), 可得  $\{\delta\}$ ; 再从  $\{\delta\}$  中找出各子结构的  $\{\delta_b\}$ , 代入式 (30-65) 中, 可求得  $\{\delta_i\}$ ; 最后利用  $\{\delta_e\}$  和  $\{\delta_i\}$  去计算各子结构上各单元应力。

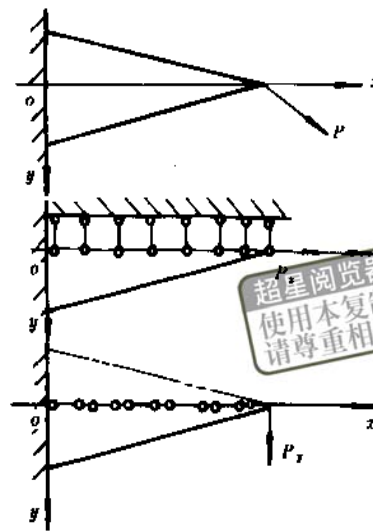
由于  $[K_{bb}]$  的阶数远小于子结构刚度矩阵的阶数, 使得最后组集各子结构所得到的结构刚度方程 (式 (30-71)) 的阶数大大降低。因此, 可应用于结构法在小型计算机或微机上解算大型结构的强度问题。

## 7.2 结构和外载荷的对称性与重复性利用、伪单元

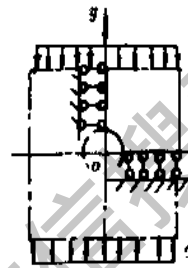
### 7.2.1 对称性的利用

图 30-36 示出四种对称性结构, 由于结构对称和所受外载荷对称或反对称, 仅需取整个结构的 1/2, 1/4, 1/8, 1/32 作为计算用力学模型, 但在对称面上要施加位移为零的约束。

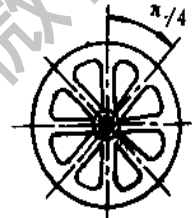
施加约束的原则: 若外载荷对称, 则相对于对称面作反对称运动的那些位移分量, 应施加位移为零的约束; 若外载荷为反对称, 则相对于对称面作对称运动的那些位移分量, 应施加位移为零的约束。



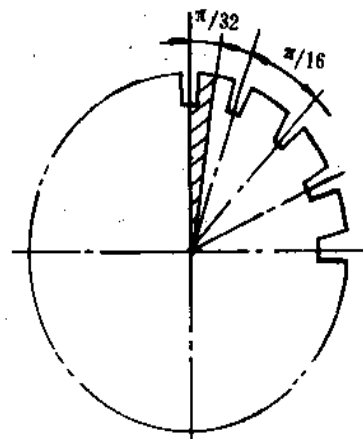
a) 取 1/2



b) 取 1/4



c) 取 1/8



d) 取 1/32

图 30-36 结构对称性的利用

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微星科技 蓝领星球

### 7.2.2 重复性利用

在机械工程中,有些构件的几何形状和外载荷具有重复性和循环对称性,如离心泵、鼓风机和水轮机的叶轮。这些构件可按其几何尺寸和外载荷重复的特点而划分几个区域,每个区域就是一个重复性子结构。分析一个子结构就可以了解构件的全貌,并使构件整体分析的计算量大大下降。

图 30-37 示的离心泵叶轮,具有六个重复区域,任取某一区域,就构成一个子结构。该子结构与其相邻两侧子结构的分界面为  $aa$  和  $bb$ 。把子结构用某种单元离散化,其边界  $aa$  上结点用下角  $a$  标注,边界  $bb$  上结点用下角  $b$  标注,内部结点用下角  $i$  标注,于是,子结构刚度方程可写成

$$\begin{Bmatrix} [K_{ii}] & [K_{ia}] & [K_{ib}] \\ [K_{ia}]^T & [K_{aa}] & [K_{ab}] \\ [K_{ib}]^T & [K_{ab}]^T & [K_{bb}] \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_i\} \\ \{\delta_a\} \\ \{\delta_b\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_i\} \\ \{F_a\} + \{P_a\} \\ \{F_b\} + \{P_b\} \end{Bmatrix} \quad (30-72)$$

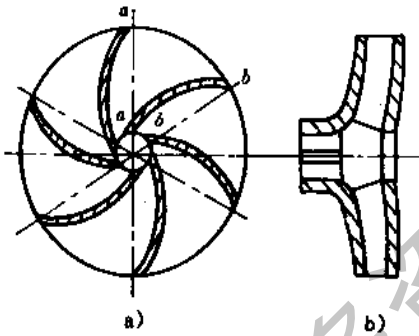


图 30-37 构件重复区域图形

- 式中  $\{\delta_i\}$  ——子结构内部结点总位移列阵;
- $\{\delta_a\}$  ——子结构边界  $aa$  上各结点总位移列阵;
- $\{\delta_b\}$  ——子结构边界  $bb$  上各结点总位移列阵;
- $\{F_i\}$  ——子结构内部结点总结点载荷列阵;
- $\{F_a\}$  ——子结构边界  $aa$  上各结点总结点载荷列阵;
- $\{F_b\}$  ——子结构边界  $bb$  上各结点总结点载荷列阵;
- $\{P_a\}$  ——相邻子结构沿边界  $aa$  作用于所计算子结构的总结点内力列阵;
- $\{P_b\}$  ——相邻子结构沿边界  $bb$  作用于所计算子结构的总结点内力列阵。

由于重复性子结构具有几何形状和外载荷对称性,故所计算子结构与其两相邻子结构在边界  $aa$  和  $bb$  上的各结点必须满足如下变形协调条件(见图 30-38):

$$\{\delta_a\} = \{\delta_b\}, \{P_a\} = -\{P_b\}$$

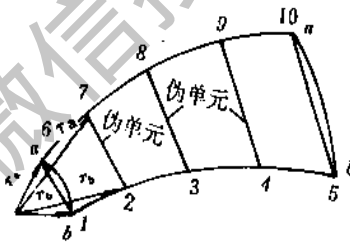


图 30-38 子结构图形

将  $\{\delta_a\} = \{\delta_b\}$  和  $\{P_a\} = -\{P_b\}$  代入式 (30-72) 中,可解得

$$\begin{Bmatrix} [K_{ii}] & [K_{ia}] + [K_{ib}] \\ [K_{ia}]^T + [K_{ib}]^T & [K_{aa}] + [K_{bb}] + [K_{ab}] + [K_{ab}]^T \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_i\} \\ \{\delta_a\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_i\} \\ \{F_a\} + \{F_b\} \end{Bmatrix} \quad (30-73)$$

式 (30-73) 可按图 30-38 的边界结点编号方法并考虑变形协调条件而直接组成。由式 (30-73) 可直接解得子结构内部和边界上各结点位移分量,并进而求得应力。

### 7.2.3 伪单元分析

为了满足图 30-38 示的子结构边界变形协调条件  $\{\delta_a\} = \{\delta_b\}$ ,可在边界  $aa$  和  $bb$  之间设置若干个

刚度系数  $k=10^{11}$  的伪单元。这种伪单元是一种人为设置的两结点单元,它不对应于实际结构,而只是用来规定两个结点的 12 个(最多有 12 个)广义位移分量(每个结点有三个平移和三个转角)之间的某种线性约束(见本章 8.2N, SAP-5 程序第 9 类单元)。就图 30-38 而言,共设置 5 个伪单元,它们的结点编号为 6, 1; 7, 2; 8, 3; 9, 4; 10, 5。在极坐标  $r-\theta$  中,这些伪单元的变形协调条件为



$$\left. \begin{aligned} \delta_{ra} &= \delta_{rb} \\ \delta_{ra} &= \delta_{ra} \end{aligned} \right\} a = 6, 7, 8, 9, 10, b = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (30-74)$$

如设伪单元结点位移阵为  $\{\delta_p\}^e$ , 结点载荷阵为  $\{F_p\}^e$ , 单元刚度矩阵为  $[K_p]^e$ , 则其刚度方程

$$[K_p]^e \{\delta_p\}^e = \{F_p\}^e \quad (30-75)$$

对于二维问题, 式 (30-75) 中的  $\{\delta_p\}^e = [\delta_{ra} \delta_{ra} \delta_{rb} \delta_{rb}]^T$ ,  $\{F_p\}^e = [F_{ra} F_{ra} F_{rb} F_{rb}]^T$ , 模拟  $[K_p]^e$  为

$$[K_p]^e = k \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30-76)$$

故式 (30-75) 变成

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{ra} \\ \delta_{ra} \\ \delta_{rb} \\ \delta_{rb} \end{Bmatrix} = \frac{1}{k} \begin{Bmatrix} F_{ra} \\ F_{ra} \\ F_{rb} \\ F_{rb} \end{Bmatrix} \quad (30-77)$$

由于取  $k = 10^{11}$ , 则  $\frac{1}{k} [F_{ra} F_{ra} F_{rb} F_{rb}]^T \approx$

$$[K_p]^e = k \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30-79)$$

因此, 在重复型子结构分析中, 把伪单元也看成是一种单元, 可将其单元刚度矩阵直接组集到整体坐标系的子结构总刚度矩阵中, 从而反映出子结构边界面上的变形协调条件。

### 7.3 逐步求解法与边界单元

#### 7.3.1 逐步求解法

结构上常因存在着小孔, 沟槽或裂缝, 受载后引起高度应力集中。用有限元法计算这种结构的强度问题, 需把结构离散的很细, 给计算带来一定困难。

$[0000]^T$ , 故可由式 (30-77) 解得  $\delta_{ra} = \delta_{rb}$ ,  $\delta_{ra} = \delta_{ra}$ 。这就满足了子结构两边界  $aa$  和  $bb$  所要求的变形协调条件。

在圆柱坐标系  $r\theta z$  下, 与空间等参元相联接的伪单元 (图 30-38 就是应用这种伪单元), 在子结构两边界  $aa$  和  $bb$  上任意伪单元  $ij$  的变形协调条件为

$$\delta_{ri} = \delta_{rj}, \delta_{\theta i} = \delta_{\theta j}, \delta_{zi} = \delta_{zj}$$

此时, 应模拟伪单元刚度矩阵为

$$[K_p]^e = k \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30-78)$$

在直角坐标系中, 与薄壳单元相固接的伪单元刚度矩阵 (相当于空间梁元) 为

为解决此困难, 可先用粗网格离散结构, 做第一次初步有限元计算, 使计算精度在远离应力集中源部位是足够的; 然后, 将应力集中源附近部位从整体结构上切出, 在切割边界上施加第一次计算所得到的边界位移或边界应力, 再加密离散网格做第二次有限元计算 (见本章 5.3 图 30-24a)。

如果第二次有限元计算结果仍不够精细, 可从已切出部分中再切出更小的部分 (见本章 5.3 图 30-24b), 进一步加密离散网格, 作更细致的有限元计算, 直到获得满意的结果。这种有限元分析方法称为逐步求解法。



### 7.3.2 边界单元 (又称弹簧元)

运用逐步求解法, 需要把前一次算得的边界(下一次计算的边界)点位移作为下一次计算的已知边界条件, 再作更细致的有限元计算。这种已知边界条件, 可用边界单元来处理, 即施加一个给定刚度的弹簧。边界单元在 SAP-5 程序中定为第 7 类单元 (见本章 8. 2IV), 它是用于将结点位移约束成指定值、用于计算支座反力和给结点提供线性弹性支座。

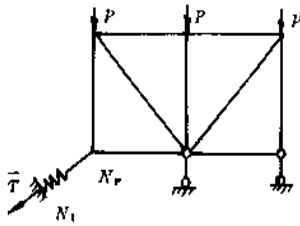


图 30-39 边界单元分析图

图 30-39 示的离散结构  $N_p$  结点已知位移为  $U$ , 在用有限元法求解该离散结构时, 可在  $N_p$  结点设置一弹簧, 弹簧的一端为结构边界的  $N_p$  点, 另一端为一虚拟固定点  $N_1$  ( $N_1$  点可任选),  $N_p$  和  $N_1$  之间即构成一边界单元, 其刚度系数为  $k_b = 10^{10} \sim 10^{15}$ 。  $N_p N_1$  方向代表  $N_p$  点已知位移方向, 也是边界单元方向。边界单元  $N_p N_1$  作用于结构上的线性拉力或压力  $F_{N_p}$  为

$$F_{N_p} = U k_b \vec{T}$$

式中  $\vec{T}$ ——边界单元  $N_p N_1$  方向上的单位矢量

将  $F_{N_p}$  沿边界单元局部坐标系的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴分解, 可得  $F_{N_p}$  沿各坐标轴的分量  $F_{N_{px}}$ 、 $F_{N_{py}}$ 、 $F_{N_{pz}}$ , 故有

$$\{F_b\}^e = [F_{N_{px}} F_{N_{py}} F_{N_{pz}} 0 0 0]^T \quad (30-80)$$

边界单元  $N_p N_1$  的刚度矩阵 (类似于空间桁架单元):

$$[K_b]^e = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ 0 & 1 & & & & \\ 0 & 0 & 1 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} K_b \quad (30-81)$$

把边界单元  $N_p N_1$  的  $[K_b]^e$  和其载荷列阵  $\{F_b\}^e$  经坐标变换后按直接叠加规则叠加到结构总刚度矩阵和总结点载荷列阵中, 再考虑结构约束条件, 求解刚度方程, 可得出结构  $N_p$  结点沿边界单元方向必有已知位移  $U$  的结论。这是因为  $k_b$  远大于结构刚度

矩阵的任意元素  $k_{ij}$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, n, j=1, 2, 3, \dots, n$  ( $n$  为离散结构自由度总数)。

当边界单元方向垂直于板壳元中面时 (见本章 6. 2. 1), 要通过交于  $N_p$  点的两条中面切线  $IJ$  和  $KL$  来决定边界单元方向 (见图 30-40)。此时, 板中面内  $N_p$  点上有个已知转角  $\theta_{znp}$ , 可附加一扭转刚度系数  $k_b = 10^8 \sim 10^{10}$  的扭簧做为边界单元, 其方向可由矢量积  $\vec{IJ} \times \vec{KL}$  决定 (垂直于中面)。该扭簧对  $N_p$  点的扭矩  $M_{NP}$  为  $M_{NP} = \theta_{znp} k_b \vec{n}$  式中  $\vec{n}$ ——矢量积  $\vec{IJ} \times \vec{KL}$  方向的单位矢量

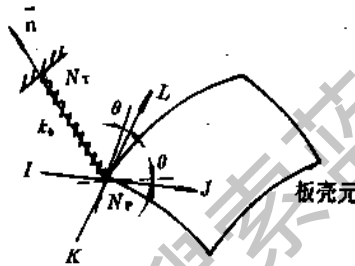


图 30-40 边界单元分析图

该扭簧边界单元沿板壳元局部坐标  $z$  向的刚度矩阵为

$$[K_k]^e = k_b \begin{bmatrix} 0 & & & & & & \\ & \text{对称} & & & & & \\ 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30-82)$$

式 (30-82) 与式 (30-58) 完全相同。与  $[K_k]^e$  相对应的扭簧边界单元结点载荷列阵  $\{F_k\}^e$  为

$$\{F_k\}^e = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad M_{NP}]^T \quad (30-83)$$

将  $[K_k]^e$  和  $\{F_k\}^e$  分别进行坐标变换, 就可把它们直接叠加到结构总刚度矩阵和总结点载荷列阵中, 以便进一步求解。

由上述看出,  $N_p$  结点的边界单元刚度矩阵  $[K_b]^e$  或  $[K_k]^e$ , 以及结点载荷列阵  $\{F_b\}^e$  或  $\{F_k\}^e$  的模拟, 与离散结构的单元类型和  $N_p$  结点已知位移方向有关, 需要结合具体问题进行认真分析。

### 7.4 不同类型单元的结合

计算复杂结构强度时, 时常遇到不同类型单元结合处的位移协调性问题。为使结合处的位移协调, 必须引入一定的变换矩阵。

7.4.1 平面梁元与平面应力单元的结合

图 30-41 是一段平面梁元  $ab$ ，其上下边缘与平面应力单元相连接。为使两者的结点位移列阵满足协调性，需对梁元刚度矩阵作些变换。

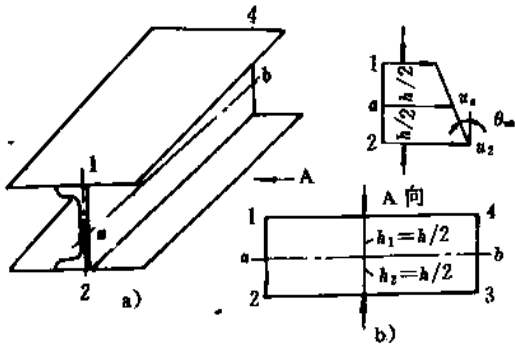


图 30-41 组合结构分析图

平面梁元  $ab$  的结点位移列阵  $\{\delta\}^e$  为

$$\{\delta\}^e = [\{\delta_a\}^T \{\delta_b\}^T]^T,$$

$$\{\delta_i\} = [u_i, \theta_a], i = a, b$$

为了与邻近的平面应力单元结点位移列阵协调，而将  $\{\delta\}^e$  改写成

$$\{\delta'\}^e = [\{\delta_1\}^T \{\delta_2\}^T \{\delta_3\}^T \{\delta_4\}^T]^T$$

$$\{\delta_i\} = [u_i, \theta_i]^T, i = 1, 2, 3, 4$$

$\{\delta'\}^e$  与  $\{\delta\}^e$  之间应存在如下变换关系：

$$\{\delta_a\} = [T] \begin{Bmatrix} \{\delta_1\} \\ \{\delta_2\} \end{Bmatrix}, \{\delta_b\} = [T] \begin{Bmatrix} \{\delta_3\} \\ \{\delta_4\} \end{Bmatrix}$$

式中的变换矩阵  $[T]$ ，可根据梁弯曲的平面假设来决定（见图 30-41）：

$$u_a = (u_2 - u_1) \frac{h_1}{h_1 + h_2} + u_1$$

$$= \frac{1}{h_1 + h_2} (h_2 u_1 + h_1 u_2)$$

$$u_a = v_1 = v_2$$

$$\theta_{a_1} \approx \frac{u_2 - u_1}{h_1 + h_2}$$

$$\text{故有 } \{\delta_a\} = \begin{Bmatrix} u_a \\ v_a \\ \theta_{a_1} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} \frac{h_2}{h_1 + h_2} u_1 + \frac{h_1}{h_1 + h_2} u_2 \\ v_1 \\ -\frac{1}{h_1 + h_2} u_1 + \frac{1}{h_1 + h_2} u_2 \end{Bmatrix} \quad (30-84)$$

$$= [T] \begin{Bmatrix} \{\delta_1\} \\ \{\delta_2\} \end{Bmatrix}$$

$$\text{同理 } \{\delta_b\} = [T] \begin{Bmatrix} \{\delta_3\} \\ \{\delta_4\} \end{Bmatrix}$$

式中  $[T] =$

$$\begin{bmatrix} \frac{h_2}{h_1 + h_2} & 0 & \frac{h_1}{h_1 + h_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{h_1 + h_2} & 0 & \frac{1}{h_1 + h_2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{h} & 0 & \frac{1}{h} & 0 \end{bmatrix}$$

$$h_1 + h_2 = h, h_1 = h_2 = \frac{1}{2}h$$

如设平面梁元  $ab$  在整体坐标下的刚度矩阵为  $[k]^e$ （见式 (30-24)），把  $[k]^e$  变换成与平面应力单元相协调的刚度矩阵记为  $[k_0]^e$ ，则

$$[k_0]^e = \begin{bmatrix} [T]^T & 0 \\ 0 & [T]^T \end{bmatrix} [K]^e \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [T] \end{bmatrix} \quad (30-86)$$

$[k_0]^e$  变成 8 行 8 列元素的平面梁元刚度矩阵，恰好与其上、下缘相连接的平面应力单元的结点 1、2、3、4 的位移列阵相协调。但是，这样变换并未作到两种单元完全协调，有一定误差，而其计算精度仍满足工程要求。

工程中时常遇到图 30-42 示的偏心梁元（偏心距为  $e$ ）与平面应力单元组合结构。

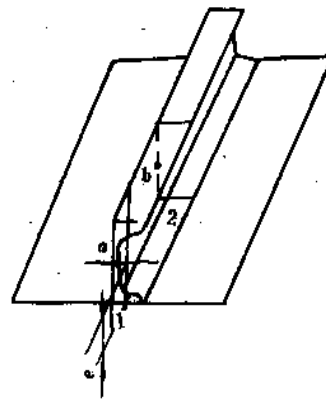


图 30-42 组合结构分析图

在整体坐标下，偏心梁元的结点位移列阵仍为  $\{\delta\}^e = [\{\delta_a\}^T \{\delta_b\}^T]^T$ ， $\{\delta_i\} = [u_i, \theta_a]$ ， $i = a, b$ 。为使该梁元与平面应力单元协调，应将梁元  $ab$  的结点位移列阵换成

$$\{\delta'\}^e = [\{\delta_1\}^T \{\delta_2\}^T]^T, \{\delta_i\} = [u_i, \theta_a], i = 1, 2$$

仍按梁弯曲的平面假设, 得

$$\begin{aligned} u_a &= u_1 - \theta_{x1}e, v_a = v_1, \theta_{za} = \theta_{z1} \\ u_b &= u_2 - \theta_{x2}e, v_b = v_2, \theta_{zb} = \theta_{z2} \end{aligned}$$

且设  $\{\delta_a\} = [T] \{\delta_1\}$ ,  $\{\delta_b\} = [T] \{\delta_2\}$   
此时,  $[T]$  矩阵变成:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -e \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30-87)$$

而

$$\{\delta\}^e = \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [T] \end{bmatrix} \{\delta'\}^e \quad (30-88)$$

与平面应力单元协调的平面梁元刚度矩阵为

$$[k_a]^e = \begin{bmatrix} [T]^T & 0 \\ 0 & [T]^T \end{bmatrix} [K]^e \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [T] \end{bmatrix} \quad (30-89)$$

### 7.4.2 薄板单元与平面梁元结合

薄板与梁或柱相互刚结的组合结构, 通常是把板和梁分别划分成板元和梁元, 两种单元在公共结点  $i, j$  处的位移协调性问题, 可由改变梁元刚度矩阵来解决 (见图 30-43)。

板梁结合结构的板元刚度矩阵, 可直接采用本章表 30-19 或表 30-20 中的公式, 而与板元刚结的梁或柱元刚度矩阵, 需要按与板元刚结的结点  $i, j$  的结点位移和结点力列阵来组成梁元  $ij$  的刚度方程来

决定。

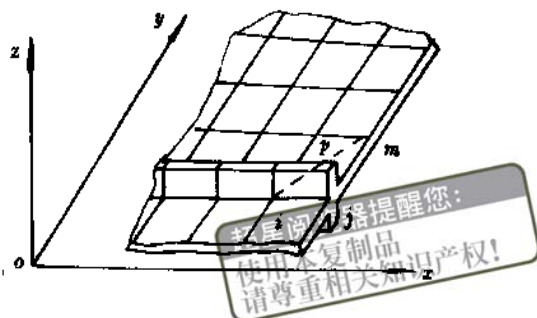


图 30-43 板梁组合结构

设平行于  $x$  轴的平面梁元  $ij$  在整体坐标下的刚度方程为

$$\{F\}^e = [K]^e \{\delta\}^e \quad (30-90)$$

式中  $\{\delta\}^e = [w_i \theta_{xi} \theta_{yi} w_j \theta_{xj} \theta_{yj}]^T$   
 $\{F\}^e = [W_i M_{oxi} M_{oyi} W_j M_{oxj} M_{oyj}]^T$   
 $[K]^e$  —— 梁元  $ij$  在整体坐标系中的刚度矩阵  
 $[K]^e = [T]^T [K]^e [T]$  (30-91)  
 $[T]$  —— 梁元  $ij$  局部坐标系与整体坐标系之间的变换矩阵, 见本章式 (30-22)

$[K]^e$  —— 梁元  $ij$  在局部坐标系中的刚度矩阵, 可由本章式 (30-27) 中查得 (不考虑剪切影响系数)

$$[K]^e = \begin{bmatrix} \frac{12EJ_y}{l^3} & 0 & \frac{6EJ_y}{l^2} & -\frac{12EJ_y}{l^3} & 0 & \frac{6EJ_y}{l^2} \\ 0 & \frac{GJ_z}{l} & 0 & 0 & -\frac{GJ_z}{l} & 0 \\ \frac{6EJ_y}{l^2} & 0 & \frac{4EJ_y}{l} & -\frac{12EJ_y}{l^3} & 0 & \frac{6EJ_y}{l^2} \\ -\frac{12EJ_y}{l^3} & 0 & \frac{6EJ_y}{l^2} & \frac{12EJ_y}{l^3} & 0 & -\frac{6EJ_y}{l^2} \\ 0 & -\frac{GJ_z}{l} & 0 & 0 & \frac{GJ_z}{l} & 0 \\ \frac{6EJ_y}{l^2} & 0 & \frac{2EJ_y}{l} & -\frac{6EJ_y}{l^2} & 0 & \frac{4EJ_y}{l} \end{bmatrix} \quad \text{对称} \quad (30-92)$$

对于沿  $y'$  向支承梁和沿  $z'$  向的弹性支柱, 也可按类似于上述方法确定其单元刚度矩阵。

工程中不同类型单元组合结构很多, 它们都可以通过读入不同类型单元交接处的单元刚度矩阵, 来解决其交接处的位移协调问题。在 SAP-5 程序中的第 10 类单元 (读入刚度矩阵单元), 就是针对组合结构上不同类型单元交接处的单元刚度矩阵  $[K_a]^e$

或  $[K]^e$  输入而设置的 (见本章 8. 2)。

## 7.5 结构中的约束不足与附加约束的处理

### 7.5.1 约束不足

在平面壳元分析中, 曾提到与结点  $i$  连接的各平面壳元在  $i$  结点共面时, 整个壳结构刚度矩阵一

定是奇异的(见本章 6.2)。这是因为各平面壳元在  $i$  结点绕法线转动的约束不足。解决这个问题,要在  $i$  结点法线方向设置一个刚度系数  $k_n = 10^8 \sim 10^{10}$  的扭簧边界单元,并把扭簧边界单元刚度矩阵  $[K_n]^e$  [见式 (30-58)] 经坐标变换后直接叠加到薄壳结构刚度矩阵中,即可消除  $i$  结点的约束不足现象。

结构强度的有限元分析中遇到其他约束不足现象,都可用施加边界单元方法处理。

### 7.5.2 附加约束

在复杂结构的有限元计算中,还可能遇到附加约束条件。图 30-44 表示一平面刚架的结点  $a$  附近的示意图,图中的三根梁元  $ab$ 、 $af$ 、 $ag$  交接处有一刚性很大的银板加固,使每个梁元末端有一段近乎绝对刚体。分析这种梁元时,应对其刚度矩阵、结点载荷和结点位移列阵作一些变换,以体现绝对刚硬的约束作用。

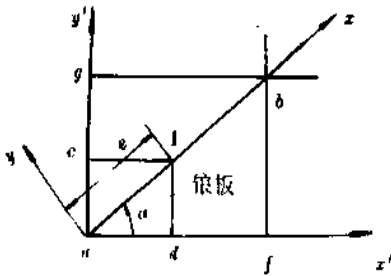


图 30-44 刚架的附加约束

图 30-44 示的梁元  $ab$  在局部坐标  $xay$  下的单元刚度方程为

$$[K]^e \{\delta\}^e = \{F\}^e \quad (30-93)$$

$ab$  梁元的基准结点位移列阵为

$$\{\delta\}^e = [\{\delta_a\}^T \{\delta_b\}^T]^T$$

$a$ 、 $b$  两结点的基准位移列阵为

$$\{\delta_a\} = [\bar{u}_a \bar{v}_a \bar{\theta}_a]^T, \{\delta_b\} = [\bar{u}_b \bar{v}_b \bar{\theta}_b]^T$$

如果认为  $1-c-a-d$  部分为绝对刚体,则在局部坐标  $xay$  下的  $1$  结点位移列阵为

$$\{\delta_1\} = [\bar{u}_1 \bar{v}_1 \bar{\theta}_1]^T$$

因此  $\{\delta_a\}$  与  $\{\delta_1\}$  之间应建立如下约束条件

$$\bar{u}_a = \bar{u}_1 - \bar{\theta}_1 e \sin \alpha$$

$$\bar{v}_a = \bar{v}_1 + \bar{\theta}_1 e \cos \alpha$$

$$\bar{\theta}_a = \bar{\theta}_1$$

$$\begin{aligned} \text{故 } \{\delta_a\} &= \begin{Bmatrix} \bar{u}_a \\ \bar{v}_a \\ \bar{\theta}_a \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -e \sin \alpha \\ 0 & 1 & e \cos \alpha \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{\theta}_1 \end{Bmatrix} \\ &= [T] \{\delta\} \end{aligned} \quad (30-94)$$

式中  $e$  ——  $ab$  线长度

$\alpha$  ——  $ab$  线与  $ad$  线间的夹角

$[T]$  —— 变换矩阵

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -e \sin \alpha \\ 0 & 1 & e \cos \alpha \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30-95)$$

考虑  $1-c-a-d$  部分的刚体对梁元  $ab$  的附加约束,则梁元  $ab$  的结点位移列阵和载荷列阵变成:

$$\begin{aligned} \{\delta\}^e &= \begin{Bmatrix} \{\delta_a\} \\ \{\delta_b\} \end{Bmatrix}^e = \begin{Bmatrix} [T] \{\delta_1\} \\ \{\delta_b\} \end{Bmatrix}^e \\ &= \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_1\} \\ \{\delta_b\} \end{Bmatrix}^e \end{aligned} \quad (30-96)$$

$$\begin{aligned} \text{同理 } \{F\}^e &= \begin{Bmatrix} \{F_a\} \\ \{F_b\} \end{Bmatrix}^e = \begin{Bmatrix} [T] \{F_1\} \\ \{F_b\} \end{Bmatrix}^e \\ &= \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{F_1\} \\ \{F_b\} \end{Bmatrix}^e \end{aligned} \quad (30-97)$$

式中  $[I]$  —— 三阶单位矩阵

$$[I] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\{F_a\} = [F_{ax} F_{ay} M_{az}]^T$$

$$\{F_b\} = [F_{bx} F_{by} M_{bz}]^T$$

$$\{F_1\} = [F_{1x} F_{1y} M_{1z}]^T$$

将式 (30-96) 和式 (30-97) 代入式 (30-93) 中,得

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [I] \end{bmatrix}^T [K]^e \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_1\} \\ \{\delta_b\} \end{Bmatrix}^e \\ = \begin{Bmatrix} \{F_1\} \\ \{F_b\} \end{Bmatrix}^e \end{aligned} \quad (30-98)$$

$$\text{或写成 } [K]_{i-b}^e \{\delta\}_{i-b} = \{F\}_{i-b} \quad (30-99)$$

$$\begin{aligned} \text{式中 } [K]_{i-b}^e &= \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [I] \end{bmatrix}^T [K]^e \begin{bmatrix} [T] & 0 \\ 0 & [I] \end{bmatrix} \\ \{\delta\}_{i-b} &= [\{\delta_1\}^T \{\delta_b\}^T]^T \\ \{F\}_{i-b} &= [\{F_1\}^T \{F_b\}^T]^T \end{aligned} \quad (30-100)$$

对于梁元  $af$  和  $ag$  也可按上述方法处理。式 (30-100) 在叠加到整体结构刚度方程之前,还要变换到整体坐标系  $x'y'$  中去,然后再叠加和求解。

如果用 SAP-5 程序计算带有某些银板加固的刚架,可用第十类单元(读入刚度矩阵单元)将变换到整体坐标系中的  $[K]_{i-b}^e$  输入到程序中。

结构强度分析中的附加约束实例很多,要结合具体情况处理。

### 7.6 结构的力学模型建立中应考虑的问题

用有限元法计算结构的强度与刚度问题,需要正确建立结构的计算力学模型,其中包括:从机器设备中合理地抽象出所要计算构件的尺寸、受力状态和约束条件,正确判断选用那种或那几种单元类型,怎样在所要计算的构件上合理划分单元等。

构件的尺寸、受力状态和约束条件要按构件实际情况确定,不要做更多的简化,特别是约束条件更应尊重构件的实际约束状态,不要回避超静定,但应避免约束不足。

选用那种单元或那几种单元对构件进行离散化,要根据构件的形状、尺寸和受力状态来决定。对于图 30-1、图 30-2a)、图 30-3 示的构件都是平面应力问题,都可选用三结点三角形或四结点四边形平面(二维)单元(见本章 8.2 第四类单元)对这些构件进行离散化。如果图 30-3 示的方板两端或四边受有均布压力载荷,则可用四边形平面应力薄膜单元(见本章 8.2 第 3 类单元)进行离散化。

对于受内压力  $p$  的圆柱或圆锥形管道(见图 30-45a)),以及长柱形坝体(见图 30-45b))都属于平面应变问题,可沿管道或坝体纵向截出单位厚度的薄片,选用二维单元进行离散化。图 30-45b) 示的坝体也可选用 8 结点六面体单元(见本章 8.2 第

五类单元)或 8~21 结点六面体单元(见本章 8.2 第八类单元)进行离散化,但计算量较平面单元大。

承受对称或非对称载荷的轴类或厚壁圆筒和锥形筒(均属于轴对称结构)构件,可以选用三角形截面环元(见本章 3.)进行离散化,但要将对非对称载荷展成傅氏级数,将各项傅氏系数(单位弧度的)施加于各环元的受载结点上(见本章 3.4)。也可以采用 8~21 结点六面体空间等参元对轴对称结构进行离散化,且将对称或非对称载荷直接施加于受载单元的受载面上。

对于壁厚较厚的机座或机架,以及各种复杂形状的实体构件,均可选用 8 结点六面体或 8~21 结点六面体空间等参元进行离散化。

受有弯矩和垂直于板面载荷的平板或曲形板,如果板厚度符合本章 6. 给出的条件,必须选用板壳元对构件进行离散化。如果平板或曲形板是正方形或矩形,或箱形或圆筒形,可选用矩形板壳元或三角形板壳元进行离散化;如果平板或曲形板形状比较复杂,可选用三角形或四边形板壳元进行离散化。应该注意,曲形板壳结构上某一结点周围各板壳元共面时,要在该结点上要施加一边界单元或扭簧(见本章 6.2),以消除结构刚度矩阵的奇异性,否则无法求解。

如果板壳结构的板厚度超出本章 6. 给出的范围(属于厚板壳结构),可选用 8 结点六面体或 8~21 结点六面体空间等参元进行离散化。

平面刚架结构和空间刚架结构可分别选用平面梁元和空间梁元进行离散化。刚架结构离散化时,可把刚架的交叉点、集中力作用点、构件横截面突变点选为结点。特别要正确判断符合平面刚架的条件,以免发生错误。

在复杂结构的离散化过程中,常遇到同一结构上需选用两种或三种单元类型离散化。此时,必须考虑两种类型单元结合处的位移协调性问题(见本章 7.4)。本章 7.1、7.2、7.3 和 7.5 所述的子结构法、结构和外载荷的对称性和重复性利用、逐步求解法、约束不足和附加约束等内容,在结构的力学模型建立和离散化过程中都应慎重考虑加以利用,使结构的有限元计算更加精赞。

在构件上合理划分单元,主要是使有限元法的数值解更加接近于构件的理论解,以满足工程上所允许的误差要求。为此,要对构件的应力集中区域(孔边、圆角、沟槽、尺寸突变区、集中力作用附近等)的单元划分比较细小和密集,而且要逐渐过渡到

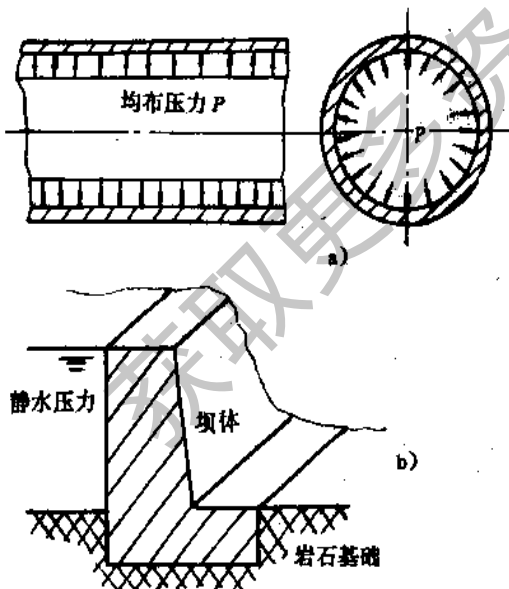


图 30-45 平面应变问题



应力变化平稳区域；应力变化平稳区域的单元可划分比较大一些（相对应力集中区域而言）。总之，构件离散化过程中，单元和结点划分的多少，除要考虑计算精度的要求外，还要考虑计算时间和计算费用问题，一般是在满足计算精度的条件下，尽量减少单元和结点的数目，以便节省计算时间和费用。

## 8 典型有限元程序分析

在工程设计中广泛应用的、大型的、综合性的有限元程序有 SAP 5、MSC/NASTRAN、ASKA、LISA、SAP-5P、LISA-P、NFAP、……等。这些程序多数用于计算线性结构的静、动态强度和温度场问题，其中 NSC/NASTRAN、ASKA 和 NFAP 程序还可用于计算非线性（材料非线性和几何非线性）问题，以及断裂和蠕变问题。机械设计中的强度计算问题，主要是线弹性结构的静、动力强度问题，因此下面重点介绍 SAP-5 程序。

### 8.1 SAP-5 程序的总体评述和使用中应注意问题

SAP-5 是线性静力和动力响应结构分析程序 (SAP5 A Structural Analysis Program For Static and Dynamic Response of Linear Systems)。它是美国加利福尼亚大学 K. J. Bathe, E. L. Wilson, F. E. Peteron 教授共同研制的。是国际上著名的结构线性静、动态分析程序，具有丰富的单元库，可解决各种复杂结构的静、动态强度计算问题，已普遍地应用于机械、航空、水利、土建……等各部门的工程结构分析中，其计算结果可得到国际认可，有利于机械产品进入国际市场。我国已先后将该程序移植于 IBM370/138，西门子 7760、7738、7730，Felix-512，Ec1040，Acos300、400、500 等计算机上，对提高我国结构分析能力和结构设计水平起着很大促进作用。

SAP-5 程序的单元库中备有 11 类单元，其中

- 第 1 类 空间桁架单元
- 第 2 类 空间梁单元
- 第 3 类 平面应力薄膜单元
- 第 4 类 二维单元
- 第 5 类 8 结点三维单元 (又称空间等参元)
- 第 6 类 板壳单元
- 第 7 类 边界单元 (又称边界元)
- 第 8 类 8~21 结点三维单元 (又称 8~21 结点空间等参元)

第 9 类 伪单元

第 10 类 读入刚度单元

第 12 类 空间直管或弯管单元

第 11 类 单元暂时空白。各类单元可在同一结构上混合应用，但当不同类型单元结合处的结点自由度发生不协调时，可删除不协调的自由度（可用约束自由度处理，即填写 1）。当分析平面桁架、平面刚架或平面管系时，应只保留平面内结点自由度而删去其余的自由度。例如  $xy$  平面内的桁架，应删去结点  $z$  向位移和三个转角自由度； $xy$  平面内的刚架或管系，应删去结点  $z$  向位移和绕  $x$ 、 $y$  轴转角自由度（仍用约束自由度处理）。对于  $xy$  平面内只受横向载荷的薄板，仅有  $z$  向位移和绕  $x$ 、 $y$  轴转角自由度，其余三个自由度仍按约束自由度处理。

SAP-5 程序具有线性静力分析和比较齐全的动力分析功能。进行结构静力分析时，要将分析类型代码 NDYN 填写 0 (即 NDYN=0)。动力分析可分为求解结构的特征方程、结构历程响应分析、响应谱分析、频率响应分析。

求解结构特征方程，即求解由结构总刚度矩阵和总质量矩阵组成的方程，而且由此方程可解得结构的特征值（固有频率）和特征向量（振型），此时，填写 NDYN=1。工程上一般只需求得结构的最低 NF 个固有频率与振型，可作为动力响应分析的振型迭加法基础，也可用于直接求得轴系的临界转速。

对于结构历程响应分析，可填写 NDYN=2 或 NDYN=4。当 NDYN=2 时，采用振型迭加法将求解特征方程所得的最低 NF 个振型作振型分析，并用 Wilson- $\theta$  法进行逐步积分求得 NF 个振型坐标的历程响应，再通过迭加求得结构的瞬态位移值和应力值。当 NDYN=4 时，不必先求解结构特征方程，直接把结构的动力平衡方程用 Wilson- $\theta$  法进行逐步积分求解，但此法输入的基础运动不能有旋转运动。两法都是用于求解结构基础发生运动（移动和转动）或结构上某些部位受随时间变化的任意强迫力时的结构随时间变化的瞬态位移值和应力值（结构各结点和各时间步长的位移值和应力值，也可按选定的步长间隔打印所需结点的位移和应力，或仅输出最大位移和应力响应），输入的外力可以是作用于任一结点自由度上（或全部自由度上）随时间变化的力和力矩函数，也可以是基础在三个方向上的加速度（或基础的转动）函数，这些输入的强迫函数可用正弦曲线表示，也可用表格表示的冲击、脉冲或任意不规则的运动状态。前者适用于分析时间较长，



分析中略去高频部分的影响；后者包括高频振型的影响（非全部），适用步长较少的短时间冲击动力响应问题。

对于响应谱分析，可填写  $NDYN=3$ 。这是针对结构基础运动极不规则或随机运动（三个方向的），而仅能估计其可能发生的最大值（如汽车在路面上行驶、地震等）时，用以求解结构在前  $NF$  阶频率下的最大位移和应力响应。先解出结构前  $NF$  阶频率，然后输入相应的谱曲线（地震谱、路面谱等），再通过谱分析而求得结构前  $NF$  阶频率所对应的最大位移和应力响应，最后按一定方式进行迭加。

对于频率响应分析，可填写  $NDYN=5$ 。这是求基础作谐运动时结构的稳态位移响应。它同样是利用求解结构特征方程所得的前  $NF$  阶振型，作振型分析，然后输入对应于每一频率的振幅和阻尼，分别求解结构在前  $NF$  阶频率下的位移响应。由于位移响应是谐振动，故可知其振幅与相角，可取一系列的  $NF$  阶频率，就能求得结构的幅频特性。

使用 SAP-5 程序时，应注意该程序所具有如下的优越使用功能：

(1) 结点和单元信息简化功能 有限元计算的大量准备工作就是结点与单元信息准备，简化这方面工作，即可节省时间又可大量减少信息出错的机率，SAP-5 程序中各单元的结点坐标和约束信息可按一维线性插值生成，结点号按等差增长（直角坐标和柱坐标均可），性质相同的单元信息可自动生成。由于该程序具有带宽优化功能，在编制结点号时，应考虑减少输入信息，可最大限度地采用自动生成，而不必考虑对总刚度矩阵的带宽影响。

(2) 结点带宽优化功能 对复杂结构进行单元划分，在编制结点号时，往往因编号不当而形成较大的带宽；采用自动生成结点号时，如果程序无带宽优化功能，也会使带宽过大。因此，SAP-5 程序中配有带宽优化处理程序段，它是采用 Cutkill—Mokee 法求得相对最小的带宽。若带宽优化失败，则仍按原结点编号进行运算；若优化成功，则打印出新旧结点编号对照表，程序按优化后的结点号进行运算，但计算结果输出时，仍按原结点打印，便于数据分析处理。

(3) 总刚度方程右端项准备的简化 SAP-5 程序采用二级载荷组合构成总刚度方程右端项的不同载荷工况。第一级是将热载荷、体力载荷、面力载荷等作为 A、B、C、D 四种载荷模式，各乘以载荷模式因子形成单元载荷模式矩阵，作为单元特性的原始数据输入；第二级是通过载荷工况因子对四种单元载荷模式进行线性组合，形成各种所需要的实际作用于结构上的载荷，再加上作用在结点上的集中

力，就形成总刚度方程右端的总载荷向量。这种载荷组合方式很是灵活方便，只要一次输入结点和单元数据，就可分析出不同载荷工况对结构强度的影响。

(4) 动力分析的再启动功能 对于大中型有限元算题，SAP-5 程序可在求解特征方程后，将求得的频率与振型连同算题的其他原始数据，以及要进行动力响应分析的参数一起复制在再启动文件上，以后只要启动再启动文件，就能多次重复进行动力响应运算而不必重复计算结构的频率与振型。

(5) 数据检查功能 在有限元算题的数据准备中，大量的数据卡片虽经多次人工检查，错误仍属难免。为使输入的数据正确无误，不浪费机时，SAP-5 程序备有数据检查功能。SAP-5 程序备有检查态（输入  $MODEX=1$ ）和计算态（输入  $MODEX=0$ ）两种。检查态主要是检查原始信息（主控制卡，结点、单元、载荷信息等）是否有误，通过打印供用户复查，也可通过图形显示进行检查。在计算态中，对每个运算阶段的内存是否够用进行校核，在单刚、总刚、求解刚度方程等运算中一旦出现错误就转入检查态或停止运算，可避免浪费大量机时。SAP-5 程序一个作业可算多个题目，但每个题目是计算态还是检查态，均由用户确定。

(6) 输出位移和应力的选择功能 SAP-5 程序考虑到用户多方面需要，对于不同单元类型备有选择不同输出位移和应力的功能；对于动力分析除有选择输出位移和应力的功能外，还有输出最大位移和最大应力响应的功能。

(7) 绘图功能 SAP-5 程序具有有效的绘图功能，可在绘图仪上绘图，也可在显示器上显示图形，可绘出结构变形前后的图形、结构振型图（原结构加最大振幅）、局部结构变形图，变形量可放大以获得较清晰的变形图。图形输出有三种形式：

- a. 用实线画出原结构图形或变形后的结构图形；
- b. 画出变形后的结构实线图形迭加在用虚线表示的原结构图形上；
- c. 可将变形作为向量从变形前的结构图形上用箭头表明位移的大小和方向。

(8) 解题规模 SAP-5 程序是一个有两万余条 FORTRAN 语言汇编的大型程序，它有一个主程序段和 186 个子程序段，可适应不同规格计算机装机使用。SAP-5 程序是可解结点总数达 9999，方程总数  $< 60000$  的大型结构强度问题。实际上，解题规模主要受计算机内存所能开辟的 A 数组（又称无名公共区，用以存放各单元模块的公共信息和立即要运算的信息）大小的限制和机器所能提供的外部设备的限制。

### 8.2 SAP-5 程序的数据文件编写方法

计算机内输入原始数据。现以输入数据卡片方式介绍 SAP-5 程序的数据文件编写方法，其数据卡片输入顺序和卡片数列入如下编组表：

用 SAP-5 程序算题时，是用数据卡片（数据行，每行 80 列为一张卡片）或计算机终端（用数据行）向

数据卡片（数据行）编组表

输入卡片顺序	卡片张数（数据行数） 或结束标记	分析类型代码 NDYN 适用范围					
		0	1	2	3	4	5
I 标题卡片	一张（一行）	↑	↑	↑	↑	↑	↑
II 主控制卡片	一张（一行）	↑	↑	↑	↑	↑	↑
III 结点数据卡片	以最大结点号的一张卡片结束	↑	↑	↑	↑	↑	↑
IIA [结点温度修正卡片]	[以一张空白卡片结束]	↑	↑	↑	↑	↑	↑
IV 单元卡片	随单元类型不同	↑	↑	↑	↑	↑	↑
第一批单元卡片 第二批单元卡片 .....	各批单元均以该批最大单元号的一张卡片结束	↑	↑	↑	↑	↑	↑
IVA [结点优化顺序卡片]	[每 16 个结点一张卡片]	↑	↑	↑	↑	↑	↑
V 集中载荷或集中质量卡片	以一张空白卡结束，至少一张空白卡片	↑	↑	↑	↑	↑	↑
VI 结构载荷工况因子卡片	每种载荷工况一张卡片，至少一张空白卡片	↑	↑	↑	↑	↑	↑
VII [转动惯量参考点卡片]	[一张]	↑	↑	↑	↑	↑	↑
VIII 振型频率卡片	一张	↑	↑	↑	↑	↑	↑
IX [绘图卡片]	[以一张空白卡片结束]	↑	↑	↑	↑	↑	↑
X 强迫响应卡片	随分析类型而不同	↑	↑	↑	↑	↑	↑
A 响应历程分析卡片					↑		
B 响应谱分析卡片						↑	
C 频率响应分析卡片							↑

- 注：1. 方括号 [ ] 表示可选内容。选择与否的控制变量参见 I 主控制卡片，IIA 控制变量参见 III 结点数据卡片的头一张；  
 2. 箭头 ↑ 表示每种分析类型的编组范围，在此范围内除 [ ] 表示可选内容外，都是必需的，在此范围外的卡片不能有；  
 3. 一次作业可计算多个算题，各算题的卡片要连续编组，最末一个算题卡片后面可以有两张标志作业结束的空白卡片。

SAP-5 程序的数据文件编写方法如下：\*

#### 8.2.1 I. 标题卡片（输入格式 18A4）

注 解	列 号	变 量 名	填 入 内 容
1	1~72	RED (18)	填写输出时打印的标题信息

注：1. 每一个新算题的数据以一张新的标题卡片开始。

\* 有些版本需要在本行数据第 81 列添“E”或在第 81、82 列添“AA”结束本行。

## 8.2.2 I. 主控制卡片 (输入格式 9I5, 5I1, 4I5, F10.0)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

注 解	列 号	变 量 名	填 入 内 容
1	1~5	NUMNP	计算模型中的结点总数
2	6~10	NELTYP	单元批数
3	11~15	LL	结构载荷工况数： $\geq 1$ ，静力分析；=0，动力分析；=1，考虑几何刚度时用。
4	16~20	NF	解特征值时所求频率数：=0，静力分析； $\geq 1$ ，动力分析（包括考虑几何刚度）。
5	21~25	NDYN	分析类型代码：=0，静力分析；=1，求解特征值和特征向量；=2，强迫动力响应（用振型迭加法）；=3，响应谱分析；=4，强迫动力响应（用逐步积分法）；=5
6			频率响应分析；考虑几何刚度时，以上数值再加10。
7	26~30	NODEX	程序执行方式：=0，问题求解；=1，仅作数据检查。
8	31~35	NAD	用子空间迭代法求解特征值和特征向量时所用的向量总数： =0，则隐含 $\text{MIN}(2 * \text{NF}, \text{NF} + 8)$ 。
9	36~40	KEQB	分块存贮时，每块的自由度（方程）数：=0，则由程序自动计算。
	41~45	NIOSV	把静力分析解出的应力记在文件10上的标记；=1，把解记在文件10上
	48	IPRT (3)	=1，把结点位移（静力）或特征向量（动力）穿卡片。
	49	IPRT (4)	=1，打印各项总体矩阵； =2，打印各项总体矩阵并穿卡片。
	50	IPRT (5)	=1，打印各项单元矩阵； =2，打印各项单元矩阵并穿卡片。
10	51~55	IWTCG	重量与重心计算的标记： =1，进行重量与重心的计算。
11	56~60	MINBND	带宽最小化的标记：=0，不进行最小化；=1，进行带宽最小化；=2，进行最小化且穿卡输出新的结点编号；=3，按输入的结点编号计算带宽；=11、12或13，除上述功能外，还输出带宽最小化各阶段的详细内容。
12	61~65	IPLT	结构绘图标记。填写规定的绘图设备的代号；填写设备号加10时除绘图功能外，还输出绘图所用的一些数据；填写负值时可进行补充（或重新）绘图
	66~70	NESC	响应谱分析的谱数（隐含1）。
	71~80	GRAV	重力常数。 =0，则隐含 $981\text{cm}/\text{sec}^2$ 。

- 注：1. 结点编号从1到全系统结点总数 NUMNP (整数)，若 NUMNP 为零，则程序撤出，但不输出判断信息。故在一次运行中用两张空白卡片结束最后一个算题的数据，其中一张空白的标题卡片和本节的一张空白卡片。
2. 每一种不同类型单元，需要定为新的一批单元。一批单元内的单元编号要从1到本批单元总数 (整数)，各批单元在后面第  $N$  节输入。一种类型的单元也可能不止一批，例如建筑结构的全部立柱 (垂直梁) 可看作一批，而水平梁可看作是另一批；
3. 静力分析至少必须有一种载荷工况。若是动力分析，则不能有载荷工况，即变量 LL 以 0 输入，在第  $V$  节中只能输入质量系统，而在第  $VI$  节中则要有一张空白的载荷工况因子卡片；
4. 对于静力分析， $NF=0$ ；若  $NDYN=1, 2, 3, \text{或} 5$  时，则由程序确定  $NF$  个最低的特征值。应该注意，在特征值求出以后，动力解可以再启动，但原来运行和再启动运行时的  $NF$  必须是相同的；
5. 若  $NDYN$  输入 2、3 或 5，程序首先解  $NF$  个特征值和特征向量，然后进行强迫响应解或响应谱分析。故在该第  $XA, XB, XC$  各节的数据以前，程序要求读控制特征值解的控制卡片 (见第  $VI$  节)。若  $NDYN$  输入 1，程序解出  $NF$  个特征值和特征向量，打印其结果，并进行下一个算题。特征值和特征向量求解结果可以存储起来，以供自动再启动之用，即动力解可以再启动而不必重复求解振型与频率。若本题是再启动作业，则置  $NDYN=-2, -3$  或  $-5$ 。注意，由于程序不破坏再启动文件的内容，故可多次再启动求解 (计算不同的载频或不同的时间强迫函数)。若  $NDYN$  输入 4，程序直接用逐步积分法求解动力响应，而不必提供求解特征值的控制卡；
6. 当给出考虑几何刚度的标记时，先做正常的静力解 (仅允许具有一种载荷工况)，然后计算载荷对刚度矩阵的影响，再求解特征值，最后可作强迫响应、响应谱或频率响应分析 (随输入的  $NDYN=1, 2, 3$  或 5 而定)。但要注意，只有梁单元和板单元 (第二类和第 6 类单元) 具有此功能。计算模型中可能还有其他类型的单元，但并不计算它们的几何刚度；
7. 在仅作数据检查 ( $MODEX=1$ ) 时，程序仅在一个文件 NT8 上记录，此文件可用来作为专用程序 (如网格绘制等) 的输入。NT8 包含全部生成状态的所有输入数据。若  $MODEX=1$ ，正常运行 ( $MODEX=0$ ) 时所需的繁重计算大部分都省略了，然而当正常的问题求解时，NT8 是不记的。
- 注意，当以“数检”方式运行时，对于  $NDYN=-2, -3, -5$ ，并不使程序读包含有特征解信息的再启动文件，而是从此卡片直接地跳到第  $XA, XB, XC$  各节，继续读与数据检查有关卡片，而不进行求解；
8. 若程序用子空间迭代法求解特征值时，可用第 31-35 列的输入值来改变迭代向量的总数，由隐含  $2 * NF$  或  $NF + 8$  两者的较小值改为 NAD。从隐含值增加到 NAD 的作用是在计算最低的  $NF$  个特征值时加速收敛。NAD 是程序调试参数，通常应该是空着的；
9. KEQB 是程序调试参数，允许用户用本来只有一块的小题目试验多块解法，通常 KEQB 是空着的；
10. 重量和重心是用质量矩阵计算的，而质量矩阵是在应用边界条件后建立的，其缺点是未包括位于约束点上的质量。克服此缺点，可用边界单元 (第 7 类单元) 形成约束，使整个结构质量都包含在质量矩阵中，但多用几个自由度；
11. 使用 Cuthill-mokey 方法进行带宽最小化，效率较高且每一次执行中都进行优化，而不必把新的结点顺序记在卡片上。全部结果用原来的结点号打印；
12. 决定结构绘图仪作用的卡片将在以后读入。本参数是用来确定绘图装置的。根据计算机系统所选择的绘图仪，要求不同的执行控制卡片。若  $IPLT=0$ ，将不进行绘图，也就不要求执行控制卡。若  $IPLT < 0$ ，则进行补充绘图，此时绘图所用的有关参数在前面紧接的一次  $IPLT > 0$  的运用中已经取得，且从主控制卡片直接跳到第  $K$  节绘图卡片。

## 8.2.3 Ⅲ. 结点数据卡片 (输入格式 A1, I4, A1, I4, 5I5, 3F10.0, I5, F10.0)

注 解	列 号	变 量 名	填 入 内 容
1	1	IT	描述结点坐标系统的符号: = (空白), 用直角坐标系 (X、Y、Z); =C, 用柱坐标系 (R、Y、 $\theta$ ), 按直角坐标生成; =D, 用柱坐标系, 按柱坐标生成。
2	2~5	N	结点号
	6	IPR	打印标记 (仅出现在第一张结点卡片上): = (空白), 正常打印; =A, 免去结点的第二次打印; =B, 免去 ID 数组的打印; =C, 兼有 A、B 二者的功能; =D, 正常打印, 并有结点温度修正卡片输入
3	7~10	ID (N, 1)	X 向平移边界条件代码,
	11~15	ID (N, 2)	Y 向平移边界条件代码,
	16~20	ID (N, 3)	Z 向平移边界条件代码,
	21~25	ID (N, 4)	绕 X 轴转动边界条件代码,
	26~30	ID (N, 5)	绕 Y 轴转动边界条件代码,
	31~35	ID (N, 6)	绕 Z 轴转动边界条件代码。 =0, 自由的 (允许有载荷), 有时用于使用生成方法的一组卡片中的一部分; =1, 固定的 (不允许有载荷); =-1, 固定的 (不允许有载荷), 用于使用边界条件代码生成方法的一组卡片中的第一张卡片; >1, 主结点号 (仅用于梁结点)。
4	36~45	X (N)	X 或 R 坐标
	46~55	Y (N)	Y 坐标
	56~65	Z (N)	Z 或 $\theta$ 坐标
5	66~70	KN	结点号增量 (从一组结点的最后一个结点的卡片上取)
6	71~80	T (N)	结点温度

注:1. 允许用柱坐标系来描述结点的总体位置。若在卡片的第1列填写C或D,则第36~65列所输入的坐标值是指总体柱坐标系R、Y、 $\theta$ ,程序用 $x=R\sin\theta$ 、 $Y=Y$ 、 $z=R\cos\theta$ 把柱坐标转化为直角坐标。用柱坐标输入只是为了用户方便,而在其他方面都不用柱坐标,如边界条件说明、输出位移分量等都是针对直角坐标系的。当使用C时,结点的生成将在直角坐标系中进行,各结点将位于起始点和终止点的连接直线上;当使用D时,各生成结点将位于半径为R的圆周上,且按 $\theta$ 向均匀分布;

2. 全部 NUMNP 个结点的数据必须全部确定。结点数据可直接按每个结点输入(写在自己单独的卡片上),或在适合一些条件下也可采用生成的方法。结点号只允许在从1到结点总数 NUMNP 范围之内,小于0或大于 NUMNP 是不许可的。为了结点号生成更加灵活,各结点数据可按任意顺序输入,但最后一个结点号必须等于 NUMNP,即结点号最大的结点数据必须放在最后输入;

3. 边界条件代码只能取下列的值(M=1,2,...6);

ID(N,M)=0,未给定的(自由的)位移或转动分量;

ID(N,M)=1,删除的(固定的)位移或转动分量;



$ID(N, M) = -1$ , 删除的(固定的)位移或转动分量, 用来生成边界条件代码=1;

$ID(N, M) = K$ , 结点号  $K (1 < K < \text{NUMNP}, \text{且 } K \neq N)$  是主结点, 结点  $N$  的第  $M$  个自由度是从属于主结点的;

$ID(N, M) = -K$ , 同上意义, 用来生成边界条件代码=K。

当连续多张结点卡片在某个方向上都是固定的时候, 可使用边界条件代码的生成。例如一个位于  $XY$  平面的平板, 全部结点都有  $ID(N, 6) = 1$ , 可只在第一张结点卡片的第 34 和 35 列上穿孔“-1”, 在最后一张结点卡片的第 35 列上穿孔“1”, 而不用在全部结点卡片的第 35 列上穿孔“1”。这样, 程序将在中间各结点卡片置  $ID(N, 6) = -1$ , 且把代码-1 理解为与+1 是同样的(即固定的)。上述边界条件生成方法, 也适用于一连串  $ID(N, M) = K$  的情况。

SAP-5 程序中共有 10 类单元, 各类单元的每个结点自由度不一定是 6, 可用边界条件代码  $ID(N, M) = 1$  删除该结点不存在的自由度。例如三维等参元, 仅在每个结点上存在  $X, Y, Z$  向三个平移自由度, 其每个结点的三个转动自由度(未定义刚度的自由度)可用  $ID(N, 4) = ID(N, 5) = ID(N, 6) = 1$  删除。下表列出不同类型单元有定义刚度的自由度类型。

单元类型	有定义刚度的自由度					
	$U$	$V$	$W$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
1. 桁架单元	×	×	×			
2. 梁单元	×	×	×	×	×	×
3. 膜单元	×	×	×			
4. 二维单元		×	×			
5. 8 结点三维单元	×	×	×			
6. 板壳单元	×	×	×	×	×	×
7. 边界单元	×	×	×	×	×	×
8. 8-21 结点三维单元	×	×	×			
9. 伪单元	×	×	×	×	×	×
10. 管单元	×	×	×	×	×	×

“主从关系”的选择允许在系统中形成刚性连接, 对这种情况,  $ID(N, M) = K$  是指结点  $N$  的第  $M$  个自由度是“从属”(依靠)于结点  $K$  的同样的第  $M$  个自由度, 结点  $K$  称为主结点, 而  $N$  是其从属结点。注意, 并不需要有一个从结点  $K$  到结点  $N$  的实际的梁, 然而有如下的限制:

- a 结点 1 不能是主结点, 即  $K \neq 1$ ;
  - b 结点  $N$  和  $K$  必须是纯梁结点, 即不能有其它类型单元在结点  $N$  或  $K$  处连接;
  - c 一个结点  $N$  仅可从属于一个主结点  $K$ , 然而多个结点能从属于同一个主结点;
  - d 若从  $N$  到  $K$  的梁是在  $x, y, z$  空间内任意方位的刚性连接, 则结点  $N$  的六个自由度必须都从属于结点  $K$ ;
4. 当  $IT$  (第一列) 等于字符  $C$  或  $D$  时, 第 36-65 列输入的值应理解为  $N$  结点号的柱坐标  $R, y, \theta$ 。  $y$  是对称轴,  $R$  是从结点到  $y$  轴的距离,  $\theta$  角顺正  $y$  方向看去, 从正  $x$  轴起顺时针方向度量的。注意, 即使结点是用柱坐标定位的, 边界条件代码也总是  $x, y, z$  坐标系的。

5. 结点卡片不必按结点号顺序输入, 但最后必须确定整数集合  $(1, 2, \dots, \text{NUMNP})$  中的全部结点。对于一组结点  $N_1, N_1 + KN_2, N_1 + 2 \times KN_2, N_1 + 3 \times KN_2, \dots, N_2$

的结点数据, 可从前后两张卡片所给的信息生成:

卡片 1:  $N_1, ID(N_1, 1), \dots, ID(N_1, 6), X(N_1), \dots, KN_1, T(N_1)$ ;

卡片 2:  $N_2, ID(N_2, 1), \dots, ID(N_2, 6), X(N_2), \dots, KN_2$ ;

$KN_2$  是在第二张卡片上给出的网格生成参数。第一个生成的结点是  $N_1 + KN_2$ , 第二个生成的结点是  $N_1 + 2 \times KN_2, \dots$  等等, 一直连续生成, 直到确定了第  $N_2 - KN_2$  号的结点为止。注意, 结点号差  $N_2 - N_1$  必须能被  $KN_2$  整除。 $N_1$  和  $N_2$  之间插入的结点位于两结点间的直线上(用柱坐标生成时是弧线上)的等间隔处。生成的数据中的边界条件代码取第一张卡片上所给出的值。结点温度是由  $T(N_1)$  到  $T(N_2)$  之间线性插值得到。 $IT = \text{空白}$  或  $C$  时, 坐标生成是在  $x, y, z$  坐标中进行的, 若  $KN_2$  是零或空白, 则不进行生成。当  $IT = D$  时, 生成是在  $R, Y, \theta$  坐标系中进行的;

6. 结点温度描述结构中真实的温度分布。按结点温度值确定的平均单元温度来选择材料特性, 以及计算模型的热应变(仅用于静力分析)。



8.2.4 ■ A. 结点温度修正卡片 (输入格式 I5, F10.0)

只有第一张结点卡片上第 6 列 IPR=D 时,才有这一张卡片输入,否则跳过本节。

每个需要修正温度的结点有一张卡片,以一张空白卡片结束。

列 号	填 入 内 容
1~5	结点号
6~15	温度值

8.2.5 IV. 单元数据卡片

8.2.5.1 第 1 类——空间桁架单元

桁架单元用数字 1 标记,可算出每一单元的轴向力和应力。均匀的温度变化和三个方向上的惯性载荷可看作是基本的单元载荷。

桁架单元用如下顺序的卡片来说明:

A. 控制卡片 (输入格式 3I5)

列 号	填 入 内 容
1~5	数字 1
6~10	桁架单元总数
11~15	材料特性卡片数

B. 材料控制卡片 (输入格式 I5, 5F10.0)

对于结构中的桁架单元,需要确定多少组由下表列出的特性,就需要有多少张卡片。

列 号	填 入 内 容
1~5	材料类别号
6~15	弹性模量
16~25	热膨胀系数
36~45	横断面面积
46~55	重量密度 (用于计算重量载荷,用一个给定的重力常数后也可用于计算质量矩阵)

C. 单元载荷模式因子四张卡片 (4F10.0)

三张卡片用以确定要加到每个单元载荷模式上的重力 (沿三个总体坐标方向的重力比例数)。

卡片 1: 在 +x 方向上重力载荷因子

列 号	填 入 内 容
1~10	单元载荷模式 A
11~20	单元载荷模式 B
21~30	单元载荷模式 C
31~40	单元载荷模式 D

卡片 2: 在 +y 方向上的重力,同卡片 1。

卡片 3: 在 +z 方向上的重力,同卡片 1。

卡片 4: 本卡片表明要加到每种单元载荷模式上的热载荷的比例数。

D. 单元数据卡片 (4I5, F10.0, I5)

从 1 开始按数目递增的顺序,每个单元一张卡片。

列 号	填 入 内 容
1~5	单元号
6~10	结点号 I
11~15	结点号 J
16~20	材料特性号
21~30	零应力时的参考温度
31~35	用于单元自动生成的参考参数 K (在一组单元的第一张卡片上)

注: 1. 如果有一组单元,每个单元号  $N_i$  比前一单元号  $N_{i-1}$  大 1 (即  $N_i = N_{i-1} + 1$ ), 而且结点号由下式给出:

$$I_i = I_{i-1} + K; J_i = J_{i-1} + K$$

则只需给定这一组单元中的第一个单元。生成的单元的材料号和温度取第一张卡片上的值。如果 K (由第一张卡片给出) 以零值输入,则由程序置为 1;

2. 用于计算热载荷的单元温度增量  $\Delta T$ :

$$\Delta T = (T_i + T_j) / 2.0 - T_r$$

式中  $(T_i + T_j) / 2.0$  是结点数据卡片上给定的结点  $i$  和  $j$  的结点温度平均值,  $T_r$  是单元卡片上给定的零应力时的参考温度。对于桁架单元来说,一般更方便的是令  $T_i = T_j = 0.0$ , 于是有  $\Delta T = -T_r$  (注意负号)。其他类型的单元载荷也可用等效的  $\Delta T$  来确定。例如一个桁架单元有一个初始装配误差量  $d$  (过长为正), 则  $\Delta T = d / (\alpha L)$ ; 如果在单元两端加上一个初始张力  $P$  (拉伸为正), 在与结构其余部分连接之后松开, 则  $\Delta T = -P / (\alpha AE)$ , 式中  $A$  为横断面面积,  $L$  为单元长度,  $\alpha$  为热膨胀系数。

8.2.5.2 第 2 类——空间梁单元

梁单元用数字 2 标记, 每个梁元都要算出局部坐标系 1、2、3 中的轴向力和剪切力, 以及弯矩和扭矩。沿总体坐标系  $x$ 、 $y$ 、 $z$  的每一坐标方向的重力载荷和给定的固端力(局部坐标下)构成基本的单元载荷。计算刚架, 需要按下列顺序输入梁单元卡片。

A. 控制卡片 (5I6)

列 号	填 入 内 容
1~5	数字 2
6~10	梁单元总数
11~15	单元断面特性卡片数
16~20	固端力组数
21~25	材料特性卡片数

B. 材料特性卡片 (I5, 4F10.0)

每种材料一张卡片, 卡片总数与材料特性数相同。

列 号	填 入 内 容
1~5	材料类别号
6~15	弹性模量
16~25	泊松比
36~45	重量密度 (用于计算重力载荷, 采用一给定的重力常数后也用于计算质量矩阵)

C. 单元断面特性卡片 (I5, 6F10.0, 2F5.0)

每一组不同断面特性要求输入一张卡片, 只有在分析中包括剪切变形时, 才需要给定剪切面积, 断面模量  $S$  是任选的, 若填入断面模量, 则将计算应力  $P/A \pm M/S$ 。

列 号	填 入 内 容
1~5	几何特性号 (断面特性号)
6~15	轴向面积
16~25	沿局部坐标 2 方向与剪切力有关的剪切面积 (见注解 4)
26~35	沿局部坐标 3 方向与剪切力有关的剪切面积
36~45	扭转惯性矩
46~55	绕局部坐标轴 2 的弯曲惯性矩
56~65	绕局部坐标轴 3 的弯曲惯性矩
66~70	绕局部坐标轴 2 的断面模量
71~75	绕局部坐标轴 3 的断面模量

D. 载荷模式因子 (4F10.0)

要计算因重力引起的结点载荷 (不计力矩), 需要用三张卡片来确定要加于每一单元载荷模式的重力 (沿每个总体坐标方向) 的比例数。

卡片 1: 沿 +x 方向的重力载荷因子

列 号	填 入 内 容
1~10	单元载荷模式 A
11~20	单元载荷模式 B
21~30	单元载荷模式 C
31~40	单元载荷模式 D

卡片 2: 沿 +y 方向的重力载荷因子, 同卡片 1。

卡片 3: 沿 +z 方向的重力载荷因子, 同卡片 1。

E. 固端力 (I5, 6F10.0/F15.0, 5F10.0)

对于在分析中出现的每一组不同的固端力, 要求输入两张卡片。分布载荷和温度载荷亦可由固端力确定。固端力是作用在具有给定载荷的梁上的固定端反力, 它与梁元等效结点载荷方向相反 (见表 30-11)。

卡片 1:

列 号	填 入 内 容
1~5	固端力组别号
6~15	结点 I 上沿局部坐标 1 方向的固端力
16~25	结点 I 上沿局部坐标 2 方向的固端力
26~35	结点 I 上沿局部坐标 3 方向的固端力
36~45	结点 I 上绕局部坐标 1 方向的固端力矩
46~55	结点 I 上绕局部坐标 2 方向的固端力矩
56~65	结点 I 上绕局部坐标 3 方向的固端力矩

卡片 2:

列 号	填 入 内 容
6~15	结点 J 上沿局部坐标 1 方向的固端力
16~25	结点 J 上沿局部坐标 2 方向的固端力
26~35	结点 J 上沿局部坐标 3 方向的固端力
36~45	结点 J 上绕局部坐标 1 方向的固端力矩
46~55	结点 J 上绕局部坐标 2 方向的固端力矩
56~65	结点 J 上绕局部坐标 3 方向的固端力矩

注: 1. 输入的值是按字面意义的固端力值。由于铰链和滚轴所作的修正, 是在程序内进行的;

2. 方向 1、2、3 表示局部坐标的主方向, 每个结点上三个固端力  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和三个固端力矩  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ , 见图 30-46。图中的  $K$  点 (与本章 4.2 中的  $P$  点相同) 是任意参考点, 它处于局部坐标系的 1~2 平面上, 但不在 1 轴上。

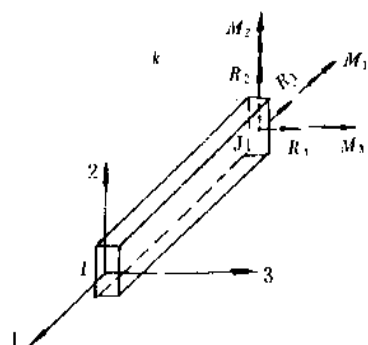


图 30-46 梁元的局部坐标系

F. 梁单元数据卡片 (10I5, 2I6, 18)

列 号	填 入 内 容
1~5	单元号
6~10	结点 I
11~15	结点 J
16~20	参考点 K (参见图 30-46)
21~25	材料特性号
26~30	单元断面特性号
31~35	A } B } 分别对应于单元载荷模式 A、 C } B、C、D 的固端力的组别号 D }
36~40	
41~45	
46~50	
51~56	结点 I 的端点松弛代码 (见下面注解 (1))
57~62	结点 J 的端点松弛代码 (见下面注解 (1))
63~70	用于自动生成单元数据的可选参数 K (在一组单元的第一张卡片上)。生成由下面注解 (2) 说明。如果不用生成, 则该处空白。

注: 1. 每个结点上的端点松弛代码有 6 个 0 或 1 的六个数字, 分别对应于该结点上的六个固端力  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 。如果该结点的固端力分量中的任何一个已知为零 (铰链或滚轴), 则对应于该分量的数字就是 1;

2. 如果有一组单元, 其中每个单元号  $NE_i$  比前一单元号  $NE_{i-1}$  大 1, 即  $NE_i = NE_{i-1} + 1$ , 则只需输入这一组单元中的第一个单元的数据卡片。例如, 单元两端点的结点号为  $NI_i = NI_1 + K$ ,  $NJ_i = NJ_1 + K$ , 此时的材料特性号、单元特性号、每一种单元载荷工况的固端力类别号、单元松弛代码、局部坐标轴 2 的方位, 对于本组中的每个单元都是相同的。若  $K$  值空白, 则取为 1。最后一个梁单元的单元数据卡片总是必须给出的;

3. 当连续的梁单元有相同的刚度、方位和单元载荷, 程序能自动跳过刚度的重复计算。在给梁单元编号时注意这一点可取得最高的计算效率;

4. 剪切面积  $As = A/k$ ,  $k$  为梁元横断面上不均匀分布的剪切应力系数, 各种横断面梁元的  $k$  值见表 30-11。

8.2.5.3 第 3 类——平面应力薄膜单元

四边形 (或三角形) 单元能够用于在任意平面内的给定厚度的平面应力薄膜单元。所有单元都具有与温度有关的正交各向异性材料特性。为了改进单元的弯曲特性, 可在单元范围内包含有不协调的位移模式。

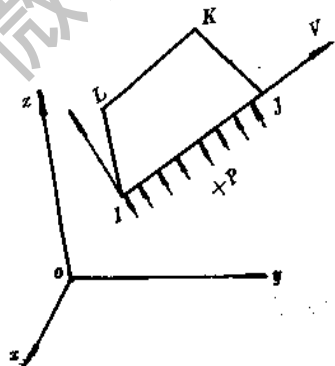


图 30-47 四边形平面应力薄膜单元

四边形平面应力薄膜单元如图 30-47 所示。该单元的局部坐标系为  $UIV$ ,  $V$  轴与单元  $IJ$  边相重合,  $U$  轴垂直于  $V$  轴, 且在  $IJ$  边与  $L$  结点所确定的平面内。如使单元刚度计算是正确的, 则结点  $K$  也必须在同一平面内。应按下列顺序卡片确定一组第 3 类单元的输入数据。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
内尊重相关知识产权！

A. 控制卡片 (6I5)

列 号	填 入 内 容
1~5	数字 3
6~10	平面应力薄膜单元总数
11~15	材料种类数
16~20	对任何一种材料最多的温度点数, 见下面 B 节
30	填一个非零数字, 可取消不协调的位移模式

B. 材料特性信息

可采用与温度有关的正交各向异性材料特性。对于每一种不同的材料, 必须提供下列一组卡片。

1. 材料特性卡片 (2I5, 3F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~5	材料号
6~10	给出材料特性的不同温度点处的温度点数, 如果此处空白, 则此数取为 1。
11~20	材料的重度 (用于计算重力载荷, 采用一个给定重力常数后, 也用于计算质量矩阵)
31~40	$\theta$ 角, 以度表示。从 $V$ 到 $n$ 轴沿逆时针方向测量 (见图 30-48)。

图 30-48 上的  $n-s$  轴是正交各向异性材料的主轴。仅当考虑重力和惯性力载荷时, 才需列出重量密度和质量密度。

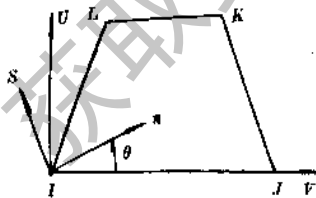


图 30-48 正交各向异性材料轴

2. 每一温度点输入两张卡片

卡片 1: (8F10.0)

列 号	填 入
1~10	温度
11~20	弹性模量 $E_n$ ( $n$ 向的)
21~30	弹性模量 $E_s$ ( $S$ 向的)
31~40	弹性模量 $E_t$ (法向的)
41~50	应变比 $\nu_{ns}$
51~60	应变比 $\nu_{nt}$
61~70	应变比 $\nu_{st}$
71~80	剪切模量 $G_{os}$

卡片 2: (3F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	热膨胀系数 $\alpha_n$
11~20	热膨胀系数 $\alpha_s$
21~30	热膨胀系数 $\alpha_t$

应力应变矩阵必须是正定的 (见注解 (6))。全部材料常数都必须是给定的。平面应力时, 程序修正了组成的关系, 以满足法向应力  $\sigma_n$  等于零的条件。

C. 载荷模式因子 (5F10.0)

用四张卡片把单元载荷工况 (模式) A、B、C、D 取为基本热载荷, 压力载荷以及重力 (或加速度) 载荷的比例数。

第一张卡片: 载荷工况 A;

第二张卡片: 载荷工况 B; ……等等。

列 号	填 入 内 容
1~10	热载荷的比例数
11~20	压力载荷的比例数
21~30	$x$ 向重力载荷的比例数
31~40	$y$ 向重力载荷的比例数
41~50	$z$ 向重力载荷的比例数

D. 单元数据卡片 (6I5, 2F10.0, 2I5, F10.0)

每一个单元提供 (或生成) 一张具有下列信息的卡片。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

列 号	填 入 内 容
1~5	单元号
6~10	结点 I
11~15	结点 J
16~20	结点 K
21~25	结点 L (三角形单元结点 L 必须等于结点 K)
26~30	材料号
31~40	单元内零应力时的参考温度
41~50	单元 I—J 边上的正压力 (见图 30-47)
51~55	应力计算 (或打印) 的选择值 $n$ (见注解 (2))
56~60	单元数据的生成参数 $K$ (在一组单元的最后—张卡片上)
61~70	单元厚度, 若此数据空白, 则取与上一张卡相同的数据

列 号	填 入 内 容
1~5	数字 4
6~10	单元总数
11~15	不同的材料数
16~20	对任一材料的最多的温度, 卡片数见后面 B 节
25	轴对称分析, 填 0; 平面应变分析, 填 1; 平面应力分析, 填 2。
30	填一个非零数字, 则取消不协调位移模式。对于三角形单元不能使用不协调位移模式。

B. 材料特性信息

可采用正交各向异性与温度有关的材料特性。对每种不同的材料, 必须提供下列一组卡片。

1. 材料特性卡片 (2I5, 3F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~5	材料号
6~10	给出材料的不同温度点数目, 如果空白, 则程序自动置 1
11~20	材料重量密度 (用以计算重力荷载, 采用一个给定的重力常数后, 也可用于计算质量矩阵)
31~40	$\theta$ 角 (度), 从 $V$ 轴到 $n$ 轴沿逆时针方向测量

$n-s$  轴是正交各向异性材料的主轴 (见图 30-49), 对第 4 类单元, 局部坐标的  $U, V$  轴与整体坐标系的  $x, y$  轴重合)。仅当考虑重力和惯性载荷时, 才需要重量密度。

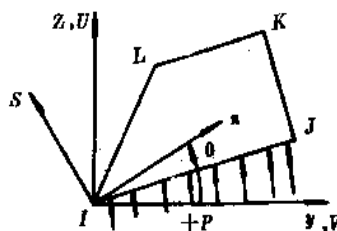


图 30-49 四边形单元

- 2. 每个温度点输入两张卡片
- 卡片 1: (8F10.0)

注: 1. 单元数据生成——单元卡片必须依单元号的顺序输入。如果卡片被省略, 将自动生成被省略单元的数据。此时, 结点号将按一组单元的第一张卡片生成如下:

$$I_n = I_{n-1} + K; J_n = J_{n-1} + K;$$

$$K_n = K_{n-1} + K; J_n = J_{n-1} + K;$$

所有其他的单元信息将取为等于最后一张卡片上的信息。数据生成参数  $K$  在最后卡片上给出;

- 2. 应力打印选择参数  $n$ ——见第 4 类单元;
- 3. 温度数据——见第 4 类单元;
- 4. 三角形单元的使用——见第 4 类单元;
- 5. 不协调位移模式的使用——见第 4 类单元;
- 6. 应力应变矩阵——见第 4 类单元。

8.2.5.4 第 4 类——二维单元

四边形 (或三角形) 单元可用于如下情况:

(I) 绕  $z$  轴对称的轴对称实体单元, 径向指定为  $y$  轴。将此单元与其他类型单元结合时必须小心。

(I) 在  $y-z$  平面内的单位厚度的平面应变单元。

(II) 在  $y-z$  平面内的给定厚度的平面应力单元。

所有单元具有与温度有关的正交各向异性材料特性。为了改进单元的弯曲特性, 在单元一级可包含有不协调的位移模式。

A. 控制卡片 (6I5)

列 号	填 入 内 容
1~10	温度
11~20	弹性模量 $E_n$
21~30	弹性模量 $E_s$
31~40	弹性模量 $E_t$
41~50	应变比 $\gamma_{ns}$
51~60	应变比 $\gamma_{nt}$
61~70	应变比 $\gamma_{ns}^*$
71~80	剪切模量 $G_{ns}$

卡片 2: (3F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	热膨胀系数 $\alpha_n$
11~20	热膨胀系数 $\alpha_s$
21~30	热膨胀系数 $\alpha_t$

应力应变矩阵必须是正定的 (见注解 6)。全部材料常数都必须给定的。平面应力时, 程序修正了组成的关系, 以满足法向应力  $\sigma_z=0$  条件。

C. 载荷模式因子 (5F10.0)

用四张卡片把单元载荷模式 A、B、C、D 取为基本热载荷、压力载荷以及重力(或加速度)载荷的比例数。

第一张卡片, 载荷模式 A;

第二张卡片, 载荷模式 B; ……等等。

列 号	填 入 内 容
1~10	热载荷的比例数
11~20	压力载荷的比例数
21~30	$x$ 向的重力载荷的比例数
31~40	$y$ 向的重力载荷的比例数
41~50	$z$ 向的重力载荷的比例数

D. 单元卡片 (6I5, 2F10.0, 2I5, F10.0)

每一单元必须提供(或生成)一张具有下列信息的卡片。

列 号	填 入 内 容
1~5	单元号
6~10	结点 I
11~15	结点 J
16~20	结点 K
21~25	结点 L (对于三角形单元, 结点 L 必须等于结点 K)
26~30	材料号
31~40	单元内零应力时的参考温度
41~50	单元 I-J 边上的正压力 (见图 30-49)
51~55	应力计算 (或打印) 的选择参数 $n$
56~60	单元数据生成参数 K (在一组单元的最后一张卡片上)
61~70	单元厚度 (对于平面应变问题, 由程序置为 1), 若此数据空白, 则取与上一张卡片相同的数据

- 注: 1. 单元数据生成, 见第 III 类单元的注 1;  
 2. 应力打印选择参数  $n$  的值可定为 1、0、8、16 或 20。给定  $n$  值, 按下表决定应力输出点 (见图 30-50)。

$n$	应力输出点
1	无应力输出点
0	输出 0 点应力 (见图 30-50)
8	输出 0、1 点应力
16	输出 0、1、2、3 点应力
20	输出 0、1、2、3、4 点应力

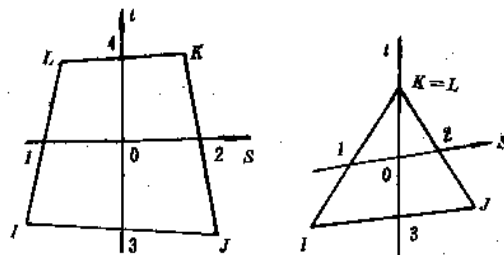


图 30-50 应力输出点位置

O 点应力按局部  $y-z$  坐标系打印。对于第 3 类单元, I-J 边确定了在单元平面内的局部坐标  $y-$



$z$  轴 (见图 30-51a); 对于第 4 类单元, 局部坐标  $y-z$  轴平行于总体坐标  $y-z$  轴 (见图 30-51b)。

对于第 3 类和第 4 类单元, 每边中点上的应力

由边的外法线 ( $n$  轴) 和边 ( $p$  轴) 所确定的  $n-p$  直角坐标系输出 (见图 30-52)。对于 1、2、3、4 各点,  $P$  轴正向分别是  $L$  到  $I$ 、 $J$  到  $K$ 、 $I$  到  $J$ 、 $K$  到  $L$ 。

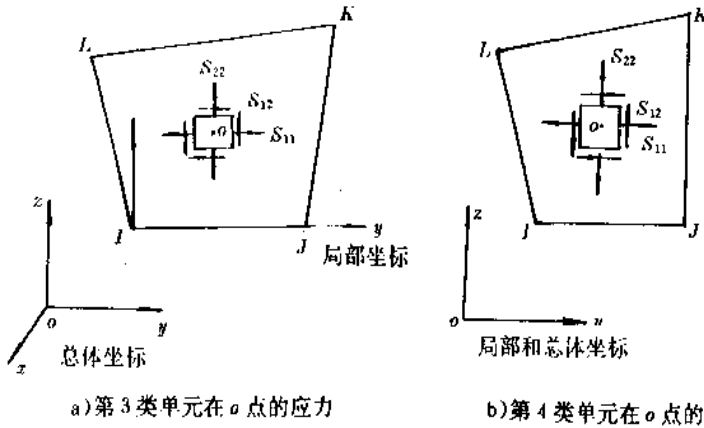


图 30-51 应力输出点位置

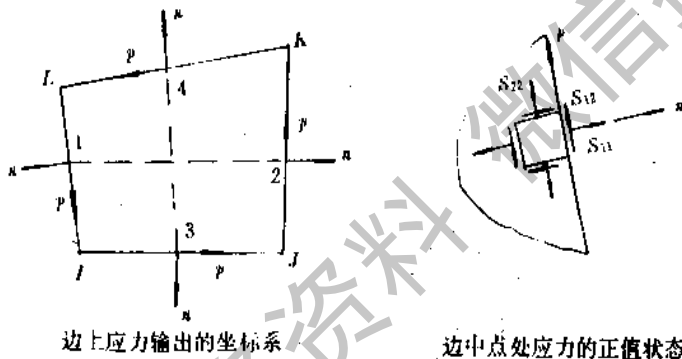


图 30-52 应力输出坐标系及正值状态

一个单元的应力在下列标题下输出:  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{33}$ ,  $S_{MAX}$ ,  $S_{MIN}$ , ANGLE。  $S_{11}$  和  $S_{22}$  是单元平面内的正应力,  $S_{12}$  是剪应力,  $S_{MAX}$  和  $S_{MIN}$  是单元平面内的主应力, 而  $S_{33}$  是作用在单元平面上的第三个主应力。ANGLE 是一个从  $L-I$  边中点 1 的局部  $y$  轴, 或从  $J-K$  边中点 2 的  $n$  轴到代数值最大的主应力轴之间的夹角 (以度表示)。

对于三角形单元, 应力打印选择参数除  $n=20$  无效外, 其余如上述。如果输入的是  $n=20$ , 则将由程序置为  $n=16$ 。

3. 温度数据: 对于第 3 和第 4 类单元在下列两种情况下用到结点数据卡片所给定结点温度。

1) 与温度有关的材料特性是按输入的材料特性在  $TO$  点内插 (或外推) 方法来近似得到,  $TO$  是  $s-t$  局部坐标系原点  $O$  的温度 (见图 30-50), 且有  $TO = \frac{1}{4.0} (T_i + T_j + T_k + T_l)$ 。假定整个单元的材料特性对于这一温度是常数。

2) 为了计算因单元内的热应变所引起的结点载荷, 温度的改变  $\Delta T(s, t)$  用双线性插值展开:

$$\Delta T(s, t) = \sum_{i=1}^4 h_i(s, t) T_i - T_r$$

式中,  $T_i$  是结点数据卡片上的所给的结点温度;  $T_r$  是无应力时的参考温度, 而  $h_i(s, t)$  是四边形单元的插值函数, 即

超星浏览器提醒您：  
使用本制品  
请尊重相关知识产权！

$$h_1 = \frac{1}{4}(1-s)(1-t); h_2 = \frac{1}{4}(1+s)(1-t)$$

$$h_3 = \frac{1}{4}(1+s)(1+t); h_4 = \frac{1}{4}(1-s)(1+t)$$

4. 三角形单元的使用：一般来说，单元未被扭曲对分析最有效，故应尽可能使用规则的和矩形单元划分网格。三结点三角形单元是常应变单元，它的计算精度不如四边形单元高。

5. 不协调位移模式的使用：不协调位移模式仅在矩形单元中使用时是有效的。应用它要小心，由于不协调位移模式用于一批中的所有单元，因此一定要把不协调单元与协调单元分为两批单元；在轴对称分析中，处于回转轴上的单元应禁止使用不协调位移模式。

6. 应力应变矩阵：由于应力应变矩阵在计算中需要求逆，因此该矩阵必须是正定的，这就要求下列行列式是正值

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{E_m} & -\frac{\gamma_{xy}}{E_s} & -\frac{\gamma_{yz}}{E_t} & 0 \\ & \frac{1}{E_s} & \frac{\gamma_{xy}}{E_t} & 0 \\ & & \frac{1}{E_t} & 0 \\ & & & \frac{1}{G} \end{vmatrix} > 0$$

对称

8.2.5.5 第 5 类 三维 8 结点单元

普通三维的、八结点、每个结点有三向平移自由度的等参数单元用数字 5 来标记。材料特性假定是各向同性的。单元载荷模式 (A、B、C、D) 取为表面压力、静水压力载荷、沿三个方向上惯性载荷和热载荷的组合。可算出单元形心和各面心上的应力值。在单元刚度矩阵形成时，假设有 9 个不协调位移模式。不用不协调位移模的八结点三维单元可使用第 8 类单元。

A. 控制卡片 (4I5)

列号	填入内容
1~5	数字 5
6~10	8 结点实体单元总数
11~15	不同材料数
16~20	单元分布载荷的组数

B. 材料特性卡片 (I5, 4F10.0)

每一种不同材料一张卡片。

列号	填入内容
1~5	材料类别号
6~15	弹性模量 (仅考虑弹性的各向同性材料)
16~25	泊松比
26~35	材料重度 (用于计算重力载荷或质量矩阵)
36~45	热膨胀系数

C. 分布表面载荷 (2I5, 2F10.2, I5)

对于每一组均匀分布的表面载荷和每一可变静水压力载荷的参考流体水平面要求一张卡片。当控制卡片上第 16~20 列填 0 或空白时，跳过本节。详见注解 4 和 5 的规定。

列号	变量	填入内容	
1~5	N	载荷组别号	
6~10	KTYPE	均匀分布载荷, KTYPE=1	可变静水压力, KTYPE=2
11~20	PR	均匀分布载荷的大小	造成静水压力的流体重度
21~30	PREF	空白	流体表面的总体坐标 y 值
31~35	NFACE	受表面载荷的单元表面号, 从 1 到 6	受表面载荷的单元表面号, 只能是 2、4 或 6

D. 单元载荷模式因子 (4F10.2)

单元载荷模式因子是为了能够灵活地改变外加载荷的比例因子。共五张卡片。

卡片 1:

列号	变量	填入内容
1~10	PLF (1)	模式 A 的压力载荷因子
11~20	PLF (2)	模式 B 的压力载荷因子
21~30	PLF (3)	模式 C 的压力载荷因子
31~40	PLF (4)	模式 D 的压力载荷因子

PLF (1) 是用来给整个一组分布载荷规定比例数的一个因子。乘以比例数的这一组载荷分配给单元载荷模式 A。注意，零也是一个有效因子。PLF

(2)、PLF (3) 和 PLF (4) 除了乘以比例数的这一组载荷分别分配给单元载荷模式 B、C 和 D 以外,与 PLF (1) 类似。对于大多数的应用,这些因子应为 1.0。

卡片 2:

列号	变量	填入内容
1~10	TLF (1)	模式 A 的热载荷因子
11~20	TLF (2)	模式 B 的热载荷因子
21~30	TLF (3)	模式 C 的热载荷因子
31~40	TLF (4)	模式 D 的热载荷因子

TLF (1) 是用来给整个一组热载荷规定比例数的一个因子。乘以比例数的这一组载荷被分配给单元载荷模式 A。TLF (2)、TLF (3)、TLF (4) 与 TLF (1) 类似,它们分别表示单元载荷模式 B、C、D。

卡片 3:

列号	变量	填入内容
1~10	XLF (1)	模式 A 的 } 模式 B 的 } +x 总体坐标方向的 模式 C 的 } 重力载荷因子 模式 D 的 }
11~20	XLF (2)	
21~30	XLF (3)	
31~40	XLF (4)	

卡片 4:

列号	变量	填入内容
1~10	YLF (1)	模式 A 的 } 模式 B 的 } +y 总体坐标方向的 模式 C 的 } 重力载荷因子 模式 D 的 }
11~20	YLF (2)	
21~30	YLF (3)	
31~40	YLF (4)	

卡片 5:

列号	变量	填入内容
1~10	ZLF (1)	模式 A 的 } 模式 B 的 } +z 总体坐标方向的 模式 C 的 } 重力载荷因子 模式 D 的 }
11~20	ZLF (2)	
21~30	ZLF (3)	
31~40	ZLF (4)	

重力载荷是由材料重度和单元几何尺寸计算出来的。XLF (1) 是一个因子,它反映了重力作用线

方位及所用的某个载荷倍数。程序计算了单元重量,用 XLF (1) 乘它,且将所得的载荷分配给单元载荷模式 A 的 +x 方向。因此 XLF (1) 是沿 +x 总体坐标轴的重力分量(从 -1.0 到 1.0)和任一所需要的载荷倍数的乘积。XLF (2)、XLF (3)、XLF (4) 与 XLF (1) 类似,它们分别表示单元载荷模式 B、C、D。YLF 和 ZLF 分别指总体坐标 y 和 z 方向的。

E. 单元数据卡片 (1215, 412, 211, F10.2)

列号	变量	填入内容
1~5		单元号
6~10	} NP	1 } 2 } 3 } 4 } 相对于 5 } 单元上结 6 } 点顺序号 7 } 8 }
11~15		
16~20		
21~25		
26~30		
31~35		
36~40		
41~45		
46~50	ININT	高斯积分的阶数
51~55	MAT	材料号, 隐含 1
56~60	INC	生成参数, 隐含 1, 在一组单元的第一张卡片上
61~62	} MLD	MLD (1) 是作用在本单元上且分配给单元载荷模式 A 的分布面力组别号; MLD (2)、MLD (3) 和 MLD (4) 分别表示单元载荷模式 B、C、D 的分布面力组别号
63~64		
65~66		
67~68		
69~70	SP	应力输出的面号
71~80	TEMP	无应力时的单元温度

注: 1. 单元生成

- 1) 单元卡片必须依递增顺序排列。
- 2) 一组单元可以只填第一张单元数据卡片, 省略的单元可按如下生成:
  - a. 在前面的单元结点号上加 INC 来生成结点号 (INC 省略时量为 1)。
  - b. 采用与前面的单元相同的材料特性。
  - c. 对相继的单元用同样的温度。
  - d. 如果在第一张卡片上高斯积分的阶数为
    - >0, 对相继的单元形成新的单元刚度;
    - =0, 不形成新的单元, 与前面的单元刚度相同;
    - <0, 对一组的第一个单元用其绝对值, 而且对相继的单元取相同的单元刚度。

e. 如果一组单元的第一卡片上分布荷载号(对任何荷载模式)为

>0, 则在本组相继的各单元上作用相同的荷载;

<0, 荷载作用于本单元但不作用于本组以下各单元上。

3) 最后一个单元必须提供单元数据卡片;

2. 高斯积分的阶数: 单元刚度的计算时间随积分阶数的立方而增加, 故应使用最小的适宜的阶数。直角的单元可取 2; 扭曲了的单元取 3; 单元形状极端扭曲, 可取 4, 但不推荐。应尽可能选择能够成直角的单元网格;

3. 单元坐标系: 单元局部坐标系是这个单元的自然坐标系 abc (参见本章 5. 的图 30-22)。在此坐标系中单元可绘成一个立方体。局部单元的结点顺序号如图 30-53 所示。

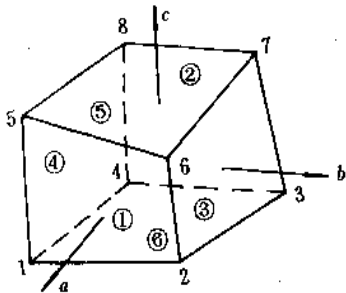


图 30-53

4. 单元表面编号如下:

- 1) 号面相当于 +a 方向
- 2) 号面相当于 -a 方向
- 3) 号面相当于 +b 方向
- 4) 号面相当于 -b 方向
- 5) 号面相当于 +c 方向
- 6) 号面相当于 -c 方向

1, 3, 5 号面是正面  
2, 4, 6 号面是负面

5. 分布面力荷载: 第一类荷载 (KTYPE=1) 是均匀分布荷载, 第二类荷载 (KTYPE=2) 是可变静水面压力 (不能是面拉力)。两类荷载都垂直于表面, 而不包括表面剪切力。不属于这两类的表面荷载必须作为集中荷载数据卡片上的结点荷载输入 (见第 7 节)。

1) KTYPE=1, 代表一个正的面力荷载作用在正面的外法线方向, 或沿着负面的内法线方向, 如图 30-54 所示。

如果均匀分布的面力荷载  $P$  作为正的输入, 那么在 2、4、6 号面上  $P$  表示为压力荷载, 而在 1、2、3 号面上  $P$  表示为拉力荷载。如果  $P$  作为负的量输入, 那么在 2、4、6 号面上表示为拉力荷载, 而在 1、3、5 号面上表示为压力荷载。

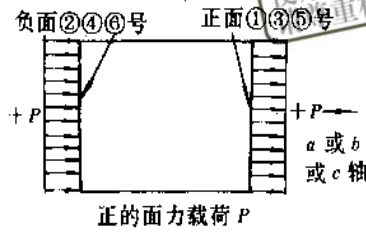


图 30-54

2) KTYPE=2, 代表一个作用在单元 2、4、6 号面上的可变静水面压力, 可用输入的参考流体表面的总体坐标  $y$  值和流体重度  $\gamma$  来表明。为了表明在整体结构上的静水压力荷载, 只需要输入一张静水压力的面压强卡片 (见第 8 类单元第 4 节)。

6. 热荷载: 假定在整个单元上有一个常量温升  $\Delta T$ , 可算出热荷载

$$\Delta T = T_{avg} - T_0$$

$T_{avg}$  是在结点数据卡片上给出的 8 个结点温度的平均值;  $T_0$  是在单元卡片上给出的无应力的单元温度。

7. 单元荷载模式: 单元荷载模式 A 包括单元的所有分布面力荷载, 热荷载和重力荷载的贡献。

$$\text{荷载模式 } A = \sum (\text{PLF}(1) \times \text{压力荷载} + \text{TLF}(1) \times \text{热荷载} + \text{XLF}(1) \times \text{重力 } x \text{ 荷载} + \text{YLF}(1) \times \text{重力 } y \text{ 荷载} + \text{ZLF}(1) \times \text{重力 } z \text{ 荷载})$$

一批三维实体单元的单元荷载模式 A, 在分析中可加到其它各类单元的单元荷载模式 A 中去。单元荷载模式 B、C、D 的处理与模式 A 类似。将单元荷载模式 A、B、C、D 的线性组合加到结点荷载卡片上所表明的结点荷载上, 以得到结构的荷载工况。

8. 单元应力的输出:

1) 在单元形心处的应力按总体坐标轴输出。还给出了三个主应力。

2) 在单元表面中心, 应力按一组局部坐标轴  $x, y, z$  给出 (见图 30-55), 每个面的局部坐标轴分别确定如下:

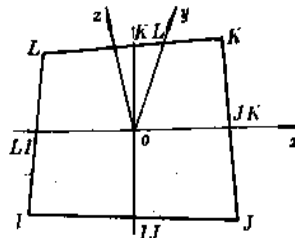


图 30-55

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
尊重相关知识产权!

设结点  $I, J, K, L$  是单元表面的四个角点, 则  $x$  轴由  $LI-JK$  两点连线来确定, 而  $LI$  和  $JK$  是  $L-I$  边和  $J-K$  边的中点。  $z$  轴垂直  $x$  轴并垂直于  $I-J$  边和  $K-L$  边的中点  $IJ$  和  $KL$  的连线。  $y$  轴垂直于  $x$  和  $z$  轴, 并组成右手坐标系。

每个面所对应的  $I, J, K, L$  结点在下表中给出。

面号	结 点			
	$I$	$J$	$K$	$L$
1	1	2	6	5
2	4	3	7	8
3	3	7	6	2
4	4	8	5	1
5	8	5	6	7
6	4	1	2	3

参见图 30-53。

输出时打印出来两个面的主应力, 以及代数最大的主应力与局部坐标轴  $x$  之间的夹角。 一个单元可任意选定一个或两个要计算应力的位置。 在输出时, 填“0号面”是指单元的形心。

8.2.5.6 第 6 类——板壳单元(四边形或三角形)

A. 控制卡片 (315)

列 号	填 入 内 容
1~5	数字 6
6~10	板壳单元总数
11~15	不同的材料数

B. 材料特性信息

可采用各向异性材料特性, 每一种不同材料, 必须提供两张卡片。

卡片 1: (110, 4F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	材料号
21~30	重量密度 (用于加速度载荷和质量矩阵)
41~50	热膨胀系数 $\alpha_x$
51~60	热膨胀系数 $\alpha_y$
61~70	热膨胀系数 $\alpha_{xy}$

卡片 2: 输入材料弹性常数

a. 各向同性材料 (2F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	$E$
11~20	$\nu$

b. 各向异性材料 (4F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	$E_x$
11~20	$\nu$
21~30	$E_y$
51~60	$G$

c. 一般材料 (6F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	弹性矩阵元素 $C_{xx}$
11~20	弹性矩阵元素 $C_{xy}$
21~30	弹性矩阵元素 $C_{xx}$
31~40	弹性矩阵元素 $C_{yy}$
41~50	弹性矩阵元素 $C_{xy}$
51~60	弹性矩阵元素 $C_{xy}$

一般材料的平面应力时的材料矩阵  $[C]$  为:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ & C_{yy} & C_{yz} \\ \text{对称} & & G_{xy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [C] \{ \epsilon \}$$

C. 单元载荷模式因子, 共五张卡片。

卡片 1: (4F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	载荷模式 A 的分布横向载荷因子
11~20	载荷模式 B 的分布横向载荷因子
21~30	载荷模式 C 的分布横向载荷因子
31~40	载荷模式 D 的分布横向载荷因子

卡片 2: (4F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	载荷模式 A 的温度因子
11~20	载荷模式 B 的温度因子
21~30	载荷模式 C 的温度因子
31~40	载荷模式 D 的温度因子



卡片 3: (4F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	载荷模式 A 的 x 方向加速度
11~20	载荷模式 B 的 x 方向加速度
21~30	载荷模式 C 的 x 方向加速度
31~40	载荷模式 D 的 x 方向加速度

注意: 要填入加速度值, 而不是像其他单元类型填入的重力载荷因子值。

卡片 4: (4F10.0)。同卡片 3, 只是 y 方向的。

卡片 5: (4F10.0)。同卡片 3, 只是 z 方向的。

D. 单元数据卡片 (8I5, 4F10.0), 每一单元一张卡片。

列 号	填 入 内 容
1~5	单元号
6~10	结点 I
11~15	结点 J
16~20	结点 K
21~25	结点 L (三角形单元时, 空白)
26~30	结点 O (见注解 (2))
31~35	材料号 (空白时, 则取为 1)
36~40	单元数据生成参数 $K_n$ (一组单元中的第一张卡片上)
41~50	单元厚度 $t$ , 空白, 则取与上一张卡片相同的厚度
51~60	分布横向载荷 (压力)
61~70	以未变形时的标准算起的平均温度变化 $T$
71~80	壳的厚度方向的平均温度梯度 $\frac{\Delta T}{\Delta Z}$ (正温度梯度产生负的曲率)

注: 1. 结点和坐标系, 结点号 I、J、K、L 是绕单元按逆时针方向的顺序排列。单元局部坐标系  $x$ 、 $y$ 、 $z$  确定如下 (类似图 30-55),

$x$  由 LI—JK 确定, 其中 LI 和 JK 是 L—I 边和 J—K 边的中点;  $x$  垂直于  $z$  并垂直于 I—J 边和 K—L 边的中点 IJ 和 KL 的连线;  $y$  垂直于  $x$  和  $z$  并组成右手坐标系。

除体力密度按总体坐标系决定外, 局部坐标系用来表示壳体所有的物理学和运动学的特性(应力、

应变、材料规律...等等)。

对于浅壳的分析, 垂直于表面的转动约束, 可在结点上附加边界单元 (见本章 6.2 及第 7 类单元);  
2. 中心结点 O, 当单元数据卡片的第 26-30 列空白时, 则中心结点 O 的特性由四个结点的平均来计算;

3. 单元数据生成, 单元卡片必须依单元号顺序输入。如果单元卡片省略, 程序会自动地生成略去的信息, 方法如下:

单元号的增量为 1, 即  $NE_{i+1} = NE_i + 1$ , 结点号的相应增量为  $K_n$ , 即

$$NI_{i+1} = NI_i + K_n$$

$$NJ_{i+1} = NJ_i + K_n$$

$$NK_{i+1} = NK_i + K_n$$

$$NL_{i+1} = NL_i + K_n \text{ (必须是 } NL_i > 0)$$

所生成单元的材料号、单元厚度要与本组单元的第一张卡片相同, 分布横向载荷、温度及温度梯度都要与本组单元的最后一张卡片相同。最后总要包含有每批最后一个单元的卡片;

4. 单元应力计算, 程序输出的是单位长度的力矩和薄膜应力。对于一个均匀平板, 在  $x$  方向上的应力由下式计算:

$$\sigma_x = S_{xx} \pm \frac{6M_{xx}}{t^2}$$

### 8.2.5.7 第 7 类——边界单元

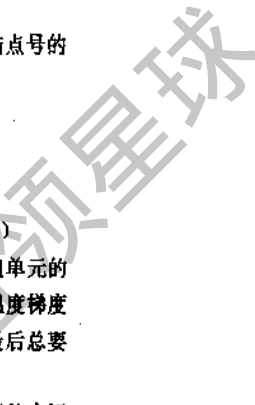
边界单元用于将结点位移约束到指定的值、计算支座反力, 以及给结点提供线弹性支座。如果某个自由度的边界条件代码在结构结点数据卡上定为 1, 则对应于此自由度的位移为零, 而且打印时得不到支座反力。如该自由度上改用一个边界单元可完成同样的作用, 而且能得出支座反力, 因为支座反力等于打印出来的边界单元的端力。另外, 边界单元可用来表示任何方向上的非零已知结点位移, 用结点数据卡是不可能表示的。

边界单元是用一个通过指定结点的定向轴及沿此轴的线性拉伸刚度或绕此轴的线性转动刚度来确定的。它实质上是一根弹簧, 可以有轴向位移刚度和绕轴转动的刚度。边界单元的数目是没有限制的, 它可用于任何结点上产生所要求的位移。边界单元对结构刚度矩阵的大小无影响。边界单元的输入数据卡片如下:

#### A. 控制卡片 (2I5)

列 号	填 入 内 容
1~5	数字 7
6~10	边界单元总数

超星浏览器提醒您: 禁止复制或侵权!





B. 单元载荷因子 (4F10.0)

列 号	填 入 内 容
1~10	载荷模式 A 的因子
11~20	载荷模式 B 的因子
21~30	载荷模式 C 的因子
31~40	载荷模式 D 的因子

C. 单元卡片 (8I5, 3F10.0)

除了用自动单元生成之处以外, 每个单元有一张卡片 (依递增的结点顺序排列)。

列 号	填 入 内 容
1~5	结点 N (边界单元所在的结点)
6~10	结点 I
11~15	结点 J
16~20	结点 K
21~25	结点 L
26~30	位移的代码
31~35	转动的代码
36~40	数据生成参数 $K_n$ (一组单元的第一张卡片上有)
41~50	沿单元轴给定的位移
51~60	绕单元轴给定的转角
61~70	拉伸或扭转弹簧的刚度 (如为空白, 则程序置为 $10^{10}$ )

注: 1. 边界单元的方向: 用两种方法之一来确定在结点 N 处的边界单元的方向。

1) 用第二个结点 I 确定的单元方向是从结点 N 到结点 I 的方向 (见本章 7.3.2 的图 30-39)。

2) 用四个结点 I、J、K 和 L 确定了单元的方向, 此方向垂直于用两条相交直线 (向量 a 和 b, 见图 30-56) 所定义的平面。

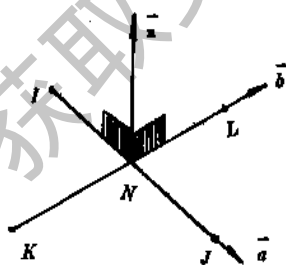


图 30-56

四个结点 I、J、K 和 L 可以是重复相同的。浅薄壳分

析的一个有效的作用, 是使用边界单元来近似约束绕表面法向的转动 (见本章 7.3)。

应该注意, 在 1) 中的结点 I 和 2) 中的结点 I、J、K 和 L 只是用来确定单元的方向, 如果方便, 可用任何结点来确定另外的单元。全部边界条件代码都定为 1。

还应注意, 结点 N 是附加边界单元的结构上的结点。在 1) 中, 正向位移使结点 N 向结点 I 移动, 相应地, 边界单元内正向力指的是单元内的压力。在 2) 中, 正向位移使结点 N 向 n 方向移动;

2. 位移和转动代码: 当位移代码=1 时, 由程序以如下方式用到 41~50 列所给定的位移  $\delta$  和 61~70 列所给定的弹簧刚度  $k$ 。若  $\delta$  是正的, 则从  $p=k\delta$  求出载荷  $P$ 。对于情况 1), 在结点 N 到结点 I 方向上载荷  $P$  作用在结点 N; 对于情况 2),  $P$  作用在 n 方向。如果  $k$  远大于结点 N 上未加边界单元时的结构刚度, 则最终的效果是在结点 N 上产生一个非常近似等于  $\delta$  的位移。如果  $\delta=0$ , 则  $P=0$ , 此时的大刚性弹簧近似一个刚性支座。应该注意, 对于非零的  $\delta$ , 载荷  $P$  将对支座反力有影响。结点 N 上作用一个载荷  $P$  可以产生所要求的 (已知) 位移 (甚至是零位移), 此时结点数据卡片上的边界条件代码必须与此一致。

当转动代码=1 时, 类似于上述的情况。由  $T=k\theta$  计算出的扭矩  $T$  是作用在结点 N 上的绕边界单元轴 (方向) 的力矩。转角  $\theta$  在 51~60 列给定;

3. 数据生成参数  $K_n$ : 当一组结点有如下情况时: 1) 都附有同样的边界单元; 1) 所有边界单元都有相同的方向; 1) 所有给定的位移或转角是相同的; 1) 结点号形成一个算术序列, 即  $N, N+K_n, N+2K_n, \dots$  等等, 则只需输入这一组边界单元的最后一个单元卡片。参数  $K_n$  在第一张单元卡片的第 36~40 列中输入;

4. 单元载荷模式因子: 与边界单元有关的 (四种可能的单元载荷模式 A、B、C、D 的每一种) 包括了在边界单元卡片上所给定的整个位移组要乘以相应的载荷模式因子。作为一个例子, 假设结点 N 的位移给定为 1.0, 弹簧刚度为  $10^{10}$ , 而没有给其它的边界单元位移。设模式 A 的因子为 0.0, 模式 B 的因子为 2.0, 则对单元载荷模式 A, 给定位移是  $0.0 \times 1.0 = 0.0$ , 而对模式 B, 则是  $2.0 \times 1.0 = 2.0$ 。对于一个特定的问题, 在结构载荷工况因子卡片 (参见第 VI 节) 上指明了所有各批单元的单元载荷模式 A、B、C、D 的线性组合。当某个结点在一种载荷工况下有支座位移, 而在另一种载荷工况下固定时, 使用边界单元处理这个问题是有用的;

5. 使用边界单元的建议: 若边界单元与总体坐标方向一致, 则仅修正刚度矩阵内相应的对角线元素, 因此不产生病态的刚度矩阵。然而, 当边界单元与几个自由度耦合时, 较大的非对角线元素会将病态引进刚度矩阵中, 全引起求解的困难。

在浅薄壳分析中, 所用的边界单元的刚度应为弯曲刚

本资源由网络爬虫采集, 仅供个人学习使用, 请勿用于商业用途。如有侵权, 请联系删除。

超星浏览器提醒您：  
请购买正版图书，保护知识产权！

度的一个小数（小于或近于它的 10%）。

在动力分析中，不应使用边界单元（参见第Ⅳ节的注解 7）。

8.2.5.8 第 8 类 8~21 可变结点三维等参元

采用最少 8 个结点最多 21 个结点来描述的三维单元，常用来表示正交各向异性的弹性介质（三维实体的厚板壳结构）。单元类型由数字 8 标记。每个结点有三个平移自由度，至少必须输入 8 个角结点来决定一个六面体，第 9 到 21 结点的输入是任选的。

单元载荷模式（A、B、C、D）是由表面压力、静水压力载荷、 $xyz$  三个方向的惯性载荷以及热载荷组合构成的。在单元内最多输出 7 个位置上的总体坐标下的六个应力分量，这些输出位置由适当的输入数据来选定。

用第Ⅲ节里输入的结点温度来形成平均的单元温度，这是单元材料特性选择的根据。如果施加热载荷，则用结点温度来确定单元内的温度场，而温度内插函数与所设的表示单元位移的内插函数是一样的。单元卡片输入顺序：

A. 控制卡片 (10I5)

注解	列号	变量	填入内容
	5		填写数字 8
	6~10	NSOL21	实体单元数 $\geq 1$
	11~15	NUMMAT	不同材料数 $\geq 1$
1	16~20	NAXTP	各材料表中所用的最多的温度点数 不同材料轴方位数据的组数
2	21~25	NORTH0	=0, 所有的特性都在 $x, y, z$ 坐标系中定义
3	25~30	NDLS	不同分布载荷（即压力）的组数
4	31~35	MAXNOD	描述任一单元的最多结点数 $\geq 8$ 且 $\leq 21$ =0 或未填，则置为 21
5	36~40	NOPSET	在不同单元位置上要求应力输出的数据组数 =0, 只输出形心的应力
6	41~45	INTRS	自然坐标 $(r, s)$ 方向的高斯积分的阶数 $\geq 2$ 且 $\leq 4$ =0 或未填，则置为 2
	46~50	INTT	自然坐标 $(t)$ 方向的高斯积分的阶数 $\geq 2$ 且 $\leq 4$ =0 或未填，则置为 2

- 注：1. 变量 MAXTP 限制了 NDMAT 种材料中任何一种能够输入的温度点数，即下面第 2 节的变量 NTP 不能超过 MAXTP 的值；
2. NORTH0 规定了在第 3 节里要输入的卡片数。如果 NORTH0 略去不填（=0），则假定全部正交各向异性材料轴与总体坐标的直角坐标轴  $x, y, z$  一致；
3. NDLS 规定了第 4 节里要输入的两张一组的卡片组数。如果有压力载荷施加到实体单元表面时，则 NDLS 必须是一个正整数；
4. MAXNOD 规定了第 7 节里输入的 NSOL21 个单元中的任何一个单元给出的最多的非零结点号的数目。单元的 21 个可能有的结点的位置画在图 30-57 中。图中的单元画在其自然坐标系  $r, s, t$  中。每个单元的 8 个角结点必须输入，而第 9 个到第 21 个结点是可选的。若 MAXNDD 是 9 或 9 以上时，每个单元的 21 个结点（第 G 节的卡片 2 及 3）都会被读到，但当按 1 到 21 的顺序读入时，所遇到的前 MAXNOD 个非零项才用来说明此单元；
5. 作为控制求解输出总量的方法，应力输出位置组在第 E 节里确定，而这些输出要求的总数由变量 NOPSET 确定。对 NOPSET=0 的情况，在第 E 节没有数据输入，而程序能自动唯一输出单元形心点的应力。否则，应力输出是根据第 E 节中给出的填写数据而定，最多可输出 7 个位置点（从 27 个可能位置点去选择—见图 30-59）处的应力；
6. INTRS 和 INTT 的内容分别控制沿  $r, s$  和  $t$  坐标方向体积分数值计算的积分点数目。当实体单元用于表示

厚壳体结构时,沿厚度方向积分(沿  $t$  轴方向)可以算得不象平面内的( $rs$  平面内)积分计算那样精确,对这种情况,INTRS 可以取 3,而 INTT 应选为 2。如果单元卡片(第 G 节中的卡片 1)上填写的积分阶数被略去,则所填写的 INTRS 和 INTT 就是标准值或说是参考值被采用。单元卡片上所给的积分阶数的非零内容优先于在本卡片上给出的标准。

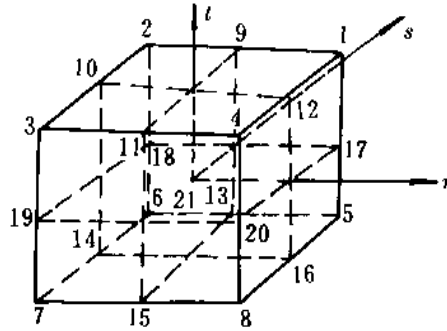


图 30-57 自然坐标系中的六面体单元

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

B. 材料特性卡片

本程序允许采用正交各向异性的、与温度有关的材料特性,对于控制卡片上所要求的每一种不同材料必须提供如下的一组数据(即共有 NUMMAT 组数据)。

a. 材料类别卡片 (215, 2F10.0, 6A6)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	M	材料号, $1 \leq M \leq \text{NUMMAT}$
	6~10	NTP	给出特性的不同温度的数目 $NTP \leq \text{MAXTP}$ $NTP=0$ 或未填,则置为 1
2	11~20 31~66	WTDEN	材料的重度,用于计算静力重力载荷和质量矩阵(采用一个给定的重力常数) 用于标明输出的材料说明

- 注: 1. 材料编号 (M) 必须按递增的顺序输入,从 1 开始到 NUMMAT 结束,不允许遗漏或重复;  
2. 重量密度用于计算由重力载荷引起的静态结点力,质量密度用于计算与动力分析有关的单元质量矩阵。

b. 材料卡片

两张一组,共 NTP 组卡片,按温度的代数值递增顺序输入。

第一张卡片 (7F10.0)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~10		温度 $T_n$
2	11~20		温度 $T_n$ 时的 $E_{11}$
	21~30		温度 $T_n$ 时的 $E_{22}$
	31~40		温度 $T_n$ 时的 $E_{33}$
	41~50		温度 $T_n$ 时的 $\gamma_{12}$
	51~60		温度 $T_n$ 时的 $\gamma_{13}$
	61~70		温度 $T_n$ 时的 $\gamma_{23}$

第二张卡片 (6F10.0)

注解	列号	变量	填入内容
	1~10		温度 $T_n$ 时的 $G_{12}$
	11~20		温度 $T_n$ 时的 $G_{13}$
	21~30		温度 $T_n$ 时的 $G_{23}$
	31~40		温度 $T_n$ 时的 $a_1$
	41~50		温度 $T_n$ 时的 $a_2$
	51~60		温度 $T_n$ 时的 $a_3$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

注：1. 温度  $T_n$  后面的 12 项内容是在  $T_n$  时已知的物理性质。当用两个或更多的温度描述一种材料时，采用以平均温度为基础的内插法来确定该单元的一组特性。因此材料表中那些温度点的范围必须超过和这种材料有关的全部单元的平均温度的范围；

2. 12 个常数 ( $E_{11}, E_{22}, \dots, a_3$ ) 是按一织坐标轴 ( $x_1, x_2, x_3$ ) 确定的，这三个轴是正交各向异性弹性材料的三个主材料方向。按  $x_1, x_2, x_3$  系统的应力应变关系可写成：

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_{11} & -\gamma_{12}/E_{22} & -\gamma_{13}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma_{21}/E_{11} & 1/E_{22} & -\gamma_{23}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma_{31}/E_{11} & -\gamma_{32}/E_{22} & 1/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{31} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \tau_{12} \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \Delta T a_1 \\ \Delta T a_2 \\ \Delta T a_3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

式中， $\epsilon_{ii}$  和  $\sigma_{ii}$  是在  $x_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) 方向上的正应变和正应力； $\gamma_{ij}$  和  $\tau_{ij}$  ( $j=1, 2, 3$ ) 是主材料平面上的剪切应变和剪切应力； $a_i$  是热膨胀系数； $\Delta T$  是相对于在整个单元体积上无应力状态时的温度增量。

C. 材料轴的方位组 (4I5)

如果在控制卡片上 NORTH0=0，则跳过本节，此时全部材料轴 ( $x_1, x_2, x_3$ ) 应假设与总体直角坐标系  $x, y, z$  一致。否则必须输入 NORTH0 张如下卡片：

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	N	类别号， $1 \leq N \leq \text{NORTH0}$
2	6~10	NI	$i$ 点的结点号
	11~15	NJ	$j$ 点的结点号
	16~20	NK	$k$ 点的结点号

注：1. 类别号 (N) 必须以递增的顺序输入，从 1 开始到 NORTH0 结束；

2. 正交各向异性材料轴的方位是用三个结点号 NI、NJ、NK 来确定的。对于正交各向异性材料轴与总体坐标  $x, y, z$  方向一致的特殊情况，不需要输入本节的数据（见第 G 节的注解 4）。如令  $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_3$  是定义材料正交各向异性轴的三个正交矢量，则三个轴的方向（见图 30-58）为：

$$\vec{f}_1 = \vec{ij}, \vec{f}_2 = \vec{ij} \times \vec{iK}, \vec{f}_3 = \vec{f}_2 \times \vec{f}_1$$

结点号 NI、NJ、NK 只是分别用于给  $i, j, k$  三个点定位，可以使用任何方便的结点。

D. 分布的表面载荷数据

本节将按载荷组别号 (N) 递增的顺序输入两张一组的 NDLS 组卡片。这些数据表示作用在单元表面的面力载荷，它们可以直接根据表面上的角结点的压力来确定，也可以间接地用静水压场来确定。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

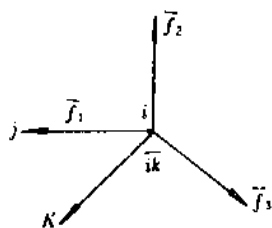


图 30-58

a. 控制卡片 (3I5)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	N	载荷的组别号, $1 \leq N \leq NDLS$
2	6~10	NFACE	分布载荷所作用的单元表面号 $1 \leq N \leq NDLS$
3	11~15	LT	载荷类型代号: LT=1 表示垂直压强; LT=2 可变的静水压力场; LT=0 或未填, 则置 1

注: 1. 本节构成的各组表面载荷数据, 给予第 G 节中的各单元;

2. 六面体有六个四边形的面, 而每一个面则由该面各角上的四个结点号唯一地表示。下表给出单元表面号的规范 (参见图 30-57);

实体单元表面的角结点号表

表面号	自然座标	角 结 点 号			
		$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$
1	$(+1, s, t)$	1	4	8	5
2	$(-1, s, t)$	2	3	7	6
3	$(r, +1, t)$	1	5	6	2
4	$(r, -1, t)$	4	8	7	3
5	$(r, s, +1)$	1	2	3	4
6	$(r, s, -1)$	5	6	7	8

3. 可以把两种类型的表面压力载荷施加到单元表面上。如果 LT=0 (或 1), 则垂直压力分布可直接用该表面各角结点的压强来表示。如果 LT=2, 则此面就作用在流体压头所产生的静水压力之下。

b. 垂直压力数据 (4F10.0), 仅当 LT=1 时才有此卡片。

注解	列号	变量	填入内容
1	1~10	$p_1$	在表面结点 $N_1$ 上的压强
	11~20	$p_2$	在表面结点 $N_2$ 上的压强, =0 或未填, 则置为 $p_1$
	21~30	$p_3$	在表面结点 $N_3$ 上的压强, =0 或未填, 则置为 $p_1$
	31~40	$p_4$	在表面结点 $N_4$ 上的压强, =0 或未填, 则置为 $p_1$

注: 1. 如果  $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$  中的任何一项被略去, 则这些数据被重新赋值  $p_1$ , 即当均匀压强 ( $p$ ) 时, 应有  $p_1=p$ , 而第 11~40 列为空白。如果  $p_2=0$  (或  $p_3$  或  $p_4$  为零), 则需要给一个很小的数。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

c、静水压力数据 (7F10.0)，仅当  $LT=2$  时才有此卡片。

注解	列号	变量	填入内容
1	1~10	GAMMA	流体的重度 $\gamma$ , $>0$
2	11~20	XS	流体自由表面 S 点的 x 坐标
	21~30	YS	流体自由表面 S 点的 y 坐标
	31~40	ZS	流体自由表面 S 点的 z 坐标
	41~50	XN	流体表面法线上的 N 点的 x 坐标
	51~60	YN	流体表面法线上的 N 点的 y 坐标
	61~70	ZN	流体表面法线上的 N 点的 z 坐标

注：1. GAMMA 是与单元的第 NFACE 号表面接触的流体的重度（单位流体体积的力）；  
2. S 点是流体自由表面上的任意点，而 N 点的位置使得从 S 到 N 的方向垂直于自由表面，且其正方向是深度增加的方向。与单元表面接触的静水压力引起单元压缩，即压力的合力指向单元形心。如果一个单元表面没有（或只是局部的）沉没在流体中，则位于流体表面以上的那些结点就自动地赋予零值压强。

E. 要求输出应力的位置 (7I5)

如果控制卡片上 NOPSET 等于零，则跳过本节，而只在单元形心上计算和输出总体坐标下的应力。否则，必须输入 NOPSET 张如下的卡片：

注解	列号	变量	填入内容
1	1~6	LOC1	第 1 输出点的位置号
	6~10	LOC2	第 2 输出点的位置号
	11~16	LOC3	第 3 输出点的位置号
	16~20	LOC4	第 4 输出点的位置号
	21~25	LOC5	第 5 输出点的位置号
	26~30	LOC6	第 6 输出点的位置号
	31~35	LOC7	第 7 输出点的位置号， $\leq 27$

注：1. 一个单元的 27 个位置上的编号，见图 30-59。位置 1 到 21 分别与结点号 1 到 21 相符合，位置 22 到 27 是单元各表面的形心。在位置卡片上所填的第一个零（或空白），停止读入输出点位置号，因此，在一个输出组里可以要求少于 7 个位置。位置号必须以递增的顺序输入，即 LOC2 比 LOC1 大，LOC3 比 LOC2 大...等等。在动力分析时，1 号面、2 号面、...6 号面分别与输出位置 22、23、...27 对应（见本章 8.2 的第 x 节附表）。

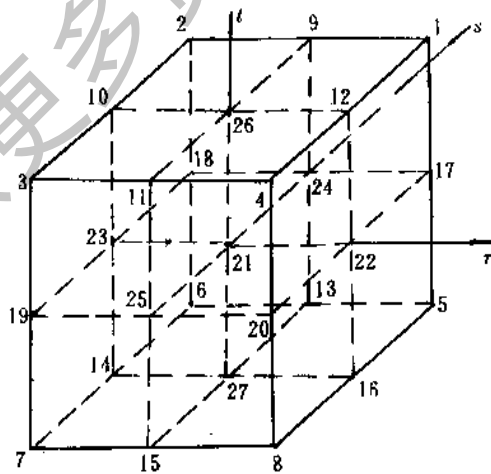


图 30-59 单元应力输出位置号



## F. 单元载荷模式因子

本节中必须输入五张卡片来确定重力 ( $x$ 、 $y$ 、 $z$  向) 的、热载荷的和压力载荷的比例数, 以便添加到每种单元载荷模式 (A、B、C、D) 中去。载荷模式因子数据只影响静力分析计算。

卡片 1  $x$  方向的重力 (4F10.0)

注解	列号	填入内容
1	1~10	加在单元载荷模式 A 中的 $x$ 方向的重力比例数
	11~20	加在单元载荷模式 B 中的 $x$ 方向的重力比例数
	21~30	加在单元载荷模式 C 中的 $x$ 方向的重力比例数
	31~40	加在单元载荷模式 D 中的 $x$ 方向的重力比例数

卡片 2  $y$  方向的重力 (4F10.0), 类似卡片 1。

卡片 3  $z$  方向的重力 (4F10.0), 类似卡片 1。

卡片 4 热载荷 (4F10.0)

注解	列号	填入内容
2	1~10	加在单元载荷模式 A 中的热载荷比例数
	11~20	加在单元载荷模式 B 中的热载荷比例数
	21~30	加在单元载荷模式 C 中的热载荷比例数
	31~40	加在单元载荷模式 D 中的热载荷比例数

卡片 5 压力载荷 (4F10.0)

注解	列号	填入内容
3	1~10	加在单元载荷模式 A 中压力载荷比例数
	11~20	加在单元载荷模式 B 中压力载荷比例数
	21~30	加在单元载荷模式 C 中压力载荷比例数
	31~40	加在单元载荷模式 D 中压力载荷比例数

注: 1. 在结构上由于静体力引起的重力载荷可根据单元材料的重度和单元的几何形状来计算。这些载荷按卡片 1、2、3 (分别对  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的力) 中所填内容分配到各个单元载荷模式中;

2. 已知第 I 节中输入的结点温度和结点坐标, 第 G 节中输入的无应力状态的参考温度和单元的材料特性以后, 可以计算出热载荷。用以描述单元内的温度分布的内插函数与描述单元内位移变化的方法相同;

3. 压力载荷按卡片 5 上所填内容 (比例因子) 分配到各单元载荷模式 (A、B、C、D) 中去, 然后按第 G 节给出的载荷组别号把第 D 节输入的各组分布载荷按各个模式 (A、B、C、D) 分别加到各单元上去。

## G. 单元数据卡片

每输入一个单元要准备好两张卡片 (如果 MAXNOD 等于 8) 或三张卡片 (如果 MAXNOD 大于 8)。这些卡片的格式如下:

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

卡片 1, (6I5, F10.0, 4I5, 4I2)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	M	单元号, $1 \leq M \leq NSOL21$
2	6~10	NDIS	用于描述单元位移场的结点数, =0 或未填, 则置为 MAXNOD
3	11~15	NXYZ	用于描述单元几何形状的结点数, =0 或未填, 则置为 NDIS =NDIS, 相当于等参数单元 <NDIS, 相当于次参数单元
	16~20	NMAT	材料类别号 $\geq 1$ 且 $\leq NUMMAT$
4	21~25	MAXES	材料轴的方位组别号 $\geq 1$ 且 $\leq NORTH0$ =0 或材料轴未填, 则作为总体坐标轴 xyz 系统
5	26~30	IOP	应力输出位置组别号 =0, 只输出形心处应力
	31~40	TZ	无应力状态的参考温度 T
6	41~45	KG	单元数据生成的结点号增量 (一组单元的第一张卡片) =0 或未填, 则置为 1
	46~50	NRSINT	自然坐标 (r, s) 方向积分的阶数 =0 或未填, 则置为 INTRS
	51~55	NTINT	自然坐标 (t) 方向积分的阶数 =0 或未填, 则置为 INTT
7	56~60	IREUSE	表示该单元的刚度矩阵和质量矩阵与前一单元一样的标记 =0, 不一样, =1, 一样
8	61~62	LSA	单元荷载模式 A 的压力组别号
	63~64	LSB	单元荷载模式 B 的压力组别号
	65~66	LSC	单元荷载模式 C 的压力组别号
	67~68	LSD	单元荷载模式 D 的压力组别号, $\leq NDLS$

卡片2 (16I5)

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

注解	列号	变量	填入内容
9	1~5		结点1的编号
	6~10		结点2的编号
	11~15		结点3的编号
	16~20		结点4的编号
	21~25		结点5的编号
	26~30		结点6的编号
	31~35		结点7的编号
	36~40		结点8的编号
10	41~45		结点9的编号
	46~50		结点10的编号
	51~55		结点11的编号
	56~60		结点12的编号
	61~65		结点13的编号
	66~70		结点14的编号
	71~75		结点15的编号
	76~80		结点16的编号

卡片3 (5I5), 当 MAXNOD&gt;8时需要本卡片

注解	列号	变量	填入内容
	1~5		结点17的编号
	6~10		结点18的编号
	11~15		结点19的编号
	16~20		结点20的编号
	21~25		结点21的编号

- 注：1. 单元卡片必须按单元号递增顺序输入，从1开始到 NSOL21 结束。不允许单元编号重复，但单元卡片可以省略，而省略的单元数据可根据注解7叙述的方法来生成；
2. NDIS 是卡片2和3上实有的单元结点编号的总数，这两张卡片必须直接随卡片1。NDIS 至少是8，但必须小于或等于第A节控制卡片给出的极限值 MAXNOD。在这 NDIS 个非零结点上要算出单元位移，故单元刚度矩阵的阶数是 NDIS 的三倍。六面体的8个角结点必须输入，而结点9到21是任选的，这些任选结点中的任何一个或全部可以根据所要描述的单元位移场而定；
3. 当单元的棱边为直线时，在坐标导数和雅克比矩阵等数值计算（见本章5.1）中包含边中结点是不必要的，又因为通常单元形状是有规则的，故在几何形状计算中可以采用较少的结点，比描述单元位移所用的结点数要少。在卡片2和3上的前 NXYZ 个非零结点是用来计算属于单元几何形状的那些参数。NXYZ 至少是8，如果省略了则置为 NDIS。一种常用的20个结点的直边单元（NDIS=20），在这种情况下 NXYZ 应填为8；
4. MAXES（如果不省略的话）指的是第C节里确定的一组材料轴。如果省略的话，则材料 NMAT 的方位是使  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  轴（见第B节的注解2）分别和  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴重合；
5. IOP（如果不省略的话）指的是第E节里给出的一组输出的位置。如果 IOP=0，则只输出单元形心处对于总体坐标  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴的三个正应力和三个剪应力；
6. 一组单元可只填第一个单元的卡片，其他略去的单元卡片可自动生成单元数据如下：
- (a) 对于生成的那些单元，卡片1上的全部数据取为这一组单元的第一张卡片上所给出的那些数据；
- (b) 在单元生成过程中，非零结点号（第一个单元在卡片2和3上给出的）按 KG 值（在第一个单元卡片1上

- 给出的)来增加。结点号填零(或空白)时,则生成为零。最末的单元不能生成,应输入,
7. 只要本单元与前面的单元是一样的,则标记 IREUSE 允许程序绕过单元刚度矩阵和质量矩阵的计算,即本单元与前面单元完全一样,只是把前面单元的刚度阵与质量阵平移过来。如果 IREUSE=0,则应对本单元计算新的矩阵。如果 IREUSE=1,则还要假定单元的结点温度与前一单元相同(用以计算热载荷);
  8. 利用 61~62 列中模式 A 的载荷组别号,63~64 列中模式 B 的载荷组别号等等,把压力载荷分配给单元。填写零,意味着对该单元载荷模式没有压力作用在单元上;
  9. 前 8 个结点号确定了一般六面体的角点或顶点,而且必须全部非零(见图 30-57),结点号必须按图 30-57 指出的顺序输入,否则体积分和面积积分将是不定的;
  10. 每个单元数据输入时,需要的卡片数取决于变量 MAXNOD。对于 MAXNOD=8 的情况,只需要输入卡片 2。如果 MAXNOD>8 时,则全部单元都需要输入卡片 2 和 3。

结点 9 到 21 是任选的,而实际上仅输入用于描述单元的那些结点。如果 MAXNOD>9,则程序将读到全部 21 项内容,但只希望在卡片 2 和 3 上读 NDIS 个非零值。例如,如果一个单元由 10 个结点描述,而卡片 2 的 1~40 列应是 8 个角点结点号,而多余的两个结点号应安排在卡片 2 和 3 的某个地方(视这两个结点在单元上的位置而定)。

8.2.5.9 第 9 类——伪单元

伪单元是一种人为的两结点单元(参见本章 7.2c)。它不对应于实际的结构物,而只是用来规定

两个结点的 12 个自由度位移(每个结点三个平移三个转动)之间的某种线性约束。伪单元的单元刚度矩阵按单元局部坐标输入。允许不同单元使用同一模式的刚度矩阵。每批伪单元应输入如下一组卡片。

A. 控制卡片一张 (3I5)

列号	填入内容
1~5	数字 9
6~10	本批伪单元数
11~15	刚度模式数

B. 刚度模式卡片 (I5, 3 (2I3, E19.13))

列号	变量	填入内容	
1~5	N	刚度模式号	
6~8	$I_1$	行号, $1 \leq I_1 \leq 12$ 列号, $1 \leq J_1 \leq 12$ } 若 $I_1=0$ , 则略去 $S_1$	
9~11	$J_1$		
12~30	$S_1$		刚度元素值
31~33	$I_2$	行号 } 若 $I_2=0$ , 则略去 $S_2$	
34~36	$J_2$		列号
37~55	$S_2$		刚度元素值
56~58	$I_3$	行号 } 若 $I_3=0$ , 则略去 $S_3$	
59~61	$J_3$		列号
62~80	$S_3$		刚度元素值

- 注: 1. 本卡片输入各个刚度模式的单元刚度矩阵的上三角非零元素。每张卡片输入同一模式的三个元素;
2. N 为模式号, 必须 >1, 且 < 控制卡片上的刚度模式数。每个模式可有多张卡片, 但每张卡片必须属于同一模式。各个模式的卡片可以混合输入;
3.  $I_1, I_2, I_3$  为单元刚度矩阵的行号,  $J_1, J_2, J_3$  为相应的列号。行号必须在 1 至 12 范围内, 列号不得小于相应的行号, 行号、列号不符合上述规定的, 该刚度元素作废, 继续读下一个元素或下一张卡片。一张卡片上可以少于三个元素;
4.  $S_1$  是第  $I_1$  行、 $J_1$  列的刚度元素,  $S_2, S_3$  仿此。行号等于列号时是对角线元素, 对角线元素  $\leq 10^{-30}$  时程序将给出错误信息(参见本章 8.3);
5. 本组卡片以一张空白卡片结束。

超星浏览器提醒您：  
 本复制品  
 请尊重相关知识产权！

C. 单元数据卡片 (6I5)

单元数据卡片按单元号顺序排列, 必须从 1 开始到最大号单元结束, 如有省略可以生成。

列号	变量	填入内容
1~5	INEL	单元号
6~10	INI	结点号 I
11~15	INJ	结点号 J
16~20	INK	定位结点号 K
21~25	ITYP	刚度模式号
26~30	INC	自动生成增量 (隐含 1)

注: 1. 结点号 I, J 和定位结点号 K 决定了单元局部坐标系。设  $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_3$  是局部坐标 1, 2, 3 轴的定位向量, 则有

$$\vec{f}_1 = \vec{IJ}, \vec{f}_3 = \vec{IJ} \times \vec{IK}, \vec{f}_2 = \vec{f}_3 \times \vec{f}_1$$

I, J 两结点的距离必须大于  $10^{-30}$ , K 点不能位于 IJ 轴上。K 点可以是结点中的任何结点, 也可以是人为结点;

2. 刚度模式号必须在控制卡片中给出的刚度模式数范围之内;

3. 如果一系列单元的单元号连续、模式相同、定位结点相同、结点号 I 和 J 各成等差数列且其号差都是 INC 时, 可以只填写一系列中的首末两张单元数据卡片。生成增量 INC 填入首张卡片。所省略的单元信息自动生成如下:

(a) 单元号递增 1; (b) 结点号 I 和 J 各递增 INC; (c) 定位结点号取前卡上的值; (d) 刚度模式号取后卡上值。

附注: 对于第 1, 3, 4, 5, 8, 12 类单元, 如果用到热载荷或特性随温度改变的材料, 其单元卡应放在伪单元卡之前。

8.2.5.10 第 10 类——读入刚度矩阵的单元

可以把一个最多与 48 个任意自由度相联系的刚度矩阵直接迭加到结构刚度矩阵上去。读入的矩阵必须是对称的、平衡的, 而且是对总体坐标系形成的。这种单元不作载荷或应力计算。质量数据必须按第 V 节的规定处理。

对每个读入单元重复下面的各组卡片。

B. 单元卡片 (2I5)

列号	填入内容
1~5	结点数
6~10	刚度矩阵的行数 (列数), $\leq 48$

A. 控制卡片 (2I5)

列号	填入内容
1~5	数字 10
6~10	读入矩阵的单元总数

C. 坐标卡片 (7I5)

每个结点输入一张卡片, 把刚度矩阵的行号分配给各结点 (各张卡片)、各自由度坐标 (各不同的列)。卡片顺序可以任意。

卡片号	列号	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35
	位移		$s_x$	$s_y$	$s_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
卡片 1	结点号	行号						
卡片 2	↓	↓						
卡片 3	↓	↓						
⋮	⋮	⋮						
⋮	⋮	⋮						
结点数	结点号							

例如, 结点 13 和 14 仅在  $x-y$  平面中联结, 需要一个  $6 \times 6$  的矩阵, 则有

卡片 1	13	1	2				
卡片 2	14	4	5				6

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

D. 刚度卡片 (6E13.6)

假定刚度矩阵是对称的, 因此只输入上 (或下) 三角阵。

每一行 (或列) 开始把对角线元素放在一张新卡片的第一个字域中。

8.2.5.11 第 12 类 空间直管或弯管单元  
略去, 使用时可参见 SAP-5 程序使用说明

MINBND=3 时, 才有这一组卡片。在这组卡片中, 按原有的结点号顺序输入新的结点号, 每 16 个结点安排一张卡片, 直到全部 NUMNP 个结点号全部输入完毕为止。新的结点号卡片可在一次 MINBND=2 的运行中穿卡输出 (视计算机有无此设备而定), 也可以自行准备。

8.2.6 IV A. 结点优化顺序卡片 (16I5)

只有当主控制卡片上第 56~60 列的变量

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	NN (1)	1 号结点的新编号
	6~10	NN (2)	2 号结点的新编号
	·	·	·
	·	·	·
	·	·	·
	·	·	·
	75~80	NN (16)	16 号结点的新编号

注: 1. 按原结点号顺序排列它们的新结点号, 每张卡片可排 16 个结点, 其后继卡片排列顺接的其他结点, 直至排列完全部 NUMNP 个结点为止。故卡片张数为

$$(\text{NUMNP})/16 + 1$$

注意: 这里为整型量运算, 除法为只舍不入。

8.2.7 V. 集中载荷或集中质量卡片 (2I5, 6F10.4)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	N	结点号
2	6~10	L	结构载荷工况号 $\geq 1$ , 静力分析 $= 0$ , 动力分析
3	11~20	R (1)	$x$ 方向的力 (或平移质量)
4	21~30	R (2)	$y$ 方向的力 (或平移质量)
	31~40	R (3)	$z$ 方向的力 (或平移质量)
	41~50	R (4)	绕 $x$ 轴的力矩 (或转动惯量)
	51~60	R (5)	绕 $y$ 轴的力矩 (或转动惯量)
	61~70	R (6)	绕 $z$ 轴的力矩 (或转动惯量)

注: 1. 静力分析 (NDYN=0): 每个承受集中力或集中力矩的结点 N, 在每种结构载荷工况下均有一张卡片。

动力分析 (NDYN=1~5): 每个附有集中质量或集中转动惯量的结点 N 要有一张卡片。

考虑几何刚度的动力分析 (NDYN=11~15): 每个承受集中力或集中力矩的结点有一张卡片, 每个附有集中质量或集中转动惯量的结点也有一张卡片。



超星浏览器提醒您：  
 禁止复制或  
 请尊重知识产权！

卡片输入的顺序与结点号的大小无关；

最后一定以一张空白卡片结束本节的输入。当没有集中力（或力矩）或没有集中质量（或转动惯量）时，若考虑几何刚度，则二者都没有时，也要单独输入一张空白卡片；

2. 静力分析时，结构载荷工况号要在主控卡片上的载荷工况数 LL 的范围内。动力分析时，工况号为 0 或空白。考虑几何刚度时，输入集中力的卡片上工况号填 1，输入集中质量的卡片上工况号为 0 或空白；
3. 输入的集中力和集中力矩是按总体坐标方向的分量。这些分量值直接送加到总体载荷矩阵中而不受单元载荷模式因子和结构载荷工况因子的影响，它是全部作用到结构上；

输入的集中质量可用相应的重量代替，此时要加上负号，程序将取为正值并除以 GRAV（重力常数，见主控制卡）使之还原成质量。一般情况下，集中质量对  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向有相同的影响，即应有  $R(1) = R(2) = R(3)$ ，此时可只填  $x$  方向的集中质量（或负的重量）， $R(2)$  和  $R(3)$  空白，程序将赋予与  $R(1)$  相同的值；

4. 在轴对称分析中， $y$  和  $z$  方向的力的量纲为力/弧度。例如，输入 1000kg 的总轴向力，要按  $1000/2\pi = 159.155\text{kg/rad}$  输入。

8.2.8 VI. 结构载荷工况因子卡片 (4F10.0)

注解	列号	变量	填入内容
1 2	1~10	EM (1)	单元载荷模式 A 的因子
	11~20	EM (2)	单元载荷模式 B 的因子
	21~30	EM (3)	单元载荷模式 C 的因子
	31~40	EM (4)	单元载荷模式 D 的因子

注：1. 对于主控制卡片要求的每种静力 (NDYN=0) 结构载荷工况，必须给出一张卡片。卡片必须按载荷工况号递增的顺序排列。如果四种单元载荷模式 (A、B、C、D) 在处理单元数据时建立了 (见第 N 节)，则必须与第 v 节中对各结构载荷工况给定的集中载荷送加起来。例如，假想一种分析情况，要求七种静力结构状态 (即 LL=7)，那么，程序要求在本节读入 7 张卡片。假设本节中第三张卡片包括的输入值是 (EM (1), EM (2), EM (3), EM (4)) = [-3. 0, 0. 0, 2. 0, 0. 0]，那么结构载荷工况 3 是用第 v 节给定的那些集中载荷的 100%，减去单元载荷模式 A 中载荷的 300%，加上单元载荷模式 C 中载荷的 200% 构成。单元载荷模式 B 和 D 是不加在结构载荷工况 3 中的。单元载荷模式可以引用任一倍数，以便构成不同的结构载荷工况。由单元得出的载荷 (重力、热载荷等) 只能借助本节中所填的数据作用在结构上；

2. 如果是动力分析中的一种工况，则在本节中只提供一张空白卡片。如果是一种动力分析的再起工况 (主控制卡上 NDYN=-2 或 -3) 则跳过本节。  
 若结构不要求绘图 (在主控制卡上 IPLT=0)，静力分析到这几张卡片就结束了。若结构要求绘图 (IPLT>0)，那么就转到第 k 节。

8.2.9 VII. 重量和重心参考点卡片 (3F10.0)

注解	列号	变量	填入内容
(1)	1~10	XREF	参考点的 x 位置
	11~20	YREF	参考点的 y 位置
	21~30	ZREF	参考点的 z 位置

注：1. 仅要在计算重量和重心 (主控制卡第 51~55 列为 1) 时，才输入本卡片。本卡片规定的参考点是用于计算惯性矩的。用质量矩阵计算质量特性，而当算出的质量集中在没有自由度的点处时将不包括在内，因为它在质量矩阵中不出现。同样，在一个结点的不同方向上质量可能是不同的，或者一个结点在一个方向上有约束而在另一个方向上不施加约束，结果，在三个总体坐标方向上的重量也是不同的。

按下式计算惯性矩：

$$I_x = \sum_{i=1}^{MUMNP} M_{iy} (z_i - z_{ref})^2 + \sum_{i=1}^{MUMNP} M_{iz} (y_i - y_{ref})^2 + \sum_{i=1}^{MUMNP} M_{xzi}$$

$$I_y = \sum_{i=1}^{MUMNP} M_{ix} (z_i - z_{ref})^2 + \sum_{i=1}^{MUMNP} M_{iz} (x_i - x_{ref})^2 + \sum_{i=1}^{MUMNP} M_{yzi}$$

$$I_z = \sum M_{ix}(y_i - y_{ref})^2 + \sum M_{iy}(x_i - x_{ref})^2 + \sum M_{zi}$$

注意，由于 SAP-5 程序用的是集中质量近似计算惯性矩，故每个结点集中质量产生惯性矩  $M_{zxi}$ 、 $M_{yxi}$ 、 $M_{zxi}$  必须直接输入（见第 V 节）。 $i=1, 2, \dots, \text{NUMNP}$  中不包括受约束结点的结点号。 $M_{ix}$ 、 $M_{iy}$ 、 $M_{iz}$  是  $i$  结点  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的质量。

8.2.10 VII. 振型频率卡片

SAP-5 程序能够进行五种类型的动力分析，分析的类型由主控制卡片上第 21~25 列中所给定的“NDYN”数来表明。

NDYN=1: 仅确定系统的振型和频率（只全部输入第 VII 节卡片）。

NDYN=2: 利用振型迭加法，对与时间有关的任意载荷进行动力响应分析（全部输入第 VII 节和后面的第 XA 节）。

NDYN=3: 响应谱分析（全部输入第 VII 节和第 XB 节）。

NDYN=4: 利用逐步积分法，对与时间有关的任意载荷进行动力响应分析（全部输入第 XA 节）。

NDYN=5: 频率响应分析（全部输入第 VII 节和第 XC 节卡片）。

在任何一定的动力分析情况中，只能考虑一个 NDYN 值，而若 NDYN=2、3 或 5 时，本程序首先必须解结构振型与频率的特征值问题，然后用这些特征值或特征向量作为强迫响应分析 (NDYN=2)、响应谱分析 (NDYN=3)、频率响应分析 (NDYN=5) 的输入。因此选择 NDYN 等于 1、2、3、5 都需要在第 VII 节中所提供的解特征值所用的控制参数。

直接逐步积分法分析时 (NDYN=4)，不必提供第 VII 节的求解特征值的控制卡片。

对于动力分析再起动的特殊情况 (NDYN=2、3 或 5)，输入数据由标题卡 (第 I 节)、主控卡 (第 I 节) 以及后面的第 XA 节 (-2) 或第 X

B 节 (-3) 或第 XC 节 (-5) 组成。仅当原先曾用同样的模型以 NDYN=1 进行求解，并将此特征值求解结果存贮于再起动文件上时，再起动才是可能的。

在本节以前，本程序对静力或动力分析两种情况基本上处理了相同的数据块，然而，程序虽读入了前面某些数据卡片，但在动力分析阶段中是不完全应用的，只是应用前面几个数据块所建立的系统刚度矩阵，而对静力工况所构成的各个单元载荷模式 (A、B、C、D) 和结构载荷状态的概念对动力工况没有意义。所以第 V 节和第 VI 节的输入必须另作准备，而第 IV 节及其以前各节的一套输入数据多数还能用于任何一种分析 (静力和动力分析)。

本程序利用单元的几何形状和给定的材料密度能自动形成对角线 (集中) 质量矩阵。如此确定的质量矩阵只包含平移质量系数，这些系数是由每一结点共有的各单元所贡献的体积计算出来的。已知的转动惯量必须在前面第 V 节中对个别的结点自由度输入。

在结构动力运动时，本程序忽略了通过边界单元 (第 7 类单元) 输入非零强迫位移 (或转动)，而把这一分量的运动被约束了。

程序不对没有质量系统的那些结点自由度进行凝聚而改变系统的阶数，即本程序不对零质量进行缩减。静力和动力分析的自由度数是没有差异的，即它们在顺序、类型和总数上是相同的。

振型和频率卡片 (3I5, 2F10.0, I5), NDYN=1, 2, 3, 5。

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	IFPE	打印特征值求解过程中所计算出的中间矩阵、范数等的标记： =0，不打印，=1，打印。
2	6~10	IFSS	进行斯特姆数列校验的标记： =0，校验特征值是否遗漏； =1，不作校验。
3	11~15	NITEM	达到收敛误差值的允许迭代最多次数： =0，或不填，则置于“16”。
4	16~25	RTOL	对所需的最高 (第 NF 个) 特征值的收敛误差限 (精度)： =0，或不填，则置于“1.0E-5”。
5	26~35	COFQ	截断频率 (周/单位时间)： =0，求 NF 个特征值 >0，仅求低于 COFQ 个特征值。
6	36~40	NFO	由磁带 10 读入的初始迭代向量数。



注：1. 可以要求解特征值时所产生的额外输出；由这种选择所产生的输出可能是很多的。由本程序产生的正常输出包含一个有序的特征值表，随后是每一振型的特征向量。求得并打印出的振型的数目由主控制卡片上第 16~20 列给出的 NF 变量确定；

2. 本程序使用下面两种不同算法之一来求解特征值和特征向量：

- a. 行列式搜索法：要求系统刚度矩阵的上三角形带可以全部装在高速内存之中，也就是只有一个方程“块”。
- b. 子空间迭代法：适用于系统刚度矩阵只有一部分能保留在内存中，即刚度矩阵（即使是带状的）必须分块运算。

假使一模型太大，不能全部装入内存时，本程序将自动选择子空间迭代法来求解特征值。假如程序能用行列式搜索法求特征值，则“IFSS”，“NITEM”和“RTOL”各项都可忽略。某一模型对行列式搜索法是否太大，取决于（由程序员而不是用户）分配给数组存储用的内存量。本程序的变量“MTOT”等于可用的工作内存量。

通常，最大方程带宽（刚度阵带宽）MBAND=（最大的单元结点号之差）×（每结点自由度的平均值）；模型的自由度数 NEQ=6×（结点总数）-（约束的自由度数），则有

$$\text{存储每块的方程数 NEQB} \approx \text{MTOT} / \text{MBAND} / 2$$

如果 NEQB < NRQ，则这一模型对行列式搜索法太大，要用子空间迭代算法程序。

如果使用子空间迭代算法，则用户可要求进行斯特姆数列检验。由经验可知，此算法总是产生最低的 NF 个特征值，但所计算的 NF 个特征值总是最低的值，可用斯特姆数列来检验，证明已求到了最低的 NF 个特征值。

使用子空间迭代时，第 NF 个特征值在“NITEM”次（通常为 16 次）迭代之内不能收敛到误差限“RTOL”以下（通常为 1.0E-5 或 5 位有效数字），则可不管斯特姆数列标记（IESS）；

3. 达到收敛的最大迭代次数（“NITEM”）仅应用于子空间迭代算法。如果第 11~15 列空白，则假定 NITEM 值是“16”；
4. 仅当采用子空间迭代算法时才能应用收敛误差限（“RTOL”）。这一误差限是用于控制第 NF 阶特征值的，而比第 NF 阶低的所有特征值都将比 RTOL 精度高。最低阶振型最精确，随振型的序号增加而精度逐渐降低，直到所要求的最高阶（第 NF 阶）振型的精确到误差限 RTOL。如果第 NF 个特征值（如为  $\lambda(k)$ ）满足下列不等式：

$$[|\lambda(k+1) - \lambda(k)| / \lambda(k)] < \text{RTOL}$$

则在 k+1 循环之后停止迭代。

如用行列式搜索法，则可得到高精度的特征值和特征向量；

5. 如果低于给定频率的全部特征值都已求出，则上述两种特征值算法中都利用截断频率（“COFQ”）结束计算。

行列式搜索法按从 1 到 NF 的顺序计算特征值，如果第 N 个（ $1 \leq N \leq \text{NF}$ ）特征值的频率大于“COFQ”，则剩下的 NF-N 个特征值就不再进行计算了。

当第 N 个特征值精确到（即迭代之后不变）RTOL 的误差限时，子空间迭代算法就结束计算。此时，第 N 个特征值是最接近于比 COFQ 较高的特征值。如果子空间迭代解决了低于 COFQ 的 N 个（ $N < \text{NF}$ ）特征值，则斯特姆数列检验（如果需要的话）是用第 N 个特征值（而不用第 NF 个）作为一次转移来进行的。

在时间历程和响应谱分析（见第 X 节 B 和 C）中只用频率比 COFQ 低的那些振型；

6. 初始迭代向量必须与控制信息一起，在程序执行开始前写到磁带 10 上；
7. 程序不计算刚体振型，即系统必须被约束而不产生刚体振型。如果刚体振型存在，则在精确的计算中刚度矩阵的三角分解  $[K] = [L][D][L]^T$  中的矩阵 [D] 的元素  $d_{nn}$  为零，在计算机计算中，元素  $d_{nn}$  是比矩阵 [D] 中的其他元素小。如果发生这种情况，则程序自动停止，并给出信息。

注意：假如使用很多“人为的”刚性边界单元，[D] 的各元素的平均数将人为增大，因此比较起来  $d_{nn}$  可能较小，虽然不存在刚体振型，程序亦将停止。因此，在动力分析时建议不用刚度很大的边界单元。

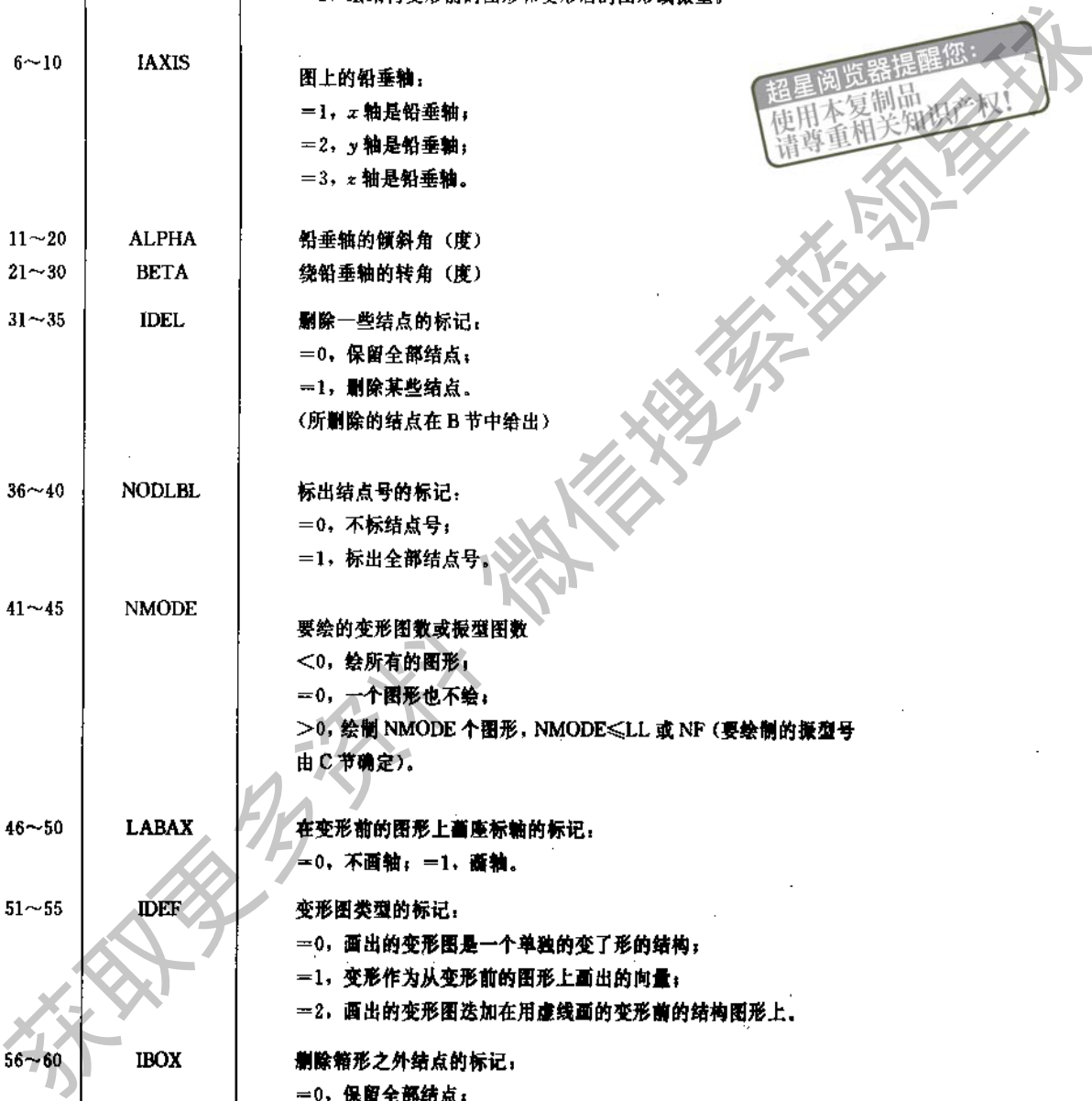
如不要结构绘图（主控制卡片上 IPLT=0）时，振型分析（NDYN=1）就以这些卡片结束了。若需要结构绘图（IPLT>0），则转到第 X 节。

8.2.11 IX. 结构绘图卡片

A. 绘图控制卡片 (2I5, 2F10.0, 6I5, 10x, F10.0)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	ITYPE	绘图型式; =0, 停止绘图; =1, 绘结构变形前的图形和变形后的图形或振型。
2	6~10	IAXIS	图上的铅垂轴: =1, x 轴是铅垂轴; =2, y 轴是铅垂轴; =3, z 轴是铅垂轴。
3	11~20 21~30	ALPHA BETA	铅垂轴的倾斜角 (度) 绕铅垂轴的转角 (度)
4	31~35	IDEL	删除一些结点的标记: =0, 保留全部结点; =1, 删除某些结点。 (所删除的结点在 B 节中给出)
	36~40	NODLBL	标出结点号的标记: =0, 不标结点号; =1, 标出全部结点号。
5	41~45	NMODE	要绘的变形图数或振型图数 <0, 绘所有的图形; =0, 一个图形也不绘; >0, 绘制 NMODE 个图形, NMODE ≤ LL 或 NF (要绘制的振型号由 C 节确定)。
6	46~50	LABAX	在变形前的图形上画坐标轴的标记: =0, 不画轴; =1, 画轴。
	51~55	IDEF	变形图类型的标记: =0, 画出的变形图是一个单独的变了形的结构; =1, 变形作为从变形前的图形上画出的向量; =2, 画出的变形图迭加在用虚线画的变形前的结构图形上。
	56~60	IBOX	删除箱形之外结点的标记: =0, 保留全部结点; =1, 删除箱形之外的结点 (箱形的座标范围在 A1 节给出)。
7	71~80	PLTMAR	图面余量; 用总图的百分数表示; =0, 按 10% 的余量绘图; >0, 使用规定的余量绘图。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!



- 注：1. 绘图控制卡片（与 A1、B、C 节中需要的卡片一起）按要求反复多次，最后用一张空白卡片（相当 ITYPE=0）结束绘图；
2. 在绘制结构图时，画面上的竖直轴应代表结构物所在座标系  $x$ 、 $y$ 、 $z$  的那个方向，选择时可由 IAXIS 参数来规定。这个选择由结构物的形状决定。
- 当 IAXIS=1 时， $x$  轴代表竖直轴方向；
- 当 IAXIS=2 时， $y$  轴代表竖直轴方向；
- 当 IAXIS=3 时， $z$  轴代表竖直轴方向。
- 此时的画面形状分别如图 30-60 所示。

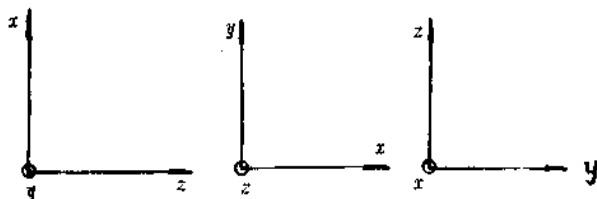


图 30-60 竖直轴的选择

3. 在 IAXIS 定出的座标系上，再施加两个旋转，一为 BETA ( $\beta$ )，二为 ALPHA ( $\alpha$ )。BETA 角为竖直轴  $y$  保持不动，结构物从逆  $y$  轴方向看顺时针方向旋转的角度。新座标系为  $\xi$ 、 $\eta$ 、 $\zeta$  (见图 30-61a 所示)。
- ALPHA 角为  $\xi$  轴保持不动，结构物从逆  $\xi$  轴方向看顺时针方向旋转的角度。新座标系为  $x_p$ 、 $y_p$ 、 $z_p$ ，而  $x_p$ 、 $y_p$  定为绘图的座标值 (见图 30-61b)。

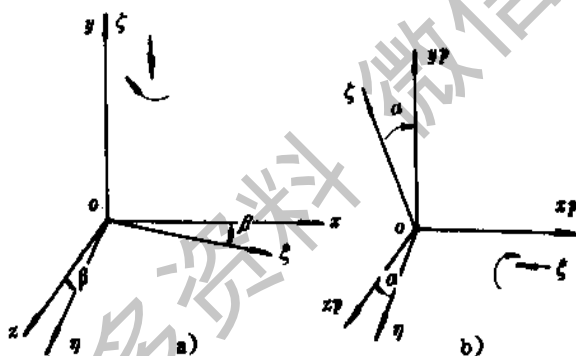


图 30-61

4. 当 IDEL  $\neq 0$  时，将要有一些结点被删除，此时与该结点的所有连线也不绘制，被删除的结点号在 B 节中给出，删除一些次要结点，不仅使图形清晰，而且可增强图形的立体感。
5. 当绘制结构变形图或振型图时，不一定对所有工况或振型全进行绘制，可以只给我们感兴趣的几个，可用参数 NMODE 来选择。
6. 仅当座标系的原点位于图面内时，才能画座标轴，否则，就在图面上角上草画座标的方位。座标轴仅画在未变形的图形上，而不画在变形后或振型的图形上。
7. 无须用户规定一个比例因子，在未变形的形状周围就确定了一个图面余量。每一种变形形状或振型，均由 SAP-5 程序定出比例，使得在图形的  $x$ - $y$  面上最大结点位移等于边界尺寸。若在图形的  $x$ - $y$  面内没有结点位移，则画出未变形的结构图。给定余量尺寸时，换算变形所需的比例因子在图上打印出来。



A1. 箱形范围 (又称加窗) 卡片 (6F10.0)

仅当绘图控制卡片上 IBOX=1 时才有本卡片。此卡片规定了一个箱形范围, 箱形之外的结点在图形上被删去。

列号	变量	填入内容
1~10	XMIN	箱形的 x 坐标下限
11~20	XMAX	箱形的 x 坐标上限
21~30	YMIN	箱形的 y 坐标下限
31~40	YMAX	箱形的 y 坐标上限
41~50	ZMIN	箱形的 z 坐标下限
51~60	ZMAX	箱形的 z 坐标上限

B. 删除的结点卡片 (16I5)

仅当绘图控制卡片上 IDEL=1 时才有本卡片。

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	ICRD (1)	被删除的结点号
	6~10	ICRD (2)	被删除的结点号
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	76~80	ICRD (16)	被删除的结点号

注: 1. 被删除的结点号用 I5 格式输入, 依次排列在卡片 ICRD 上。当被删除结点数多于 16 个时, 应补充卡片, 直到所有被删除结点填写完毕。当遇到空白字域时, 删除结点的读入就结束了; 当删除结点号为 16 或 16 的整数倍时, 必须再增加一张空白卡片提供空白字域, 以结束输入。

C. 绘制变形或振型图时, 工况或频率号卡片 (16I5)

仅当绘图控制卡片上 NMODE>0 时, 才有本卡片输入, 否则跳过。本卡片仅有一张, 且一定要 NMODE≤16。

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	MODE (1)	第一个工况或频率号
	6~10	MODE (2)	第二个工况或频率号
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	.	.	.....
	76~80	MODE (16)	第 16 个工况或频率号

注: 1. 需要几种工况或频率, 依次以 I5 格式填写。所绘制图形数量限定在 NMODE≤LL 或 NF 个。

8.2.12 X. 强迫响应卡片

A. 响应历程分析 (NDYN=2 或 4)

选取 NDYN=2 时, 利用由第 4 节算出的 NF 个频率和振型完成强迫响应的振型迭加解。选取 NDYN=4 是逐步直接积分耦合方程组, 即不用求解特征值且不转化基础特征向量, 除了阻尼定义外, 其数据输入与 NDYN=2 的情况一样。动力响应可由两种一般形式的强迫函数产生:

(1) 在总体坐标 x, y, z 三个方向或其中任一方向上的输入基础加速度。

(2) 在任何 (或全部) 结点自由度 (从属自由度除外) 有随时间变化的力或力矩。

与时间有关的强迫函数 (负荷或基础加速度分量) 分两步描述。首先, 有一组离散的点  $f(t_i)$ ,  $t_i, i=1, 2, \dots, k$  用表格表示若 F (1 个或多个) 无量纲时间函数, 每一不同时间函数可有不同数目的定义点 (k); 然后, 在结构中某点上作用的特定强迫函数可由某一个输入的时间函数 (例如  $f(t)$ ) 和比例系数 (例如  $\beta$ ) 来定义。实际的力 (或加速度) 在任何时间 (例如  $\tau$ ) 等于  $\beta x f(\tau)$ ; 在两个时间输入点  $(t_i, t_{i+1})$  之间, 用线性插值法可求到  $f(\tau)$ , 其中  $t_i \leq \tau \leq t_{i+1}$ 。

若在  $t=0$  时开始求解, 可对每个强迫函数指定独立的到来时间  $t_a (t_a \geq 0)$ 。在求解时间  $\tau$  等于到来时间  $t_a$  之前, 强迫函数不作用到这个系统上。函数值的插值是基于函数表内的相对时间, 即  $g(\tau) = f(\tau - t_a)$ 。

当  $t=0$  时, 假设结构是静止的, 即在求解开始时, 设初位移和初速度都是零。

1. 控制卡 (当 NDYN=2 时, 5I5, 2F10.0, 2I5)  
(当 NDYN=4 时, .5I5, 3F10.0)



注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	NFN	不同的时间函数的数目: $\geq 1$
2	6~10	NGN	基础运动的指标: =0, 无基础运动控制卡片; =1, 读基础运动控制卡片 (见第 X A3 节); =2, 输入基础转动 (仅在 NDYN=2 时)。
3	11~15	NAT	强迫函数的不同到来时间的数目: =0, 则所有的到来时间均为零。
4	16~20	NT	求解时间的总步数: $\geq 1$
5	21~25	NOT	应力、位移等输出的打印间隔: $\geq 1$ 且 $\leq NT$
4	26~35	DT	求解时间步长 $\Delta t$ : $\geq 0$

当 NDYN=2 时输入

6	36~45	DAMP	对所有 NF 个振型的阻尼系数 (临界值的小数): $\geq 0$
	46~50	IPCH1	位移历程穿孔输出的标记: =1, 则穿孔输出位移历程。
	51~55	IPCH2	应力历程穿孔输出的标记: =1, 则穿孔输出应力历程。

当 NDYN=4 时输入

7	36~45	ALPHA	阻尼系数 $\alpha$
	46~55	BETA	阻尼系数 $\beta$

- 注: 1. 起码要输入一个时间函数;
2. 无基础加速度作用于结构上时, 则置 NGM 为零, 并跳过后面的第 X A3 节。容许有基础加速度和结点力同时输入;
3. 若无到来时间输入, 则所有强迫函数在  $t=0$  开始作用结构上。不同的强迫函数可采用同一的到来时间值。变量 NAT 确定了后面第 X A4 节中程序要读的非零输入项的数目;
4. 程序用了一种对时间步长  $\Delta t$  无条件稳定的方法完成运动方程的逐步积分。在 NDYN=2 时, 积分振型的去耦运动方程; 在 NDYN=4 时, 积分耦合的系统方程。若  $T$  表示响应计算中序号最大的振型 (通常是第 NF 个振型) 的周期, 则选择  $\Delta t$ , 且令  $\frac{\Delta t}{T} < 0.1$ 。时间步长 (时间间隔) 较大时 (即  $\Delta t > 0.1T$ ) 不一定引起计算失败 (不稳定), 但高次振型的成分从予报响应中“滤掉”了。一般来说, 随时间步长的加大, 解中包含高频成分就少;
5. 本程序可计算求解时间每步的系统位移。但是, 打印位移和求单元应力只是在每 NOT 个求解步长间隔时进行。NOT 起码是 1, 且通常在 10 到 100 的范围内挑选;
6. 阻尼系数 (DAMP) 用于所有的 NF 个振型。DAMP 的许用范围从零 (无阻尼) 到 1.0 (100% 的临界粘滞阻尼);
7. 在 NDYN=4 时, 阻尼矩阵为  $[C] = \alpha [M] + \beta [K]$ ,  $\alpha$  和  $\beta$  由第 36 到 55 列确定。

2. 随时间变化的载荷卡片 (4I5, F10.0)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	NP	有载荷分量 (力或力矩) 的结点号: ≥1 且 ≤NUMNP 仅在最后一张卡片上=0
2	6~10	IC	自由度序号: ≥1 且 ≤6 ( $\delta_x=1, \delta_y=2, \delta_z=3, \phi_x=4, \phi_y=5, \phi_z=6$ )
3	11~15	IFN	时间函数号: ≥1 且 ≤NFN
4	16~20	IAT	到来时间号: ≥1 且 ≤NAT, =0 时, 则置为 1。
5	21~30	P	时间函数的比例常数: =0, 无载荷作用。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

- 注: 1. 对有随时间变化的载荷的每个结点自由度需要一张卡片。这一组卡片的结尾必须是一张空白卡片。即使此系统无载荷作用时, 也要输入一张空白卡片;
2. 同一个结点可有不止一个自由度受载荷;
3. 每个强迫函数须有非零时间函数的序号 (IFN)。IFN 必须在 1 和 NFN 之间。各时间函数在后面第 X5 节中列表输入。在两个输入的时间点之间的某个时间函数值用线性插值法求出;
4. 若 IAT 是零 (或空白), 则置为 1。若 NAT 也是零, 则在时间为零时开始有函数。若 IAT 是从 1 到 NAT 之间的正整数输入, 则用第 IAT 个到来时间 (定义于后面第 XA4 节) 来推迟强迫函数的作用; 即当求解达到了第 IAT 个到来时间值的时候, 强迫函数才开始作用在结构上;
5. 在时间  $t$ , 作用于振型上的力 (或力矩) 的实际大小, 等于  $(p) \times$  (第 IFN 个函数在时间  $t$  的值)。

3. 基础运动控制卡片

a. 基础平移 (6I5), 在 NGM=1 时输入。

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	JFN (1)	描述 $x$ 向基础加速度的时间函数的序号
	6~10	JFN (2)	描述 $y$ 向基础加速度的时间函数的序号
	11~15	JFN (3)	描述 $z$ 向基础加速度的时间函数的序号
2	16~20	JAT (1)	到来时间的序号, $x$ 方向
	21~25	JAT (2)	到来时间的序号, $y$ 方向
	26~30	JAT (3)	到来时间的序号, $z$ 方向

- 注: 1. 仅当控制卡片 (见第 XA1 节) 上基础运动指标 NGM=1 时, 才输入此卡片。时间函数的序号为零, 表示在指定方向无基础运动。基础运动是加速度, 不是重力加速度  $g$  的倍数;
2. 到来时间号为零时, 则取 JAT (I) = 1 (I=1, 2, 3)。非零参数必须是 1 到 NAT 范围内的整数。

b. 基础旋转 (3I5, 3F10.0), 在 NGM=2 时输入。

列号	变量	填入内容
1~5	NFNR	描述旋转运动的时间函数的序号, 隐含 1。
6~10	NATR	到来时间的序号, 隐含 1。
11~15	IAX	旋转运动所绕的轴线: =1, 绕平行 $x$ 轴的轴线旋转; =2, 绕平行 $y$ 轴的轴线旋转; =3, 绕平行 $z$ 轴的轴线旋转。
16~25	XREF	旋转运动所绕点的 $x$ 座标;
26~35	YREF	旋转运动所绕点的 $y$ 座标;
36~45	ZREF	旋转运动所绕点的 $z$ 座标。



注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	KKK	输出类型指标: -1, 打印历程表和最大值; =2, 打印历程图和最大值; -3, 只打印最大值。
2	6~10	ISP	打印历程图的间隔指标 (kkk=2 时用)

注: 1. 本程序产生的输出类型用于所有位移要求, kkk=0 是不合法的;  
2. ISP 控制打印图形的垂直(顺着纸的方向)间隔。在每个第 (ISP+1) 行上打印输出点。打印图形的水平(横跨纸宽方向)宽度是不变的 10 英寸 (100 个打印位置)。只有当 kkk=2 时才用 ISP。

(2) 结点位移要求卡片 (715)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	NP	结点号, $\geq 1$ 且 $\leq \text{NUMNP}$ 仅在最后一张卡片上 = 0
2	6~10	IC (1)	位移分量要求 1
	11~15	IC (2)	位移分量要求 2
	16~20	IC (3)	位移分量要求 3
	21~25	IC (4)	位移分量要求 4
	26~30	IC (5)	位移分量要求 5
	31~35	IC (6)	位移分量要求 6, $\geq 1$ 且 $\leq 6$ =0, 对本节点结束要求

注: 1. 在此节中只填写产生输出的那些结点(或要确定最大值的那些结点)。用一张空白卡片结束此节输入;  
2. 位移分量要求 (IC) 范围从 1 到 6, 这里 1= $\delta_x$ , 2= $\delta_y$ , 3= $\delta_z$ , 4= $\delta_{\theta_x}$ , 5= $\delta_{\theta_y}$ , 6= $\delta_{\theta_z}$ 。读 IC (1), IC (2), ..., IC (6) 时, 遇到的第一个零(或空白)结束此卡片的信息。一个结点上的各位移分量可以按任意次序要求。例如在第 34 结点要求输出  $\delta_x$ ,  $\delta_z$  和  $\delta_y$ , 本卡片上可填写 /34, 2, 4, 6, 0/ 或 /34, 6, 4, 2, 0/ 等等, 只有四个字域有非零内容即可。

b. 单元应力分量输出要求

(1) 控制卡片 (215)

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	kkk	输出类型指标: =1, 打印历程表和最大值; =2, 打印历程图和最大值; =3, 只打印最大值。
	6~10	ISP	历程图的间隔指标

注: 1. 见第 XA6a (1) 节的注 1 和 2。

(2) 单元应力分量要求卡片 (1315)

这些要求是按单元类型分批的, 必须输入 NELTYP 批。每批包括一系列单元应力分量要求卡片, 以一张空白卡结束。在一种单元类型(如桁架)的一批中, 单元号必须按递增顺序排列。单元号可以省略, 但不能重复。程序处理各批单元与原来单元数据卡片中(见第 IV 节)输入的次序一样。若某一批单元不需输出, 则对该批输入一张空白卡片, 但读入刚度单元(第 10 类)不需要空白卡片。

注解	列号	变量	填入内容		
1	1~5	NEL	单元号: $\geq 1$ 仅在本批中的最后一张卡片上 = 0		
			2	6~10	IS (1)
			11~15	IS (2)	输出应力分量号, 要求 2
			...	...	.....
			61~65	IS (12)	输出应力分量号, 要求 12

注: 1. 单元输出的每批(每种类型)用一张空白卡片结束。一批单元须按单元号递增顺序排列, 单元号不能重复;  
2. 当读 IS (1), IS (2), ... IS (12) 时, 遇到第一个零(空白)就结束卡片的信息。对每个单元, 不能超过 12 个不同分量的输出。表 X1 列出应力分量数目以及各种不同单元类型的相应描述。某些类型单元(如桁架)的分量比 12 个少些, 只有按表 X1 中所列应力分量数目才是合法(正当)的参数。

至此, 对 NDYN=2 或 4 状态的数据输入结束。

表 XI

单元类型	最多分量数	应力分量号	输出符号	说明
1 桁架元	2	1 2	P/A P	轴向应力 轴向力
2 梁元	12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	$P_1$ (I) $\bar{V}_2$ (I) $\bar{V}_3$ (I) $T_1$ (I) $M_2$ (I) $M_3$ (I) $P_1$ (J) $\bar{V}_2$ (J) $\bar{V}_3$ (J) $T_1$ (J) $M_2$ (J) $M_3$ (J)	I 端 1 轴力 I 端 2 轴剪力 I 端 3 轴剪力 I 端 1 轴扭矩 I 端 2 轴弯矩 I 端 3 轴弯矩 J 端 1 轴力 J 端 2 轴剪力 J 端 3 轴剪力 J 端 1 轴扭矩 J 端 2 轴弯矩 J 端 3 轴弯矩
3, 4 平面应力、 平面应变、 轴对称单元	20	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	11~S0 22~S0 33~S0 12~S0 11~S1 22~S1 33~S1 12~S1 11~S2 22~S2 33~S2 12~S2 11~S3 22~S3 33~S3 12~S3 11~S4 22~S4 33~S4 12~S4	0 点 $v$ 轴正应力 0 点 $u$ 轴正应力 0 点 $t$ 轴正应力 0 点 $uv$ 剪应力 1 点 $v$ 轴正应力 1 点 $u$ 轴正应力 1 点 $t$ 轴正应力 1 点 $uv$ 剪应力 2 点 $v$ 轴正应力 2 点 $u$ 轴正应力 2 点 $t$ 轴正应力 2 点 $uv$ 剪应力 3 点 $v$ 轴正应力 3 点 $u$ 轴正应力 3 点 $t$ 轴正应力 3 点 $uv$ 剪应力 4 点 $v$ 轴正应力 4 点 $u$ 轴正应力 4 点 $t$ 轴正应力 4 点 $uv$ 剪应力
5 八结点 六面体	12	1 2 3	$xx \sim SL1$ $yy \sim SL1$ $zz \sim SL1$	位置 1 的 $xx$ 应力 位置 1 的 $yy$ 应力 位置 1 的 $zz$ 应力

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

获取资料请搜索 蓝领星球

续表 XI

单元类型	最多分量数	应力分量号	输出符号	说明		
单元		4	xy~SL1	位置 1 的 xy 应力		
		5	yz~SL1	位置 1 的 yz 应力		
		6	zx~SL1	位置 1 的 zx 应力		
		7	xx~SL2	位置 2 的 xx 应力		
		8	yy~SL2	位置 2 的 yy 应力		
		9	zz~SL2	位置 2 的 zz 应力		
		10	xy~SL2	位置 2 的 xy 应力		
		11	yz~SL2	位置 2 的 yz 应力		
		12	zx~SL2	位置 2 的 zx 应力		
		6 板、壳单元	6	1	xx~S/R	xx 方向应力
				2	yy~S/R	yy 方向应力
				3	xy~S/R	xy 方向应力
4	xx~S/R			xx 方向力矩		
5	yy~S/R			yy 方向力矩		
6	xy~M/R			xy 方向力矩		
7 边界单元	2	1	BDRY-F	边界力		
		2	BDRY-M	边界力矩		
8 8~21 结点三维单元	42	1	SXX (0)	形心 (0) 的 xx-应力		
		2	SYX (0)	形心 (0) 的 yy-应力		
		3	SZZ (0)	形心 (0) 的 zz-应力		
		4	SXY (0)	形心 (0) 的 xy-应力		
		5	SYZ (0)	形心 (0) 的 yz-应力		
		6	SZX (0)	形心 (0) 的 zx-应力		
		7	SXX (1)	1 面中心的 xx-应力		
		8	SYX (1)	1 面中心的 yy-应力		
		9	SZZ (1)	1 面中心的 zz-应力		
		10	SXY (1)	1 面中心的 xy-应力		
		11	SYZ (1)	1 面中心的 yz-应力		
		12	SZX (1)	1 面中心的 zx-应力		
		13	SXX (2)	2 面中心的 xx-应力		
		14	SYX (2)	2 面中心的 yy-应力		
		15	SZZ (2)	2 面中心的 zz-应力		
		16	SXY (2)	2 面中心的 xy-应力		
		17	SYZ (2)	2 面中心的 yz-应力		
		18	SZX (2)	2 面中心的 zx-应力		
		19	SXX (3)	3 面中心的 xx-应力		
		20	SYX (3)	3 面中心的 yy-应力		

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆 搜索 蓝领星球



续表 XI

单元类型	最多分量数	应力分量号	输出符号	说明
		21	szz (3)	3 面中心的 zz—应力
		22	sxy (3)	3 面中心的 xy—应力
		23	syz (3)	3 面中心的 yz—应力
		24	szx (3)	3 面中心的 zx—应力
		25	sxx (4)	4 面中心的 xx—应力
		26	syy (4)	4 面中心的 yy—应力
		27	szz (4)	4 面中心的 zz—应力
		28	sxy (4)	4 面中心的 xy—应力
		29	syz (4)	4 面中心的 yz—应力
		30	szx (4)	4 面中心的 zx—应力
		31	sxx (5)	5 面中心的 xx—应力
		32	syy (5)	5 面中心的 yy—应力
		33	szz (5)	5 面中心的 zz—应力
		34	sxy (5)	5 面中心的 xy—应力
		35	syz (5)	5 面中心的 yz—应力
		36	szx (5)	5 面中心的 zx—应力
		37	sxx (6)	6 面中心的 xx—应力
		38	syy (6)	6 面中心的 yy—应力
		39	szz (6)	6 面中心的 zz—应力
		40	sxy (6)	6 面中心的 xy—应力
		41	syz (6)	6 面中心的 yz—应力
		42	szx (6)	6 面中心的 zx—应力
9 伪单元	12	1	P <sub>1</sub> (I)	I 端 1 轴力
		2	P <sub>2</sub> (I)	I 端 2 轴力
		3	P <sub>3</sub> (I)	I 端 3 轴力
		4	M <sub>1</sub> (I)	I 端 1 轴力矩
		5	M <sub>2</sub> (I)	I 端 2 轴力矩
		6	M <sub>3</sub> (I)	I 端 3 轴力矩
		7	P <sub>1</sub> (J)	J 端 1 轴力
		8	P <sub>2</sub> (J)	J 端 2 轴力
		9	P <sub>3</sub> (J)	J 端 3 轴力
		10	M <sub>1</sub> (J)	J 端 1 轴力矩
		11	M <sub>2</sub> (J)	J 端 2 轴力矩
		12	M <sub>3</sub> (J)	J 端 3 轴力矩

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

超星数字图书馆 搜索 蓝领星球

**B. 响应谱分析 (NDYN=3)**

选用这项分析,是把解特征值过程中(第Ⅶ节)计算出的所有 NF 个振型和频率综合起来,用以计算由于输入位移(或加速度)所产生的均方根应力和位移。输入谱乘以一定的比例作用于总体座标的 x、y、z 方向。如果截断频率(第Ⅶ节)COFQ 不是零,则只有频率小于 COFQ 的那些振型综合在均方根分析中。

**1. 控制卡片 (3F10.0, 4I5, F10.3, 2I5)。**

注解	列号	变量	填入内容
1	1~10	FX	x 方向输入系数;
	11~20	FY	y 方向输入系数;
	21~30	FZ	z 方向输入系数。=0, 没有作用。
2	31~35	IST	输入谱型; =0, 位移对周期; =1, 加速度对周期; =2, g 对周期。
	36~40	NRS	谱曲线条数, 隐含 1。
	41~45	NTAG	谱曲线重复标记; =1, 表示与前者相同。
3	46~50	KIND	迭加方案, 隐含 1。
4	51~60	CF	频率密集系数, 隐含 0.1。
	61~65	IFLAG	=1, 应力记 15 号文件。
	66~70	NDSRN	读谱曲线的文件号(隐含 5)

注: 1. 所有三个方向系数都可能不是零, 这时所填内容表示输入方向向量的 x、y、z 分量;  
2. "IST" 决定了下面紧接着输入的谱表类型。设谱位移 "S<sub>d</sub>" 和谱加速度 "S<sub>a</sub>" 的关系如下:

$$S_a = (4\pi^2 f^2) \cdot S_d$$

3. 所求的位移或应力的谱响应可有不同的迭加方案。本程序可选择三种方案: 当 KIND=1 时, 先分别求 NF 个振型的最大位移响应, 然后以它们的均方根作为总的响应; 当 KIND=2 时, 先分别求 x、y、z 三个方向的振型响应, 然后以三者的均方根作为总的响应, 当 KIND=3 时, 以 x、y、z 三个方向的振型响应直接相加得总的响应(参见 [57]);

4. 当 NF 个频率中有某几个充分接近时, 如采用第二或第三迭加方案, 程序将考虑频率密集的影响。用本卡片输入频率密集系数 CF 时, 频率 f<sub>i</sub> 与 f<sub>j</sub> 符合下式, 即看作是密集的。

$$\frac{|f_i - f_j|}{f_i} < CF$$

**2. 谱卡片: 共 NRS 组**

**a. 标题卡片: (12A6)**

列号	变量	填入内容
1~72	HED (18)	用以标记谱表的标题信息

**b. 控制卡片 (I5, F10.0)**

列号	变量	填入内容
1~5	NPTS	谱表中定义的数目; ≥2 且 ≤90
6~15	SFTR	调整谱表中的位移(或加速度)标尺的比例系数; =1.0, 不须调整

**c. 谱数据 (2F10.0)**

注解	列号	变量	填入内容
1	1~10	T	周期(频率的倒数)
2	11~20	S	位移值(如果 IST=1, 则是加速度值; 如果 IST=2, 则是 g 的倍数)

注: 1. 每张卡片输入一个定义点; 本节共需 NPTS 张卡片。卡片按周期值递增排列;  
2. 若 IST 输入为零, 则 S 是位移量; 若 IST=1, 则 S 是加速度值; IST=3, S 是 g 的倍数。  
至此, 对 NDYN=3 状态的数据输入结束。

**C. 频率响应分析 (NDYN=5)**

选用这项分析, 是利用第Ⅶ节中所计算的振型和频率来计算由不同频率的稳定正弦基础运动所引起的结构响应。基础运动只是平移, 可沿总体座标 x、y、z 方向中的任何方向输入。频率响应分析需要输入如下数据:

**1. 控制卡片 (3I5)**

注解	列号	变量	填入内容
1	1~5	IDIR	基础运动方向: 1=x, 2=y, 3=z。
	6~10	NFN	除了结构的自然频率之外, 还要求输出的频率数目。
	11~15	IPRINT	打印标记; =0 正常输出; =1, 求解过程中特别详细输出。

注: 1. 结构响应一定按结构的自然频率计算。若还要按其他频率计算, 可取 NFN 为其余频率数。当 NFN=0 时仅按自然频率计算结构响应;

**2. 频率要求**

若 NFN=0, 也就是除结构自然频率外不需附加频率, 于是, 跳过这一节而转向第 3 节。

a. 卡片 1 (I5, 5X, 10A6)

列号	变量	填入内容
1~5	ITYPE	输入频率类型: =1, 直接输入 (用下面的 b 节); =2, 用常量对数增量输入 (见下面 c 节)。
11~70	HED	输出打印标题信息。

b. 直接输入 (8F10.0)

列号	变量	填入内容
1~10	F (1)	除 NF 个自然频率外所需的结构响应频率。需要多少张卡片就输入多少张卡片, 每张卡片有 8 个频率。频率按递增顺序输入。频率输入单位为 Hz, 而不是弧度/秒。
11~20	F (2)	
...	...	
...	...	
71~80	F (8)	

c. 对数增量 (2F10.0)

列号	变量	填入内容
1~10	F <sub>1</sub>	第一个 (最低) 频率 Hz
11~20	F <sub>2</sub>	最后一个 (最高) 频率 Hz

利用 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 和 NFN 计算中间频率的公式为

$$F_i = F_1 \cdot e^{(i-1)d}, i = 2, 3, \dots, NFN$$

式中,  $d = \frac{1}{(NFN-1)} \log_e \frac{F_1}{F_2}$

3. 加速度对频率的关系的定义卡片

a. 卡片 1 (I5, 5X, 10A6)

列号	变量	填入内容
1~5	NFMX	频率定义点数目 (≥2)
11~70	HED	输出打印标题信息

b. 卡片 2 (8F10.0)

列号	变量	填入内容
1~10	F (1)	在点 1 的频率值, Hz
11~20	G (1)	在点 1 的峰值 g 的倍数
...	...	.....
61~70	F (4)	在点 4 的频率值, Hz
71~80	G (4)	在点 4 的峰值 g 的倍数

加速度 (g 的倍数) 的输入应是峰值 (不是均方根)。在此表内求所算响应的每一频率下的 g 级加速度, 用的是双对数插值法。换句话说, 如果用以描述本表的 NFMX 个点是画在双对数座标纸上, 则可用直线相连, 以求加速度的中间插值。此表的范围应使要求输出的那些频率 (结构自然频率加上用户所提供的频率) 包括在内。利用主控卡片上第 71~80 列的重力常数 (或用隐含值 981) 可将此表所定的 g 的倍数在内部转换为加速度。

4. 粘滞阻尼对频率的关系卡片

因为在频率分析中的结构响应与每一振型的假定粘滞阻尼密切相关, 所以对不同的频率, 希望能指定不同的阻尼值。

a. 卡片 1 (I5, 5X, 10A6)

列号	变量	填入内容
1~5	NFMX	频率定义点数目 (≥2)
11~70	HED	输出打印标题信息

b. 卡片 2 (8F10.0)

列号	变量	填入内容
1~10	F (1)	点 1 的频率值, Hz
11~20	D (1)	点 1 的阻尼系数 (临界阻尼的小数)
...	...	.....
61~70	F (4)	点 4 的频率值, Hz
71~80	D (4)	点 4 的阻尼系数 (临界阻尼的小数)

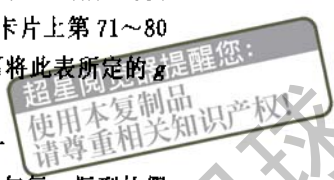
5. 输出定义卡片

如打印全部的位移和应力, 输出量是很大的。为减少本程序产生的输出量, 在此节给出指定分量的输出要求。

频率响应分析 (NDYN=5) 的输出定义卡片与响应历程分析 (NDYN=2 或 4) 的输出定义卡片 (第 X. A, 6. a. b) 完全相同, 可借用之。

至此, 对 NDYN=5 状态的数据输入完全结束。

至此, SAP-5 程序的数据文件编写方法已完全结束。



### 8.3 SAP-5 程序的出错信息

SAP-5 程序共提供了 190 多条出错信息供用户查找。程序能自动用英文打印出错信息,并指出错误的位置(错误所在的程序段和源程序版本的第几页(P×××)),以及出错的语句号(INS=××)和格式语句号(FSN=×××),对产生错误的原因作了概要解释,还对产生错误后程序怎么处理(系统反应)作了说明,供用户修改输入数据时参考。

SAP-5 程序的主要出错信息如下(略去管元的):

(1) 打印信息:“CARD FOR ELEMET ('15') IS INERROR.”

位置:在板壳元的 TPLATE (P343) 程序段内, INS=2930; FSN=2000。

解释:在该单元读单元卡片时,单元号 MM 以非递增顺序填写而发生本错误。

系统反应:如汇数器  $NN \leq MM$ , 则  $NN = NN + 1$ , 再比较,若  $NN = NN_{MEL}$ , 则跳出本程序段,否则停机。

(2) 打印信息:“DIAGONAL TERM LESS THAN TOLERAACF AT I= 'I3'。”

位置:在读入单刚元的 READK (P214) 程序段内, INS=630; FSN=2060。

解释:在读入单刚后,检查对角线元素是否大于零,发现某个 A (I, I) 太小,就要出现本错误。

系统反应:停机。

(3) 打印信息:“ELEMENT CAND ERROR, ELEMENT NNMBER= 'I3'。”

位置:在三维八结点元的 BRICK8 (P34) 程序段内, INS=1190; FSN=4003。

解释:该单元的某一张单元卡中的单元号 IN-EL 没有按规定以递增顺序填写而发生此错误。

系统反应:停机。

(4) 打印信息:“ELEMENT CARD ERROR ELEMENT NUMBER= 'I6'。”

位置:在梁元的 TEAM (P320) 程序段内, INS=1550; FSN=780。

解释:在梁元读单元数据卡时,因单元号 INE 出现小于或等于零而发生本错误。

系统反应:停机。

(5) 打印信息:“EQUATION 'I5' (NODE 'I5' D. O. F. I2) HAS NO STIFFNESS CONTINUE IN THE DATA CHECK MODE.”

位置:在 CHECK (P43) 程序段内, INS=880; FSN=2000。

解释:查出某方程号无刚度,把方程号,结点号以及该结点的第几个自由度都打印出来。其可能的原因:①结点座标值填错;②单元的结点编号不对;③单元或结点自动生成时,结点号增量填错;④座标(柱座标、直角座标、极座标)信息前后不协调;⑤结构出现刚体位移等。

系统反应:令 MODEX=1, 程序进行数据检验。

(6) 打印信息:“\* \* ERROR, ANALYSIS, CODE (NDYN= 'I3') IS BAD.”

位置:在 HEDPRT (P112) 程序段内, INS=960; FSN=310。

解释:在读主控卡时,动力分析类型代码 NDYN 应满足  $0 \leq NDYN \leq 5$ , 否则就产生本错误。

系统反应:打印出错后,再检查是否有能力重新启动,如果  $NPLOTS > 0$ , 则停机,否则就把 LL、NF、KDYN、NEQB、NEQ、NBLOCK、MODEX、NUMNP 记入 3" 文件,以备重新启动绘图,然后停机。

(7) 打印信息:“\* \* ERROR, (AT LEAST ONE LOAD CASE IS REQUOTRED).”

位置:在 HEDPRT (P112) 程序段内, INS=800; FSN=300。

解释:主控卡上在静力分析时迁到结构工况数 LL 小于零,即发生本错误。

系统反应:停机。

(8) 打印信息:“ERROR \* \* \* AVERRAGE TEMPERATUHE ( 'F10.2' ) FOR ELFMENT ( 'I5' ) OUT OF RANGE FOR MATERIAL ( 'I3' ).”

位置:在 8~21 结点单元 THDFE (P327) 程序段内, INS=3300; FSN=4030。

解释:在该单元形成平均温度时,插值越外,而程序只准许内插,其原因是热载荷卡有错。

系统反应:停机。

(9) 打印信息:“ERROR \* \* \* AXIS ORIENTATION CARD OUT OF ORDER.”

位置:在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内, INS=880; FSN=4004。

解释:在读该单元材料轴方位卡时,因材料类别号 M 不是以递增顺序填写而发生本错误。

系统反应:停机。

(10) 打印信息:“ERROR \* \* \* BEAN NUMBER 'I5' HAS THE K NODE ON THE BEAN

LOCAL XAXIS.”

位置：在梁元的 TEAM (P320) 程序段内，INS=2280；FSN=770。

解释：在该单元读单元数据卡时，参考结点号 K 取在单元上而发生本错误。

系统反应：令 NODEX=1，继续进行。

(11) 打印信息：“ERROR \* \* \* COMPONENT ('I5') IS ILLEGAL.”

位置：在 STEP 动力求解的 PLOAD (P184) 程序段内，INS=450；FSN=3020。

解释：在逐步积分读随时间变化负荷卡时，自由度号 IC 不满足  $0 < IC < 7$  而发生本错误。

系统反应：停机。

(12) 打印信息：“ERROR \* \* \* DETECTED WHILE PROCESSING MASTER ELEMENT CONTROL CARD '10I5'.”

位置：在 8~21 结点单元的 SOL21 (P280) 程序段内，INS=250, 300, 350, 400, 450；FSN=1001。

解释：在该单元读单元控制卡时，发现如下几种情况①单元总数  $NSOL21 \leq 0$ ，②各材料表中所用最多的温度点数  $NUMAT \leq 0$ ，③描述任一单元的最多结点数  $MAXNOD$  不满足  $8 \leq MAXNOD \leq 21$ ，④自然座标 (r, s) 方向的高斯积分的阶数  $INTRS$  不满足  $2 \leq THRS \leq 4$ ，⑤自然座标 (t) 方向的高斯积分的阶数  $INTT$  不满足  $2 \leq INTT \leq 4$ ，以上各原因都会产生错误。

系统反应：除打印本错误外，还打印相应的错误信息（上述五种之一），然后停机。

(13) 打印信息：“ERROR \* \* \* ELEMENT 'I5' HAS THE K NODE ON THE I-J LINE.”

位置：在伪单元的 SEUD2 (P196) 程序段内，INS=1390；FSN=2090。

解释：在伪单元读单元信息卡时，主轴平面内参考点号 INK 取在伪单元上而发生本错误。

系统反应：停机。

(14) 打印信息：“ERROR \* \* \* ELEMENT 'I5' HAS ZERO LENGTH.”

位置：在伪单元的 PSEUD2 (P196) 程序段内，INS=1200；FSN=2080。

解释：在伪单元读单元信息卡时，单元端点 INI、INJ 填重了就发生本错误。

系统反应：停机。

(15) 打印信息：“ERROR \* \* \* ELEMENT NUMBER 'I5' HAS ZERO LENGTH.”

位置：在梁元的 TEAM (P320) 程序段内，INS=2020，FSN=790。

解释：在该单元读单元数据卡时，结点号 I 和 J 填重了而发生本错误。

系统反应：令 MODEX=1，程序继续进行。

(16) 打印信息：“ERROR \* \* \* ELEMENT NUMBER 'I11' IS BAD.”

位置：在伪单元的 PSEUD2 (P196) 程序段内，INS=880，1000；FSN=2060。

解释：在伪单元读单元信息卡时，单元号 INEL 违反  $0 < INEL \leq NPSEUD$  (伪单元数) 的规定而发生本错误。

系统反应：停机。

(17) 打印信息：“ERROR \* \* \* ELEMENT NUMBER ('I5') IS OUT OF SEQUENCE.”

位置：在 8~21 结点单元的 THDFE (P327) 程序段内，INS=2790；FSN=4022。

解释：在该单元读单元卡时，单元号 M 以非递增顺序填写而发生本错误。

系统反应：停机。

(18) 打印信息：“ERROR \* \* \* ENCOUNTERED ELEMENT ('I5') BUT EXPECT TO READ ELEMENT ONE.”

位置：在 8~21 结点单元 THDFE (P327) 程序段内，INS=1870；FSN=4014。

解释：在 8~21 结点单元读单元卡时，第一张卡片的单元号不等于 1 而发生本错误。

系统反应：停机。

(19) 打印信息：“ERROR \* \* \* F3 AND F1 VECTORS ARE PARALLEL.”

位置：在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内，INS=1190；FSN=4009。

解释：F3 和 F1 向量叉乘时，经检查两向量平行了，这是由于该单元读材料轴方位组的卡片时，结点号 NI、NJ、NK 有错误（详见第 8 类单元的第 C 节的注解 2）。

系统反应：停机。

(20) 打印信息：“ERROR \* \* \* FREQUENCY DATA CUT OF ORDER.”

位置：在动力求解 (NDYN=5) 的 FRESP (P103) 程序段内，INS=1200，1720；FSN=2060。

解释：本章 8.2X、C、2、b 组卡片，出现后面的频率比前面的大，就产生本错误。

系统反应：停机。



(21) 打印信息: "ERROR \* \* \* FUNCTION NUMBER ( '14' ) DOES NOT BEGIN AT TIME ZERO."

位置: 在 STEP 动力求解的 INTHIS (P132) 程序段内, INS=490; FSN=3000。

解释: 在逐步积分动力求解中读函数定义片 C 时 (见前述 X、A、5、C), 违反了第一点时间必须为零的规定而发生本错误 ( $T(1) < 10^{-7}$ )。

系统反应: 停机。

(22) 打印信息: "ERROR \* \* \* FUNCTION REFERENCE ( '15' ) BAD."

位置: 在 STEP 动力求解的 PLOAD (P184) 程序段内, INS=480; FSN=3030。

解释: 在逐步积分动力求解中, 读随时间变化载荷卡片时, 时间函数的序号 IFN 大于不同时间函数的数目 NFN 而发生错误。

系统反应: 停机。

(23) 打印信息: "ERROR \* \* \* ILLEGAL MATERIAL AXTS REFERFECE."

位置: 在 8~21 结点单元的 THDFE (P327) 程序段内, INS=3270; FSN=4018。

解释: 在读第 8 类单元的单元数据卡片时, 材料轴的方位组别号 MAXES 不满足  $MAXES \leq NORTH0$  (不同材料轴方位数据的组数) 而发生本错误。

系统反应: 令  $MODEX=1$ , 程序继续进行。

(24) 打印信息: "ERROR \* \* \* ILLEGAL MATERIAL NUMBER."

位置: 在 8~21 结点单元的 THDFE (P327) 程序段内, INS=2210; FSN=4017。

解释: 在读单元数据卡时, 材料类型号 NMAT 不满足  $1 \leq NMAT \leq NUMMAT$  (不同材料类型总数) 而发生本错误。

系统反应: 令  $MODEX=1$ , 程序继续进行。

(25) 打印信息: "ERROR \* \* \* ILLEGAL OUTPUT SET REFERENCE."

位置: 在 8~21 结点单元的 THDFE (P327) 程序段内, INS=2330; FSN=4019。

解释: 在读单元数据卡时, 应力输出位置组别号 IOP 不满足  $0 < IOP \leq NOPSET$  (见第 8 类单元的控制卡) 而发生本错误。

系统反应: 令  $MODEX=1$ , 程序继续进行。

(26) 打印信息: " \* \* \* ERROR IN READING NODAL TEMPERATURE \* \* \* ". "N = '15'

TEMP = 'E10. 3' "

位置: 在读结点信息的 IMPUTJ (P124) 程序内, INS=1310, FSN=3000。

解释: 如要对结点温度 T (N) 进行修正时, 要读入结点温度修正卡 (见 I A 节), 指明结点号 N 和应修正的温度值 TT, 要求  $1 \leq N \leq NUMNP$ , 否则就产生本错误, 多半为用户笔误。

系统反应: 将发生错误的卡片作废, 继续读下一张卡片。

(27) 打印信息: " \* \* \* ERROR IN SAPMIN \* \* \* THE MAXIMUM MODAL CONNECTIVITY OF '112' EXCEEDS THAT WHICH IS PERMITTED."

位置: 在带宽优化的 SAPMIN (P232) 程序段内, INS=980; FSN=3000。

解释: 与某结点有刚度联系的结点数超过 200 而发生本错误。

系统反应: 此时已无法带宽优化而停机。

(28) 打印信息: " \* \* \* ERROR \* \* \* INPUT MATRIX 'I3' HAS A DIAGONAL TERM LESS THAN THE TOLERANCE AT I = 'I3'."

位置: 在伪单元的 PSEUD2 (P196) 程序段内, INS=690; FSN=2020。

解释: 在读入伪单元的刚度卡片时, 因对角线上的元素值  $S_i < 10^{-30}$  而发生本错误。

系统反应: 打印出矩阵号和行号后, 程序继续运行。

(29) 打印信息: "ERROR \* \* \* INVALID LOAD TYPE."

位置: 在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内, INS=14401; FSN=2012。

解释: 在单元读分布的表面载荷数据的控制卡片 (见第 8 类之 D.a. 卡片) 时, 载荷类型代号 LT 不满足  $0 \leq LT \leq 2$  而发生本错误。

系统反应: 停机。

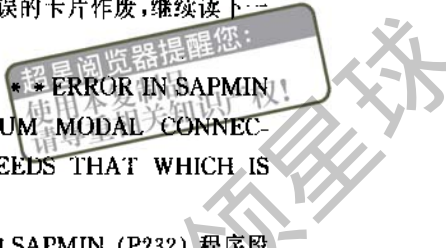
(30) 打印信息: "ERROR \* \* \* INVALID OUTPUT POINT NUMBER = '16'."

位置: 在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内, INS=1790; FSN=4013。

解释: 在读该单元的要求输出应力位置卡 (见第 8 类单元的 E.) 时, 输出点位置号不满足  $1 \leq LOCI \leq 27$  而发生本错误。

系统反应: 令  $MODEX=1$ , 程序继续运行。

(31) 打印信息: "ERROR \* \* \* INVALID





## SURFACE FACE NUMBER.”

位置: 在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段, INS=1400; FSN=4011。

解释: 在该单元分布表面荷载数据的控制卡 a (见第 8 类单元的 D. a) 时, 分布荷载所作用的单元表面号 NFACE 不满足  $1 \leq NFACE \leq 6$  而发生本错误。

系统反应: 停机。

(32) 打印信息: “ERROR \* \* \* IJ AND IK VECTORS ARE PARALLEL.”

位置: 在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内, INS=1150; FSN=4008。

解释: 在向量 IJ 与 IK 叉乘时 (在 CROSS2 程序段内), 两向量平行了, 这是由于读该单元的材料轴的方位组卡片 (见第 8 类单元的 C.) 时, 结点号 NI、NJ、NK 填错, 多举为 NK=NJ 的错误。

系统反应: 停机。

(33) 打印信息: “\* \* \* ERROR LOAD APPLIED TO A CONSTRAINED DOF” “NODE (‘15’) COMPONENT (‘15’)”

位置: 在 STEP 动力求解的 PLOAD (P184) 程序段内, INS=570; FSN=3000。

解释: 在逐步积分中, 读随时间变化荷载卡片 (见第 X 节的 A. 2) 时, 有荷载分量的结点号 NP 不满足  $1 \leq NP \leq \text{NOMNP}$ , 或自由度号 IC 不满足  $1 \leq IC \leq 6$ , 引起  $1D(NP, IC) \leq 0$  而发生本错误。

系统反应: 停机。

(34) 打印信息: “ERROR \* \* \* MATERIAL CARDS OUT OF CRDER.”

位置: 在 8~21 结点单元的信息输入 INP21 (P128) 程序段内, INS=380; FSN=4001。

解释: 在读取该单元与温度有关材料卡片 (见第 8 类单元的 B. a.) 时, 其中材料识别号 M 不是以递增顺序填写而产生本错误。

系统反应: 停机。

(35) 打印信息: “\* \* \* MATRIX SIZE EXCEEDS LIMIT OF 48 \* \* \*”

位置: 在读入单刚单元的 READK (P214) 程序段内, INS=300; FSN=2020。

解释: 在该单元读入单元信息时, 如果单元自由度 ND>48, 则发生本错误。

系统反应: 打印出错后, 程序继续运行。

(36) 打印信息: “ERROR \* \* \* MODULUS E (‘211’) FOR MATERIAL (‘13’) IN ELEMENT

(‘15’) IS ZERO.”

位置: 在 8~21 结点单元 SSLAW (P287) 程序段内, INS=230; FSN=3000。

解释: 在该单元形成 D 矩阵时, 发现弹性模量  $E \leq 10^{-7}$  而产生本错误。

系统反应: 停机。

(37) 打印信息: “\* \* \* ERROR NEG OR ZERO DIAGONAL ELEMENT A (‘14’) = E11.4 BEFORE DECOMPOSITION.”

位置: 求“特征值”问题的 SECNID (P250) 程序段内, INS=430; FSN=1000。

解释: 用行列式搜索法求特征值时, 在求解前检查刚度阵是否正定? 发现对角线上某个元素  $A(I, I), I=1, 2, \dots, \text{NEQ}$ , 出现  $A(I, I) \leq 0$  而发生本错误。此时, 行号和该元素都已打印出来, 用户不难找出其原因。

系统反应: 停机。

(38) 打印信息: “ERROR \* \* \* NEGATIVE OR ZERO JOCOBIAN DETERMINANT COMPUTED FOR ELEMEN (‘15’).” “R= ‘F10. 5’” “S= ‘F10. 5’” “T= ‘F10. 5’”

位置: 在 8~21 结点单元的 FNCT (P95) 程序段内, INS=2490; FSN=2000。

解释: 对已打印出来的 8~21 结点单元在点 (R, S, T) 雅克比行列式  $\text{DET} < 10^{-7}$  即出现本错误。其可能的原因①单元划分不合理, 如该单元用曲面边界时, 因曲面边界的曲率变化过大; ②结点座标有错; ③单元结点号填错; ④结点或单元的自动生成时增量值填错。

系统反应: 停机。

(39) 打印信息: “\* \* \* ERROR NODE (‘15’) IS TOO LARGE.”

位置: 逐步积分 (NDYN=4) 的 INOUT (P120) 程序段内, INS=700; FSN=3010。

解释: 在运用动力分析的逐步积分时, 输出结点位移要求卡片 (见第 X 节的 A. 6. a. (2)) 中规定结点号 NP 应满足  $1 \leq NP \leq \text{NUMNP}$ , 如果  $NP > \text{NUMNP}$  或  $NP < 0$ , 则产生本错误。

系统反应: 停机。

(40) 打印信息: “\* \* \* ERROR NO DYNAMID FUNCTIONS (INPUTS),”

位置: 在 STEP 动力求解程序段内 (P291), INS=410; FSN=3010。

解释: 在逐步积分读控制卡时 (见第 X 节的 A.

超星数字图书馆提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权

1), 发现不同时间函数的数目  $NFN < 1$  而产生本错误。

系统反应: 停机。

(41) 打印信息: “\*\*\* ERROR NODE (‘15’) OUT OF RANGE.”

位置: 在 STEP 动力求解 PLOAD (P184) 程序段内,  $INS=420$ ;  $FSN=3010$ 。

解释: 在逐步积分动力求解中, 读随时间变化载荷卡片 (见第 X 节 A. 2.) 有载荷分量的结点数 NP 时, 出现  $NP \geq NUMNP$ , 而发生本错误。

系统反应: 停机。

(42) 打印信息: “\*\*\* ERROR \*\*\* NOT ENOUGH DATA POINT FOR G LEVEL TABLE.”

位置: 在动力求解 (NDYN = 5) 的 FRESP (P103) 程序段内,  $INS=870, 1060, 1110$ ;  $FSN=2050$ 。

解释: 在频率响应分析中, 因重力加速度 G 对频率的关系的定义 (见第 X 节的 C. 3.), a, b 两卡片不符合规定, 如频率定义点数  $NFMX < 2$  或 a, b 两卡片不匹配均可以产生本错误。

系统反应: 停机。

(43) 打印信息: “\*\*\* ERROR \*\*\* NOT ENOUGH DATA POINTS FOR DAMPING TABLE.”

位置: 动力求解 (NDYN = 5) 的 FRESP (P103) 程序段内,  $INS=1580, 1630$ ;  $FSN=2090$ 。

解释: 在读粘滞阻尼对频率的关系的 b 组卡片 (见第 X 节的 C. 4. b) 时, 要求阻尼系数如  $I > J$ , 则  $G(I) \geq G(J)$ , 否则就产生本错误。

系统反应: 停机。

(44) 打印信息: “ERROR \*\*\* NUMBER OF COORDINATE NODES (‘15’) MUST BE AT LEAST EIGHT.”

位置: 在 8~21 结点单元 (P327) 的程序段内,  $INS=2150$ ;  $FSN=4024$ 。

解释: 在读该单元的单元数据卡 (见第 8 类单元的 G.) 时, 描述单元几何形状的结点数 NXYZ, 违反  $NXYZ \geq 8$  的规定而发生本错误。

系统反应: 令  $MODEX=1$ , 程序继续进行。

(45) 打印信息: “ERROR \*\*\* NUMBER OF COORDINATE NODES (‘15’) MUST BE • LE • NUMBER OF DISPLACEMENT NODES (‘15’).”

位置: 在 8~21 结点单元的 THDFE (P327) 程序段内,  $ISS=2100$ ;  $FSN=4016$ 。

解释: 在 8~21 结点单元读单元数据卡片时, 用于描述单元几何形状的结点数 NXYZ 不满足  $NXYZ \leq NDIS$  (用于描述单元位移场的结点数) 而发生本错误。

系统反应: 令  $MODEX=1$ , 程序继续进行。

(46) 打印信息: “\*\*\* ERROR \*\*\* NUMBER OF DIFFERENT PSEUD2 TYPES = ‘11’.”

位置: 在伪单元的 PSEUD2 (P196) 程序段内,  $INS=280$ ;  $FSN=2000$ 。

解释: 在读伪单元控制卡时, 伪单元刚度 NUMTYP (见第 9 类单元的 A.) 违反  $NUMTYP > 0$  的规定而发生本错误。

系统反应: 停机。

(47) 打印信息: “ERROR \*\*\* NUMBER OF DISPLACEMENT NODES (‘15’) IS LARGE THAN MAXIMUM ALLOWED (‘15’).”

位置: 在 8~21 结点单元的 THDEF (P327) 程序段内,  $INC=2030$ ;  $FSN=4015$ 。

解释: 在读单元数据卡片 (见第 8 类单元的 G.) 时, 用以描述单元位移场的结点数 NDIS 不满足  $NDIS = MAXNOD$  (见第 8 类单元的 A.) 而发生本错误。

系统反应: 停机。

(48) 打印信息: “ERROR \*\*\* NUMBER OF DISPLACEMENT NODES (‘15’) MUST BE AT LEAST EIGHTH.”

位置: 在 8~21 结点单元的 FHDFE (P327) 程序段内,  $INS=2060$ ;  $FSN=4025$ 。

解释: 在读该单元的单元数据卡片时, 描述单元位移场结点数 NDIS 违反了  $NDIS \geq 8$  的规定而发生本错误。

系统反应: 停机。

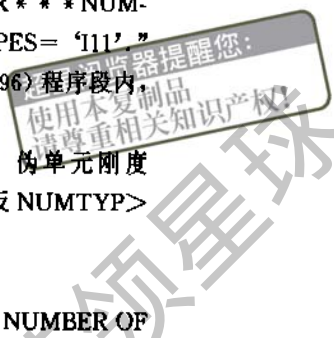
(49) 打印信息: “ERROR \*\*\* NUMBER OF NON-ZERO NODES (‘13’) READ DOES NOT EQUAL THE NUMBER OF DISPLACEMENT NODES (‘13’)”。

位置: 在 8~21 结点单元的 THDFE (P327) 程序段内,  $INS=2730$ ;  $FSN=4025$ 。

解释: 在读该单元的单元数据卡片时, 卡片 2, 3, 与卡片 1 中 NDIS 不匹配而产生本错误, 且多半是  $MAXNOD \geq 8$  时, 单元的结点数不小于 16, 又没有卡片 3 而引起的。

系统反应: 停机。

(50) 打印信息: “ERROR \*\*\* NUMBER OF



TEMPERATURE CARDS EXCEEDS USER MAXIMUM ('14')."

位置: 在8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内, INS=420; FSN=4002。

解释: 在该单元读与温度有关材料卡(见第8类单元的B.)时,要求材料编号NTP 小于或等于最多的温度点数MAXTP, 否则就产生本错误。

系统反应: 停机。

(51) 打印信息: " \* \* \* ERROR \* \* \* ONE OF THE PARAMETERS ON THE FOLLOWING ELEMENT CARD IN ERROR."

位置: 在梁元的 TEAM (P320) 程序段内, INS=1880; FSN=850。

解释: 在梁元读单元数据卡片(见第2类单元的F)时,其中结点号NI、NJ、NK, 材料特性号IMAT, 单元特性号IMEL, 单元载荷工况ILL 等任一参数越界均会发生本错误。

系统反应: 令MODEX=1, 程序继续进行。

(52) 打印信息: " \* \* \* ERROR PREMATURE EXIT FROM \* SFCNTD \* CAUSED BY EITHER OF THE FOLLOWING."

" (1) BAD MODEL BATA OR "

" (2) ROOT CLUSTER (I, E, NEAR) EQUAL OR REPEATED EIGENVALUES ENCOUNTERED AT CURRENT SHIFT"

"CASING STORAGE OVER—LOW"

位置: 在行列式搜索法求解特征对的 SECNTD (P250) 程序段内, INS=2180; FSN=1090。

解释: 用该方法求特征根时, 大部分根已求得, 而在求最后一个根时, 因是重根, 它的个数已超过所要求的NFS 而发生本错误。

系统反应: 舍掉最后一个根, 程序继续进行。

(53) 打印信息: " \* \* \* ERROR PREMATURE EXIT FROM \* SECNTD \* "

" ITERATION ABANDONED FOR ROOT NUMBER = '14' "

" NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED '14' "

位置: 在求特征对的 SECNTD (P250) 程序段内, INS=2130; FSN=1015。

解释: 用行列式搜索法求特征对时, 规定每个特征值的割线法迭代次数上限为60, 如遇到每个根迭代次数超过60 还达不到精度, 就标志找不到子期的根而发生本错误。

系统反应: 程序自动把当前所要求的频率数减1, 然后程序继续进行。

(54) 打印信息: "ERROR \* \* \* PRESSURE LOAD SET ('13') FOR ELEMENT ('15') HAS UNDEFINED HYDROSTATIC SURFACE NORMAL."

位置: 在8~21 结点单元的 FACEPR (P84) 程序段内, INS=970; FSN=3006。

解释: 对于已打印出来的那个单元的表面载荷组, 出现了无定义的流体表面法向力, 其原因可能是①载荷卡片填错, ②单元的表面对力载荷组号填错, 因此找不到对应的流体的载荷。

系统反应: 停机。

(55) 打印信息: "ERROR \* \* \* PRESSURE LOAD SET REFERENCE ('15') IS ILLEGAL."

位置: 在8~21 结点单元 (P327) 的程序段内, INS=2400; FSN=4020。

解释: 在读该单元的单元数据卡片(见第8类单元的7.)时, 单元载荷工况的压力组号<SA、<SB、<SC、<SD, 任一LS (I) 不满足  $0 \leq LS (I) \leq NOPSET$  (在不同单元位置上, 要求应力输出的数据数组) 而发生本错误。

系统反应: 令MODEX=1, 程序继续进行。

(56) 打印信息: " \* \* \* ERROR \* \* \* PSEUDO NUMBER ON INPUT IS OUT OF RANGE N = '111'."

位置: 在伪单元的 PSEUD2 (P196) 程序段内, INS=330; FSN=2110。

解释: 在读伪单元的单刚模式卡片组(见第9类单元的B)时, 单刚模式号N 不满足  $0 \leq N \leq NUMTYP$  (不同的伪单元单刚模式数) 而发生本错误。

系统反应: 停机。

(57) 打印信息: " \* \* \* ERROR ROTATION AXIS = '113' "

位置: 动力求解的 GMTN (P109) 程序段内, INS=380; FSN=3000。

解释: 在响应历程分析时, 读基础旋转卡片(见第X节的A. 3. b) 旋转运动所绕的轴线IAX 应满足  $1 \leq IAX \leq 3$ , 否则就产生本错误, 多半为用户笔误。

系统反应: 停机。

(58) 打印信息: "ERROR \* \* \* SET SUMEBRS MUST BE IN ASCENDING ORDER."

位置: 在8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序

超星阅读器提醒您:  
请尊重相关知识产权!

段内, INS=1360; FSN=4010。

解释: 在该单元的分布表面载荷数据(见第 8 类单元的 4. a.) 的控制卡时, 载荷组别号 N 不是以递增顺序填写而发生本错误。

系统反应: 停机。

(59) 打印信息: “\*\*\* ERROR SOLUTION STOP IN \* BANDET \*” “‘13’ TRTANGULAR FACTORIZATIONS ATTEMPIED” “CURRENT SHIFT= ‘E20.14’”

位置: 在 BANDET (P16) 程序段内, INS= 320; FSN=1000。

解释: 在用行列式搜索法求“特征对”时, 进行三角分解遇到对角线元素为零而发生本错误。

系统反应: 停机。

(60) 打印信息: “\*\*\* ERROR SOLUTION STOP IN \* DECOMP \*” “ZERO PIVOT FOUND DURING FACTORIZATION” “EQUATION NUMBER= ‘15’”

位置: 求解“特征对”时, 在 DECOMP (P53) 程序段内, INS=740; FSN=1000。

解释: 用子空间迭代法求解“特征对”时, 三角分解出现对角线元素为零而发生本错误。所在的方程号已打印出来, 用户不难找出它的原因, 多半为初始迭代向量线性相关了, 也可能由于结构产生刚体位移。

系统反应: 因特征方程的系数矩阵不正定, 故程序无法进行而停机。

(61) 打印信息: “\*\*\* ERROR SOLUTION STOP IN \* EIGSOL \*” “INADMISSIBLE NEGATIVE EIGENVALUE CALCULATED”

位置: 在 EIGSOL (P68) 程序段内, INS=1110; FSN=1090。

解释: 在求特征值而用雅可比法检查求解的收敛性时, 遇到某个特征值为负或零而发生本错误。这说明结构发生刚体位移, 本程序无此功能。

系统反应: 停机。

(62) 打印信息: “\*\*\* ERROR SOLUTION STOP IN \* EIGSOL \*” “NEGATIVE DIAGONAL ELEMENT IN MATRIX BR”。

位置: 求特征值问题的 EIGSOL (P68) 程序段内, INS=650; FSN=1070。

解释: 在子空间用雅可比法求解“特征对”时, 在子空间内的广义特征方程为  $(AR)_{NFXNF} (X)_{NFXNF} = (BR)_{NFXNF}$ , 若某个  $BR (I, I) \leq 0 (I=1, 2, \dots$

$NF)$ , 则发生本错误。

系统反应: 顺次把矩阵 AR 和 BR 各元素都打印出来, 如此时已不满足雅可比求解条件, 可停机。

(63) 打印信息: “\*\*\* ERROR BOLUTION STOPIN \* INVECT \*” “INSUFFICENT NUMBER OF FINITE EIGFVALUES”

位置: 在“特征对”的 INVECT (P133) 程序段内, INS=620; FSN=1000。

解释: 所求解的特征值数目太多, 超过非零的质量数, 产生矛盾, 程序无法求解而打印出本错误。

系统反应: 停机。

(64) 打印信息: “\*\*\* ERROR SOLUTION IN \* JACOBI \*” “CHECK= ‘E20.4’”

位置: 在 JACOBI (P135) 程序段内, INS=400; FSN=1004。

解释: 当  $\left(\frac{k^{(k)}}{2}\right)^2 + K_0^{(k)} \cdot k_0^{(k)} > 0$  不满足时, 就引起本错误, 其原因是投影到子空间后的质量阵 M 不正定了。

系统反应: 停机。

(65) 打印信息: “\*\*\* ERROR SOLUTION STOP IN \* SCHECK \*” “NO EIGENVALUES FOUND”

位置: 在子空间求解特征值问题的 SCHECK (P240) 程序段内, INS=210; FSN=1010。

解释: 表示用子空间迭代求“特征对”时, 一个特征值也没有找到, 多半为不收敛, 即本方法无效。

系统反应: 停机。

(66) 打印信息: “\*\*\* ERORR SOLUTION STOP IN \* SECNTD \*” “(‘12’) FAC-TONIZATIONS PERFORMED IN AN ATTEMPT TO FIND LOWER BOUND ON FIRST EIGENVALUE” “CHECK THE MODE.”

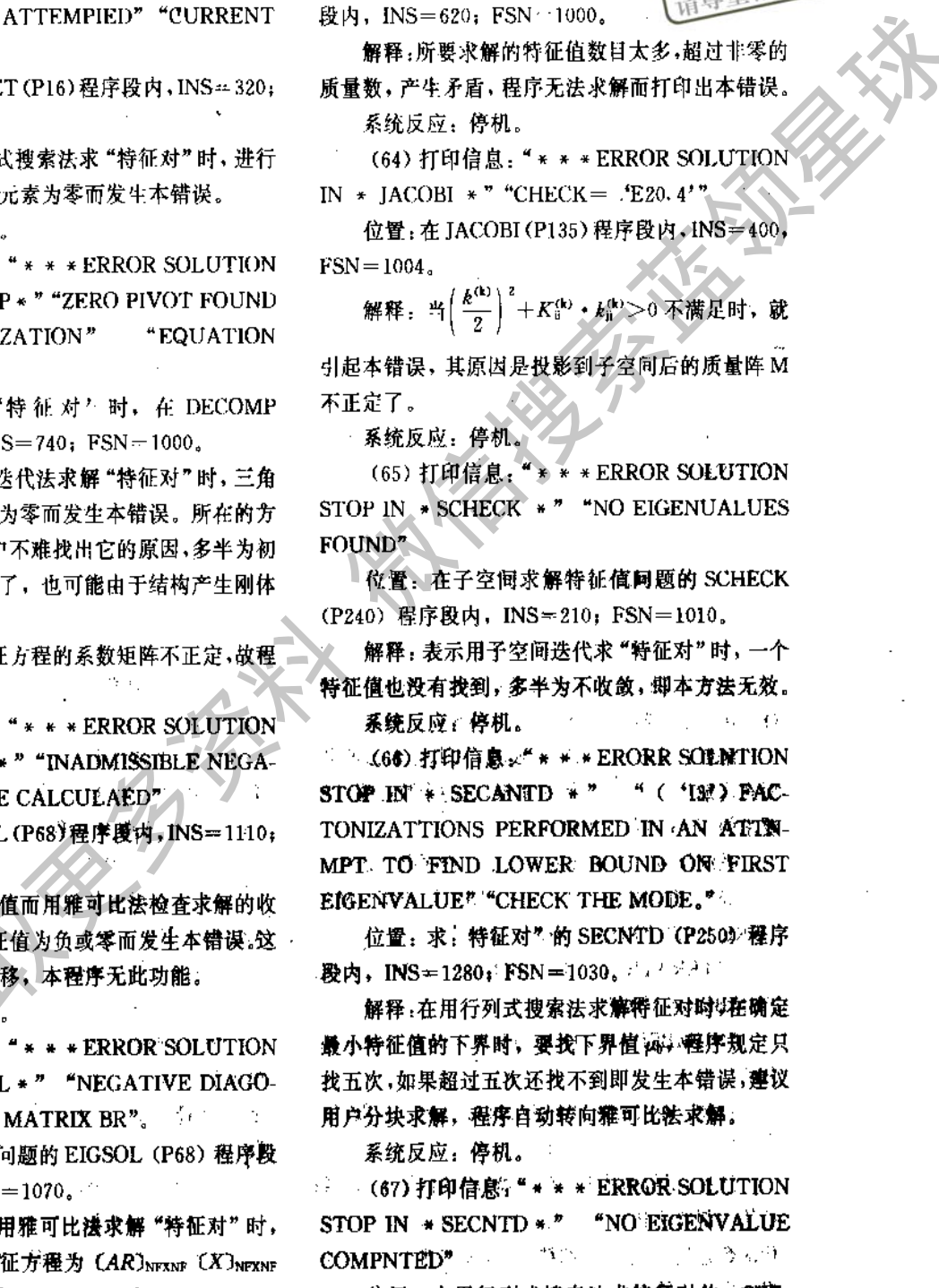
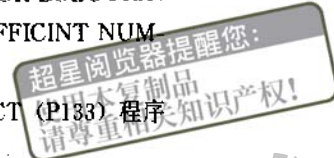
位置: 求“特征对”的 SECNTD (P250) 程序段内, INS=1280; FSN=1030。

解释: 在用行列式搜索法求解特征对时在确定最小特征值的下界时, 要找下界值, 程序规定只找五次, 如果超过五次还找不到即发生本错误, 建议用户分块求解, 程序自动转向雅可比法求解。

系统反应: 停机。

(67) 打印信息: “\*\*\* ERROR SOLUTION STOP IN \* SECNTD \*” “NO EIGENVALUE COMPNTED”

位置: 在用行列式搜索法求特征对的 \* SEC-





NTD (P250) 程序段内, INS=4120; FSN=1180。

解释:表示用行列式搜索法求特征值未找到,说明本方法无效。

系统反应:停机。

(68) 打印信息:“\*\*\* ERROR SOLUTION STOP IN \* SSPCED \*.” “RIGID BODY MODE (S) FOUND.”

“A (‘I5’) = ‘D15.7’ ANORM = ‘D15.7’”

位置:在求“特征对”SSPCEB (P289) 程序段内, INS=320; FSN=1120。

解释:求得的特征值经检查为零,说明因刚体移动而发生本错误。

系统反应:停机。

(69) 打印信息:“\*\*\* ERROR SOLUTION TERMINATED IN \* SECNTD \*” “RIGID BODY MODE (S) FOUND”

位置:求“特征对”的 SECNTD (P250) 程序段内, INS=820; FSN=1009。

解释:用行列式搜索法求解特征对时,得到零特征值,表明结构产生刚体位移而发生本错误。

系统反应:停机。

(70) 打印信息:“\*\*\* ERROR SOLUTION TERMINATED NO FORCES APPLIED TO THE STRUTURE.”

位置:在 STEP 动力求解的 LOADY (P143) 程序段内, INS=450; FSN=3000。

解释:在逐步积分动力求解时,全部自由度里都没有外力,原因是 2# 文件记得不对,或已被冲掉。

系统反应:停机。

(71) 打印信息:“\*\*\* ERROR SOLUTION TERMINATED.” “NUMBER OF NON-ZEKO MASSES REQUIRED= ‘I5’” “NUMBER OF EXISTING MASSES IN THE MODE= ‘I5’”

位置:在求解特征值的 MODES (P152) 程序段内, INS=340, 640; FSN=1010。

解释:非零质量数小于要求的特征值数,无法求解。

系统反应:停机。

(72) 打印信息:“\*\*\* ERROR \*\*\* SUBSCRIPTS ON MATRICES INPUT ARE OUT OF RANGE” “I=I11” “S= ‘I11’”

位置:在伪单元的 PSEUD2 (P196) 程序段内, INS=400, 440, 480; FSN=2010。

解释:在伪单元读单刚模式卡片(见第 9 类单元的 B.) 时,行号 IK>12, 列号 JK>12 或 IK>JK, 即单刚不是以上三角阵给出,而发生本错误。

系统反应:略去对应的单刚元素值 Si, 程序继续进行。

(73) 打印信息:“ERROR \*\*\* TEMPERATURE MUST BE INPUT IN ASCENDING ORDER.”

位置:在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内, INS=580; FSN=4003。

解释:在该单元读材料特性 B 组卡片时,因温度 TN 不是以递增顺序填写而发生本错误。

系统反应:停机。

(74) 打印信息:“\*\*\* ERROR \*\*\* THE ELEMENT PROPERTY NUMBER ‘I10’ IS OUT OF THE ALLOWABL RANGE.”

“IT HAS BEEN RESET TO ‘I5’.”

位置:在梁元的 TEAM (P320) 程序段内, INS=950; FSN=830。

解释:在梁元读几何特性卡片(见第 2 类单元的 C.) 时,几何特性号 N 不满足  $0 < N \leq \text{NUMETP}$  (单元几何特性卡总数) 而发生本错误。

系统反应:令 MODEX=1, 程序继续进行。

(75) 打印信息:“\*\*\* ERROR \*\*\* THE FIXED END FORCE SET NUMBER ‘I10’ IT HAS BEEN, RESET TO ‘I5’”

位置:在梁元的 TEAM (P320) 程序段内, INS=1280; FSN=840。

解释:在梁元读固端力卡片(见第 2 类单元的 E.) 时,固端力作用结点号 N 不满足  $0 < N \leq \text{NUMFIX}$  (固端力组数) 而发生本错误。

系统反应:令 MODEX=1, 程序继续进行。

(76) 打印信息:“\*\*\* ERROR \*\*\* THE MATERIAL NUMBER ‘I10’ IS ONT OF THE LLOWABLE RANGE”

“IT HAS BEEN RESET TO ‘I5’”

位置:在梁元的 TEAM (P320) 程序段内, INS=700; FSN=810。

解释:在梁元读材料特性卡片(见第 2 类单元的 B.) 时,材料类别号 N 不满足  $0 < N \leq \text{NUMMAT}$  (材料总数) 而发生本错误。

系统反应:停机。

(77) 打印信息:“\*\*\* ERROR \*\*\* THE MAXIMUM NODAL CONNECTION OF ‘I5’ EX-

CESSIVE, PLOTTING IS TERMINATED”

位置:在绘图的 SAPLOT (P228) 程序段内,INS=890; FSN=3010。

解释:在绘图中建立结点连结阵 IA (NUMN, MAXCON) 时,其中 MAXCON 表示某结点总共有多少个结点与其连结,要求 MAXCON ≤ 200, 否则就产生本错误。

系统反应:停止绘图,程序继续进行。

(78) 打印信息:“ERROR \* \* \* THE ‘I2’ THE ELEMENT NODE ( ‘I5’) IS OUT OF SEQUENCE”

位置:在 8~21 结点单元的 THDFE (P327) 程序段内,INS=2550, 2670; FSN=4021。

解释:在该单元读单元数据卡片时,单元结点编号 NOD (I) 不满足  $1 \leq NOD (I) \leq 21 (I=1, 2, \dots, 21)$  就发生本错误。

系统反应:停机。

(79) 打印信息:“\* \* \* ERROR \* \* \* THE STRESS - STRAIN MATRIX MUST BE POSITIVE.”

“CONTINUE IN THE DATA CHECK MODE”

位置:在平面单元的 PSSINV (P188) 程序段内,INS=290, FSN=2000。

解释:在平面单元求应力、应变阵的逆阵时,检查其对角线元素 A (N, N), 发现 A (N, N) = 0 而发生本错误。

系统反应:令 MODEX=1, 程序继续进行。

(80) 打印信息:“\* \* \* ERROR \* \* \* THERE MUST BE AT LEAST ONE ELEMENT PROPERTY”

位置:在梁元的 TEAM (P320) 程序段内,INS=840; FSN=870。

解释:在梁元读单元控制卡片时,单元几何特性总数 NUMTY 不满足  $MUMTP \geq 1$  而发生本错误。

系统反应:令 MODEX=1, 程序继续进行。

(81) 打印信息:“\* \* \* ERROR \* \* \* THERE MUST BE AT LEAST ONE MATERIAL TYPE”

位置:在梁元的 TEAM (P320) 程序段内,INS=560; FSN=860。

解释:在梁元读单元控制卡片时,材料特性卡片数 NUMAT 不满足  $NUMAT > 1$  而发生本错误。

系统反应:令 MODEX=1, 程序继续进行。

(82) 打印信息:“\* \* \* ERROR TIME

POINTS OUT OF ORDER”

位置:在 HISTRY 动力求解的 LOAD2 (P146) 程序段内,INS=960; FSN=2003。

解释:在强迫响应功能块读时间函数定义卡片(见第 X 节 A. 5. C) C 时,时间点 T (I) 没有满足  $T (I) < T (I+1)$  而发生本错误。

系统反应:停机。

(83) 打印信息:“ERROR \* \* \* UNDEFINED NODE NUMBER = ‘I5’”

位置:在 8~21 结点单元的 INP21 (P123) 程序段内,INS=930; FSN=4005。

解释:在该单元读材料方位组卡片(见第 8 类单元的 C.) 时,结点号 NI, NJ, NK 中任一个小于等于零或大于结点总数 NUMNP, 都会发生本错误。

系统反应:停机。

(84) 打印信息:“ERROR \* \* \* UNDEFINED NORMAL IN FACE ( ‘I1’) FOR ELEMENT ( ‘I5’)”

位置:在 8~21 结点单元的 FACEPR (P84) 程序段内,INS=1570; FSN=3010。

解释:在该单元计算面力时,发现单元数据卡片中的单元载荷模式的压力组别号 <SA、<SB、<SC、<SD, 大于不同分布载荷(压力)的组数产生本错误。

系统反应:停机。

(85) 打印信息:“ERROR \* \* \* VECTOR IJ HAS ZERO LENGTH”

位置:在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内,INS=1070; FSN=4006。

解释:在该单元读材料轴的方位组卡片(见第 8 类单元的 3.) 时,结点号 NI 和 NJ 填重了而发生本错误。

系统反应:停机。

(86) 打印信息:“ERROR \* \* \* VECTOR IK HAS ZERO LENGTH”

位置:在 8~21 结点单元的 INP21 (P128) 程序段内,INS=1110; FSN=4007。

解释:在该单元读材料轴的方位组卡片时,结点号 NI 和 NJ 填重了,则发生本错误。

系统反应:停机。

(87) 打印信息:“\* \* \* ERROR ZERO OR NEGATIVE TIME DIFFERENCE BETWEEN POINTS ( ‘I3’) AND ( ‘I3’)”

“FUNCTIONS NUMBER ( ‘I3’)”



1

5



位置:在逐步积分的LOADV(P143)程序段内,INS=1000;FSN=3010。

解释:对于已打印出来的那个函数两点之间的距离为负或零( $T(I+1) \geq T(I)$ )而产生本错误。

系统反应:停机。

(88) 打印信息:“\*\*\*ERROR ZERO TIME STEP”

位置:在ADDSTF(P12)程序段内,INS=500;FSN=3000。

解释:在动力分析中使用逐步积分(NDYN=4)时,读控制卡(见第X节的1.)上的求解时间步长参数DT,如遇到 $DT \leq 10^{-11}$ ,就发生本错误。

系统反应:停机。

(89) 打印信息:“\*\*\*FATAL ERROR \*\*\* AVAILABLE CORE IS INADAQUATE REQUIRED MTOT = 'I10'”

“CONTINUE IN THE DATA CHECK MODE”

位置:在MAIN(P1)程序段内,INS=1530,2030,FSN=2030。

解释:致命的错误。静力计算组装右端时,由于工况数(LL)过多;动力计算时,由于所求的频率数(NF)过多;刚度阵带宽过大等原因,致使赋值所需的内存超过允许范围造成的。建议用户减少工况数LL(分批计算也行)或频率数NF,否则程序把A数组再开大些。

系统反应:令MODEX=1,程序继续进行。

(90) 打印信息:“\*\*\*FATAL ERROR \*\*\* AVATLABLE CORE IS TOO SMALL FOR PLOTTING, REQUIRED MTOT = 'I10'”

“CONTINUE IN THE DATA CHECK MODE”

位置:在MAIN(P1)程序段内,INS=1500,1990;FSN=2020。

解释:致命的错误。对绘图(无论绘原结构图,还是绘变形图或振型图)来说,可利用的内存太小,此时所需要的容量已打印出来,因为绘图时要建立结点连结阵,所需要的容量为 $20 * \text{NUMNP}$ (结点总数),比不绘图需要更大的A数组。建议用户不绘图仍可计算原题目,如果一定要绘图,则应减少工况数或使程序把A数组再开大些。

系统反应:令MODEX=1,程序继续进行。

(91) 打印信息:“\*\*\*FATAL ERROR \*\*\*”

“AVAILABLE STORAGE EXEDED BY 'I10'”

位置:在HISTRY动力求解的LOAD2(P146)程序段内,INS=820;FSN=2020。

解释:在该功能块读时间函数卡片(见第X节的A.5)时,函数定义点数NLP太多,超过容量所允许的范围。建议用户减少NLP。

系统反应:停机。

(92) 打印信息:“\*\*\*FATAL ERROR \*\*\* LOAD NUMBER 'I10' IS GREATER THAN THE MAXIMUN 'I10'”

“CONTINUE IN DATA CHECK MODE”

位置:在INL(P119)程序段内,INS=640;FSN=3000。

解释:静力分析读集中载荷或动力分析读集中质量卡片(见第V节)时,遇到结构载荷工况号L>LL(结构载荷工况数)就发生本错误。

系统反应:令MODEX=1,程序继续进行。

(93) 打印信息:“\*\*\*FATAL ERROR \*\*\* NODE NUMER 'I10' IS GREATER THAN THE NAXIMUM NUMBER OF NODES 'I10' IN DATA CHECK MODE”

位置:在INL(P119)程序段内,INS=390,670,FSN=810。

解释:在读集中载荷(质量)卡片时,结点号N大于结点总数NUMNP而发生本错误。

系统反应:令MODEX=1,程序继续进行。

(94) 打印信息:“\*\*\*FATAL ERROR \*\*\* NON-POSIFIVE AREA HAS BEEN COMPUTED FOR THE NEXT ELEMENT”

“CONTINUE IN THE DATA CHECK MODE”

位置:在板单元的TDCOS(P319)程序段内,INS=250;FSN=2000。

解释:在板元计算三角形方向余弦时,发现面积为零,其可能的原因为①结点座标错了,②单元结点号错了,③结点或单元自动生成时增量错了。

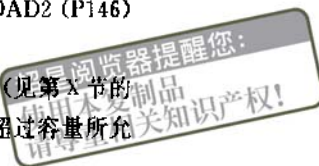
系统反应:令MODEX=1,程序继续进行。

(95) 打印信息:“\*\*\*FATAL ERROR \*\*\*”

“REQUIRED BLANK COMMON = 'I10'”

位置:在ERROR(P84)程序段内,INS=80;FSN=2010。

解释:对内存需要预估的各程序段(即主控制程



序和分控程序段)都转入 ERROR 程序段,如遇内存不够就打印本错误。用户可以减少结点总数和工况数。

系统反应: 停机。

(96) 打印信息: "ILLEGAL INPUT" "NODE '15' DOF '15'"

位置: 在动力求解的 LOAD1 (P145) 程序段内, INS=380; FSN=3000。

解释: 在强迫动力响应分析中,读随时间变化载荷卡片(见第 X 节的 A. 2.) 时,出现有载荷分量的结点号 NP>NUMNP(结点总数)或自由度号 IC 不满足  $1 \leq IC \leq 6$ , 均发生本错误。

系统反应: 停机

(97) 打印信息: "STOP ZERO PIVOT ENCOUNTERED AT EQUATION ( '15' )"

位置: 在 STEP 动力求解的 TRIFAC (P350) 程序段内, INS=840; FSN=1000。

解释: 在逐步积分动力求解中,对总刚度阵进行三角分解时遇到对角线元素为零而发生本错误。

系统反应: 停机。

(98) 打印信息: "STOP \* \* \* ZERO DIAGONAL ENCOUNTERED DURING EQUATION SOLUTION" "EQUATION NUMBER= '16'"

位置: 在静力求解的 SESOL (P260) 程序段内, INS=690, 910; FSN=1000。

解释: 在静力求解中,遇到总刚度阵不正定了,也就是  $A(N, N) = 0$ , 其中  $N=1, 2, \dots, NEQ$  而发生本错误。

系统反应: 停机。

(99) 打印信息: "THE BANDWIDTH MINIMIZER FAILED TO REDUCE THE BANDWIDTH" "CONTINUE USING ORIGINAL BANDWIDTH"

位置: 带宽优化 SAPMIN (P232) 程序段内, INS=1330; FSN=3020。

解释: 表示带宽优化后,新的带宽比原来的带宽还大了,即带宽优化失败。

系统反应: 仍按原带宽计算。

(100) 打印信息: " \* \* \* WARNING , ESTIMATS OF STORAGE FOR DYNAMIC ANALYSIS EXCEEDS AVAILABLE CORE"

"REQUIRED MTOT= '110'"

位置: 在 MAIN (P1) 程序段内, INS=2400, 2430; FSN=320。

解释: 警告性错误。在逐步积分时,对存贮量的予估超过可利用的内存,所需要的存贮量已打印出来,建议用户修改求解时间的总步数 NT 和求解时间步长 DT。

系统反应: 在宽行打印机上印出错误信息后,程序继续进行。

(101) 打印信息: "WARNING \* \* \* NEGATIVE DIAGONAL ENCOUNTERED DURING EQUATION SOLUTION"

"EQUATION NUMBER= '16' VALUE= 'D20.8'"

位置: 在静力求解的 SESOL (P260) 程序段内, INS=720, 940; FSN=1010。

解释: 在静力求解中,遇到总刚度阵不正定了,即出现  $A(N, N) < 0, N=1, 2, \dots, NEQ$ , 就产生本错误。

系统反应: 继续求解。

(102) 打印信息: "WARNING NEGATIVE PIVOT ENCOUNTERED DURING MATRIX DECOMPOSITION AT EQUATION NUMBER ( '15' )"

位置: 在 STEP 动力求解的 TRIFAC (P350) 程序段内, INS=870; FSN=1010。

解释: 在逐步积分动力求解中,对总刚度阵进行三角分解时,遇到对角线元素为负值而发生本错误。

系统反应: 打印警告性信息后,程序继续进行。

(103) 打印信息: "WARNING—MAXIMUM NODAL CONNECTION INCREASED TO '13'"

位置: 带宽优化的 SAPMIN (P232) 程序段内, INS=960; FSN=3010。

解释: 表示带宽优化与其结点有刚度联系的结点个 MAXCON 要增加(初值令 MAXCON=40), 每次增加 2, 并打印此警告信息。

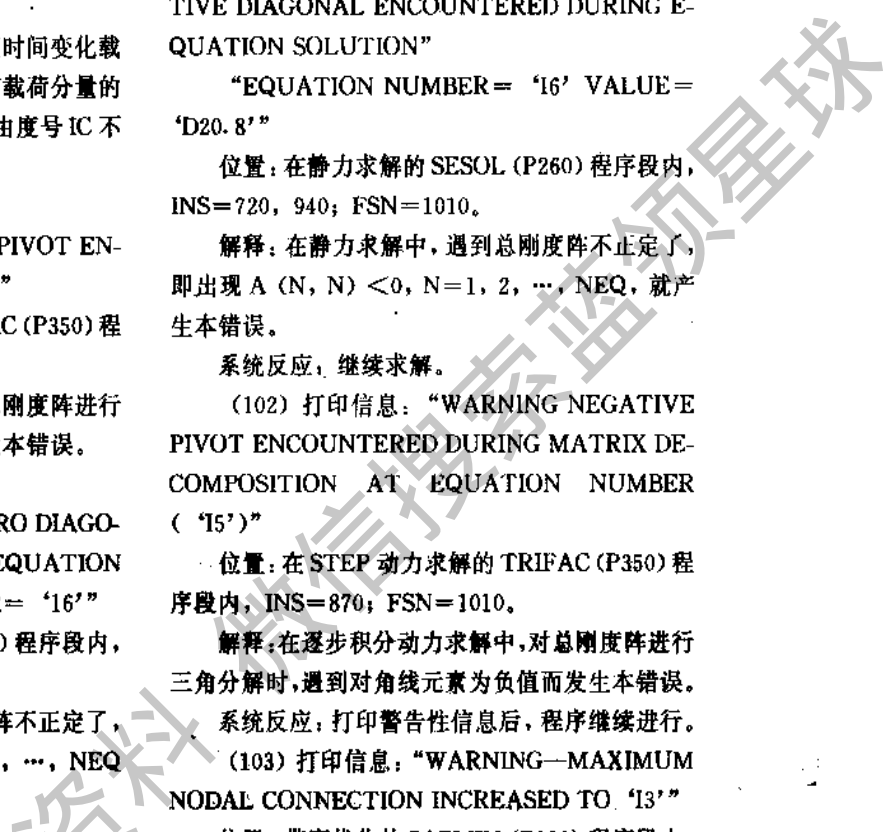
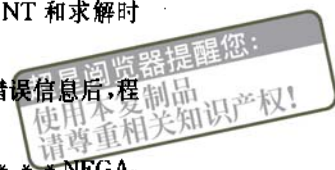
系统反应: 打印警告信息扩大联结阵后,程序继续进行。

(104) 打印信息: " \* \* \* WARNING \* \* \* THE AVATLABLE BLANK COMMONT (MTOT) IS TOO SMALL"

"COMPUTED NO OF EQUATIONS PER BLOCK= '110'"

"PROCEED IN THE DATA CHECK MODE WITH NEQB=2"

位置: 在 MAIN 程序段内 (P1), INS=2470; FSN=2010。



解释：可利用的工作区（即 A 数组）太小，根据计算应分块求解，而 A 数组只允许存放一个方程，同时方程总数为  $NEQ \geq 3$  就产生本错误。其原因就是带宽特别大，或工况过多引起的。此时，程序把 A 数组再开大一些，或用户重编结构的结点号和减少工况数也许能够计算。

系统反应：令  $NEQB=2$ ，重新计算  $NBLOCK=(NEQ-1)/(NEQB+1)$ ，并令  $MODEX=1$ ，程序继续进行。

(105) 打印信息：“\*\*\*WARNING\*\*\*  
THE MAXIMUM NODAL CONNECTION HAS BEEN RESET TO '15'”

位置：在绘图 SAPLOT(P228) 程序段内， $INS=860$ ； $FSN=3000$ 。

解释：在绘图时建立结点连接阵 IA (NUMNP, MAXCON)，令  $MAXCON=20$ ，如不够，每次加五，并打印本警告信息。

系统反应：程序打印警告信息后，扩大 IA 数组继续进行。

### 8.4 SAP-5 程序的计算例题

例 1 箱形梁的尺寸如图 30-62 所示，壁厚  $t=0.3\text{cm}$ ，弹性模量  $E=2.1 \times 10^4 \text{kN/cm}^2$ ，泊松比  $\nu=0.3$ ，梁的左端固定，右端受有总扭矩  $M_x=3\text{kNcm}$ 。

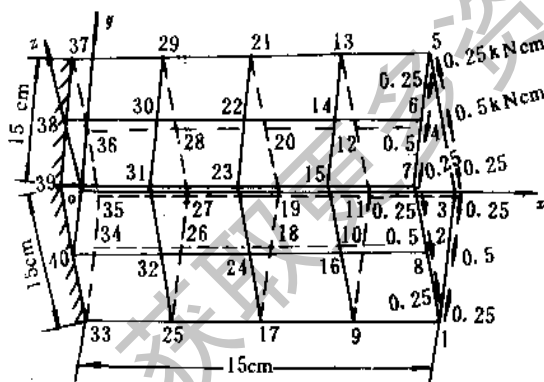


图 30-62 箱形悬臂梁离散化图形

可把图 30-62 示的箱形梁看成由位于空间的平面组合而成，用 SAP-5 程序中的第 3 类单元（平面应力薄膜单元）计算。把箱形梁划分成 40 个结点和 32 个单元，每个结点有 3 个自由度，左端面上结点号 33~40 因是悬臂梁，其每个结点的三个自由度全部约束。总体坐标系如图 30-62 所示。

在单元划分时，就考虑有利于结点号自动生成，而在 x 轴方向采用等距离划分。因此，结点号可按截面依次编排，在结点 1~33, 2~34, 3~35, ..., 8~40 之间都可自动生成，生成的增量都是 8。

本例题不考虑温度影响，材料特性不随温度变化，故可不填结点温度。

单元卡片可分为单元控制卡、材料特性卡、载荷模式因子卡和单元数据卡。

单元控制卡一张，其中单元类型数为 3，单元总数为 32，只有一种材料和一种温度。

本例题各单元采用同一材料且各向同性，材料特性不随温度变化，故应有三张卡片，但因本例题不计温度力，不必填热膨胀系数，故三张卡片中的最后一张应是空白卡片。

因为本例题没有单元载荷，故单元载荷模式因子卡应为四张空白卡片。

单元数据卡中的单元信息填写，要考虑利用现有结点编号特点，形成单元自动生成条件。图 30-62 中的单元组①~⑦、⑨~⑮、⑰~⑲、⑳~㉑符合单元自动生成条件，生成增量为 1，单元①、②、③、④的四个结点号按顺时针方向排列，而单元⑤、⑥、⑦要按逆时针方向排列，其余各单元组也类似。只输出单元形心的应力。

集中载荷卡片要求每一个受载结点、每一受载工况填写一张卡片。本例已将箱形梁右端所承受的扭矩等效移置到梁右端 1、2、...8 结点上，故有 8 个结点受集中力，一种工况。结点 1、3、5、7 受有 y、z 两个方向的集中力；结点 2、6 受有 y 向集中力，结点 4、8 受有 z 向集中力。沿座标轴方向的集中力取正值。集中力卡后面应有一张空白卡，表示集中力信息输入结束。

因本例题中不承受单元载荷，故结构载荷工况因子卡上 A、B、C、D 四种模式因子都填零，即只输入一张空白卡片。

根据以上分析，可组成箱形悬臂梁的如下有限元计算输入数据卡片表（数据行表）。

计算机提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

新米网 www.xinmi.com

列 卡片号	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
1			TOR	SION	OF	A	SQU	ARE	BOX	BEAM							
2	40	1	1														
3	1				-1	-1	-1		150		-7.5		-7.5				
4	33	1	1	1							-7.5		-7.5	8			
5	2			1					150				-7.5				
6	24	1	1	1									-7.5	8			
7	3								150		7.5		-7.5				
8	35	1	1	1							7.5		-7.5	8			
9	4		1						150		7.5						
10	36	1	1	1							7.5			8			
11	5								150		7.5		7.5				
12	37	1	1	1							7.5		7.5	8			
13	6			1					150				7.5				
14	38	1	1	1									7.5	8			
15	7								150		-7.5		7.5				
16	39	1	1	1							-7.5		7.5	8			
17	8		1						150		-7.5						
18	40	1	1	1	1	1	1				-7.5			8			
19	3	32	1	1													
20	1																
21				2.1E4		2.1E4		2.1E4		0.3		0.3		0.3		876.92	
22																	
23																	
24		空白卡片五张															
25																	
26																	
27	1	10	2	1	9	1										0.3	
28	7	16	8	7	15	1						1				0.3	
29	8	9	1	8	16	1										0.3	
30	9	18	10	9	17	1										0.3	
31	15	24	16	15	23	1						1				0.3	
32	16	17	9	16	24	1										0.3	
33	17	26	18	17	25	1										0.3	
34	23	32	24	23	31	1						1				0.3	
35	24	25	17	24	32	1										0.3	
36	25	34	26	25	33	1										0.3	
37	31	40	32	31	39	1						1				0.3	
38	32	33	25	32	40	1										0.3	
39	1	1				.25		-2.5									
40	2	1				.5											
41	3	1				.25		.25									
42	4	1						.5									
43	5	1						.25									
44	6	1						-5									
45	7	1						-25									
46	8	1						-5									
47		两张空白卡片															
48																	

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜素 蓝领星球

至此,本例题的输入数据卡片全部填写完毕。经计算机计算,可得各结点的位移和各单元形心处的应力(略去)。

例2 液压圆锥破碎机的横梁承受着从破碎圆锥主轴上轴径传来的分布外力 $q$ ;横梁中心孔两边的工字型梁是主要受力部件,而横梁框架法兰与中部机架用螺栓紧固。由于中部机架刚度很大,可认为

横梁框架与中部机架固为一体,故可把横梁简化成两端固结,中心孔受有分布外力 $q$ 的力学模型,如图30-63所示。

由于横梁结构和中心孔受力均对称于 $y$ 轴,可取横梁的左半部分划分成442个结点,105个8-21结点三维单元(第8类单元),见图30-64。

浏览器提醒您:  
请勿复制  
请尊重相关知识产权!

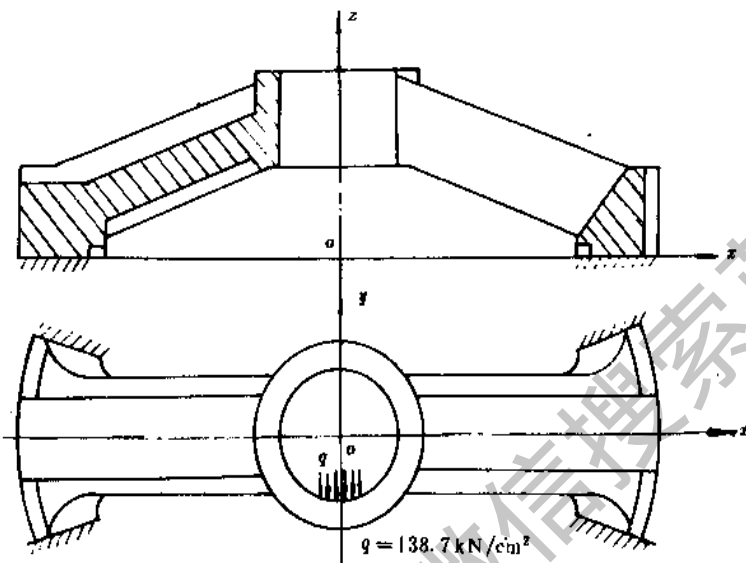


图 30-63 横梁的力学模型

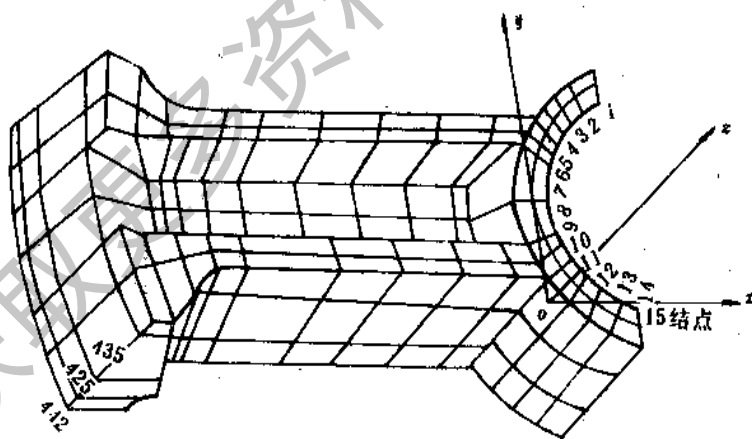


图 30-64 横梁左端离散化图形

主轴上轴径传给横梁中心孔的分布外载荷 $q$ ,按静力等效原理换算成单元⑦、⑭、⑰第4面上四个结点的垂直压强。

横梁的材料为ZG35,它的弹性模量 $E=2.06 \times 10^4 \text{N/cm}^2$ ,泊松比 $\nu=0.3$ ,属于各向同性体。

根据横梁的上述条件,可运用本章8.2给出的



SAP-5 程序的数据文件编写方法, 对横梁进行有限元计算的输入数据编写如下:

I、主控制卡片: 一张

1、标题卡片: 略去

1~5 列	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	41~80 列
442	1	1	0	0	0	0	0	以下全部零

II、结点数据卡片

1 列	2~5 列	6	7~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~45	46~55	56~65	66~70	71~80
空白	1	空白	1	0	1	-1	-1	-1	0.0	16.9	39.9	0	0.0
	2		0	0	0				-4.8	16.2	39.9	0	0.0
	3		0	0	0				-9.6	14.1	39.9	0	0.0
	4		0	0	0				-13.8	10.2	39.9	0	0.0
	5		0	0	0				-15.9	6.0	39.9	0	0.0
	6		0	0	0				-16.2	4.8	39.9	0	0.0
	7		0	0	0				-16.5	3.9	39.9	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	15		1	0	1				0.0	-16.98	39.9	0	0.0
	16		1	0	1				0.0	16.98	29.4	0	0.0
	17		0	0	0				-4.8	16.2	29.4	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	31		1	0	1				0.0	25.5	52.8	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	45		1	0	1				0.0	-25.5	50.4	0	0.0
	46		1	0	1				0.0	25.5	50.4	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	60		1	0	1				0.0	-25.5	50.4	0	0.0
	61		1	0	1				0.0	25.5	45.0	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	75		1	0	1				0.0	-25.5	45.0	0	0.0
	76		1	0	1				0.0	25.5	39.84	0	0.0
	77		0	0	0				-7.2	24.6	39.84	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	90		1	0	1				0.0	-25.5	39.84	0	0.0
	91		1	0	1				0.0	25.5	29.4	0	0.0
	92		0	0	0				-7.2	24.6	29.4	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	105		1	0	1				0.0	-25.5	29.4	0	0.0
	106		1	0	1				0.0	34.2	52.8	0	0.0
	107		0	0	0				-9.6	32.4	52.8	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	120		1	0	1				0.0	-34.2	52.8	0	0.0
	121		1	0	1				0.0	34.2	50.4	0	0.0
	122		0	0	0				-9.6	32.4	50.4	0	0.0
	∴		∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
	135		1	0	1				0.0	-34.2	50.4	0	0.0

超星浏览器提醒您:  
 请尊重相关知识产权!

超星数字图书馆



续表

1 列	2~5 列	6	7~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~45	46~55	56~65	66~70	71~80
	136		1	0	1				0.0	34.2	45.0	0	0.0
	137		0	0	0				-9.6	32.4	45.0	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	150		1	0	1				0.0	-34.2	45.0	0	0.0
	151		1	0	1				0.0	34.2	39.84	0	0.0
	152		0	0	0				-9.6	32.4	39.84	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	165		1	0	1				0.0	-34.2	39.84	0	0.0
	166		1	0	1				0.0	34.2	29.4	0	0.0
	167		0	0	0				-9.6	32.4	29.4	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	180		1	0	1				0.0	-34.2	29.4	0	0.0
	181		0	0	0				-31.8	12.0	34.8	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	328		1	1	1				-102.6	12.0	5.7	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	334		1	1	1				-102.6	-12.0	5.7	0	0.0
	335		1	1	1				-102.6	12.0	0.0	0	0.0
	336		0	0	0				-102.6	9.9	0.0	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	341		1	1	1				-102.6	-12.0	0.0	0	0.0
	342		1	1	1				-89.7	12.0	5.7	0	0.0
	343		0	0	0				-89.7	9.9	5.7	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	348		1	1	1				-89.7	-12.0	5.7	0	0.0
	349		1	1	1				-93.0	12.0	0.0	0	0.0
	350		0	0	0				93.0	9.9	0.0	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	355		1	1	1				-93.0	-12.0	0.0	0	0.0
	356		0	0	0				-108.0	12.0	18.9	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	369		1	1	1				-108.0	12.0	5.7	0	0.0
	370		0	0	0				-108.0	9.9	5.7	0	0.0
	:		:	:	:				:	:	:	:	:
	375		1	1	1				-108.0	-12.0	5.7	0	0.0
	376		1	1	1				-108.0	12.0	0.0	0	0.0

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

资料星球

续表

1 列	2~5 列	6	7~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~45	46~55	56~65	66~70	71~80
377			0	0	0				-108.0	9.9	0.0	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
382			1	1	1				-108.0	-12.0	0.0	0	0.0
383			1	1	1				-111.9	17.1	21.0	0	0.0
384			0	0	0				-112.6	12.3	21.0	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
389			1	1	1				-111.9	-17.1	21.0	0	0.0
390			1	1	1				-111.9	17.1	16.0	0	0.0
391			0	0	0				-112.6	12.3	16.5	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
396			1	1	1				-111.9	-17.1	16.5	0	0.0
397			-1	1	1				-111.9	17.1	14.1	0	0.0
398			0	0	0				-112.6	12.3	14.1	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
403			1	1	1				-111.9	-17.1	14.1	0	0.0
404			1	1	1				-111.9	17.1	7.5	0	0.0
405			0	0	0				-112.92	7.8	7.5	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
414			1	1	1				-111.9	-17.1	0.0	0	0.0
415			1	1	1				-117.3	17.1	21.0	0	0.0
416			0	0	0				-117.9	12.3	21.0	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
421			1	1	1				-117.3	-17.1	21.0	0	0.0
422			1	1	1				-117.3	17.1	16.5	0	0.0
423			0	0	0				-117.9	12.3	16.5	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
428			1	1	1				-117.3	-17.1	16.5	0	0.0
429			1	1	1				-117.3	17.1	14.1	0	0.0
430			0	0	0				-117.9	12.3	14.1	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
435			1	1	1				-117.3	-17.1	14.1	0	0.0
436			1	1	1				-117.3	17.1	5.7	0	0.0
437			0	0	0				-117.9	12.3	5.7	0	0.0
∴			∴	∴	∴				∴	∴	∴	∴	∴
442			1	1	1	1	1	1	-117.3	-17.1	5.7	0	0.0

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

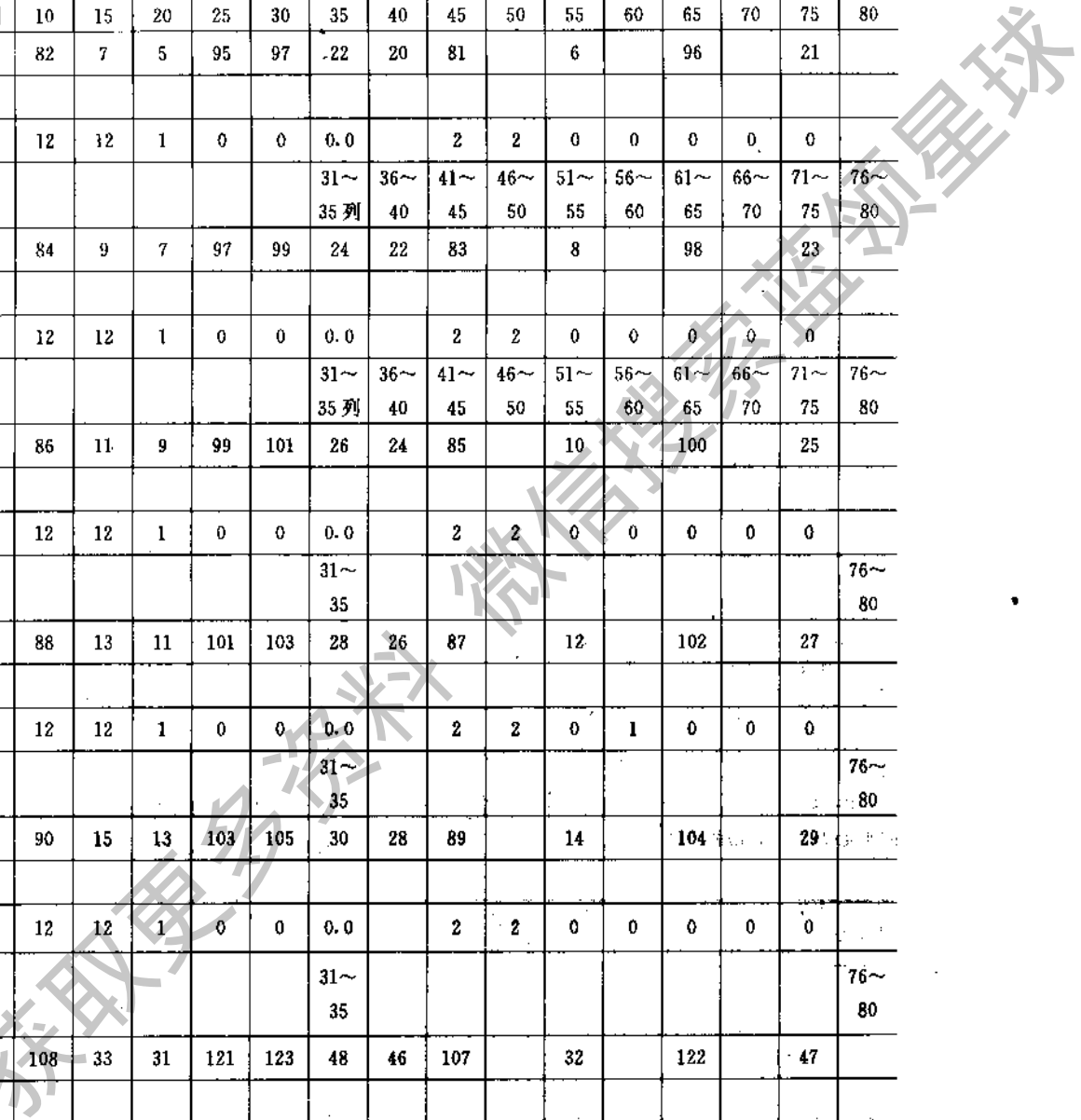
超星数字图书馆



续表

卡片号	1~ 5 列	6~ 10	11~ 15	16~ 20	21~ 25	26~ 30	31~ 40	41~ 45	46~ 50	51~ 55	56~ 60	61~ 62	63~ 64	65~ 66	67~ 68	
2	78	80	5	3	93	95	20	18	79		4		94			
3																
1	3	12	12	1	0	0	0.0		2	2	0	0	0	0	0	
	1~ 5 列	6~ 10	11~ 15	16~ 20	21~ 25	26~ 30	31~ 35	36~ 40	41~ 45	46~ 50	51~ 55	56~ 60	61~ 65	66~ 70	71~ 75	76~ 80
2	80	82	7	5	95	97	22	20	81		6		96		21	
3																
1	4	12	12	1	0	0	0.0		2	2	0	0	0	0	0	
							31~ 35 列	36~ 40	41~ 45	46~ 50	51~ 55	56~ 60	61~ 65	66~ 70	71~ 75	76~ 80
2	82	84	9	7	97	99	24	22	83		8		98		23	
3																
1	5	12	12	1	0	0	0.0		2	2	0	0	0	0	0	
							31~ 35 列	36~ 40	41~ 45	46~ 50	51~ 55	56~ 60	61~ 65	66~ 70	71~ 75	76~ 80
2	84	86	11	9	99	101	26	24	85		10		100		25	
3																
1	6	12	12	1	0	0	0.0		2	2	0	0	0	0	0	
							31~ 35									76~ 80
2	86	88	13	11	101	103	28	26	87		12		102		27	
3																
1	7	12	12	1	0	0	0.0		2	2	0	1	0	0	0	
							31~ 35									76~ 80
2	88	90	15	13	103	105	30	28	89		14		104		29	
3																
1	8	12	12	1	0	0	0.0		2	2	0	0	0	0	0	
							31~ 35									76~ 80
2	106	108	33	31	121	123	48	46	107		32		122		47	
3																
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
1	14	12	12	1	0	0	0.0		2	2	0	1	0	0	0	
							31~ 35									76~ 80
2	118	120	45	43	133	135	60	58	119		44		134		59	

19 星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！





LOAD CASE 1  
DISPLACEMENTS/ROTATIONS OF UNRESTRAINED NODES

NODE NUMBER	X-- TRANSLATION	Y-- TRANSLATION	Z-- TRANSLATION
1	0.00000D+00	-1.80572D-04	0.00000D+00
2	1.41870D-04	-1.81726D-04	4.45102D-05
3	2.42065D-04	-3.90985D-04	3.26843D-05
4	2.68395D-04	-6.52139D-04	6.25824D-05
5	2.12286D-04	-8.20646D-04	7.61559D-05
6	1.92168D-04	-8.61203D-04	8.15621D-05
7	1.74960D-04	-8.89799D-04	8.47975D-05
8	7.60450D-05	-1.00461D-03	9.32609D-05
9	-5.57530D-05	-1.10664D-03	1.05224D-04
10	-8.97660D-05	-1.12845D-03	1.09586D-04
11	-1.23185D-04	-1.14696D-03	1.15321D-04
12	-3.30683D-04	-1.24759D-03	1.06231D-04
13	-5.04892D-04	-1.15902D-03	1.56288D-04
14	-3.67304D-04	-7.41671D-04	-8.55093D-05
:	:	:	:
423	8.54085D-06	-1.82457D-06	2.59020D-06
424	1.25215D-05	6.24580D-07	4.71314D-06
425	6.30457D-06	4.60027D-06	3.18431D-06
426	-2.75257D-06	2.53226D-06	-3.55108D-07
427	-3.12047D-06	3.61291D-07	-8.44082D-07
430	8.96698D-06	-1.24067D-06	3.67775D-06
431	1.22371D-05	8.85979D-07	5.29372D-06
432	6.35229D-06	4.24493D-06	3.18205D-06
433	-1.86952D-06	2.74738D-06	-7.23509D-07
434	-2.83942D-06	9.24696D-07	-1.45888D-06
437	5.03163D-06	-2.62891D-06	5.16722D-06
438	8.28872D-06	1.78870D-07	5.01320D-06
439	7.19759D-06	4.31469D-06	3.26955D-06
440	2.71676D-06	4.73136D-06	-1.12385D-06
441	8.65817D-07	2.63746D-06	-1.42248D-06

全部受约束的结点位移为零，未打印。

超星浏览器提醒您：  
请勿复制  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆



21-NOOE SOLID ELEMENT STRESS

ELEMENT	LOAD	LOCATION	SIG-XX	SIG-YY	SIG-ZZ	SIG-XY	SIG-YZ	SIG-ZX
1	1	1	-0.106655E+02	0.887926E+01	0.100798E+01	0.138573E+02	-0.439772E+00	-0.692452E+00
2	1	1	0.133567E+02	0.352328E+02	0.255393E+01	0.14642E+02	-0.114228E+01	-0.620544E+00
3	1	1	0.748628E+01	0.317863E+02	-0.991229E+00	0.110076E+02	-0.163766E+01	-0.508844E+00
4	1	1	0.457534E+01	0.300685E+02	0.620961E+00	0.832982E+01	-0.205378E+01	0.799011E-01
5	1	1	-0.121864E+02	0.220892E+02	-0.777597E+00	0.662152E+01	-0.202298E+01	0.152435E+01
6	1	1	-0.134655E+02	0.161070E+02	0.698233E+01	0.128669E+02	-0.453485E+01	-0.109585E+01
7	1	1	0.367892E+02	0.184283E+02	0.185353E+02	0.377865E+02	0.500607E+01	0.215596E+01
8	1	1	-0.150755E+01	-0.144467E+01	-0.180647E+01	0.449341E+01	-0.776448E+00	0.846533E-01
9	1	1	0.129898E+02	0.147303E+02	0.289551E+01	0.749537E+01	-0.425448E+00	-0.151072E+00
10	1	1	0.496364E+01	0.117244E+02	0.136756E+01	0.448307E+01	0.238040E+00	0.161265E+01
11	1	1	0.159684E+01	0.183262E+02	0.159852E+01	0.590117E+00	-0.528893E+00	-0.429444E+00
12	1	1	-0.210917E+01	0.242283E+02	0.304813E+01	-0.529032E+01	-0.103223E+01	-0.382151E+00
13	1	1	0.670020E+01	0.247294E+02	-0.302674E+01	-0.486347E+01	-0.169592E+01	-0.923271E+01
14	1	1	0.377205E+02	0.890612E+01	-0.196869E+01	0.131500E+02	-0.432604E+01	-0.113136E+02
102	1	1	-0.754330E+00	0.212307E+00	0.113189E+00	-0.308145E+00	-0.136687E+00	-0.209496E+00
103	1	1	0.114430E+00	-0.277933E+00	0.829631E-01	-0.332750E+00	-0.381837E+00	0.200304E+00
104	1	1	0.99987E-01	-0.271866E+00	-0.583151E-01	0.616166E-01	0.239134E+00	-0.188638E-01
105	1	1	-0.296344E+00	0.478618E+00	-0.746706E-01	-0.120281E+00	-0.117268E+00	-0.159659E+00

可以根据输出的位移和应力分量绘制桥梁结构的变形图和应力分布图形。

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

球

## 8.5 其他有限元程序简介

### 8.5.1 SUPER—FEM 程序简介

Super—FEM 程序是东北大学为微型计算机专门开发的一个大型通用有限元结构分析程序。Super—FEM 程序是以 SAP—5 程序为主要蓝本, 经过修改, 扩充, 突破了 640kB 的内存限制, 实现了微机的扩展内存的利用, 大大提高了解题速度, 增大了解题规模。Super—FEM 程序与 SAP—5 保持了兼容。

Super—FEM 程序除具有 SAP—5 程序全部计算功能外, 还增加了下列主要功能。

(1) 增加了接触问题分析功能, 用数学规划法求解接触问题。

(2) 增加了波前法解方程方法, 与高斯类方法相比, 相同规模的问题波前法需要较少的外存量。

(3) 增加了离心载荷计算功能。

(4) 增加了自由结构或约束不定结构的动力分析功能。

(5) 8~21 结点三维体单元增加主应力计算和输出功能。

(6) 把第 3 类第 4 类单元改为 4~9 可变结点平面应力薄膜单元和二维单元。

此外, Super—FEM 程序配置了较强的前后处理功能: 网格自动生成功能、结构原型图、变形或振型图的自动消隐、缩放和动画功能、应力等值线绘制。以上图形均可在高分辨率屏幕显示和打印机绘图机输出。

### 8.5.2 LISA 程序简介

LISA 程序是一个大型线性结构静动力分析程序, 是在 SAP-5 程序基础上, 经过修改和扩充后, 由北京大学力学系和郑州机械研究所共同完成的新版本。LISA 程序与 SAP-5 具有兼容性, 即原来为使用 SAP-5 而填写的卡片, 使用 LISA 时可不经过任何变更而继续使用。

LISA 程序与 SAP-5 主要区别如下:

(1) 增加了前处理功能块: 这段前处理程序可将算题的一部分或全部结点和单元 (仅对平面元或板壳元) 进行网格划分、优化和载荷予处理, 以及结点温度、单元厚度、材料类型等进行予处理。所生成的结点及单元信息, 供主程序调用。

(2) 在主控制卡片上第 46 列增加了一个有离心

力载荷加入计算的信息, 在第 47 列增加了一个表示有新柱座标系要定义的信息。

(3) 在结点数据卡前面, 增加二张柱座标定义卡; 在结点数据卡后面, 增加边界代码修正卡一张和离心力载荷信息卡一张。这主要是适应自动计算结构离心力载荷, 以及结点号和单元信息自动生成的需要。

(4) 对梁单元的固端力使用自动生成时, 对第 2 类单元的 E、卡片 1 和 2 作了修改。

(5) 把第 3 类和第 4 类单元改成 4~9 可变结点平面应力薄膜单元和二维单元, 故在单元数据卡片上增加了第 71~75 列和第 76~80 列的输入参数, 并且在单元数据卡后面又增加一张单元卡, 用以输入 5~9 结点的编号和结点 I、J 在 x、y 方向的均布力分量。9 结点为单元的面心。

(6) 在板壳单元 (第 6 类单元) 的材料特性信息的卡片 2、C、(一般材料的) 第 61~65 列增加一个有无斜向载荷的参数, 并在此卡片后面增加一张输入 x、y、z 方向的斜向均布载荷信息卡片。

(7) 在 8~21 结点三维单元的程序段中增加了计算主应力的功能。

(8) 增设了罚单元 (第 11 类单元), 用于处理组合结构弱连接条件、处理结构的周期性条件和对称性条件、处理结构的滑动接触和线性约束条件。

(9) 增设了平面边界积分单元 (第 13 类)。这种单元是一种在结构边界 (内、外边界) 上划分单元, 用边界积分方法构造单元的数学模型, 对复杂结构可省去划分网格的劳苦, 且能算出结构边界上和任意内点的应力。平面边界积分单元适用于求解 y-z 平面内单位厚度的平面应变问题和 y-x 平面内给定厚度的平面应力问题; 适用的区域形状为封闭边界所围成的有限平面区域或在封闭边界外的无限区域; 仅计算施加于单元边界面上的法向载荷且不考虑温度影响, 结构为各向同性材料。

### 8.5.3 SAP-5P 和 LISA-P 程序简介

SAP-5P 和 LISA-P 分别是 SAP-5 和 LISA 程序的微机版本, 是由北京大学力学系开发的。微机版本改进、充实了 SAP-5 的部分单元库, 增加了屈曲稳定性、离心力、自由结构和自由结构响应的计算。

SAP-5P 和 LISA-P 具有丰富的前后处理功能: 网格自动剖分功能, 图形消隐、缩放、旋转和活化功能, 绘制彩色等值应力线图功能, 汉字化输入输出功能, 热分析和多点随机激励响应分析功能。

提醒您:  
制品  
相关知识产权!

星球

SAP-5P 和 LISA-P 已突破 640kB 内存的限制, 可充分利用微机扩展内存增加解题规模和运算速度。SAP-5P 与 SAP-5 程序完全兼容, SAP-5P 的计算结果和输出格式完全与 SAP-5 相同, LISA-P 与 LISA 程序也有上述特点。

#### 8.5.4 NFAP 程序简介

NFAP 程序的全称是: “结构静动态响应非线性有限元分析程序”, 它是美籍张之勇教授等编写的。该程序中包括下列单元和相应的材料模型:

(1) 2 结点杆单元, 单元用线性弹性材料或非弹性弹性材料。

(2) 4~8 结点二维连续体单元, 单元材料可为各向同性线弹性、正交各向异性线弹性、Von Mises 弹塑性、有断裂准则的混凝土塑性、Drucker-Prager 弹塑性、热弹性蠕变、线性粘弹性等。

(3) 8~21 结点三维连续体单元, 单元材料可为各向同性线弹性、正交各向异性线弹性、Von Mises 弹塑性、有断裂准则的混凝土塑性、热弹性蠕变等。

(4) 3~9 结点板单元, 单元材料可为各向同性线弹性、正交各向异性线弹性、改进的波纹芯线性夹层板等。

(5) 4~9 结点壳单元, 单元材料可为各向同性线弹性、正交各向异性线弹性、Von Mises 弹塑性等。

NFAP 程序目前能处理的问题类型有:

- (1) 线性静态分析;
- (2) 用逐步积分法进行线性动态分析;
- (3) 非线性静态分析 (包括材料非线性和几何非线性);
- (4) 非线性动态分析;
- (5) 弹性或弹塑性材料的 J 积分计算 (限于二维单元、材料模型 3 和 5);
- (6) 稳定裂纹扩展 (限于二维单元)。

几何非线性问题包括: 小转角和小应变、大转角和小应变、大转角和大应变 (限于二维和三维单元)。

NFAP 程序备有“程序介绍”、“程序使用说明”和“程序算例”, 可供读者参考。

#### 8.5.5 MSC/NASTRAN 程序简介

MSC/NASTRAN 程序是美国 MSC 公司开发的多用途的有限元分析程序。该程序含有 205 个模块, 2500 个子程序, 60 万个源程序卡, 可安装在巨

型、大型、微型计算机上; 适用于对汽车、飞机、船舶、机械、土木建筑、核电设备、宇航设备、热能设备、精密仪器、医疗器械、电子设备等进行分析计算。已广泛应用于美国、加拿大、欧洲、日本、澳大利亚和南美洲等国家和地区的高新技术部门和研究中心。

MSC/NASTRAN 程序备有丰富的单元库, 其中主要有: 桁架元、直梁元、曲梁元、细棒元、管元、三结点和六结点三角形平面元、4 和 8 结点四边形平面元、梯形断面环元、3 和 6 结点三角形断面环元、四边形断面环元、4 和 10 结点四面体元、五面体元、六面体元、20 结点六面体元、三角形或四边形板壳元, 以及一些特殊用途的单元 (如裂缝单元) 等等。

该程序的基本分析功能为: 静态分析、结构稳定性分析、动态分析、热传导分析、空气弹性力学分析、音响分析和通用矩阵运算。

静态分析包括: 线性静态分析、几何非线性和材料非线性分析。几何非线性静态分析中又包括大变形问题、载荷方向的变化引起的变形、突然破坏问题; 材料非线性静态分析中包括非线性弹性、弹塑性、蠕变和粘弹性、几何非线性、边界非线性 (接触问题)、以及屈服准则和硬化准则。

结构稳定性分析包括: 线弹性屈曲分析和弹塑性屈曲分析。

动态分析包括: 特征值分析、响应谱分析、直接复特征值分析、直接频率响应和随机分析、直接瞬态分析、复模态分析、模态频率响应和随机分析、瞬态模态分析、非线性动态分析。

热传导分析包括: 线性稳态热传导分析和非线性稳态热传导分析。

气体弹性分析包括: 静态气体弹性分析、颤振分析和颤振的气体弹性分析, 以及对传导、频率响应、随机响应分析, 对稳定、移动和晃动载荷的气体动力学理论 (亚音速或超音速) 分析。

此外, MSC/NASTRAN 程序还有特殊分析功能, 以及输入数据检查和前后处理功能。

所谓特殊分析功能是指该程序具有多层超单元分析、循环对称分析、设计灵敏度分析、优化程序、积层复合材料分析、流体结构耦合振动分析等功能。

多层超单元分析是指该程序具有对超大型自由度分析、复制结构和镜像结构、部分设计变更、非线性结构和线性结构之间的分离、细化分析、每一子结构的部分输出等功能。超单元分析的适用范围: 线性

提醒您:  
请尊重相关知识产权!

超星浏览器提醒您：  
禁止本复制品  
请尊重相关知识产权！

静态分析、自由体静态分析、屈曲几何非线性和材料非线性、弹性分析、模态分析、响应谱分析、直接复特征值分析、直接频率响应及随机分析、直接积分瞬态响应分析、瞬态模态分析、非线性瞬态分析、分析模态综合法、设计灵敏度分析、定常线性热传导分析、定常非线性热传导分析和非定常热传导分析。

循环对称功能可用于使线性静态分析、特征值分析、弹性屈曲分析、直接频率响应和随机分析的计算时间大量减少。

设计灵敏度分析可提供改变设计参数时结构响应的敏感性，使设计者能知道设计的最佳参数，而不需要重新反复分析基本相同的结构。此功能只适用于线性静态分析、特征值分析和弹性屈曲分析。

积层复合材料分析只适用于 3 或 6 结点三角形单元和 4 或 8 结点四边形单元。

流体耦合振动分析的范围是：特征值分析、直接复特征值分析、直接频率响应及随机分析、直接积分响应分析、复模态分析、模态频率响应及随机分析、模态积分瞬态响应分析等。适用的流体①轴对称流体、非粘性无旋涡流体、压缩性流体、微小运动的流体，还要考虑流体密度的变化和自由液面重力效应（在此种流体上划分流体动力单元）；②虚拟质量的流体应为任意三维流体、非粘性无旋涡流体、非压缩

性和微小运动的流体，还要求流体密度一致和自由面上压力为零。

MSC/NASTRAN 程序的详细使用方法可参见该程序的用户手册和应用手册。

### 8.5.6 ASKA 程序简介

ASKA 程序是德国 IKOSS 公司开发的大型静动态有限元程序。该程序已广泛应用于汽车、船舶、机械、土木建筑、航空和其他工业中，对结构进行静动态强度分析。

该程序的单元库中的单元类型有：2 或 3 结点桁架单元、空间梁元、3 或 6 结点三角形平面膜元、4 或 9 结点直边四边形平面膜元、8 或 9 结点曲边四边形平面膜元、3 或 6 结点直边三角形板壳元、6 结点曲边三角形板壳元、6 或 18 结点直边五面体单元、18 结点曲面五面体单元、8 或 27 结点直边六面体单元、27 结点曲面六面体单元、3 或 6 结点直边三角形截面环元、6 结点曲边三角形截面环元。

ASKA 程序的分析功能与前述各程序相类似，详见该程序的使用说明。

还有许多大型有限元分析程序，如 ADINA 等，限于篇幅，就不一一介绍了。

获取更多资料



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 第 31 章 机械可靠性设计

可靠性是以实现产品的重要质量特性。

可靠性设计是以实现产品的可靠性为目的的设计技术。它包括为实现产品的可靠性所必要的设计和全部计划项目,并使产品的可靠性得以保持的一系列设计程序。可靠性设计包括的内容是非常广的,它贯穿于产品的整个寿命周期。本章主要介绍机械产品可靠性设计中的一些专有技术。

### 1 可靠性设计的基础知识

#### 1.1 概述

##### 1.1.1 可靠性的概念

可靠性的经典定义是:“产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的能力”。

可靠性包括广义可靠性和狭义可靠性两种概念。广义可靠性是指产品在整个寿命周期内完成规定功能的能力。它包括狭义可靠性和维修性。狭义可靠性是指产品在规定时间内发生失效的难易程度;维修性是指可修复产品发生失效后在规定时间内修复的难易程度。对不可修复的产品(包括不值得修复的产品)只要求在使用过程中不易失效,即要求耐久性;对可修复的产品不仅要求在使用过程中不易发生故障,即无故障性,而且要求发生故障后容易维

修,即维修性。

按产品可靠性的形成,可靠性可分为固有可靠性和使用可靠性。固有可靠性是通过设计、制造赋予给产品的;使用可靠性既受设计、制造的影响,又受使用条件的影响。一般使用可靠性总低于固有可靠性。

##### 1.1.2 可靠性设计程序和手段

可靠性设计的一般程序和手段如图 31-1 所示。

##### 1.1.3 可靠性设计的目标值

可靠性设计首先要明确对产品可靠性的要求,确定可靠性的目标。一般除特殊用户在用户的技术要求中明确给出可靠性规格和目标值外,用户很少提出对产品可靠性的定量要求。通常是生产厂在了解用户的要求、竞争企业的动向、技术水平的现状和发展趋势等基础上确定可靠性的目标值。

可靠性不是一种单独存在的功能,它与产品的功能、能源消耗、动力性能等有关。表 31-1 为某汽车发动机可靠性目标值项目举例。

在确定产品可靠性目标值时,应选择适合使用条件的可靠性特征量作为可靠性指标。各类产品常用的可靠性指标如表 31-2 所示。表 31-3 列出可靠度值分类等级及应用情况举例供设计时参考。

表 31-1 某汽车发动机可靠性目标值项目举例

项 目	目 标 值
功能特性	50000km 后功能特性降低率 < 初始功能的 %
耗油量	50000km 后油耗提高率 < 初始值的 %
行驶性能	50000km 的感官评分值比初始评分值低一个量级
低温起动性能	50000km 后不降低
排放量	50000km 后排放物增加值 < %
累积失效概率	20000km 的累积失效概率 < %





表 31-2 各类产品常用的可靠性指标

使用条件	连续使用				一次使用	
	可修复		不可修复		可修复	不可修复
维修种类	预防维修	事后维修	用到耗损期	一定时间后报废	预防维修	
产品示例	电子系统、计算机、通讯机、雷达、飞机、生产设备	家用电器、机械装置	电子元器件、机械零件、一般消费品	实行预防维修的零部件、广播设备电子管	武器、过载荷继电器、救生器具	保险丝、闪光灯、雷管
常用指标	可靠度、有效度、平均无故障工作时间、平均修复时间	平均无故障工作时间、有效寿命、有效度	失效率、平均寿命	失效率、更换寿命	成功率	成功率

表 31-3 可靠度分类等级及应用情况

等级	可靠度 $R$	应用情况
0	$<0.9$	不重要的情况，失效后果可忽略不计，例如：不重要的轴承 $R=0.5\sim0.8$ ；车辆低速齿轮 $R=0.8\sim0.9$
1	$\geq 0.9$	不很重要的情况，失效引起的损失不大，例如：一般轴承 $R=0.9$ ；易维修的农机齿轮 $R\geq 0.90$ ；寿命长的汽轮机齿轮 $R\geq 0.98$
2	$\geq 0.99$	重要的情况，失效将引起大的损失，例如：一般齿轮的齿面强度 $R\approx 0.99$ ，弯强度 $R\approx 0.999$ ；高可靠性齿轮的齿面强度 $R\approx 0.999$ ，弯强度 $R\approx 0.9999$ ；寿命不长但要求高可靠性的飞机主传动齿轮 $R=0.99\sim 0.9999$ 以上；高速轧机齿轮 $R=0.99\sim 0.995$ ；建筑结构件：失效后果不严重的次要建筑 $R=0.997\sim 0.9995$ （塑性破坏取低值，脆性破坏取高值，下同）；失效后果严重的一般建筑 $R=0.9995\sim 0.9999$ ；失效后果很严重的重要建筑 $R=0.9999\sim 0.99999$
3	$\geq 0.999$	
4	$\geq 0.9999$	
5	1	很重要的情况，失效会引起灾难性后果，由于 $R>0.9999$ ，其定量难以准确，建议在计算应力时取大于 1 的计算系数来保证

#### 1.1.4 可靠性设计方法

由于不同产品及其构成部分具有各种差异，因此应采取不同的可靠性设计方法。可分为：

(1) 预防故障设计 预防故障设计是由经验

积累形成的设计方法，一般考虑下述原则。

- 采用成熟的经验或经试验验证了的方案。
- 简化结构，减少零部件的数量。
- 尽量采用标准化、通用化的零部件。
- 重视维修性，力求使产品的检修、调整、拆

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

换方便。

e. 重视关键零件的选材和可靠性。

f. 充分运用故障分析的成果,及时反馈,尽早改进。

(2) 概率设计 概率设计是将所设计零件的失效概率限制在允许的范围内,以满足可靠性定量的要求。

(3) 贮备设计 贮备设计是对完成同一规定功能的部分设置重复的结构,以备局部发生故障时,整机仍不致丧失功能的设计方法。

(4) 耐环境设计 耐环境设计是在设计阶段就考虑产品在整个寿命周期内可能遇到的各种环境条件的影响,相应地进行耐高温设计、耐湿设计、耐振设计等,以提高产品耐环境的能力。

(5) 安全设计 安全设计是针对失效后会造成员工伤亡或引起重大经济损失的情况,保证有一定的安全水平。一般可从以下几个方面着手:

a. 故障安全设计。当万一发生故障时,装置自动趋于安全。例如,铁路信号装置就设计成一旦故障肯定为红色信号。

b. 防误操作设计,是设计成不会发生误操作的构造。

c. 故障检出或监测设计,是在生产线上附加检测系统以检出显在故障和监测潜在故障。

d. 人员防误设计,是设置安全防护装置。

(6) 维修性设计 维修性设计是在设计阶段就考虑维护和修理的方便,以便发生故障后能迅速修复而达到提高有效度的目的。主要应做到:①检测方便,缩短故障的诊断、定位时间;②装拆方便,便于维修操作,缩短排除故障的时间;③维修所需工具、设备简单,必要时应满足维修性指标。

(7) 人一机工程设计 人一机工程设计是在设计阶段为减少人的差错,发挥人和机器各自的特点以提高产品的使用可靠度。主要应做到:①指示系统可靠,不仅显示器可靠,而且显示方式、显示器配置等都应使人易于无误地接受;②控制、操作系统可靠,不仅仪器及机构有满意的精度,而且适于人的使用习惯,便于识别操作,不易出错,与安全有关的应有防误措施;③操作环境尽量适于人的工作需要,减少引起疲劳、干扰操作的因素。

(8) 权衡设计 权衡设计是指在可靠性、维修性、安全性、功能、重量、尺寸等质量与价格、交货期之间综合权衡寻求最佳方案的设计。

### 1.1.5 可靠性设计的其他方面

初步设计阶段,应分析类似产品过去的故障情况、原因、该故障对系统的影响、故障发生的概率等,并通过零部件的概略计算,参考各种设计情报进行初步的可靠性预计。当产品是由若干个子系统或零部件组成时,应进一步将可靠性指标的目标值分配给各组成部分,即进行可靠性分配。

各子系统及零部件分配得可靠性目标值之后,利用1.1.4节介绍的可靠性设计方法进行零部件的初步设计,并进行技术设计,然后再进行可靠性预计以保证满足可靠性指标的目标值。做必要的可靠性试验;对重要的部分用故障模式、效应及危害度分析(FMECA)、故障树分析(FTA)等方法进行可靠性、安全性分析;邀请有关各方面人员专家就可靠性进行评议审查。将设计的缺陷、潜在的故障原因、弥补的对策反馈给设计人员,进行改进设计,逐步完成可靠性设计。

## 1.2 概率论与数理统计基础

为能对产品可靠性提出明确的定量指标,需要应用概率论与数理统计知识。为此,本节简要地介绍一些概率论与数理统计的基本概念和基本公式。

### 1.2.1 随机事件及其概率

在一定条件下,并不总是出现相同结果的现象称为随机现象。随机现象的某种可能结果称为随机事件,简称为事件,用大写字母A、B、……等表示。例如产品抽样检查时,从一批产品中抽检2件,出现次品的现象即为随机现象,而“有1个次品”就是一个事件。

在相同条件下进行n次试验,事件A出现了m次,m称为频数,比值 $\frac{m}{n}$ 称为事件A发生的频率。随着试验次数n的增大,事件A发生的频率逐渐稳定于实数p,p即为事件A发生的概率,记为:

$$P(A) = p = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n} \approx \frac{m}{n} \quad (31-1)$$

且  $0 \leq P(A) \leq 1$

如果能预知一次试验中有n种可能的结果,且每个结果的发生都是等可能的,其中属于事件A的有m种,则无需试验就可知其概率

$$P(A) = \frac{m}{n} \quad (31-2)$$

例如,已知一批产品共100件,其中一等品60

件,二等品 30 件,三等品 10 件。设随机抽取 1 件是三等品为事件  $A$ , 则事件  $A$  发生的概率,按式 (31-2)

$$P(A) = \frac{10}{100} = 0.1$$

### 1.2.2 概率的基本运算法则

(1) 互补定理 设事件  $A$  发生的概率为  $P(A)$ , 则事件  $A$  不发生的概率

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A)$$

即

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1 \quad (31-3)$$

(2) 加法定理 事件  $A$  或事件  $B$  至少有一个发生,称为事件  $A$  与  $B$  的和(或并),记为  $A+B$ (或  $A \cup B$ )。若事件  $A$  与  $B$  互斥(即不能同时发生),则

$$P(A+B) = P(A) + P(B) \quad (31-4)$$

当事件  $A$  与  $B$  不互斥,也称事件  $A$  与  $B$  相容,则

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB) \quad (31-5)$$

式中  $P(AB)$ ——事件  $A$  与  $B$  同时发生的概率

(3) 乘法定理 事件  $A$  与  $B$  同时发生,称为事件  $A$  与  $B$  的积(或交),记为  $AB$ (或  $A \cap B$ )。当事件  $A$  与  $B$  相互独立,即事件  $A$  的发生不影响事件  $B$  的发生,反之亦然,则

$$P(AB) = P(A)P(B) \quad (31-6)$$

如果事件  $A$  与  $B$  不相互独立,也称事件  $A$  与  $B$  相关,则

$$\begin{aligned} P(AB) &= P(A)P(B|A) \\ &= P(B)P(A|B) \end{aligned} \quad (31-7)$$

式中  $P(B|A)$ ——事件  $A$  发生的条件下事件  $B$  发生的概率。

(4) 全概率公式 设  $A_1, A_2, \dots, A_n$  为  $n$  个互不相容的事件,且  $P(A_i) > 0 (i=1, 2, \dots, n), P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = 1$ , 则任一事件  $B$  的概率

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i)P(B|A_i) \quad (31-8)$$

(5) 贝叶斯公式 设  $A_1, A_2, \dots, A_n$  为  $n$  个互不相容的事件,且  $P(A_i) > 0 (i=1, 2, \dots, n), P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = 1$ , 则任一事件  $B$  发生的条件下事件  $A_i$  发生的概率

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i)P(B|A_i)}{\sum_{j=1}^n P(A_j)P(B|A_j)}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

### 1.2.3 随机变量及其分布函数

表示随机现象各种结果的数量称为随机变量。例如,某产品抽检的次品数;某钢材的强度极限;某型号滚动轴承的寿命等。随机变量常用大写字母  $X, Y, Z$  等表示。

若  $X$  为随机变量,它对任何实数  $x$ ,事件 " $X \leq x$ " 都有确定的概率,此概率称为随机变量  $X$  的概率分布函数,简称分布函数,记为

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (31-9)$$

若随机变量  $X$  只取有限个或是可列无限多个,则称  $X$  为离散型随机变量。若记  $P(X=x_i) = p_i$ , 则分布函数

$$\begin{aligned} F(x) &= P(X \leq x) = \sum_{x_i \leq x} P(X=x_i) \\ &= \sum_{x_i \leq x} p_i \end{aligned} \quad (31-10)$$

若随机变量  $X$  的分布函数  $F(x)$  能表示为

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (31-11)$$

$f(x)$  为非负函数,则称  $X$  为连续型随机变量。 $f(x)$  称为  $X$  的概率密度函数,简称概率密度。于是

$$F'(x) = \frac{dF(x)}{dx} = f(x) \quad (31-12)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (31-13)$$

$$\begin{aligned} P(a < X \leq b) &= \int_a^b f(x) dx \\ &= F(b) - F(a) \end{aligned} \quad (31-14)$$

### 1.2.4 随机变量的数字特征

(1) 数学期望(均值) 随机变量  $X$  的数学期望或称均值是随机变量的取值中心,记为  $E(X)$ 。它反映了随机变量的位置特征。

若离散型随机变量  $X$  以概率  $p_i$  取值  $x_i$ , 则

$$E(X) = \sum_i x_i p_i \quad (31-15)$$

式中  $\sum_i$ ——对  $X$  的所有可能取值的求和

若连续型随机变量  $X$  的概率密度为  $f(x)$ , 则

$$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \quad (31-16)$$

若  $k, C$  都是常数, 则

$$E(kX + C) = kE(X) + C \quad (31-17)$$

$X, Y$  是任意两个随机变量, 则

$$E(X + Y) = E(X) + E(Y) \quad (31-18)$$

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

若  $X, Y$  是相互独立的两个随机变量, 则

$$E(XY) = E(X)E(Y) \quad (31-20)$$

(2) 方差 随机变量  $(X - E(X))^2$  的数学期望称为  $X$  的方差, 记为  $D(X)$ 。它反映随机变量  $X$  取值的分散情况。

对离散型随机变量  $X$ , 有

$$D(X) = \sum_i [x_i - E(X)]^2 p_i \quad (31-21)$$

对连续型随机变量  $X$ , 有

$$\begin{aligned} D(X) &= \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 f(x) dx \\ &= E(X^2) - [E(X)]^2 \end{aligned} \quad (31-22)$$

若  $k, C$  都是常数, 则

$$D(kX + C) = k^2 D(X) \quad (31-23)$$

若  $X, Y$  是两个相互独立的随机变量, 则

$$D(X + Y) = D(X) + D(Y) \quad (31-24)$$

(3) 标准差 随机变量  $X$  方差的正平方根称为  $X$  的标准差, 记为  $\sqrt{D(X)}$ 。它与随机变量  $X$  有相同的量纲, 反映随机变量  $X$  取值的分散情况。

(4) 协方差和相关系数 随机变量  $[X_1 - E(X_1)][X_2 - E(X_2)]$  的数学期望称为  $X_1$  与  $X_2$  的协方差, 记为  $C_{ov}(X_1, X_2)$ , 即

$$C_{ov}(X_1, X_2) = E\{[X_1 - E(X_1)][X_2 - E(X_2)]\} \quad (31-25)$$

它反映随机变量  $X_1$  与  $X_2$  之间的相互关系。

随机变量  $X_1$  与  $X_2$  的相关系数

$$\rho_{12} = \frac{E\{[X_1 - E(X_1)][X_2 - E(X_2)]\}}{\sqrt{D(X_1)} \sqrt{D(X_2)}} \quad (31-26)$$

它是一个无量纲的量, 反映随机变量  $X_1$  与  $X_2$  线性相关的程度。  $-1 \leq \rho_{12} \leq +1$ , 当  $X_1$  与  $X_2$  相互独立, 则  $\rho_{12} = 0$ ; 当  $X_1$  与  $X_2$  线性相关, 则  $|\rho_{12}| = 1$ 。

(5) 变异系数 随机变量  $X$  的标准差与数学期望的绝对值之比称为  $X$  的变异系数, 记为  $V_x$ , 即

$$V_x = \frac{\sqrt{D(X)}}{|E(X)|} \quad (31-27)$$

它反映随机变量  $X$  取值的相对分散程度。

### 1.2.5 总体、个体和样本

被研究对象的全体称为总体或母体。总体中的每一个单元称为个体。从总体中随机抽出有限个个体进行观测, 则这些个体放在一起称为样本或子样。样本包括的个体数目称为样本大小或样本容量。例如, 要研究某型号滚动轴承的寿命, 则所有该型号滚

动轴承的寿命就是一个总体, 每个轴承的寿命是一个个体。若随机抽取 20 个轴承观测其寿命, 则这 20 个轴承的寿命即为样本大小为 20 的一个样本。在数理统计中就是用样本对总体的各种特征进行推断。

### 1.2.6 统计量

根据样本资料进行计算而得到的一些结果称为统计量(不含未知参数), 即样本函数  $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 。统计量是随机变量。  $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$  是  $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$  的一个观测值。下面是几个在可靠性设计中最常用的统计量。

从总体中抽取一个大小为  $n$  的样本, 其观测值为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 则样本均值

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (31-28)$$

样本标准差

$$S_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31-29)$$

样本变异系数

$$V_x = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (31-30)$$

样本中位数, 是将  $n$  个观测值按大小次序排列所取居中的一个数(若  $n$  为偶数, 则取居中两个数的平均值), 记为  $\tilde{X}$

$$\tilde{X} = \begin{cases} X_{(k+1)}, & \text{若 } n = 2k + 1 \\ \frac{1}{2}(X_{(k)} + X_{(k+1)}), & \text{若 } n = 2k \end{cases} \quad (31-31)$$

样本极差, 是样本观测值中最大值与最小值之差, 记为  $R_x$

$$\begin{aligned} R_x &= \max(X_1, X_2, \dots, X_n) \\ &\quad - \min(X_1, X_2, \dots, X_n) \end{aligned} \quad (31-32)$$

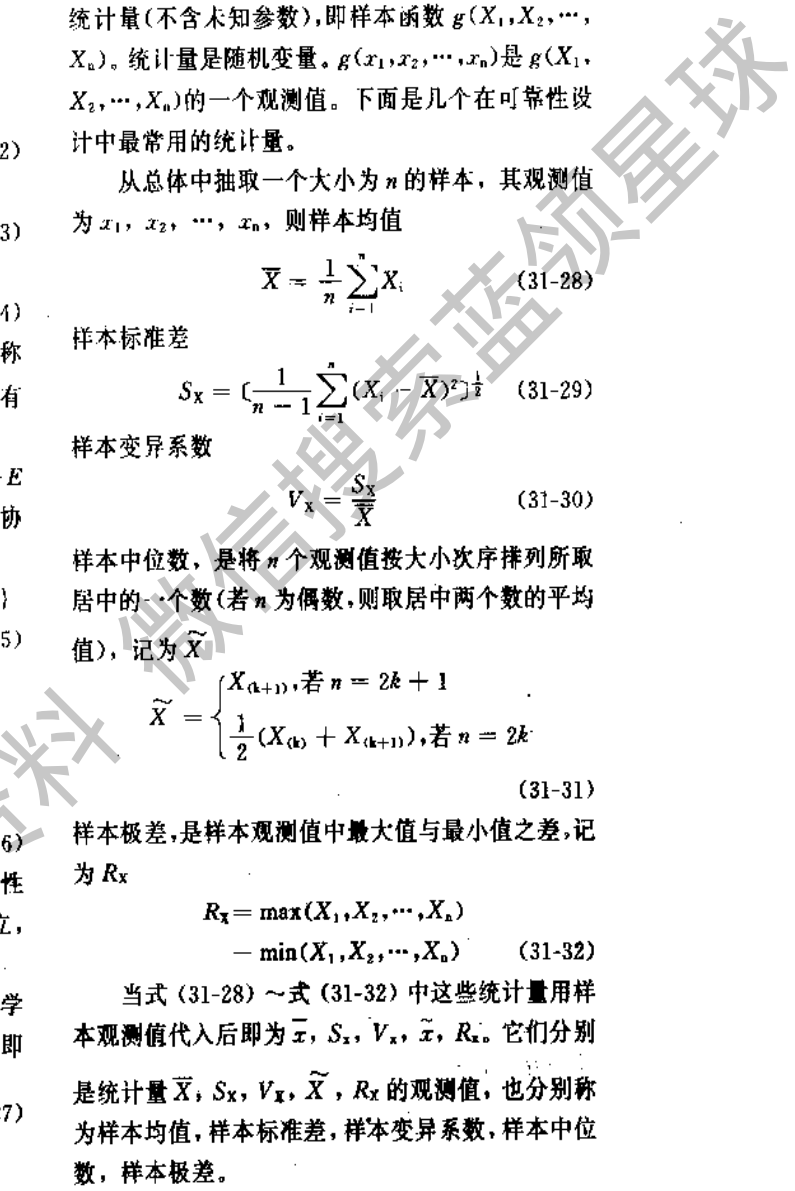
当式 (31-28) ~ 式 (31-32) 中这些统计量用样本观测值代入后即为  $\bar{x}, S_x, V_x, \tilde{x}, R_x$ 。它们分别是统计量  $\bar{X}, S_x, V_x, \tilde{X}, R_x$  的观测值, 也分别称为样本均值, 样本标准差, 样本变异系数, 样本中位数, 样本极差。

### 1.2.7 自由度

一个统计量中所包含的无约束自变量的个数称为该统计量的自由度, 记为  $\nu$ 。

例如,  $S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$  中有一个约束  $X_1 + X_2 + \dots + X_n - n\bar{X} = 0$

浏览器提醒您: 复制品 请尊重相关知识产权!





故  $S_x^2$  的自由度  $\nu = n - 1$ 。

### 1.2.8 参数估计

总体分布的各种参数,例如均值、标准差等往往都是未知的。利用样本观测值来寻找这些参数的估计问题称为参数估计。按样本观测值估计未知参数大致是某个值称为点估计;若估计未知参数可能包含在某个区间内则称为区间估计。例如,随机抽取同型号的滚动轴承 20 个进行寿命试验,按试验结果求得其平均寿命为 5500h,这就是平均寿命(参数)的点估计。若按试验结果求得区间 (3400, 8000) h 包含该种轴承平均寿命的概率为 90%,或求得区间 (3400,  $\infty$ ) h 包含该种轴承平均寿命的概率为 95%,这就是平均寿命的区间估计。前者的 (3400, 8000) 称为双侧置信区间, 3400 和 8000 分别称为双侧置信下限和上限;后者的 (3400,  $\infty$ ) 称为单侧置信区间, 3400 称为单侧置信下限。这里的概率 90% 或 95% 则称为置信水平, 记为  $\gamma$ 。

在可靠性设计中常会用到参数估计的各种方法,例如,图估计法、矩估计法、极大似然估计法、最小方差线性无偏估计法等(这些方法将在第2节中专门介绍)。评价各种点估计的优劣有三个准则。

(1) 无偏性 估计量是随机变量,各次抽得的样本观测值不相同,故按同一方法求得的估计量  $\hat{\theta}$  也不相同。我们希望  $\hat{\theta}$  在真值  $\theta$  附近“摆动”,而且它的数学期望就是  $\theta$ , 即

$$E(\hat{\theta}) = \theta \quad (31-33)$$

符合这个条件的  $\hat{\theta}$  称为  $\theta$  的无偏估计量。它的优点是多次重复抽样不会有  $\theta$  估计值的系统偏差。

(2) 有效性 若  $\hat{\theta}_1$  和  $\hat{\theta}_2$  是同一参数  $\theta$  的无偏估计量,若

$$D(\hat{\theta}_1) < D(\hat{\theta}_2) \quad (31-34)$$

则称  $\hat{\theta}_1$  比  $\hat{\theta}_2$  有效,即  $\hat{\theta}_1$  的分散性小。对一定的样本大小,  $D(\hat{\theta})$  为最小值的无偏估计量  $\hat{\theta}$  称为  $\theta$  的有效估计量。

(3) 一致性 通常,样本大小  $n$  越大,越能精确地估计未知参数。我们总希望随着  $n$  的无限增大,估计量  $\hat{\theta}$  将尽量趋向于真值  $\theta$ 。若对任意  $\epsilon > 0$ , 有

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|\hat{\theta} - \theta| < \epsilon) = 1 \quad (31-35)$$

则称  $\hat{\theta}$  为  $\theta$  的一致估计量。

一致性在样本容量很大时才能衡量估计量的好坏,在实用中难以办到。无偏性在直观上比较合理,尤其当样本容量不大时更显得重要,然而并不是每

个参数都有无偏估计量。有效性无论在直观上或理论上都比较合理,因此更应重视。

### 1.2.9 假设检验

为判定总体的分布类型,或某分布参数是否为某一已知值,或某批产品是否合格等,常先做出是或否的“假设”,再根据样本观测值检验这个“假设”是否成立。在假设检验中运用的是所谓小概率原理,即“小概率事件在一次抽样中可以认为基本上不会发生”。如果在原假设成立的条件下,小概率事件发生了,则我们就拒绝原假设,反之可接受原假设。小概率的具体界限视情况人为规定,这就要涉及两类“错误”的概念。第 I 类错误是原假设正确,但被拒绝了,这类错误也称为弃真;第 II 类错误是原假设不正确,但被接受了,这类错误也称为取伪。发生第 I 类错误的概率记为  $\alpha$ , 称为第 I 类风险或生产方风险,有时称为显著性水平。发生第 II 类错误的概率记为  $\beta$ , 称为第 II 类风险或使用方风险,  $1 - \beta = g$  则称为检验功效。

$\alpha$  和  $\beta$  是人为规定小概率的具体界限。当然,我们希望找到犯两类错误的概率都很小的检验方法,但是当样本大小  $n$  一定时,  $\alpha$  小则  $\beta$  大;  $\beta$  小则  $\alpha$  大。因此,目前多只对犯第 I 类错误的概率  $\alpha$  加以限制,例如取  $\alpha = 0.01, 0.05, 0.10, 0.20$  等。但应注意  $\alpha$  越小则  $\beta$  越大这个事实。为使  $\beta$  不致过大,样本大小  $n$  不能太小,例如  $n$  不能小于 5, 最好大于 10。

假设检验的步骤:

- 建立统计假设  $H_0$ 。
- 构造一个合适的统计量  $U$ , 并从子样观测值计算出统计量  $U$  的观测值  $u$ 。
- 规定一个显著性水平  $\alpha$ , 求出在  $H_0$  成立的条件下使  $P(|U| \geq u_0) = \alpha$  满足的  $u_0$  值。
- 比较观测值  $u$  和  $u_0$ , 如果  $|u| \geq u_0$ , 则拒绝假设  $H_0$ , 反之可接受假设  $H_0$ 。

### 1.3 可靠性中常用的概率分布

在可靠性技术中主要的也是基础的工作是对数据进行统计处理,判定分布类型、估计分布参数,以获得寿命、应力、强度等的分布,为产品可靠性的定量计算奠定基础。可靠性中常用的概率分布如表 31-4 所示。其中常用的分布函数表(二项分布、正态分布、 $\chi^2$  分布、 $t$  分布、 $F$  分布)和  $\Gamma$  函数表如表 31-5~10 所示。

浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

表 31-4 可靠性中常用的概率分布

名称记号	概 率 密 度	均值 $E(X)$	方差 $D(X)$	图 形
二项分布 $B(n, p)$	$P_B(X=x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x}$ $x=0, 1, 2, \dots, n$ $0 < p < 1, p+q=1, n \text{ 为正整数}$	$np$	$npq$	
泊松分布 $P(\lambda)$	$P_P(X=x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$ $x=0, 1, 2, \dots$ $\lambda > 0$	$\lambda$	$\lambda$	
均匀分布 $u(a, b)$	$f_u(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x < a \text{ 或 } x > b \end{cases}$ $-\infty < a < b < \infty$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$	
正态分布 (高斯分布) $N(\mu, \sigma^2)$	$f_N(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ $-\infty < x < \infty$ $-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$	$\mu$	$\sigma^2$	
对数正态分布 $\ln(\mu, \sigma^2)$ 或 $\lg(\mu, \sigma^2)$	$f_{\ln}(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$ $x > 0$	$e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$ 或 $10^{\mu + \frac{\sigma^2}{2} \ln 10}$	$e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$ 或 $10^{2\mu + \sigma^2 \ln 10} (10^{\sigma^2 \ln 10} - 1)$	
威布尔分布 $W(k, a, b)$	$f_W(x) = \frac{k}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^k}$ $x \geq a, \text{形状参数 } k > 0$ $\text{尺度参数 } b > 0, \text{位置参数 } a$	$b\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) + a$	$b^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]$	

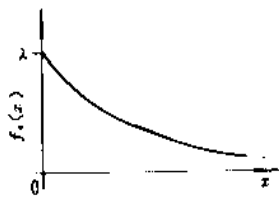
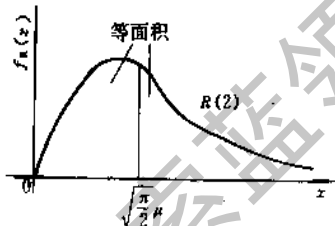
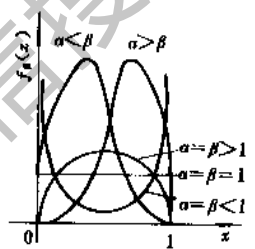
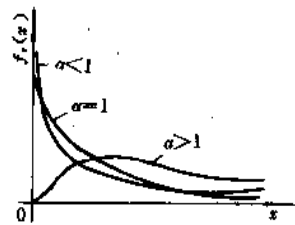
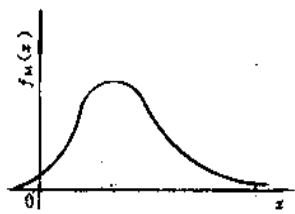
超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜索 蓝领星球



续表 31-4

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

名称记号	概 率 密 度	均值 $E(X)$	方差 $D(X)$	图 形
指数分布 $e(\lambda)$	$f_e(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ $x \geq 0, \lambda > 0$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$	
瑞利分布 $R(\mu)$	$f_R(x) = \frac{x}{\mu^2} e^{-\frac{x^2}{2\mu^2}}$ $x \geq 0, \mu > 0$	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \mu$	$\frac{(4-\pi)}{2} \mu^2$	
$\beta$ 分布 (贝 塔 分 布) $\beta(\alpha, \beta)$	$f_\beta(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{\beta(\alpha, \beta)}$ $0 < x < 1$ 贝塔函数 $\beta(\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}$ $\alpha > 0, \beta > 0$	$\frac{\alpha}{\alpha+\beta}$	$\frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta+1)(\alpha+\beta)^2}$	
$\Gamma$ 分布 (伽 马 分 布) $\Gamma(\alpha, \beta)$	$f_\Gamma(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}$ $x > 0$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{\alpha}{\beta^2}$	
最大 I 型 极值分布 (贡贝尔分 布) $M(\sigma, \mu)$	$f_M(x) = \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}$ $-\infty < x < \infty$ $-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$	$\mu + \gamma\sigma$ 欧拉常数 $\gamma \approx 0.5772$	$\frac{\pi^2}{6} \sigma^2$	

续表 31-4

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

名称记号	概 率 密 度	均值 $E(X)$	方差 $D(X)$	图 形
最小 I 型 极值分布 (贡贝尔分 布) $m(\sigma, \mu)$	$f_m(x) = \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}} e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}}$ $-\infty < x < \infty$ $-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$	$\mu - \gamma\sigma$ 欧拉常数 $\gamma \approx 0.5772$	$\frac{\pi^2}{6} \sigma^2$	
$\chi^2$ 分布 $\chi^2(\nu)$	$f_{\chi^2}(x) = \frac{1}{2^{\frac{\nu}{2}} \Gamma(\frac{\nu}{2})} x^{\frac{\nu}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}$ $x > 0$ 自由度 $\nu$ 为正整数	$\nu$	$2\nu$	
t 分布 (学 生 分 布) $t(\nu)$	$f_t(x) = \frac{\Gamma(\frac{\nu+1}{2})}{\sqrt{\pi\nu} \Gamma(\frac{\nu}{2})} (1 + \frac{x^2}{\nu})^{-\frac{\nu+1}{2}}$ 自由度 $\nu$ 为正整数	0 ( $\nu > 1$ )	$\frac{\nu}{\nu-2}$ ( $\nu > 2$ )	
F 分布 $F(\nu_1, \nu_2)$	$f_F(x) = \frac{x^{\frac{\nu_1}{2}-1} \beta(\frac{\nu_1}{2}, \frac{\nu_2}{2})^{-\frac{\nu_1}{2}}}{(1 + \frac{\nu_1 x}{\nu_2})^{-\frac{\nu_1+\nu_2}{2}}}$ $x \geq 0$ ; 贝塔函数 $\beta(\frac{\nu_1}{2}, \frac{\nu_2}{2})$ 自由度 $\nu_1, \nu_2$ 为正整数	$\frac{\nu_2}{\nu_2-2}$ ( $\nu_2 > 2$ )	$\frac{2\nu_2^2(\nu_1 + \nu_2 - 2)}{\nu_1(\nu_2 - 2)^2(\nu_2 - 4)}$ ( $\nu_2 > 4$ )	

注: 1.  $\binom{n}{x} = \frac{n!}{(n-x)! x!}$

2.  $\Gamma(\cdot)$  —  $\Gamma$  函数, 数值查表 31-10.

表 31-5 二项分布表

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$$\sum_{x=k}^n \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

n	k	p										k	n
		0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5		
5	5			0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00032	0.00243	0.01024	0.03125	5	5
	4	0.00000	0.00000	0.00001	0.00006	0.00019	0.00046	0.00672	0.03078	0.08704	0.18750	4	
	3	0.00001	0.00008	0.00060	0.00197	0.00453	0.00856	0.05792	0.16308	0.31744	0.50000	3	
	2	0.00098	0.00384	0.01476	0.03187	0.05436	0.08146	0.26272	0.47178	0.66304	0.81250	2	
	1	0.04901	0.09608	0.18463	0.26610	0.34092	0.40951	0.67232	0.83193	0.92224	0.96875	1	
10	10								0.00001	0.00010	0.00098	10	10
	9						0.00000	0.00008	0.0014	0.0168	0.1074	9	
	8						0.00000	0.00008	0.00159	0.01229	0.05469	8	
	7				0.00000	0.00000	0.00001	0.00086	0.01059	0.05476	0.17483	7	
	6			0.00000	0.00001	0.00004	0.00015	0.00637	0.04735	0.16624	0.37695	6	
	5		0.00000	0.00002	0.00015	0.00059	0.00163	0.03279	0.15027	0.36690	0.62305	5	
	4	0.00000	0.00003	0.00044	0.00203	0.00580	0.01280	0.12087	0.35039	0.61772	0.82813	4	
	3	0.00011	0.00086	0.00621	0.01884	0.04008	0.07019	0.32220	0.61722	0.83271	0.94531	3	
	2	0.00427	0.01618	0.05815	0.11759	0.18788	0.26390	0.62419	0.85069	0.95364	0.98926	2	
	1	0.09562	0.18293	0.33517	0.46133	0.56561	0.65132	0.89263	0.97175	0.99395	0.99902	1	
15	15									0.00000	0.00003	15	15
	14								0.00000	0.00003	0.00049	14	
	13								0.00001	0.00023	0.00369	13	
	12						0.00000	0.00009	0.00193	0.01758	0.12	12	
	11						0.00001	0.00067	0.00935	0.05923	0.11	11	
	10						0.00011	0.00365	0.03383	0.15088	0.10	10	
	9				0.00000	0.00000	0.00079	0.01524	0.09505	0.30362	0.09	9	
	8			0.00000	0.00001	0.00003	0.00424	0.05001	0.21310	0.50000	0.08	8	
	7			0.00000	0.00001	0.00006	0.00031	0.01806	0.13114	0.39019	0.07	7	
	6		0.00000	0.00001	0.00015	0.00070	0.00225	0.06105	0.27833	0.59678	0.06	6	
	5	0.00000	0.00001	0.00022	0.00140	0.00497	0.01272	0.16423	0.48451	0.78272	0.05	5	
	4	0.00001	0.00018	0.00245	0.01036	0.02731	0.05556	0.35184	0.70313	0.90950	0.04	4	
	3	0.00042	0.00304	0.02029	0.05713	0.11297	0.18406	0.60198	0.87317	0.97289	0.03	3	
	2	0.00963	0.03534	0.11911	0.22624	0.34027	0.45096	0.83287	0.96473	0.99483	0.02	2	
	1	0.13994	0.26143	0.45791	0.60471	0.71370	0.79411	0.96482	0.99525	0.99953	0.01	1	
20	20										0.00000	20	20
	19									0.00000	0.00002	19	
	18									0.00001	0.00020	18	
	17								0.00000	0.00005	0.00120	17	
	16								0.00001	0.00032	0.00591	16	
	15								0.00004	0.00161	0.02069	15	
	14						0.00000	0.00026	0.00647	0.06766	14		
	13						0.00002	0.00128	0.02103	0.13159	13		
	12						0.00010	0.00514	0.05658	0.25172	12		
	11					0.00000	0.00056	0.01714	0.12752	0.41190	11		
	10				0.00000	0.00001	0.00259	0.04796	0.24466	0.58810	10		
	9			0.00000	0.00001	0.00006	0.00998	0.11338	0.40440	0.74828	9		
	8		0.00000	0.00001	0.00009	0.00042	0.03214	0.22773	0.58411	0.86841	8		
	7		0.00001	0.00011	0.00064	0.00239	0.08869	0.39199	0.74999	0.94234	7		
	6	0.00000	0.00010	0.00087	0.00380	0.01125	0.19570	0.58303	0.87440	0.97931	6		
	5	0.00000	0.00004	0.00096	0.00563	0.01834	0.04317	0.37035	0.76249	0.94905	5		
	4	0.00004	0.00060	0.00741	0.02897	0.07062	0.13295	0.58855	0.89291	0.98404	4		
	3	0.00100	0.00707	0.04386	0.11497	0.21205	0.32307	0.79302	0.96452	0.99639	3		
	2	0.01686	0.05990	0.18966	0.33955	0.48314	0.60825	0.93032	0.99236	0.99948	2		
	1	0.18209	0.33239	0.55800	0.70989	0.81131	0.87842	0.95847	0.99920	0.99996	1		

超星阅览器提醒您：  
续表 31-5  
使用本软件时  
请尊重相关知识产权！

$$\sum_{x=k}^n \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

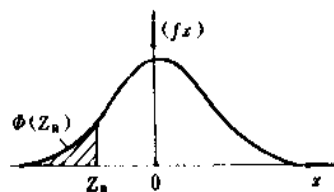
n \ k	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	p \ k	n
25												25
24										0.00000		24
23										.00001		23
22									0.00000	.00008		22
21									.00001	.00046		21
20									.00005	.00204		20
19							0.00000	.00028	.00732			19
18							.00002	.00121	.02164			18
17							.00010	.00433	.05388			17
16						0.00000	.00045	.01317	.11476			16
15						.00001	.00178	.03439	.21218			15
14						.00008	.00599	.07780	.34502			14
13						.00037	.01747	.15377	.50000			13
12					0.00000	.00154	.04425	.26772	.65498			12
11					0.00000	.00001	.00556	.09780	.41423	.78782		11
10			0.00000	.00001	.00008	.01733	.18944	.57538	.88524			10
9			.00001	.00008	.00046	.04677	.32307	.72647	.94612			9
8		0.00000	.00007	.00052	.00226	.10912	.48815	.84645	.97836			8
7	0.00000	.00004	.00051	.00277	.00948	.21996	.65935	.92643	.99248			7
6	.00001	.00038	.00306	.01229	.03340	.38331	.80651	.97064	.99796			6
5	0.00000	.00012	.00278	.01505	.04514	.09799	.57933	.90953	.99053	.99954		5
4	.00011	.00145	.01652	.05976	.13509	.23641	.76601	.96676	.99763	.99992		4
3	.00195	.01324	.07648	.18711	.32317	.46291	.90177	.99104	.99957	.99999		3
2	.02576	.08365	.26419	.44734	.60528	.72879	.97261	.99843	.99995	1.00000		2
1	.22218	.39654	.63960	.78709	.87564	.92821	.99622	.99987	1.00000	1.00000		1
30												30
29												29
28										0.00000		28
27										.00003		27
26									0.00000	.00016		26
25									.00001	.00072		25
24									.00005	.00261		24
23									0.00000	.00022	.00806	23
22									.00001	.00086	.02139	22
21									.00004	.00285	.04937	21
20									.00016	.00830	.10024	20
19						0.00000	.00063	.02124	.18080			19
18						.00001	.00212	.04811	.29233			18
17						.00005	.00637	.09706	.42777			17
16						.00023	.01694	.17537	.57223			16
15						.00090	.04005	.28550	.70767			15
14					0.00000	.00311	.08447	.42153	.81920			14
13				0.00000	.00002	.00949	.15932	.56891	.89976			13
12			0.00000	.00001	.00009	.02562	.26963	.70853	.95063			12
11			.00001	.00007	.00045	.06109	.41119	.82371	.97801			11
10		0.00000	.00005	.00041	.00202	.12365	.56348	.90599	.99194			10
9		.00002	.00030	.00197	.00778	.23921	.71862	.95648	.99739			9
8	0.00000	.00015	.00167	.00825	.02583	.39303	.84048	.98282	.99928			8
7	.00000	.00003	.00106	.00795	.02929	.07319	.57249	.92341	.99434	.99984		7
6	.00001	.00030	.00632	.03154	.08736	.17549	.54477	.96985	.99849	.99997		6
5	.00022	.00289	.03059	.10262	.21579	.35256	.87729	.99068	.99969	1.00000		5
4	.00332	.02172	.11690	.26760	.43460	.58865	.95582	.99780	.99995	1.00000		4
3	.03815	.12055	.33882	.54453	.70421	.81630	.93948	.99969	1.00000	1.00000		3
2	.20030	.45452	.70614	.84374	.91803	.95761	.99378	1.00000	1.00000	1.00000		2
1												1

获取更多资料 微星球

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 31-6 标准正态分布表

$$R = \Phi(Z_R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z_R} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (Z_R \leq 0)$$



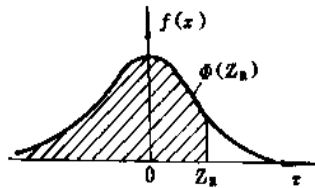
$Z_R$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
-0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
-0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2297	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.09853
-1.3	.09680	.09510	.09342	.09176	.09012	.08851	.08691	.08534	.08379	.08226
-1.4	.08076	.07927	.07780	.07636	.07493	.07353	.07215	.07078	.06944	.06811
-1.5	.06681	.06552	.06426	.06301	.06178	.06057	.05938	.05821	.05705	.05592
-1.6	.05480	.05370	.05262	.05155	.05050	.04947	.04846	.04746	.04648	.04551
-1.7	.04457	.04363	.04272	.04182	.04093	.04006	.03920	.03836	.03754	.03673
-1.8	.03593	.03515	.03438	.03362	.03288	.03216	.03144	.03074	.03005	.02938
-1.9	.02872	.02807	.02743	.02680	.02619	.02559	.02500	.02442	.02385	.02330
-2.0	.02275	.02222	.02169	.02118	.02068	.02018	.01970	.01923	.01876	.01831
-2.1	.01786	.01743	.01700	.01659	.01618	.01578	.01539	.01500	.01463	.01426
-2.2	.01390	.01355	.01321	.01287	.01255	.01222	.01191	.01160	.01130	.01101
-2.3	.01072	.01044	.01017	.0 <sup>2</sup> 9903	.0 <sup>2</sup> 9642	.0 <sup>2</sup> 9387	.0 <sup>2</sup> 9137	.0 <sup>2</sup> 8894	.0 <sup>2</sup> 8656	.0 <sup>2</sup> 8424
-2.4	.0 <sup>2</sup> 8198	.0 <sup>2</sup> 7976	.0 <sup>2</sup> 7760	.0 <sup>2</sup> 7549	.0 <sup>2</sup> 7344	.0 <sup>2</sup> 7143	.0 <sup>2</sup> 6947	.0 <sup>2</sup> 6756	.0 <sup>2</sup> 6569	.0 <sup>2</sup> 6387
-2.5	.0 <sup>2</sup> 6210	.0 <sup>2</sup> 6037	.0 <sup>2</sup> 5868	.0 <sup>2</sup> 5703	.0 <sup>2</sup> 5543	.0 <sup>2</sup> 5386	.0 <sup>2</sup> 5234	.0 <sup>2</sup> 5085	.0 <sup>2</sup> 4940	.0 <sup>2</sup> 4799
-2.6	.0 <sup>2</sup> 4661	.0 <sup>2</sup> 4527	.0 <sup>2</sup> 4396	.0 <sup>2</sup> 4269	.0 <sup>2</sup> 4145	.0 <sup>2</sup> 4025	.0 <sup>2</sup> 3907	.0 <sup>2</sup> 3793	.0 <sup>2</sup> 3681	.0 <sup>2</sup> 3573
-2.7	.0 <sup>2</sup> 3467	.0 <sup>2</sup> 3364	.0 <sup>2</sup> 3264	.0 <sup>2</sup> 3167	.0 <sup>2</sup> 3072	.0 <sup>2</sup> 2980	.0 <sup>2</sup> 2890	.0 <sup>2</sup> 2803	.0 <sup>2</sup> 2718	.0 <sup>2</sup> 2635
-2.8	.0 <sup>2</sup> 2555	.0 <sup>2</sup> 2477	.0 <sup>2</sup> 2401	.0 <sup>2</sup> 2327	.0 <sup>2</sup> 2256	.0 <sup>2</sup> 2186	.0 <sup>2</sup> 2118	.0 <sup>2</sup> 2052	.0 <sup>2</sup> 1988	.0 <sup>2</sup> 1926
-2.9	.0 <sup>2</sup> 1866	.0 <sup>2</sup> 1807	.0 <sup>2</sup> 1750	.0 <sup>2</sup> 1695	.0 <sup>2</sup> 1641	.0 <sup>2</sup> 1589	.0 <sup>2</sup> 1538	.0 <sup>2</sup> 1489	.0 <sup>2</sup> 1441	.0 <sup>2</sup> 1395
-3.0	.0 <sup>2</sup> 1350	.0 <sup>2</sup> 1306	.0 <sup>2</sup> 1264	.0 <sup>2</sup> 1223	.0 <sup>2</sup> 1183	.0 <sup>2</sup> 1144	.0 <sup>2</sup> 1107	.0 <sup>2</sup> 1070	.0 <sup>2</sup> 1035	.0 <sup>2</sup> 1001
-3.1	.0 <sup>2</sup> 9676	.0 <sup>2</sup> 9354	.0 <sup>2</sup> 9043	.0 <sup>2</sup> 8740	.0 <sup>2</sup> 8447	.0 <sup>2</sup> 8164	.0 <sup>2</sup> 7888	.0 <sup>2</sup> 7622	.0 <sup>2</sup> 7364	.0 <sup>2</sup> 7114
-3.2	.0 <sup>2</sup> 6871	.0 <sup>2</sup> 6637	.0 <sup>2</sup> 6410	.0 <sup>2</sup> 6190	.0 <sup>2</sup> 5976	.0 <sup>2</sup> 5770	.0 <sup>2</sup> 5571	.0 <sup>2</sup> 5377	.0 <sup>2</sup> 5190	.0 <sup>2</sup> 5009
-3.3	.0 <sup>2</sup> 4834	.0 <sup>2</sup> 4665	.0 <sup>2</sup> 4501	.0 <sup>2</sup> 4342	.0 <sup>2</sup> 4189	.0 <sup>2</sup> 4041	.0 <sup>2</sup> 3897	.0 <sup>2</sup> 3758	.0 <sup>2</sup> 3624	.0 <sup>2</sup> 3495
-3.4	.0 <sup>2</sup> 3369	.0 <sup>2</sup> 3248	.0 <sup>2</sup> 3131	.0 <sup>2</sup> 3018	.0 <sup>2</sup> 2909	.0 <sup>2</sup> 2803	.0 <sup>2</sup> 2701	.0 <sup>2</sup> 2602	.0 <sup>2</sup> 2507	.0 <sup>2</sup> 2415
-3.5	.0 <sup>2</sup> 2326	.0 <sup>2</sup> 2241	.0 <sup>2</sup> 2158	.0 <sup>2</sup> 2078	.0 <sup>2</sup> 2001	.0 <sup>2</sup> 1926	.0 <sup>2</sup> 1854	.0 <sup>2</sup> 1785	.0 <sup>2</sup> 1718	.0 <sup>2</sup> 1653
-3.6	.0 <sup>2</sup> 1591	.0 <sup>2</sup> 1531	.0 <sup>2</sup> 1473	.0 <sup>2</sup> 1417	.0 <sup>2</sup> 1363	.0 <sup>2</sup> 1311	.0 <sup>2</sup> 1261	.0 <sup>2</sup> 1213	.0 <sup>2</sup> 1166	.0 <sup>2</sup> 1121
-3.7	.0 <sup>2</sup> 1078	.0 <sup>2</sup> 1036	.0 <sup>2</sup> 99161	.0 <sup>2</sup> 9574	.0 <sup>2</sup> 9201	.0 <sup>2</sup> 8842	.0 <sup>2</sup> 8496	.0 <sup>2</sup> 8162	.0 <sup>2</sup> 7841	.0 <sup>2</sup> 7532
-3.8	.0 <sup>2</sup> 7235	.0 <sup>2</sup> 6948	.0 <sup>2</sup> 6673	.0 <sup>2</sup> 6407	.0 <sup>2</sup> 6152	.0 <sup>2</sup> 5906	.0 <sup>2</sup> 5669	.0 <sup>2</sup> 5442	.0 <sup>2</sup> 5223	.0 <sup>2</sup> 5012
-3.9	.0 <sup>2</sup> 4810	.0 <sup>2</sup> 4615	.0 <sup>2</sup> 4427	.0 <sup>2</sup> 4247	.0 <sup>2</sup> 4074	.0 <sup>2</sup> 3908	.0 <sup>2</sup> 3747	.0 <sup>2</sup> 3594	.0 <sup>2</sup> 3446	.0 <sup>2</sup> 3304
-4.0	.0 <sup>2</sup> 3167	.0 <sup>2</sup> 3036	.0 <sup>2</sup> 2910	.0 <sup>2</sup> 2789	.0 <sup>2</sup> 2673	.0 <sup>2</sup> 2561	.0 <sup>2</sup> 2454	.0 <sup>2</sup> 2351	.0 <sup>2</sup> 2252	.0 <sup>2</sup> 2157
-4.1	.0 <sup>2</sup> 2066	.0 <sup>2</sup> 1978	.0 <sup>2</sup> 1894	.0 <sup>2</sup> 1814	.0 <sup>2</sup> 1737	.0 <sup>2</sup> 1662	.0 <sup>2</sup> 1591	.0 <sup>2</sup> 1523	.0 <sup>2</sup> 1458	.0 <sup>2</sup> 1395
-4.2	.0 <sup>2</sup> 1335	.0 <sup>2</sup> 1277	.0 <sup>2</sup> 1222	.0 <sup>2</sup> 1168	.0 <sup>2</sup> 1118	.0 <sup>2</sup> 1069	.0 <sup>2</sup> 1022	.0 <sup>2</sup> 9774	.0 <sup>2</sup> 9345	.0 <sup>2</sup> 8934
-4.3	.0 <sup>2</sup> 8540	.0 <sup>2</sup> 8163	.0 <sup>2</sup> 7801	.0 <sup>2</sup> 7455	.0 <sup>2</sup> 7124	.0 <sup>2</sup> 6807	.0 <sup>2</sup> 6503	.0 <sup>2</sup> 6212	.0 <sup>2</sup> 5934	.0 <sup>2</sup> 5668
-4.4	.0 <sup>2</sup> 5413	.0 <sup>2</sup> 5169	.0 <sup>2</sup> 4935	.0 <sup>2</sup> 4712	.0 <sup>2</sup> 4498	.0 <sup>2</sup> 4294	.0 <sup>2</sup> 4098	.0 <sup>2</sup> 3911	.0 <sup>2</sup> 3732	.0 <sup>2</sup> 3561
-4.5	.0 <sup>2</sup> 3398	.0 <sup>2</sup> 3241	.0 <sup>2</sup> 3092	.0 <sup>2</sup> 2949	.0 <sup>2</sup> 2813	.0 <sup>2</sup> 2682	.0 <sup>2</sup> 2558	.0 <sup>2</sup> 2439	.0 <sup>2</sup> 2325	.0 <sup>2</sup> 2216
-4.6	.0 <sup>2</sup> 2112	.0 <sup>2</sup> 2013	.0 <sup>2</sup> 1919	.0 <sup>2</sup> 1828	.0 <sup>2</sup> 1742	.0 <sup>2</sup> 1660	.0 <sup>2</sup> 1581	.0 <sup>2</sup> 1506	.0 <sup>2</sup> 1434	.0 <sup>2</sup> 1366
-4.7	.0 <sup>2</sup> 1301	.0 <sup>2</sup> 1239	.0 <sup>2</sup> 1179	.0 <sup>2</sup> 1123	.0 <sup>2</sup> 1069	.0 <sup>2</sup> 1017	.0 <sup>2</sup> 9680	.0 <sup>2</sup> 9211	.0 <sup>2</sup> 8765	.0 <sup>2</sup> 8339
-4.8	.0 <sup>2</sup> 7933	.0 <sup>2</sup> 7547	.0 <sup>2</sup> 7178	.0 <sup>2</sup> 6827	.0 <sup>2</sup> 6492	.0 <sup>2</sup> 6173	.0 <sup>2</sup> 5869	.0 <sup>2</sup> 5580	.0 <sup>2</sup> 5304	.0 <sup>2</sup> 5042
-4.9	.0 <sup>2</sup> 4792	.0 <sup>2</sup> 4554	.0 <sup>2</sup> 4327	.0 <sup>2</sup> 4111	.0 <sup>2</sup> 3996	.0 <sup>2</sup> 3711	.0 <sup>2</sup> 3525	.0 <sup>2</sup> 3348	.0 <sup>2</sup> 3179	.0 <sup>2</sup> 3019



超星浏览器提醒您：  
 禁止复制或  
 传播相关知识版权！

续表 31-6

$$R = \Phi(Z_R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z_R} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (Z_R \geq 0)$$



b)

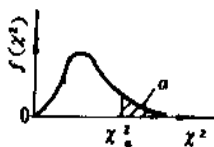
Z <sub>k</sub>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7703	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9014
1.3	0.9032	0.9049	0.9065	0.9082	0.9098	0.9114	0.9130	0.9146	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9250	0.9264	0.9278	0.9292	0.9305	0.9318
1.5	0.9331	0.9344	0.9357	0.9369	0.9382	0.9394	0.9406	0.9417	0.9429	0.9440
1.6	0.9452	0.9463	0.9473	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9544
1.7	0.9554	0.9563	0.9572	0.9581	0.9590	0.9599	0.9608	0.9616	0.9624	0.9632
1.8	0.9640	0.9648	0.9656	0.9663	0.9671	0.9678	0.9685	0.9692	0.9699	0.9706
1.9	0.9712	0.9719	0.9725	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9755	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9807	0.9812	0.9816
2.1	0.9824	0.9827	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9853	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9867	0.9871	0.9874	0.9877	0.9880	0.9884	0.9887	0.9889
2.3	0.9892	0.9895	0.9898	0.9900	0.9903	0.9906	0.9908	0.9911	0.9913	0.9915
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9924	0.9926	0.9928	0.9930	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9937	0.9939	0.9941	0.9942	0.9944	0.9945	0.9946	0.9947	0.9948	0.9949
2.6	0.9950	0.9951	0.9952	0.9953	0.9954	0.9955	0.9956	0.9957	0.9958	0.9959
2.7	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969
2.8	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9978	0.9979
2.9	0.9980	0.9981	0.9982	0.9983	0.9984	0.9985	0.9986	0.9987	0.9988	0.9989
3.0	0.9990	0.9991	0.9992	0.9993	0.9994	0.9995	0.9996	0.9997	0.9998	0.9999
3.1	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.2	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.3	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.4	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.5	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.6	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.0	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.1	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.2	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.3	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.4	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.5	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.6	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
4.9	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999

注 1. 0.9<sup>90</sup> = 0.9990, 其余类似;  
 2. 0.0<sup>91</sup> = 0.0001, 其余类似.



表 31-7  $\chi^2$  分布表

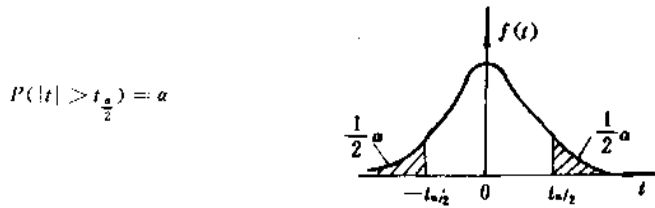
$$P(\chi^2 \geq \chi^2_\alpha) = \alpha$$



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$\alpha$	0.995	0.99	0.98	0.80	0.70	0.30	0.20	0.10	0.05	0.01
1	0.00016	0.00393	0.0158	0.0642	0.148	1.074	1.642	2.706	3.841	6.635
2	0.0201	0.1026	0.211	0.446	0.713	2.408	3.219	4.605	5.991	9.210
3	0.115	0.352	0.584	1.005	0.424	3.665	4.642	6.251	7.815	11.341
4	0.297	0.711	1.064	1.649	2.195	4.878	5.989	7.779	9.488	13.277
5	0.554	1.145	1.610	2.343	3.000	6.064	7.289	9.236	11.070	15.086
6	0.872	1.635	2.204	3.070	3.828	7.231	8.558	10.645	12.592	16.812
7	1.239	2.167	2.833	3.822	4.671	8.383	9.803	12.017	14.067	18.475
8	1.646	2.733	3.490	4.594	5.527	9.524	11.030	13.362	15.507	20.090
9	2.088	3.325	4.168	5.380	6.393	10.656	12.242	14.684	16.919	21.666
10	2.558	3.940	4.865	6.179	7.267	11.781	13.442	15.987	18.307	23.209
11	3.053	4.575	5.578	6.980	8.148	12.899	14.631	17.275	19.675	24.725
12	3.571	5.226	6.304	7.807	9.034	14.011	15.812	18.549	21.026	26.217
13	4.107	5.892	7.042	8.634	9.926	15.119	16.985	19.812	22.362	27.688
14	4.660	6.571	7.790	9.467	10.821	16.222	18.151	21.064	23.685	29.141
15	5.229	7.261	8.547	10.307	11.721	17.322	19.311	22.307	24.996	30.578
16	5.812	7.962	9.312	11.152	12.624	18.418	20.465	23.542	26.296	32.000
17	6.408	8.672	10.085	12.002	13.531	19.511	21.615	24.769	27.587	33.409
18	7.015	9.390	10.865	12.857	14.440	20.601	22.760	25.989	28.869	34.805
19	7.633	10.117	11.651	13.716	15.352	21.689	23.900	27.204	30.144	36.191
20	8.260	10.851	12.443	14.578	16.266	22.775	25.038	28.412	31.410	37.566
21	8.897	11.591	13.240	15.445	17.182	23.858	26.171	29.615	32.671	38.932
22	9.542	12.338	14.042	16.314	18.101	24.939	27.301	30.813	33.924	40.289
23	10.196	13.091	14.848	17.187	19.021	26.018	28.429	32.007	35.172	41.638
24	10.856	13.848	15.659	18.062	19.943	27.096	29.558	33.196	36.415	42.980
25	11.524	14.611	16.473	18.940	20.867	28.172	30.675	34.382	37.652	44.314
26	12.198	15.379	17.292	19.820	21.792	29.246	31.795	35.566	38.885	45.642
27	12.879	16.151	18.114	20.703	22.719	30.319	32.912	36.741	40.113	46.933
28	13.565	16.928	18.939	21.588	23.647	31.391	34.027	37.916	41.337	48.278
29	14.257	17.708	19.768	22.475	24.577	32.461	35.139	39.087	42.557	49.588
30	14.954	18.493	20.599	23.364	25.508	33.530	36.250	40.256	43.773	50.892
40	22.164	26.509	29.051	32.352	34.876	44.163	37.263	51.805	55.758	63.691
60	37.485	43.188	46.459	50.647	53.815	65.225	38.969	74.397	79.082	88.379
80	53.540	60.391	64.278	69.213	72.920	86.122	90.403	96.578	101.879	112.329
100	70.065	77.929	82.358	87.950	92.137	106.908	111.667	118.498	123.342	135.807
200	156.432	168.279	174.835	183.006	189.052	209.997	216.618	226.021	233.994	249.445

表 31-8  $t$  分布的双侧分位数 ( $t_{\alpha}$ ) 表



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

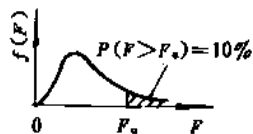
( ) 中  $\alpha$  值是单侧分位数 ( $t_{\alpha}$ )

$\alpha$	0.9 (0.45)	0.8 (0.4)	0.7 (0.35)	0.6 (0.3)	0.5 (0.25)	0.4 (0.2)	0.3 (1.15)	0.2 (0.1)	0.1 (0.05)	0.05 (0.12)	0.02 (0.01)	0.01 (0.005)	0.001 (0.0005)	$\alpha$
$\nu$														$\nu$
1	0.158	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619	1
2	.142	.289	.445	.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598	2
3	.137	.277	.424	.584	.765	0.978	1.250	1.633	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924	3
4	.134	.271	.414	.569	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610	4
5	.132	.267	.408	.559	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859	5
6	.131	.265	.404	.553	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959	6
7	.130	.268	.402	.540	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405	7
8	.130	.262	.399	.546	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041	8
9	.129	.261	.398	.543	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781	9
10	.129	.260	.397	.542	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587	10
11	.129	.260	.396	.540	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437	11
12	.128	.259	.395	.539	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.631	3.055	4.318	12
13	.128	.259	.394	.538	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221	13
14	.128	.258	.393	.537	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140	14
15	.128	.258	.393	.536	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.161	2.602	2.947	4.073	15
16	.128	.258	.392	.535	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015	16
17	.128	.257	.392	.534	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965	17
18	.127	.257	.392	.534	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922	18
19	.127	.257	.391	.533	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.833	19
20	.127	.257	.391	.533	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850	20
21	.127	.257	.391	.532	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.030	2.518	2.831	3.819	21
22	.127	.256	.390	.532	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792	22
23	.127	.256	.390	.532	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767	23
24	.127	.256	.390	.531	.685	.857	1.059	1.313	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745	24
25	.127	.256	.390	.531	.681	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725	25
26	.127	.256	.390	.531	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707	26
27	.127	.256	.389	.531	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690	27
28	.127	.256	.389	.530	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674	28
29	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659	29
30	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	0.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646	30
40	.126	.255	.388	.529	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551	40
60	.126	.254	.387	.527	.670	.848	1.046	1.293	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460	60
120	.126	.254	.386	.526	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373	120
$\infty$	.126	.253	.385	.524	.674	.842	1.036	1.232	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291	$\infty$

( $\alpha=0.10$ )

表 31-9 F 分布表

$P(F > F_{\alpha}) = \alpha$



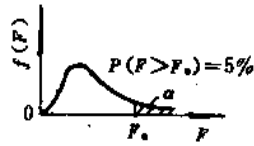
$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	120	$\infty$
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	61.22	61.74	62.26	62.79	63.06	63.33
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.42	9.44	9.46	9.47	9.48	9.49
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.20	5.18	5.17	5.15	5.14	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.87	3.84	3.82	3.79	3.78	3.76
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.24	3.21	3.17	3.14	3.12	3.13
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.87	2.84	2.80	2.76	2.74	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.63	2.59	2.56	2.51	2.49	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.46	2.42	2.38	2.34	2.32	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.34	2.30	2.25	2.21	2.18	2.16
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.24	2.20	2.16	2.11	2.08	2.06
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.17	2.12	2.08	2.03	2.00	1.97
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.10	2.06	2.01	1.96	1.93	1.90
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.05	2.01	1.96	1.90	1.88	1.85
14	3.10	2.78	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.01	1.96	1.91	1.86	1.83	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	1.97	1.92	1.87	1.82	1.79	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.94	1.89	1.84	1.78	1.75	1.72
17	3.03	2.65	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.91	1.86	1.81	1.75	1.72	1.69
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.89	1.84	1.78	1.72	1.69	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.86	1.81	1.76	1.70	1.67	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.84	1.79	1.74	1.68	1.64	1.61
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.83	1.78	1.72	1.66	1.62	1.59
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.81	1.76	1.70	1.64	1.60	1.57
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.80	1.74	1.69	1.62	1.59	1.55
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.78	1.73	1.67	1.61	1.57	1.53
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.77	1.72	1.66	1.59	1.56	1.52
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.76	1.71	1.65	1.58	1.54	1.50
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.75	1.70	1.64	1.57	1.53	1.49
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.74	1.69	1.63	1.56	1.52	1.48
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.73	1.68	1.62	1.55	1.51	1.47
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.72	1.67	1.61	1.54	1.50	1.46
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.66	1.61	1.54	1.47	1.42	1.38
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.60	1.54	1.48	1.40	1.35	1.29
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.55	1.48	1.41	1.32	1.26	1.19
$\infty$	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.49	1.42	1.34	1.24	1.17	1.00

浏览器提醒您：  
本资料为付费产品  
未经授权请勿外传

( $\alpha=0.05$ )

续表 31-9

$P(F > F_\alpha) = \alpha$



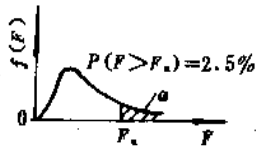
$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	120	$\infty$
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	246	248	250	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.70	8.66	8.62	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.86	5.80	5.75	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.62	4.56	4.50	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.94	3.87	3.81	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.65	3.51	3.44	3.38	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.36	3.22	3.15	3.08	3.00	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.01	2.94	2.86	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.84	2.77	2.70	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.72	2.65	2.57	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.62	2.54	2.47	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.53	2.46	2.38	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.46	2.39	2.31	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.40	2.33	2.25	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.35	2.28	2.19	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.31	2.23	2.15	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.27	2.19	2.11	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.23	2.16	2.07	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.20	2.12	2.04	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.18	2.10	2.01	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.15	2.07	1.98	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.13	2.05	1.96	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.11	2.03	1.94	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.09	2.01	1.92	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.07	1.99	1.90	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.06	1.97	1.88	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.04	1.96	1.87	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.03	1.94	1.85	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.01	1.93	1.84	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	1.92	1.84	1.74	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.84	1.75	1.65	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.75	1.66	1.55	1.43	1.35	1.25
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.67	1.57	1.46	1.32	1.22	1.00

福星浏览器提醒您：  
 福星浏览器提醒您：  
 福星浏览器提醒您：  
 福星浏览器提醒您：

( $\alpha=0.025$ )

续表 31-9

$P(F > F_\alpha) = \alpha$



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

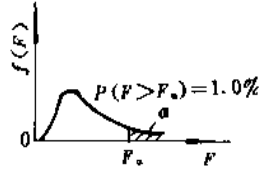
$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	120	$\infty$
1	648	800	864	900	922	937	948	957	963	969	985	993	1001	1010	1014	1018
2	38.5	39.0	39.2	39.2	39.3	39.3	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.5	39.5	39.5	39.5
3	17.4	16.0	15.4	15.1	14.9	14.7	14.4	14.5	14.5	14.4	14.3	14.2	14.1	14.0	13.9	13.9
4	12.2	10.6	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.66	8.56	8.46	8.36	8.31	8.26
5	10.0	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.43	6.33	6.23	6.12	6.07	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.27	5.17	5.07	4.96	4.90	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.57	4.47	4.36	4.25	4.20	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.10	4.00	3.89	3.78	3.73	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.77	3.67	3.56	3.45	3.39	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.52	3.42	3.31	3.20	3.14	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.33	3.23	3.12	3.00	2.94	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.18	3.07	2.96	2.85	2.79	2.72
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.05	2.95	2.84	2.72	2.66	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	2.95	2.84	2.73	2.61	2.55	2.49
15	6.20	4.76	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.86	2.76	2.64	2.52	2.46	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.79	2.68	2.57	2.45	2.38	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.96	2.72	2.62	2.50	2.38	2.32	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.67	2.56	2.44	2.32	2.26	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.62	2.51	2.39	2.27	2.20	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.57	2.46	2.35	2.22	2.16	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.53	2.42	2.31	2.18	2.11	2.04
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.50	2.39	2.27	2.14	2.08	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.47	2.36	2.24	2.11	2.04	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.44	2.33	2.21	2.08	2.01	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.41	2.30	2.18	2.05	1.98	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.39	2.28	2.16	2.03	1.95	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.36	2.25	2.13	2.00	1.93	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.34	2.23	2.11	1.98	1.91	1.83
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.32	2.21	2.09	1.96	1.89	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.31	2.20	2.07	1.94	1.87	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.18	2.07	1.94	1.80	1.72	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.06	1.94	1.82	1.67	1.58	1.48
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	1.94	1.82	1.69	1.53	1.43	1.31
$\infty$	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.83	1.71	1.57	1.39	1.27	1.00



续表 31-9

( $\alpha=0.01$ )

$P(F > F_{\alpha}) = \alpha$



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

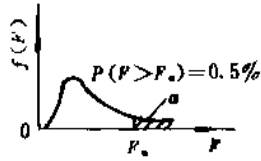
$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	120	$\infty$
1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6002	6056	6157	6209	6261	6313	6339	6366
2	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5
3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	26.9	26.7	26.5	26.3	26.2	26.1
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.2	14.0	13.8	13.7	13.6	13.5
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.72	9.55	9.38	9.20	9.11	9.08
6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.56	7.40	7.23	7.06	6.97	6.88
7	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.31	6.16	5.99	5.82	5.74	5.65
8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.52	5.36	5.20	5.03	4.95	4.86
9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	4.96	4.81	4.65	4.48	4.40	4.31
10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.56	4.41	4.25	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.25	4.10	3.94	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.01	3.86	3.70	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.82	3.66	3.51	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.70	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.66	3.51	3.35	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.52	3.37	3.21	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.41	3.26	3.10	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.31	3.16	3.00	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.23	3.08	2.92	2.75	2.66	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.15	3.00	2.84	2.67	2.58	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.09	2.94	2.78	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.03	2.88	2.72	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	2.98	2.83	2.67	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.21	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	2.93	2.78	2.62	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	2.89	2.74	2.58	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.85	2.70	2.54	2.36	2.27	2.17
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.82	2.66	2.50	2.33	2.23	2.13
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.78	2.63	2.47	2.29	2.20	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.75	2.60	2.44	2.26	2.17	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.73	2.57	2.41	2.23	2.14	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.70	2.55	2.39	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.52	2.37	2.20	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.35	2.20	2.03	1.84	1.73	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.19	2.03	1.86	1.66	1.53	1.38
$\infty$	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.04	1.88	1.70	1.47	1.32	1.00



( $\alpha=0.005$ )

续表 31-9

$$P(F > F_{\alpha}) = \alpha$$



$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	120	$\infty$
1	16211	20000	21615	22500	23056	23437	23715	23925	24091	24224	24630	24836	25044	25253	25359	25465
2	198	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	200
3	55.6	49.8	47.5	46.2	45.4	44.8	44.4	44.1	43.9	43.7	43.1	42.8	42.5	42.2	42.0	41.8
4	31.3	26.3	24.3	23.2	22.5	22.0	21.6	21.4	21.1	21.0	20.4	20.2	19.9	19.6	19.5	19.3
5	22.8	18.3	16.5	15.6	14.9	14.5	14.2	14.0	13.8	13.6	13.1	12.9	12.7	12.4	12.3	12.1
6	18.6	14.5	12.9	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	9.81	9.59	9.36	9.12	9.00	8.88
7	16.2	12.4	10.9	10.0	9.52	9.16	8.89	8.68	8.51	8.38	7.97	7.75	7.53	7.31	7.19	7.08
8	14.7	11.0	9.60	8.81	8.30	7.95	7.69	7.50	7.34	7.21	6.81	6.61	6.40	6.18	6.06	5.95
9	13.6	10.1	8.72	7.96	7.47	7.13	6.88	6.69	6.54	6.42	6.03	5.83	5.62	5.41	5.30	5.19
10	12.8	9.43	8.08	7.34	6.87	6.54	6.30	6.12	5.97	5.85	5.47	5.27	5.07	4.86	4.75	4.64
11	12.2	8.91	7.60	6.88	6.42	6.10	5.86	5.68	5.54	5.42	5.05	4.86	4.65	4.44	4.34	4.23
12	11.8	8.51	7.23	6.52	6.07	5.76	5.52	5.35	5.20	5.09	4.73	4.53	4.34	4.12	4.01	3.90
13	11.4	8.19	6.93	6.23	5.79	5.48	5.25	5.08	4.94	4.82	4.46	4.27	4.07	3.87	3.76	3.65
14	11.1	7.92	6.68	6.00	5.56	5.26	5.03	4.86	4.72	4.60	4.25	4.06	3.86	3.66	3.55	3.44
15	10.8	7.70	6.48	5.80	5.37	5.07	4.85	4.67	4.54	4.42	4.07	3.88	3.69	3.48	3.37	3.26
16	10.6	7.51	6.30	5.64	5.21	4.91	4.69	4.52	4.38	4.27	3.92	3.73	3.54	3.33	3.22	3.11
17	10.4	7.35	6.16	5.50	5.07	4.78	4.56	4.39	4.25	4.14	3.79	3.61	3.41	3.21	3.10	2.98
18	10.2	7.21	6.03	5.37	4.96	4.66	4.44	4.28	4.14	4.03	3.68	3.50	3.30	3.10	2.99	2.87
19	10.1	7.09	5.92	5.27	4.85	4.56	4.34	4.18	4.04	3.93	3.59	3.40	3.21	3.00	2.89	2.78
20	9.94	6.99	5.82	5.17	4.76	4.47	4.26	4.09	3.96	3.85	3.50	3.32	3.12	2.92	2.81	2.69
21	9.83	6.89	5.73	5.09	4.68	4.39	4.18	4.01	3.88	3.77	3.42	3.24	3.05	2.84	2.73	2.61
22	9.73	6.81	5.65	5.02	4.61	4.32	4.11	3.94	3.81	3.70	3.36	3.18	2.98	2.77	2.66	2.55
23	9.63	6.73	5.58	4.95	4.54	4.26	4.05	3.88	3.75	3.64	3.30	3.12	2.92	2.71	2.60	2.48
24	9.55	6.66	5.52	4.89	4.49	4.20	3.99	3.83	3.69	3.59	3.25	3.06	2.87	2.66	2.55	2.43
25	9.48	6.60	5.46	4.84	4.43	4.15	3.94	3.78	3.64	3.54	3.20	3.01	2.82	2.61	2.50	2.38
26	9.41	6.54	5.41	4.79	4.38	4.10	3.89	3.73	3.60	3.49	3.15	2.97	2.77	2.56	2.45	2.33
27	9.34	6.49	5.36	4.74	4.34	4.06	3.85	3.69	3.56	3.45	3.11	2.93	2.73	2.52	2.41	2.29
28	9.28	6.44	5.32	4.70	4.30	4.02	3.81	3.65	3.52	3.41	3.07	2.89	2.69	2.48	2.37	2.25
29	9.23	6.40	5.28	4.66	4.26	3.98	3.77	3.61	3.48	3.38	3.04	2.86	2.66	2.45	2.33	2.21
30	9.18	6.35	5.24	4.62	4.23	3.95	3.74	3.58	3.45	3.34	3.01	2.82	2.63	2.42	2.30	2.18
40	8.83	6.07	4.98	4.37	3.99	3.71	3.51	3.35	3.22	3.12	2.78	2.60	2.40	2.18	2.06	1.93
60	8.49	5.80	4.73	4.14	3.76	3.49	3.29	3.12	3.01	2.90	2.57	2.39	2.19	1.96	1.83	1.69
120	8.18	5.54	4.50	3.92	3.55	3.28	3.09	2.93	2.81	2.71	2.37	2.19	1.98	1.75	1.61	1.43
$\infty$	7.88	5.30	4.28	3.72	3.35	3.09	2.90	2.74	2.62	2.52	2.19	2.00	1.79	1.53	1.36	1.00

表 31-10 Γ 函数表

$\Gamma(x)$										
$x$	.000	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009
1.00	1.0000	0.9994	0.9988	0.9983	0.9977	0.9971	0.9966	0.9960	0.9954	0.9949
1.01	0.9943	.9938	.9932	.9927	.9921	.9916	.9910	.9905	.9899	.9894
1.02	.9888	.9883	.9878	.9872	.9867	.9862	.9856	.9851	.9846	.9841
1.03	.9835	.9830	.9825	.9820	.9815	.9810	.9805	.9800	.9794	.9789
1.04	.9784	.9779	.9774	.9769	.9764	.9759	.9755	.9750	.9745	.9740
1.05	0.9735	0.9730	0.9725	0.9721	0.9716	0.9711	0.9706	0.9702	0.9697	0.9692
1.06	.9687	.9683	.9678	.9673	.9669	.9664	.9660	.9655	.9651	.9646
1.07	.9612	.9637	.9633	.9628	.9624	.9619	.9615	.9610	.9606	.9602
1.08	.9597	.9593	.9589	.9584	.9580	.9576	.9571	.9567	.9563	.9559
1.09	.9555	.9550	.9546	.9542	.9538	.9534	.9530	.9526	.9522	.9518
1.10	0.9514	0.9509	0.9505	0.9501	0.9498	0.9494	0.9490	0.9486	0.9482	0.9478
1.11	.9474	.9470	.9466	.9462	.9459	.9455	.9451	.9447	.9443	.9440
1.12	.9436	.9432	.9428	.9425	.9421	.9417	.9414	.9410	.9407	.9403
1.13	.9399	.9396	.9392	.9389	.9385	.9382	.9378	.9375	.9371	.9368
1.14	.9364	.9361	.9357	.9354	.9350	.9347	.9344	.9340	.9337	.9334
1.15	0.9330	0.9327	0.9324	0.9321	0.9317	0.9314	0.9311	0.9308	0.9304	0.9301
1.16	.9298	.9295	.9292	.9289	.9285	.9282	.9279	.9276	.9273	.9270
1.17	.9267	.9264	.9261	.9258	.9255	.9252	.9249	.9246	.9243	.9240
1.18	.9237	.9234	.9231	.9229	.9223	.9223	.9220	.9217	.9214	.9212
1.19	.9209	.9206	.9203	.9201	.9198	.9195	.9192	.9190	.9187	.9184
1.20	0.9182	0.9179	0.9176	0.9174	0.9171	0.9169	0.9166	0.9163	0.9161	0.9158
1.21	.9156	.9153	.9151	.9148	.9146	.9143	.9141	.9138	.9136	.9133
1.22	.9131	.9129	.9126	.9124	.9122	.9119	.9117	.9114	.9112	.9110
1.23	.9108	.9105	.9103	.9101	.9098	.9096	.9094	.9092	.9090	.9087
1.24	.9085	.9083	.9081	.9079	.9077	.9074	.9072	.9070	.9068	.9066
1.25	0.9064	0.9062	0.9060	0.9058	0.9056	0.9054	0.9052	0.9050	0.9048	0.9046
1.26	.9044	.9042	.9040	.9038	.9036	.9034	.9032	.9031	.9029	.9027
1.27	.9025	.9023	.9021	.9020	.9018	.9016	.9014	.9012	.9011	.9009
1.28	.9007	.9005	.9004	.9002	.9000	.8999	.8997	.8995	.8994	.8992
1.29	.8990	.8989	.8987	.8986	.8984	.8982	.8981	.8979	.8978	.8976
1.30	0.8975	0.8973	0.8972	0.8970	0.8969	0.8967	0.8965	0.8964	0.8963	0.8961
1.31	.8960	.8959	.8957	.8956	.8954	.8953	.8952	.8950	.8949	.8948
1.32	.8946	.8945	.8944	.8943	.8941	.8940	.8939	.8937	.8936	.8935
1.33	.8934	.8933	.8931	.8930	.8929	.8928	.8927	.8926	.8924	.8923
1.34	.8922	.8921	.8920	.8919	.8918	.8917	.8916	.8915	.8914	.8912
1.35	0.8912	0.8911	0.8910	0.8909	0.8908	0.8907	0.8906	0.8905	0.8904	0.8903
1.36	.8902	.8901	.8900	.8899	.8898	.8897	.8897	.8896	.8895	.8894
1.37	.8893	.8892	.8892	.8891	.8890	.8889	.8888	.8888	.8887	.8886
1.38	.8885	.8885	.8884	.8883	.8883	.8882	.8881	.8880	.8880	.8879
1.39	.8879	.8878	.8877	.8877	.8876	.8875	.8875	.8874	.8874	.8873
1.40	0.8873	0.8872	0.8872	0.8871	0.8871	0.8870	0.8870	0.8869	0.8869	0.8868
1.41	.8868	.8867	.8867	.8866	.8866	.8865	.8865	.8865	.8864	.8864
1.42	.8864	.8863	.8863	.8863	.8862	.8862	.8862	.8861	.8861	.8861
1.43	.8860	.8860	.8860	.8860	.8859	.8859	.8859	.8859	.8858	.8858
1.44	.8858	.8858	.8858	.8858	.8857	.8857	.8857	.8857	.8857	.8857
1.45	0.8857	0.8857	0.8856	0.8856	0.8856	0.8856	0.8856	0.8856	0.8856	0.8856
1.46	.8856	.8856	.8856	.8856	.8856	.8856	.8856	.8856	.8856	.8856
1.47	.8856	.8856	.8856	.8857	.8857	.8857	.8857	.8857	.8857	.8857
1.48	.8857	.8858	.8858	.8858	.8858	.8858	.8859	.8859	.8859	.8859
1.49	.8859	.8860	.8860	.8860	.8860	.8861	.8861	.8861	.8862	.8862
1.50	0.8862	0.8863	0.8863	0.8863	0.8864	0.8864	0.8864	0.8865	0.8865	0.8866
1.51	.8866	.8866	.8867	.8867	.8868	.8868	.8869	.8869	.8869	.8870

续表 31-10

$\Gamma(x)$										
$x$	.000	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009
1.52	.8870	.8871	.8871	.8872	.8872	.8873	.8873	.8874	.8875	.8875
1.53	.8876	.8876	.8877	.8877	.8878	.8879	.8879	.8880	.8880	.8881
1.54	.8882	.8882	.8883	.8884	.8884	.8885	.8886	.8887	.8887	.8888
1.55	0.8889	0.8889	0.8890	0.8891	0.8892	0.8892	0.8893	0.8894	0.8895	0.8896
1.56	.8896	.8897	.8898	.8899	.8900	.8901	.8901	.8902	.8903	.8904
1.57	.8905	.8906	.8907	.8908	.8909	.8909	.8910	.8911	.8912	.8913
1.58	.8914	.8915	.8916	.8917	.8918	.8919	.8920	.8921	.8922	.8923
1.59	.8924	.8925	.8926	.8927	.8929	.8930	.8931	.8932	.8933	.8934
1.60	0.8935	0.8936	0.8937	0.8939	0.8940	0.8941	0.8942	0.8943	0.8944	0.8946
1.61	.8947	.8948	.8949	.8950	.8952	.8953	.8954	.8955	.8957	.8958
1.62	.8959	.8961	.8962	.8963	.8964	.8966	.8967	.8968	.8970	.8971
1.63	.8972	.8974	.8975	.8977	.8978	.8979	.8981	.8982	.8984	.8985
1.64	.8986	.8988	.8989	.8991	.8992	.8994	.8995	.8997	.8998	.9000
1.65	0.9001	0.9003	0.9004	0.9006	0.9007	0.9009	0.9010	0.9012	0.9014	0.9015
1.66	.9017	.9018	.9020	.9021	.9023	.9025	.9026	.9028	.9030	.9031
1.67	.9033	.9035	.9036	.9038	.9040	.9041	.9043	.9045	.9047	.9048
1.68	.9050	.9052	.9054	.9055	.9057	.9059	.9061	.9062	.9064	.9066
1.69	.9068	.9070	.9071	.9073	.9075	.9077	.9079	.9081	.9083	.9084
1.70	0.9086	0.9088	0.9090	0.9092	0.9094	0.9096	0.9098	0.9100	0.9102	0.9104
1.71	.9106	.9108	.9110	.9112	.9114	.9116	.9118	.9120	.9122	.9124
1.72	.9126	.9128	.9130	.9132	.9134	.9136	.9138	.9140	.9142	.9145
1.73	.9147	.9149	.9151	.9153	.9155	.9157	.9160	.9162	.9164	.9166
1.74	.9168	.9170	.9173	.9175	.9177	.9179	.9182	.9184	.9186	.9188
1.75	0.9191	0.9193	0.9195	0.9197	0.9200	0.9202	0.9204	0.9207	0.9209	0.9211
1.76	.9214	.9216	.9218	.9221	.9223	.9226	.9228	.9230	.9233	.9235
1.77	.9238	.9240	.9242	.9245	.9247	.9250	.9252	.9255	.9257	.9260
1.78	.9262	.9265	.9267	.9270	.9272	.9275	.9277	.9280	.9283	.9285
1.79	.9288	.9290	.9293	.9295	.9298	.9301	.9303	.9306	.9309	.9311
1.80	0.9314	0.9316	0.9319	0.9322	0.9325	0.9327	0.9330	0.9333	0.9335	0.9338
1.81	.9341	.9343	.9346	.9349	.9352	.9355	.9357	.9360	.9363	.9366
1.82	.9368	.9371	.9374	.9377	.9380	.9383	.9385	.9388	.9391	.9394
1.83	.9397	.9400	.9403	.9406	.9408	.9411	.9414	.9417	.9420	.9423
1.84	.9426	.9429	.9432	.9435	.9438	.9441	.9444	.9447	.9450	.9453
1.85	0.9456	0.9459	0.9462	0.9465	0.9468	0.9471	0.9474	0.9478	0.9481	0.9484
1.86	.9487	.9490	.9493	.9496	.9499	.9503	.9506	.9509	.9512	.9515
1.87	.9518	.9522	.9525	.9528	.9531	.9534	.9538	.9541	.9544	.9547
1.88	.9551	.9554	.9557	.9561	.9564	.9567	.9570	.9574	.9577	.9580
1.89	.9584	.9587	.9591	.9594	.9597	.9604	.9604	.9607	.9611	.9614
1.90	0.9618	0.9621	0.9625	0.9628	0.9631	0.9635	0.9638	0.9642	0.9645	0.9649
1.91	.9652	.9656	.9659	.9663	.9666	.9670	.9673	.9677	.9681	.9684
1.92	.9688	.9691	.9695	.9699	.9702	.9706	.9709	.9713	.9717	.9720
1.93	.9724	.9728	.9731	.9735	.9739	.9742	.9746	.9750	.9754	.9757
1.94	.9761	.9765	.9768	.9772	.9776	.9780	.9784	.9787	.9791	.9795
1.95	0.9799	0.9803	0.9806	0.9810	0.9814	0.9818	0.9822	0.9826	0.9830	0.9834
1.96	.9837	.9841	.9845	.9849	.9853	.9857	.9861	.9865	.9869	.9873
1.97	.9877	.9881	.9885	.9889	.9893	.9897	.9901	.9905	.9909	.9913
1.98	.9917	.9921	.9925	.9929	.9933	.9938	.9942	.9946	.9950	.9954
1.99	.9958	.9962	.9966	.9971	.9975	.9979	.9983	.9987	.9992	.9996

对  $x < 1$  或  $x > 2$  的伽马函数值, 可以利用下式算出:

$$\Gamma(x) = \frac{\Gamma(x+1)}{x}; \quad \Gamma(x) = (x-1)\Gamma(x-1)$$

例 (1)  $\Gamma(0.8) = \frac{\Gamma(1.8)}{0.8} = \frac{0.9314}{0.8} = 1.164$

(2)  $\Gamma(2.5) = 1.5 \times \Gamma(1.5) = 1.5 \times 0.8862 = 1.329$

### 1.4 可靠性特征量

度量产品可靠性的各种量统称为可靠性特征量。常用的可靠性特征量有可靠度、累积失效概率(或不可靠度)、平均寿命、可靠寿命、失效率等。

#### 1.4.1 可靠度

可靠度是产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的概率。一般记为  $R$ , 由于它是时间的函数, 故也记为  $R(t)$ , 称为可靠度函数。

如果用随机变量  $T$  表示产品从开始工作到发生失效或故障的时间, 概率密度为  $f(t)$ , 如图 31-2 所示, 则该产品在某一指定时刻  $t$  的可靠度

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (31-36)$$

对于不可修复产品, 可靠度的观测值是指直到规定的时间区间终了为止, 能完成规定功能的产品数与在该区间开始时投入工作的产品数之比, 即

$$\hat{R}(t) = \frac{N_s(t)}{N} = 1 - \frac{N_i(t)}{N} \quad (31-37)$$

式中  $N$ ——开始投入工作的产品数;

$N_s(t)$ ——到  $t$  时刻完成规定功能的产品数;

$N_i(t)$ ——到  $t$  时刻未完成规定功能的产品数。

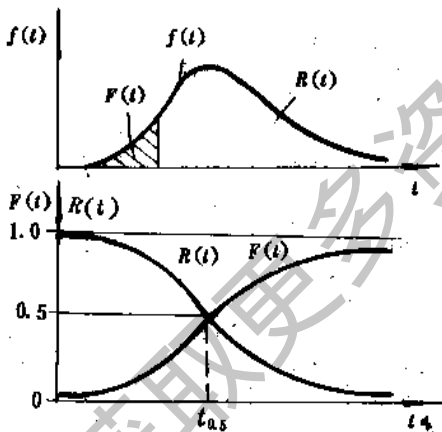


图 31-2 概率密度与可靠度、不可靠度曲线

对可修复产品, 可靠度观测值是指一个或多个产品的无故障工作时间达到或超过规定时间的次数与观测时间内无故障工作的总次数之比, 即

$$\hat{R}(t) = \frac{N_s(t)}{N} \quad (31-38)$$

式中  $N$ ——观测时间内无故障工作的总次数, 每

一个产品的最后一次无故障工作时间若未超过规定的时间则不予计入;

$N_s(t)$ ——无故障工作时间达到或超过规定时间的次数。

上述可靠度  $R(t)$  的时间  $t$  是由 0 算起的, 实际使用中常需知道工作过程中某一段执行任务时间的可靠度, 即需要知道已经工作  $t_1$  后再继续工作  $t_2$  时间的可靠度。

从时刻  $t_1$  工作到时刻  $t_1+t_2$  的条件可靠度称为任务可靠度, 记为  $R(t_1+t_2|t_1)$ 。由条件概率, 即式(31-7)知

$$\begin{aligned} R(t_1+t_2|t_1) &= P(T > t_1+t_2 | T > t_1) \\ &= \frac{R(t_1+t_2)}{R(t_1)} \end{aligned} \quad (31-39)$$

根据样本观测值, 任务可靠度的观测值

$$\hat{R}(t_1+t_2|t_1) = \frac{N_s(t_1+t_2)}{N_s(t_1)} \quad (31-40)$$

式中,  $N_s(\cdot)$  意义同前。

#### 1.4.2 累积失效概率

累积失效概率是产品在规定条件下和规定时间内未完成规定功能(即发生失效)的概率, 也称为不可靠度。一般记为  $F$  或  $F(t)$ 。

因为完成规定功能与未完成规定功能是对立事件, 故按概率的互补定理, 即式(31-3)

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (31-41)$$

由图 31-2 知,  $F(t)$  为图 a 的影线部分, 正是累积分布函数

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad (31-42)$$

累积失效概率的观测值可按概率互补定理

$$\hat{F}(t) = 1 - \hat{R}(t) \quad (31-43)$$

#### 1.4.3 平均寿命

平均寿命是寿命的平均值。对不可修复产品指失效前平均时间, 一般记为  $MTTF$ ; 对可修复产品则指平均无故障工作时间, 一般记为  $MTBF$ 。它们都表示无故障工作时间  $T$  的数学期望  $E(T)$ , 或简记为  $\bar{t}$ 。

若已知  $T$  的概率密度  $f(t)$ , 则

$$\bar{t} = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (31-44)$$

对于完全样本, 即所有试验样品都观测到发生失效或故障时, 平均寿命的观测值是指它们的算术平均值, 即



$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (31-45)$$

### 1.4.4 可靠寿命和中位寿命

可靠寿命是指定的可靠度所对应的时间,一般记为  $t(R)$ 。

一般可靠度随着工作时间  $t$  的增大而下降。给定不同的  $R$ , 则有不同的  $t(R)$ , 即

$$t(R) = R^{-1}(R) \quad (31-46)$$

式中  $R^{-1}$ —— $R$  的反函数, 即由  $R(t) = R$  反求  $t$ 。

可靠寿命的观测值是能完成规定功能的产品的比例恰好等于给定可靠度  $R$  时所对应的时间。

当指定  $R=0.5$ , 即  $R(t) = F(t) = 0.5$  时的寿命称为中位寿命, 记为  $\tilde{t}$  或  $t_{0.5}, t(0.5)$ 。

### 1.4.5 失效率和失效率曲线

(1) 失效率 失效率是工作到某时刻尚未失效的产品, 在该时刻后单位时间内发生失效的概率。一般记为  $\lambda$ , 它也是时间  $t$  的函数, 故也记为  $\lambda(t)$ , 称为失效率函数, 有时也称为故障率或风险函数。

按上述定义, 失效率

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) \quad (31-47)$$

它反映了  $t$  时刻产品失效的速率, 也称为瞬时失效率。

失效率的观测值是在某时刻后单位时间内失效的产品数与工作到该时刻尚未失效的产品数之比, 即

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta N_f(t)}{N_s(t) \Delta t} \quad (31-48)$$

平均失效率是指在某一规定时期内失效率的平均值。例如, 在  $(t_1, t_2)$  内失效率的平均值

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \quad (31-49)$$

失效率的单位用单位时间的百分数表示, 例如  $\%/10^3\text{h}$ , 可记为  $10^{-5}/\text{h}$ 。对高可靠性的产品, 失效率的单位可用  $10^{-9}/\text{h}$ , 称为菲特。失效率的单位也常取成  $1/\text{h}, 1/\text{km}, 1/\text{次}$  等。

(2) 失效率曲线 失效率曲线反映了产品总体整个寿命期失效率的情况。图 31-3 为失效率曲线的典型情况, 有时形象地称为浴盆曲线。失效率随时间的变化可分为三部分:

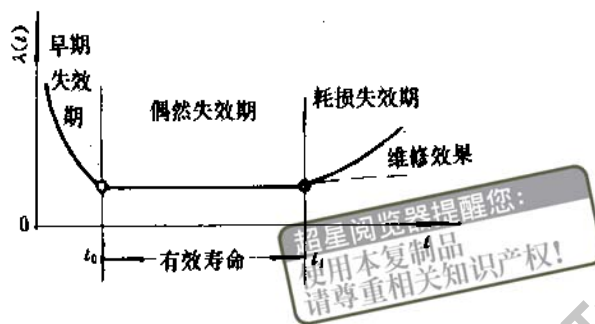


图 31-3 典型失效率曲线

a. 早期失效期, 失效率曲线为递减型。产品投入使用的早期, 失效率较高而下降很快。主要由于设计、制造、贮存、运输等形成的缺陷, 以及调试、跑合、起动不当等人为因素所造成。当这些所谓先天不良的失效后运转也逐渐正常, 失效率趋于稳定, 到  $t_0$  时失效率曲线已开始变平。  $t_0$  以前称为早期失效期。针对早期失效期的失效原因, 应该尽量设法避免, 争取失效率低且  $t_0$  短。

b. 偶然失效期, 失效率曲线为恒定型, 即  $t_0$  到  $t_1$  间的失效率近似为常数。失效主要是由非预期的过载、误操作、意外的天灾以及一些尚不清楚的偶然因素所造成。由于失效原因多属偶然, 故称为偶然失效期。偶然失效期是能有效工作的时期, 这段时间称为有效寿命。

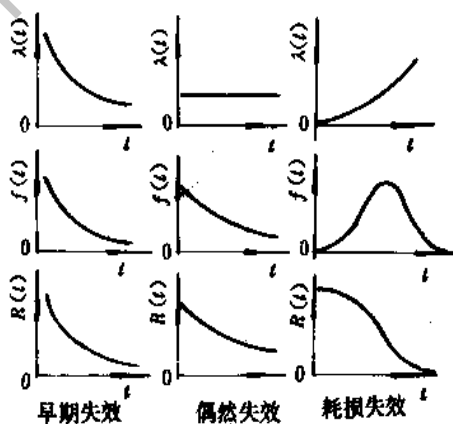


图 31-4 失效率、概率密度和可靠度

c. 耗损失效期, 失效率是递增型。在  $t_1$  以后失效率上升较快, 这是由于产品已经老化、疲劳、磨损、蠕变、腐蚀等所谓耗损的原因所引起的, 故称为耗损失效期。针对耗损失效的原因, 应该注意检查、监控、预测耗损开始的时间, 提前维修, 使失效率仍不上

升,如图 31-3 中虚线所示,以延长有效寿命。当然,修复若需花很大费用而延长寿命不多,则不如报废更为经济。

不同失效类型的  $\lambda(t)$ 、 $f(t)$ 、 $R(t)$  的函数图形如图 31-4 所示。几种常用寿命分布的可靠度函数  $R(t)$ ,失效率函数  $\lambda(t)$  如表 31-11 所示。

表 31-11 几种常用寿命分布的  $R(t)$  和  $\lambda(t)$

名称	可靠度	失效率
正态分布	$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma_1^2}} dt$	$\lambda(t) = \frac{\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma_1^2}}{\int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma_1^2}} dt}$
对数正态分布	$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma_{\ln t} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma_{\ln t}^2}} dt$	$\lambda(t) = \frac{\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma_{\ln t}^2}}{\int_t^{\infty} \frac{1}{t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma_{\ln t}^2}} dt}$
威布尔分布	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-a}{b}\right)^k}$	$\lambda(t) = \frac{k}{b} \left(\frac{t-a}{b}\right)^{k-1}$
指数分布	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$\lambda(t) = \lambda = \frac{1}{t}$

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

微信搜素 蓝领星球

获取更多资料



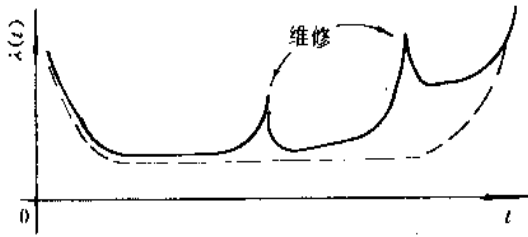


图 31-5 复杂机械设备的失效率曲线

机械产品在规定的使用寿命期内,失效率曲线全部变化过程往往并不象典型失效率曲线那样全部

出现。同样产品在不同条件下工作,失效率曲线的形状也不相同。但是,对于由许多单元组成的机器、设备,其失效率曲线基本上仍为浴盆状,如图 31-5 中虚线所示。应该指出,每经一次较大的拆修,常会重现早期故障,实际失效率曲线常如图 31-5 中实线所示。

1.4.6 可靠性特征量间的关系

可靠性特征量中  $R(t)$ 、 $F(t)$ 、 $f(t)$  和  $\lambda(t)$  是四个基本函数,只要知道其中的一个,则所有其他的特征量均可求得。基本函数间的关系见表 31-12。

表 31-12 可靠性特征量中四个基本函数之间的关系

基本函数	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	—	$1 - F(t)$	$\int_t^\infty f(t) dt$	$e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$
$F(t)$	$1 - R(t)$	—	$\int_0^t f(t) dt$	$1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$
$f(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dF(t)}{dt}$	—	$\lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$
$\lambda(t)$	$-\frac{d}{dt} \ln R(t)$	$\frac{1}{1-F(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt}$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(t) dt}$	—

例 31-1 若失效率为常数  $\lambda$ ,求可靠度、累积失效概率、寿命概率密度、平均寿命、可靠寿命和中位寿命。

解 本例相当于偶然失效期,按表 31-12

可靠度  $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}$

累积失效概率  $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

寿命概率密度  $f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$

按式(31-44),用分部积分法可得

平均寿命  $\bar{t} = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$

按式(31-46),由可靠度函数解  $t$  可得

可靠寿命  $t(R) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{R} = \bar{t} \ln \frac{1}{R}$

当取  $R=0.5$  时,可得

中位寿命  $\tilde{t} = t(0.5) = \bar{t} \ln \frac{1}{0.5} = 0.693 \bar{t}$

本例是寿命服从指数分布时各可靠性特征量间的关系。一般复杂系统,寿命多服从指数分布。有时,寿命分布虽然并非是指数分布,但为了简化,应用平均失效率的概念,也可近似应用这些简单的关系。

1.5 维修性特征量

1.5.1 维修度

维修度是在规定条件下使用的产品,在规定时

间内按着规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到能完成规定功能状态的概率。它是维修时间的函数,记为  $M(\tau)$ ,称为维修度函数。

如果用随机变量  $T$  表示产品从开始维修到修复的时间,其概率密度为  $m(\tau)$ , 则

$$M(\tau) = P(T < \tau) = \int_0^\tau m(\tau) d\tau \quad (31-50)$$

1.5.2 修复率

修复率是修理时间已达到某个时刻尚未修复的产品,在该时刻后的单位时间内完成修理的概率,记为  $\mu(\tau)$

$$\mu(\tau) = \frac{m(\tau)}{1 - M(\tau)} \quad (31-51)$$

1.5.3 平均修复时间

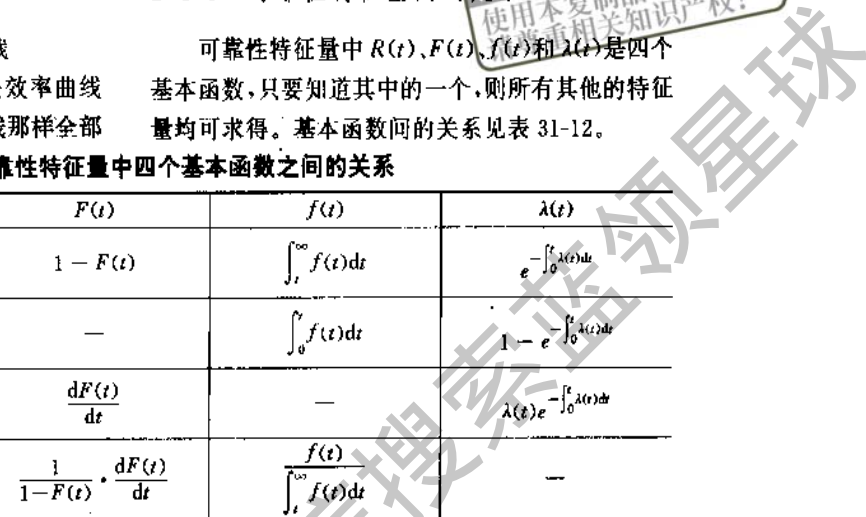
平均修复时间是修复时间的均值。记为  $\bar{\tau}$  或  $MTTR$ 。

$$\bar{\tau} = \int_0^\infty \tau m(\tau) d\tau \quad (31-52)$$

1.5.4 维修性和可靠性特征量的对应关系

可靠性是研究产品由正常状态转到故障状态之间时间  $t$  的分布等;维修性是研究产品由故障状态

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
尊重相关知识产权！



恢复到正常状态之间时间  $\tau$  的分布等。掌握维修性和可靠性特征量的对应关系，则研究可靠性的统计分析方法就可同样用于研究维修性。

维修性和可靠性特征量的对应关系如图 31-6 和表 31-13 所示。图 31-6 中， $F(t)$  与  $M(\tau)$  相对应， $F(t)$  越高表示失效概率越高； $M(\tau)$  越高表示修复概率越高。失效与修复，其效果是对立的。 $F(t)$  越低， $M(\tau)$  越高，则可靠性越佳。平均修复时间、平均修复率等观测值与对应的平均寿命、平均失效率等观测值的计算方法均类似。

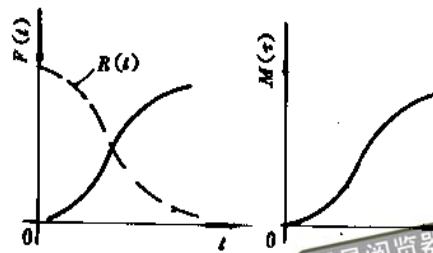


图 31-6 不可靠度与维修度函数

表 31-13 可靠性与维修性的对应关系

项 目	可 靠 性	维 修 性	
概率密度函数	$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$	$m(\tau) = \frac{dM(\tau)}{d\tau}$	
累积分布函数	$F(t) = 1 - R(t) = \int_0^t f(t)dt$	$M(\tau) = \int_0^\tau m(\tau)dr$	
失效率和修复率	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$	$\mu(\tau) = \frac{m(\tau)}{1 - M(\tau)}$	
指数分布	累积分布	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	$M(\tau) = 1 - e^{-\mu \tau}$
	平均时间	$MTTF = \frac{1}{\lambda}$ (MTBF)	$MTTR = \frac{1}{\mu}$

### 1.6 有效性特征量

#### 1.6.1 有效度的意义

可用有效度衡量产品运转状态(可用率)的好坏。有效度是可修复产品在规定的使用、维修条件下，在规定的时间内，维持其功能处于正常状态的概率。一般记为  $A$ 。它是时间的函数，故也记为  $A(t)$  或  $A(t, \tau)$ 。

若给定某产品工作时间  $t$  和与  $t$  相比很小的允许维修时间  $\tau$ ，则有效度  $A(t, \tau)$  与可靠度  $R(t)$ 、维修度  $M(\tau)$  的关系

$$A(t, \tau) = R(t) + [1 - R(t)]M(\tau) \quad (31-53)$$

对不可修复产品， $M(\tau) = 0$ ，则  $A(t, \tau) = R(t)$ 。对可修复产品， $M(\tau) > 0$ ，则式 (31-53) 右端第二项为发生故障因能维修而对有效性的增量。图 31-7 是有效度与可靠度、维修度的关系。

提高可靠度或维修度均能达到提高有效度的目的。为获得很高的有效度，往往用提高维修度比用提高可靠度容易实现且较经济。应在设计开始就注意提高维修度，因为维修度不仅取决于维修人员的技术、维修设备、工具、备件及管理等因素，而且还取决于所设计的结构维修是否方便。

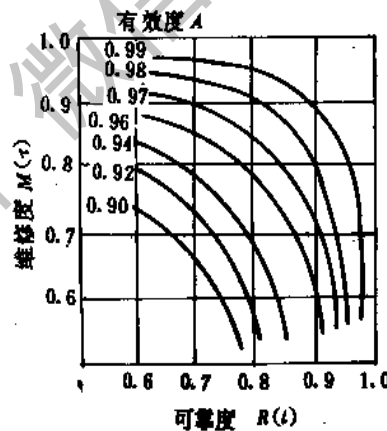


图 31-7 有效度与可靠度、维修度的关系

#### 1.6.2 有效度的种类

有效度是时间的函数，根据时间情况有

(1) 瞬时有效度 产品在某时刻  $t$  具有或维持其规定功能的概率。记为  $A(t)$ 。

(2) 平均有效度 产品在某个规定时间区间  $(t_1, t_2)$  内有效度的平均值。记为  $\bar{A}(t)$

$$\bar{A}(t) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t)dt \quad (31-54)$$

(3) 极限有效度 当时间趋于无限大时瞬时

有效度的极限值,也称稳态有效度,记为  $A(\infty)$ ,简称为  $A$ 。

(4) 有效度的观测值 在某个观察时间内,产品能工作时间对能工作时间与不能工作时间之和的比。

$$A = \frac{\text{能工作时间}}{\text{能工作时间} + \text{不能工作时间}} \quad (31-55)$$

关于时间的分类随不同的系统、设备而不同,图 31-8 为一种典型的分类法。若能工作时间和不能工作时间取法不同,将得出不同有效度的定义和数值。若能工作时间为平均无故障工作时间,不能工作时间为平均修复时间,则  $A$  即为固有有效度。若能工作时间为平均可能工作时间,不能工作时间为平均不能工作时间,则  $A$  即为使用有效度。

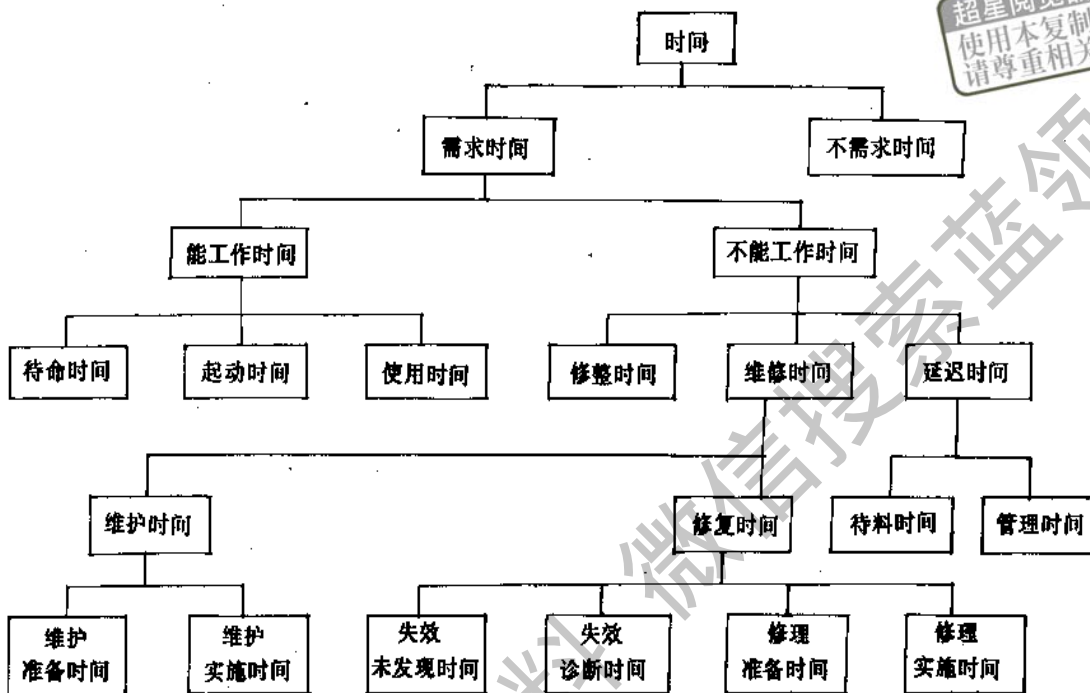


图 31-8 典型的时间分类

### 1.6.3 单元有效度

一个单元构成的设备或把整个设备视为一个单元,则其有效度称为单元有效度。若单元能工作时间和不能工作时间都服从指数分布,故障率为  $\lambda$ ,修复率为  $\mu$ ,则瞬时有效度

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-\lambda + \mu t} \quad (31-56)$$

(0, t) 区间的平均有效度

$$\bar{A}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)^2 t} [1 - e^{-\lambda + \mu t}] \quad (31-57)$$

极限有效度

$$A = A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (31-58)$$

图 31-9 给出了三种有效度随时间变化的情况。

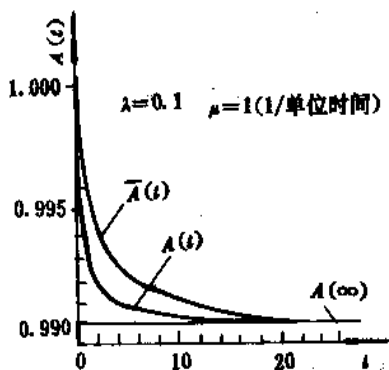


图 31-9 有效度随时间的变化

## 2 可靠性试验数据的统计处理方法

### 2.1 可靠性试验分类

进行可靠性设计时,为了明确所设计产品可靠性的要求、制定可靠性目标、预计和验证可靠性有关的特征量等,必须掌握可靠性数据。可靠性试验是获得可靠性数据的重要手段。可靠性试验是为了提高或证实产品的可靠性而进行的试验的总称。这里的产品包括系统、设备、零部件及材料。寿命试验是可靠性试验的一个很重要的部分,是评价、分析产品寿命特征量所进行的试验。下面就寿命试验列出几种类别。

#### 2.1.1 按试验场所的分类

(1) 现场寿命试验 这是产品在实际使用条件下观测到的实际寿命数据,最能说明产品的可靠性,可以说是最终的客观标准。因此,收集现场中产品的寿命数据是很重要的。然而,收集现场数据会遇到各种困难,需要时间长、工作情况难以一致,而且必须有相应的管理人员组织,这样才能获得比较准确的数据。

(2) 实验室寿命试验 实验室试验是模拟现场情况的试验,它将现场重要的应力条件搬到实验室,并加以人工控制,也可进行影响寿命的单项或少数几项应力组合的试验,也可设法缩短试验时间加速取得试验的结果。

#### 2.1.2 按试验截止情况的分类

(1) 全数寿命试验 样本全部失效才停止试验。这种试验可获得较完整的数据,统计分析结果也较好。但这种试验所需时间较长,有时甚至难以实现。

(2) 定数截尾寿命试验 试验到规定的失效数即停止试验。

(3) 定时截尾寿命试验 试验到规定的时间,不管样本已失效多少,试验都停止。

根据试验中试样失效后是否用新试样替换继续试验,尚可分为有替换和无替换两种,故一般可归纳为如下四种试验:

- a. 有替换定时截尾寿命试验;
- b. 有替换定数截尾寿命试验;
- c. 无替换定时截尾寿命试验;

d. 无替换定数截尾寿命试验。

全数寿命试验可看成是截尾数为  $n$  的无替换定数截尾寿命试验。此外,尚有分组最小值寿命试验:有中止的寿命试验等。分组最小值寿命试验是将  $n$  个试件分为  $m$  个组,每组试件都试验到有 1 个试件失效时就截止试验,以节省试验时间,但需要有多台试验设备。有中止的寿命试验是在试验开始时样本大小为  $n$ ,随着试验的进行,有些试样没有失效中途就逐渐截止,在收集现场数据时常发生这种情况。

### 2.2 分布类型的假设检验

分布类型的判断原则上有一定理论法和统计法两种。理论法是根据失效机理制定的数学模型或者某种分布的性质推导出来的。例如,失效率为常数的寿命分布为指数分布;失效由“最弱”环节决定的寿命分布为极值分布;受很多独立随机因素和的影响,则分布为正态分布等。统计法是根据大量试验数据统计求得的。很多同类性能在以往大量试验的基础上已经验证了其分布。例如,几何尺寸、材料强度、硬度等多服从正态分布;金属的疲劳寿命则服从对数正态分布或威布尔分布。下面仅介绍统计法。对分布不明的情况,应做大样本的试验以判定分布类型,对已有经验参考的,则可做较小样本的试验,假设其分布类型再进行相应的拟合性检验。下面给出通用的  $\chi^2$  检验法和 K-S 检验法。

#### 2.2.1 $\chi^2$ 检验法

$\chi^2$  检验法一般只用于大样本。 $\chi^2$  检验法是计算理论频数与实际频数间的差异,将检验统计量  $\chi^2$  的观测值与临界值  $\chi^2_\alpha(\nu)$  比较。满足下列条件,接受原假设;否则,拒绝原假设。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(v_i - np_i)^2}{np_i} \leq \chi^2_\alpha(k - m - 1) \quad (31-59)$$

- 式中  $n$ ——样本大小;
- $k$ ——分组数,按样本大小宜取  $k=7\sim 14$ ;
- $v_i$ ——第  $i$  组的实际频数,  $v_i \geq 5$ ;
- $p_i$ ——第  $i$  组的理论频率(概率);
- $m$ ——未知参数的数目;
- $\alpha$ ——显著性水平;

$\chi^2_\alpha(\cdot)$ ——临界值,查表 31-7。

例 31-2 220 个某产品的失效时间记录列于表 31-14 中,试检验该产品的寿命是否服从指数分布。



表 31-14 某产品失效的数据记录

时间 h	0~100	~200	~300	~400	~500	~600	~700	~800	~900
失效数 $r_i$	39	50	35	32	28	18	12	4	2

解 假设该产品的寿命服从指数分布, 参数  $\lambda$  未知。取组中值作为该组时间的代表值  $t_i$ , 则  $\lambda$  的点估计

$$\hat{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i v_i = \frac{1}{220}$$

$$(50 \times 39 + 150 \times 50 + \dots + 850 \times 2) = 293 \text{ h}$$

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\hat{t}} = \frac{1}{293} \text{ 1/h}$$

假设  $H_0: F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{293}}$

为了使用  $\chi^2$  检验法, 首先按规定分组, 由于每组中实际频数不宜少于 5, 故将前 7 段时间各作为一组, 最后两段时间合为一组。总计组数  $k=8$ , 正好在 7~14 范围内。其他计算见表 31-15。

表 31-15 例 31-2 的列表计算

组号 $i$	$v_i = r_i$	$p_i = (1 - e^{-\frac{t_i}{293}}) - (1 - e^{-\frac{t_{i-1}}{293}})$	$np_i = 220 p_i$	$v_i - np_i$	$(v_i - np_i)^2$	$\frac{(v_i - np_i)^2}{np_i}$
1	39	0.2827	62.194	-23.194	537.962	8.650
2	50	0.2055	45.210	4.790	22.944	0.507
3	35	0.1461	32.140	2.860	8.180	0.254
4	32	0.1039	22.858	9.142	83.576	3.656
5	28	0.0738	16.236	11.764	138.392	8.524
6	18	0.0525	11.550	6.450	41.603	3.602
7	12	0.0373	8.206	3.794	14.394	1.754
8	6	0.0917	20.174	-14.174	200.90	9.958
$\Sigma$						36.905

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(v_i - np_i)^2}{np_i} = 36.905$$

取显著性水平  $\alpha=0.10$ , 由  $\nu=k-m-1=8-1-1=6$  查表 31-7

$$\chi^2_{\alpha}(\nu) = \chi^2_{0.10}(6) = 10.64$$

由于  $\chi^2 > \chi^2_{0.10}(6)$ , 故拒绝原假设, 即不能认为该产品的寿命服从指数分布。

### 2.2.2 K-S 检验法

K-S 检验法 ( $d$  检验法) 比  $\chi^2$  检验法精确, 而且还适用于小样本的情况。但是, K-S 检验法要求所检验的分布中不含未知参数。当指定分布中含有未知参数时, 对某些分布应该用专门的临界值表。

K-S 检验法是将  $n$  个试验数据按由小到大的次序排列, 根据假设的分布, 计算每个数据对应的  $F_0(x_i)$ , 将其与经验分布函数  $F_n(x_i)$  相比较, 其中, 差

的最大绝对值即检验统计量  $D_n$  的观测值。将  $D_n$  与临界值  $D_{n,\alpha}$  比较。满足下列条件, 接受原假设; 否则, 拒绝原假设。

$$D_n = \sup_{-\infty < x < \infty} |F_n(x) - F_0(x)| = \max\{d_i\} \leq D_{n,\alpha} \quad (31-60)$$

式中  $F_0(x)$  —— 原假设的分布函数

$F_n(x)$  —— 经验分布函数

$$F_n(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ \frac{i}{n}, & x_1 < x \leq x_{i+1}, \\ x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n, & i=1, 2, \dots, n \\ 1, & x > x_n \end{cases} \quad (31-61)$$

$$d_i = \max \left\{ F_0(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F_0(x_i) \right\} \quad (31-62)$$

$D_{n,\alpha}$  —— 临界值, 查表 31-16



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 31-16 K-S 检验临界值表

$n$	$\alpha$	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	$n$	$\alpha$	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
1		0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	31		0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28530
2		0.68377	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929	32		0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094
3		0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	33		0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27677
4		0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	34		0.17909	0.20472	0.22743	0.25429	0.27279
5		0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	35		0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897
6		0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	36		0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532
7		0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	37		0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180
8		0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	38		0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843
9		0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	39		0.16753	0.19148	0.21273	0.23786	0.25518
10		0.32260	0.36866	0.40925	0.45662	0.48893	40		0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205
11		0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	41		0.16349	0.18687	0.20760	0.23212	0.24904
12		0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	42		0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613
13		0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	43		0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332
14		0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	44		0.15796	0.18053	0.20056	0.22426	0.24060
15		0.26588	0.30397	0.33760	0.37713	0.40420	45		0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798
16		0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	46		0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544
17		0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	47		0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298
18		0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	48		0.15139	0.17302	0.19221	0.21493	0.23059
19		0.23735	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117	49		0.14987	0.17128	0.19028	0.21277	0.22828
20		0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	50		0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604
21		0.22617	0.25858	0.28724	0.32104	0.34427	55		0.14164	0.16186	0.17981	0.20107	0.21574
22		0.22115	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	60		0.13573	0.15511	0.17231	0.19267	0.20673
23		0.21645	0.24746	0.27490	0.30728	0.32954	65		0.13052	0.14913	0.16567	0.18525	0.19877
24		0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	70		0.12586	0.14381	0.15975	0.17863	0.19167
25		0.20790	0.23768	0.26404	0.29516	0.31657	75		0.12167	0.13901	0.15442	0.17268	0.18528
26		0.20399	0.23320	0.25907	0.28962	0.31064	80		0.11787	0.13467	0.14960	0.16728	0.17949
27		0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	85		0.11442	0.13072	0.14520	0.16236	0.17421
28		0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	90		0.11125	0.12709	0.14117	0.15786	0.16938
29		0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	95		0.10833	0.12375	0.13746	0.15371	0.16493
30		0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28987	100		0.10563	0.12067	0.13403	0.14987	0.16081

例 31-3 某合金 9 个试件测得的强度极限为 453, 436, 429, 419, 405, 416, 432, 423, 440 N/mm<sup>2</sup>。检验该合金的强度极限是否服从均值  $\mu=428$  N/mm<sup>2</sup>, 标准差  $\sigma=15$  N/mm<sup>2</sup> 的正态分布。

解 令该合金的强度极限  $x_i = X$ , 将数据按由小到

大次序排列。假设  $X$  服从正态分布, 分布函数

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{15\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-428)^2}{2 \times 15^2}} dx = \Phi\left(\frac{x-428}{15}\right)$$

式中的  $\Phi(\cdot)$  查表 31-6。计算结果见表 31-17。

表 31-17 例 31-3 的列表计算

序号 $i$	$x_i$	$F(x_i) = \Phi\left(\frac{x_i - 428}{15}\right)$	$\frac{i-1}{n}$	$\frac{i}{n}$	$d_i$
1	405	0.06301	0	0.111	0.06301
2	416	0.2119	0.111	0.222	0.1009
3	419	0.2743	0.222	0.333	0.0587
4	423	0.3707	0.333	0.444	0.0733
5	429	0.5279	0.444	0.556	0.0839
6	432	0.6064	0.556	0.667	0.0606
7	436	0.7019	0.667	0.778	0.0761
8	440	0.7881	0.778	0.889	0.1009
9	453	0.95254	0.889	1.000	0.06354



1103 请您提醒：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

由上表中计算结果知,  $D_n$  的观察值按式 31-60

$$D_n = \max\{d_i\} = 0.1009$$

取显著性水平  $\alpha=0.10$ , 由表 31-16 查得  $D_{n,\alpha}=0.38746$ , 由于  $D_n < D_{n,\alpha}$ , 故接受原假设, 即认为该合金的强度极限服从  $\mu=428 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma=15 \text{ N/mm}^2$  的正态分布。

### 2.3 指数分布的分析法

由表 31-4 知, 指数分布的概率密度

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (31-63)$$

#### 2.3.1 指数分布的拟合性检验

本检验法适用于截尾试验、全数试验和有中止的试验。当失效数  $r=0, 1, 2$  时, 由于经济、时间等原因不允许继续试验, 则可接受指数分布假设而不必检验。当  $r \geq 3$  时可用下面给出的检验法。

计算检验统计量

$$\chi^2 = 2 \sum_{k=1}^d \ln \frac{t_k}{T_k} \quad (31-64)$$

式中  $t_k$  —— 总累积试验时间;

$T_k$  —— 第  $k$  ( $k=1, 2, \dots, r$ ) 次失效时的累积试验时间;

$$d = \begin{cases} r-1, & \text{定数截尾或定时截尾 } t_r = t_0 \\ r, & \text{定时截尾 } t_r < t_0 \end{cases}$$

$t_0$  —— 指定的定时截尾时间;

$t_r$  —— 指定的定数截尾时间。

满足下列条件则接受指数分布的假设, 否则拒绝指数分布的假设。

$$\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2d) \leq \chi^2 \leq \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2d) \quad (31-65)$$

式中  $\alpha$  —— 显著性水平;

$\chi^2(2d)$  —— 自由度为  $2d$  的  $\chi^2$  分位数, 查表 31-7。

总累积试验时间  $t_k$  是所有投入试验的试样 (包括失效的、中止的、截尾未失效的) 试验到规定时间的试验时间总和。当开始投入  $n$  个试样同时试验, 试验中有  $b$  个中止, 中止时间为  $\tau_j$  ( $j=1, 2, \dots, b$ ), 有  $r$  个失效, 失效时间为  $t_i$  ( $i=1, 2, \dots, r$ ), 规定试验到  $t_0$  停止试验, 则试验总累积时间:

无替换

$$t_k = \sum_{i=1}^r t_i + \sum_{j=1}^b \tau_j + (n-r-b)t_0 \quad (31-66)$$

有替换

$$t_k = \sum_{j=1}^b \tau_j + (n-b)t_0 \quad (31-67)$$

式中  $t_0$  —— 定时截尾时是规定的截尾时间; 定数截尾时是规定第  $r$  个失效的时间  $t_r$ ;

$b$  —— 中途中止试验的试样个数, 无中止试样时  $b=0$ 。

第  $k$  次失效时的累积试验时间:

无替换

$$T_k = \sum_{i=1}^k t_i + \sum_{j=1}^{b_k} \tau_j + (n-k-b_k)t_k \quad (31-68)$$

有替换

$$T_k = \sum_{i=1}^k t_i + (n-b_k)t_k \quad (31-69)$$

式中  $t_k$  —— 第  $k$  ( $k=1, 2, \dots, r$ ) 个失效的时间

$b_k$  —— 第  $k$  个失效前中止试验的试样个数, 无中止试样时  $b=0$ 。

例 31-4 抽取某产品 10 个进行寿命试验, 失效 5 个即停止试验, 试验结果为 76, 143, 152, 275, 326 h。检验该产品寿命是否服从指数分布。

解 假设该产品的寿命服从指数分布。这是无替换定数截尾、无中止的寿命试验。由式 (31-66) 得总累积试验时间  $t_k$

$$\begin{aligned} t_k &= \sum_{i=1}^r t_i + (n-r)t_r \\ &= 76 + 143 + 152 + 275 + 326 + (10-5) \\ &\quad \times 326 = 2602 \text{ h} \end{aligned}$$

由式 (31-68) 得第  $k$  次失效时的累积试验时间  $T_k$

$$\begin{aligned} T_1 &= t_1 + (n-1)t_1 \\ &= 76 + (10-1) \times 76 = 760 \text{ h} \\ T_2 &= t_1 + t_2 + (n-2)t_2 \\ &= 76 + 143 + (10-2) \times 143 = 1363 \text{ h} \\ T_3 &= t_1 + t_2 + t_3 + (n-3)t_3 \\ &= 76 + 143 + 152 + (10-3) \times 152 = 1435 \text{ h} \\ T_4 &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + (n-4)t_4 \\ &= 76 + 143 + 152 + 275 + (10-4) \times 275 \\ &= 2296 \text{ h} \end{aligned}$$

由式 (31-64), 本例  $d=r-1=5-1=4$ , 故

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 2 \sum_{k=1}^d \ln \left( \frac{t_k}{T_k} \right) \\ &= 2 \left( \ln \frac{2602}{760} + \ln \frac{2602}{1363} + \ln \frac{2602}{1435} + \ln \frac{2602}{2296} \right) \\ &= 5.195 \end{aligned}$$

取显著性水平  $\alpha=0.10$ , 由表 31-7 查得

$$\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2d) = \chi^2_{0.95}(8) = 2.73$$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$$\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2d) = \chi^2_{0.05}(8) = 15.51$$

满足  $2.73 \leq \chi^2 \leq 15.51$ ，故接受原假设，认为该产品的寿命服从指数分布。

截尾试验

$$\bar{i} = \frac{t_x}{r} \quad (31-72)$$

2.3.2 指数分布的参数估计和可靠度估计

指数分布参数  $\lambda$  的点估计

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\bar{i}} \quad (31-70)$$

式中的  $\bar{i}$  为样本均值， $n$  个个体的全数试验

$$\bar{i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (31-71)$$

式中  $t_x$ ——总试验累积时间，用式 (31-66) 或式 (31-67) 求；

$r$ ——观测失效数，当  $r=0$  进行  $\lambda$  的点估时，建议取  $r = \frac{1}{3}$ 。

指数分布参数的区间估计，截尾寿命试验(全数试验可用无替换定数截尾)  $\bar{i}$  的区间估计用表 31-18 中公式计算。

表 31-18 指数分布平均寿命的区间估计

区间估计种类	定时截尾	定数截尾
单侧置信下限 $\hat{t}_L$	$\frac{2t_x}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2r+2)}$	$\frac{2t_x}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2r)}$
双侧置信下限 $\hat{t}_L$	$\frac{2t_x}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2r+2)}$	$\frac{2t_x}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2r)}$
双侧置信上限 $\hat{t}_U$	$\frac{2t_x}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2r)}$	$\frac{2t_x}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2r)}$

注：1.  $\alpha$ ——显著性水平；

2.  $r$ ——失效数；

3.  $\chi^2_{\cdot}(\cdot)$ —— $\chi^2$  分布的分位数，查表 31-7。

参数  $\lambda$  的区间估计，先由表 31-18 计算平均寿命的置信限，再按下式计算  $\lambda$  的置信限。

$\lambda$  的置信下限

$$\lambda_L = \frac{1}{\hat{t}_U} \quad (31-73)$$

$\lambda$  的置信上限

$$\lambda_U = \frac{1}{\hat{t}_L} \quad (31-74)$$

可靠度的点估计

$$\hat{R}(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{\bar{i}}} \quad (31-75)$$

可靠度的置信下限

$$R_L(t) = e^{-\lambda_U t} = e^{-\frac{t}{\hat{t}_L}} \quad (31-76)$$

**例 31-5** 某产品寿命服从指数分布，抽取 11 个进行寿命试验，在试验到 500 h 时中止 1 个，600 h 时中止 1 个，900 h 时失效 1 个，其他试样达到 1000 h 均未失效即停止试验。求平均寿命、失效率及工作到 100 h 可靠度的点估计。若要求置信水平  $\gamma = 1 - \alpha = 90\%$ ，求平均寿命的单侧置信下限、失效率的单侧置信上限及工作到 100 h 可靠度的单侧置信下限。

**解** 这是  $n=11$ ，失效数  $r=1$ ，中止数  $b=2$ ，截尾时间  $t_0=1000$  h 的无替换定时截尾寿命试验。由式 (31-66)，总累积试验时间

$$t_x = t_1 + t_2 + \dots + (n-r-b) t_0 = 900 + 500 + 600 + (11-1-2) \times 1000 = 10000 \text{ h}$$

由式 (31-72)，平均寿命的点估计

$$\bar{i} = \frac{t_x}{r} = \frac{10000}{1} = 10000 \text{ h}$$

由式 (31-70)，失效率的点估计

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\bar{i}} = \frac{1}{10000} \text{ 1/h}$$

由式 (31-75)， $t=100$  h 时可靠度的点估计

$$\hat{R}(100) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{100}{10000}} = 0.99005$$

用表 31-18 中的公式，由表 31-7 查得  $\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2r+2) = \chi^2_{0.05}(4) = 7.78$ ，故平均寿命的单侧置信下限

$$\hat{t}_L = \frac{2t_x}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2r+2)} = \frac{2 \times 10000}{7.78} = 2570.7 \text{ h}$$

由式 (31-74)，失效率的单侧置信上限

$$\lambda_U = \frac{1}{\hat{t}_L} = \frac{1}{2570.7} = 3.89 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

由式 (31-76)， $t=100$  h 时可靠度的单侧置信下限

$$R_L(100) = e^{-\lambda_U t} = e^{-\frac{100}{2570.7}} = 0.96185$$

2.4 正态及对数正态分布的分析法

由表 31-4 知，正态分布的概率密度

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (31-77)$$

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

对数正态分布的概率密度

$$f(y) = \frac{1}{\sigma y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln y - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (31-78)$$

由对数正态分布与正态分布的关系知,若随机变量  $Y \sim \ln(\mu, \sigma^2)$ , 则  $X = \ln Y \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。故取

$$x = \ln y \quad (31-79)$$

则正态分布的所有分析方法都可用于对数正态分布。但要注意,进行对数正态分布的分析时,必须将其数据按式 (31-79) 取成对数。

2.4.1 正态及对数正态分布的拟合性检验

对于样本容量不大,分布参数  $\mu, \sigma$  未知时,若用两参数的点估计  $\bar{x}, S_x$  代替,则假设

$$F_0(x; \bar{x}, S_x^2) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{s_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s_x^2}} dx \quad (31-80)$$

与 K-S 检验法类似,满足下列条件则接受原假设,否则拒绝原假设。

$$\begin{aligned} \bar{D}_n &= \sup_{-\infty < x < \infty} |F_0(x; \bar{x}, S_x^2) - F_n(x)| \\ &= \max\{\bar{d}_i\} \leq \bar{D}_{n,\alpha} \end{aligned} \quad (31-81)$$

表 31-19  $\bar{D}_n$  的临界值  $\bar{D}_{n,\alpha}$  (正态分布)

$n \backslash \alpha$	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
4	0.300	0.319	0.352	0.381	0.417
5	0.285	0.299	0.315	0.337	0.405
6	0.265	0.277	0.294	0.319	0.364
7	0.247	0.258	0.276	0.300	0.348
8	0.233	0.244	0.261	0.285	0.331
9	0.223	0.233	0.249	0.271	0.311
10	0.215	0.224	0.239	0.258	0.294
11	0.206	0.217	0.230	0.249	0.284
12	0.199	0.212	0.223	0.242	0.275
13	0.190	0.202	0.214	0.234	0.268
14	0.183	0.194	0.207	0.227	0.261
15	0.177	0.187	0.201	0.220	0.257
16	0.173	0.182	0.195	0.213	0.250
17	0.169	0.177	0.189	0.206	0.245
18	0.166	0.173	0.184	0.200	0.239
19	0.163	0.169	0.179	0.195	0.235
20	0.160	0.166	0.174	0.190	0.231
25	0.142	0.147	0.158	0.173	0.200
30	0.131	0.136	0.144	0.161	0.187
>30	$\frac{0.736}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.031}{\sqrt{n}}$

式中  $F_n(x)$ ——经验分布函数,同式 (31-61)

$$\begin{aligned} \bar{d}_i &= \max\{F_0(x; \bar{x}, S_x^2) - \frac{i-1}{n}, \\ &\quad \frac{i}{n} - F_0(x; \bar{x}, S_x^2)\} \end{aligned} \quad (31-82)$$

$\bar{D}_{n,\alpha}$ ——临界值,查表 31-19

例 31-6 对某钢材进行静强度试验,9 个试件的强度极限按由小到大次序分别为 625, 650, 656, 659, 661, 662, 663, 668, 672 N/mm<sup>2</sup>。检验该钢材强度极限是否服从正态分布。

解 假设该钢材的强度极限服从正态分布,由于分布参数未知,故先进行估计。由式 (31-99)、(31-100)

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ &= \frac{1}{9} (625 + 650 + 656 + 659 + 661 + 662 + 663 \\ &\quad + 668 + 672) = 657.3 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$$S_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^9 (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left\{ \frac{1}{9-1} [(625-657.3)^2 + (650-657.3)^2 \dots \right.$$

$$\left. + (672-657.3)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} = 13.69 \text{ N/mm}^2$$

假设

$$F_0(x; \bar{x}, S_x^2) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{13.69 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-657.3)^2}{2 \times 13.69^2}} dx$$

列表计算  $\bar{d}_i$ , 见表 31-20。Φ(·) 查表 31-6。

表 31-20 例 31-6 的列表计算

序号 $i$	$x_i$ N/mm <sup>2</sup>	$F_0(x_i) = \Phi\left(\frac{x_i - 657.3}{13.69}\right)$	$\frac{i-1}{9}$	$\frac{i}{9}$	$\bar{d}_i$
1	625	0.009137	0.000	0.11111	0.10197
2	650	0.2981	0.11111	0.22222	0.18699
3	656	0.4641	0.22222	0.33333	0.24188
4	659	0.5478	0.33333	0.44444	0.21447
5	661	0.6064	0.44444	0.55556	0.16196
6	662	0.6331	0.55556	0.66667	0.07754
7	663	0.6628	0.66667	0.77778	0.11498
8	668	0.7823	0.77778	0.88889	0.10659
9	672	0.8577	0.88889	1.00	0.14230

由上表中的计算结果知,  $\bar{D}_n$  的观察值按式 (31-81)

$$\bar{D}_n = \max \{d_i\} = 0.24188$$

取显著性水平  $\alpha = 0.10$ , 由表 31-19 查得  $\bar{D}_{n,\alpha} = 0.249$ , 因为  $\bar{D}_n < \bar{D}_{n,\alpha}$ , 故接受原假设, 即认为该钢材强度极限服从正态分布。

**例 31-7** 某金属材料在某应力水平用 10 个试件做弯曲疲劳试验, 其寿命循环次数  $N$  分别为 125000, 132000, 135000, 138000, 141000, 147000, 154000, 161000, 164000, 182000。检验该寿命分布是否服从对数正态分布。

**解** 假设该金属材料的疲劳寿命服从对数正态分布。按式 (31-79) 求对数寿命  $x_i = \ln N_i = 11.736, 11.791, 11.813, 11.835, 11.857, 11.898, 11.945, 11.989, 12.008, 12.112$ 。按式 (31-99)、式 (31-

100) 估计分布参数

$$\bar{x} = \hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$= \frac{1}{10} (11.736 + 11.791 + \dots + 12.112) = 11.898$$

$$S_x = \hat{\sigma} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left\{ \frac{1}{10-1} [(11.736 - 11.898)^2 + (11.791 - 11.898)^2 + (12.112 - 11.898)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} = 0.115$$

$$\text{假设 } F_0(N; \hat{\mu}, \hat{\sigma}) = \int_0^N \frac{1}{0.115t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - 11.898)^2}{2 \times 0.115^2}} dt$$

列表计算  $\bar{d}_i$ , 见表 31-21。Φ(·) 查表 31-6。

表 31-21 例 31-7 的列表计算

序号 $i$	$N_i$	$x_i$	$F_0(N) = \Phi\left(\frac{x_i - 11.898}{0.115}\right)$	$\frac{i-1}{10}$	$\frac{i}{10}$	$\bar{d}_i$
1	125000	11.736	0.07947	0.0	0.1	0.07947
2	132000	11.791	0.17606	0.1	0.2	0.07606
3	135000	11.813	0.22990	0.2	0.3	0.07010
4	138000	11.835	0.29191	0.3	0.4	0.10809
5	141000	11.857	0.36073	0.4	0.5	0.13927
6	147000	11.898	0.50000	0.5	0.6	0.10000
7	154000	11.945	0.65861	0.6	0.7	0.05861
8	161000	11.989	0.78562	0.7	0.8	0.08562
9	164000	12.008	0.83060	0.8	0.9	0.06940
10	182000	12.112	0.96861	0.9	1.0	0.06861









超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 31-25 5%秩表

次序 数 $i$	样 本 大 小 $n$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0500	0.0253	0.0170	0.0127	0.0102	0.0085	0.0074	0.0065	0.0057	0.0051
2		0.2236	0.1354	0.0976	0.0764	0.0629	0.0534	0.0468	0.0410	0.0368
3			0.3684	0.2486	0.1893	0.1532	0.1287	0.1111	0.0978	0.0873
4				0.4729	0.3426	0.2713	0.2253	0.1929	0.1688	0.1500
5					0.5493	0.4182	0.3413	0.2892	0.2514	0.2224
6						0.6070	0.4793	0.4003	0.3449	0.3035
7							0.6518	0.5293	0.4504	0.3934
8								0.6877	0.5709	0.4931
9									0.7169	0.6058
10										0.7411
次序 数 $i$	样 本 大 小 $n$									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0047	0.0043	0.0040	0.0037	0.0034	0.0032	0.0030	0.0209	0.0028	0.0026
2	0.0333	0.0307	0.0281	0.0263	0.0245	0.0227	0.0216	0.0205	0.0194	0.0183
3	0.0800	0.0719	0.0665	0.0611	0.0574	0.0536	0.0499	0.0476	0.0452	0.0429
4	0.1363	0.1245	0.1127	0.1047	0.0967	0.0910	0.0854	0.0797	0.0761	0.0725
5	0.2007	0.1824	0.1671	0.1527	0.1424	0.1321	0.1247	0.1173	0.1099	0.1051
6	0.2713	0.2465	0.2255	0.2082	0.1909	0.1786	0.1664	0.1575	0.1485	0.1396
7	0.3498	0.3152	0.2883	0.2652	0.2459	0.2267	0.2128	0.1990	0.1887	0.1785
8	0.4356	0.3909	0.3548	0.3263	0.3016	0.2805	0.2601	0.2449	0.2298	0.2183
9	0.5299	0.4727	0.4274	0.3904	0.3608	0.3350	0.3131	0.2912	0.2749	0.2587
10	0.6356	0.5619	0.5054	0.4600	0.4226	0.3922	0.3542	0.3429	0.3201	0.3029
11	0.7616	0.6613	0.5899	0.5343	0.4893	0.4517	0.4208	0.3937	0.3703	0.3469
12		0.7791	0.6837	0.6146	0.5602	0.5156	0.4781	0.4460	0.4196	0.3957
13			0.7942	0.7033	0.6366	0.5834	0.5395	0.5022	0.4711	0.4434
14				0.8074	0.7206	0.6562	0.6044	0.5611	0.5242	0.4932
15					0.8190	0.7360	0.6738	0.6233	0.5809	0.5444
16						0.8274	0.7475	0.6871	0.6379	0.5964
17							0.8358	0.7589	0.7005	0.6525
18								0.8441	0.7704	0.7138
19									0.8525	0.7818
20										0.8609

获取资料请加超星球





表 31-28 97.5%秩表

次序 数 $i$	样 本 大 小 $n$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0.9750	0.8419	0.7076	0.6024	0.5218	0.4593	0.4096	0.3694	0.3363	0.3085
2		0.9874	0.9057	0.8059	0.7164	0.6412	0.5787	0.5265	0.4825	0.4450
3			0.9916	0.9324	0.8534	0.7772	0.7096	0.6509	0.6001	0.5561
4				0.9937	0.9473	0.8819	0.8160	0.7551	0.7007	0.6525
5					0.9950	0.9567	0.9010	0.8430	0.7880	0.7376
6						0.9958	0.9633	0.9148	0.8630	0.8129
7							0.9964	0.9682	0.9252	0.8785
8								0.9968	0.9619	0.9333
9									0.9972	0.9748
10										0.9975
次序 数 $i$	样 本 大 小 $n$									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.2849	0.2647	0.2471	0.2316	0.2180	0.2059	0.1951	0.1853	0.1765	0.1684
2	0.4128	0.3848	0.3603	0.3387	0.3195	0.3023	0.2869	0.2729	0.2603	0.2487
3	0.5178	0.4841	0.4545	0.4281	0.4046	0.3835	0.3644	0.3471	0.3314	0.3170
4	0.6097	0.5719	0.5381	0.5080	0.4809	0.4565	0.4343	0.4142	0.3958	0.3789
5	0.6921	0.6511	0.6143	0.5810	0.5510	0.5238	0.4990	0.4764	0.4557	0.4366
6	0.7662	0.7233	0.6842	0.6486	0.6162	0.5866	0.5596	0.5348	0.5120	0.4911
7	0.8325	0.7891	0.7487	0.7114	0.6771	0.6457	0.6167	0.5901	0.5655	0.5428
8	0.8907	0.8484	0.8078	0.7696	0.7341	0.7012	0.6708	0.6426	0.6164	0.5922
9	0.9389	0.9008	0.8614	0.8234	0.7873	0.7535	0.7219	0.6924	0.6650	0.6395
10	0.9772	0.9451	0.9091	0.8724	0.8366	0.8025	0.7702	0.7398	0.7114	0.6847
11	0.9977	0.9791	0.9496	0.9161	0.8818	0.8480	0.8156	0.7847	0.7555	0.7280
12		0.9979	0.9808	0.9534	0.9221	0.8898	0.8579	0.8270	0.7975	0.7694
13			0.9981	0.9822	0.9567	0.9273	0.8969	0.8666	0.8371	0.8088
14				0.9982	0.9834	0.9505	0.9319	0.9031	0.8742	0.8461
15					0.9983	0.9845	0.9620	0.9360	0.9085	0.8311
16						0.9984	0.9854	0.9642	0.9395	0.9134
17							0.9985	0.9863	0.9662	0.9427
18								0.9986	0.9870	0.9679
19									0.9987	0.9877
20										0.9987

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

获取密码请联系超星

表 31-29 0.5%秩表

次序 数 $i$	样 本 大 小 $n$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0050	0.0025	0.0017	0.0013	0.0010	0.0008	0.0007	0.0006	0.0006	0.0005
2		0.0707	0.0414	0.0294	0.0229	0.0187	0.0158	0.0139	0.0123	0.0110
3			0.1710	0.1109	0.0828	0.0663	0.0553	0.0475	0.0419	0.0374
4				0.2659	0.1851	0.1436	0.1177	0.0999	0.0868	0.0777
5					0.3466	0.2540	0.2030	0.1698	0.1461	0.1281
6						0.4135	0.3151	0.2578	0.2191	0.1909
7							0.4691	0.3685	0.3074	0.2649
8								0.5157	0.4150	0.3518
9									0.5551	0.4557
10										0.5887
次序 数 $i$	样 本 大 小 $n$									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
2	0.0098	0.0090	0.0083	0.0077	0.0072	0.0067	0.0063	0.0059	0.0056	0.0053
3	0.0338	0.0303	0.0280	0.0257	0.0241	0.0225	0.0209	0.0198	0.0189	0.0280
4	0.0695	0.0633	0.0571	0.0529	0.0488	0.0458	0.0429	0.0400	0.0381	0.0364
5	0.1152	0.1042	0.0954	0.0866	0.0806	0.0745	0.0702	0.0659	0.0617	0.0509
6	0.1692	0.1531	0.1393	0.1282	0.1170	0.1092	0.1014	0.0958	0.0802	0.0846
7	0.2332	0.2085	0.1895	0.1736	0.1603	0.1471	0.1377	0.1284	0.1215	0.1147
8	0.3067	0.2725	0.2454	0.2290	0.2064	0.1914	0.1764	0.1657	0.1549	0.1469
9	0.3915	0.3448	0.3087	0.2799	0.2572	0.2376	0.2211	0.2047	0.1926	0.1807
10	0.4914	0.4271	0.3794	0.3421	0.3118	0.2998	0.2670	0.2493	0.2316	0.2185
11	0.6178	0.5230	0.4590	0.4108	0.3727	0.3415	0.3170	0.2946	0.2759	0.2572
12		0.6431	0.5510	0.4877	0.4395	0.4009	0.3690	0.3431	0.3205	0.3010
13			0.6653	0.5760	0.5137	0.4656	0.4268	0.3945	0.3680	0.3448
14				0.6849	0.5984	0.5372	0.4896	0.4508	0.4182	0.3913
15					0.7024	0.6186	0.5587	0.5116	0.4729	0.4412
16						0.7181	0.6340	0.5754	0.5290	0.4807
17							0.7322	0.6494	0.5921	0.5465
18								0.7450	0.6649	0.6089
19									0.7566	0.6803
20										0.7673

超星浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆





超星浏览器提醒您：  
 禁止复制或  
 传播相关知识产权！

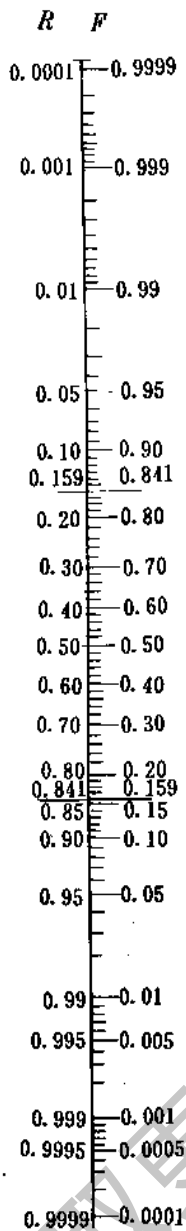


图 31-10 正态概率纸的纵坐标

(2) 正态分布的图估计法 正态分布的图估计法就是利用正态概率纸进行的各种估计。正态概率纸如图 31-11 所示。若无现成的概率纸,可用图 31-10 作为概率纸的纵坐标,横坐标取等分刻度,或将图 31-10 附在普通方格纸旁,就可作为概率纸用于正态分布和对数正态分布的各种估计。

现用具体数例说明正态概率纸的用法。

例如,某钢材 11 个试件测得的强度极限为

608, 622, 630, 638, 642, 648, 652, 660, 666, 673, 688  $\text{N/mm}^2$ 。令强度极限  $\sigma_s = X$ , 假设  $X$  服从正态分布 (若只需估计某些结果,可只做其相应需要的部分)。

a. 整理数据,按由小到大的次序编号,如表 31-31 中第 I、II 栏。

b. 用中位秩(也可用平均秩)作为  $F(x)$  的点估计,由表 31-22(也可用式(31-85))按样本大小  $n=11$  查得  $\hat{F}(x_i)$  记于表 31-31 中第 III 栏。

c. 按表 31-31 中 I、II 栏的数据在概率纸上描点,如图 31-11 所示的“·”。若各点明显不在一直线上,则认为该随机变量  $X$  服从正态分布的假设不能成立,分析停止,另作其他假设。若各点基本在一直线上,两端允许偏离稍大,则接受服从正态分布的假设。

本例中各点基本在一直线上,因此可接受该钢材强度极限服从正态分布的假设。

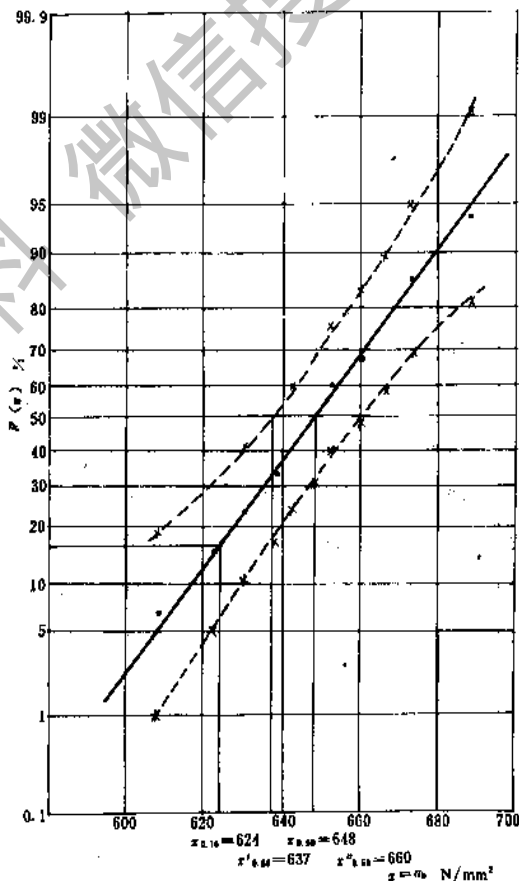


图 31-11 正态概率纸的用法

表 31-31 某钢材的强度极限

I	II	III	IV	V
序号 $i$	$x_i$ N/mm <sup>2</sup>	$\hat{F}(x_i) \approx \frac{i-0.3}{11+0.4}$	$F_{\alpha=0.1}(x_i)$	$F_{\alpha=0.9}(x_i)$
1	608	0.0611	0.010	0.189
2	622	0.1489	0.050	0.310
3	630	0.2366	0.105	0.415
4	638	0.3244	0.169	0.511
5	642	0.4122	0.241	0.600
6	648	0.5000	0.318	0.682
7	652	0.5878	0.401	0.760
8	660	0.6756	0.489	0.831
9	666	0.7634	0.585	0.895
10	673	0.8511	0.690	0.951
11	688	0.9389	0.811	0.991

d. 配置一直线,使这些点特别是中间  $F(x_i) = 0.2 \sim 0.8$  范围内的一些点尽量靠近直线,而且直线两边的点数大致相等。

本例中  $F(x_i) = 0.2 \sim 0.8$  的各点相当好地靠近点线,两端偏离也不大,可以认为拟合颇好。

e. 进行参数的点估计。由  $F(x) = 0.5$  的刻度点作水平线和所配直线相交,再由交点引下垂线得  $x_{0.50}$ ,则均值的点估计

$$\bar{x} = x_{0.50} \quad (31-86)$$

本例  $\bar{x} = x_{0.50} = 648$  N/mm<sup>2</sup>

由  $F(x) = 0.16$  的刻度点作水平线和所配直线相交,再由交点引下垂线得  $x_{0.16}$ ,则标准差的点估计

$$\hat{\sigma}_x = S_x = x_{0.50} - x_{0.16} \quad (31-87)$$

本例  $x_{0.16} = 624$  N/mm<sup>2</sup>,  $S_x = 648 - 624 = 24$  N/mm<sup>2</sup>。

f. 做区间估计。先按所需的置信水平由表 31-23~30 查相应百分数的秩。

本例若需估计  $1 - \alpha = 80\%$  的双侧置信限,就可由表 31-23~24 按  $n = 11$  查 10% 秩和 90% 秩,并将查得的值记于表 31-31 的 N、V 栏内。若需估计  $1 - \alpha = 90\%$  的单侧置信限,则按所需估计上限或下限只需表 31-31 中的第 N 栏或第 V 栏中的一栏,通常多需要第 V 栏。

g. 按表 31-31 中 II 和 N 栏的数据在概率纸上描点,并绘一曲线使这些点尽量靠近曲线且两侧点数大致相等。类似,按表 31-31 中 I 和 V 栏的数据描

点并绘曲线。

本例即图 31-11 中的“×”点和所绘的虚线。

h. 进行区间估计,由  $F(x) = 0.50$  的刻度点作水平线和所配曲线相交,再由两交点引下垂线得  $x'_{0.50}$  和  $x''_{0.50}$ ,则均值置信下限  $\bar{x}_L$  和上限  $\bar{x}_U$  分别为

$$\bar{x}_L = x'_{0.50} \quad (31-88)$$

$$\bar{x}_U = x''_{0.50} \quad (31-89)$$

本例置信水平  $1 - \alpha = 80\%$  的均值双侧置信下限  $\bar{x}_L = 637$  N/mm<sup>2</sup>, 置信上限  $\bar{x}_U = 660$  N/mm<sup>2</sup>。

若要估计单侧置信限,则应仅以相应虚线的交点引一个下垂线即可,但应注意这时的置信水平仅就单侧而言。

本例置信水平  $1 - \alpha = 90\%$  的均值单侧置信下限  $\bar{x}_L = x'_{0.50} = 637$  N/mm<sup>2</sup>。

i. 若要估计不同  $F(x)$  时  $x$  的点估计和区间估计,则由指定的  $F(x)$  的刻度画水平线,得交点后引下垂线即得。

例如,本例  $F(x) = 0.20$  时,  $x_{0.20} \approx 627$  N/mm<sup>2</sup>; 置信水平  $1 - \alpha = 90\%$  的单侧置信下限  $x_{0.10} \approx 610$  N/mm<sup>2</sup>。这就是该钢材失效概率为 20% 时的强度极限和其置信下限。

类似,也可进行不同  $x$  值时  $F(x)$  的点估计和区间估计。

例如,本例  $x = 620$  N/mm<sup>2</sup> 时,失效概率的点估计  $\hat{F}(x) \approx 0.12$ ; 置信水平  $1 - \alpha = 80\%$  的双侧置信

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权。

下限  $F_L(x) \approx 0.042$ , 置信上限  $F_U(x) \approx 0.29$ 。置信水平  $1-\alpha=90\%$  的单侧置信上限  $F_U(x) \approx 0.29$ 。

(3) 对数正态分布的图估计法 对数正态分布的图估计法就是利用对数正态概率纸进行的各种估计。对数正态概率纸的纵轴与正态概率纸相同, 横轴为对数坐标。对数正态概率纸的用法与正态概率纸的用法类似, 只是在估计对数正态分布的参数时, 将按正态概率纸分析步骤 e 中求得的横坐标值取成对数即可。

例如, 应力循环次数  $N$  服从对数正态分布, 按 (2) 中的步骤 e 求得的  $N_{0.50}$  和  $N_{0.16}$ , 若按自然对数, 则

对数均值的点估计

$$\mu = \ln N_{0.50} \quad (31-90)$$

对数标准差的点估计

$$\sigma = \ln N_{0.50} - \ln N_{0.16} \quad (31-91)$$

若按常用对数, 则

对数均值的点估计

$$\hat{\mu} = \lg N_{0.50} = 0.4343 \ln N_{0.50} \quad (31-92)$$

对数标准差的点估计

$$\hat{\sigma} = \lg N_{0.50} - \lg N_{0.16} \\ = 0.4343 (\ln N_{0.50} - \ln N_{0.16}) \quad (31-93)$$

同样, 使用对数正态概率纸也可对置信区间、可靠度和可靠寿命等进行估计。由于有时在对数正态概率纸上所配置的直线很陡, 使估计值难以准确。若将服从对数正态分布的随机变量  $N$  进行适当变换,

就可用正态概率纸进行分析。将随机变量  $N$  取对数  $X = \ln N$  或  $X = \lg N$ , 则  $X$  服从正态分布。下面举例说明其用法。

例如, 某金属材料在某应力水平用 10 个试件做弯曲疲劳试验, 其中 8 个试件失效的循环次数分别为 125000, 132000, 135000, 138000, 141000, 145000, 148000, 152000 次, 其他 2 个试件超过 152000 次未失效就停止了试验。这是样本大小  $n=10$ , 失效数  $r=8$  的定数截尾试验。假设随机变量  $N$  服从对数正态分布, 现分析于下:

a. 整理数据, 按由小到大次序编序号, 并取横坐标(按常用对数)为

$$X = \lg N$$

将这些结果记于表 31-32 第 I、II、III 栏内。

b. 用中位秩(也可用平均秩)作为  $\hat{F}(x_i)$ , 由表 31-22, 按  $n=10$  查得  $\hat{F}(x_i)$  值并记于表 31-32 的第 IV 栏内。

c. 用表 31-32 中的第 III、IV 栏数据在正态概率纸上描点, 如图 31-12 中的“。”所示。若各点明显不在一直线上, 则认为该随机变量服从对数正态分布的假设不能接受, 分析停止, 另作其他假设。若各点基本在一直线上, 则可接受服从对数正态分布的假设。

本例中各点基本在一直线上, 因此可接受该金属材料寿命服从对数正态分布的假设。

表 31-32 某金属材料的疲劳寿命

I	II	III	IV	V	VI
序号 $i$	循环次数 $N_i$	$x_i = \lg N_i$	$\hat{F}(x_i) \approx \frac{i-0.3}{10+0.4}$	$F_{1-\alpha_1}(x_i)$	$F_{\alpha-0.9}(x_i)$
1	125000	5.10	0.067	0.010	0.206
2	132000	5.12	0.162	0.055	0.337
3	135000	5.13	0.259	0.116	0.450
4	138000	5.14	0.355	0.188	0.552
5	141000	5.15	0.452	0.267	0.646
6	145000	5.16	0.548	0.354	0.733
7	148000	5.17	0.645	0.448	0.812
8	152000	5.18	0.741	0.550	0.884
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

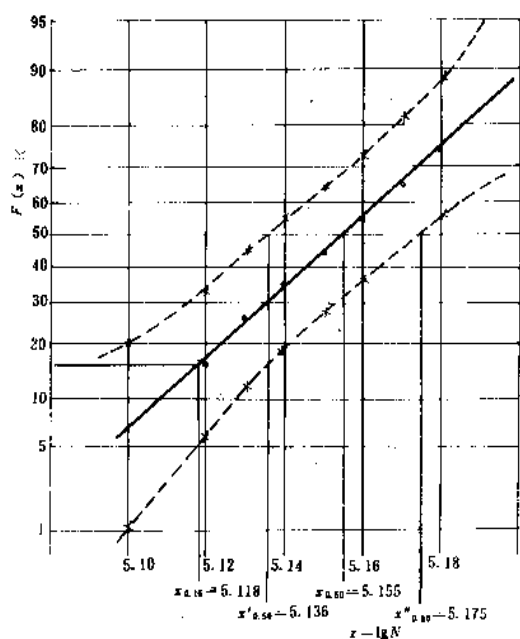


图 31-12 对数正态分布在正态概率纸上的分析

d. 配置一直线使这些点尽量靠近此直线(方法同前)。

本例中各点都较好的接近所配置的直线,拟合相当好。

e. 进行参数的点估计。由  $F(x)=0.50$  的刻度点作水平线和所配直线相交,并由交点引下垂线得  $x_{0.50}$ ;再由  $F(x)=0.16$  的刻度点作水平线和所配直线相交,并由交点引下垂线得  $x_{0.16}$ ,则点估计

$$\hat{\mu} = x_{0.50} \quad (31-94)$$

$$\hat{\sigma} = x_{0.50} - x_{0.16} \quad (31-95)$$

$$\bar{N} = 10^{\hat{\mu} + 1.16\hat{\sigma}^2} \quad (31-96)$$

$$S_N = \bar{N}(10^{2.303\hat{\sigma}^2} - 1)^{\frac{1}{2}} \quad (31-97)$$

本例  $x_{0.50}=5.155, x_{0.16}=5.118$ , 故

$$\hat{\mu} = 5.155$$

$$\hat{\sigma} = 5.155 - 5.118 = 0.037$$

$$\bar{N} = 10^{5.155 + 1.15 \times 0.037^2} = 143408 \text{ 次}$$

$$S_N = 143408(10^{2.303 \times 0.037^2} - 1)^{\frac{1}{2}} = 12241 \text{ 次}$$

在对数正态分布中也常用中值

$$\tilde{N} = N_{0.50} = 10^{\hat{\mu}} \quad (31-98)$$

本例  $\tilde{N} = 10^{5.155} = 14289 \text{ 次}$

f. 区间估计与前节例中  $f \sim i$  类似。

本例若需估计置信水平  $1-\alpha=80\%$  的双侧置信限或  $1-\alpha=90\%$  的单侧置信限,就可由表 31-23

~24 按  $n=10$  查 10% 秩和 90% 秩,并将查得的值记于表 31-23 的第 V、VI 栏内。按表 31-23 中第 V、VI 和 III 栏的数据在图 31-12 中描点“x”,并画两曲线(图中虚线)。

置信水平  $1-\alpha=80\%$  的中位寿命双侧置信限分别为

$$\tilde{N}_L = 10^{\hat{\mu}_{0.50}} = 10^{5.136} = 136773 \text{ 次}$$

$$\tilde{N}_U = 10^{\hat{\mu}_{0.50}} = 10^{5.175} = 149624 \text{ 次}$$

其他根据需要直接由图 31-12 中查得。例如,  $F(x)=0.20$  的寿命点估计及双侧置信限为

$$N_{0.20} = 10^{\hat{\mu}_{0.20}} = 10^{5.124} = 133045 \text{ 次}$$

$$N_{0.20L} = 10^{\hat{\mu}_{0.20}} = 10^{5.099} = 125603 \text{ 次}$$

$$N_{0.20U} = 10^{\hat{\mu}_{0.20}} = 10^{5.142} = 138676 \text{ 次}$$

若需知寿命  $N=130000$  次的失效概率点估计及置信水平  $1-\alpha=90\%$  的单侧置信上限,则根据  $x = \lg N = \lg 130000 = 5.114$  在横坐标上截取  $x$  值,画垂线即可得

$$\hat{F}(x) = 0.13$$

$$F_U(x) = 0.29$$

### 2.4.3 正态及对数正态分布完全样本的参数估计

正态分布均值的点估计

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (31-99)$$

标准差的点估计

$$\hat{\sigma} = S_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31-100)$$

均值  $\mu$  的双侧置信区间估计。置信下限  $\mu_L$  和上限  $\mu_U$  分别为

$$\mu_L = \bar{x}_L = \bar{x} - \frac{S_x}{\sqrt{n}} t_{\frac{\alpha}{2}}(\nu) \quad (31-101)$$

$$\mu_U = \bar{x}_U = \bar{x} + \frac{S_x}{\sqrt{n}} t_{\frac{\alpha}{2}}(\nu) \quad (31-102)$$

均值  $\mu$  的单侧置信下限

$$\mu_L = \bar{x}_L = \bar{x} - \frac{S_x}{\sqrt{n}} t_{\alpha}(\nu) \quad (31-103)$$

式中  $\alpha$  —— 显著性水平,  $1-\alpha$  为置信水平;

$n$  —— 样本大小;

$\nu$  —— 自由度,当标准差  $\sigma$  已知,  $S_x$  用  $\sigma$  代替,则  $\nu = \infty$ ; 当标准差为点估计  $S_x$ , 则

$$\nu = n - 1;$$

$t_1(\nu)$  —  $t$  分布的分位数, 查表 31-8。

标准差  $\sigma$  的双侧置信区间估计。置信下限  $\sigma_L$  和上限  $\sigma_U$  分别为

$$\sigma_L = S_{nL} = \left[ \frac{n-1}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu)} \right]^{\frac{1}{2}} S_x \quad (31-104)$$

$$\sigma_U = S_{nU} = \left[ \frac{n-1}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(\nu)} \right]^{\frac{1}{2}} S_x \quad (31-105)$$

标准差  $\sigma$  的单侧置信上限

$$\sigma_U = S_{nU} = \left[ \frac{n-1}{\chi^2_{1-\alpha}(\nu)} \right]^{\frac{1}{2}} S_x \quad (31-106)$$

式中  $n$  — 样本大小;

$\nu$  — 自由度, 当均值  $\mu$  已知,  $\nu=n$ ; 当  $\mu$  未知,  $\nu=n-1$ ;

$\alpha$  — 显著性水平,  $1-\alpha$  为置信水平;

$\chi^2_a(\nu)$  —  $\chi^2$  分布的分位数, 查表 31-7。

若随机变量  $y$  服从对数正态分布, 即  $y \sim \ln(\mu, \sigma^2)$ , 则  $\ln y \sim N(\mu, \sigma^2)$ , 故取

$$x = \ln y$$

则式(31-99)~式(31-106)均可适用于对数正态分布。

### 2.4.4 正态及对数正态分布截尾寿命试验的参数估计

(1) 极大似然估计 当样本较大时, 正态分布均值和标准差的极大似然估计是具有良好性质的估计量。从寿命为正态分布的总体中抽取  $n$  个试样进行定时截尾寿命试验, 试验到  $x_0$  时结束, 共失效  $r$  个, 失效时间为

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_r \leq x_0$$

则寿命的均值  $\mu$  和标准差  $\sigma$  的极大似然估计分别为

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \bar{x}_r + \frac{s_x^2 - s_r^2}{d} \quad (31-107)$$

$$\hat{\sigma} = s_x = \frac{d}{g\left(D, \frac{r}{n}\right)} \quad (31-108)$$

式中  $\bar{x}_r = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_i$

$$s_r^2 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (x_i - \bar{x}_r)^2$$

$$d = x_0 - \bar{x}_r$$

$$D = \frac{d^2}{d^2 + s_r^2}$$

$g\left(D, \frac{r}{n}\right)$  — 查表 31-33

寿命服从对数正态分布时, 将寿命  $y$  取成对数,

即  $x = \ln y$ , 则可用式(31-107)、式(31-108)估计其参数。

(2) 最佳线性无偏估计 寿命服从正态分布时, 均值  $\mu$  和标准差  $\sigma$  的最佳线性无偏估计(简记为 BLUE)分别为

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \sum_{j=1}^r D'(n, r, j) x_j \quad (31-109)$$

$$\hat{\sigma} = S_x = \sum_{j=1}^r C'(n, r, j) x_j \quad (31-110)$$

式中  $n$  — 样本大小;

$r$  — 截尾失效数;

$j$  — 寿命由小到大排列的序号;

$x_j$  — 第  $j$  个寿命值;

$D'(n, r, j)$  —  $\mu$  的最佳线性无偏估计系数, 查表 31-34;

$C'(n, r, j)$  —  $\sigma$  的最佳线性无偏估计系数, 查表 31-34。

寿命服从对数正态分布时, 将寿命  $y$  取对数, 即  $x = \ln y$ , 则可用式(31-109)、式(31-110)估计其参数。

(3) 简单线性无偏估计 寿命服从正态分布时, 均值  $\mu$  和标准差  $\sigma$  的简单线性无偏估计(简记为 GLUE)分别为

$$\hat{\mu} = \bar{x} = x_r - E(Y_{r,n}) \hat{\sigma} \quad (31-111)$$

$$\hat{\sigma} = S_x = \frac{1}{nk_{r,n}} \left[ r x_r - \sum_{j=1}^r x_j \right] \quad (31-112)$$

式中  $n$  — 样本大小;

$r$  — 截尾失效数;

$x_j$  — 第  $j$  个寿命值;

$nk_{r,n}$  — 系数, 查表 31-35;

$E(Y_{r,n})$  — 系数, 查表 31-35。

寿命服从对数正态分布时, 将寿命  $y$  取对数, 即  $x = \ln y$ , 则可用式(31-111)、式(31-112)估计其参数。

### 2.4.5 正态及对数正态分布可靠寿命和可靠度的估计

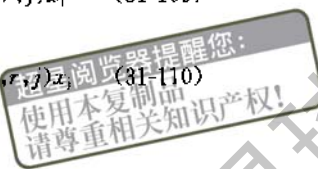
寿命服从正态分布时, 指定可靠度  $R$ , 可靠寿命的点估计

$$\hat{x}(R) = \bar{x} - Z_R S_x \quad (31-113)$$

式中  $Z_R$  — 按指定的可靠度  $R$  查表 31-36、表 31-6。

指定寿命  $x$  的可靠度  $R$  的点估计

$$\hat{R}(x) = \Phi(Z_R) \quad (31-114)$$





式中  $Z_R = \frac{\bar{x} - x}{S_x}$  (31-115)

$\Phi(\cdot)$  — 正态分布函数,按  $Z_R$  查表 31-36、表 31-6。

指定可靠度  $R_L$  的可靠寿命置信下限

$x_L(R) = \bar{x} - Z_{R_L} S_x$  (31-116)

式中  $Z_{R_L}$  —— 单侧置信限系数,按指定可靠度和置信水平查表 31-37 或图 31-13。

对表 31-37 或图 31-13 中未列的值可用内插法近似取值,也可按下式求近似值

$$Z_{R_L} = \frac{Z_R + Z_\gamma \left[ \frac{1}{n} \left( 1 - \frac{Z_\gamma^2}{2n-2} \right) + \frac{Z_R^2}{2n-2} \right]^{\frac{1}{2}}}{1 - \frac{Z_\gamma^2}{2n-2}}$$

(31-117)

式中  $Z_R$  —— 按指定可靠度  $R$  查表 31-36、表 31-6;

$Z_\gamma$  —— 按指定置信水平  $\gamma$  查表 31-38;

$n$  —— 样本大小,本式用于  $n \geq 5$ 。

指定寿命  $x_L$  的可靠度置信下限,按指定置信水平  $\gamma$  和下式求得的  $Z_{R_L}$  查表 31-37 或图 31-13

$Z_{R_L} = \frac{\bar{x} - x_L}{S_x}$  (31-118)

对表 31-37 或图 31-13 中未列的值可用内插法近似取值,也可按下式求可靠度置信下限的近似值

$R_L = \Phi(Z_{R_L})$  (31-119)

$Z_{R_L} \approx Z_{R_L} - Z_\gamma \left( \frac{1}{n} + \frac{Z_{R_L}^2}{2n-2} \right)^{\frac{1}{2}}$  (31-120)

式中  $Z_{R_L}$  —— 按式 (31-118) 求;

$Z_\gamma$  —— 按指定置信水平  $\gamma$  查表 31-38;

$n$  —— 样本大小,本式用于  $n \geq 5$ 。

几种常用置信水平  $\gamma$ , 不同样本大小  $n$ , 可靠度置信下限  $R_L$  与  $Z_{R_L}$  的关系也可直接由图 31-13 中查得。

应该指出,这里的  $x$  并不限于寿命,也可以是服从正态分布的其他特性值,例如材料的机械强度等。

若随机变量  $y$  服从对数正态分布,即  $y \sim \ln(\mu, \sigma^2)$ , 则  $\ln y \sim N(\mu, \sigma^2)$ , 故正态分布可靠寿命及可靠度的估计完全适用于对数正态分布,只是将对数正态分布的数据取成对数后计算即可。

表 31-33 极大似然估计用表 (正态分布、对数正态分布)  $g\left(D, \frac{r}{n}\right)$

$r/n$	0.01	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.99
0.01	0.088890	0.093283	0.095016	0.096172	0.097068	0.097816	0.098465	0.099043	0.099569	0.100053	0.100460
0.02	0.119803	0.128283	0.131704	0.134006	0.135809	0.137323	0.138646	0.139833	0.140916	0.141919	0.142766
0.03	0.141461	0.153823	0.158899	0.162346	0.165065	0.167361	0.169377	0.171194	0.172861	0.174410	0.175721
0.04	0.158428	0.174515	0.181220	0.185809	0.189451	0.192542	0.195270	0.197737	0.200009	0.202128	0.203929
0.05	0.172457	0.192133	0.200447	0.206176	0.210748	0.214648	0.218103	0.221240	0.224139	0.226852	0.229165
0.06	0.184441	0.207584	0.217489	0.224359	0.229869	0.234588	0.238786	0.242612	0.246159	0.249489	0.252337
0.07	0.194905	0.221409	0.232886	0.240896	0.247351	0.252903	0.257859	0.252391	0.266607	0.270577	0.273982
0.08	0.204192	0.233957	0.246989	0.256138	0.263545	0.269941	0.275671	0.280928	0.285833	0.290466	0.294451
0.09	0.212524	0.245464	0.260039	0.270328	0.278695	0.285946	0.292464	0.298465	0.304080	0.309399	0.313986
0.10	0.220083	0.256112	0.272214	0.283642	0.292974	0.301093	0.308415	0.315177	0.321523	0.227552	0.332765
0.11	0.226995	0.266030	0.283645	0.296213	0.306519	0.315516	0.323657	0.331198	0.338296	0.345059	0.350921
0.12	0.233342	0.275319	0.294435	0.308144	0.319430	0.329317	0.338292	0.346631	0.354503	0.362023	0.368559
0.13	0.239218	0.284062	0.304666	0.319516	0.331789	0.342578	0.352403	0.361557	0.370224	0.378528	0.385763
0.14	0.244675	0.292320	0.314404	0.330395	0.343663	0.355365	0.366054	0.376043	0.385528	0.394640	0.402600
0.15	0.249766	0.300153	0.323702	0.340836	0.355105	0.367732	0.379301	0.390144	0.400469	0.410415	0.419127

续表 31-33

$\frac{r}{n}$ D	0.01	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.99
0.16	0.254529	0.307598	0.332606	0.350884	0.366161	0.379724	0.392189	0.403906	0.415093	0.425900	0.435392
0.17	0.259006	0.314701	0.341151	0.360576	0.376869	0.391380	0.404757	0.417367	0.429440	0.441136	0.461435
0.18	0.263221	0.321489	0.349375	0.369945	0.387261	0.402732	0.417037	0.430560	0.443544	0.456157	0.467293
0.19	0.267195	0.327987	0.357303	0.379020	0.397366	0.413809	0.429058	0.443514	0.457433	0.470993	0.482996
0.20	0.270961	0.334228	0.364959	0.387825	0.407207	0.424635	0.440844	0.456254	0.471134	0.485670	0.498573
0.21	0.274523	0.340223	0.372365	0.396380	0.416808	0.435232	0.452417	0.468803	0.484670	0.500213	0.514048
0.22	0.277929	0.345996	0.379539	0.404705	0.426184	0.445617	0.463797	0.481180	0.498060	0.514643	0.529443
0.23	0.281157	0.351566	0.386498	0.412816	0.435355	0.455809	0.475000	0.493402	0.511323	0.528979	0.544780
0.24	0.284238	0.356937	0.393256	0.420728	0.444334	0.465822	0.486041	0.505485	0.524475	0.543238	0.560078
0.25	0.287176	0.362134	0.399827	0.428454	0.453135	0.475669	0.496935	0.517444	0.537531	0.557438	0.575354
0.26	0.289986	0.367159	0.406222	0.436006	0.461770	0.485363	0.507693	0.529291	0.550506	0.571593	0.590625
0.27	0.292682	0.372029	0.412453	0.443395	0.470248	0.494914	0.518327	0.541038	0.563412	0.585715	0.605907
0.28	0.295262	0.376751	0.418528	0.450631	0.478581	0.504332	0.528848	0.552696	0.576260	0.599821	0.621214
0.29	0.297734	0.381334	0.424456	0.457721	0.486777	0.513627	0.539264	0.564276	0.589062	0.613922	0.636562
0.30	0.300118	0.385787	0.430247	0.464675	0.494844	0.522807	0.549584	0.575785	0.601828	0.628029	0.651965
0.31	0.302401	0.390113	0.435906	0.471499	0.502790	0.531879	0.559817	0.587234	0.614568	0.642155	0.667435
0.32	0.304609	0.394321	0.441440	0.478201	0.510622	0.540851	0.569969	0.598630	0.627291	0.656310	0.682987
0.33	0.306728	0.398421	0.446857	0.484787	0.518345	0.549729	0.580048	0.609981	0.640006	0.670504	0.698634
0.34	0.308773	0.402410	0.452161	0.491262	0.525966	0.558518	0.590060	0.621293	0.652721	0.684749	0.714388
0.35	0.310750	0.406301	0.457358	0.497632	0.533490	0.567226	0.600012	0.632575	0.665445	0.699055	0.730262
0.36	0.312652	0.410097	0.462453	0.503902	0.540922	0.575856	0.609908	0.643832	0.678186	0.713431	0.746271
0.37	0.314500	0.413801	0.467450	0.510076	0.548267	0.584414	0.619754	0.655071	0.690950	0.727888	0.762426
0.38	0.316279	0.417416	0.472353	0.516159	0.555529	0.592905	0.629556	0.666297	0.703746	0.742436	0.778742
0.39	0.318004	0.420950	0.477167	0.522155	0.562713	0.601332	0.639318	0.677517	0.716581	0.757084	0.795232
0.40	0.319675	0.424401	0.481896	0.528066	0.569821	0.609701	0.649045	0.688735	0.729462	0.771842	0.811910
0.41	0.321297	0.427776	0.486541	0.533898	0.576859	0.618014	0.658740	0.699958	0.742396	0.786721	0.828789
0.42	0.322866	0.431079	0.491108	0.539653	0.583828	0.626274	0.668409	0.711190	0.755390	0.801731	0.845886
0.43	0.324393	0.434310	0.495599	0.545334	0.590733	0.634487	0.678056	0.722436	0.768451	0.816881	0.863214
0.44	0.325872	0.437474	0.500017	0.550944	0.597575	0.642655	0.687683	0.733702	0.781587	0.832183	0.880790
0.45	0.327304	0.440573	0.504364	0.556486	0.604359	0.650781	0.697259	0.744992	0.794804	0.847647	0.898630
0.46	0.328701	0.443609	0.508643	0.561962	0.611087	0.658867	0.706895	0.756312	0.808109	0.863284	0.916751
0.47	0.330057	0.446585	0.512857	0.567376	0.617761	0.666918	0.716488	0.767665	0.821509	0.879106	0.935171
0.48	0.331379	0.449502	0.517007	0.572728	0.624383	0.674935	0.726075	0.779057	0.835012	0.895124	0.953909
0.49	0.332660	0.452363	0.521097	0.578022	0.630956	0.682921	0.735661	0.790492	0.848625	0.911350	0.972984
0.50	0.333907	0.455171	0.525127	0.583259	0.637483	0.690879	0.745249	0.801975	0.862355	0.927798	0.992418
0.51	0.335126	0.457925	0.529100	0.588442	0.643965	0.698811	0.754842	0.813511	0.876210	0.944479	1.012231
0.52	0.336312	0.460630	0.533018	0.593572	0.650404	0.706719	0.764442	0.825104	0.89198	0.961408	1.032447
0.53	0.337469	0.463285	0.536882	0.598651	0.656802	0.714606	0.774053	0.836758	0.904326	0.978598	1.053086
0.54	0.338592	0.465894	0.540694	0.603680	0.663161	0.722473	0.783679	0.848480	0.918602	0.996065	1.074191
0.55	0.339695	0.468456	0.544456	0.608662	0.669482	0.730323	0.793324	0.860272	0.933036	1.013825	1.095773



续表 31-33

$r/n$	0.01	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.99
0.56	0.340763	0.470975	0.548169	0.613598	0.675768	0.738158	0.802983	0.872141	0.947636	1.031894	1.117867
0.57	0.341811	0.473450	0.551835	0.618489	0.682020	0.745979	0.812667	0.884091	0.962410	1.050289	1.140507
0.58	0.342832	0.475883	0.555455	0.623336	0.688238	0.753790	0.822377	0.896127	0.977369	1.069027	1.163726
0.59	0.343831	0.478278	0.559030	0.628142	0.694426	0.761590	0.832115	0.903253	0.985250	1.088130	1.187562
0.60	0.344803	0.480631	0.562561	0.632907	0.700584	0.769384	0.841884	0.920476	1.007875	1.107617	1.212056
0.61	0.345741	0.482950	0.566050	0.637633	0.706714	0.777171	0.851687	0.932799	1.023445	1.127510	1.237251
0.62	0.346672	0.485229	0.569498	0.642320	0.712816	0.784954	0.861527	0.945230	1.039239	1.147833	1.263194
0.63	0.347582	0.487471	0.572906	0.646970	0.718893	0.792734	0.871407	0.957772	1.055270	1.168610	1.289936
0.64	0.348472	0.489686	0.576275	0.651584	0.724944	0.800514	0.881329	0.970432	1.071548	1.189866	1.317533
0.65	0.349361	0.491856	0.579606	0.656164	0.730973	0.808294	0.891296	0.983216	1.088091	1.211632	1.346049
0.66	0.350196	0.493994	0.582900	0.660709	0.736979	0.816077	0.901311	0.996129	1.104903	1.233935	1.375548
0.67	0.351030	0.496106	0.586158	0.665221	0.742964	0.823864	0.911378	1.009177	1.122005	1.256811	1.406107
0.68	0.351851	0.498185	0.589381	0.669700	0.748929	0.831657	0.921498	1.022367	1.139409	1.280293	1.437805
0.69	0.352651	0.500233	0.592569	0.674149	0.754874	0.839457	0.931676	1.035705	1.157128	1.304421	1.470732
0.70	0.353437	0.502251	0.595724	0.678567	0.760802	0.847265	0.941913	1.049200	1.175185	1.329233	1.504991
0.71	0.354203	0.504239	0.598846	0.682956	0.766713	0.855084	0.952214	1.062857	1.193591	1.354775	1.540689
0.72	0.354954	0.506200	0.601936	0.687316	0.772607	0.862915	0.962581	1.076682	1.212367	1.381097	1.577953
0.73	0.355692	0.508134	0.604995	0.691647	0.778486	0.870759	0.973017	1.090684	1.231530	1.408244	1.616924
0.74	0.356417	0.510039	0.608024	0.695952	0.784351	0.878617	0.983526	1.104872	1.251105	1.436281	1.657757
0.75	0.357127	0.511919	0.611023	0.700230	0.790202	0.886492	0.994110	1.119251	1.271110	1.465267	1.700632
0.76	0.357823	0.513776	0.613992	0.704482	0.796041	0.894385	1.004774	1.133836	1.291568	1.495273	1.745749
0.77	0.358506	0.515606	0.616933	0.708709	0.801869	0.902296	1.015521	1.148629	1.312507	1.526369	1.793342
0.78	0.359175	0.517410	0.619847	0.712912	0.807685	0.910229	1.026354	1.163643	0.333952	0.558645	1.843674
0.79	0.359837	0.519193	0.622733	0.717091	0.813491	0.918184	1.037276	1.178886	1.355932	1.592187	1.897053
0.80	0.360478	0.520952	0.625592	0.721246	0.819288	0.926163	1.048293	1.194371	1.378478	1.627102	1.953839
0.81	0.361112	0.522688	0.628425	0.725378	0.825077	0.934167	1.059407	1.210108	1.401625	1.663501	2.014447
0.82	0.361740	0.524400	0.631233	0.729489	0.830857	0.942197	1.070622	1.226107	1.425404	1.701509	2.079374
0.83	0.362346	0.526092	0.634015	0.733578	0.836531	0.950256	1.081944	1.242382	1.449858	1.741274	2.149209
0.84	0.362946	0.527764	0.636773	0.737646	0.842399	0.958345	1.093373	1.258944	1.475025	1.782952	2.224653
0.85	0.363539	0.529412	0.639507	0.741693	0.848161	0.966465	1.104918	1.275806	1.500956	1.826725	2.308572
0.86	0.364118	0.531044	0.642217	0.745721	0.853918	0.974618	1.116581	1.292983	1.527696	1.872804	2.396015
0.87	0.364690	0.532651	0.644905	0.749729	0.859671	0.982806	1.128367	1.310492	1.555299	1.921419	2.494298
0.88	0.365248	0.534242	0.647569	0.753717	0.865420	0.991030	1.140282	1.328346	1.583825	1.972845	2.603073
0.89	0.365799	0.535813	0.650211	0.757688	0.871167	0.999291	1.152328	1.346564	1.613338	2.027394	2.724479
0.90	0.366343	0.537366	0.652832	0.761640	0.876912	1.007592	1.164513	1.365162	1.643909	2.085430	2.861294
0.91	0.366874	0.538900	0.655431	0.765575	0.882656	1.015934	1.176841	1.384166	1.675614	2.147378	3.017258
0.92	0.367398	0.540416	0.658009	0.769492	0.888399	1.024319	1.189318	1.403579	1.708542	2.213745	3.197522
0.93	0.367914	0.541916	0.660566	0.773393	0.894141	1.032747	1.201949	1.423439	1.742783	2.285122	3.409401
0.94	0.368417	0.543395	0.663103	0.777277	0.899884	1.041223	1.214742	1.443764	1.778444	2.362240	3.663765
0.95	0.368920	0.544860	0.665621	0.781145	0.905629	1.049746	1.227701	1.464581	1.815648	2.445959	3.977564
0.96	0.369408	0.546309	0.668119	0.784998	0.911375	1.058319	1.240833	1.485911	1.854517	2.537354	4.379018
0.97	0.369891	0.547741	0.670597	0.788835	0.917124	1.066944	1.254148	1.507789	1.895204	2.637754	4.919685
0.98	0.370365	0.549155	0.673057	0.792658	0.922876	1.075622	1.267648	1.530241	1.937877	2.748837	5.707102
0.99	0.370834	0.550553	0.675498	0.796466	0.928632	1.084355	1.281343	1.553302	1.982722	2.872751	7.018785

表 31-34 最佳线性无偏估计表 (正态分布、对数正态分布)

$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$
2	2	1	-0.8862	0.5000	7	3	1	-0.8682	-0.3474
2	2	2	0.8862	0.5000	7	3	2	-0.3269	-0.0135
					7	3	3	1.1951	1.3609
3	2	1	-1.1816	0.0000	7	4	1	-0.5848	-0.0736
3	2	2	1.1816	1.0000	7	4	2	-0.2428	0.0677
3	3	1	-0.5908	0.3333	7	4	3	-0.0717	0.1375
3	3	2	0.0000	0.3333	7	4	4	0.8994	0.8686
3	3	3	0.5908	0.3333					
4	2	1	-1.3654	-0.4056	7	5	1	-0.4370	0.0465
4	2	2	1.3654	1.4056	7	5	2	-0.1943	0.1072
					7	5	3	-0.0718	0.1375
					7	5	4	0.0312	0.1626
					7	5	5	0.6709	0.5462
4	3	1	-0.6971	0.1161					
4	3	2	-0.1268	0.2408	7	6	1	-0.3440	0.1088
4	3	3	0.8239	0.6431	7	6	2	-0.1610	0.1295
					7	6	3	-0.0681	0.1400
4	4	1	-0.4539	0.2500	7	6	4	0.0114	0.1487
4	4	2	-0.1102	0.2500	7	6	5	0.0901	0.1571
4	4	3	0.1102	0.2500	7	6	6	0.4716	0.3159
4	4	4	0.4539	0.2500					
5	2	1	-1.4971	-0.7411	7	7	1	-0.2778	0.1429
5	2	2	1.4971	1.7411	7	7	2	-0.1351	0.1429
					7	7	3	-0.0625	0.1429
5	3	1	-0.7896	-0.0638	7	7	4	0.0000	0.1429
5	3	2	-0.2121	0.1498	7	7	5	0.0625	0.1429
5	3	3	0.9817	0.9140	7	7	6	0.1351	0.1429
					7	7	7	0.2778	0.1429
5	4	1	-0.5117	0.1252					
5	4	2	-0.1668	0.1830	8	2	1	-1.7502	-1.4915
5	4	3	0.0274	0.2147	8	2	2	1.7502	2.4915
5	4	4	0.6511	0.4771					
5	5	1	-0.3724	0.2000	8	3	1	-0.9045	-0.4632
5	5	2	-0.1352	0.2000	8	3	2	-0.3690	-0.0855
5	5	3	0.0000	0.2000	8	3	3	1.2735	1.5487
5	5	4	0.1352	0.2000					
5	5	5	0.3724	0.2000	8	4	1	-0.6110	-0.1549
					8	4	2	-0.2707	0.0176
					8	4	3	-0.1061	0.1001
6	2	1	-1.5988	-1.0261	8	4	4	0.9878	1.0372
6	2	2	1.5988	2.0261					
6	3	1	-0.8244	-0.2159	8	5	1	-0.4586	-0.0167
6	3	2	-0.2760	0.0649	8	5	2	-0.2156	0.0677
6	3	3	1.1004	1.1511	8	5	3	-0.0970	0.1084
					8	5	4	0.0002	0.1413
					8	5	5	0.7709	0.6993
6	4	1	-0.5528	0.0185					
6	4	2	-0.2091	0.1226	8	6	1	-0.3638	0.0569
6	4	3	-0.0290	0.1761	8	6	2	-0.1788	0.0962
6	4	4	0.7909	0.6828	8	6	3	-0.0881	0.1153
					8	6	4	-0.0132	0.1309
					8	6	5	0.0570	0.1451
					8	6	6	0.5868	0.4555
6	5	1	-0.4097	0.1183					
6	5	2	-0.1685	0.1510	8	7	1	-0.2978	0.0997
6	5	3	-0.0406	0.1680	8	7	2	-0.1515	0.1139
6	5	4	0.0740	0.1828	8	7	3	-0.0796	0.1208
6	5	5	0.5448	0.3799	8	7	4	-0.0200	0.1265
					8	7	5	0.0364	0.1318
					8	7	6	0.0951	0.1370
					8	7	7	0.4175	0.2704
6	6	1	-0.3175	0.1667					
6	6	2	-0.1386	0.1667	8	8	1	-0.2476	0.1250
6	6	3	-0.0432	0.1667	8	8	2	-0.1294	0.1250
6	6	4	0.0432	0.1667	8	8	3	-0.0713	0.1250
6	6	5	0.1386	0.1667	8	8	4	-0.0230	0.1250
6	6	6	0.3157	0.1667					
7	2	1	-1.6812	-1.2733					
7	2	2	1.6812	2.2733					

提醒您：  
 请尊重知识产权  
 使用正版产品



• 1125 •  
超星阅读器提醒您：  
超星阅读器提醒您：  
续表 31-34

$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$
8	8	5	0.0230	0.1250	10	5	1	-0.4919	-0.1240
8	8	6	0.0713	0.1250	10	5	2	-0.2491	-0.0016
8	8	7	0.1294	0.1250	10	5	3	-0.1362	0.0549
8	8	8	0.2476	0.1250	10	5	4	-0.0472	0.0990
					10	5	5	0.9243	0.9718
9	2	1	-1.8092	-1.6868	10	6	1	-0.3930	-0.0316
9	2	2	1.8092	2.6868	10	6	2	-0.2063	0.0383
9	3	1	-0.9355	-0.5664	10	6	3	-0.1192	0.0707
9	3	2	-0.4047	-0.1521	10	6	4	-0.0501	0.0962
9	3	3	1.3402	1.7185	10	6	5	0.0111	0.1185
					10	6	6	0.7576	0.7078
9	4	1	-0.6330	-0.2272	10	7	1	-0.3252	0.0244
9	4	2	-0.2944	-0.0284	10	7	2	-0.1758	0.0636
9	4	3	-0.1348	0.0644	10	7	3	-0.1058	0.0818
9	4	4	1.0622	1.1912	10	7	4	-0.0502	0.0962
					10	7	5	-0.0006	0.1089
9	5	1	-0.4766	-0.0731	10	7	6	0.0469	0.1207
9	5	2	-0.2335	0.0316	10	7	7	0.6107	0.5045
9	5	3	-0.1181	0.0809					
9	5	4	-0.0256	0.1199					
9	5	5	0.8537	0.8408	10	8	1	-0.2753	0.0605
					10	8	2	-0.1523	0.0804
9	6	1	-0.3797	0.0104	10	8	3	-0.0947	0.0898
9	6	2	-0.1936	0.0660	10	8	4	-0.0488	0.0972
9	6	3	-0.1048	0.0923	10	8	5	-0.0077	0.1037
9	6	4	-0.0333	0.1133	10	8	6	0.0319	0.1099
9	6	5	0.0317	0.1320	10	8	7	0.0722	0.1161
9	6	6	0.6797	0.5860	10	8	8	0.4746	0.3424
9	7	1	-0.3129	0.0602	10	9	1	-0.2346	0.0843
9	7	2	-0.1647	0.0876	10	9	2	-0.1334	0.0921
9	7	3	-0.0938	0.1006	10	9	3	-0.0851	0.0957
9	7	4	-0.0364	0.1110	10	9	4	-0.0465	0.0986
9	7	5	0.0160	0.1204	10	9	5	-0.0119	0.1011
9	7	6	0.0678	0.1294	10	9	6	0.0215	0.1036
9	7	7	0.5239	0.3909	10	9	7	0.0559	0.1066
					10	9	8	0.0937	0.1085
9	8	1	-0.2633	0.0915	10	9	9	0.3423	0.2101
9	8	2	-0.1421	0.1018					
9	8	3	-0.0841	0.1067	10	10	1	-0.2044	0.1000
9	8	4	-0.0370	0.1106	10	10	2	-0.1172	0.1000
9	8	5	0.0062	0.1142	10	10	3	-0.0763	0.1000
9	8	6	0.0492	0.1177	10	10	4	-0.0436	0.1000
9	8	7	0.0954	0.1212	10	10	5	-0.0142	0.1000
9	8	8	0.3757	0.2365	10	10	6	0.0142	0.1000
					10	10	7	0.0436	0.1000
9	9	1	-0.2237	0.1111	10	10	8	0.0763	0.1000
9	9	2	-0.1233	0.1111	10	10	9	0.1172	0.1000
9	9	3	-0.0751	0.1111	10	10	10	0.2044	0.1000
9	9	4	-0.0360	0.1111					
9	9	5	0.0000	0.1111	11	2	1	-1.9065	-2.0245
9	9	6	0.0360	0.1111	11	2	2	1.9065	3.0245
9	9	7	0.0751	0.1111					
9	9	8	0.1233	0.1111	11	3	1	-0.9862	-0.7445
9	9	9	0.2237	0.1111	11	3	2	-0.4636	-0.2712
					11	3	3	1.4492	2.0157
10	2	1	-1.8608	-0.8634					
10	2	2	1.8608	2.8634	11	4	1	-0.6687	-0.3516
					11	4	2	-0.3332	-0.1104
10	3	1	-0.9625	-0.6596	11	4	3	-0.1807	-0.0016
10	3	2	-0.4357	-0.2138	11	4	4	1.1825	1.4636
10	3	3	1.3981	1.8734					
					11	5	1	-0.5055	-0.1702
10	4	1	-0.6520	-0.2923	11	5	2	-0.2627	-0.0323
10	4	2	-0.3150	-0.0709	11	5	3	-0.1519	0.0303
10	4	3	-0.1593	0.0305	11	5	4	-0.0657	0.0786
10	4	4	1.1263	1.3327	11	5	5	0.9857	1.0937

超星浏览器提醒您：  
 禁止复制或  
 传播任何形式  
 的知识产权！

续表 31-34

$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$
11	6	1	0.4045	-0.0698	12	4	1	-0.6836	-0.4059
11	6	2	-0.2175	+0.0128	12	4	2	-0.3493	-0.1472
11	6	3	-0.1317	0.0504	12	4	3	-0.1996	-0.0321
11	6	4	-0.0647	0.0797	12	4	4	1.2324	1.5852
11	6	5	-0.0061	0.1049					
11	6	6	0.8246	0.8220					
					12	5	1	-0.5171	-0.2125
					12	5	2	-0.2749	-0.0589
11	7	1	-0.3357	-0.0082	12	5	3	-0.1659	+0.0070
11	7	2	-0.1854	0.0415	12	5	4	-0.0820	0.0509
11	7	3	-0.1163	0.0642	12	5	5	1.0399	1.2075
11	7	4	-0.0621	0.0820					
11	7	5	-0.0146	0.0974					
11	7	6	0.0299	0.1116	12	6	1	-0.4146	-0.1048
11	7	7	0.6842	0.6116	12	6	2	-0.2274	0.0109
					12	6	3	-0.1428	0.0313
					12	6	4	-0.0774	0.0637
11	8	1	-0.2852	0.0320	12	6	5	-0.0210	0.0915
11	8	2	-0.1610	0.0609	12	6	6	0.3833	0.9292
11	8	3	-0.1038	0.0741					
11	8	4	-0.0589	0.0845					
11	8	5	-0.0194	0.0935	12	7	1	-0.3448	-0.0382
11	8	6	0.0178	0.1020	12	7	2	-0.1939	+0.0210
11	8	7	0.0545	0.1101	12	7	3	-0.1225	0.0477
11	8	8	0.5562	0.4430	12	7	4	-0.0746	0.0684
					12	7	5	-0.0267	0.0861
					12	7	6	0.0155	0.1022
11	9	1	-0.2463	0.0592	12	7	7	0.7479	0.7128
11	9	2	-0.1417	0.0744					
11	9	3	-0.0934	0.0814					
11	9	4	0.0555	0.0869	12	8	1	-0.2937	0.0057
11	9	5	-0.0220	0.0917	12	8	2	-0.1686	0.0428
11	9	6	0.0096	0.0962	12	8	3	-0.1119	0.0595
11	9	7	0.0409	0.1005	12	8	4	-0.0678	0.0724
11	9	8	0.0736	0.1049	12	8	5	-0.0296	0.0836
11	9	9	0.4349	0.3047	12	8	6	0.0058	0.0938
					12	8	7	0.0400	0.1036
					12	8	8	0.6259	0.5386
11	10	1	-0.2149	0.0781					
11	10	2	-0.1256	0.0841	12	9	1	-0.2545	0.0360
11	10	3	-0.0843	0.0869	12	9	2	-0.1487	0.0581
11	10	4	-0.0519	0.0891	12	9	3	-0.1007	0.0682
11	10	5	-0.0233	0.0910	12	9	4	-0.0633	0.0759
11	10	6	0.0038	0.0928	12	9	5	-0.0308	0.0827
11	10	7	0.0309	0.0945	12	9	6	-0.0007	0.0888
11	10	8	0.0593	0.0963	12	9	7	0.0286	0.0948
11	10	9	0.0911	0.0982	12	9	8	0.0582	0.1006
11	10	10	0.3149	0.1891	12	9	9	0.5119	0.3950
11	11	1	-0.1883	0.0909	12	10	1	-0.2232	0.0574
11	11	2	-0.1115	0.0909	12	10	2	-0.1324	0.0693
11	11	3	-0.0760	0.0909	12	10	3	-0.0911	0.0747
11	11	4	-0.0481	0.0909	12	10	4	-0.0590	0.0789
11	11	5	-0.0234	0.0909	12	10	5	-0.0310	0.0825
11	11	6	0.0000	0.0909	12	10	6	-0.0050	0.0859
11	11	7	0.0234	0.0909	12	10	7	0.0203	0.0891
11	11	8	0.0481	0.0909	12	10	8	0.0461	0.0923
11	11	9	0.0760	0.0909	12	10	9	0.0733	0.0956
11	11	10	0.1115	0.0909	12	10	10	0.4020	0.2745
11	11	11	0.1883	0.0909					
					12	11	1	-0.1972	0.0726
12	2	1	-1.9474	-2.1728	12	11	2	-0.1185	0.0775
12	2	2	1.9474	3.1728	12	11	3	-0.0827	0.0796
					12	11	4	-0.0548	0.0813
12	3	1	-1.0075	-0.8225	12	11	5	-0.0305	0.0828
12	3	2	-0.4874	-0.3249	12	11	6	-0.0079	0.0842
12	3	3	1.4948	2.1474	12	11	7	+0.0142	0.0855



续表 31-34

$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$
12	11	8	+0.0367	0.0868	13	9	3	-0.1071	0.0557
12	11	9	0.0608	0.0882	13	9	4	-0.0703	0.0655
12	11	10	0.0881	0.0896	13	9	5	-0.0386	0.0739
12	11	11	0.2919	0.1719	13	9	6	-0.0095	0.0816
					13	9	7	0.0182	0.0888
12	12	1	-0.1748	0.0833	13	9	8	0.0456	0.0958
12	12	2	-0.1061	0.0833	13	9	9	0.5781	0.4813
12	12	3	-0.0749	0.0833					
12	12	4	-0.0506	0.0833	13	10	1	-0.2301	0.0380
12	12	5	-0.0294	0.0833	13	10	2	-0.1382	0.0555
12	12	6	-0.0097	0.0833	13	10	3	-0.0970	0.0633
12	12	7	0.0097	0.0833	13	10	4	-0.0653	0.0693
12	12	8	0.0294	0.0833	13	10	5	-0.0379	0.0745
12	12	9	0.0506	0.0833	13	10	6	-0.0128	0.0792
12	12	10	0.0749	0.0833	13	10	7	+0.0113	0.0836
12	12	11	0.1061	0.0833	13	10	8	+0.0352	0.0880
12	12	12	0.1748	0.0833	13	10	9	0.0598	0.0924
					13	10	10	0.4750	0.3564
13	2	1	-1.9845	-2.3101					
13	2	2	1.9845	3.3101	13	11	1	-0.2048	0.0552
					13	11	2	-0.1243	0.0648
13	3	1	-1.0266	-0.8946	13	11	3	-0.0884	0.0691
13	3	2	-0.5094	-0.3753	13	11	4	-0.0607	0.0724
13	3	3	1.5360	2.2699	13	11	5	-0.0368	0.0752
					13	11	6	-0.0148	0.0778
13	4	1	-0.6969	-0.4561	13	11	7	0.0063	0.0803
13	4	2	-0.3638	-0.1817	13	11	8	0.0273	0.0827
13	4	3	-0.2165	-0.0610	13	11	9	0.0490	0.0852
13	4	4	1.2773	1.6988	13	11	10	0.0723	0.0877
					13	11	11	0.3743	0.2497
13	5	1	-0.5276	-0.2516	13	12	1	-0.1824	0.0679
13	5	2	-0.2859	-0.0876	13	12	2	-0.1122	0.0718
13	5	3	-0.1785	-0.0151	13	12	3	-0.0806	0.0735
13	5	4	-0.0964	0.0400	13	12	4	-0.0563	0.0749
13	5	5	1.0884	1.3143	13	12	5	-0.0353	0.0761
					13	12	6	-0.0160	0.0771
13	6	1	-0.4236	-0.1371	13	12	7	+0.0026	0.0781
13	6	2	-0.2363	-0.0330	13	12	8	0.0212	0.0792
13	6	3	-0.1528	0.0132	13	12	9	0.0404	0.0802
13	6	4	-0.0888	0.0484	13	12	10	0.0612	0.0813
13	6	5	-0.0341	0.0784	13	12	11	0.0850	0.0824
13	6	6	0.9355	1.0301	13	12	12	0.2724	0.1576
13	7	1	-0.3528	-0.0659	13	13	1	-0.1632	0.0769
13	7	2	-0.2015	0.0020	13	13	2	-0.1013	0.0769
13	7	3	-0.1339	0.0322	13	13	3	-0.0735	0.0769
13	7	4	-0.0819	0.0553	13	13	4	-0.0520	0.0769
13	7	5	-0.0374	0.0750	13	13	5	-0.0335	0.0769
13	7	6	0.0032	0.0928	13	13	6	-0.0164	0.0769
13	7	7	0.8042	0.8085	13	13	7	0.0000	0.0769
					13	13	8	0.0164	0.0769
13	8	1	-0.3011	-0.0185	13	13	9	0.0335	0.0769
13	8	2	-0.1754	0.0259	13	13	10	0.0520	0.0769
13	8	3	-0.1191	0.0457	13	13	11	0.0735	0.0769
13	8	4	-0.0758	0.0610	13	13	12	0.1013	0.0769
13	8	5	-0.0386	0.0740	13	13	13	0.1632	0.0769
13	8	6	-0.0046	0.0857					
13	8	7	0.0278	0.0968	14	2	1	-2.0182	-2.4378
13	8	8	0.6867	0.6294	14	2	2	2.1082	3.4378
13	9	1	-0.2616	0.0144	14	3	1	-1.0441	-0.9616
13	9	2	-0.1549	0.0430	14	3	2	-0.5293	-0.4228
					14	3	3	1.5734	2.3843

续表 31-34

$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$
14	4	1	-0.7091	-0.5027	14	11	5	-0.0423	0.0680
14	4	2	-0.3771	-0.2142	14	11	6	-0.0209	0.0717
14	4	3	-0.2318	-0.0882	14	11	7	-0.0006	0.0752
14	4	4	1.3180	+1.8054	14	11	8	0.0192	0.0785
					14	11	9	0.0393	0.0819
					14	11	10	0.0601	0.0852
14	5	1	-0.5372	-0.2879	14	11	11	0.4438	0.3247
14	5	2	-0.2959	-0.1127					
14	5	3	-0.1898	-0.0360					
14	5	4	-0.1094	0.0218	14	12	1	-0.1885	0.0530
14	5	5	1.1322	1.4148	14	12	2	-0.1171	0.0609
					14	12	3	-0.0854	0.0643
					14	12	4	-0.0612	0.0670
14	6	1	-0.4317	-0.1670	14	12	5	-0.0404	0.0692
14	6	2	-0.2444	-0.0537	14	12	6	-0.0215	0.0713
14	6	3	-0.1618	-0.0040	14	12	7	-0.0036	0.0732
14	6	4	-0.0990	0.0338	14	12	8	0.0140	0.0751
14	6	5	-0.0457	0.0655	14	12	9	0.0319	0.0770
14	6	6	-0.9825	1.1255	14	12	10	0.0505	0.0789
					14	12	11	0.0707	0.0809
					14	12	12	0.3506	0.2291
14	7	1	-0.3599	-0.0915					
14	7	2	-0.2084	-0.0158	14	13	1	-0.1698	0.0637
14	7	3	-0.1414	0.0175	14	13	2	-0.1065	0.0669
14	7	4	-0.0903	0.0429	14	13	3	-0.0784	0.0683
14	7	5	-0.0469	0.0643	14	13	4	-0.0568	0.0694
14	7	6	-0.0077	0.0835	14	13	5	-0.0384	0.0704
14	7	7	0.8546	0.8992	14	13	6	-0.0216	0.0712
					14	13	7	-0.0056	0.0721
14	8	1	-0.3077	-0.0411	14	13	8	0.0100	0.0728
14	8	2	-0.1815	0.0102	14	13	9	0.0259	0.0736
14	8	3	-0.1256	0.0328	14	13	10	0.0426	0.0745
14	8	4	-0.0829	0.0500	14	13	11	0.0609	0.0753
14	8	5	-0.0446	0.0646	14	13	12	0.0820	0.0762
14	8	6	-0.0137	0.0777	14	13	13	0.2256	0.1455
14	8	7	0.0172	0.0899					
14	8	8	0.7407	0.7159	14	14	1	-0.1532	0.0714
					14	14	2	-0.0968	0.0714
14	9	1	-0.2678	0.0057	14	14	3	-0.0717	0.0714
14	9	2	-0.1604	0.0288	14	14	4	-0.0526	0.0714
14	9	3	-0.1129	0.0440	14	14	5	-0.0362	0.0714
14	9	4	-0.0765	0.0557	14	14	6	-0.0212	0.0714
14	9	5	-0.0455	0.0655	14	14	7	-0.0070	0.0714
14	9	6	-0.0174	0.0744	14	14	8	0.0070	0.0714
14	9	7	0.0092	0.0828	14	14	9	0.0212	0.0714
14	9	8	0.0350	0.0908	14	14	10	0.0362	0.0714
14	9	9	0.6363	0.5637	14	14	11	0.0526	0.0714
					14	14	12	0.0717	0.0714
					14	14	13	0.0968	0.0714
					14	14	14	0.1532	0.0714
14	10	1	-0.2361	0.0199	15	2	1	-2.0493	-2.5574
14	10	2	-0.1434	0.0426	15	2	2	2.0493	3.5574
14	10	3	-0.1023	0.0526					
14	10	4	-0.0709	0.0602	15	3	1	-1.0601	-1.0242
14	10	5	-0.0440	0.0667	15	3	2	-0.5477	-0.4676
14	10	6	-0.0196	0.0726	15	3	3	1.6077	2.4918
14	10	7	0.0035	0.0782					
14	10	8	0.0260	0.0835	15	4	1	-0.7201	-0.5462
14	10	9	0.0487	0.0887	15	4	2	-0.3892	-0.2448
14	10	10	0.5382	0.4350	15	4	3	-0.2458	-0.1148
					15	4	4	1.3552	1.9058

续表 31-34

$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C'(n, r, j)$	$D'(n, r, j)$
15	5	1	-0.5459	-0.3217	15	11	10	0.0502	0.0824
15	5	2	-0.3050	-0.1364	15	11	11	0.5042	0.3969
15	5	3	-0.2002	-0.0560					
15	5	4	-0.1211	0.0043					
15	5	5	1.1722	1.5097	15	12	1	-0.1937	0.0390
					15	12	2	-0.1214	0.0506
					15	12	3	-0.0897	0.0556
15	6	1	-0.4390	-0.1950	15	12	4	-0.0655	0.0595
15	6	2	-0.2518	-0.0732	15	12	5	-0.0450	0.0628
15	6	3	-0.1700	-0.0203	15	12	6	-0.0265	0.0657
15	6	4	-0.1082	0.0196	15	12	7	-0.0091	0.0685
15	6	5	-0.0562	0.0531	15	12	8	0.0078	0.0711
15	6	6	1.0252	1.2157	15	12	9	0.0246	0.0737
					15	12	10	0.0417	0.0763
					15	12	11	0.0598	0.0790
15	7	1	-0.3664	-0.1155	15	12	12	0.4169	0.2982
15	7	2	-0.2146	-0.0326					
15	7	3	-0.1482	0.0036					
15	7	4	-0.0979	0.0309	15	13	1	-0.1752	0.0508
15	7	5	-0.0555	0.0539	15	13	2	-0.1108	0.0574
15	7	6	-0.0174	0.0743	15	13	3	-0.0825	0.0602
15	7	7	0.9001	0.9854	15	13	4	-0.0610	0.0624
					15	13	5	-0.0427	0.0642
15	8	1	-0.3136	-0.0621	15	13	6	-0.0262	0.0659
15	8	2	-0.1870	-0.0046	15	13	7	-0.0106	0.0675
15	8	3	-0.1315	0.0205	15	13	8	0.0044	0.0690
15	8	4	-0.0894	0.0395	15	13	9	0.0195	0.0704
15	8	5	-0.0538	0.0555	15	13	10	0.0349	0.0719
15	8	6	-0.0219	0.0698	15	13	11	0.0512	0.0735
15	8	7	0.0079	0.0830	15	13	12	0.0690	0.0751
15	8	8	0.7892	0.7983	15	13	13	0.3300	0.2116
15	9	1	-0.2733	-0.0244	15	14	1	-0.1590	0.0599
15	9	2	-0.1654	0.0155	15	14	2	-0.1013	0.0627
15	9	3	-0.1181	0.0330	15	14	3	-0.0760	0.0639
15	9	4	-0.0822	0.0462	15	14	4	-0.0568	0.0648
15	9	5	-0.0518	0.0574	15	14	5	-0.0404	0.0655
15	9	6	-0.0244	0.0674	15	14	6	-0.0256	0.0662
15	9	7	0.0012	0.0787	15	14	7	-0.0116	0.0669
15	9	8	0.0258	0.0856	15	14	8	0.0019	0.0675
15	9	9	0.6882	0.6425	15	14	9	0.0154	0.0682
					15	14	10	0.0293	0.0688
					15	14	11	0.0440	0.0695
15	10	1	-0.2414	0.0030	15	14	12	0.0602	0.0702
15	10	2	-0.1481	0.0305	15	14	13	0.0791	0.0709
15	10	3	-0.1071	0.0425	15	14	14	0.2409	0.1351
15	10	4	-0.0760	0.0516					
15	10	5	-0.0496	0.0593	15	15	1	-0.1444	0.0667
15	10	6	-0.0258	0.0663	15	15	2	-0.0927	0.0667
15	10	7	-0.0035	0.0727	15	15	3	-0.0699	0.0667
15	10	8	0.0180	0.0789	15	15	4	-0.0526	0.0667
15	10	9	0.0393	0.0849	15	15	5	-0.0379	0.0667
15	10	10	0.5940	0.5104	15	15	6	-0.0247	0.0667
					15	15	7	-0.0122	0.0667
15	11	1	-0.2154	0.0234	15	15	8	0.0000	0.0667
15	11	2	-0.1336	0.0418	15	15	9	0.0122	0.0667
15	11	3	-0.0977	0.0498	15	15	10	0.0247	0.0667
15	11	4	-0.0705	0.0560	15	15	11	0.0379	0.0667
15	11	5	-0.0473	0.0611	15	15	12	0.0526	0.0667
15	11	6	-0.0264	0.0658	15	15	13	0.0699	0.0667
15	11	7	-0.0068	0.0701	15	15	14	0.0927	0.0667
15	11	8	0.0122	0.0743	15	15	15	0.1444	0.0667
15	11	9	0.0310	0.0784					

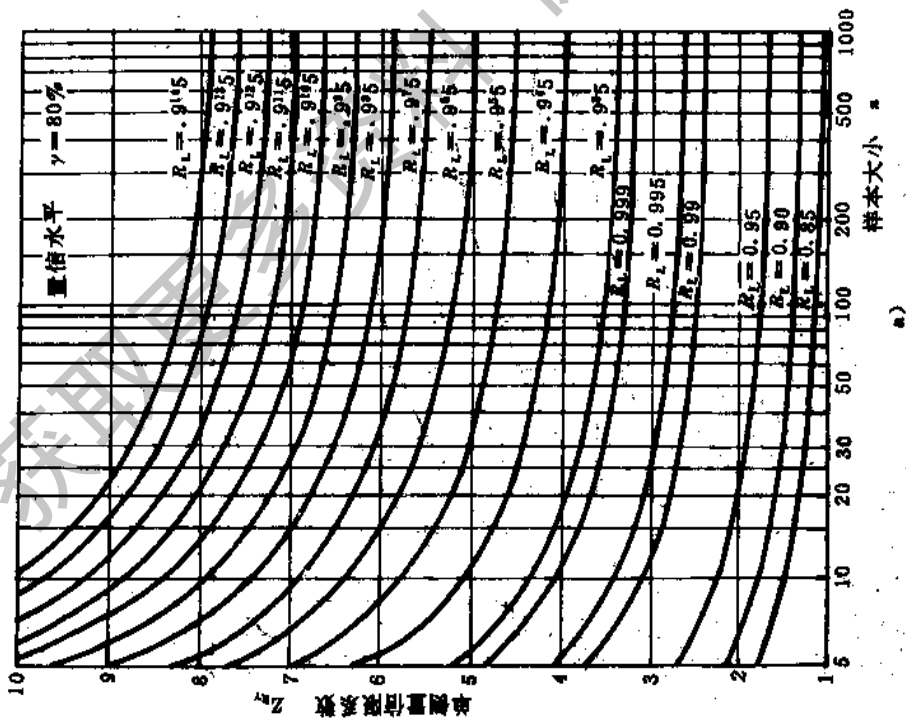
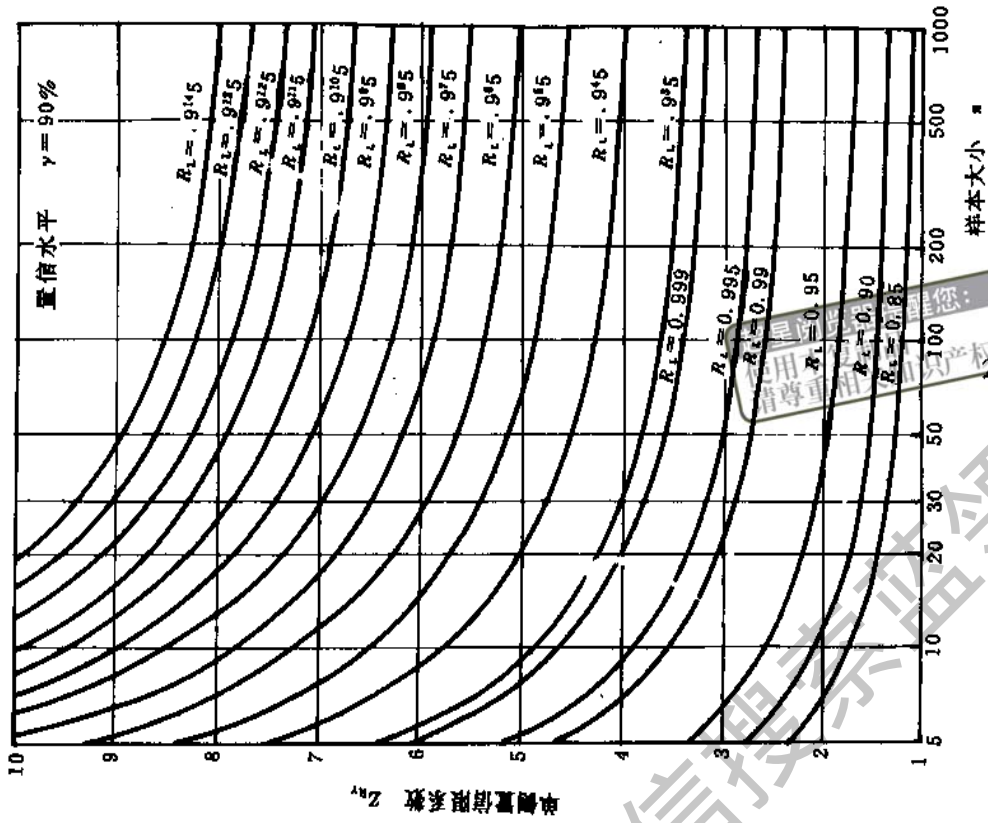
表 31-35 简单线性无偏估计表 (正态分布、对数正态分布)

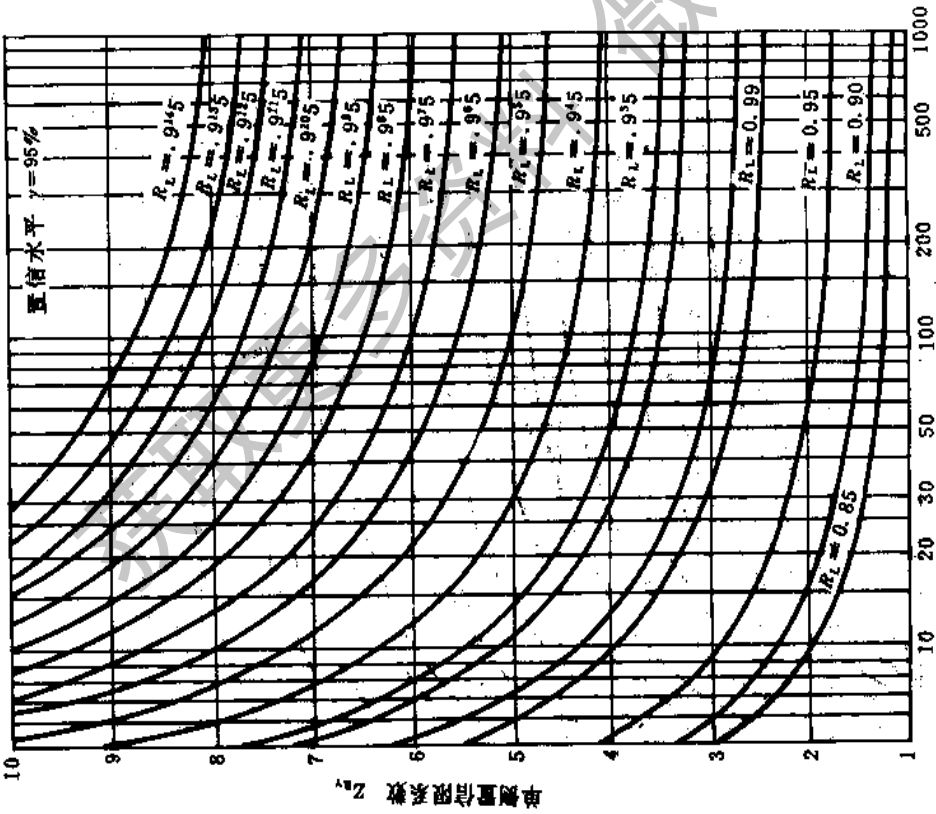
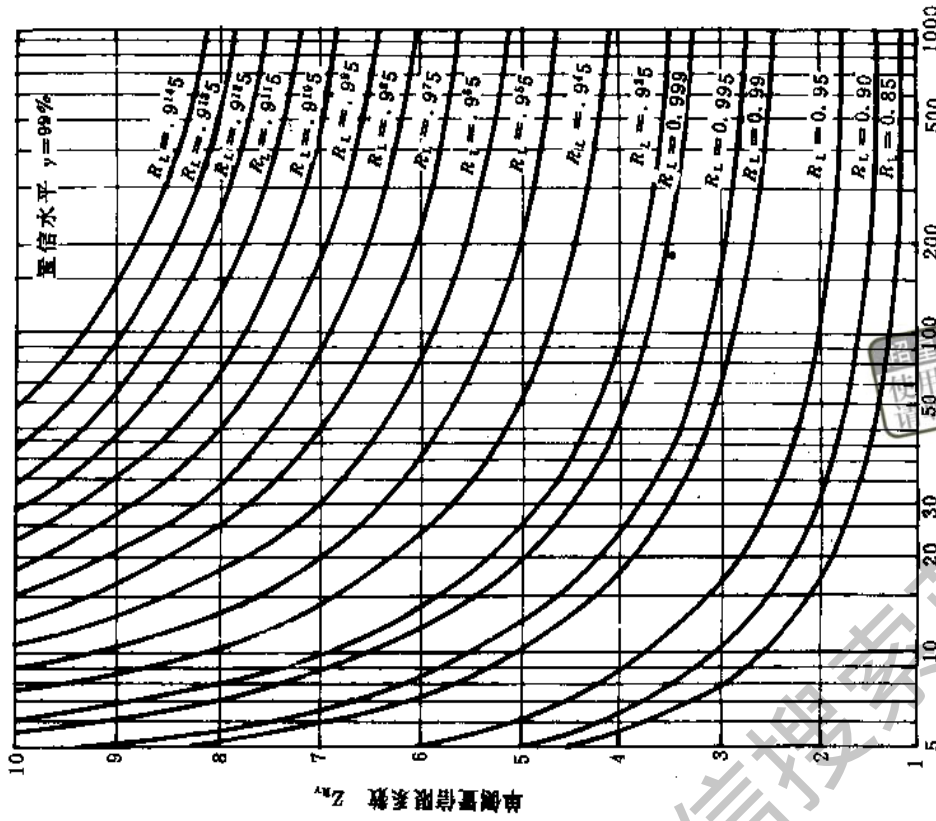
$n$	$r$	$E(Y_{r,n})$	$nk_{r,n}$	$n$	$r$	$E(Y_{r,n})$	$nk_{r,n}$	
20	4	-0.9210	1.6431	45	35	1.0838	45.8941	
	8	-0.3149	4.9065		5	-1.2717	1.9127	
	12	0.1870	9.6694		10	-0.7979	5.1371	
	16	0.7454	17.2531		15	-0.4591	9.1743	
22	5	-0.8153	2.2796		20	-0.1671	14.1284	
	10	-0.1699	6.7158		25	0.1111	20.2470	
	15	0.4056	13.6381		30	0.3983	28.0108	
	20	1.1882	27.1327		35	0.7238	38.4511	
24	5	-0.8768	2.2239		40	1.1558	54.5012	
	10	-0.2616	6.4452		50	5	-1.3311	1.8720
	15	-0.2616	12.7244			10	-0.8732	4.9858
	20	0.8768	23.2676			15	-0.5508	8.8255
26	5	-0.9317	2.1760	20		-0.2781	13.4490	
	10	-0.3410	6.2230	25		-0.0250	19.0135	
	15	0.1439	12.0327	30		0.2265	25.8063	
	20	0.6679	20.9862	35		0.4935	34.3607	
28	5	-0.9812	2.1343	40		0.8023	45.8077	
	10	-0.4110	6.0362	45		1.2185	63.3577	
	15	0.0444	11.4857	55		5	-1.3754	1.7008
	20	0.5098	19.4205			10	-0.9402	4.6633
25	1.1370	33.3462	15			-0.6301	8.3546	
30	5	-1.0261	2.0974		20	-0.3715	12.7384	
	10	-0.4733	5.8765		25	-0.1367	17.8989	
	15	-0.0415	11.0390		30	0.0910	24.0461	
	20	0.3824	18.2564		35	0.3232	31.4805	
35	5	-1.1230	2.0213		40	0.5758	40.8403	
	10	-0.6043	5.5602		45	0.8716	53.2894	
	15	-0.2151	10.2049		50	1.2679	72.0612	
	20	0.1428	16.2884		60	5	-1.4223	1.6563
25	0.5208	24.6235	10			-0.9970	4.5501	
30	0.9979	37.5731	15	-0.6986		8.1049		
40	5	-1.2033	1.9614	20		-0.4523	12.2769	
	10	-0.7099	5.3232	25		-0.2308	17.1438	
	15	-0.3498	9.6170	30		-0.0209	22.8082	
	20	-0.0312	15.0258	35		0.1881	29.4960	
40	25	0.2842	21.9695	40		0.4066	37.5860	
	30	0.6318	31.3752	45		0.6459	47.6501	
	40	5	-1.2033	1.9614		50	0.9319	61.1136
		10	-0.7099	5.3232		55	1.3185	76.4035
15		-0.3498	9.6170					
20		-0.0312	15.0258					

表 31-36  $Z_R$  与可靠度  $R$  的关系 (正态分布)  $R = \Phi(Z_R)$

$R$	0.9 <sup>10</sup>	0.9 <sup>20</sup>	0.9 <sup>30</sup>	0.9 <sup>40</sup>	0.9 <sup>50</sup>	0.9 <sup>60</sup>	0.9 <sup>70</sup>	0.9 <sup>80</sup>	0.9 <sup>90</sup>	0.9 <sup>100</sup>
$Z_R$	1.282	2.326	3.090	3.719	4.625	4.753	5.199	5.612	5.997	6.36
$R$	0.9 <sup>110</sup>	0.9 <sup>120</sup>	0.9 <sup>130</sup>	0.9 <sup>140</sup>	0.9 <sup>150</sup>	0.9 <sup>160</sup>	0.9 <sup>170</sup>	0.9 <sup>180</sup>	0.9 <sup>190</sup>	0.9 <sup>200</sup>
$Z_R$	6.70	7.03	7.34	7.65	7.94	8.22	8.49	8.75	9.01	9.26

注: 0.9<sup>40</sup>=0.99990, 其他类似。





样本大小  $n$   
c)

$R_L = 0.995 = 0.9995$ , 其他类似

图 31-13 不同样本大小  $n$  的可靠度单侧置信下限 (完全样本)

蓝领星球提醒您：  
相关产品  
相关知识版权!



表 31-37 单侧置信限系数  $Z_{\alpha r}$  (正态分布完全样本)

$R_L$	置信水平 $\gamma=90\%$				置信水平 $\gamma=95\%$			
	0.900	0.950	0.990	0.999	0.900	0.950	0.990	0.999
2	10.25271	13.08974	18.50008	24.58159	20.58147	26.25967	37.09358	49.27562
3	4.25816	5.31148	7.34044	9.65117	6.15528	7.65590	10.55273	13.85707
4	3.18784	3.95657	5.43823	7.12931	4.16193	5.14387	7.04236	9.21418
5	2.74235	3.39983	4.66598	6.11130	3.40663	4.20268	5.74108	7.50189
6	2.49369	3.09188	4.24253	5.55551	3.00626	3.70768	5.06199	6.61178
7	2.33265	2.89380	3.97202	6.20171	2.75543	3.39947	4.64172	6.06266
8	2.21859	2.75428	3.78255	4.95460	2.58191	3.18729	4.35386	5.68753
9	2.13287	2.64990	3.64144	4.77103	2.45376	3.03124	4.14302	5.41340
10	2.06567	2.56837	3.53166	4.62850	2.35464	2.91036	3.98112	5.20380
11	2.01129	2.50262	3.44342	4.51415	2.27531	2.81499	3.85234	5.03646
12	1.96620	2.44825	3.37067	4.42003	2.21013	2.73634	3.74708	4.90031
13	1.92808	2.40240	3.30948	4.11855	2.15544	2.67050	3.65920	4.78678
14	1.89534	2.36311	3.25716	4.27347	2.10877	2.61443	3.58451	4.69041
15	1.86684	2.32898	3.21182	4.21502	2.06837	2.56600	3.52013	4.60743
16	1.84177	2.29900	3.17206	4.16383	2.03300	2.52366	3.46394	4.53509
17	1.81949	2.27240	3.13685	4.11855	2.00171	2.48626	3.41440	4.47136
18	1.79954	2.24862	3.10542	4.07815	1.97380	2.45295	3.37033	4.41471
19	1.78154	2.22720	3.07714	4.04184	1.94870	2.42304	3.33082	4.36396
20	1.76521	2.20778	3.05154	4.00899	1.92599	2.39600	3.29516	4.31819
21	1.75029	2.19007	3.02823	3.97909	1.90532	2.37142	3.26277	4.27665
22	1.73662	2.17385	3.00639	3.95175	1.88641	2.34896	3.23320	4.23875
23	1.72401	2.15891	2.98727	3.92662	1.86902	2.32832	3.20607	4.20400
24	1.71235	2.14510	2.96915	3.90343	1.85297	2.30929	3.18108	4.17199
25	1.70152	2.13229	2.95236	3.88194	1.83810	2.29167	3.15796	4.14240
26	1.69144	2.12037	2.93675	3.86197	1.82427	2.27530	3.13649	4.11495
27	1.68201	2.10924	2.92218	3.84335	1.81137	2.26005	3.11650	4.08939
28	1.67318	2.09881	2.90854	3.82593	1.79930	2.24578	3.09782	4.06552
29	1.66488	2.08903	2.89575	3.80960	1.78798	2.23241	3.08033	4.04318
30	1.65706	2.07982	2.88372	3.79425	1.77733	2.21984	3.06390	4.02220
31	1.64969	2.07113	2.87239	3.77978	1.76729	2.20800	3.04844	4.00246
32	1.64271	2.06292	2.86168	3.76612	1.75781	2.19682	3.03384	3.98384
33	1.63610	2.05514	2.85154	3.75319	1.74884	2.18625	3.02005	3.96624
34	1.62983	2.04776	2.84193	3.74094	1.74033	2.17623	3.00699	3.94959
35	1.62386	2.04075	2.83280	3.72931	1.73225	2.16672	2.99459	3.93378
36	1.61818	2.03407	2.82412	3.71824	1.72456	2.15768	2.98281	3.91877
37	1.61276	2.02771	2.81584	3.70770	1.71724	2.14906	2.97160	3.90448
38	1.60758	2.02164	2.80794	3.69765	1.71025	2.14085	2.96090	3.89087
39	1.60263	2.01583	2.80040	3.68805	1.70357	2.13300	2.95070	3.87787
40	1.59789	2.01027	2.79318	3.67886	1.69718	2.12549	2.94094	3.86545
41	1.59335	2.00494	2.78627	3.67006	1.69106	2.11831	2.93160	3.85357
42	1.58899	1.99933	2.77964	3.66163	1.68519	2.11142	2.92266	3.84218
43	1.58480	1.99493	2.77327	3.65354	1.67955	2.10481	2.91407	3.83126
44	1.58077	1.99021	2.76716	3.64576	1.67414	2.09846	2.90583	3.82078
45	1.57689	1.98567	2.76127	3.63828	1.66893	2.09235	2.89791	3.81071
46	1.57316	1.98130	2.75561	3.63108	1.66391	2.08648	2.89029	3.80101
47	1.56955	1.97708	2.75015	3.62415	1.65908	2.08081	2.88294	3.79168
48	1.56607	1.97302	2.74488	3.61746	1.65441	2.07535	2.87587	3.78269
49	1.56271	1.96909	2.73980	3.61100	1.64991	2.07008	2.86904	3.77401
50	1.55947	1.96529	2.73489	3.60477	1.64556	2.06499	2.86245	3.76564
60	1.53203	1.93327	2.69352	3.55228	1.60891	2.02216	2.80705	3.69533
80	1.49474	1.88988	2.63765	3.48152	1.55937	1.96444	2.73265	3.60106
120	1.45222	1.84059	2.57445	3.40166	1.50324	1.89929	2.64903	3.49537
240	1.39933	1.77956	2.49658	3.30355	1.43394	1.81924	2.54682	3.36655
$\infty$	1.28155	1.64485	2.32635	3.09023	1.28155	1.64485	2.32635	3.09023

表 31-38 不同置信水平  $\gamma$  的  $Z_\gamma$

$\gamma$	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	0.99	0.995	0.999
$Z_\gamma$	0.00	0.2534	0.5244	0.8416	1.282	1.645	2.326	2.576	3.090

**例 31-8** 某钢材强度极限服从正态分布, 11 个试件测得的强度极限为 608, 622, 630, 638, 642, 648, 652, 660, 666, 673, 688 N/mm<sup>2</sup>。求均值和标准差的点估计和置信水平  $\gamma=80\%$  的双侧置信限, 失效概率为 0.10 时强度极限的点估计和置信水平为 90% 的单侧置信下限。

**解** 本例为完全样本试验。均值  $\mu$  的点估计, 按式 (31-99)

$$\begin{aligned} \hat{\mu} = \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ &= \frac{1}{11} (608 + 622 + \dots + 673 + 688) \\ &= 647.91 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

标准差的点估计, 按式 (31-100)

$$\begin{aligned} \hat{\sigma} = S_x &= \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left\{ \frac{1}{11-1} [(608 - 647.91)^2 + (622 - 647.91)^2 \right. \\ &\quad \left. + \dots + (688 - 647.91)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= 23.33 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

均值的双侧置信限, 按式 (31-101) 和式 (31-102), 并由表 31-8 查得  $t_{\frac{\alpha}{2}}(\nu) = t_{0.2}^*(11-1) = 1.372$ , 故得

$$\begin{aligned} \bar{x}_L &= \bar{x} - \frac{S_x}{\sqrt{n}} t_{\frac{\alpha}{2}}(\nu) \\ &= 647.91 - \frac{23.33}{\sqrt{11}} \times 1.372 = 638.26 \text{ N/mm}^2 \\ \bar{x}_U &= \bar{x} + \frac{S_x}{\sqrt{n}} t_{\frac{\alpha}{2}}(\nu) \\ &= 647.91 + \frac{23.33}{\sqrt{11}} \times 1.372 = 657.56 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

标准差的双侧置信限, 按式 (31-104) 和式 (31-105), 并由表 31-7 查得  $\chi_{\frac{\alpha}{2}}^2(\nu) = \chi_{0.2}^2(11-1) = 15.987$ ,  $\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2(\nu) = \chi_{0.8}^2(11-1) = 4.865$ , 故得

$$\begin{aligned} S_{xL} &= \left[ \frac{n-1}{\chi_{\frac{\alpha}{2}}^2(\nu)} \right]^{\frac{1}{2}} S_x \\ &= \left( \frac{11-1}{15.987} \right)^{\frac{1}{2}} \times 23.33 = 18.45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{xU} &= \left[ \frac{n-1}{\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2(\nu)} \right]^{\frac{1}{2}} S_x \\ &= \left( \frac{11-1}{4.865} \right)^{\frac{1}{2}} \times 23.33 = 33.45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

失效概率  $F=0.10$  的强度极限, 可借用可靠寿命与可靠度的关系式。这时相当于  $R=1-F=0.90$  时的强度极限。点估计可用式 (31-113) 来求, 并由  $R=0.90$  查表 31-36 得  $Z_R=1.28$ , 故

$$\begin{aligned} \hat{x}_R &= \hat{x}(R) = \bar{x} - Z_R S_x \\ &= 647.91 - 1.28 \times 23.33 = 618.05 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

失效概率  $F=0.10$ , 置信水平  $\gamma=90\%$  强度极限的单侧置信下限可用式 (31-116) 来求, 并由  $R=1-F=0.90$  查表 31-37 得  $Z_{R\gamma}=2.01129$ , 故

$$\begin{aligned} x_{FL} = x_L(R) &= \bar{x} - Z_{R\gamma} S_x \\ &= 647.91 - 2.01129 \times 23.33 \\ &= 600.99 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

**例 31-9** 某金属材料在某应力水平用 10 个试件做弯曲疲劳试验, 其中 8 个试件失效的循环次数分别为 125000, 132000, 135000, 138000, 141000, 145000, 148000, 152000 次, 其他 2 个试件超过 152000 次未失效就停止了试验。已知该金属材料疲劳寿命服从对数正态分布。试用极大似然法估计分布参数以及可靠度  $R$  为 0.90 时寿命点估计。

**解** 这是定数截尾试验, 先求出式 (31-107) 和式 (31-108) 中所需的各值

$$\begin{aligned} \bar{x}_r &= \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_i = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln N_i \\ &= \frac{1}{8} (\ln 125000 + \ln 132000 + \dots + \ln 152000) \\ &= 11.844 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r^2 &= \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (x_i - \bar{x}_r)^2 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (\ln N_i - \bar{x}_r)^2 \\ &= \frac{1}{8} [(\ln 125000 - 11.844)^2 + (\ln 132000 - 11.844)^2 \\ &\quad + \dots + (\ln 152000 - 11.844)^2] = 0.029 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= x_0 - \bar{x}_r = \ln N_0 - \bar{x}_r = \ln 152000 - 11.844 \\ &= 0.088 \end{aligned}$$

$$D = \frac{d^2}{d^2 + S_r^2} = \frac{0.088^2}{0.088^2 + 0.029} = 0.211$$

由表 31-33 按  $\frac{r}{n} = \frac{8}{10} = 0.8$  查得  $g\left(D, \frac{r}{n}\right) = 0.48157$ , 代入式 (31-107) 和式 (31-108) 得

$$\hat{\mu} = \bar{x}_i + \frac{S_x^2 - S_i^2}{d}$$

$$= 11.844 + \frac{0.183^2 - 0.029}{0.088} = 11.895$$

$$\hat{\sigma} = S_x = \frac{d}{g\left(D, \frac{r}{n}\right)} = \frac{0.088}{0.48157} = 0.183$$

求可靠寿命先用式 (31-113), 并按  $R=0.90$  由表 31-36 查得  $Z_R=1.28$ , 故得

$$\hat{x}(0.90) = \bar{x} - Z_R S_x$$

$$= 11.895 - 1.28 \times 0.183 = 11.66$$

再按式 (31-79) 进行反变换得

$$\hat{N}(0.90) = e^{i(0.90)} = e^{11.66} = 115844 \text{ 次}$$

例 31-10 数据同例 31-9。试用最佳线性无偏估计法求分布参数。

解 按式 (31-109) 和式 (31-110), 列表计算, 见表 31-39。表中系数  $D'(10, 8, j)$  和  $C'(10, 8, j)$  的数值由表 31-34 中查得。

表 31-39 例 31-10 的列表计算

$j$	$N_j$	$x_j = \ln N_j$	$D'(10, 8, j)$	$D'(10, 8, j) x_j$	$C'(10, 8, j)$	$C'(10, 8, j) x_j$
1	125000	11.736	0.0605	0.7100	-0.2753	-3.2309
2	132000	11.791	0.0804	0.9480	-0.1523	-1.7958
3	135000	11.813	0.0898	1.0608	-0.0947	-1.1187
4	138000	11.835	0.0972	1.1504	-0.0488	-0.5775
5	141000	11.857	0.1037	1.2296	-0.0077	-0.0913
6	145000	11.884	0.1099	1.3061	0.0319	0.3791
7	148000	11.905	0.1161	1.3822	0.0722	0.8595
8	152000	11.932	0.3424	4.0855	0.4746	5.6629

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \sum_{j=1}^r D'(10, 8, j) x_j$$

$$= 0.7100 + 0.9480 + \dots + 4.0855 = 11.8726$$

$$\hat{\sigma} = S_x = \sum_{j=1}^r C'(10, 8, j) x_j$$

$$= -3.2309 - 1.7958 - \dots - 0.0913 + 0.3791$$

$$+ 0.8595 + 5.6629 = 0.0873$$

### 2.5 威布尔分布的分析法

由表 31-4 知, 威布尔分布的概率密度

$$f(x) = \frac{k}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^k} \quad (31-121)$$

当位置参数  $a=0$  时, 则为较简单的两参数威布尔分布, 其概率密度

$$f(x) = \frac{k}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^k} \quad (31-122)$$

#### 2.5.1 威布尔分布的拟合性检验

样本大小为  $n$ , 截尾寿命试验得  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r$ , 检验统计量观察值

$$W = \frac{r_0 \sum_{i=1}^{r-1} t_i}{(r-r_0-1) \sum_{i=1}^{r_0} t_i} \quad (31-123)$$

式中  $r_0 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor$ , 即取括号内整数部分

$$t_i = \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{E(Z_{i+1}) - E(Z_i)}, \quad i = 1, 2, \dots, r-1$$

$E(Z_i)$  —— 查表 31-44、表 31-45 中的  $E(Z_{r,n})$ ,

$$i = 1, 2, \dots, r-1$$

满足下式条件, 则接受两参数威布尔分布的假设, 否则拒绝两参数威布尔分布的假设。

$$F_{1-\frac{\alpha}{2}}(2(r-r_0-1), 2r_0) \leq W \leq F_{\frac{\alpha}{2}}(2(r-r_0-1), 2r_0) \quad (31-124)$$

式中  $\alpha$  —— 显著性水平;

$F_{\cdot}(\nu_1, \nu_2)$  —— 自由度为  $\nu_1=2(r-r_0-1)$ ,  $\nu_2=2r_0$  的  $F$  分布的分位数, 查表 31-9,  $F_{1-\alpha}(\nu_1,$

$$\nu_2) = \frac{1}{F_{\alpha}(\nu_2, \nu_1)}$$

若拒绝了二参数威布尔分布, 仍有可能是三参数威布尔分布。对三参数威布尔分布, 仍可用上式检验, 但此时应先估计出位置参数  $a$ , 将式中的  $t_i$  换成

$\tau_i = t_i - a$  即可。

**例 31-11** 抽取某产品 15 个进行寿命试验, 其寿命由小到大为 8300, 15800, 22200, 27500, 31200, 37600, 45000, 46800, 53600, 61000, 68100, 78200, 85000, 95500, 124500 h。检验该产品寿命是否服从威布尔分布。

**解** 假设该产品寿命服从两参数威布尔分布, 用式 (31-123) 计算统计量的观察值, 先列表计算式中的  $l_i$ , 见表 31-40, 表中  $E(Z_i)$  值查表 31-45。

表 31-40 例 31-11 中  $l_i$  的列表计算

$i$	$t_i$	$\ln t_i$	$\ln t_{i+1} - \ln t_i$	$E(Z_i)$	$E(Z_{i+1}) - E(Z_i)$	$l_i = \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{E(Z_{i+1}) - E(Z_i)}$
1	8300	9.024	0.644	-3.2853	1.0349	0.6223
2	15800	9.668	0.340	-2.2504	0.5371	0.6330
3	22200	10.008	0.214	-1.7133	0.3729	0.5739
4	27500	10.222	0.126	-1.3404	0.2926	0.4306
5	31200	10.348	0.187	-1.0478	0.2459	0.7605
6	37600	10.535	0.179	-0.8019	0.2167	0.8260
7	45000	10.714	0.040	-0.5852	0.1979	0.2021
8	46800	10.754	0.135	-0.3873	0.1863	0.7246
9	53600	10.889	0.130	-0.2010	0.1804	0.7206
10	61000	11.019	0.110	-0.0206	0.1801	0.6108
11	68100	11.129	0.138	0.1595	0.1863	0.7407
12	78200	11.267	0.083	0.3458	0.2027	0.4095
13	85000	11.350	0.117	0.5485	0.2399	0.4877
14	95500	11.467	0.265	0.7884	0.3443	0.7697
15	124500	11.732		1.1327		

按式 (31-123), 式中,  $r_0 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{15}{2} \right\rfloor = 7$

$$W = \frac{7 \sum_{i=8}^{14} l_i}{7 \sum_{i=1}^7 l_i} = \frac{0.7246 + 0.7206 + 0.6108 + 0.7407 + 0.4095 + 0.4877 + 0.7697}{0.6223 + 0.6330 + 0.5739 + 0.4306 + 0.7605 + 0.8260 + 0.2021} = 1.1026$$

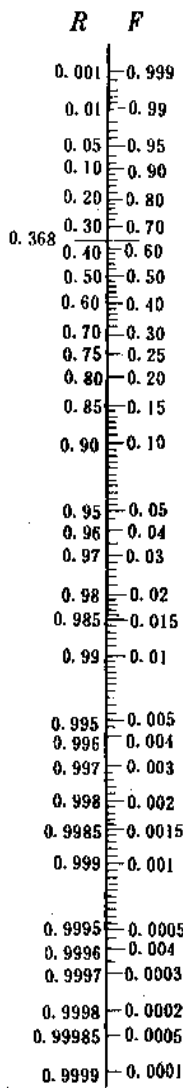


图 31-14 威布尔概率纸的纵坐标

取显著性水平  $\alpha=0.10$ , 查表 31-9 得

$$F_{\frac{\alpha}{2}}(2(r-r_0-1), 2r_0)$$

$$= F_{0.05}(14, 14) = 2.48$$

$$F_{1-\frac{\alpha}{2}}(2(r-r_0-1), 2r_0)$$

$$= F_{0.95}(14, 14) = \frac{1}{F_{0.05}(14, 14)}$$

$$= \frac{1}{2.48} = 0.4032$$

由于  $0.4032 < W < 2.48$ , 满足式 (31-124) 的条件, 故接受该产品的寿命服从两参数威布尔分布的假设。

### 2.5.2 威布尔分布的图估计法

威布尔分布的图估计法就是利用威布尔概率纸进行的各种估计。威布尔概率纸有不同的形式, 图 31-15 为常见的一种。如果数据对于横坐标轴过分密集, 这种概率纸估计得的数值就难以准确。这时横坐标若取为普通的等分坐标, 再配以少量的计算, 就能很方便的进行估计。若没有现成的概率纸, 可将图 31-14 贴在普通方格纸旁, 就可做为威布尔概率纸。

(1) 两参数威布尔分布 位置参数  $a=0$  的威布尔分布即为两参数威布尔分布。下面用数例说明其用法。

例如, 为查明齿轮的疲劳寿命, 在某应力水平试验得 6 个齿轮的寿命循环次数  $N$  分别为 50800, 98000, 161000, 215000, 304000, 412000 次。假设随机变量  $N$  服从两参数威布尔分布, 试用图 31-15 式样的概率纸进行分析。

a. 整理数据, 按由小到大次序编序号, 并将整理后的数据记于表 31-41 的第 I、II 栏内。

表 31-41 齿轮寿命试验数据

I	II	III	IV	V	VI
序号 $i$	寿命 $N_i$	$x_i = \lg N_i$	$\hat{F}(N_i) \approx \frac{i-0.3}{6+0.4}$	$F_{\alpha=0.1}(N_i)$	$F_{\alpha=0.9}(N_i)$
1	50800	4.706	0.109	0.017	0.319
2	98000	4.991	0.266	0.093	0.510
3	161000	5.207	0.422	0.201	0.667
4	215000	5.332	0.578	0.333	0.799
5	304000	5.483	0.735	0.490	0.907
6	412000	5.615	0.891	0.681	0.983

b. 用中位秩 (也可用平均秩) 作为  $\hat{F}(N_i)$ , 由表 31-22 样本大小  $n=6$  查得  $\hat{F}(N_i)$  值, 并记于表 31-41 的第 III 栏内。

c. 按表 31-41 第 III 和 IV 栏数据在威布尔概率纸上描点, 如图 31-15 中 “。” 所示。若各点基本在一

直线上, 则假设随机变量服从两参数威布尔分布是可以接受的, 否则随机变量可能服从三参数威布尔分布或不从威布尔分布, 这时分析即停止, 并做其他假设。本例各点基本在一直线上, 故可接受服从两参数威布尔分布的假设。

提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

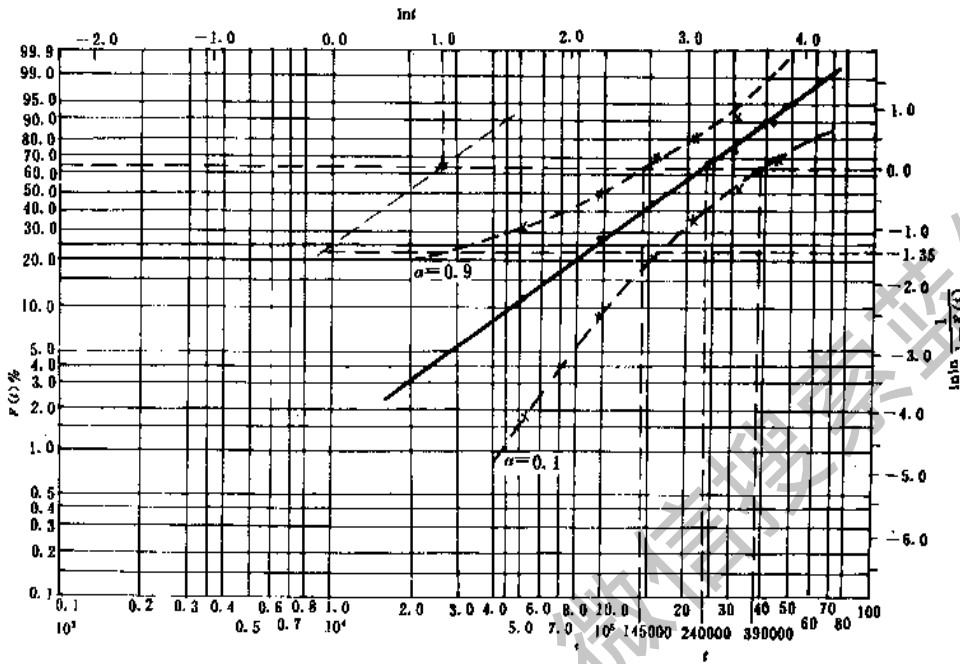


图 31-15 威布尔概率纸的分析法

d. 绘一直线使这些点尽量靠近直线 (方法同正态分布)。本例各点都较好地靠近直线, 拟合相当好。

e. 进行参数的点估计。由  $F(t) = F(N) = 63.2\%$  的点作水平线和所绘直线相交, 交点的横坐标就是尺度参数  $b$ , 即

$$\hat{b} = N_{0.632} \quad (31-125)$$

本例,  $\hat{b} = 240000$  次

$F(t) = F(N) = 63.2\%$  的水平线上有一小圈 “。”, 过该圈心作拟合直线的平行线与原  $t=1$  的纵坐标相交, 该交点纵坐标对应概率纸右边刻度值的负值即为形状参数  $k$ 。

本例,  $\hat{k} = 1.35$

f. 区间估计与正态概率纸用法类似。按所需的置信水平由表 31-23~30 查相应百分数的秩, 并在概率纸上描点, 配置曲线。

例如, 本例若需估计置信水平  $1-\alpha=80\%$  的双侧置信限, 或  $1-\alpha=90\%$  的单侧置信限, 则由表 31-

23~24 按  $n=6$  查 10% 秩和 90% 秩, 并将查得的值记于表 31-41 的第 V 和 VI 栏内。再按第 III 和第 V、VI 栏数据在图 31-15 上描点 “x”, 并配置曲线如虚线所示。从图上可量得尺度参数  $b$  的置信水平为 80% 的双侧置信限

$$(b_L, b_U) = (145000, 390000) \text{ 次}$$

寿命  $N=10^5$  次的失效概率  $F$  的置信水平为 80% 的双侧置信限

$$(F_L, F_U) = (9, 50)\% = (0.09, 0.50)$$

寿命  $N=50000$  次的可靠度  $R$  的置信水平为 90% 的单侧置信下限

$$R_L = 1 - F_U = 1 - 0.32 = 0.68$$

若将横坐标取成等刻度, 则首先将试验数据进行变换, 即

$$x_i = \lg t_i = \lg N_i$$

将所得结果记于表 31-41 中第 III 栏。用第 III 栏和第 IV 栏的数据在威布尔概率纸上描点, 如图 31-16 的



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

“。”所示。分析方法同前。本例各点基本在一直线上，拟合相当好。

参数估计。尺度参数  $b$  的点估计可由  $F(x) = 0.632$  的刻度点作水平线和所配直线相交，交点的横坐标为  $x_{0.632}$ ，则

$$\hat{b} = 10^{x_{0.632}} \quad (31-126)$$

本例， $x_{0.632} = 5.38$ ，故

$$\hat{b} = 10^{5.38} = 239883 \text{ 次}$$

形状参数  $k$  的点估计可由  $F(x) = 0.10$  的刻度作水平线和所配直线相交，交点的横坐标为  $x_{0.10}$ ，则

$$\hat{k} = \frac{0.977}{x_{0.632} - x_{0.10}} \quad (31-127)$$

本例， $x_{0.10} = 4.67$ ，故

$$\hat{k} = \frac{0.977}{5.38 - 4.67} = 1.376$$

区间估计与前同，配置所需曲线，如图 31-16 中虚线。求指定失效概率的寿命点估计

$$\hat{t}_F = 10^{x_F} \quad (31-128)$$

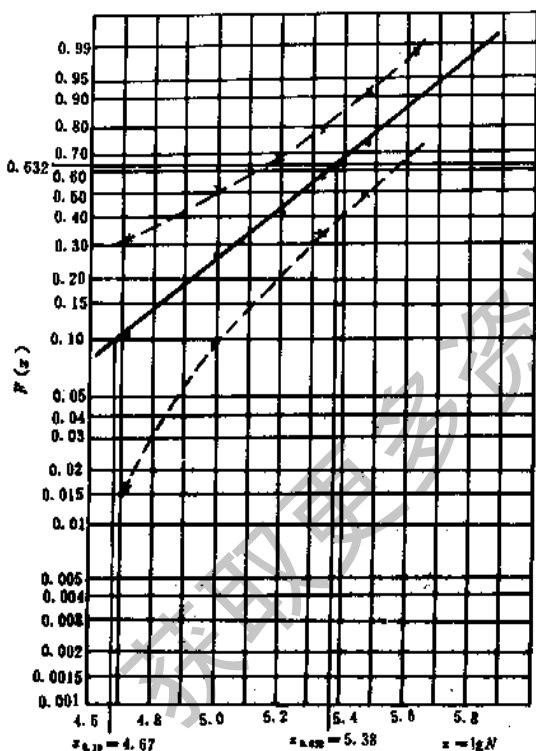


图 31-16 威布尔概率纸的分析法

相应寿命的置信下限和上限

$$t_{FL} = 10^{x_{FL}} \quad (31-129)$$

$$t_{FU} = 10^{x_{FU}} \quad (31-130)$$

(2) 三参数威布尔分布 位置参数  $a > 0$  的威布尔分布称为三参数威布尔分布。三参数威布尔分布的位置参数  $a$  可通过试估估计，并将横坐标  $t$  取为  $t - a$ ，其余的估计同两参数威布尔分布。

分析时，首先假设  $a = 0$ ，用前述步骤在威布尔概率纸上描点，若各点基本在一直线上，则可接受随机变量服从两参数威布尔分布；若各点基本在一曲线上，则应估计  $a$  值。将描得的各点连成平滑曲线，并将该曲线顺势下延，该曲线的垂直渐近线和图中横坐标轴交于  $t_a$ ，则可估计

$$\hat{a} = t_a$$

$a$  值估得后，将各点的横坐标用  $t_i - \hat{a}$  代替再描点，若各点基本在一直线上，就可接受该随机变量服从位置参数为  $\hat{a}$  的威布尔分布，否则按上述过程重新估计  $a$  值，直到描得的各点基本在一直线上为止。若反复试估  $a$  值，各点都明显不在一直线上，就拒绝接受服从威布尔分布的假设，分析即停止。

### 2.5.3 威布尔分布的参数估计

(1) 矩法估计 威布尔分布参数的矩法估计较为简单，但结果不如极大似然估计。矩法估计是先求样本的均值、标准差和偏态系数，再利用现成的数表即可方便地进行参数的点估计。对样本大小为  $n$  的完全样本，则

样本均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (31-131)$$

样本标准差

$$S_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31-132)$$

样本偏态系数

$$k_k = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_x^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (31-133)$$

根据  $k_k$  值由表 31-42 查得形状参数  $k$  的点估计  $\hat{k}$ ，同时可查得系数  $k_a$ 、 $k_b$ ，故

尺度参数  $b$  的点估计

$$\hat{b} = \frac{S_x}{k_b} \quad (31-134)$$

位置参数  $a$  的点估计

$$\hat{a} = \begin{cases} \bar{x} - \hat{b}k_a, & \text{若 } \bar{x} - \hat{b}k_a \leq \min\{x_i\} \\ \min\{x_i\}, & \text{若 } \bar{x} - \hat{b}k_a > \min\{x_i\} \end{cases} \quad (31-135)$$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

若位置参数  $a$  已知 (例如两参数威布尔分布  $a=0$ )，则求

$$k_c = \frac{S_x}{x - a} \quad (31-136)$$

根据  $k_c$  值由表 31-42 查得形状参数  $k$  的点估计  $\hat{k}$ ，同时查得  $k_s$ ，再由式 (31-134) 求尺度参数  $b$  的点估计  $\hat{b}$ 。

(2) 极大似然估计 两参数威布尔分布的极大似然估计，对截尾寿命试验，若样本大小为  $n$ ，截尾时间为  $x_0$ ，失效数为  $r$  (对完全样本只需取失效数  $r=n$ )， $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_r \leq x_0$ ，则

$$\frac{\sum_{i=1}^r x_i^k \ln x_i + (n-r)x_0^k \ln x_0}{\sum_{i=1}^r x_i^k + (n-r)x_0^k} \dots \frac{1}{k} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln x_i \quad (31-137)$$

$$b = \left\{ \frac{1}{r} \left[ \sum_{i=1}^r x_i^k + (n-r)x_0^k \right] \right\}^{\frac{1}{k}} \quad (31-138)$$

用迭代法解超越方程 (31-137)，求得  $k$  代入式 (31-138) 算得  $b$ ，就是形状参数  $k$  和尺度参数  $b$  的极大似然估计  $\hat{k}$  和  $\hat{b}$ 。

(3) 最佳线性无偏估计和简单线性无偏估计 利用相应的数表可很方便地求得精度较高的两参数威布尔分布参数的最佳线性无偏估计 (BLUE) 和简单线性无偏估计 (GLUE)，这时应先作如下变换，原分布函数

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{b}\right)^k} \quad (31-139)$$

令  $x = \ln t$  即  $t = e^x$  (31-140)

$$\sigma = \frac{1}{k} \quad \text{即} \quad k = \frac{1}{\sigma} \quad (31-141)$$

$$\mu = \ln b \quad \text{即} \quad b = e^\mu \quad (31-142)$$

则原分布函数变为  $F(x) = 1 - e^{-\frac{e^{\mu/x}}{\sigma}}$  (31-143)

式中，参数  $\mu$  和  $\sigma$  的最佳线性无偏估计

$$\hat{\mu} = \sum_{j=1}^r D(n, r, j) x_j \quad (31-144)$$

$$\hat{\sigma} = \sum_{j=1}^r C(n, r, j) x_j \quad (31-145)$$

式中  $n$  —— 样本大小；  
 $r$  —— 截尾失效数；  
 $j$  —— 寿命由小到大的排列序号；  
 $x_j$  —— 第  $j$  个对数寿命值；  
 $D(n, r, j)$  ——  $\mu$  的最佳线性无偏估计系数，查表 31-43；  
 $C(n, r, j)$  ——  $\sigma$  的最佳线性无偏估计系数，查表 31-43。

当  $n \geq 26$  时， $\mu$  和  $\sigma$  用简单线性无偏估计， $\mu$  和  $\sigma$  的简单线性无偏估计

$$\hat{\mu} = x_{s,n} - E(Z_{r,n})\hat{\sigma} \quad (31-146)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{nk_{r,n}} \left[ (2s-r)x_{s,n} - \sum_{j=1}^s x_j + \sum_{j=s+1}^r x_j \right] \quad (31-147)$$

式中  $n, r, j, x_i$  同式 (31-144)；  
 $s, nk_{r,n}, E(Z_{r,n})$  —— 查表 31-44；

形状参数  $k$  的点估计按式 (31-141)，并为得到  $k$  的无偏估计再加以修正得

$$\hat{k} = \frac{E_{r,n}}{\sigma} \quad (31-148)$$

式中  $g_{r,n}$  —— 修偏系数，查表 31-44 和表 31-45  
 $\hat{b} = e^\mu \quad (31-149)$

### 2.5.4 威布尔分布的可靠度和可靠寿命估计

指定寿命  $t$  可靠度的点估计

$$\hat{R}(t) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{t}{\hat{b}}\right)^{\hat{k}}}, & \text{当 } t > \hat{a} \\ 1, & \text{当 } t \leq \hat{a} \end{cases} \quad (31-150)$$

指定可靠度  $R$  可靠寿命的点估计

$$\hat{t}(R) = \hat{a} + \hat{b} \left( \ln \frac{1}{R} \right)^{\frac{1}{\hat{k}}} \quad (31-151)$$

指定置信水平，可靠度的置信下限，对于全数试验的两参数威布尔分布，可按可靠度的极大似然点估计  $\hat{R}(t)$  查表 31-46~47；对于截尾寿命试验，其可靠度置信下限可查表 31-48~50。

可靠寿命的单侧置信下限

$$t_1(R) = e^{\frac{\sigma(B_{r,n} + V_{RT})}{1 - g_{r,n}}} \quad (31-152)$$

式中  $g_{r,n}, B_{r,n}, V_{RT}$  —— 查表 31-45。

表 31-42 威布尔分布形状参数和各参数点估计系数

$k$	$k_k$	$k_b$	$k_a$	$k_c$	$k$	$k_k$	$k_b$	$k_a$	$k_c$
0.20	190.1	109.1	120.0	15.84	4.00	-0.087	0.254	0.906	0.280
0.30	28.33	30.10	9.261	5.408	4.10	-0.107	0.249	0.908	0.274
0.40	11.35	10.45	3.323	3.141	4.20	-0.126	0.244	0.909	0.268
0.50	6.619	4.472	2.000	2.236	4.30	-0.144	0.239	0.910	0.263
0.60	4.593	2.645	1.505	1.758	4.40	-0.161	0.234	0.911	0.257
0.70	3.498	1.851	0.266	1.462	4.50	-0.178	0.230	0.913	0.252
0.80	2.815	1.428	1.133	1.260	4.60	-0.195	0.225	0.914	0.247
0.90	2.345	1.199	1.073	1.113	4.70	-0.210	0.221	0.915	0.242
1.00	2.000	1.000	1.000	1.000	4.80	-0.225	0.217	0.916	0.238
1.10	1.734	0.878	0.965	0.910	4.90	-0.240	0.214	0.917	0.233
1.20	1.521	0.787	0.940	0.837	5.00	-0.254	0.210	0.918	0.229
1.30	1.346	0.716	0.923	0.776	5.10	-0.268	0.207	0.919	0.225
1.40	1.198	0.660	0.911	0.724	5.20	-0.281	0.203	0.920	0.221
1.50	1.072	0.613	0.903	0.679	5.30	-0.294	0.199	0.921	0.217
1.60	0.962	0.574	0.897	0.640	5.40	-0.306	0.197	0.922	0.213
1.70	0.865	0.540	0.892	0.605	5.50	-0.318	0.194	0.923	0.210
1.80	0.779	0.511	0.889	0.575	5.60	-0.330	0.190	0.924	0.206
1.90	0.701	0.486	0.888	0.547	5.70	-0.341	0.187	0.925	0.203
2.00	0.631	0.463	0.886	0.523	5.80	-0.352	0.184	0.926	0.200
2.10	0.567	0.443	0.886	0.500	5.90	-0.363	0.181	0.927	0.197
2.20	0.509	0.425	0.886	0.480	6.00	-0.373	0.180	0.928	0.194
2.30	0.455	0.408	0.886	0.461	6.10	-0.383	0.177	0.928	0.191
2.40	0.405	0.393	0.886	0.444	6.20	-0.393	0.175	0.929	0.188
2.50	0.358	0.380	0.887	0.428	6.30	-0.403	0.173	0.930	0.185
2.60	0.315	0.367	0.888	0.413	6.40	-0.412	0.170	0.931	0.183
2.70	0.275	0.355	0.889	0.399	6.50	-0.421	0.168	0.932	0.180
2.80	0.237	0.344	0.890	0.387	6.60	-0.430	0.166	0.932	0.177
2.90	0.202	0.333	0.891	0.375	6.70	-0.439	0.163	0.933	0.175
3.00	0.168	0.325	0.893	0.363	6.80	-0.447	0.161	0.934	0.173
3.10	0.136	0.413	0.895	0.353	6.90	-0.455	0.159	0.935	0.170
3.20	0.106	0.307	0.896	0.343	7.00	-0.463	0.157	0.935	0.168
3.30	0.078	0.298	0.897	0.333	7.50	-0.500	0.147	0.939	0.158
3.40	0.051	0.292	0.898	0.325	8.00	-0.534	0.140	0.942	0.148
3.50	0.025	0.290	0.898	0.316	8.50	-0.564	0.131	0.945	0.140
3.60	0.001	0.277	0.899	0.308	9.00	-0.591	0.126	0.947	0.133
3.70	-0.023	0.276	0.901	0.301	9.50	-0.615	0.120	0.949	0.126
3.80	-0.045	0.265	0.904	0.294	10.00	-0.638	0.114	0.951	0.120
3.90	-0.067	0.260	0.905	0.287					

表 31-43 最佳线性无偏估计系数表 (威布尔分布)

$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$
2	2	1	-0.7213	0.0836	7	4	3	-0.2102	0.0071
2	2	2	0.7213	0.9164	7	4	4	0.7802	1.2475
3	2	1	-0.8221	-0.3777	7	5	1	-0.2110	-0.0393
3	2	2	0.8221	1.3777	7	5	2	-0.2065	-0.0044
3	3	1	-0.3747	0.0880	7	5	3	-0.1691	0.0458
3	3	2	-0.2558	0.2557	7	5	4	-0.0992	0.1134
3	3	3	0.6305	0.6563	7	5	5	0.0858	0.8844
4	2	1	-0.8690	-0.7063	7	6	1	-0.1587	0.0137
4	2	2	0.8690	1.7063	7	6	2	-0.1609	0.0418
4	3	1	-0.4144	-0.0801	7	6	3	-0.1396	0.0757
4	3	2	-0.3259	0.0604	7	6	4	-0.0951	0.1176
4	3	3	0.7403	1.0197	7	6	5	-0.0176	0.1721
4	4	1	-0.2488	0.0714	7	6	6	0.5719	0.5791
4	4	2	-0.2239	0.1537	7	7	1	-0.1201	0.0418
4	4	3	-0.0859	0.2639	7	7	2	-0.1259	0.0673
4	4	4	0.5586	0.5110	7	7	3	-0.1149	0.0937
5	2	1	-0.8963	-0.9599	7	7	4	-0.0873	0.1232
5	2	2	0.8963	1.9599	7	7	5	-0.0362	0.1586
5	3	1	-0.4343	-0.2101	7	7	6	0.0607	0.2063
5	3	2	-0.3642	-0.0860	7	7	7	0.4237	0.3090
5	3	3	0.7986	1.2961	8	2	1	-0.9361	-1.4869
5	4	1	-0.2730	-0.0154	8	2	2	0.9361	2.4869
5	4	2	-0.2499	0.0520	8	3	1	-0.4610	-0.4794
5	4	3	-0.1491	0.1521	8	3	2	-0.4180	-0.3848
5	4	4	0.6721	0.8113	8	3	3	0.8790	1.8642
5	5	1	-0.1845	0.0584	8	4	1	-0.2998	-0.1977
5	5	2	-0.1817	0.1088	8	4	2	-0.2837	-0.1502
5	5	3	-0.1305	0.1676	8	4	3	-0.2275	-0.0685
5	5	4	-0.0065	0.2463	8	4	4	0.8109	1.4164
5	5	5	0.5031	0.4189	8	5	1	-0.2172	-0.0781
6	2	1	-0.9141	-0.1656	8	5	2	-0.2128	-0.0474
6	2	2	0.9141	2.1656	8	5	3	-0.1803	-0.0001
6	3	1	-0.4466	-0.3154	8	5	4	-0.1225	0.0637
6	3	2	-0.3886	-0.2034	8	5	5	0.7328	1.0619
6	3	3	0.8353	1.5188	8	6	1	-0.1661	-0.0172
6	4	1	-0.2859	-0.0865	8	6	2	-0.1675	0.0065
6	4	2	-0.2655	-0.0281	8	6	3	-0.1483	0.0380
6	4	3	-0.1859	0.0649	8	6	4	-0.1105	0.0780
6	4	4	0.7372	1.0496	8	6	5	-0.0500	0.1292
6	5	1	-0.2015	0.0057	8	6	6	0.6424	0.7655
6	5	2	-0.1973	0.0466	8	7	1	-0.1303	0.0168
6	5	3	-0.1536	0.1002	8	7	2	-0.1348	0.0376
6	5	4	-0.0646	0.1723	8	7	3	-0.1238	0.0612
6	5	5	0.6170	0.6752	8	7	4	-0.0991	0.0888
6	6	1	-0.1458	0.0489	8	7	5	-0.0571	0.1225
6	6	2	-0.1459	0.0835	8	7	6	0.0109	0.1655
6	6	3	-0.1267	0.1211	8	7	7	0.5343	0.5076
6	6	4	-0.0732	0.1656	8	8	1	-0.1019	0.0365
6	6	5	0.0360	0.2255	8	8	2	-0.1081	0.0561
6	6	6	0.4593	0.3554	8	8	3	-0.1027	0.0759
7	2	1	-0.9267	-1.3383	8	8	4	-0.0872	0.0971
7	2	2	0.9267	2.3383	8	8	5	-0.0589	0.1212
7	3	1	-0.4550	-0.4036	8	8	6	-0.0111	0.1502
7	3	2	-0.4056	-0.3012	8	8	7	0.0758	0.1894
7	3	3	0.8605	1.7048	8	8	8	0.3942	0.2735
7	4	1	-0.2940	-0.1463	9	2	1	-0.9434	-1.6173
7	4	2	-0.2760	-0.0941	9	2	2	0.9434	2.6173
7	4	3			9	3	1	-0.4656	-0.5458

续表 31-43

$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$
9	3	2	-0.4275	-0.4577	10	6	3	-0.1596	-0.0226
9	3	3	0.8932	2.0035	10	6	4	-0.1308	0.0141
9	4	1	-0.3040	-0.2427	10	6	5	-0.0883	0.0602
9	4	2	-0.2895	-0.1990	10	6	6	0.7290	1.0680
9	4	3	-0.2405	-0.1219	10	7	1	-0.1406	-0.0261
9	4	4	0.8340	1.5636	10	7	2	-0.1437	-0.0109
9	5	1	-0.2217	-0.1123	10	7	3	-0.1340	0.0095
9	5	2	-0.2174	-0.0847	10	7	4	-0.1143	0.0348
9	5	3	-0.1887	-0.0398	10	7	5	-0.0838	0.0659
9	5	4	-0.1394	0.0206	10	7	6	-0.0402	0.1041
9	5	5	0.7673	1.2161	10	7	7	0.8227	0.6565
9	6	1	-0.1712	-0.0446	10	8	1	-0.1153	-0.0143
9	6	2	-0.1720	-0.0239	10	8	2	-0.1198	0.0006
9	6	3	-0.1547	0.0057	10	8	3	-0.1142	0.0305
9	6	4	-0.1220	0.0440	10	8	4	-0.1006	0.0493
9	6	5	-0.0721	0.0925	10	8	5	-0.0785	0.0714
9	6	6	0.6920	0.9264	10	8	6	-0.0460	0.0979
9	7	1	-0.1364	-0.0058	10	8	7	0.0009	0.1307
9	7	2	-0.1400	0.0118	10	8	8	0.5735	0.6054
9	7	3	-0.1297	0.0336	10	9	1	-0.0953	0.0178
9	7	4	-0.1076	0.0600	10	9	2	-0.1005	0.0309
9	7	5	-0.0723	0.0922	10	9	3	-0.0978	0.0446
9	7	6	-0.0194	0.1325	10	9	4	-0.0886	0.0596
9	7	7	0.6055	0.6757	10	9	5	-0.0727	0.0763
9	8	1	-0.1102	0.0178	10	9	6	-0.0486	0.0957
9	8	2	-0.1154	0.0340	10	9	7	-0.0129	0.1188
9	8	3	-0.1097	0.0516	10	9	8	0.0415	0.1481
9	8	4	-0.0950	0.0714	10	9	9	0.4749	0.4082
9	8	5	-0.0700	0.0943	10	10	1	-0.0779	0.0289
9	8	6	-0.0312	0.1218	10	10	2	-0.0836	0.0417
9	8	7	0.0292	0.1569	10	10	3	-0.0828	0.0542
9	8	8	0.5024	0.4523	10	10	4	-0.0770	0.0670
9	9	1	-0.0884	0.0323	10	10	5	-0.0661	0.0806
9	9	2	-0.0944	0.0480	10	10	6	-0.0487	0.0956
9	9	3	-0.0920	0.0634	10	10	7	-0.0222	0.1129
9	9	4	-0.0827	0.0796	10	10	8	0.0192	0.1338
9	9	5	-0.0656	0.0972	10	10	9	0.0912	0.1623
9	9	6	-0.0380	0.1174	10	10	10	0.3478	0.2229
9	9	7	0.0065	0.1418	11	2	1	-0.9538	-1.8377
9	9	8	0.0852	0.1749	11	2	2	0.9538	2.8377
9	9	9	0.3692	0.2455	11	3	1	-0.4722	-0.6578
10	2	1	-0.9491	-1.7333	11	3	2	-0.4412	-0.5802
10	2	2	0.9491	2.7333	11	3	3	0.9134	2.2379
10	3	1	-0.4693	-0.6047	11	4	1	-0.3099	-0.3186
10	3	2	-0.4351	-0.5223	11	4	2	-0.2979	-0.2806
10	3	3	0.9044	2.1270	11	4	3	-0.2588	-0.2113
10	4	1	-0.3073	-0.2827	11	4	4	0.8665	1.8105
10	4	2	-0.2941	-0.2421	11	5	1	-0.2277	-0.1699
10	4	3	-0.2506	-0.1691	11	5	2	-0.2239	-0.1467
10	4	4	0.8520	1.6938	11	5	3	-0.2006	-0.1061
10	5	1	-0.2251	-0.1426	11	5	4	-0.1625	-0.0514
10	5	2	-0.2210	-0.1175	11	5	5	0.8147	1.4741
10	5	3	-0.1953	-0.0748	11	6	1	-0.1777	-0.0910
10	5	4	-0.1523	-0.0174	11	6	2	-0.1780	-0.0745
10	5	5	0.7937	1.3523	11	6	3	-0.1636	-0.0477
10	6	1	-0.1748	-0.0690	11	6	4	-0.1379	-0.0126
10	6	2	-0.1754	-0.0506	11	6	5	-0.1007	0.0314
					11	6	6	0.7578	1.1944

超星数字图书馆提醒您：  
使用超星数字图书馆产品  
请尊重知识产权

续表 31-43

$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$
11	7	1	-0.1437	-0.0445	12	5	4	-0.1707	-0.0820
11	7	2	-0.1464	-0.0311	12	5	5	0.8317	1.5842
11	7	3	-0.1374	-0.0118	12	6	1	-0.1799	-0.1110
11	7	4	-0.1195	0.0126	12	6	2	-0.1801	-0.0959
11	7	5	-0.0927	0.0424	12	6	3	-0.1668	-0.0704
11	7	6	-0.0556	0.0788	12	6	4	-0.1436	-0.0366
11	7	7	0.6952	0.9535	12	6	5	-0.1106	0.0055
11	8	1	-0.1189	-0.0150	12	6	6	0.7810	1.3085
11	8	2	-0.1228	-0.0032	12	7	1	-0.1461	-0.0612
11	8	3	-0.1175	0.0118	12	7	2	-0.1485	-0.0492
11	8	4	-0.1049	0.0298	12	7	3	-0.1401	-0.0309
11	8	5	-0.0853	0.0512	12	7	4	-0.1238	-0.0075
11	8	6	-0.0573	0.0768	12	7	5	-0.0999	0.0213
11	8	7	-0.0187	0.1078	12	7	6	-0.0675	0.0561
11	8	8	0.6254	0.7407	12	7	7	0.7259	1.0713
11	9	1	-0.0996	0.0044	12	8	1	-0.1216	-0.0293
11	9	2	-0.1043	0.0154	12	8	2	-0.1251	-0.0190
11	9	3	-0.1014	0.0280	12	8	3	-0.1200	-0.0049
11	9	4	-0.0927	0.0421	12	8	4	-0.1085	0.0125
11	9	5	-0.0782	0.0583	12	8	5	-0.0907	0.0332
11	9	6	-0.0570	0.0771	12	8	6	-0.0661	0.0579
11	9	7	-0.0272	0.0993	12	8	7	-0.0333	0.0875
11	9	8	0.0149	0.1266	12	8	8	0.6653	0.8622
11	9	9	0.5456	0.5488	12	9	1	-0.1027	-0.0081
11	10	1	-0.0838	0.0174	12	9	2	-0.1070	0.0015
11	10	2	-0.0889	0.0282	12	9	3	-0.1040	0.0131
11	10	3	-0.0877	0.0393	12	9	4	-0.0959	0.0266
11	10	4	-0.0819	0.0511	12	9	5	-0.0826	0.0423
11	10	5	-0.0714	0.0640	12	9	6	-0.0638	0.0605
11	10	6	-0.0554	0.0784	12	9	7	-0.0382	0.0820
11	10	7	-0.0325	0.0950	12	9	8	-0.0037	0.1078
11	10	8	0.0006	0.1148	12	9	9	0.5978	0.6742
11	10	9	0.0500	0.1398	12	10	1	-0.0875	0.0066
11	10	10	0.4509	0.3721	12	10	2	-0.0921	0.0158
11	11	1	-0.0696	0.0262	12	10	3	-0.0908	0.0259
11	11	2	-0.0748	0.0369	12	10	4	-0.0851	0.0370
11	11	3	-0.0750	0.0472	12	10	5	-0.0753	0.0494
11	11	4	-0.0714	0.0576	12	10	6	-0.0608	0.0634
11	11	5	-0.0641	0.0685	12	10	7	-0.0408	0.0795
11	11	6	-0.0525	0.0802	12	10	8	-0.0133	0.0985
11	11	7	-0.0353	0.0932	12	10	9	0.0248	0.1217
11	11	8	-0.0100	0.1082	12	10	10	0.5209	0.5022
11	11	9	0.0286	0.1265	12	11	1	-0.0746	0.0168
11	11	10	0.0949	0.1514	12	11	2	-0.0794	0.0259
11	11	11	0.3292	0.2041	12	11	3	-0.0793	0.0351
12	2	1	-0.9577	-1.9327	12	11	4	-0.0755	0.0446
12	2	2	0.9577	2.9327	12	11	5	-0.0683	0.0549
12	3	1	-0.4746	-0.7060	12	11	6	-0.0573	0.0662
12	3	2	-0.4463	-0.6326	12	11	7	-0.0417	0.0787
12	3	3	0.9209	2.3385	12	11	8	-0.0200	0.0932
12	4	1	-0.3120	-0.3512	12	11	9	0.0106	0.1104
12	4	2	-0.3009	0.3155	12	11	10	0.0559	0.1320
12	4	3	-0.2654	-0.2494	12	11	11	0.4297	0.3421
12	4	4	0.8784	1.9161	12	12	1	-0.0629	0.0239
12	5	1	-0.2298	-0.1947	12	12	2	-0.0677	0.0330
12	5	2	-0.2262	-0.1732	12	12	3	-0.0684	0.0416
12	5	3	-0.2050	-0.1343	12	12	4	-0.0661	0.0503
12	5	4	-0.2050	-0.1343	12	12	5	-0.0611	0.0593

超星数字图书馆提醒您：  
 使用超星数字图书馆产品  
 请尊重版权，知照版权。



续表 31-43

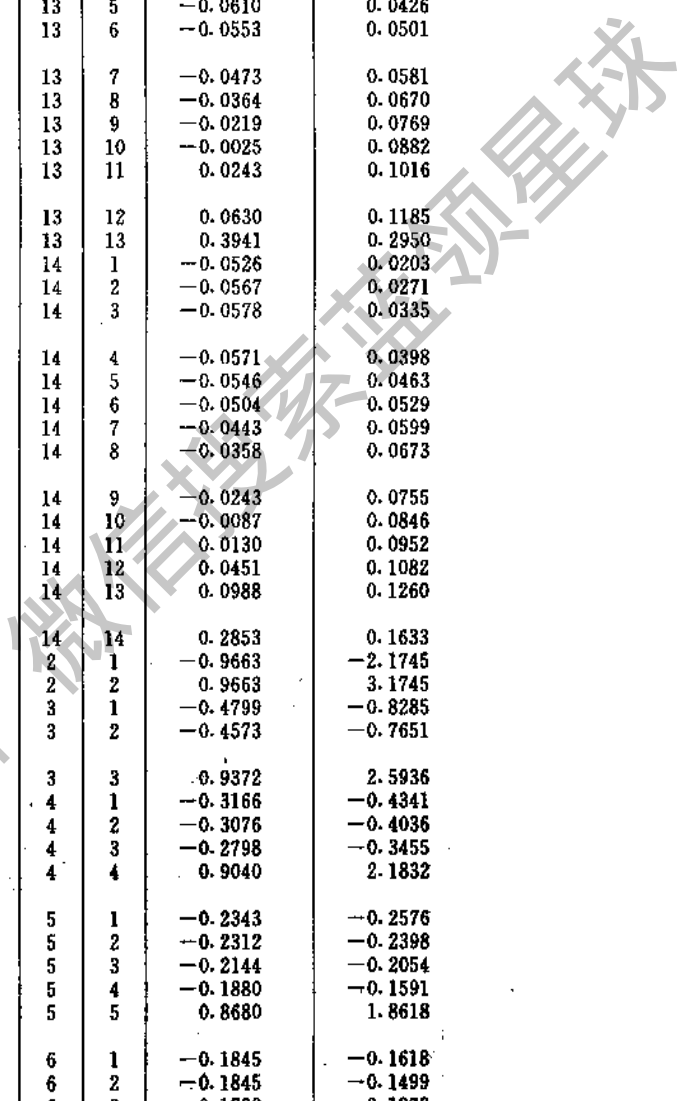
$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$
12	12	6	-0.0531	0.0687	13	10	7	-0.0475	0.0657
12	12	7	-0.0413	0.0790	13	10	8	-0.0239	0.0840
12	12	8	-0.0245	0.0905	13	10	9	0.0073	0.1059
12	12	9	-0.0005	0.1037	13	10	10	0.5733	0.6190
12	12	10	0.0357	0.1198	13	11	1	-0.0779	0.0079
12	12	11	0.0971	0.1418	13	11	2	-0.0823	0.0157
12	12	12	0.3128	0.1884	13	11	3	-0.0820	0.0241
13	2	1	-0.9610	-2.0197	13	11	4	-0.0783	0.0330
13	2	2	0.9610	3.0197	13	11	5	-0.0714	0.0429
13	3	1	-0.4767	-0.7501	13	11	6	-0.0612	0.0538
13	3	2	-0.4505	-0.6804	13	11	7	-0.0471	0.0661
13	3	3	0.9272	2.4305	13	11	8	-0.0282	0.0801
13	4	1	-0.3138	-0.3811	13	11	9	-0.0027	0.0966
13	4	2	-0.3035	-0.3473	13	11	10	0.0321	0.1166
13	4	3	-0.2710	-0.2842	13	11	11	0.4989	0.4632
13	4	4	0.8883	2.0126	13	12	1	-0.0673	0.0161
13	5	1	-0.2316	-0.2173	13	12	2	-0.0717	0.0239
13	5	2	-0.2282	-0.1972	13	12	3	-0.0721	0.0316
13	5	3	-0.2087	-0.1600	13	12	4	-0.0697	0.0396
13	5	4	-0.1775	-0.1099	13	12	5	-0.0647	0.0480
13	5	5	0.8459	1.6845	13	12	6	-0.0569	0.0571
13	6	1	-0.1817	-0.1293	13	12	7	-0.0459	0.0670
13	6	2	-0.1818	-0.1154	13	12	8	-0.0307	0.0781
13	6	3	-0.1696	-0.0910	13	12	9	-0.0102	0.0908
13	6	4	-0.1483	-0.0585	13	12	10	0.0183	0.1060
13	6	5	-0.1187	-0.0181	13	12	11	0.0601	0.1249
13	6	6	0.8001	1.4124	13	12	12	0.4109	0.3167
13	7	1	-0.1481	-0.0765	13	13	1	-0.0573	0.0220
13	7	2	-0.1501	-0.0657	13	13	2	-0.0617	0.0298
13	7	3	-0.1423	-0.0483	13	13	3	-0.0627	0.0372
13	7	4	-0.1274	-0.0256	13	13	4	-0.0614	0.0445
13	7	5	-0.1058	0.0022	13	13	5	-0.0579	0.0520
13	7	6	-0.0770	0.0355	13	13	6	-0.0521	0.0599
13	7	7	0.7507	1.1785	13	13	7	-0.0437	0.0683
13	8	1	-0.1237	-0.0425	13	13	8	-0.0320	0.0774
13	8	2	-0.1269	-0.0333	13	13	9	-0.0158	0.0875
13	8	3	-0.1220	-0.0200	13	13	10	0.0070	0.0993
13	8	4	-0.1113	-0.0032	13	13	11	0.0410	0.1138
13	8	5	-0.0952	0.0169	13	13	12	0.0983	0.1334
13	8	6	-0.0733	0.0407	13	13	13	0.2984	0.1749
13	8	7	-0.0447	0.0690	14	2	1	-0.9638	2.1000
13	8	8	0.6972	0.9724	14	2	2	0.9638	3.1000
13	9	1	-0.1051	-0.0195	14	3	1	-0.4784	-0.7908
13	9	2	-0.1089	-0.0112	14	3	2	-0.4542	-0.7244
13	9	3	-0.1061	-0.0003	14	3	3	0.9326	2.5152
13	9	4	-0.0984	0.0127	14	4	1	-0.3153	-0.4086
13	9	5	-0.0863	0.0279	14	4	2	-0.3057	-0.3766
13	9	6	-0.0693	0.0456	14	4	3	-0.2757	-0.3161
13	9	7	-0.0468	0.0664	14	4	4	0.8967	2.1012
13	9	8	-0.0175	0.0910	14	5	1	-0.2331	-0.2382
13	9	9	0.6385	0.7875	14	5	2	-0.2298	-0.2193
13	10	1	-0.0902	-0.0035	14	5	3	-0.2118	-0.1836
13	10	2	-0.0945	0.0045	14	5	4	-0.1832	-0.1355
13	10	3	-0.0931	0.0138	14	5	5	0.8578	1.7767
13	10	4	-0.0876	0.0243	14	6	1	-0.1832	-0.1462
13	10	5	-0.0785	0.0363	14	6	2	-0.1833	-0.1333
13	10	6	-0.0653	0.0500	14	6	3	-0.1719	-0.1099
13	10	6	-0.0653	0.0500	14	6	4	-0.1523	-0.0785



续表 31-43

$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$
14	6	5	-0.1254	-0.0397	14	12	11	0.0375	0.1115
14	6	6	0.8161	1.5077	14	12	12	0.4792	0.4300
14	7	1	-0.1497	-0.0907	14	13	1	-0.0612	0.0154
14	7	2	-0.1515	-0.0808	14	13	2	-0.0653	0.0222
14	7	3	-0.1442	-0.0641	14	13	3	-0.0661	0.0288
					14	13	4	-0.0646	0.0356
14	7	4	-0.1304	-0.0422	14	13	5	-0.0610	0.0426
14	7	5	-0.1107	-0.0154	14	13	6	-0.0553	0.0501
14	7	6	-0.0848	0.0167					
14	7	7	0.7714	1.2767	14	13	7	-0.0473	0.0581
14	8	1	-0.1254	-0.0547	14	13	8	-0.0364	0.0670
					14	13	9	-0.0219	0.0769
14	8	2	-0.1283	-0.0464	14	13	10	-0.0025	0.0882
14	8	3	-0.1237	-0.0337	14	13	11	0.0243	0.1016
14	8	4	-0.1138	-0.0176					
14	8	5	-0.0990	0.0019	14	13	12	0.0630	0.1185
14	8	6	-0.0792	0.0250	14	13	13	0.3941	0.2950
					14	14	1	-0.0526	0.0203
14	8	7	-0.0538	0.0522	14	14	2	-0.0567	0.0271
14	8	8	0.7233	1.0733	14	14	3	-0.0578	0.0335
14	9	1	-0.1070	-0.0302					
14	9	2	-0.1105	-0.0228	14	14	4	-0.0571	0.0398
14	9	3	-0.1078	-0.0125	14	14	5	-0.0546	0.0463
					14	14	6	-0.0504	0.0529
14	9	4	-0.1006	-0.0000	14	14	7	-0.0443	0.0599
14	9	5	-0.0893	0.0147	14	14	8	-0.0358	0.0673
14	9	6	-0.0739	0.0320					
14	9	7	-0.0539	0.0521	14	14	9	-0.0243	0.0755
14	9	8	-0.0283	0.0756	14	14	10	-0.0087	0.0846
					14	14	11	0.0130	0.0952
14	9	9	0.6713	0.8910	14	14	12	0.0451	0.1082
14	10	1	-0.0923	-0.0129	14	14	13	0.0988	0.1260
14	10	2	-0.0963	-0.0059					
14	10	3	-0.0948	0.0027	14	14	14	0.2853	0.1633
14	10	4	-0.0896	0.0129	15	2	1	-0.9663	-2.1745
					15	2	2	0.9663	3.1745
14	10	5	-0.0811	0.0245	15	3	1	-0.4799	-0.8285
14	10	6	-0.0690	0.0378	15	3	2	-0.4573	-0.7651
14	10	7	-0.0530	0.0531					
14	10	8	-0.0324	0.0709	15	3	3	-0.9372	2.5936
14	10	9	-0.0059	0.0917	15	4	1	-0.3166	-0.4341
					15	4	2	-0.3076	-0.4036
14	10	10	0.6144	0.7252	15	4	3	-0.2798	-0.3455
14	11	1	-0.0803	-0.0004	15	4	4	0.9040	2.1832
14	11	2	-0.0844	0.0064					
14	11	3	-0.0840	0.0140	15	5	1	-0.2343	-0.2576
14	11	4	-0.0803	0.0225	15	5	2	-0.2312	-0.2398
					15	5	3	-0.2144	-0.2054
14	11	5	-0.0738	0.0320	15	5	4	-0.1880	-0.1591
14	11	6	-0.0643	0.0427	15	5	5	0.8680	1.8618
14	11	7	-0.0515	0.0547					
14	11	8	-0.0348	0.0684	15	6	1	-0.1845	-0.1618
14	11	9	-0.0130	0.0842	15	6	2	-0.1845	-0.1499
					15	6	3	-0.1738	-0.1273
14	11	10	0.0154	0.1031	15	6	4	-0.1558	-0.0970
14	11	11	0.5512	0.5725	15	6	5	-0.1311	-0.0597
14	12	1	-0.0701	0.0087					
14	12	2	-0.0743	0.0154	15	6	6	0.8296	1.5957
14	12	3	-0.0746	0.0225	15	7	1	-0.1510	-0.1038
					15	7	2	-0.1527	-0.0948
14	12	4	-0.0721	0.0299	15	7	3	-0.1458	-0.0787
14	12	5	-0.0672	0.0380	15	7	4	-0.1330	-0.0576
14	12	6	-0.0598	0.0467					
14	12	7	-0.0496	0.0564	15	7	5	-0.1149	-0.0316
14	12	8	-0.0361	0.0672	15	7	6	-0.0914	-0.0007
					15	7	7	0.7888	1.3672
14	12	9	-0.0182	0.0796	15	8	1	-0.1269	-0.0660
14	12	10	0.0054	0.0941	15	8	2	-0.1295	-0.0585

超星网提醒您：  
使用本网知识，  
请尊重知识产权！



续表 31-43

$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$	$n$	$r$	$j$	$C(n, r, j)$	$D(n, r, j)$
15	8	3	-0.1252	-0.0464	15	12	11	0.0216	0.0998
15	8	4	-0.1159	-0.0308	15	12	12	0.5312	0.5327
15	8	5	-0.1022	-0.0118	15	13	1	-0.0637	0.0092
15	8	6	-0.0842	0.0105	15	13	2	-0.0676	0.0150
15	8	7	-0.0613	0.0367					
15	8	8	0.7452	1.1663	15	13	3	-0.0682	0.0210
15	9	1	-0.1085	-0.0401	15	13	4	-0.0667	0.0274
15	9	2	-0.1118	-0.0335	15	13	5	-0.0631	0.0341
15	9	3	-0.1091	-0.0238	15	13	6	-0.0577	0.0413
15	9	4	-0.1024	-0.0117	15	13	7	-0.0501	0.0491
15	9	5	-0.0919	0.0027	15	13	8	-0.0401	0.0578
15	9	6	-0.0778	0.0195	15	13	9	-0.0271	0.0674
15	9	7	-0.0597	0.0389	15	13	10	-0.0103	0.0784
15	9	8	-0.0371	0.0616	15	13	11	0.0118	0.0913
15	9	9	0.6984	0.9863	15	13	12	0.0415	0.1067
15	10	1	-0.0940	-0.0217	15	13	13	0.4613	0.4014
15	10	2	-0.0977	-0.0155	15	14	1	-0.0560	0.0148
15	10	3	-0.0962	-0.0074	15	14	2	-0.0599	0.0207
15	10	4	-0.0913	0.0024	15	14	3	-0.0609	0.0264
15	10	5	-0.0833	0.0137	15	14	4	-0.0600	0.0322
15	10	6	-0.0722	0.0267	15	14	5	-0.0574	0.0382
15	10	7	-0.0577	0.0416	15	14	6	-0.0532	0.0445
15	10	8	-0.0393	0.0588	15	14	7	-0.0472	0.0512
15	10	9	-0.0162	0.0787	15	14	8	-0.0391	0.0585
15	10	10	0.6478	0.8228	15	14	9	-0.0285	0.0664
15	11	1	-0.0822	-0.0083	15	14	10	-0.0146	0.0753
15	11	2	-0.0860	-0.0023	15	14	11	0.0038	0.0854
15	11	3	-0.0855	0.0048	15	14	12	0.0289	0.0975
15	11	4	-0.0820	0.0129	15	14	13	0.0651	0.1126
15	11	5	-0.0758	0.0221	15	14	14	0.3788	0.2761
15	11	6	-0.0670	0.0325	15	15	1	-0.0486	0.0189
15	11	7	-0.0553	0.0442	15	15	2	-0.0523	0.0249
15	11	8	-0.0403	0.0576	15	15	3	-0.0536	0.0305
15	11	9	-0.0213	0.0730	15	15	4	-0.0533	0.0360
15	11	10	0.0029	0.0909	15	15	5	-0.0515	0.0415
15	11	11	0.5926	0.6725	15	15	6	-0.0484	0.0472
15	12	1	-0.0723	0.0017	15	15	7	-0.0438	0.0531
15	12	2	-0.0762	0.0076	15	15	8	-0.0375	0.0594
15	12	3	-0.0763	0.0140	15	15	9	-0.0290	0.0661
15	12	4	-0.0739	0.0211	15	15	10	-0.0178	0.0735
15	12	5	-0.0692	0.0288	15	15	11	-0.0028	0.0818
15	12	6	-0.0622	0.0373	15	15	12	0.0179	0.0914
15	12	7	-0.0528	0.0468	15	15	13	0.0483	0.1032
15	12	8	-0.0405	0.0574	15	15	14	0.0988	0.1193
15	12	9	-0.0248	0.0695	15	15	15	0.2736	0.1532
15	12	10	-0.0046	0.0834					

表 31-44 简单线性无偏估计表 (威布尔分布)

$n$	$r$	$s$	$E(Z_{r,n})$	$nk_{r,n}$	$g_{r,n}$	$n$	$r$	$s$	$E(Z_{r,n})$	$nk_{r,n}$	$g_{r,n}$
26	5	5	-1.6687	4.2118	0.7592	50	5	5	-2.3643	4.1050	0.7557
	10	10	-0.7989	10.0921	0.9000		10	10	-1.5621	9.5027	0.8952
	15	15	-0.2164	17.0292	0.9398		15	15	-1.0769	15.2566	0.9347
	20	20	0.3103	25.9902	0.9593		20	20	-0.7105	21.4553	0.9531
	25	24	1.0130	37.3022	0.9675		25	25	-0.4018	28.2300	0.9642
	26	24	1.2993	37.7767	0.9687		30	30	-0.1216	35.7878	0.9715
30	5	5	-1.8237	4.1810	0.7612	55	35	35	0.1503	44.4897	0.9763
	10	10	-0.9746	9.9128	0.8992		40	40	0.4360	55.0710	0.9801
	15	15	-0.4253	16.4445	0.9382		45	45	0.7794	69.5326	0.9826
	20	20	0.0364	24.2800	0.9571		50	50	0.7794	71.2361	0.9838
	25	25	0.5123	34.7784	0.9679		5	5	-2.4635	4.0950	0.7557
	30	27	0.7444	41.7589	0.9729		10	10	-1.6671	9.4521	0.8949
35	5	5	-1.9887	4.1532	0.7591	60	15	15	-1.1889	15.1214	0.9341
	10	10	-1.1574	9.7579	0.8976		20	20	-0.8312	21.1707	0.9524
	15	15	-0.6341	15.9740	0.9365		25	25	-0.5338	27.6950	0.9636
	20	20	-0.2147	23.0801	0.9561		30	30	-0.2691	34.8347	0.9710
	25	25	0.1745	31.6400	0.9666		35	35	-0.0197	42.8119	0.9760
	30	30	0.6005	43.1793	0.9737		40	40	0.2290	52.0141	0.9784
40	35	32	0.8152	50.7308	0.9772	60	45	45	0.4957	63.2312	0.9823
	5	5	-2.1302	4.1329	0.7565		50	50	0.8222	78.6164	0.9845
	10	10	-1.3115	9.6481	0.8964		55	50	0.8222	80.2632	0.9854
	15	15	-0.8052	15.6574	0.9357		5	5	-2.5538	4.0867	0.7535
	20	20	-0.4106	22.3370	0.9546		10	10	-1.7621	9.4107	0.8945
	25	25	-0.0621	29.9936	0.9656		15	15	-1.2895	15.0127	0.9343
45	30	30	0.2805	39.2495	0.9730	60	20	20	-0.9385	20.9459	0.9526
	35	35	0.6712	51.7923	0.9776		25	25	-0.6497	27.2823	0.9634
	40	36	0.7661	56.4923	0.9798		30	30	-0.3959	34.1233	0.9706
	5	5	-2.2541	4.1173	0.7575		35	35	-0.1615	41.0183	0.9757
	10	10	-1.4447	9.5662	0.8962		40	40	0.0651	50.0041	0.9793
	15	15	-0.9505	15.4292	0.9350		45	45	0.2958	59.6943	0.9821
45	20	20	-0.5723	21.8277	0.9539	60	50	50	0.5474	71.5323	0.9843
	25	25	-0.2478	28.9536	0.9652		55	54	0.7833	84.0292	0.9857
	30	30	0.0556	37.1411	0.9722		60	54	0.7833	85.9852	0.9866
	35	35	0.3655	47.0695	0.9773						
	40	40	0.7298	60.5849	0.9807						
	45	41	0.8195	65.4982	0.9824						

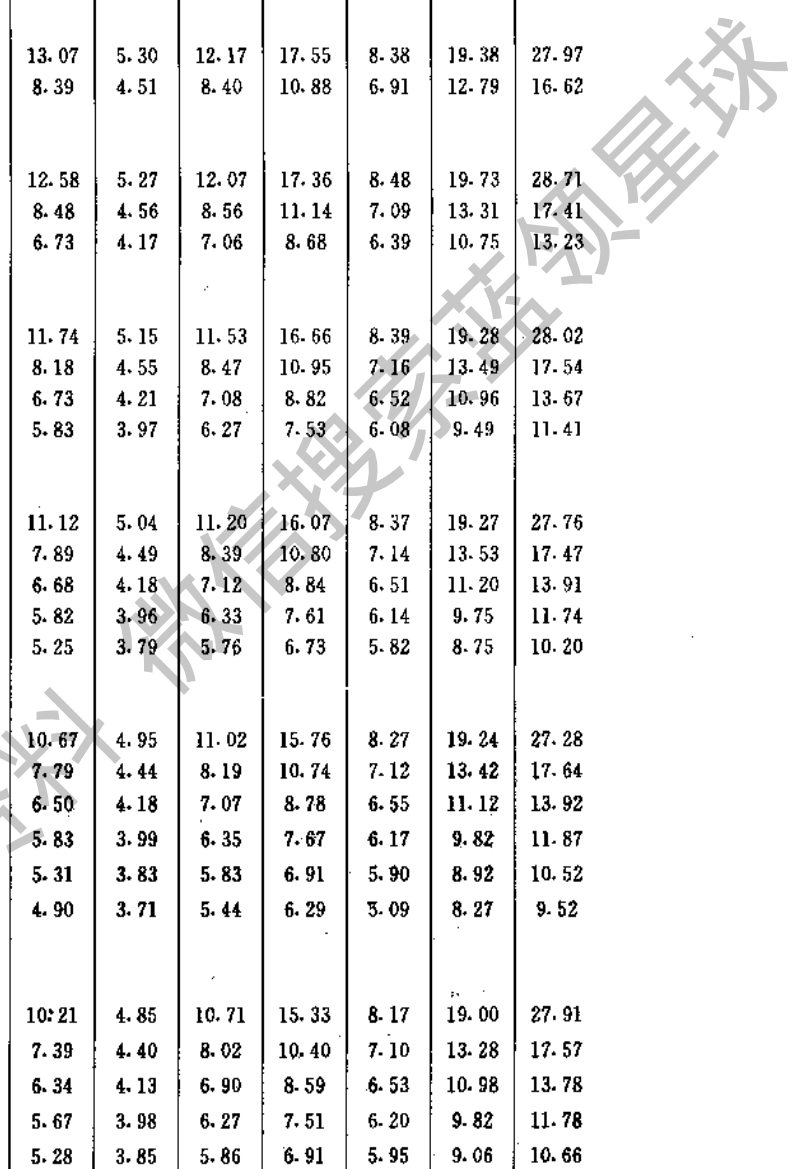
超星浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆

表 31-45 最佳线性无偏估计和置信下限系数 (威布尔分布)

n	r	E(Z <sub>r,n</sub> )	g <sub>r,n</sub>	B <sub>r,n</sub>	V <sub>0.90,r</sub>			V <sub>0.95,r</sub>			V <sub>0.99,r</sub>	
					0.60	0.90	0.95	0.60	0.90	0.95	0.60	0.90
2	1	-1.2704										
	2	0.1159	0.2882	0.0643								
3	1	-1.6758										
	2	-0.4594	0.1816	0.4682								
4	1	-1.9635										
	2	-0.8128	0.1330	0.7720								
5	1	-2.1867										
	2	-1.0709	0.1050	1.0116								
6	1	-2.3690										
	2	-1.2750	0.0867	-1.2082								
7	1	-2.5231										
	2	-1.4441	0.0739	1.3746								
8	1	-2.6567										
	2	-1.5884	0.0644	1.5186								
9	1	-2.7744										
	2	-1.7144	0.0570	1.6453								
10	1	-2.8798										
	2	-1.8262	0.0511	1.7585								

浏览器提醒您：  
 禁止本复制品  
 重复相关知识产权！



续表 31-45

n	r	E (Z <sub>r,n</sub> )	g <sub>r,n</sub>	B <sub>r,n</sub>	V <sub>0.90,r</sub>			V <sub>0.95,r</sub>			V <sub>0.99,r</sub>		
					0.60	0.90	0.95	0.60	0.90	0.95	0.60	0.90	0.95
10	6	-0.2574	0.8342	0.0734	2.94	4.67	5.59	3.93	6.24	7.50	6.15	9.81	11.86
	7	0.0120	0.8679	0.0313	2.88	4.41	5.18	3.80	5.79	6.83	5.92	8.99	10.66
	8	0.2837	0.8925	0.0053	2.83	4.22	4.91	3.72	5.52	6.40	5.75	8.49	9.88
	9	0.5846	0.9119	-0.0114	2.77	4.03	4.63	3.64	5.23	6.01	5.60	7.97	9.17
	10	0.9899	0.9284	-0.0220	2.72	3.86	4.41	3.56	4.98	5.67	5.48	7.57	8.57
11	1	-2.9751											
	2	-1.9267	0.0464	1.8606									
	3	-1.3739	0.5355	0.6622	3.17	6.41	9.11	4.59	9.89	14.11	7.98	18.19	26.45
	4	-0.9825	0.6990	0.3208	3.06	5.46	7.04	4.24	7.71	10.03	6.96	13.02	17.25
	5	-0.6678	0.7810	0.1722	2.98	4.90	6.07	4.03	6.72	8.34	6.44	10.99	13.66
	6	-0.3946	0.8306	0.0941	2.91	4.58	5.52	3.90	6.16	7.42	6.13	9.79	11.86
	7	-0.1432	0.8641	0.0482	2.86	4.36	4.16	3.79	5.79	6.83	5.92	9.03	10.72
	8	0.1007	0.8883	0.0195	2.80	4.15	4.87	3.70	5.46	6.38	5.74	8.43	9.86
	9	0.3523	0.9071	0.0006	2.76	4.01	4.63	3.63	5.23	6.04	5.61	8.02	9.24
	10	0.6362	0.9223	-0.0120	2.71	3.87	4.44	3.56	5.03	5.75	5.49	7.67	8.73
	11	1.0252	0.9358	-0.0203	2.67	3.76	4.26	3.50	4.85	5.49	5.38	7.36	8.31
12	1	-3.0621											
	2	-2.0180	0.0425	1.9536									
	3	-1.4703	0.5324	0.7094	3.08	6.00	8.40	4.50	9.41	13.40	7.88	17.59	25.73
	4	-1.0849	0.6961	0.3524	3.00	5.17	6.60	4.18	7.42	9.56	6.87	12.72	16.60
	5	-0.7777	0.7782	0.1960	2.93	4.72	5.79	3.99	6.54	8.08	6.41	10.68	13.37
	6	-0.5140	0.8277	0.1130	2.88	4.41	5.31	3.86	5.97	7.22	6.12	9.61	11.60
	7	-0.2752	0.8610	0.0639	2.82	4.21	4.98	3.76	5.63	6.66	5.89	8.85	10.55
	8	-0.0489	0.8851	0.0327	2.78	4.06	4.75	3.68	5.36	6.27	5.73	8.34	9.75
	9	0.1756	0.9035	0.0119	2.74	3.94	4.53	3.62	5.16	5.95	5.60	7.98	9.18
	10	0.4112	0.9182	-0.0023	2.70	3.87	4.37	3.55	4.99	5.67	5.50	7.66	8.68
	11	0.6812	0.9306	-0.0121	2.67	3.72	4.23	3.51	4.84	5.47	5.41	7.37	8.31
	12	1.0565	0.9418	-0.0189	2.63	3.62	4.07	3.46	4.68	5.26	5.32	7.09	7.96
13	1	-3.1422											
	2	-2.1016	0.0391	2.0390									
	3	-1.5581	0.5299	0.7527	3.04	5.88	8.16	4.47	9.23	13.11	7.89	17.58	25.37
	4	-1.1776	0.6937	0.3815	2.98	5.10	6.45	4.18	7.38	9.47	6.94	12.81	16.56
	5	-0.8763	0.7759	0.2179	2.92	4.71	5.75	3.98	6.57	8.04	6.43	10.89	13.47
	6	-0.6199	0.8254	0.1305	2.86	4.43	5.30	3.86	6.03	7.24	6.14	9.71	11.72
	7	-0.3904	0.8586	0.0784	2.82	4.23	4.96	3.75	5.65	6.68	5.92	8.97	10.61
	8	-0.1764	0.8825	0.0449	2.78	4.06	4.73	3.69	5.40	6.29	5.75	8.46	9.88
	9	0.0308	0.9007	0.0225	2.75	3.94	4.55	3.63	5.17	6.00	5.64	8.02	9.27
	10	0.2399	0.9152	0.0069	2.72	3.83	4.37	3.58	5.01	5.70	5.54	7.72	8.80
	11	0.4626	0.9271	-0.0042	2.69	3.74	4.23	3.53	4.87	5.50	5.44	7.46	8.42
	12	0.7209	0.9363	-0.0121	2.65	3.65	4.09	3.48	4.73	5.30	5.37	7.21	8.03
	13	1.0845	0.9468	-0.0176	2.62	3.57	3.97	3.43	4.61	5.12	5.28	6.99	7.75
14	1	-3.2153											
	2	-2.1788	0.0363	2.1179									
	3	-1.6387	0.5277	0.7927	2.95	5.56	7.63	4.36	8.84	12.73	7.76	17.23	25.09
	4	-1.2626	0.6917	0.4084	2.92	4.93	6.17	4.09	7.18	9.10	6.83	12.48	16.19
	5	-0.9659	0.7739	0.2382	2.86	4.58	5.54	3.93	6.38	7.82	6.38	10.64	13.22
	6	-0.7152	0.8237	0.1467	2.82	4.33	5.12	3.81	5.91	7.07	6.07	9.59	11.55
	7	0.4928	0.8565	0.0918	2.78	4.15	4.82	3.72	5.58	6.53	5.86	8.88	10.47
	8	-0.2879	0.8804	0.0564	2.74	4.03	4.61	3.66	5.35	6.16	5.72	8.40	9.71
	9	-0.0928	0.8985	0.0324	2.71	3.90	4.45	3.59	5.14	5.88	5.59	8.00	9.17
	10	0.0994	0.9128	0.0156	2.70	3.78	4.30	3.56	4.98	5.65	5.52	7.71	8.72

超星浏览器提醒您：  
 禁用本复制品  
 请尊重相关知识产权！



续表 31-45

n	r	E(Z <sub>r,n</sub> )	g <sub>r,n</sub>	B <sub>r,n</sub>	V <sub>0.90,r</sub>			V <sub>0.95,r</sub>			V <sub>0.99,r</sub>		
					0.60	0.90	0.95	0.60	0.90	0.95	0.60	0.90	0.95
15	11	0.2961	0.9244	0.0034	2.67	3.71	4.20	3.51	4.86	5.48	5.44	7.46	8.42
	12	0.5080	0.9343	-0.0054	2.65	3.64	4.09	3.47	4.73	5.31	5.36	7.25	8.11
	13	0.7564	0.9429	-0.0119	2.62	3.55	3.98	3.44	4.61	5.14	5.30	7.03	7.82
	14	1.1097	0.9511	-0.0165	2.60	3.46	3.85	3.41	4.48	4.97	5.24	6.81	7.49
	1	-3.2853											
	2	-2.2504	0.0338	2.1912									
	3	-1.7133	0.5258	0.8299	2.91	5.39	7.23	4.35	8.75	12.22	7.82	17.15	24.54
	4	-1.3404	0.6899	0.4334	2.89	4.78	5.95	4.07	7.00	8.90	6.82	12.41	15.96
	5	-1.0478	0.7722	0.2570	2.85	4.43	5.36	3.92	6.25	7.64	6.36	10.56	12.94
	6	-0.8019	0.8217	0.1618	2.81	4.22	4.97	3.80	5.79	6.91	6.09	9.45	11.38
	7	-0.5852	0.8548	0.1044	2.78	4.08	4.72	3.73	5.50	6.41	5.90	8.81	10.31
	8	-0.3873	0.8786	0.0671	2.74	3.95	4.57	3.66	5.29	6.10	5.73	8.36	9.64
	9	-0.2010	0.8966	0.0417	2.72	3.85	4.40	3.60	5.11	5.81	5.62	8.00	9.11
	10	-0.0206	0.9106	0.0237	2.69	3.76	4.26	3.56	4.96	5.61	5.54	7.71	8.72
	11	0.1595	0.9223	0.0107	2.67	3.69	4.15	3.52	4.84	5.43	5.46	7.48	8.37
12	0.3458	0.9319	0.0010	2.64	3.62	4.08	3.48	4.73	5.31	5.39	7.29	8.17	
13	0.5485	0.9402	-0.0062	2.63	3.55	3.98	3.45	4.63	5.17	5.33	7.09	7.89	
14	0.7884	0.9476	-0.0116	2.60	3.49	3.89	3.41	4.53	5.02	5.26	6.92	7.63	
15	1.1327	0.9547	-0.0158	2.58	3.41	3.77	3.39	4.43	4.88	5.21	6.70	7.37	

表 31-46 R(t) 的 90% 下置信限表 (威布尔分布)

R̂(t)	n											
	8	10	12	15	18	20	25	30	40	50	75	100
0.50	0.316	0.336	0.348	0.365	0.378	0.385	0.396	0.404	0.418	0.426	0.438	0.447
0.52	0.332	0.352	0.365	0.382	0.396	0.403	0.415	0.423	0.437	0.445	0.457	0.467
0.54	0.348	0.369	0.382	0.400	0.414	0.421	0.433	0.442	0.456	0.464	0.477	0.486
0.56	0.364	0.385	0.399	0.418	0.432	0.439	0.452	0.461	0.476	0.484	0.497	0.506
0.58	0.380	0.401	0.417	0.436	0.450	0.457	0.471	0.481	0.486	0.504	0.517	0.526
0.60	0.397	0.419	0.435	0.455	0.469	0.477	0.490	0.500	0.515	0.524	0.537	0.546
0.62	0.414	0.437	0.453	0.473	0.488	0.496	0.510	0.520	0.535	0.544	0.557	0.567
0.64	0.432	0.455	0.472	0.492	0.507	0.516	0.529	0.540	0.555	0.564	0.577	0.587
0.66	0.450	0.474	0.491	0.512	0.526	0.535	0.549	0.560	0.575	0.584	0.598	0.607
0.68	0.468	0.493	0.511	0.532	0.546	0.555	0.569	0.580	0.596	0.605	0.618	0.628
0.70	0.486	0.512	0.530	0.552	0.566	0.575	0.589	0.601	0.616	0.626	0.639	0.649
0.72	0.504	0.532	0.550	0.573	0.586	0.596	0.610	0.622	0.637	0.646	0.660	0.670
0.74	0.524	0.552	0.571	0.593	0.607	0.617	0.631	0.643	0.658	0.668	0.681	0.691
0.76	0.544	0.573	0.592	0.615	0.628	0.638	0.653	0.665	0.680	0.690	0.702	0.712
0.78	0.566	0.595	0.613	0.637	0.651	0.660	0.675	0.687	0.702	0.711	0.724	0.734
0.80	0.588	0.618	0.635	0.660	0.674	0.683	0.698	0.709	0.724	0.733	0.746	0.755
0.82	0.611	0.641	0.659	0.683	0.697	0.706	0.721	0.732	0.746	0.756	0.768	0.777
0.84	0.636	0.666	0.683	0.707	0.722	0.730	0.745	0.755	0.769	0.778	0.790	0.799
0.86	0.662	0.692	0.709	0.732	0.747	0.755	0.769	0.780	0.793	0.802	0.813	0.821
0.88	0.689	0.719	0.736	0.759	0.773	0.781	0.795	0.805	0.818	0.825	0.837	0.844
0.90	0.719	0.748	0.765	0.787	0.800	0.808	0.821	0.831	0.843	0.851	0.861	0.868
0.92	0.751	0.780	0.796	0.817	0.829	0.837	0.849	0.859	0.869	0.876	0.885	0.892
0.94	0.787	0.815	0.831	0.849	0.861	0.867	0.879	0.887	0.897	0.903	0.911	0.916
0.96	0.829	0.855	0.870	0.887	0.896	0.901	0.911	0.918	0.926	0.931	0.937	0.942
0.98	0.885	0.906	0.917	0.930	0.937	0.941	0.948	0.953	0.959	0.962	0.966	0.969

浏览器提醒您：  
 15 本复制品  
 12.94 请尊重相关知识产权！

表 31-47  $R(t)$  的 95% 下置信限表(威布尔分布)

$\hat{R}(t)$	$n$											
	8	10	12	15	18	20	25	30	40	50	75	100
0.50			0.308	0.329	0.343	0.353	0.366	0.379	0.394	0.404	0.420	0.432
0.52		0.308	0.325	0.346	0.361	0.371	0.384	0.398	0.413	0.423	0.439	0.452
0.54	0.300	0.323	0.341	0.363	0.378	0.389	0.402	0.416	0.432	0.442	0.459	0.477
0.56	0.316	0.339	0.358	0.381	0.396	0.407	0.421	0.435	0.451	0.461	0.478	0.491
0.58	0.331	0.355	0.376	0.398	0.414	0.425	0.440	0.454	0.471	0.481	0.498	0.510
0.60	0.347	0.372	0.393	0.416	0.432	0.443	0.459	0.473	0.490	0.500	0.517	0.530
0.62	0.363	0.389	0.411	0.434	0.450	0.462	0.478	0.493	0.510	0.519	0.537	0.551
0.64	0.380	0.406	0.428	0.452	0.469	0.480	0.497	0.512	0.530	0.539	0.558	0.571
0.66	0.396	0.424	0.445	0.471	0.488	0.499	0.517	0.532	0.550	0.559	0.579	0.592
0.68	0.414	0.443	0.464	0.490	0.507	0.519	0.536	0.552	0.570	0.580	0.599	0.612
0.70	0.432	0.461	0.483	0.510	0.527	0.538	0.557	0.573	0.591	0.601	0.620	0.633
0.72	0.450	0.481	0.502	0.530	0.547	0.559	0.577	0.594	0.612	0.622	0.642	0.654
0.74	0.469	0.500	0.523	0.550	0.568	0.580	0.598	0.616	0.633	0.644	0.663	0.675
0.76	0.489	0.520	0.544	0.572	0.590	0.602	0.620	0.638	0.654	0.666	0.684	0.697
0.78	0.509	0.542	0.567	0.594	0.612	0.625	0.643	0.661	0.676	0.688	0.707	0.719
0.80	0.529	0.564	0.590	0.617	0.636	0.648	0.666	0.683	0.700	0.711	0.729	0.741
0.82	0.552	0.587	0.614	0.641	0.660	0.672	0.689	0.706	0.724	0.734	0.752	0.763
0.84	0.576	0.611	0.638	0.667	0.685	0.697	0.714	0.730	0.748	0.758	0.775	0.786
0.86	0.602	0.638	0.664	0.693	0.710	0.723	0.740	0.755	0.772	0.783	0.799	0.809
0.88	0.629	0.666	0.692	0.721	0.737	0.750	0.767	0.781	0.798	0.808	0.823	0.833
0.90	0.661	0.696	0.722	0.751	0.766	0.780	0.795	0.809	0.824	0.834	0.848	0.857
0.92	0.695	0.729	0.755	0.782	0.798	0.811	0.825	0.838	0.853	0.862	0.874	0.882
0.94	0.735	0.767	0.792	0.817	0.832	0.845	0.858	0.869	0.882	0.890	0.901	0.908
0.96	0.782	0.812	0.835	0.857	0.872	0.882	0.893	0.903	0.915	0.921	0.930	0.935
0.98	0.844	0.869	0.890	0.907	0.918	0.926	0.935	0.943	0.950	0.955	0.962	0.965

表 31-48  $R(t)$  的 90% 下置信限(威布尔分布)

$\hat{R}(t)$	$\frac{r}{n} = 0.75$					$\frac{r}{n} = 0.50$				
	$n=40$	60	80	100	120	40	60	80	100	120
	0.70	0.623	0.638	0.641	0.650	0.654	0.616	0.639	0.644	0.652
0.72	0.641	0.657	0.661	0.669	0.673	0.635	0.658	0.663	0.672	0.674
0.74	0.659	0.676	0.681	0.690	0.693	0.653	0.677	0.683	0.691	0.694
0.76	0.678	0.696	0.702	0.710	0.713	0.674	0.696	0.703	0.711	0.714
0.78	0.698	0.716	0.723	0.731	0.734	0.694	0.716	0.723	0.732	0.734
0.80	0.718	0.737	0.744	0.752	0.755	0.715	0.736	0.744	0.752	0.755
0.82	0.739	0.758	0.766	0.774	0.776	0.737	0.757	0.765	0.773	0.776
0.84	0.761	0.780	0.789	0.796	0.798	0.759	0.779	0.787	0.795	0.797
0.86	0.783	0.802	0.810	0.818	0.821	0.783	0.801	0.810	0.817	0.819
0.88	0.807	0.826	0.833	0.841	0.843	0.807	0.824	0.832	0.839	0.842
0.90	0.832	0.850	0.857	0.864	0.866	0.832	0.847	0.855	0.862	0.864
0.92	0.858	0.875	0.882	0.888	0.890	0.858	0.872	0.879	0.886	0.888
0.94	0.886	0.901	0.907	0.913	0.914	0.886	0.898	0.904	0.910	0.912
0.95	0.901	0.915	0.920	0.925	0.927	0.901	0.911	0.917	0.922	0.924
0.96	0.917	0.929	0.934	0.939	0.940	0.917	0.925	0.930	0.935	0.937
0.97	0.938	0.943	0.947	0.952	0.953	0.933	0.940	0.944	0.949	0.951
0.98	0.951	0.959	0.963	0.966	0.967	0.951	0.956	0.959	0.964	0.965
0.99	0.971	0.976	0.979	0.981	0.982	0.971	0.974	0.977	0.979	0.980
0.9925	0.977	0.981	0.984	0.986	0.986	0.977	0.979	0.982	0.984	0.985
0.995	0.983	0.987	0.989	0.990	0.990	0.983	0.985	0.987	0.988	0.989
0.996	0.986	0.989	0.990	0.992	0.992	0.986	0.987	0.989	0.990	0.991
0.997	0.989	0.992	0.993	0.994	0.994	0.989	0.989	0.991	0.992	0.993
0.998	0.992	0.994	0.995	0.995	0.996	0.992	0.992	0.994	0.995	0.995
0.9985	0.993	0.995	0.996	0.996	0.997	0.993	0.994	0.995	0.996	0.996
0.999	0.994	0.996	0.997	0.998	0.998	0.994	0.995	0.996	0.997	0.997

表 31-49  $R(t)$  的 95% 下置信限(威布尔分布)

$R(t)$	$\frac{r}{n}=0.75$					$\frac{r}{n}=0.50$				
	n40	60	80	100	120	40	60	80	100	120
0.70	0.594	0.626	0.624	0.625	0.643	0.600	0.623	0.628	0.639	0.646
0.72	0.613	0.644	0.643	0.647	0.662	0.614	0.641	0.647	0.659	0.664
0.74	0.632	0.662	0.664	0.669	0.681	0.632	0.660	0.667	0.678	0.683
0.76	0.651	0.680	0.684	0.691	0.701	0.651	0.679	0.686	0.698	0.702
0.78	0.671	0.699	0.705	0.713	0.722	0.671	0.699	0.707	0.719	0.722
0.80	0.692	0.719	0.726	0.736	0.743	0.691	0.719	0.727	0.741	0.742
0.82	0.714	0.740	0.748	0.759	0.764	0.712	0.740	0.749	0.761	0.762
0.84	0.737	0.761	0.771	0.782	0.786	0.734	0.761	0.771	0.782	0.784
0.86	0.760	0.784	0.795	0.806	0.809	0.757	0.784	0.793	0.805	0.806
0.88	0.785	0.808	0.819	0.830	0.832	0.781	0.807	0.817	0.827	0.829
0.90	0.811	0.833	0.844	0.854	0.856	0.807	0.831	0.841	0.851	0.852
0.92	0.839	0.860	0.870	0.879	0.881	0.834	0.857	0.866	0.876	0.877
0.94	0.869	0.888	0.897	0.904	0.906	0.863	0.883	0.892	0.902	0.903
0.95	0.885	0.903	0.911	0.917	0.920	0.878	0.879	0.906	0.915	0.917
0.96	0.902	0.919	0.926	0.932	0.933	0.894	0.913	0.920	0.929	0.931
0.97	0.920	0.935	0.941	0.946	0.948	0.913	0.929	0.936	0.946	0.947
0.98	0.940	0.953	0.957	0.962	0.963	0.933	0.947	0.952	0.960	0.951
0.99	0.964	0.972	0.976	0.978	0.979	0.957	0.968	0.971	0.975	0.977
0.9925	0.970	0.978	0.981	0.983	0.984	0.965	0.974	0.977	0.980	0.981
0.995	0.978	0.984	0.986	0.988	0.988	0.973	0.980	0.983	0.985	0.986
0.996	0.981	0.986	0.988	0.990	0.990	0.976	0.983	0.985	0.988	0.989
0.997	0.985	0.989	0.991	0.992	0.992	0.980	0.986	0.988	0.990	0.991
0.998	0.988	0.992	0.993	0.994	0.995	0.985	0.990	0.992	0.993	0.994
0.9985	0.991	0.994	0.995	0.996	0.996	0.987	0.992	0.993	0.994	0.995
0.999	0.993	0.995	0.996	0.997	0.997	0.990	0.994	0.995	0.996	0.996

表 31-50  $R(t)$  的 99% 下置信限(威布尔分布)

$R(t)$	$\frac{r}{n}=0.75$					$\frac{r}{n}=0.50$				
	n40	60	80	100	120	40	60	80	100	120
0.70	0.555	0.585	0.601	0.618	0.623	0.566	0.590	0.609	0.613	0.615
0.72	0.574	0.603	0.620	0.636	0.641	0.582	0.607	0.626	0.633	0.636
0.74	0.592	0.622	0.638	0.655	0.661	0.599	0.624	0.643	0.652	0.656
0.76	0.612	0.642	0.658	0.674	0.680	0.617	0.643	0.661	0.672	0.677
0.78	0.632	0.662	0.678	0.694	0.701	0.636	0.662	0.679	0.693	0.698
0.80	0.652	0.684	0.699	0.715	0.721	0.655	0.681	0.698	0.714	0.720
0.82	0.674	0.705	0.720	0.736	0.743	0.675	0.702	0.718	0.735	0.742
0.84	0.697	0.728	0.743	0.759	0.765	0.696	0.723	0.739	0.758	0.765
0.86	0.722	0.752	0.766	0.782	0.788	0.718	0.746	0.761	0.780	0.788
0.88	0.747	0.777	0.791	0.806	0.812	0.742	0.770	0.784	0.804	0.812
0.90	0.775	0.804	0.816	0.831	0.837	0.768	0.796	0.809	0.829	0.836
0.92	0.805	0.832	0.844	0.858	0.863	0.795	0.823	0.836	0.854	0.861
0.94	0.838	0.863	0.873	0.886	0.890	0.826	0.853	0.865	0.881	0.886
0.95	0.855	0.879	0.889	0.901	0.905	0.843	0.869	0.881	0.895	0.899
0.96	0.874	0.896	0.906	0.916	0.920	0.861	0.886	0.897	0.910	0.914
0.97	0.895	0.915	0.923	0.933	0.936	0.881	0.905	0.915	0.927	0.934
0.98	0.918	0.936	0.943	0.951	0.954	0.904	0.926	0.935	0.945	0.949
0.99	0.947	0.960	0.966	0.971	0.973	0.931	0.953	0.959	0.965	0.967
0.9925	0.956	0.968	0.973	0.977	0.978	0.943	0.960	0.966	0.971	0.974
0.995	0.966	0.975	0.980	0.984	0.984	0.954	0.969	0.977	0.978	0.982
0.996	0.970	0.979	0.983	0.986	0.987	0.959	0.973	0.978	0.981	0.985
0.997	0.975	0.983	0.986	0.989	0.989	0.966	0.977	0.982	0.985	0.988
0.998	0.981	0.987	0.990	0.992	0.992	0.974	0.982	0.986	0.988	0.991
0.9985	0.984	0.990	0.982	0.993	0.994	0.978	0.975	0.988	0.991	0.993
0.999	0.987	0.992	0.994	0.995	0.996	0.983	0.988	0.991	0.993	0.994

**例 31-12** 某金属材料的疲劳寿命服从威布尔分布, 15 个试件的疲劳寿命分别为 28300, 35800, 42200, 47500, 51200, 57600, 65000, 66800, 73600, 81000, 88000, 98200, 105000, 115500, 144500 次, 估计分布参数、 $N=4 \times 10^4$  次的可靠度及  $R=0.90$  的可靠寿命。

**解** 用矩法估计分布参数。按式(31-131)~(31-133)求样本均值、样本标准差和样本偏态系数

$$\begin{aligned} \bar{N} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \\ &= \frac{1}{15} (28300 + 35800 + \dots + 115500 + 144500) \\ &= 73346.67 \text{ 次} \\ S_N &= \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left\{ \frac{1}{15-1} [(28300 - 73346.67)^2 + (35800 - 73346.67)^2 + \dots + (144500 - 73346.67)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= 32360.42 \text{ 次} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_k &= \frac{n}{(n-1)(n-2)S_N^3} \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^3 \\ &= \frac{15}{(15-1)(15-2) \times 32360.42^3} \\ &\quad [(28300 - 73346.67)^3 + (35800 - 73346.67)^3 \\ &\quad + \dots + (144500 - 73346.67)^3] = 0.60346 \end{aligned}$$

按  $k_k$  由表 31-42 查得  $k = 2.04$ ,  $k_b = 0.4544$ ,  $k_a = 0.886$ , 按式(31-134), 尺度参数的点估计

$$\hat{b} = \frac{S_N}{k_b} = \frac{32360.42}{0.4544} = 71215.71 \text{ 次}$$

按式(31-135), 位置参数

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \bar{N} - \hat{b}k_a \\ &= 73346.67 - 71215.71 \times 0.886 = 10249.55 \text{ 次} \end{aligned}$$

因  $10249.55 < N_1 = 28300$ , 故位置参数的点估计

$$\hat{a} = 10249.55 \text{ 次}$$

按式(31-150),  $N=4 \times 10^4$  时可靠度的点估计

$$\hat{R}(4 \times 10^4) = e^{-\left(\frac{4 \times 10^4 - 10249.55}{71215.71}\right)^{2.04}} = 0.8449$$

按式(31-151),  $R=0.90$  时可靠寿命的点估计

$$\begin{aligned} \hat{N}(0.90) &= \hat{a} + \hat{b} \left( \ln \frac{1}{R} \right)^{\frac{1}{k}} \\ &= 10249.55 + 71215.71 \left( \ln \frac{1}{0.90} \right)^{\frac{1}{2.04}} \\ &= 33881.32 \text{ 次} \end{aligned}$$

**例 31-13** 某产品寿命服从两参数威布尔分

布, 抽取 30 件做寿命试验, 当失效 15 件停止试验, 失效时间分别为 1230, 2100, 2750, 3300, 3800, 4250, 4750, 5300, 5600, 6000, 6600, 7000, 7600, 7950, 8400 h。求  $R=0.90$  的可靠寿命点估计。

**解** 首先估计分布参数。因样本大小  $n > 26$ , 故用简单线性无偏估计。将失效时间取对数, 并由小到大为 7.115, 7.650, 7.919, 8.102, 8.243, 8.355, 8.466, 8.575, 8.631, 8.700, 8.795, 8.854, 8.936, 8.981, 9.036。按式(31-146)和(31-147), 式中系数查表 31-44,  $n=30, r=15$ , 则  $s=15, E(Z_{r:n}) = 0.4253, nk_{r:n} = 16.4445$ , 故

$$\begin{aligned} \hat{\sigma} &= \frac{1}{nk_{r:n}} [(2s-r)x_{s,n} - \sum_{j=1}^s x_j + \sum_{j=s+1}^n x_j] \\ &= \frac{1}{16.4445} [(2 \times 15 - 15) \times 9.036 \\ &\quad - (7.115 + 7.650 + \dots + 9.036) + 0] \\ &= 0.558 \\ \hat{\mu} &= x_{s,n} - E(Z_{r:n})\hat{\sigma} \\ &= 9.036 + 0.4253 \times 0.558 = 9.273 \end{aligned}$$

按式(31-148)和(31-149), 式中  $g_{r:n}$  查表 31-44 得  $g_{r:n} = 0.9382$ , 故

$$\begin{aligned} \hat{k} &= \frac{g_{r:n}}{\hat{\sigma}} = \frac{0.9382}{0.558} = 1.68 \\ \hat{b} &= e^{\hat{\mu}} = e^{9.273} = 10646.64 \text{ h} \end{aligned}$$

按式(31-151), 式中  $\hat{a} = 0$ , 故可靠寿命点估计

$$\begin{aligned} \hat{N}(0.90) &= \hat{b} \left( \ln \frac{1}{R} \right)^{\frac{1}{k}} \\ &= 10646.64 \left( \ln \frac{1}{0.90} \right)^{\frac{1}{1.68}} = 2789.16 \text{ h} \end{aligned}$$

## 2.6 中止寿命试验的图分析法

所谓中止寿命试验就是在试验过程中有些试样由于某种原因未失效而中止, 或因其他零部件故障等原因而导致试样发生从属失效而中止。为了充分利用中止试样的信息, 可引用所谓失效平均序号查表 31-22~30。失效平均序号一般不是整数, 可用内插法查表定出秩值, 中位秩也可用失效平均序号代入式(31-85)求其近似值。失效平均序号  $i_k$  按下式计算

$$i_k = i_{k-1} + \frac{n+1-i_{k-1}}{n+2-j} \quad (31-153)$$

式中  $j$  —— 总序号;

$k$  —— 原失效序号;

$n$  —— 样本大小。

现举例说明其用法。

和中止的时间按顺序记录于表 31-51 中。现就这个有中止的样本分析于下：

例如，为了了解某零件的可靠寿命，就使用中的 20 台设备中相同的 20 个零件进行观察，发生失效

表 31-51 某零件的失效和中止时间

序号 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 $h$	180	225	305	320	345	375	420	455	465	530
状态	中止	中止	失效	中止	失效	失效	失效	中止	失效	失效
序号 $i$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
时间 $h$	540	570	600	615	705	750	780	1005	1170	1500
状态	中止	失效	中止	失效	中止	失效	失效	失效	失效	截止

a. 整理数据，按由小到大次序编总序号记于表 31-52 第 I 栏，将失效序号记于表 31-52 第 II 栏。

$$\hat{F}(x_2) = \frac{2.28 - 0.3}{20 + 0.4} = 0.097$$

b. 按式 (31-153) 计算失效平均序号，记于表 31-52 第 III 栏。例如，当  $k=1$ ，则  $i_{k-1}=0$ ，故

$$i_1 = 0 + \frac{20 + 1 - 0}{20 + 2 - 3} = 1.11$$

$$i_2 = 1.11 + \frac{20 + 1 - 1.11}{20 + 2 - 5} = 2.28$$

其他类似。

其他类似。

d. 将失效的寿命记于表 31-52 第 V 栏，中止或截止均不计寿命。

e. 假定寿命服从威布尔分布，取横坐标

$$x = \lg(t - a) \quad (31-154)$$

设  $a=0$ ，将算得的  $x_k = \lg(t_k - a) = \lg t_k$  值记于表 31-52 第 VI 栏。例如

$$x_1 = \lg 305 = 2.48$$

$$x_2 = \lg 345 = 2.54$$

c. 用式 (31-83) 计算中位秩的近似值，记于表 31-52 的第 IV 栏。式中  $i$  用失效平均序号  $i_k$ ，例如

$$\hat{F}(x_1) = \frac{1.11 - 0.3}{20 + 0.4} = 0.040$$

表 31-52 有中止样本的试验数据

I 总序号 $j$	II 失效序号 $k$	III 平均序号 $i_k$	IV 中位秩 $\hat{F}(x_k)$	V 寿命 $t_k$	VI		VII $F_{a-0.9}(x_k)$	
					假定 $a=0$ $x_k = \lg(t_k - a)$	假定 $a=270$ $t_k - a$ $x_k = \lg(t_k - a)$		
1,2								
3	1	1.11	0.040	305	2.48	35	1.54	0.117
4								
5	2	2.28	0.097	345	2.54	75	1.88	0.199
6	3	3.45	0.154	375	2.57	105	2.02	0.272
7	4	4.62	0.212	420	2.62	150	2.18	0.339
8								
9	5	5.88	0.274	465	2.67	195	2.29	0.409
10	6	7.14	0.335	530	2.72	260	2.41	0.474
11								
12	7	8.53	0.403	570	2.76	300	2.48	0.544
13								
14	8	10.09	0.480	615	2.79	345	2.54	0.616
15								
16	9	11.91	0.569	750	2.88	480	2.68	0.703
17	10	13.73	0.658	780	2.89	510	2.71	0.782
18	11	15.55	0.748	1005	3.00	735	2.87	0.855
19	12	17.37	0.837	1170	3.07	900	2.95	0.923
20								

其他类似。

延，画该曲线的垂直渐近线和图中横坐标轴交于  $x_1$ ，则可估计

f. 用表 31-52 中第 IV 和 VII 栏数据在威布尔概率纸上描点，如图 31-17 中的“·”所示。显然，各点在一曲线上，可能是三参数威布尔分布，故将曲线顺

$$a = 10^2 \quad (31-155)$$

本例  $x_1 \approx 2.43$ ，故



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$$a = 10^{2.43} = 270 \text{ h}$$

$$x_1 = \lg(305 - 270) = 1.54$$

g. 重新估计  $a=270 \text{ h}$ , 求各  $t_k - a$  值, 并用式

$$x_2 = \lg(345 - 270) = 1.88$$

(31-154) 计算  $x_k$  值记于表 31-52 的第 VI 栏。例如 其他类似。

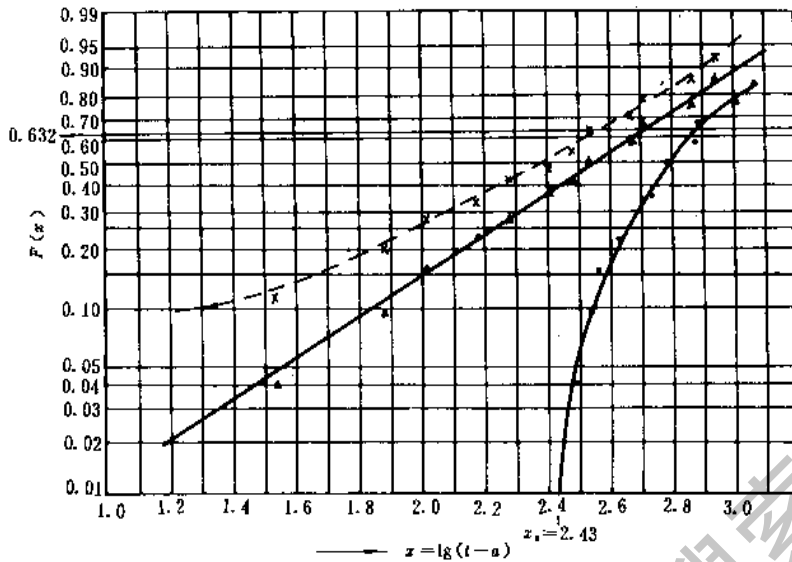


图 31-17 有中止样本的概率纸分析(威布尔分布)

h. 按表 31-52 中第 IV 和 VI 栏数据在威布尔概率纸上描点, 如图 31-17 中的“△”。若各点仍不在一直线上, 则应重新估计  $a$  值。若无论怎样修改  $a$  值, 各点都不在一直线上, 则应拒绝威布尔分布的原假设, 重新假设分布。

均序号不是整数, 故采用内插法来求, 例如

$$F_{0.9}(x_1) = 0.109 + \frac{(0.181 - 0.109)(1.11 - 1)}{2 - 1} = 0.117$$

$$F_{0.9}(x_2) = 0.181 + \frac{(0.245 - 0.181)(2.28 - 2)}{3 - 2} = 0.199$$

本例各“△”点已基本在一直线上, 故可接受位置参数  $a=270 \text{ h}$  的三参数威布尔分布的假设。

其他类似。

i. 尺度参数  $b$  的点估计可由  $F(x)=0.632$  的刻度点作水平线和所配直线相交, 交点的横坐标为  $x_{0.632}$ , 则尺度参数的点估计

$$\hat{b} = 10^{x_{0.632}} \quad (31-156)$$

本例  $x_{0.632} = 2.73$ , 故

$$\hat{b} = 10^{2.73} = 537 \text{ h}$$

用表 31-52 中第 VII 和 VIII 栏数据在图 31-17 上描点配曲线, 如图中“×”点和虚线所示。

由  $F=1-R=0.10$  可读得  $x_{FL}=1.32$ , 则

$$t_{FL} = t_L(R) = 10^{x_{FL}} + a \quad (31-158)$$

本例,  $t_{FL} = 10^{1.32} + 270 = 291 \text{ h}$

j. 形状参数  $k$  的点估计可由  $F(x)=0.10$  的刻度点作水平线和所配直线相交, 交点的横坐标为  $x_{0.10}$ , 则形状参数的点估计

$$\hat{k} = \frac{0.977}{x_{0.632} - x_{0.10}} \quad (31-157)$$

本例  $x_{0.10} = 1.86$ , 故

$$\hat{k} = \frac{0.977}{2.73 - 1.86} = 1.13$$

k. 区间估计与一般概率纸分析法相同。

例如, 若需估计置信水平  $1-\alpha=90\%$ , 可靠度  $R=0.90$  的可靠寿命置信下限, 可按  $n=20$  由表 31-24 查  $90\%$  秩, 记于表 31-52 的第 VIII 栏。由于失效平

## 2.7 可靠性的非参数分析法

如果不知道总体的分布类型, 也不知道用什么分布参数描述, 这样的统计问题可用非参数方法进行分析。

可靠度或成功率  $R$  的点估计

$$\hat{R} = \frac{n-r}{n} \quad (31-159)$$

可靠度  $R$  的单侧置信下限

$$R_L = \frac{1}{1 + ((r+1)/(n-r))F_{\alpha}(2(r+1), 2(n-r))} \quad (31-160)$$



式中  $n$ ——样本大小;

关系式

$r$ ——失效数;

$$R_L^* = 1 - \gamma = \alpha \quad (31-161)$$

$F_L(\cdot, \cdot)$ ——风险为  $\alpha$  的 F 分布分位数, 查表 31-9.

或在指定置信水平和可靠度下限时所需的样本大小

置信水平  $\gamma = 1 - \alpha$  等于 90% 和 95% 的可靠度单侧置信

$$n = \frac{\ln(1 - \gamma)}{\ln R_L} = \frac{\ln \alpha}{\ln R_L} \quad (31-162)$$

信下限可直接查表 31-53、31-54.

样本大小  $n$  与置信水平  $\gamma$ 、可靠度置信下限  $R_L$  有如下

表 31-53 置信水平 90% 的可靠度单侧置信下限  $R_L$  (非参数)

失效数 $r$	试验数 $n$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.1000	0.3162	0.4642	0.5623	0.6310	0.6813	0.7197	0.7499	0.7743	0.7943
1	.....	0.0513	0.1955	0.3205	0.4161	0.4897	0.5474	0.5938	0.6316	0.6631
2	.....	.....	0.0345	0.1426	0.2466	0.3332	0.4038	0.4618	0.5099	0.5504
3	.....	.....	.....	0.0260	0.1122	0.2009	0.2786	0.3446	0.4006	0.4483
4	.....	.....	.....	.....	0.0209	0.0926	0.1696	0.2397	0.3010	0.3542
5	.....	.....	.....	.....	.....	0.0174	0.0788	0.1469	0.2104	0.2673
	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70
0	0.8577	0.8912	0.9120	0.9261	0.9362	0.9441	0.9501	0.9550	0.9624	0.9676
1	0.7644	0.8190	0.8531	0.8764	0.8933	0.9062	0.9163	0.9244	0.9367	0.9456
2	0.6827	0.7552	0.8009	0.8321	0.8550	0.8723	0.8860	0.8970	0.9137	0.9257
3	0.6072	0.6958	0.7520	0.7907	0.8190	0.8405	0.8675	0.8712	0.8920	0.9070
4	0.5360	0.6393	0.7053	0.7510	0.7844	0.8100	0.8302	0.8464	0.8711	0.8890
5	0.4683	0.5851	0.6603	0.7126	0.7510	0.7804	0.8036	0.8224	0.8509	0.8715
6	0.4035	0.5327	0.6167	0.6753	0.7185	0.7515	0.7777	0.7989	0.8311	0.8543
7	0.3415	0.4820	0.5742	0.6389	0.6866	0.7233	0.7523	0.7758	0.8116	0.8376
8	0.2822	0.4327	0.5326	0.6032	0.6553	0.6955	0.7273	0.7531	0.7925	0.8290
9	0.2256	0.3847	0.4920	0.5681	0.6246	0.6682	0.7027	0.7308	0.7735	0.8046
10	0.1720	0.3381	0.4522	0.5337	0.5944	0.6412	0.6784	0.7087	0.7549	0.7888
11	0.1218	0.2929	0.4133	0.4999	0.5646	0.6146	0.6545	0.6869	0.7364	0.7724
12	0.0758	0.2491	0.3761	0.4666	0.5352	0.5884	0.6308	0.6653	0.7181	0.7566
13	0.0360	0.2067	0.3367	0.4338	0.5062	0.5624	0.6073	0.6440	0.7000	0.7409
14	0.0070	0.1659	0.3011	0.4015	0.4775	0.5369	0.5841	0.6228	0.6820	0.7253
15	.....	0.1269	0.2653	0.3697	0.4492	0.5114	0.5611	0.6018	0.6642	0.7098

表 31-54 置信水平 95% 的可靠度单侧置信下限  $R_L$  (非参数)

失效数 $r$	试验数 $n$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.0500	0.2236	0.3684	0.4729	0.5493	0.6070	0.6518	0.6877	0.7169	0.7411
1	.....	0.0253	0.1354	0.2486	0.3426	0.4182	0.4793	0.5293	0.5709	0.6058
2	.....	.....	0.0170	0.0976	0.1893	0.2713	0.3413	0.4003	0.4504	0.4931
3	.....	.....	.....	0.0127	0.0764	0.1532	0.2253	0.2892	0.3440	0.3934
4	.....	.....	.....	.....	0.0102	0.0628	0.1288	0.1929	0.2514	0.3035
5	.....	.....	.....	.....	.....	0.0085	0.0534	0.1111	0.1688	0.2224
	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70
0	0.8190	0.8609	0.8871	0.9050	0.9180	0.9278	0.9356	0.9418	0.9513	0.9581
1	0.7206	0.7839	0.8239	0.8514	0.8715	0.8868	0.8989	0.9086	0.9234	0.9340
2	0.6366	0.7174	0.7690	0.8047	0.8308	0.8508	0.8666	0.8794	0.8988	0.9128
3	0.5603	0.6363	0.7183	0.7614	0.7931	0.8174	0.8366	0.8522	0.8758	0.8928
4	0.4892	0.5990	0.6704	0.7204	0.7573	0.7856	0.8080	0.8262	0.8539	0.8740
5	0.4226	0.5445	0.6246	0.6810	0.7228	0.7550	0.7805	0.8012	0.8327	0.8557
6	0.3596	0.4922	0.5805	0.6430	0.6894	0.7253	0.7537	0.7768	0.8121	0.8378
7	0.3000	0.4420	0.5378	0.6061	0.6570	0.6963	0.7276	0.7531	0.7920	0.8204
8	0.2437	0.3936	0.4964	0.5701	0.6253	0.6680	0.7020	0.7298	0.7723	0.8032
9	0.1909	0.3469	0.4561	0.5349	0.5942	0.6402	0.6770	0.7069	0.7528	0.7864
10	0.1417	0.3020	0.4168	0.5005	0.5638	0.6139	0.6523	0.6844	0.7337	0.7697
11	0.0967	0.2587	0.3786	0.4669	0.5339	0.5862	0.6280	0.6623	0.7148	0.7533
12	0.0568	0.2171	0.3414	0.4339	0.5045	0.5597	0.6041	0.6404	0.6952	0.7371
13	0.0242	0.1773	0.3051	0.4016	0.4756	0.5337	0.5805	0.6188	0.6778	0.7210
14	0.0034	0.1395	0.2699	0.3699	0.4472	0.5080	0.5571	0.5975	0.6595	0.7052
15	.....	0.1041	0.2356	0.3389	0.4192	0.4828	0.5340	0.5764	0.6415	0.6894

### 3 概率机械设计

概率机械设计是机械可靠性设计的重要组成部分,是应用概率统计理论与传统机械设计理论相结合进行机械零件或构件设计的一种先进方法。它使设计更符合实际,并且定量地给出机械零件或构件不失效的可靠性指标——可靠度。

概率机械设计的基础是可靠的统计数据,需要知道有关设计变量的概率分布。为此,必须投入大量的人力和物力。对于尺寸、重量要求小的重要零部件,或者大量使用的零部件,应该做专门的试验以获得所需数据的统计规律,并做必要的验证试验以保证所设计产品的可靠性。目前这方面的数据还很缺乏,对于一般的机械设计可选用有关参考资料中的统计资料,采用本节推荐的近似处理方法。

#### 3.1 应力-强度模型求可靠度的方法

##### 3.1.1 应力-强度模型

应力是对产品功能有影响的各种外界因素。强度是产品承受应力的能力。对应力和强度应该作广义的理解。应力除通常的机械应力外,尚应包括载荷(力、力矩、转矩)、变形、湿度、磨损、油膜、电流、电压等等。同样,强度除通常的机械强度外,尚应包括承受上述各种形式应力的能力。下面主要以机械应力和强度进行分析,其他形式的应力和强度可用类似的方法进行处理。

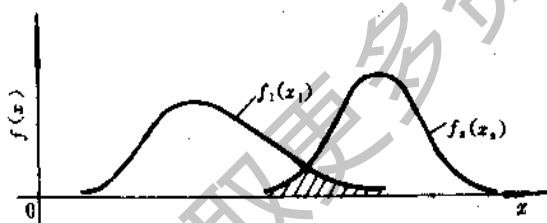


图 31-18 应力和强度干涉情况

图 31-18 给出应力和强度的干涉情况。图中横坐标表示应力或强度,纵坐标表示应力或强度的概率密度。 $f_1(x_1)$ 表示应力概率密度, $f_2(x_2)$ 表示强度概率密度。由于应力和强度量纲相同,所以为说明问题方便,将其绘在同一坐标纸上。图中影线部分为应力和强度分布发生干涉的区域,表示强度可能小于应力。根据干涉情况计算可靠度的模型称为应力-强度干涉模型,简称应力-强度模型。

应力-强度模型认为强度  $x_2$  大于应力  $x_1$  就不会发生失效,可靠度即为零件不发生失效的概率,故可靠度

$$R = P(x_2 > x_1) = P(x_2 - x_1 > 0) = P\left(\frac{x_2}{x_1} > 1\right) \quad (31-163)$$

式中,应力  $x_1$  和强度  $x_2$  均应理解为随机变量。顺便指出,为了方便,下面将随机变量和它的取值在可按内容判断不致误解时均用同一符号。

##### 3.1.2 应力-强度模型求可靠度的一般公式

根据应力分布函数和强度分布函数计算方便与否则选择下面二式之一计算可靠度

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_{-\infty}^{x_2} f_1(x_1) dx_1 \right] f_2(x_2) dx_2 = \int_{-\infty}^{\infty} F_1(x) f_2(x) dx \quad (31-164)$$

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_{x_1}^{\infty} f_2(x_2) dx_2 \right] f_1(x_1) dx_1 = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} F_2(x) f_1(x) dx \quad (31-165)$$

式中  $F_1(x)$  —— 应力分布函数;  
 $F_2(x)$  —— 强度分布函数;  
 $f_1(x)$  —— 应力概率密度;  
 $f_2(x)$  —— 强度概率密度。

几种典型的应力、强度分布,按式(31-164)或式(31-165)得到的可靠度的结论式列于表 31-55 中。

**例 31-14** 某钢制拉杆,承受的工作应力  $x_1 = \sigma_1 \sim N(400, 40^2)$  N/mm<sup>2</sup>, 屈服强度  $x_2 = \sigma_2 \sim N(510, 36^2)$  N/mm<sup>2</sup>, 求不发生屈服失效的可靠度。

**解** 按表 31-55 中序号 1 知

$$Z_R = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{(S_1^2 + S_2^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{510 - 400}{(36^2 + 40^2)^{\frac{1}{2}}} = 2.044$$

查表 31-6 得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(2.044) = 0.97952$$

**例 31-15** 某静定梁受最大弯矩  $M$  服从指数分布,最大弯矩均值  $\bar{M} = 8000$  Nm。临界极限弯矩  $M_F$  服从正态分布,均值  $\bar{M}_F = 20000$  Nm,标准差  $S_{M_F} = 2000$  Nm。求梁不失效的可靠度。

**解** 假设梁的最大弯矩大于梁的临界极限弯矩时梁发生失效,故梁不失效的判据为  $M < M_F$ 。

按表 31-55 中序号 5,其中  $\lambda_1 = \frac{1}{\bar{M}} = \frac{1}{8000}$  1/Nm;  $\bar{x}_2 = \bar{M}_F = 20000$  Nm,  $S_2 = S_{M_F} = 2000$  Nm。代入得

超星阅读器提醒您:  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权!

超星阅读器提醒您:  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权!

$$R = 1 - e^{-\frac{1}{2}(\bar{x}_s \lambda - \lambda^2 S_s^2)}$$

$$= 1 - e^{-\frac{1}{2} \left( 2 \times 20000 \times \frac{1}{8000} - \frac{2000^2}{8000^2} \right)}$$

$$= 0.9153$$

3.1.3 数值积分法求可靠度

有些应力和强度的分布用式(31-164)或(31-165)难以积分,没有象表 31-55 中给出的结论式可用。这时可用数值积分进行计算,例如用辛普生公式或高斯公式等。这些数值积分都有现成的源程序,使用时可查阅。

由于常用分布的变量取值为  $0 \sim \infty$  或  $-\infty \sim \infty$ ,故在进行数值积分时应取使被积函数的值接近于 0 的积分限,以使积分的模型误差尽量小。

**例 31-16** 某构件应力为正态分布,  $\bar{x}_1 = 100 \text{ N/mm}^2$ ,  $S_1 = 10 \text{ N/mm}^2$ , 强度为威布尔分布,  $k = 3, a =$

$50 \text{ N/mm}^2, b = 200 \text{ N/mm}^2$ 。求可靠度。

**解** 威布尔分布的分布函数

$$F_s(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^k} = 1 - e^{-\left(\frac{x-50}{200}\right)^3}, x \geq 50$$

将上式代入式(31-165)中得

$$R = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} F_s(x) f_1(x) dx$$

$$= 1 - \int_{50}^{\infty} \left[ 1 - e^{-\left(\frac{x-50}{200}\right)^3} \right] \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 10} e^{-\frac{(x-100)^2}{2 \times 10^2}} dx$$

$$= \Phi\left(\frac{50-100}{10}\right) + \int_{50}^{\infty} \frac{1}{10 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-50)^3}{200^3} - \frac{(x-100)^2}{200^2}} dx$$

$$= \int_{50}^{\infty} \frac{1}{10 \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x-50}{200}\right)^3 - \frac{(x-100)^2}{200^2}} dx$$

取积分上限为  $\bar{x}_1 + 5S_1 = 150 \text{ N/mm}^2$ , 用变步长辛普生求积公式, 允许误差  $\epsilon = 10^{-4}$ , 在计算机上运算得

$$R = 0.98272$$

表 31-55 几种典型应力、强度分布求可靠度的公式

序号	应力	强度	可靠度公式
1	正态 $N(\bar{x}_1, S_1^2)$	正态 $N(\bar{x}_s, S_s^2)$	$R = 1 - \Phi(Z_p) = \Phi(Z_R)$ $Z_R = \frac{\bar{x}_s - \bar{x}_1}{(S_s^2 + S_1^2)^{\frac{1}{2}}}$ $Z_R$ 称为联结系数
2	对数正态 $\ln(\mu_1, \sigma_1^2)$	对数正态 $\ln(\mu_s, \sigma_s^2)$	$R = 1 - \Phi(Z_p) = \Phi(Z_R)$ $Z_R = \frac{\mu_s - \mu_1}{(\sigma_s^2 + \sigma_1^2)^{\frac{1}{2}}} \approx \frac{\ln \bar{x}_s - \ln \bar{x}_1}{(V_s^2 + V_1^2)^{\frac{1}{2}}}$
3	指数 $e(\lambda_1)$	指数 $e(\lambda_s)$	$R = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_s}$
4	正态 $N(\bar{x}_1, S_1^2)$	指数 $e(\lambda_s)$	$R \approx e^{-\frac{1}{2}(\bar{x}_1 \lambda_s - \lambda_s^2 S_1^2)}$
5	指数 $e(\lambda_1)$	正态 $N(\bar{x}_s, S_s^2)$	$R \approx 1 - e^{-\frac{1}{2}(\bar{x}_s \lambda_1 - \lambda_1^2 S_s^2)}$
6	指数 $e(\lambda_1)$	$\Gamma$ $\Gamma(a_s, \beta_s)$	$R = 1 - \left(\frac{\beta_s}{\beta_s + \lambda_1}\right)^{a_s}$
7	$\Gamma$ $\Gamma(a_1, \beta_1)$	指数 $e(\lambda_s)$	$R = \left(\frac{\beta_1}{\beta_1 + \lambda_s}\right)^{a_1}$
8	$\Gamma$ $\Gamma(a_1, \beta_1)$	正态 $N(\bar{x}_s, S_s^2)$	$R = 1 - (1 + \bar{x}_s \beta_1 - S_s^2 \beta_1^2) e^{\frac{1}{2}(S_s^2 \beta_1^2 - \bar{x}_s \beta_1)}$
9	瑞利 $R(\mu)$	正态 $N(\bar{x}_s, S_s^2)$	$R = 1 - \frac{\mu}{(\mu^2 + S_s^2)^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\bar{x}_s^2}{\mu^2 + S_s^2} \right)}$

注:  $\Phi(\cdot)$  为标准正态分布函数, 查表 31-36 或表 31-6。

3.1.4 图解法求可靠度

对难以积分计算,尤其是利用试验数据直接求可靠度的近似值时,均可用图解法求近似解。这时式(31-164)和(31-165)可写成下列近似式

$$R \approx \sum_{i=0}^{m-1} F_1 \left( \frac{x_{i+1} + x_i}{2} \right) [F_s(x_{i+1}) - F_s(x_i)] \quad (31-166)$$

$$R \approx 1 - \sum_{i=0}^{m-1} F_s \left( \frac{x_{i+1} + x_i}{2} \right) [F_1(x_{i+1}) - F_1(x_i)] \quad (31-167)$$

图解法求可靠度的步骤如下:

a. 根据分布函数的解析式或经验分布函数列表计算  $F_1(x_i)$  和  $F_s(x_i)$ 。

b. 用算得的分布函数的数值在坐标纸上描点,并用平滑曲线绘成分布函数曲线。也可在相应概率

纸上描点,绘分布函数的直线或曲线。

c. 将纵轴从 0 至 1 分成  $m$  份,得各分点的  $F(x_i)$ 。划分时可以等分,也可不等分。

d. 用式(31-166)时,由分点和  $F_s(x)$  曲线定出各  $x_i$ ;用式(31-167)时,由分点和  $F_1(x)$  曲线定出各  $x_i$ 。

e. 直接在图上量取所需值,代入式(31-166)或(31-167)中求可靠度。

**例 31-17** 按已知试验值求某构件不屈服失效的可靠度。10 个构件实测得工作应力按由小到大次序为 85, 90, 94, 96, 99, 101, 103, 106, 109, 116 N/mm<sup>2</sup>。10 个构件抗拉试验测得屈服强度按由小到大次序为 132, 162, 184, 202, 219, 235, 252, 271, 294, 329 N/mm<sup>2</sup>。

**解** (1)以中位秩作为分布函数的近似值,将结果列于表 31-56 中。

表 31-56 例 31-17 的数据

序号 $j$	应力 $x_{ij}$ N/mm <sup>2</sup>	强度 $x_{sj}$ N/mm <sup>2</sup>	$F(x_j) = \frac{j-0.3}{10+0.4}$
1	85	132	0.067
2	90	162	0.163
3	94	184	0.259
4	96	202	0.356
5	99	219	0.452
6	101	235	0.548
7	103	252	0.646
8	106	271	0.741
9	109	294	0.837
10	116	329	0.933

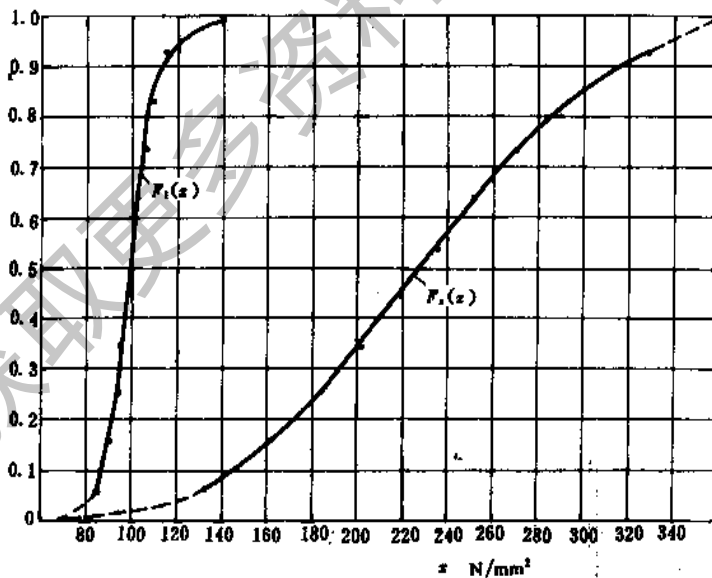


图 31-19 例 31-17 图解求可靠度

(2) 按表中数据在直角坐标纸上描点,并绘出分布函数曲线如图 31-19。

(3) 将  $F_1(x)$  在纵轴上等分为 20 份, 按式(31-167), 则  $[F_1(x_{i+1}) - F_1(x_i)] = 0.05$ 。

(4) 在图中直接量取  $F_1\left(\frac{x_{i+1}+x_i}{2}\right)$ , 则得可靠度

$$R = 1 - 0.05(0.011 + 0.014 + 0.018 + 0.019 + 0.02 + 0.02 + 0.021 + 0.021 + 0.022 + 0.022 + 0.022 + 0.023 + 0.024 + 0.025 + 0.026 + 0.028 + 0.03 + 0.032 + 0.038 + 0.055) = 0.97545$$

本例数据较少, 结果多系外推虚线部分。对重要的情况应加大样本大小。若应力和强度的分布已知, 则图解法的结果也较精确。

### 3.1.5 极限状态法求可靠度

应力-强度模型认为  $x_i - x_i > 0$  就不会失效,  $x_i - x_i < 0$  发生失效,  $x_i - x_i = 0$  表示达到极限状态, 将  $x_i - x_i = 0$  称为极限状态方程。通常  $x_i$  和  $x_i$  都是一些基本变量的函数, 因此极限状态方程往往是由两个以上的基本变量组成。本节的方法可用于极限状态方程中有多个正态变量的情况。若极限状态方程中有非正态分布的随机变量, 则可用等效的概念将其转换为一个等效的正态变量。因此, 本方法是一种适用性较广的方法。但是, 本方法常需迭代求解, 所以计算比较麻烦, 可利用计算机求解。

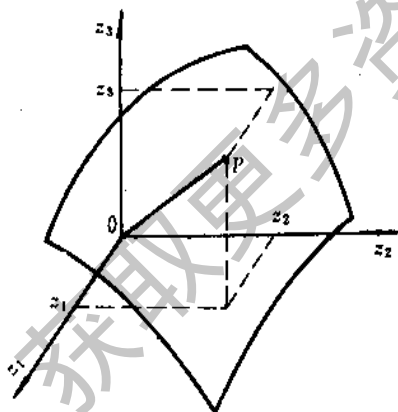


图 31-20 三个正态变量的验算点

(1) 多个独立正态变量的情况 设零件或构件的极限状态方程

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (31-168)$$

式中,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  是相互独立的正态变量。方程

(31-168) 可能是线性的, 也可能是非线性的。当式(31-168)是线性方程时, 所求得的可靠度是精确的, 否则是近似的。

方程式(31-168)表示坐标系  $O-x_1, x_2, \dots, x_n$  中的一个面, 该面将  $n$  维空间分为失效区和不失效区。

引入一组标准化正态变量, 即

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{S_{x_i}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (31-169)$$

则在标准正态空间坐标系  $O-z_1, z_2, \dots, z_n$  中原点  $O$  到极限状态面的最短距离  $\overline{OP}$  (图 31-20 所示为三个正态变量的情况), 也就是  $P$  点沿其在极限状态曲面的切平面的法线方向至原点  $O$  的长度, 就是联结系数  $Z_R$  (见表 31-55 中序号 1)。按  $Z_R$  即可由正态分布表查得相应的累积失效概率  $F$  或可靠度  $R$ 。  $P$  点称为设计验算点, 该点的坐标

$$z_i = Z_R a_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (31-170)$$

式中  $a_i$  —— 向量  $\overline{OP}$  中单位向量  $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  中的第  $i$  个分量。

$Z_R$  和  $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  可由下面的  $n+1$  个方程用迭代法求解

$$\begin{cases} a_i = \frac{-\left(\frac{\partial g}{\partial z_i}\right)_{z_R a}}{\left[\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial z_j}\right)_{z_R a}^2\right]^{\frac{1}{2}}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ g(Z_R a_1, Z_R a_2, \dots, Z_R a_n) = 0 \end{cases} \quad (31-171)$$

式中  $\left(\frac{\partial g}{\partial z_i}\right)_{z_R a}$  —— 函数  $g(z_1, z_2, \dots, z_n)$  对  $z_i$  的偏导数在  $P$  点的取值

若式(31-168)的极限状态方程为线性函数, 即

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad (31-172)$$

式中,  $a_i (i=1, 2, \dots, n)$  均为常数, 则联结系数

$$Z_R = \frac{a_1 \bar{x}_1 + a_2 \bar{x}_2 + \dots + a_n \bar{x}_n}{(a_1^2 S_{x_1}^2 + a_2^2 S_{x_2}^2 + \dots + a_n^2 S_{x_n}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-173)$$

**例 31-18** 受静载荷的钢梁, 已知受最大弯矩  $M \sim N(13000, 910^2)$  Nm, 抗弯断面模数  $W \sim N(54720, 2740^2)$  mm<sup>3</sup>, 钢梁的屈服极限  $\sigma_s \sim N(380, 30.4^2)$  N/mm<sup>2</sup>, 求不屈服失效的可靠度。

**解** 本例的极限状态方程为非线性函数

$$g(\sigma_s, M, W) = \sigma_s W - M = 0 \quad (a)$$

由式(31-169)将基本变量标准化



$$\begin{aligned}
 z_1 &= \frac{\sigma_s - \bar{\sigma}_s}{S_{\sigma_s}} & \sigma_s &= \bar{\sigma}_s + z_1 S_{\sigma_s} = 380 + 30.4z_1 \\
 z_2 &= \frac{M - \bar{M}}{S_M} & M &= \bar{M} + z_2 S_M = 13000000 + 910000z_2 \\
 z_3 &= \frac{W - \bar{W}}{S_W} & W &= \bar{W} + z_3 S_W = 54720 + 2740z_3
 \end{aligned}
 \tag{b}$$

将式(b)代入式(a)中得

$$1663488z_1 + 83296z_1z_3 - 910000z_2 + 1041200z_3 + 7793600 = 0 \tag{c}$$

按式(31-171)和(31-170)

$$\left. \begin{aligned}
 Z_R &= \frac{-7793600}{1663488a_1 + 83296Z_R a_3 - 910000a_2 + 1041200a_3} \\
 a_1 &= \frac{1}{K}(1663488 + 83296Z_R a_3) \\
 a_2 &= \frac{1}{K} \times 910000 \\
 a_3 &= \frac{-1}{K}(83296Z_R a_1 + 1041200)
 \end{aligned} \right\} \tag{d}$$

式(d)中的 K 按下式确定

$$a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 = 1 \tag{e}$$

由式(d)求得第一次迭代结果  $Z_R, a_1, a_2, a_3$ 。再将此

结果代入式(d)中迭代求解,直到前后两次迭代值误差很小为止。迭代结果列于表 31-57 中。

表 31-57 例 31-18 的迭代结果

变 量	初 始 值	迭 代 次 数				
		1	2	3	4	5
$Z_R$	3	4.4666	3.3868	3.7961	3.7941	
$a_1$	-0.5	-0.766	-0.784	-0.787	-0.786	
$a_2$	0.5	0.453	0.478	0.466	0.466	
$a_3$	-0.5	-0.456	-0.397	-0.405	-0.406	

经四次迭代求得:

$Z_R = 3.7941$ , 设计验算点  $P = (x_1, x_2, x_3) = Z_R(a_1, a_2, a_3) = (-2.982, 1.768, -1.540)$ 。将其换算成原坐标系中的变量,则  $P = (\sigma_s, M, W) = (289.35, 14608880, 50500.4)$ 。

查表 31-6 得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.7941) = 0.99992$$

一般,在选择初始值  $a_i (i=1, 2, \dots, n)$  时应考虑正负号,当相应的基本变量是荷载变量时建议用正号;当基本变量是强度或几何尺寸变量(如  $E, I$ )时建议用负号。

(2) 非正态变量的情况 对于非正态变量的情况,可以将其在设计验算点处变换成等效正态变量,然后用前节方法求联结系数  $Z_R$  和可靠度  $R$ 。

将非正态变量转化为等效正态变量的条件是:

a. 在设计验算点  $x_i^*$  处,等效正态变量  $x'_i$  的分

布函数值  $F_{x'_i}(x_i^*)$  与原变量  $x_i$  的分布函数值  $F_{x_i}(x_i^*)$  相等,即

$$F_{x'_i}(x_i^*) = \Phi\left(\frac{x_i^* - \bar{x}'_i}{S_{x'_i}}\right) \tag{31-174}$$

b. 在设计验算点  $x_i^*$  处,等效正态变量  $x'_i$  的概率密度值  $f_{x'_i}(x_i^*)$  与原变量  $x_i$  的概率密度值  $f_{x_i}(x_i^*)$  相等,即

$$f_{x'_i}(x_i^*) = \frac{1}{S_{x'_i}} \phi\left(\frac{x_i^* - \bar{x}'_i}{S_{x'_i}}\right) \tag{31-175}$$

由式(31-174)和(31-175)可得等效正态变量的均值和标准差

$$S_{x'_i} = \frac{\phi(\Phi^{-1}[F_{x_i}(x_i^*)])}{f_{x_i}(x_i^*)} \tag{31-176}$$

$$\bar{x}'_i = x_i^* - \Phi^{-1}[F_{x_i}(x_i^*)]S_{x'_i} \tag{31-177}$$

其中



$$x_1^* = F_{x_1}^{-1}[\Phi(Z_R \alpha_1)] \quad (31-178)$$

式中  $\phi(\cdot)$  —— 标准正态分布的概率密度。

由于  $\bar{x}'_1$  和  $S_{x'_1}$  是按设计验算点  $x_1^*$  计算的, 所以在按式(31-171)迭代前, 先由式(31-176)和(31-177)计算出  $\bar{x}'_1$  和  $S_{x'_1}$ , 然后用  $x'_1$  进行迭代。

**例 31-19** 某零件受应力  $x_1 \sim \ln(4.5, 0.1^2)N/mm^2$ , 强度  $x_2 \sim W(3, 40, 200)N/mm^2$ , 求不失效的可靠度。

**解** 由于应力和强度都不服从正态分布, 故先求等效正态变量的均值和标准差。

应力的等效正态变量的标准差, 按式(31-176)

$$S_{x'_1} = \frac{\phi\{\Phi^{-1}[F_{x_1}(x_1^*)]\}}{f_{x_1}(x_1^*)} = \frac{\phi\left(\frac{\ln x_1^* - \mu}{\sigma_1}\right)}{f_{x_1}(x_1^*)} = \sigma_1 x_1^* = 0.1 x_1^* \quad (a)$$

应力的等效正态变量的均值, 按式(31-177)

$$\begin{aligned} \bar{x}'_1 &= x_1^* - \Phi^{-1}[F_{x_1}(x_1^*)]S_{x'_1} \\ &= x_1^* - \left(\frac{\ln x_1^* - \mu}{\sigma_1}\right)\sigma_1 x_1^* \\ &= x_1^* (5.5 - \ln x_1^*) \end{aligned} \quad (b)$$

应力的设计验算点值, 按式(31-178)

$$\begin{aligned} x_1^* &= F_{x_1}^{-1}[\Phi(Z_R \alpha_1)] \\ &= e^{\mu + Z_R \sigma_1} = e^{4.5 + 0.1 Z_R} \end{aligned} \quad (c)$$

强度的等效正态变量的标准差, 按式(31-176)

$$S_{x'_2} = \frac{\phi\{\Phi^{-1}[F_{x_2}(x_2^*)]\}}{f_{x_2}(x_2^*)} \quad (d)$$

强度的等效正态变量的均值, 按式(31-177)

$$\bar{x}'_2 = x_2^* - \Phi^{-1}[F_{x_2}(x_2^*)]S_{x'_2} \quad (e)$$

强度的设计验算点值, 按式(31-178)

$$\begin{aligned} x_2^* &= F_{x_2}^{-1}[\Phi(Z_R \alpha_2)] \\ &= 40 + 200 \{-\ln[1 - \Phi(Z_R \alpha_2)]\}^{\frac{1}{3}} \end{aligned} \quad (f)$$

极限状态方程

$$g(x'_2, x'_1) = x'_2 - x'_1 = 0 \quad (g)$$

由式(31-169)将等效正态变量标准化

$$\begin{cases} z_1 = \frac{x'_2 - \bar{x}'_2}{S_{x'_2}} & x'_2 = \bar{x}'_2 + z_1 S_{x'_2} \\ z_2 = \frac{x'_1 - \bar{x}'_1}{S_{x'_1}} & x'_1 = \bar{x}'_1 + z_2 S_{x'_1} \end{cases} \quad (h)$$

将式(h)代入式(g)中得

$$\bar{x}'_2 + z_1 S_{x'_2} - \bar{x}'_1 - z_2 S_{x'_1} = 0 \quad (i)$$

按式(31-171)和(31-170)(求  $Z_R$  也可直接按式(31-173))

$$\begin{cases} Z_R = \frac{\bar{x}'_2 - \bar{x}'_1}{(S_{x'_2}^2 + S_{x'_1}^2)^{\frac{1}{2}}} \\ \alpha_1 = \frac{-S_{x'_2}}{(S_{x'_2}^2 + S_{x'_1}^2)^{\frac{1}{2}}} \\ \alpha_2 = \frac{S_{x'_1}}{(S_{x'_2}^2 + S_{x'_1}^2)^{\frac{1}{2}}} \end{cases} \quad (j)$$

取初值  $Z_R=3, \alpha_1=-0.5, \alpha_2=0.5$ , 则设计验算点  $P$  的坐标值  $P=(z_1, z_2)=Z_R(\alpha_1, \alpha_2)=(-1.5, 1.5)$ 。代入式(a)~(j)依次迭代计算, 结果列在表 31-58 中。

表 31-58 例 31-19 的迭代结果

变 量	初 始 值	迭 代 次 数			
		1	2	3	4
$\bar{x}'_2$		218.873	216.900	217.126	
$S_{x'_2}$		66.574	68.237	68.239	
$\bar{x}'_1$		89.100	88.551	88.642	
$S_{x'_1}$		7.748	7.427	4.475	
$Z_R$	3	1.936	1.870	1.872	
$\alpha_1$	-0.5	-0.9933	-0.9941	-0.9941	
$\alpha_2$	0.5	0.1156	0.1082	0.1089	

经三次迭代得  $Z_R = 1.872$ , 与第二次迭代结果非常接近, 故取  $Z_R = 1.872$ 。查表 31-6 得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(1.872) = 0.96939$$

### 3.1.6 可靠度的单侧置信下限

在求可靠度时, 通常分布参数是根据试验数据统计处理得到的, 因此求得的可靠度是一个统计量, 需要确定置信区间。一般求可靠度的单侧置信下限。当应力和强度都服从正态分布时, 可靠度的单侧置信下限可用式(31-119)、(31-120)或图 31-13 来求, 这时

$$Z_{R_L} = \frac{\bar{x}_s - \bar{x}_1}{(S_s^2 + S_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-179)$$

$$n \approx \frac{(S_s^2 + S_1^2)^2}{\frac{S_s^4}{n_s - 1} + \frac{S_1^4}{n_1 - 1}} + 1 \quad (31-180)$$

式中  $n$  等效的样本大小;

$n_1$  估计应力分布参数时的样本大小;

$n_s$  估计强度分布参数时的样本大小。

当应力和强度都服从对数正态分布时, 式(31-179)和(31-180)中的均值  $\bar{x}$  和标准差  $S_x$  均应换成相应的对数均值  $\mu$  和对数标准差  $\sigma$ 。

当应力和强度服从其他分布的组合时, 难以用解析法求解, 这时可用蒙特卡洛模拟法求可靠度的单侧置信下限。

**例 31-20** 由 8 个某种工作中的零件测得其应力  $\bar{\sigma}_1 = 1000 \text{ N/mm}^2$ ,  $S_{\sigma_1} = 120 \text{ N/mm}^2$ ; 由 20 个制造该零件的材料试验得屈服极限  $\bar{\sigma}_s = 1500 \text{ N/mm}^2$ ,  $S_{\sigma_s} = 100 \text{ N/mm}^2$ 。若应力、强度都服从正态分布, 求不屈服失效的可靠度点估计和置信水平  $\gamma = 0.90$  的可靠度单侧置信下限。

**解** 由表 31-55 中序号 1 得联结系数

$$Z_R = \frac{\bar{\sigma}_s - \bar{\sigma}_1}{(S_{\sigma_s}^2 + S_{\sigma_1}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1500 - 1000}{(100^2 + 120^2)^{\frac{1}{2}}} = 3.20$$

查表 31-6 得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.20) = 0.9993$$

按  $\gamma = 0.90$  查表 31-37 得  $Z_\gamma = 1.282$ , 由式(31-179)和(31-180)得

$$Z_{R_L} = Z_R = 3.20$$

$$n \approx \frac{(100^2 + 120^2)^2}{\frac{100^4}{20 - 1} + \frac{120^4}{8 - 1}} + 1 \approx 18$$

代入式(31-120)得

$$\begin{aligned} Z_{R_L} &= Z_{R_L} - Z_\gamma \left( \frac{1}{n} + \frac{Z_{R_L}^2}{2n - 2} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 3.20 - 1.282 \left( \frac{1}{18} + \frac{3.20^2}{2 \times 18 - 2} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 2.4343 \end{aligned}$$

按式(31-119), 查表 31-6 得

$$R_L = \Phi(Z_{R_L}) = \Phi(2.4343) = 0.99254$$

若按  $Z_{R_L} = 3.20$  和  $n = 18$  查图 31-13b 也可得到同样的结果。

## 3.2 可靠度的近似算法

对不很精确的概率机械设计, 通常不考虑随机变量的实际分布而假定服从正态分布或对数正态分布。利用正态分布进行可靠度计算。

### 3.2.1 可靠安全系数

定义可靠安全系数  $n_R$  为强度均值  $\bar{x}_s$  与应力均值  $\bar{x}_1$  之比, 即

$$n_R = \frac{\bar{x}_s}{\bar{x}_1} \quad (31-181)$$

当应力和强度都服从正态分布时, 联结系数  $Z_R$  与可靠安全系数  $n_R$  的关系(见图 31-21)。

$$Z_R = \frac{\bar{x}_s - \bar{x}_1}{(S_s^2 + S_1^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{n_R - 1}{(n_R^2 V_s^2 + V_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-182)$$

$$n_R = \frac{1}{K_R} = \frac{1 + Z_R(V_1^2 + V_s^2 - Z_R^2 V_s^2 V_1^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - Z_R^2 V_s^2} \quad (31-183)$$

当应力和强度都服从对数正态分布时, 联结系数  $Z_R$  与可靠安全系数  $n_R$  的关系(见图 31-22)。

$$Z_R = \frac{\mu_s - \mu_1}{(\sigma_s^2 + \sigma_1^2)^{\frac{1}{2}}} \approx \frac{\ln n_R}{(V_s^2 + V_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-184)$$

$$n_R = e^{Z_R(V_s^2 + V_1^2)^{\frac{1}{2}}} = e^{Z_R V_n} \quad (31-185)$$

当安全系数  $\left( n = \frac{x_s}{x_1} \right)$  服从正态分布时, 联结系数  $Z_R$  与可靠安全系数  $n_R$  的关系(见图 31-23)

$$Z_R \approx \frac{n_R - 1}{n_R V_n} \quad (31-186)$$

$$n_R = \frac{1}{K_R} = \frac{1}{1 - Z_R V_n} \quad (31-187)$$

当应力和强度的分布类型不明时, 若取(见图 31-24)

$$n_R = \frac{1}{1 - V_n \left( \frac{R}{1-R} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-188)$$

则

$$R \geq 1 - \frac{n_R^2 V_n^2}{n_R^2 V_n^2 + (n_R - 1)^2} \quad (31-189)$$

式中  $V_{x_1}$  —— 应力的变异系数,  $V_{x_1} = \frac{S_{x_1}}{x_1}$ ;

$V_{x_2}$  —— 强度的变异系数,  $V_{x_2} = \frac{S_{x_2}}{x_2}$ ;

$V_n$  —— 安全系数的变异系数,  $V_n = (V_{x_1}^2 + V_{x_2}^2)^{\frac{1}{2}}$ ;

$K_R$  —— 可靠度系数,  $K_R = \frac{1}{n_R}$ 。

**例 31-21** 已知应力的变异系数  $V_{x_1} = 0.08$ , 强度的变异系数  $V_{x_2} = 0.05$ , 要求可靠度  $R = 0.99$ , 分别按应力和强度都服从正态分布、都服从对数正态分布以及安全系数服从正态分布求所需的可靠安全系数  $n_R$ 。

**解** 先由表 31-36 查得当  $R = 0.99$  时,  $Z_R = 2.33$ 。

应力和强度都服从正态分布时, 按式(31-183)

$$\begin{aligned} n_R &= \frac{1 + Z_R (V_{x_1}^2 + V_{x_2}^2 - Z_R^2 V_{x_1}^2 V_{x_2}^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - Z_R^2 V_{x_2}^2} \\ &= \frac{1 + 2.33(0.08^2 + 0.05^2 - 2.33^2 \times 0.08^2 \times 0.05^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - 2.33^2 \times 0.05^2} \\ &= 1.236 \end{aligned}$$

若用图 31-21 也可查得相同结果  $n_R = \frac{1}{0.81} = 1.235$ 。

应力和强度都服从对数正态分布时, 按式(31-185), 先算出  $V_n = (0.08^2 + 0.05^2)^{\frac{1}{2}} = 0.094$ , 则

$$n_R = e^{Z_R V_n} = e^{2.33 \times 0.094} = 1.245$$

若用图 31-22 也可查得同样结果。

安全系数服从正态分布时, 按式(31-187)

$$n_R = \frac{1}{1 - Z_R V_n} = \frac{1}{1 - 2.33 \times 0.094} = 1.28$$

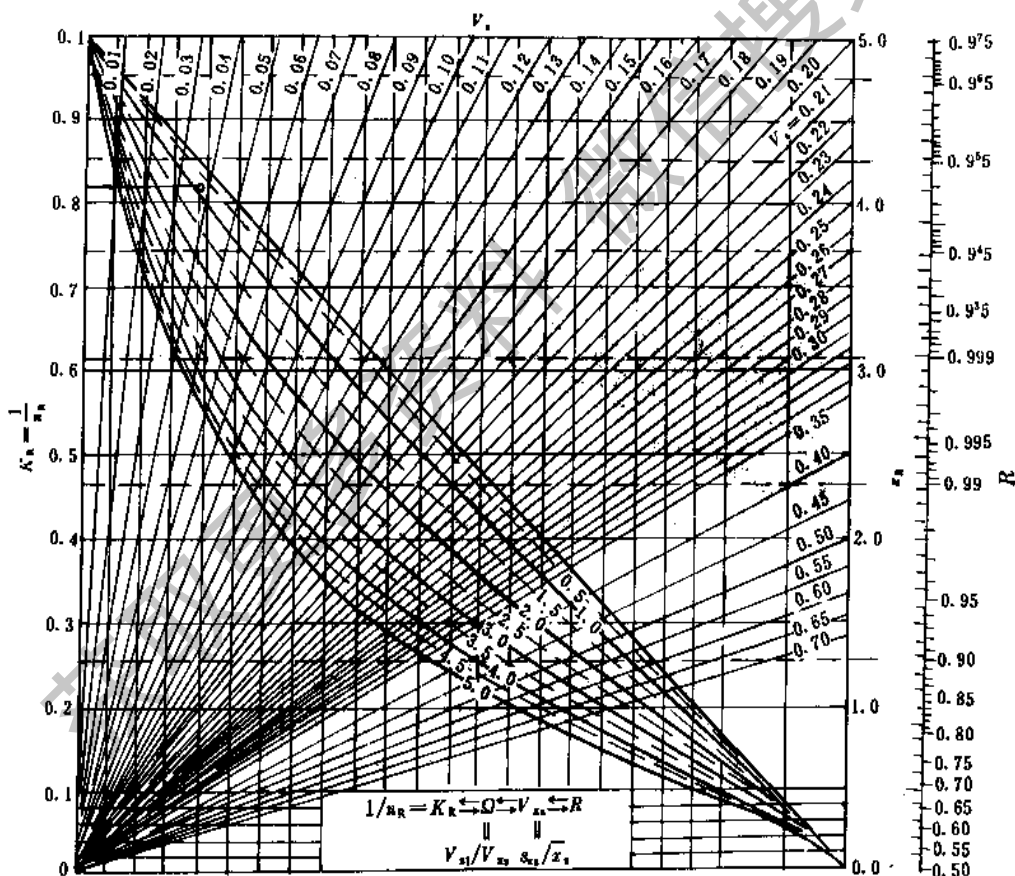


图 31-21 应力、强度都服从正态分布时  $n_R$  与  $Z_R$  的关系

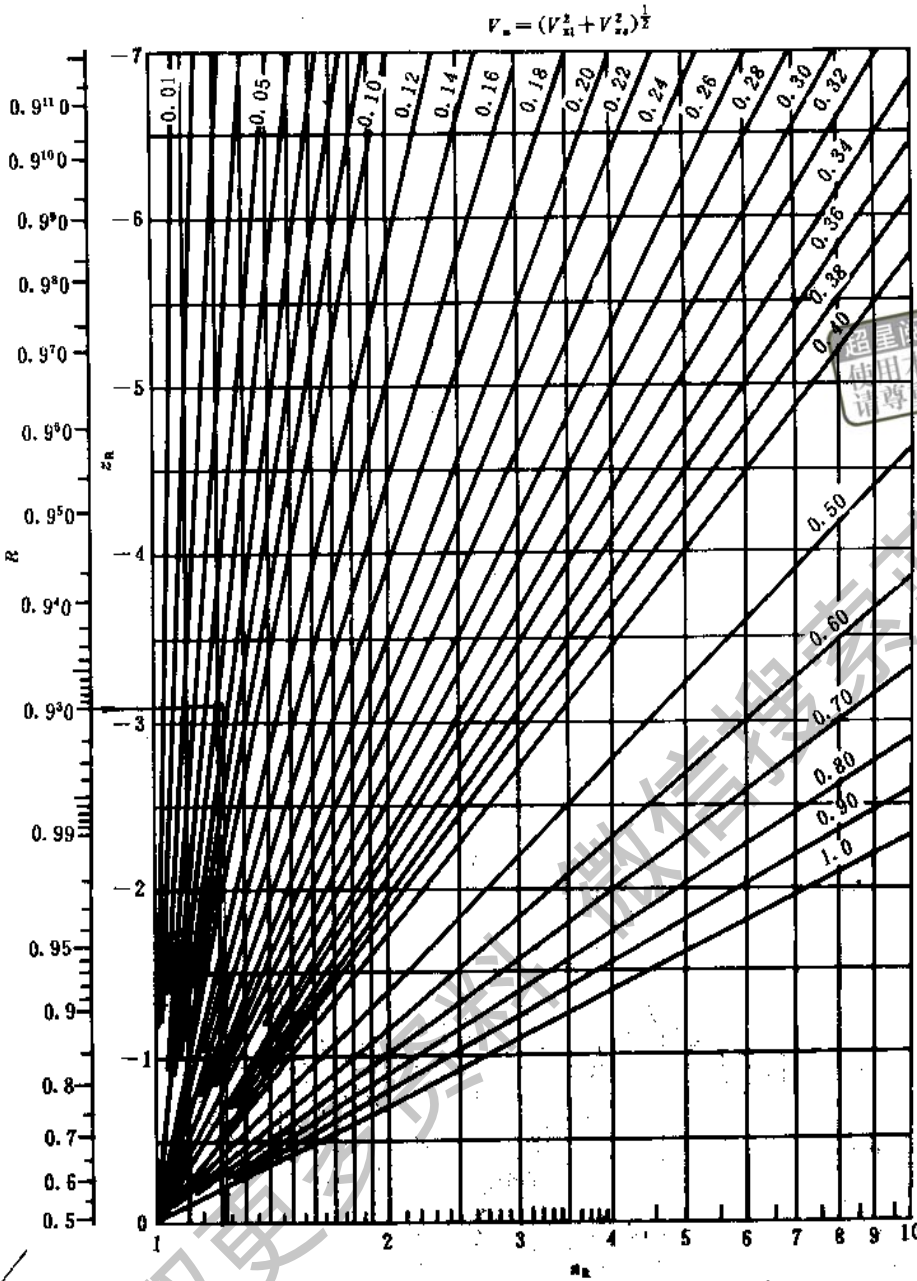


图 31-22 应力和强度都服从对数正态分布时  $n_R$  与  $Z_R$  的关系

若用图 31-23 也可查得同样结果。分布时所需的  $n_R$  最大。

从上例的计算结果可看出,安全系数服从正态

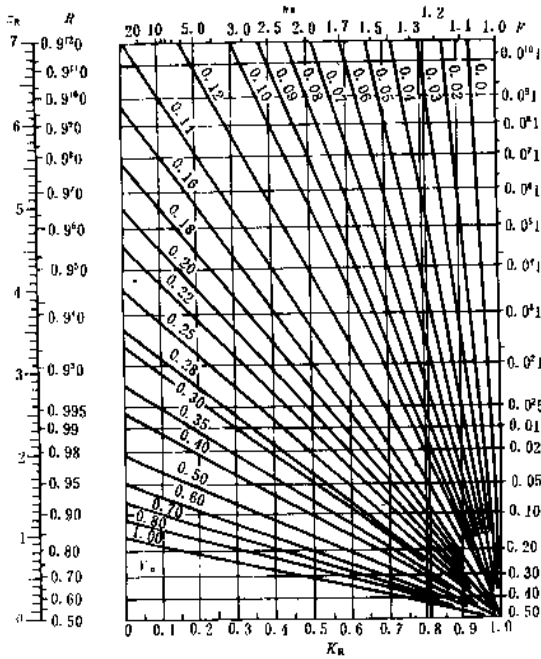


图 31-23 安全系数服从正态分布时  $n_R$  与  $Z_R$  的关系

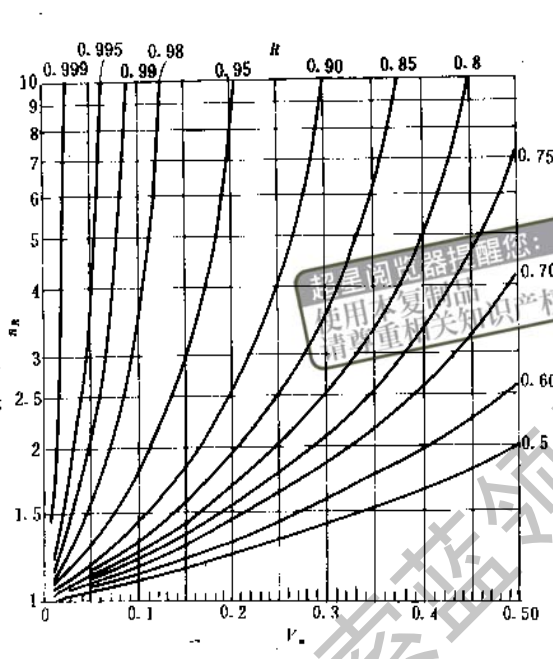


图 31-24 分布类型不明时  $R$  的下界与  $n_R$  的关系

### 3.2.2 随机变量函数的均值和标准差的近似计算

除根据实际零件或构件直接试验获得数据估计应力和强度的分布外,一般都是利用随机变量的函数关系得到函数的分布。通过已知随机变量的分布求其函数的分布往往很难,故通常只求其均值和标准差的近似值。已知随机变量的均值和标准差,求其函数的均值和标准差的近似方法如下。

(1) 泰勒展开法 设  $n$  维随机变量  $x_1, x_2, \dots, x_n$  的函数

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (31-190)$$

函数的均值

$$\begin{aligned} \bar{y} &\approx f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x_i^2} \right)_0 S_{x_i}^2 \\ &+ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j} \right)_0 \rho_{ij} S_{x_i} S_{x_j} \\ &\approx f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \end{aligned} \quad (31-191)$$

函数的标准差

$$\begin{aligned} S_y &\approx \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)_0^2 S_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)_0 \left( \frac{\partial y}{\partial x_j} \right)_0 \rho_{ij} S_{x_i} S_{x_j} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (31-192)$$

式中 角标“0”——表示求导后自变量取均值

$\rho_{ij}$  ——  $x_i$  与  $x_j$  的相关系数

$$\rho_{ij} = \frac{E[(x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j)]}{[E(x_i - \bar{x}_i)^2 E(x_j - \bar{x}_j)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (31-193)$$

$\rho_{ij}$  的具体数值,就概念上判定为正相关( $\rho_{ij}=1$ )、负相关( $\rho_{ij}=-1$ )和不相关( $\rho_{ij}=0$ )常比较容易,而对非线性又不独立的变量往往难以估计。在工程计算中,为了简单常假定变量之间相互独立而取  $\rho_{ij}=0$ 。

(2) 变异系数法 对于单项式(没有加减运算的式子)的函数,式(31-190)的具体形式为

$$y = a \prod_{i=1}^n x_i^{m_i} \quad (31-194)$$

式中  $a, m_i$  ——任意常数。

函数的均值

$$\bar{y} \approx a \prod_{i=1}^n \bar{x}_i^{m_i} \quad (31-195)$$

函数的变异系数

$$V_y \approx \left( \sum_{i=1}^n m_i^2 V_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n m_i m_j \rho_{ij} V_{x_i} V_{x_j} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (31-196)$$

函数的标准差

$$S_y = \bar{y} V_y \quad (31-197)$$

(3) 基本函数法 本方法是将常用的函数作为基本函数,用(1)节的泰勒展开法求出其均值和标准差的结论式列于表 31-59 中,应用时可查用。对于较



复杂的函数一般可化为这些基本函数的形式。但是在把复杂函数化成基本函数时,应避免基本函数中变量的相关,亦即保证基本函数中变量是独立的。

在上述三种求函数均值和标准差的近似法中,基本函数法只在简单情况下才显得方便,变异系数法计算最简便,泰勒展开法可用于各种函数形式。

表 31-59 基本函数形式和近似结论式

序号	函数形式	均值 $\bar{y}$	标准差 $S_y$
1	$y = ax$	$\bar{ax}$	$aS_x$
2	$y = a \pm x$	$a \pm \bar{x}$	$S_x$
3	$y = x^m$	$\bar{x}^m$	$ m  \bar{x}^{m-1} S_x$
4	$y = x_1 \pm x_2$	$\bar{x}_1 \pm \bar{x}_2$	$(S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2 \pm 2\rho_{12}S_{x_1}S_{x_2})^{1/2}$
5	$y = x_1 x_2$	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 + \rho_{12}S_{x_1}S_{x_2}$	$(\bar{x}_1^2 S_{x_2}^2 + \bar{x}_2^2 S_{x_1}^2 + 2\rho_{12}\bar{x}_1\bar{x}_2 S_{x_1}S_{x_2})^{1/2}$
6	$y = \frac{x_1}{x_2}$	$\frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2} + \frac{\bar{x}_1 S_{x_1}}{\bar{x}_2^2} \left( \frac{S_{x_2}}{\bar{x}_2} - \frac{\rho_{12} S_{x_1}}{\bar{x}_1} \right) \approx \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2}$	$\frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2} \left( \frac{S_{x_1}^2}{\bar{x}_1^2} + \frac{S_{x_2}^2}{\bar{x}_2^2} - 2\rho_{12} \frac{S_{x_1}S_{x_2}}{\bar{x}_1\bar{x}_2} \right)^{1/2}$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

**例 31-22** 某钢制拉杆,截面直径  $d$  的均值  $\bar{d} = 10 \text{ mm}$ ,标准差  $S_d = 0.08 \text{ mm}$ ;杆长  $L$  的均值  $\bar{L} = 1000 \text{ mm}$ ,标准差  $S_L = 5 \text{ mm}$ ;受拉力  $F$  的均值  $\bar{F} = 10000 \text{ N}$ ,标准差  $S_F = 800 \text{ N}$ ;弹性模数  $E$  的均值  $\bar{E} = 20600 \text{ N/mm}^2$ ,标准差  $S_E = 618 \text{ N/mm}^2$ 。求拉杆伸长量的均值和标准差。

**解** 由材料力学知,杆的伸长量为

$$\delta = \frac{4FL}{\pi d^2 E} = \frac{4}{\pi} FLd^{-2} E^{-1}$$

上式为一单项式的函数,故用变异系数法求解最为方便。

首先求各随机变量的变异系数:

$$V_d = \frac{S_d}{\bar{d}} = \frac{0.08}{10} = 0.008$$

$$V_L = \frac{S_L}{\bar{L}} = \frac{5}{1000} = 0.005$$

$$V_F = \frac{S_F}{\bar{F}} = \frac{800}{10000} = 0.08$$

$$V_E = \frac{S_E}{\bar{E}} = \frac{618}{20600} = 0.03$$

由式(31-195)得  $\delta$  的均值

$$\begin{aligned} \bar{\delta} &= \frac{4}{\pi} \bar{F} \bar{L} \bar{d}^{-2} \bar{E}^{-1} \\ &= \frac{4}{\pi} \times 10000 \times 1000 \times 10^{-2} \times 20600^{-1} \\ &= 6.18 \text{ mm} \end{aligned}$$

由式(31-196)得  $\delta$  的变异系数

$$\begin{aligned} V_\delta &= (V_F^2 + V_L^2 + 2^2 V_d^2 + V_E^2)^{1/2} \\ &= (0.08^2 + 0.005^2 + 4 \times 0.008^2 + 0.03^2)^{1/2} \\ &= 0.087 \end{aligned}$$

由式(31-197)得  $\delta$  的标准差

$$S_\delta = \bar{\delta} V_\delta = 6.18 \times 0.087 = 0.538 \text{ mm}$$

### 3.3 概率机械设计所需的部分数据和资料

#### 3.3.1 几何尺寸

机械应力一般是载荷和几何尺寸的函数,故应力的随机性不仅决定于载荷的随机性,也决定于几何尺寸的随机性。由于加工不能保证几何尺寸绝对准确,而只能将其限制在允许的公差范围内,故几何尺寸也是一个随机变量。表31-60列出了不同加工方法时尺寸的误差,可作为设计时的参考。必要时可从承担加工的工厂索取具体数据。一般认为尺寸服从正态分布。当误差对称于公称尺寸为  $\Delta x$  时,可取公称尺寸为均值  $\bar{x}$ ,按“3 $\sigma$ ”原则取  $\frac{\Delta x}{3}$  为标准差。当误差不对称于公称尺寸时,可根据公称尺寸和误差先求出最大值  $x_{max}$  和最小值  $x_{min}$ ,然后取

$$\bar{x} = \frac{x_{max} + x_{min}}{2} \quad (31-198)$$

$$S_x = \frac{x_{max} - x_{min}}{6} \quad (31-199)$$

一般,对有较严公差限制的尺寸误差,对应力数值的影响甚微,常可假定为确定量而使计算大为方便。



表31-60 不同加工方法的尺寸误差

mm

加工方法	误差 (±)		加工方法	误差 (±)	
	一般	可达		一般	可达
火焰切割	1.5	0.5	镗	0.50	0.125
冲压	0.25	0.025	车	0.125	0.025
拉拔	0.25	0.05	刨	0.25	0.025
冷轧	0.25	0.025	铣	0.125	0.025
挤压	0.5	0.05	滚切	0.125	0.025
金属模铸	0.75	0.25	拉	0.125	0.0125
压铸	0.25	0.05	磨	0.025	0.005
蜡模铸	—	0.05	研磨	0.005	0.0012
烧结金属	1.25	0.05	钻孔	0.25	0.05
烧结陶瓷	0.75	0.50	铰孔	0.05	0.0125

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品，  
请尊重相关知识！

3.3.2 材料的强度特性

试验表明,一些金属材料的强度特性基本可用正态分布描述。表31-61为金属材料强度等特性的变异系数。设计时,用所设计产品的材料做成组试验,即可估计得所需特性的均值和标准差或变异系数。如不做具体试验而利用手册或产品目录的数据时,目前我国钢材的抗拉强度和屈服强度数据多数是只

保证90%不小于的下限值。若按表31-61取变异系数,则抗拉强度均值荐用

$$\bar{\sigma}_b = 1.07\sigma_b \quad (31-200)$$

屈服强度均值荐用

$$\bar{\sigma}_s = 1.1\sigma_s \quad (31-201)$$

式中,  $\sigma_b$  和  $\sigma_s$  是从手册或产品目录中查得的下限值。

表31-61 金属材料强度等特性的变异系数

材料强度	变异系数 V	材料特性	变异系数 V
金属材料的抗拉强度	0.05	金属材料的断裂韧性	0.07
金属材料的屈服强度	0.07	钢的弹性模量	0.03
钢材的疲劳强度	0.08	铸铁的弹性模量	0.04
零件的疲劳强度	0.10~0.15	铝合金的弹性模量	0.03
焊接构件强度	0.10~0.15	钛合金的弹性模量	0.09

如果从手册或产品目录等文献中查得的强度数据的条件不明确,则荐用作为均值。

表31-62为我国某厂几种不同钢材统计得的同炉钢的静强度数据。

表31-63列出几种国产钢铁的疲劳极限;表31-64列出几种金属材料不同寿命的疲劳极限。

疲劳强度试验比静强度试验麻烦得多,具体试验和统计方法可参考有关文献。初步设计或近似设计计算时荐用

$$\bar{\sigma}_{-1} = \left( \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b} \right) \bar{\sigma}_b \quad (31-202)$$

式中  $\bar{\sigma}_b$  ——所用钢铁抗拉强度的均值,可按式(31-200)取值,最好做试验估计;

$\left( \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b} \right)$  ——抗弯疲劳极限与抗拉强度极限的比值,可按表31-65和31-66选取。

拉压、剪切疲劳强度与弯曲疲劳强度也基本成正比关系,其比值可参考表31-67选取。

应该注意,不同工厂的生产条件和技术水平不同,不同国家的情况更不一样,因此不应盲目搬用。设计重要的、对强度要求很严的产品宜直接做具体试验,统计得所需的均值、标准差等数据。若不做具体试验而参考类似产品的有关数据时应慎重考虑。

表31-62 几种国产钢材静强度的统计数据

材 质	抗拉强度 $\sigma_b$			屈服强度 $\sigma_s$		
	$\bar{\sigma}_b$ N/mm <sup>2</sup>	$S_{\sigma_b}$ N/mm <sup>2</sup>	$V_{\sigma_b}$	$\bar{\sigma}_s$ N/mm <sup>2</sup>	$S_{\sigma_s}$ N/mm <sup>2</sup>	$V_{\sigma_s}$
钢35热轧, $\phi 12 \sim 180$ mm, 860℃空冷	603	24.5	0.041	379	19.0	0.05
钢45热轧, $\phi 8 \sim 250$ mm, 860℃空冷	676	23.5	0.035	408	15.7	0.039
钢38CrMoAl 热轧, $\phi 9 \sim 220$ mm, 950℃淬火, 620~640℃回火	1064	47.9	0.045	952	56.3	0.059
钢9CrNiMo 热轧, $\phi 20 \sim 200$ mm, 860℃油淬, 600℃空冷	1113	35.9	0.032	1012	43.8	0.043
钢60Si2Mn 热轧, 860℃油淬, 470℃水冷	1510	56.5	0.037	1369	59.5	0.046
钢18CrNiWA 热轧, $\phi 12 \sim 165$ mm, 950℃油淬, 170~200℃空冷	1328	56.8	0.043	1034	58.8	0.057
钢20CrNi2MoA 热轧, $\phi 40 \sim 130$ mm, 890℃油淬, 170~200℃空冷	1264	139.2	0.110	1055	128.4	0.122
钢30CrNi2MoA 热轧, $\phi 12 \sim 120$ mm, 860~890℃油淬, 650~680℃空冷	1098	80.9	0.074	1027	79.7	0.078
钢30CrMn2SiA 热轧, $\phi 8 \sim 200$ mm, 890℃油淬, 510~540℃油回	1184	47.0	0.040	1098	51.0	0.046
钢40CrNiMoA 热轧, $\phi 20 \sim 200$ mm, 850℃淬火, 600℃回火	1088	41.8	0.039	989	44.6	0.045
钢45CrNiMoVA 热轧, $\phi 28 \sim 220$ mm, 860℃淬火, 440℃回火	1563	31.9	0.020	1496	36.2	0.024

表31-63 几种国产钢铁的疲劳极限

N/mm<sup>2</sup>

材 质	光滑试件			缺口试件 $\alpha_0=2$		
	$\bar{\sigma}_{-1}$	$S_{\sigma_{-1}}$	$V_{\sigma_{-1}}$	$\bar{\sigma}_{-1C}$	$S_{\sigma_{-1C}}$	$V_{\sigma_{-1C}}$
钢 Q235-A 热轧 110HBS	213.1	8.105	0.038	132.4	4.386	0.033
钢20正火 129HBS	250.1 (喇叭形)	5.085	0.02	146.8	5.098	0.035
钢35正火 164HBS	228.3	2.070	0.009	161.1	3.377	0.021
钢45正火 175HBS	249.3	5.307	0.021	161.0	7.711	0.048
钢45调质 216HBS	388.3 (喇叭形)	9.666	0.025	211.7	9.212	0.044
钢45电渣熔铸 调质319HBS	432.9	14.320	0.033	281.7	10.400	0.037
钢16Mn 热轧 169HBS	280.8	8.443	0.030	169.9	3.854	0.023
钢35CrMo 调质 280HBS	431.5	13.869	0.032	248.4	10.891	0.044
钢40Cr 调质 268HBS	421.7	10.337	0.025	239.2	12.192	0.051
钢40MnB 调质 288HBS	436.2	19.806	0.045	279.7	10.607	0.038

续表 31-63

材 质	光 滑 试 件			缺 口 试 件 $\alpha_s=2$		
	$\bar{\sigma}_{-1}$	$S_{\sigma_{-1}}$	$V_{\sigma_{-1}}$	$\bar{\sigma}_{-1K}$	$S_{\sigma_{-1K}}$	$V_{\sigma_{-1K}}$
钢42CrMo 调质 341HBS	503.9	12.367	0.025	313.1	7.158	0.023
钢50CrV 淬火,中温回火 48.36HRC	746.5	32.003	0.043	477.7	16.511	0.035
钢60Si2Mn 淬火,中温回火 397HBS	563.6	23.936	0.042	389.0	8.007	0.021
钢65Mn 淬火,中温回火 45.76HRC	708.2	31.527	0.045	483.3	16.506	0.034
钢1Cr13调质 222HBS	374.2	12.993	0.035	221.6	9.664	0.044
钢2Cr13调质 222HBS	374.0	13.803	0.037	208.7	10.533	0.051
球铁QT40-17退火 149HBS 楔形试样	202.5	7.479	0.037	158.8	4.773	0.030
球铁QT40-17退火 156HBS 梅花试样	233.9	6.757	0.029	164.8	7.379	0.045
球铁QT60-2正火 273HBS 楔形试样	290.0	5.821	0.020	169.5	9.330	0.055
球铁QT60-2正火 243HBS 梅花试样	251.1	9.664	0.038	154.2	7.803	0.051

表31-64 几种金属材料不同寿命的疲劳极限

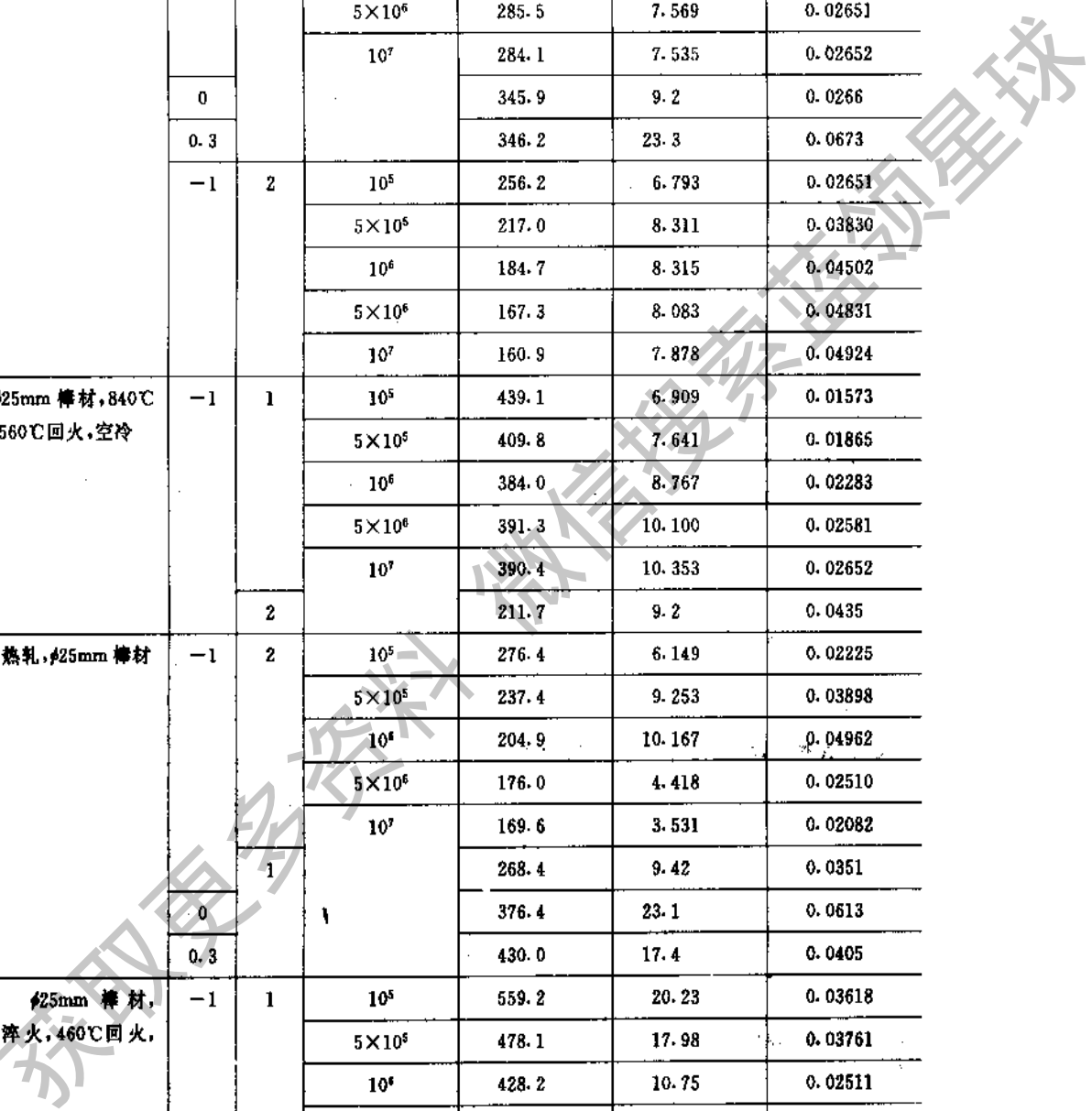
N/mm<sup>2</sup>

材 质	试验条件		寿 命 N	均 值 $\bar{\sigma}_r$ N/mm <sup>2</sup>	标 准 差 $S_{\sigma_r}$ N/mm <sup>2</sup>	变 异 系 数 $V_{\sigma_r}$
	r	$\alpha_r$				
钢 Q235-A 热轧 $\phi 25$ mm 棒材	-1	2	$10^5$	235.3	2.662	0.01131
			$5 \times 10^5$	200.2	3.588	0.01792
			$10^6$	171.2	4.419	0.02581
			$5 \times 10^6$	147.1	5.431	0.03691
	0	1	$10^7$	135.4	5.551	0.04099
				200.5	10.4	0.0518
				273.2	14.8	0.0542
				336.8	20.9	0.0620
钢 35 $\phi 25$ mm 棒材, 850℃ 正火, 空冷	-1	2	$10^5$	247.5	5.329	0.02153
			$5 \times 10^5$	208.2	4.633	0.02225
			$10^6$	180.1	4.320	0.02399
			$5 \times 10^6$	164.3	3.681	0.02240
			$10^7$	160.9	3.291	0.02045
	1	$10^7$	228.3	2.1	0.0092	

续表 31-64

材 质	试验条件		寿 命 $N$	均 值 $\bar{\sigma}_r$ N/mm <sup>2</sup>	标 准 差 $S_{\sigma}$ N/mm <sup>2</sup>	变异系数	
	$r$	$a_0$					
钢45 $\phi$ 25mm 棒材, 850℃ 正火, 空冷	-1	1	$10^5$	333.1	6.452	0.01937	
			$5 \times 10^5$	303.1	7.822	0.02581	
			$10^6$	289.4	7.879	0.02723	
			$5 \times 10^6$	285.5	7.569	0.02651	
			$10^7$	284.1	7.535	0.02652	
	0			345.9	9.2	0.0266	
	0.3			346.2	23.3	0.0673	
	-1	2	$10^5$	256.2	6.793	0.02651	
			$5 \times 10^5$	217.0	8.311	0.03830	
			$10^6$	184.7	8.315	0.04502	
			$5 \times 10^6$	167.3	8.083	0.04831	
			$10^7$	160.9	7.878	0.04924	
	钢45 $\phi$ 25mm 棒材, 840℃ 水淬火, 560℃回火, 空冷	-1	1	$10^5$	439.1	6.909	0.01573
				$5 \times 10^5$	409.8	7.641	0.01865
				$10^6$	384.0	8.767	0.02283
$5 \times 10^6$				391.3	10.100	0.02581	
$10^7$				390.4	10.353	0.02652	
		2		211.7	9.2	0.0435	
钢16Mn 热轧, $\phi$ 25mm 棒材		-1	2	$10^5$	276.4	6.149	0.02225
				$5 \times 10^5$	237.4	9.253	0.03898
				$10^6$	204.9	10.167	0.04962
				$5 \times 10^6$	176.0	4.418	0.02510
	$10^7$			169.6	3.531	0.02082	
		1		268.4	9.42	0.0351	
	0			376.4	23.1	0.0613	
	0.3			430.0	17.4	0.0405	
	钢 40Cr $\phi$ 25mm 棒材, 850℃油淬火, 460℃回火, 空冷	-1	1	$10^5$	559.2	20.23	0.03618
				$5 \times 10^5$	478.1	17.98	0.03761
$10^6$				428.2	10.75	0.02511	
$5 \times 10^6$				422.2	10.27	0.02432	
$10^7$				421.2	10.24	0.02431	
		2		239.2	12.2	0.0510	
0		1		628.1	44.7	0.0712	
0.3				670.6	25.3	0.0377	

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



材 质	试验条件		寿 命 $N$	均 值 $\bar{\sigma}_r$ , N/mm <sup>2</sup>	标 准 差 $S_{\sigma_r}$ , N/mm <sup>2</sup>	变异系数 $V_{\sigma_r}$
	$r$	$a_r$				
钢 60Si2Mn $\phi 25$ mm 棒材, 870℃油淬火, 460℃回火, 空冷	-1	1	$10^5$	660.0	38.27	0.05798
			$5 \times 10^5$	590.9	26.99	0.04568
			$10^6$	573.5	25.05	0.04368
			$5 \times 10^6$	566.9	24.39	0.04302
			$10^7$	564.3	24.27	0.04301
		2, 2	372.7	11.5	0.0309	
钢 40MnB $\phi 25$ mm 棒材, 850℃油淬火, 500℃回火, 油冷	-1	1	$10^5$	555.3	20.70	0.03728
			$5 \times 10^5$	480.3	12.06	0.02511
			$10^6$	445.2	13.99	0.03142
			$5 \times 10^6$	440.1	19.52	0.04435
			$10^7$	438.1	21.74	0.04962
		2	$10^5$	372.9	12.49	0.03349
			$5 \times 10^5$	319.5	13.10	0.04100
			$10^6$	286.1	10.76	0.03761
			$5 \times 10^6$	280.2	10.54	0.03762
			$10^7$	279.0	9.921	0.03556
钢 35CrMo $\phi 20$ mm 棒材, 850℃油淬火, 550℃回火, 油冷	-1	1	$10^5$	564.3	36.61	0.06488
			$5 \times 10^5$	494.9	29.95	0.06052
			$10^6$	444.2	17.31	0.03897
			$5 \times 10^6$	435.0	14.57	0.03349
			$10^7$	432.1	13.88	0.03212
		2	248.4	10.9	0.0439	
钢 2Cr13 $\phi 22$ mm 棒材, 1000℃油淬火, 700℃回火, 空冷	-1	1	$10^7$	373.9	13.8	0.0369
		2	208.7	10.5	0.0503	
钢 18Cr2Ni4WA $\phi 18$ mm 棒材, 950℃正火, 860℃淬 火, 540℃回火	1	2	$10^5$	463.9	22.23	0.04792
			$5 \times 10^5$	411.9	17.00	0.04127
			$10^6$	384.4	15.69	0.04082
			$5 \times 10^6$	368.7	13.73	0.03724
			$10^7$	360.9	11.77	0.03261

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

续表 31-64

材 质	试验条件		寿 命 $N$	均 值 $\bar{\sigma}_r$ N/mm <sup>2</sup>	标 准 差 $S_r$ N/mm <sup>2</sup>	变 异 系 数 $V_r$
	$r$	$a_s$				
钢 30CrMnSiA $\phi 25$ mm 棒 材, 890~898℃油中淬火, 510~520℃回火	-1	1	$10^5$	784.6	35.96	0.04583
			$5 \times 10^5$	676.7	19.61	0.02898
			$10^6$	655.1	17.65	0.02694
			$5 \times 10^6$	639.4	17.00	0.02669
			$10^7$	637.5	18.63	0.02922
		2	$10^5$	411.3	19.61	0.04768
			$5 \times 10^5$	379.5	14.71	0.03876
			$10^6$	359.9	10.13	0.02815
			$5 \times 10^6$	356.0	10.13	0.02846
			$10^7$	353.1	9.807	0.02777
		3	$10^5$	308.9	14.71	0.04762
			$5 \times 10^5$	270.7	10.13	0.03742
			$10^6$	250.1	9.807	0.03921
			$5 \times 10^6$	243.2	9.150	0.03762
			$10^7$	241.3	9.150	0.03792
	4	$10^5$	285.4	11.11	0.03893	
		$5 \times 10^5$	245.2	9.807	0.03600	
		$10^6$	221.6	9.150	0.04129	
		$5 \times 10^6$	210.9	8.169	0.03873	
		$10^7$	204.0	6.865	0.03365	
	0.1 <sup>0</sup>	1	$10^5$	1176.8	52.30	0.04444
			$5 \times 10^5$	1108.2	42.49	0.03834
			$10^6$	1090.5	39.23	0.03597
			$5 \times 10^6$	1088.6	39.55	0.03633
			$10^7$	1088.6	39.89	0.03664
		3	$10^5$	455.0	29.42	0.06466
			$5 \times 10^5$	377.6	17.00	0.04503
			$10^6$	347.2	14.30	0.04315
			$5 \times 10^6$	335.4	15.69	0.04678
			$10^7$	328.5	16.35	0.04977
0.5 <sup>0</sup>		3	$10^5$	676.7	35.96	0.05314
			$5 \times 10^5$	642.4	31.06	0.04835
			$10^6$	612.0	27.46	0.04487
			$5 \times 10^6$	609.0	24.84	0.04079
			$10^7$	608.0	24.84	0.04086



续表 31-64

材 质	试验条件		寿 命 $N$	均 值 $\bar{\sigma}_r$ N/mm <sup>2</sup>	标准差 $S_{\sigma_r}$ N/mm <sup>2</sup>	变异系数 $V_{\sigma_r}$
	$r$	$\alpha_0$				
钢 30CrMnSi2A $\phi$ 25mm 棒材, 900℃ 淬火, 260℃ 回 火	-0.5 <sup>①</sup>	.5	10 <sup>5</sup>	343.2	13.73	0.04001
			5×10 <sup>5</sup>	272.6	10.46	0.03837
			10 <sup>6</sup>	251.1	9.150	0.03644
			5×10 <sup>6</sup>	248.1	9.150	0.03688
			10 <sup>7</sup>	245.2	9.807	0.04000
	0.1 <sup>①</sup>	3	10 <sup>5</sup>	441.3	17.98	0.04074
			5×10 <sup>5</sup>	415.8	16.67	0.04009
			10 <sup>6</sup>	402.1	16.35	0.04066
			5×10 <sup>6</sup>	392.3	15.69	0.03999
		4	10 <sup>5</sup>	382.5	14.71	0.03846
			5×10 <sup>5</sup>	328.5	17.98	0.05473
			10 <sup>6</sup>	241.3	9.150	0.03792
			10 <sup>7</sup>	187.3	6.865	0.03665
	0.445 <sup>①</sup>	3	10 <sup>5</sup>	686.5	27.78	0.04047
			5×10 <sup>5</sup>	583.5	20.59	0.03529
			10 <sup>6</sup>	578.6	20.27	0.03503
			5×10 <sup>6</sup>	572.7	19.29	0.03368
			10 <sup>7</sup>	571.7	18.96	0.03316
	0.5 <sup>①</sup>	5	10 <sup>5</sup>	624.7	26.16	0.04188
			5×10 <sup>5</sup>	525.7	18.31	0.03483
10 <sup>6</sup>			517.8	17.33	0.03347	
5×10 <sup>6</sup>			513.9	16.67	0.03244	
10 <sup>7</sup>			510.0	16.35	0.03206	
钢40CrNiMoA $r = -1$ 的试件取自 $\phi$ 22mm 棒材, $r = 0.1$ 的试件取自 $\phi$ 180mm 的棒材, 850℃ 油 淬火, 580℃ 回火	-1	1	10 <sup>5</sup>	666.9	37.59	0.05637
			5×10 <sup>5</sup>	590.4	26.16	0.04431
			10 <sup>6</sup>	559.0	20.92	0.03742
			5×10 <sup>6</sup>	539.4	20.92	0.03878
		2	10 <sup>5</sup>	523.7	19.61	0.03745
			5×10 <sup>5</sup>	392.3	25.17	0.06416
			10 <sup>6</sup>	333.4	14.05	0.04214
			5×10 <sup>6</sup>	318.7	11.44	0.03590
		3	10 <sup>5</sup>	310.9	10.46	0.03364
			10 <sup>6</sup>	307.9	9.807	0.03185
			5×10 <sup>6</sup>	294.2	15.03	0.05109
			10 <sup>7</sup>	245.2	9.807	0.04000
	0.1 <sup>①</sup>	1	10 <sup>5</sup>	217.7	8.169	0.03752
			5×10 <sup>5</sup>	210.9	6.865	0.03255
			10 <sup>6</sup>	208.9	6.865	0.03286
			5×10 <sup>6</sup>	208.9	6.865	0.03286
		3	10 <sup>5</sup>	1211.2	45.77	0.03779
			5×10 <sup>5</sup>	1157.2	42.49	0.03672
			10 <sup>6</sup>	1110.2	39.89	0.03593
			5×10 <sup>6</sup>	1066.0	38.25	0.03588
3	10 <sup>5</sup>	1029.7	32.69	0.03175		
	10 <sup>6</sup>	384.4	17.65	0.04592		
	5×10 <sup>5</sup>	326.6	11.44	0.03503		
	10 <sup>6</sup>	305.0	10.79	0.03538		
3	5×10 <sup>5</sup>	292.2	10.79	0.03693		
	10 <sup>6</sup>	284.4	9.807	0.03448		
	5×10 <sup>6</sup>	292.2	10.79	0.03693		
	10 <sup>7</sup>	284.4	9.807	0.03448		

续表 31-64

材 质	试验条件		寿 命 $N$	均 值 $\bar{\sigma}_t$ N/mm <sup>2</sup>	标准差 $S_{\sigma_t}$ N/mm <sup>2</sup>	变异系数 $V_{\sigma_t}$
	$r$	$a_s$				
钢 42CrMnSiMoA (GC-4 电渣钢) $\phi 42$ mm 棒材, 920℃ 加热, 300℃ 等温, 空冷	-1 <sup>①</sup>	1	10 <sup>5</sup>	874.8	49.69	0.05680
			5×10 <sup>5</sup>	799.3	38.25	0.04785
			10 <sup>6</sup>	761.0	29.42	0.03866
			5×10 <sup>6</sup>	735.5	26.80	0.03644
			10 <sup>7</sup>	717.9	24.84	0.03460
		3	10 <sup>5</sup>	373.6	18.31	0.04901
			5×10 <sup>5</sup>	323.6	13.07	0.04039
			10 <sup>6</sup>	284.4	11.44	0.04023
			5×10 <sup>6</sup>	251.1	9.807	0.03906
			10 <sup>7</sup>	239.3	9.150	0.03824
	0.1 <sup>①</sup>	1	10 <sup>5</sup>	1118.0	62.30	0.04678
			5×10 <sup>5</sup>	1074.8	41.19	0.03852
			10 <sup>6</sup>	1069.0	39.23	0.03670
			5×10 <sup>6</sup>	1067.0	39.23	0.03677
			10 <sup>7</sup>	1065.0	38.57	0.03622
		3	10 <sup>5</sup>	485.4	18.63	0.03838
			5×10 <sup>5</sup>	460.9	16.35	0.03547
			10 <sup>6</sup>	447.2	16.67	0.03728
			5×10 <sup>6</sup>	433.5	15.69	0.03619
			10 <sup>7</sup>	427.6	15.03	0.03515
球 铁 QT60-2 楔形试块, 900℃ 正火, 空冷	-1	1	10 <sup>5</sup>	364.4	13.71	0.03762
			5×10 <sup>5</sup>	312.3	11.96	0.03830
			10 <sup>6</sup>	294.1	5.910	0.02010
			5×10 <sup>6</sup>	292.1	6.289	0.02153
			10 <sup>7</sup>	290.8	6.052	0.02081
		2	10 <sup>5</sup>	269.5	9.028	0.03350
			5×10 <sup>5</sup>	229.9	11.41	0.04963
			10 <sup>6</sup>	197.0	12.17	0.06178
			5×10 <sup>6</sup>	175.6	9.623	0.05480
			10 <sup>7</sup>	168.1	8.887	0.05287
球 铁 QT40-17 楔形试块, 900℃ 退火, 炉冷	-1	1	10 <sup>5</sup>	306.6	17.20	0.05607
			5×10 <sup>5</sup>	267.0	17.65	0.06611
			10 <sup>6</sup>	233.6	13.84	0.05926
			5×10 <sup>6</sup>	210.2	8.898	0.04233
			10 <sup>7</sup>	203.0	7.912	0.03898
		2	10 <sup>5</sup>	250.9	10.63	0.04235
			5×10 <sup>5</sup>	221.6	13.82	0.06238
			10 <sup>6</sup>	194.3	13.09	0.06734
			5×10 <sup>6</sup>	171.6	8.178	0.04766
			10 <sup>7</sup>	158.9	4.937	0.03107

续表 31-64

材 质	试验条件		寿 命 $N$	均 值 $\bar{\sigma}_t$ N/mm <sup>2</sup>	标 准 差 $S_{\sigma_t}$ N/mm <sup>2</sup>	变异系数 $V_{\sigma_t}$	
	$r$	$a_0$					
铝合金 LY12B 板厚19mm (预拉伸加工硬化)	0.1 <sup>①</sup>	1	10 <sup>5</sup>	329.5	13.41	0.04070	
			5×10 <sup>5</sup>	293.2	11.77	0.04014	
			10 <sup>6</sup>	264.8	9.807	0.03704	
			5×10 <sup>6</sup>	243.2	9.150	0.03762	
			10 <sup>7</sup>	223.6	7.522	0.03364	
		3	10 <sup>5</sup>	161.8	7.522	0.04649	
			5×10 <sup>5</sup>	134.4	5.227	0.03889	
			10 <sup>6</sup>	114.7	4.246	0.03702	
			5×10 <sup>6</sup>	106.9	3.923	0.03670	
		5	10 <sup>7</sup>	103.0	3.599	0.03494	
			10 <sup>5</sup>	120.6	4.904	0.04066	
			5×10 <sup>5</sup>	99.05	3.923	0.03961	
			10 <sup>6</sup>	87.28	3.266	0.03742	
			5×10 <sup>6</sup>	84.34	3.266	0.03872	
		0.5 <sup>①</sup>	1	10 <sup>7</sup>	82.38	2.941	0.03370
	10 <sup>5</sup>			405.0	17.33	0.04279	
	5×10 <sup>5</sup>			360.9	15.03	0.04165	
	10 <sup>6</sup>			347.2	13.73	0.03954	
	5×10 <sup>6</sup>			328.5	12.09	0.03680	
	3		10 <sup>7</sup>	319.7	11.77	0.03682	
			10 <sup>5</sup>	211.8	8.826	0.04167	
			5×10 <sup>5</sup>	169.7	6.541	0.03854	
			10 <sup>6</sup>	151.0	5.227	0.03462	
	5		5×10 <sup>6</sup>	145.1	5.227	0.03602	
			10 <sup>7</sup>	143.2	4.904	0.03425	
			10 <sup>5</sup>	161.8	6.541	0.04043	
			5×10 <sup>5</sup>	129.4	6.227	0.04039	
			10 <sup>6</sup>	115.7	4.246	0.03670	
	-0.5 <sup>①</sup>		3	5×10 <sup>6</sup>	109.8	3.923	0.03573
		10 <sup>7</sup>		104.0	2.941	0.02828	
		10 <sup>5</sup>		117.5	5.816	0.04950	
		5×10 <sup>5</sup>		108.5	4.776	0.04402	
		10 <sup>6</sup>		100.0	3.923	0.03923	
	铝合金 LY12CZ 板厚 2.5mm(淬火自然时效)	0.1 <sup>①</sup>	1.16	5×10 <sup>6</sup>	92.19	3.599	0.03904
				10 <sup>7</sup>	87.77	2.942	0.03352
				10 <sup>5</sup>	202.0	9.483	0.04695
5×10 <sup>5</sup>				146.1	6.541	0.04477	
10 <sup>6</sup>				125.5	4.580	0.03649	
0.02 <sup>①</sup>		1	5×10 <sup>6</sup>	115.7	4.246	0.03670	
			10 <sup>7</sup>	110.8	3.923	0.03541	
			10 <sup>6</sup>	277.5	14.05	0.05063	
			5×10 <sup>6</sup>	195.2	8.826	0.04522	
0.6 <sup>①</sup>		1	10 <sup>6</sup>	144.2	5.561	0.03856	
			5×10 <sup>6</sup>	132.4	4.580	0.03459	
			5×10 <sup>5</sup>	331.5	15.69	0.04733	
			10 <sup>6</sup>	309.9	12.43	0.04011	
			5×10 <sup>6</sup>	274.6	9.807	0.03571	

续表 31-64

材 质	试验条件		寿 命 $N$	均 值 $\bar{\sigma}_r$ N/mm <sup>2</sup>	标 准 差 $S_{\sigma_r}$ N/mm <sup>2</sup>	变异系数 $V_{\sigma_r}$	
	$r$	$a_0$					
铝合金 LY12CS 板厚 2.5mm(淬火人工时效)	0.1 <sup>①</sup>	1	10 <sup>5</sup>	240.5	11.44	0.04757	
			5×10 <sup>5</sup>	176.5	7.189	0.04073	
			10 <sup>6</sup>	139.3	5.227	0.03752	
			5×10 <sup>6</sup>	133.4	4.904	0.03676	
			10 <sup>7</sup>	131.4	4.680	0.03562	
	0.5 <sup>①</sup>	1	10 <sup>5</sup>	372.7	16.35	0.04387	
			5×10 <sup>5</sup>	304.0	11.77	0.03872	
			10 <sup>6</sup>	255.0	8.826	0.03461	
			5×10 <sup>6</sup>	225.6	7.846	0.03478	
			10 <sup>7</sup>	206.9	6.865	0.03318	
	铝合金 LC9 φ25mm 棒材	-1 <sup>①</sup>	1	10 <sup>5</sup>	261.8	12.75	0.04870
				5×10 <sup>5</sup>	220.7	8.826	0.03999
				10 <sup>6</sup>	188.3	7.189	0.03818
				5×10 <sup>6</sup>	170.6	6.208	0.03639
10 <sup>7</sup>				161.8	5.561	0.03437	
2-4			10 <sup>5</sup>	154.0	6.541	0.04247	
			5×10 <sup>5</sup>	131.4	5.227	0.03978	
			10 <sup>6</sup>	113.8	4.246	0.03731	
			5×10 <sup>6</sup>	98.07	3.599	0.03670	
			10 <sup>7</sup>	93.17	3.266	0.03505	
0.1 <sup>①</sup>			1	10 <sup>5</sup>	269.7	13.41	0.04072
				5×10 <sup>5</sup>	199.1	8.169	0.04103
				10 <sup>6</sup>	161.8	5.561	0.03437
				5×10 <sup>6</sup>	142.2	4.904	0.03449
		10 <sup>7</sup>		130.4	4.246	0.03256	
		3	10 <sup>5</sup>	124.5	5.884	0.04726	
			5×10 <sup>5</sup>	93.17	4.246	0.04557	
			10 <sup>6</sup>	76.49	2.942	0.03846	
			5×10 <sup>6</sup>	70.61	2.618	0.03708	
			10 <sup>7</sup>	66.69	2.285	0.03426	
		5	10 <sup>5</sup>	81.40	4.246	0.05216	
			5×10 <sup>5</sup>	63.75	2.618	0.04107	
			10 <sup>6</sup>	57.86	2.285	0.03949	
			5×10 <sup>6</sup>	54.92	1.961	0.03571	
10 <sup>7</sup>			52.96	1.795	0.03389		
0.5 <sup>①</sup>		1	10 <sup>5</sup>	431.5	26.16	0.06063	
			5×10 <sup>5</sup>	262.8	13.41	0.05103	
			10 <sup>6</sup>	228.5	10.79	0.04722	
	5×10 <sup>6</sup>		204.0	7.846	0.03846		
	10 <sup>7</sup>		186.3	5.884	0.03158		
	3	10 <sup>5</sup>	178.5	9.807	0.05494		
		5×10 <sup>5</sup>	144.2	6.208	0.04305		
		10 <sup>6</sup>	127.5	4.904	0.03846		
		5×10 <sup>6</sup>	116.3	4.119	0.03542		
		10 <sup>7</sup>	109.8	3.599	0.03278		
	5	10 <sup>5</sup>	117.7	4.904	0.04167		
		5×10 <sup>5</sup>	92.19	3.599	0.03904		
		10 <sup>6</sup>	82.38	3.267	0.03967		
		5×10 <sup>6</sup>	78.46	2.618	0.03337		
10 <sup>7</sup>		76.49	2.618	0.03423			

① 疲劳试验为轴向加载,其余均为旋转弯曲

表31-65 钢铁的 $\left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b}\right)$  荐用值

材 质	$\left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b}\right)$
锻钢(正火或调质)	0.45
铸钢或淬火钢	0.40
灰铸铁	0.40
铁素体球墨铸铁	0.48
球光体球墨铸铁	0.33

表31-66 各种材质的 $\left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b}\right)$  数值

材 质	$\left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b}\right)$
商业纯铁	0.57
铸铁	0.41
球墨铸铁	0.33
低碳钢(0.15%C)(退火)	0.55
中碳钢(0.36%C)(退火)	0.46
中碳钢(0.36%C)(淬火,回火)	0.46
高碳钢(0.75%C)(退火)	0.38
高碳钢(0.75%C)(淬火,回火)	0.41
2.5% Ni 钢(淬火,回火)	0.59
Cr-Mo 钢(淬火,回火)	0.49
Ni-Cr-Mo 钢(淬火,回火)	0.40
18Cr-8Ni 不锈钢(冷拔)	0.58
12% 锰钢(淬火)	0.41
纯铜(退火)	0.29
黄铜60Cu-40Zn(退火)	0.37
黄铜70Cu-30Zn(退火)	0.31
黄铜90Cu-10Zn(冷拔)	0.29
磷青铜(退火)	0.31
铝青铜(9.5%Al)(退火)	0.35
蒙乃尔合金(Monel Cu-Ni)(退火)	0.44
蒙乃尔合金(Monel Cu-Ni)(冷拔)	0.42
镍合金(Nimonic 80)	0.31
纯铝(退火)	0.30
纯铝(冷作)	0.34
铝-7% 镁合金(退火)	0.39
铝-7% 镁合金(冷作)	0.43
杜拉明铝合金(Duralumin 2034)(退火)	0.48
杜拉明铝合金(Duralumin 2024)(溶液处理,时效)	0.29
铝-锌-镁合金(7075)(溶液处理,时效)	0.27
纯镁(挤压)	0.31
镁-铝-锌合金(热处理)	0.40
镁-锌合金(热处理)	0.36
商业纯钛(轧制)	0.59
钛-4铝-2.5锡合金(热处理)	0.57
钛-6铝-4钒合金(热处理)	0.53
钛-4钒-4铝合金(热处理)	0.58
纯铅(退火)	0.15
有机玻璃(聚甲基丙烯酸甲酯)	0.35

注:应力循环次数,钢 $10^7$ 次,非铁金属 $10^8$ 次

表 31-67 拉压  $\sigma_{-1}$ 、剪切  $\tau_{-1}$  与弯曲  $\sigma_{-1}$  的比值

项 目	钢	铸 铁	铝合金和镁合金
$\sigma_{-1}/\sigma_1$	0.85	0.9	0.55(铝), 0.85(铸)
$\tau_{-1}/\sigma_1$	0.57	0.8	0.55(铝), 0.85(铸)

### 3.4 静强度的概率设计

不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力。当应力循环次数小于  $10^3$  时也近似作为静应力处理。静强度不够而引起的失效形式主要是整体破断或过大的残余变形,前者是应力超过强度极限,后者是应力超过屈服极限所致。

#### 3.4.1 计算系数

进行零件或构件的概率设计计算时,有些随机因素尚未查明或尚难查明。例如,试验模拟的近似性,计算简化假定的近似性,数据引用的近似性,生产使用情况的估计,人的素质等所引起的随机差异等都难以明确定量。针对这些难以定量或数据暂缺的情况,建议在计算载荷或应力时乘一个计算系数  $K$ ,其数值可参考各类机械设备的专业数据。例如,载荷系数、工况系数、经验安全系数等资料判断估计。例如,取计算系数均值  $\bar{K}=1.0\sim 1.5$  以上,变异系数  $V_K=0\sim 1.5$ 。当计算模型正确,但某些变异系数缺乏,可取  $\bar{K}=1, V_K>0$ ;当所有数据都来自与设计条件相同的试验,或者计算中所取数据偏于保守,则可取  $\bar{K}=1, V_K=0$ 。应该知道,这个系数沿袭了常规设计的处理方法。在取数据时注意已经由直接或间接试验定量考虑过的部分勿再计入,因此这个系数一般应小于常规设计时的取值。随着各随机因素统计定量的不断完善,系数  $\bar{K}$  逐渐趋于 1 而  $V_K$  逐渐趋于 0。

#### 3.4.2 正态分布的设计法

当应力和强度的分布及分布参数已知时,就可用本章 3.1 和 3.2 中的方法验算可靠度。

对不很复杂的情况,若应力和强度均服从正态分布或对数正态分布以及安全系数服从正态分布的情况,就可用 3.2.1 中的方法,按指定的可靠度先求得可靠安全系数,再按强度条件

$$\bar{x}_1 \leq \frac{\bar{x}_2}{n_R} \quad (31-203)$$

就可进行设计计算。这和常规设计计算的形式是一致的,只需注意要用均值进行计算。关于设计式中各参数的随机性统由可靠安全系数来考虑。

一般对可靠度要求不高(例如  $R \leq 0.90$ )、变异系数不大(例如  $V_{\sigma_1} \leq 0.05, V_{\sigma_2} \leq 0.05$ )的情况,应力和强度均服从正态分布、均服从对数正态分布以及安全系数服从正态分布这三种计算结果很近似,而安全系数服从正态分布的计算结果略趋保守。因此,当应力和强度的分布不很明确时,为了安全及计算简便,荐用安全系数服从正态分布的计算方法。

#### (1) 拉杆的静强度概率设计

**例 31-23** 圆截面拉杆,受轴向力  $F \sim N(250000, 15000^2)N$ ,所用材料抗拉强度极限  $\sigma_b \sim N(630, 31.5^2)N/mm^2$ ,要求不拉断失效的可靠度  $R=0.999$ ,求所需的截面直径  $d$ 。

**解** 工作应力函数

$$\sigma = \frac{4KF}{\pi d^2}$$

计算准确,取计算系数  $\bar{K}=1, V_K=0$ 。一般制造水平,取直径变异系数  $V_d=0.0025$ 。

载荷的变异系数  $V_F = \frac{S_F}{F} = \frac{15000}{250000} = 0.06$ ,求应力的变异系数,按式(31-196),式中  $\rho_{ij}=0$ ,故

$$V_{\sigma} = (V_K^2 + V_F^2 + 2^2 V_d^2)^{\frac{1}{2}} = (0 + 0.06^2 + 4 \times 0.0025^2)^{\frac{1}{2}} = 0.0602$$

强度极限的变异系数  $V_{\sigma_b} = \frac{S_{\sigma_b}}{\sigma_b} = \frac{31.5}{630} = 0.05$ 。

当  $R=0.999$ ,由表 31-36 查得  $Z_R=3.09$ 。

设应力服从正态分布,则应力和强度均服从正态分布。按式(31-183)得所需可靠安全系数

$$n_R = \frac{1 + Z_R(V_{\sigma}^2 + V_{\sigma_b}^2 - Z_R^2 V_{\sigma}^2 V_{\sigma_b}^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - Z_R^2 V_{\sigma}^2} = \frac{1 + 3.09(0.0602^2 + 0.05^2 - 3.09^2 \times 0.0602^2 \times 0.05^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - 3.09^2 \times 0.05^2} = 1.274$$

强度条件按式(31-203)

$$\frac{4\bar{K}F}{\pi d^2} \leq \frac{\bar{\sigma}_b}{n_R}$$

解得

$$d \geq \left( \frac{4\bar{K}F n_R}{\pi \bar{\sigma}_b} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{4 \times 1 \times 250000 \times 1.274}{\pi \times 630} \right)^{\frac{1}{2}} = 25.37 \text{ mm}$$

$$S_d = V_d d = 0.0025 \times 25.37 = 0.0634 \text{ mm}$$



将设计结果适当圆整,并取  $\Delta d = 3S_d = 3 \times 0.0634 = 0.19 \text{ mm}$ , 则  $d = 25.5 \pm 0.19 \text{ mm}$

(2) 轴的静强度概率设计 轴的静强度概率设计应以出现的尖峰载荷进行计算,并由强度理论确定工作应力。

**例 31-24** 某转轴受很大的瞬时尖峰载荷,危险截面受最大弯矩  $\bar{M} = 1.5 \times 10^8 \text{ Nmm}$ ,  $V_M = 0.05$ ; 最大转矩  $\bar{T} = 1.2 \times 10^8 \text{ Nmm}$ ,  $V_T = 0.05$ 。轴所用钢材的屈服极限  $\bar{\sigma}_s = 1038 \text{ N/mm}^2$ ,  $V_{\sigma_s} = 0.0392$ 。要求不发生屈服失效的可靠度  $R \geq 0.999$ , 求所需的直径。

**解** 工作应力按第四强度理论

$$\sigma = (\sigma_M^2 + 3\tau_T^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.1d^3} (M^2 + \frac{3}{4}T^2)^{\frac{1}{2}}$$

由于  $M$  和  $T$  是由同一力源产生,为正相关  $\rho_{MT} = 1$ , 故  $M$  和  $T$  可以合并为一个变量

$$\frac{T}{M} = \frac{\bar{T}}{\bar{M}} = \frac{1.2 \times 10^8}{1.5 \times 10^8} = 0.8, \text{ 即 } T = 0.8M$$

代入上式,并考虑计算系数  $K$ , 则工作应力可简化为

$$\sigma = \frac{12.166KM}{d^3}$$

上式即为应力函数,取计算系数  $\bar{K} = 1, V_K = 0$ ; 直径的变异系数  $V_d = 0.001$ 。

按式(31-196)求应力的变异系数,各变量相互独立  $\rho_{ij} = 0$ , 故

$$V_{\sigma} = (V_K^2 + V_M^2 + 3^2V_d^2)^{\frac{1}{2}} = (0 + 0.05^2 + 9 \times 0.001^2)^{\frac{1}{2}} \approx 0.05$$

按要求的  $R = 0.999$  查表 31-36 得  $Z_R = 3.09$ 。设安全系数服从正态分布,所需可靠安全系数由式(31-187)计算,式中

$$V_n = (V_{\sigma}^2 + V_{\sigma_s}^2)^{\frac{1}{2}} = (0.05^2 + 0.0392^2)^{\frac{1}{2}} = 0.0635$$

$$\text{则 } n_R = \frac{1}{1 - Z_R V_n} = \frac{1}{1 - 3.09 \times 0.0635} = 1.244$$

强度条件按式(31-203)

$$\frac{12.166\bar{K}\bar{M}}{d^3} \leq \frac{\bar{\sigma}_s}{n_R}$$

可解得

$$d \geq \left( \frac{12.166\bar{K}\bar{M}n_R}{\bar{\sigma}_s} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{12.166 \times 1 \times 1.5 \times 10^8 \times 1.244}{1038} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 129.8 \text{ mm}$$

$$\Delta d = 3S_d = 3V_d d = 3 \times 0.001 \times 129.8$$

$$= 0.389 \text{ mm}$$

适当圆整,取  $d = 130 \pm 0.39 \text{ mm}$

显然,这样求得的直径只满足静强度要求,关于疲劳强度还应另行验算。

(3) 螺栓联接的静强度概率设计 受预紧力和轴向工作载荷的紧螺栓联接是螺栓联接中最重要的一种形式。这里仅以此种联接为例说明螺栓联接的静强度概率设计。

**例 31-25** 某紧螺栓联接预紧时受预紧力  $Q_p \sim N(22000, 1980^2) \text{ N}$ , 工作时受轴向拉力  $F \sim N(52500, 5200^2) \text{ N}$ 。螺栓的相对刚度  $C \sim N(0.3, 0.024^2)$ , 螺栓材料的屈服极限  $\sigma_s \sim N(640, 45^2) \text{ N/mm}^2$ 。要求不发生屈服失效的可靠度  $R = 0.999$ , 求所需的螺栓直径。

**解** 螺栓所受的总拉力

$$Q = Q_p + CF$$

按式(31-191),螺栓所受总拉力的均值

$$\bar{Q} = \bar{Q}_p + \bar{C}\bar{F} = 22000 + 0.3 \times 52500 = 37750 \text{ N}$$

按式(31-192),各变量相互独立  $\rho_{ij} = 0$ , 标准差

$$S_Q = (S_{Q_p}^2 + \bar{F}^2 S_C^2 + \bar{C}^2 S_F^2)^{\frac{1}{2}} = (1980^2 + 52500^2 \times 0.024^2 + 0.3^2 \times 5200^2)^{\frac{1}{2}} = 2818.08 \text{ N}$$

螺栓所受的工作应力(考虑计算系数  $K$ )

$$\sigma = \frac{4 \times 1.3KQ}{\pi d_1^2}$$

取计算系数  $\bar{K} = 1.1, V_K = 0.05$ ; 螺栓小径  $d_1$  的变异系数  $V_{d_1} = 0.001$ 。按式(31-196)求应力的变异系数,各变量相互独立  $\rho_{ij} = 0$ , 故

$$V_{\sigma} = (V_K^2 + V_Q^2 + 2^2V_{d_1}^2)^{\frac{1}{2}} = \left( 0.05^2 + \left( \frac{2818.08}{37750} \right)^2 + 4 \times 0.001^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 0.09$$

按要求的  $R = 0.999$ , 查表 31-36 得  $Z_R = 3.09$ 。屈服极限的变异系数

$$V_{\sigma_s} = \frac{S_{\sigma_s}}{\bar{\sigma}_s} = \frac{45}{640} = 0.07$$

设应力服从正态分布,按式(31-183)得所需可靠安全系数

$$n_R = \frac{1 + Z_R(V_{\sigma}^2 + V_{\sigma_s}^2 - Z_R^2 V_{\sigma}^2 V_{\sigma_s}^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - Z_R^2 V_{\sigma}^2} = \frac{1 + 3.09(0.09^2 + 0.07^2 - 3.09^2 \times 0.09^2 \times 0.07^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - 3.09^2 \times 0.07^2} = 1.413$$

强度条件按式(31-203)

$$\frac{4 \times 1.3 \bar{K} \bar{Q}}{\pi d_1^3} \leq \frac{\bar{\sigma}_s}{n_R}$$

可解得

$$\begin{aligned} \bar{d}_1 &\geq \left( \frac{4 \times 1.3 \bar{K} \bar{Q} n_R}{\pi \sigma_s} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{4 \times 1.3 \times 1.1 \times 37750 \times 1.413}{\pi \times 640} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 12.319 \text{ mm} \end{aligned}$$

查螺栓标准得

公称直径  $d = 16 \text{ mm}$ , 小径  $d_1 = 13.835 \text{ mm}$

### 3.4.3 非正态分布的设计法

当应力和强度不全服从正态分布或对数正态分布,安全系数也不服从正态分布,对这样的设计问题推荐二种方法。

(1) 最小可靠度近似法 令  $x_s$  表示实际制造尺寸,通常认为  $x_s$  服从正态分布; $x_1$  表示按载荷、材料性能等因素得到的允许最小尺寸,一般  $x_1$  不服从正态分布。显然,可靠度

$$R = P(x_s > x_1) \quad (31-204)$$

如图31-25所示。这时的  $x_1$  即为应力-强度模型中的应力,  $x_s$  即为强度,是一种非正态分布和正态分布的干涉情况。干涉面积如图31-25中影线所示。若用  $x_0$  表示  $f_1(x_1)$  与  $f_s(x_s)$  两曲线交点  $a$  的横坐标,则  $a$  点的垂线将干涉面积分为  $Q_1$  和  $Q_2$  两个部分。 $Q_1$  是  $x_1 > x_0$  的概率,  $Q_2$  是  $x_s < x_0$  的概率。可以求得,最小可靠度

$$R_{\min} = (1 - Q_1)(1 - Q_2) \quad (31-205)$$

由此情况推算得到的可靠度是最保守的,当实际可靠度不很低时(例如  $R > 0.8$ ),则推算得到的可靠度已很接近于准确值。

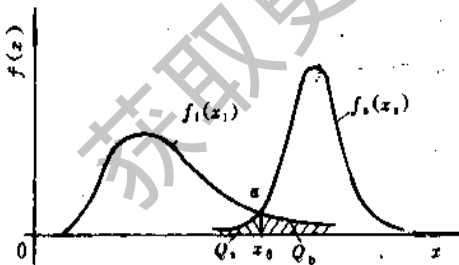


图31-25 应力-强度模型干涉情况

设计时,求尺寸  $\bar{x}_s$  和  $S_{x_s}$ 。适当选定  $Q_1$  和  $Q_2$ ,使最小可靠度满足指定的可靠度要求。设计步骤如下:

a. 按指定的可靠度  $R$  选定  $Q_1$ ,并按  $Q_1 = \Phi(Z_1)$

由表31-36或表31-6查得  $Z_1$ 。

b. 求  $Q_2$

$$Q_2 = 1 - \frac{R}{1 - Q_1} \quad (31-206)$$

c. 按强度条件求出允许最小尺寸  $x_1$  的函数式,并按统计分析或蒙特卡洛模拟法(见第5节)确定  $x_1$  的分布函数  $F_1(x_1)$  和概率密度  $f_1(x_1)$ 。

d. 按下式求  $x_0$

$$F_1(x_0) = 1 - Q_2 \quad \text{即} \quad x_0 = F_1^{-1}(1 - Q_2) \quad (31-207)$$

e. 按下式求  $S_{x_s}$

$$S_{x_s} = \frac{1}{f_1(x_0) \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_0^2}{2}} \quad (31-208)$$

如果求得的  $S_{x_s}$  过大,则改取较小的  $Q_1$  重算,反之则改取较大的  $Q_1$  重算。

f. 按下式求  $\bar{x}_s$

$$\bar{x}_s = x_0 - Z_{x_s} S_{x_s} \quad (31-209)$$

(2) 尺寸确定量近似法 一般的制造尺寸有较严的公差约束,可近似认为是确定量。令  $x_s$  表示实际制造尺寸,并近似取  $x_s = \bar{x}_s$ ;  $x_1$  表示按载荷、材料性能等因素获得的允许最小尺寸。这时的应力-强度模型的干涉情况如图31-26所示。显然,可靠度

$$R = P(x_1 < \bar{x}_s) = F_1(\bar{x}_s) \quad (31-210)$$

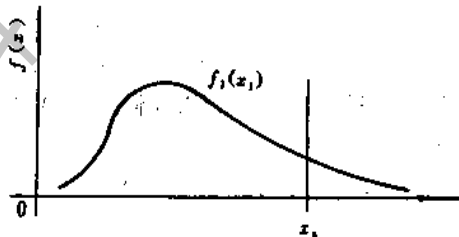


图31-26 应力-强度模型干涉情况

设计步骤如下:

a. 按强度条件求出允许最小尺寸  $x_1$  的函数式,并按统计分析或蒙特卡洛模拟法(见第5节)确定  $x_1$  的分布函数  $F_1(x_1)$ 。

b. 按式(31-210)解出  $\bar{x}_s$ ,即

$$\bar{x}_s = F_1^{-1}(R) \quad (31-211)$$

c. 按精度要求给定  $S_{x_s}$  或公差。

### 3.5 疲劳强度的概率设计

零件的疲劳强度与很多因素有关,计算比较麻烦,因此疲劳强度设计常以验算为主。通常可先按静

强度设计定出具体尺寸、结构和加工情况后,再验算可靠度或预计可靠寿命。

### 3.5.1 变应力和变载荷的类型

应力和载荷的变化规律基本上是类似的,广义的应力就包括载荷,故载荷不再叙述。

应力随时间变化的记录称为应力时间历程,按其变化规律可分为三种类型,如图31-27所示。其中,图 a) 为稳定变应力,每一周期的应力变化幅度均保持为常数;图 b) 为规律性不稳定变应力,其应力幅度也随时间变化,但在经过一定的时间(一个大周期)后,又重复原来的变化;图 c) 为随机不稳定变应力,其变化无明显的规律性。严格地讲,任何零件所受的变应力都属于随机性不稳定变应力。但为了研究和应用的方便,常近似假定为或简化为规律性不稳定变应力和稳定变应力。本节只介绍受稳定变应力时零件疲劳强度的概率设计。

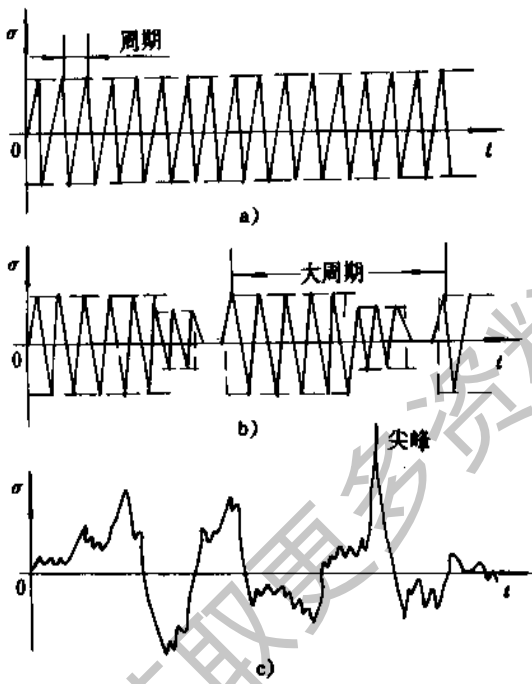


图31-27 应力时间历程的类型

应力的随机性按其设计中的影响可分为两种。一种是产品本身所受应力历程的随机性,它是反映产品本身所受应力随时间的随机变化;另一种是同样产品间的变异,它是反映同样产品,在同样工作条件下,由于受一些随机因素的影响而实际引起的应力并不一致。例如,同样类型的一批汽车,在相同

的载荷、道路等情况下对其后轴进行应力实测,各车本身应力随机的变化记录就反映了应力随时间变化的历程;若从各个记录中找出各自的最大应力,一般这些最大应力的不一致就反映了同样产品间的变异。实践表明,它们的应力历程各不相同,但经统计处理后可发现各个应力历程的分布规律是一致的,而分布参数并不一致。分布参数间的变异也可统计整理得出其分布规律。一般应力历程常用  $\beta$  分布等来描述,而分布参数的随机性则常用正态分布来描述。这里应注意,应力历程的变异是导致产品疲劳失效的根源,而同样产品间应力的变异是疲劳强度概率设计的基础。

### 3.5.2 零件的疲劳强度

零件或构件的疲劳强度由于结构、尺寸、表面等情况的影响,往往比标准光滑试件试验得到的材料疲劳强度低。用具体零件做相应载荷的疲劳试验,直接求得零件的疲劳强度是最符合实际情况的,然而通常难以办到。一般是利用相应的系数对材料的疲劳强度进行适当的修正作为零件的疲劳强度。下面仅介绍对称循环变应力的情况供设计时参考。

如图31-28所示的  $S-N$  曲线是用常规疲劳试验方法获得的,可近似看作失效概率为50%。由图知,疲劳强度随着应力循环次数  $N$  的增加而减小。零件的  $\sigma_{-1C}$  与材料的  $\sigma_{-1N}$  之差值则随着应力循环次数  $N$  的减小而减小。当  $S-N$  曲线开始接近水平时,其循环次数记为  $N_{\infty}$ ,并规定应力循环次数  $N=10^7$  时记为  $N_0$ 。

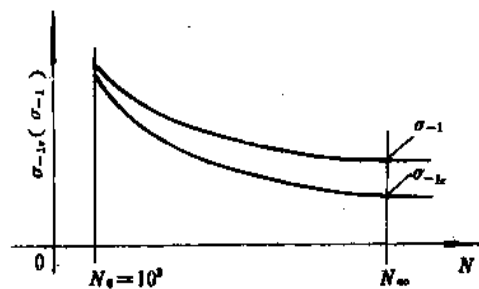


图31-28 零件和材料的  $S-N$  曲线

当  $N \geq N_{\infty}$  时,零件的疲劳强度记为  $\sigma_{-1C}$

$$\sigma_{-1C} = \frac{\sigma_{-1} \beta_q}{K_{\sigma c}} \quad (31-212)$$

式中  $\sigma_{-1}$  ——标准光滑试件的疲劳强度;  
 $\beta_q$  ——强化系数;  
 $K_{\sigma c}$  ——综合修正系数。

$$K_{\sigma c} = \frac{K_{\sigma}}{\epsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\beta} - 1 \quad (31-213)$$

式中  $K_{\sigma}$  ——有效应力集中系数；  
 $\epsilon_{\sigma}$  ——尺寸系数；  
 $\beta$  ——表面系数。

当  $N \geq N_{0c}$  时零件疲劳强度的均值

$$\bar{\sigma}_{-1c} = \frac{\bar{\sigma}_{-1} \bar{\beta}_{\sigma}}{K_{\sigma c}} \quad (31-214)$$

式中  $\bar{K}_{\sigma c} = \frac{\bar{K}_{\sigma}}{\epsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\beta} - 1 \quad (31-215)$

这里  $\bar{\sigma}_{-1}$  的数值最好用升降法试验获得，否则可用3.3.2节推荐的方法。其他各修正系数的均值，若缺乏专门的数据可暂取常规设计的数据作为均值。

当  $N \geq N_{0c}$  时零件疲劳强度的标准差

$$S_{\sigma_{-1c}} = \bar{\sigma}_{-1c} V_{\sigma_{-1c}} \quad (31-216)$$

式中  $V_{\sigma_{-1c}}$  ——零件疲劳强度的变异系数

$$V_{\sigma_{-1c}} = (V_{\sigma_{-1}}^2 + V_{\beta_{\sigma}}^2 + V_{K_{\sigma c}}^2 + V_{\sigma_{-1}} V_{K_{\sigma c}} + V_{\beta_{\sigma}} V_{K_{\sigma c}})^{\frac{1}{2}} \quad (31-217)$$

这里的各个  $V$  为相应于其脚标的变异系数。现分别介绍于下：

标准光滑试件疲劳强度的变异系数

$$V_{\sigma_{-1}} = (V_{\sigma_{-1}}^2 + V_{\sigma_{-1}}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (31-218)$$

表31-68 钢材疲劳强度的  $V_{\sigma_{-1}}$

生产水平	单件生产	批量生产	大量生产
高	0.10	0.09	0.08
中	0.11	0.10	0.09
低	0.12	0.11	0.10

注：1. 正火、调质当硬度差范围  $>40\text{HBS}$ ，增大10%； $>80\text{HBS}$  增大25%；

2. 整体淬火不脱碳增大10%，可能脱碳增大25%；

3. 渗碳不脱碳增大25%，可能脱碳增大40%；

4. 高频淬火有监控增大25%，无监控增大40%；

5. 氧化增大25%。

强化系数的变异系数  $V_{\beta_{\sigma}}$ ，当用喷丸、辊压等强化措施效果稳定，则取  $V_{\beta_{\sigma}} = 0.05$ ；效果不稳定，则取  $V_{\beta_{\sigma}} = 0.12$ ；若未强化，则取  $V_{\beta_{\sigma}} = 0$ 。

综合修正系数的变异系数可近似取

$$V_{K_{\sigma c}} \approx V_{\sigma_{-1}} \quad (31-222)$$

$V_{\sigma_{-1}}$  是理论应力集中系数  $\alpha_{\sigma}$  的变异系数。理论应力集中系数仅决定于几何形状和加载类型，典型的形状及加载情况多数能用公式给出其函数关系。例如图31-29的情况。

式中  $V_{\sigma_{-1}}$  ——考虑同炉材质疲劳强度差异的变异系数；

$V_{\sigma_{-1}}$  ——考虑不同炉材质疲劳强度差异的变异系数。

$V_{\sigma_{-1}}$  由同炉材质直接试验统计得到，例如表31-64中的数据即由同炉材质试验得到的。

$V_{\sigma_{-1}}$  由同牌号不同炉材料试验统计得到。例如， $\bar{\sigma}_{-1i}$  表示第  $i$  炉金属  $\sigma_{-1}$  的均值，则由  $n$  炉试验数据统计得

$$\bar{\sigma}_{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\sigma}_{-1i} \quad (31-219)$$

$$S_{\sigma_{-1}} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma}_{-1i} - \bar{\sigma}_{-1})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31-220)$$

$$V_{\sigma_{-1}} = \frac{S_{\sigma_{-1}}}{\bar{\sigma}_{-1}} \quad (31-221)$$

如果没有各炉材料  $\bar{\sigma}_{-1i}$  的数据，考虑疲劳强度与抗拉强度极限几乎成正比关系，可近似取  $V_{\sigma_{-1}} \approx V_{\sigma_b}$ 。最好由不同炉试验数据统计得到，缺乏数据时也可由表31-61选取。

对常用钢制零件的体积强度，如未做专门试验，可参考表31-68选取  $V_{\sigma_{-1}}$ 。

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{\left( \frac{H}{h} - 1 \right) h}{9.6 \left( 1.12 \frac{H}{h} - 1 \right)} \rho^{0.85} \quad (31-223)$$

当式中  $H, h, \rho$  的均值及标准差已知时，即可用泰勒展开法或蒙特卡洛模拟法求出  $\bar{\alpha}_{\sigma}, S_{\alpha_{\sigma}}$  和  $V_{\alpha_{\sigma}}$ 。各尺寸的标准差可对一批实物测量进行统计，若只有尺寸的公差或能估计其误差，则可按“3s”原则处理。各尺寸的分布类型一般可取为正态分布。

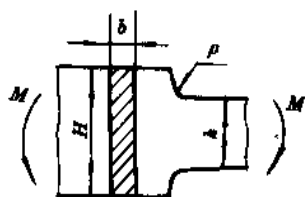


图31-29 受弯变截面的板

$\alpha_0$  值常用线图或数表的形式给出。因为应力集中的变异主要决定于应力集中区圆角尺寸的变异，故可假定其他尺寸为确定量或用名义尺寸代替，则按泰勒展开法得

$$S_{\sigma_0} \approx \left| \left( \frac{\partial \alpha_0}{\partial \rho} \right)_0 \right| S_{\rho} = \left| \frac{\Delta \alpha_0}{\Delta \rho} \right| S_{\rho} = \left| \frac{\alpha_{\rho_2} - \alpha_{\rho_1}}{\rho_2 - \rho_1} \right| S_{\rho} \quad (31-224)$$

式中  $\alpha_{\rho_1}, \alpha_{\rho_2}$  ——  $\rho$  值附近的  $\alpha_0$  值；  
 $\rho_1, \rho_2$  —— 对应  $\alpha_{\rho_1}, \alpha_{\rho_2}$  时的  $\rho$  值。

当  $N = N_0$  时，零件的疲劳强度

$$\sigma_{-1CN_0} = \frac{\sigma_{-1N_0}}{K_{\sigma N_0}} \quad (31-225)$$

式中  $\sigma_{-1N_0}$  ——  $N = N_0$  时材料的疲劳强度；  
 $K_{\sigma N_0}$  ——  $N = N_0$  时的有效应力集中系数。

$N = N_0$  时零件疲劳强度的均值

$$\bar{\sigma}_{-1CN_0} = \frac{\bar{\sigma}_{-1N_0}}{\bar{K}_{\sigma N_0}} \quad (31-226)$$

$$\bar{K}_{\sigma N_0} = (\bar{K}_{\sigma} - 1)q_{N_0} + 1 \quad (31-227)$$

式中  $\bar{K}_{\sigma}$  ——  $N \geq N_0$  时有效应力集中系数的均值；

$q_{N_0}$  ——  $N = N_0$  时的修正系数，查图31-30。

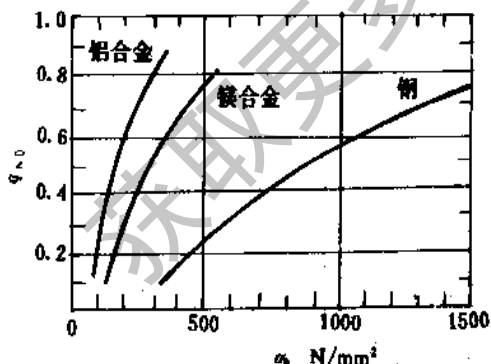


图31-30  $N_0$  时的修正系数

$N = N_0$  时零件疲劳强度的标准差和变异系数

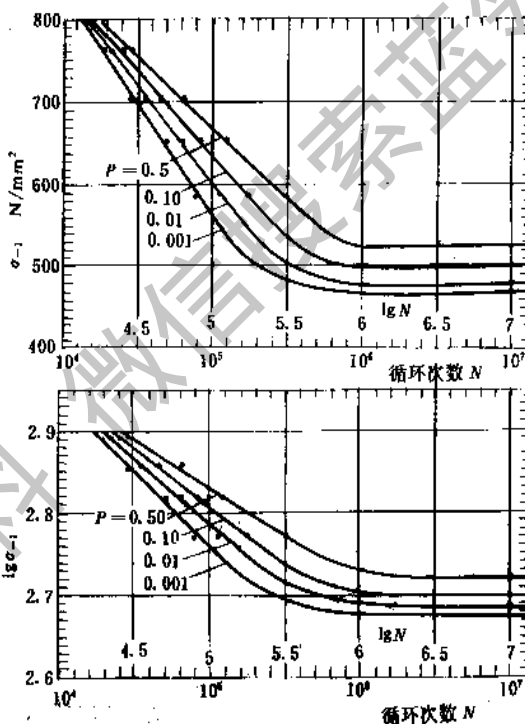
$$S_{\sigma_{-1CN_0}} = \bar{\sigma}_{-1CN_0} V_{\sigma_{-1CN_0}} \quad (31-228)$$

$$V_{\sigma_{-1CN_0}} = (V_{\sigma_{-1N_0}}^2 + V_{K_{\sigma N_0}}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (31-229)$$

也可近似取  $V_{\sigma_{-1N_0}} \approx V_{\sigma_0}, V_{K_{\sigma N_0}} \approx V_{K_{\sigma C}} \approx (0.3 \sim 0.5)V_{\sigma_0}$ 。

### 3.5.3 按 P-S-N 线图验算疲劳强度可靠度

图31-31为 P-S-N 线图，图中每根曲线都表示有相同的失效概率 P。当应力为确定量或应力的变异不大而假定为确定量时，就可按 P-S-N 线图进行可靠度验算。如果工作应力为对称循环，当要求的寿命为 N 时，则由应力  $\sigma$  和寿命 N 在图上描出一点。这点与失效概率为 P 的 S-N 曲线相交，则可靠度  $R = 1 - P$ 。



钢40CrNiMoA(850℃淬火, 580℃回火)

图31-31 按 P-S-N 线图验算可靠度

P-S-N 线图最好通过试验绘成。一般，曲线的右支在四、五个应力水平用成组试验法进行寿命试验，然后统计处理求出每一应力水平下的寿命分布；曲线的右支在指定的 N (一般略大于  $N_0$ ) 处用升降法进行疲劳强度试验，然后求出其均值和标准差

$$\bar{\sigma}_{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{-1i} \quad (31-230)$$

$$S_{\sigma_{-1}} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma_{-1i} - \bar{\sigma}_{-1})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31-231)$$



若因经济等原因不做具体的试验,可按下述步骤绘制近似的  $P-S-N$  曲线。

a. 绘制标准光滑试件的均值  $S-N$  曲线。根据不同的程度和经济条件,可用标准光滑试件按成组试验法和升降法绘制较精的  $P-S-N$  曲线,也可用较少试件绘制常规的  $S-N$  曲线,把它作为均值  $S-N$  曲线;对不很重要的情况或近似计算,也可参考有关文献中同样材料的数据绘制近似的均值  $S-N$  曲线,如图 31-32 中的  $b-a-c$  即为标准光滑试件的近似均值  $S-N$  曲线。对于常用的钢铁可近似取  $N_{\infty} = (1 \sim 10) 10^6$ ,无把握时可取  $N_{\infty} = 10^6$ , $\bar{\sigma}_{-1}$  可近似按表 31-65 ~ 66 等由  $\bar{\sigma}_b$  估算。 $N_0 = 10^3$  时的疲劳强度均值  $\bar{\sigma}_{-1N_0} \approx (0.6 \sim 1.0)\bar{\sigma}_b$ ,建议一般钢取  $\bar{\sigma}_{-1N_0} = 0.85\bar{\sigma}_b$ ,淬火钢取  $\bar{\sigma}_{-1N_0} = 0.65\bar{\sigma}_b$ ;灰铸铁、铁素体球墨铸铁取  $\bar{\sigma}_{-1N_0} \approx \bar{\sigma}_b$ ,珠光体球墨铸铁取  $\bar{\sigma}_{-1N_0} = 0.7\bar{\sigma}_b$ 。如图 31-32 那样,横坐标取为  $\lg N$ ,这时均值  $S-N$  曲线近似为一直线,故在半对数坐标纸上描得  $a, b$  两点,即可用直线绘得近似的均值  $S-N$  曲线。其实,如将纵坐标也取为对数,即  $\lg \sigma$ ,则在双对数坐标纸上均值  $S-N$  曲线也近似为直线。对一定的  $\bar{\sigma}_{-1}$  和  $\bar{\sigma}_{-1N_0}$  值,按双对数坐标为直线估得的  $\bar{\sigma}_{-1CN}$  偏于保守或认为偏于安全。

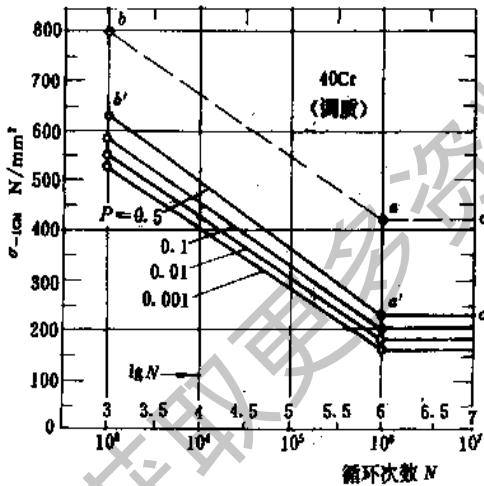


图 31-32 近似的  $P-S-N$  线图

b. 绘制零件的均值  $S-N$  曲线。将标准光滑试件的均值  $S-N$  曲线针对具体的应力集中、绝对尺寸和表面情况进行适当的修正,即可绘得零件的均值  $S-N$  曲线。对近似的均值  $S-N$  曲线(如图 31-32 中的  $b-a-c$ ),可将  $\bar{\sigma}_{-1}$  和  $\bar{\sigma}_{-1N_0}$  按 3.5.2 节的修正方法求得  $\bar{\sigma}_{-1C}$  和  $\bar{\sigma}_{-1CN_0}$ ,即可用直线绘得零件的近似均值  $S-N$

曲线(如图 31-32 中的  $b'-a'-c'$ )。

c. 绘零件的  $P-S-N$  曲线。对零件的均值  $S-N$  曲线按 3.5.2 节的方法,就  $N_{\infty}$  和  $N_0$  分别求出疲劳强度的标准差  $S_{\sigma_{-1C}}$  和  $S_{\sigma_{-1CN_0}}$ ,则  $N_{\infty}$  和  $N_0$  时不同失效概率  $P$  的疲劳强度

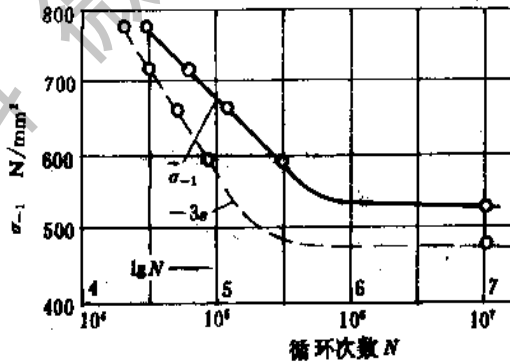
$$(\sigma_{-1C})_P = \bar{\sigma}_{-1C} + Z_P S_{\sigma_{-1C}} \quad (31-232)$$

$$(\sigma_{-1CN_0})_P = \bar{\sigma}_{-1CN_0} + Z_P S_{\sigma_{-1CN_0}} \quad (31-233)$$

式中  $Z_P$  ——按失效概率  $P$  查表 31-6  
将求得的各  $(\sigma_{-1C})_P$  和  $(\sigma_{-1CN_0})_P$  在图上描点,并对相同失效概率的点用直线相连,即得零件的  $P-S-N$  线图。图 31-32 绘出了零件的近似  $P-S-N$  曲线。

### 3.5.4 按 $3s-S-N$ 线图验算疲劳强度可靠度

图 31-33 为  $3s-S-N$  线图,图中实线为疲劳强度均值的  $S-N$  曲线,虚线为  $-3s$  的  $S-N$  曲线。 $3s-S-N$  线图的绘制方法与  $P-S-N$  线图类似, $-3s$  线相当于失效概率  $P = 0.00135 \approx 0.001$  线,因此, $3s-S-N$  线图与  $P-S-N$  线图几乎是重合的。图 31-33 即为由成组试验法和升降试验法统计处理后绘得的  $3s-S-N$  线图。图 31-34 为近似的  $3s-S-N$  线图。



850℃ 淬火, 580℃ 回火

图 31-33 40CrNiMoA 的  $3s-S-N$  线图

按  $3s-S-N$  线图进行疲劳强度的可靠度计算时,如图 31-35 所示。对有限寿命的疲劳强度可靠度计算,应在指定应力循环次数  $N$  处取疲劳强度的均值和标准差。例如图中  $a$  点的纵坐标为  $\bar{\sigma}_{-1CN}$ , $a$  点和  $b$  点纵坐标差的三分之一为  $S_{\sigma_{-1CN}}$ 。对无限寿命的疲劳强度可靠度计算则按  $N_{\infty}$  右边水平线部分取均值  $\bar{\sigma}_{-1C}$  和标准差  $S_{\sigma_{-1C}}$ 。

应该注意,若代表疲劳强度的纵轴取为对数坐标,则应将图中读出的数值取反对数后再取疲劳强



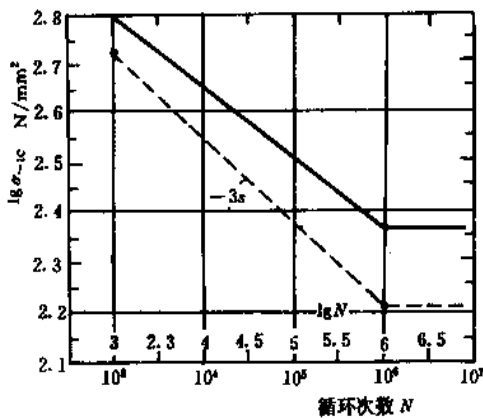
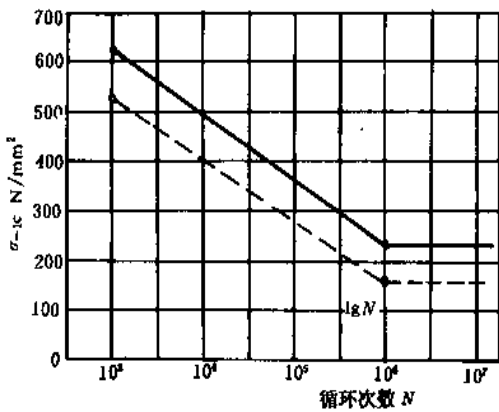


图31-34 40Cr 心轴的近似3s-S-N线图

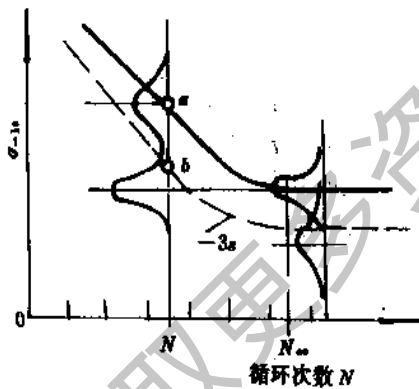


图31-35 按3s-S-N线图的计算  
度的均值和标准差。

为使用方便,将3s-S-N线图用经验公式来表示。按双对数坐标上的3s-S-N近似直线,寿命为N的零件疲劳强度均值

$$\bar{\sigma}_{-1CN} = \bar{\sigma}_{-1C} K_N \quad (31-234)$$

式中  $K_N$  —— 均值线的寿命系数

$$K_N = \left( \frac{N_{\infty}}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (31-235)$$

式中  $N$  —— 指定的应力循环次数,当  $N > N_{\infty}$ ,取  $N = N_{\infty}$ ,当  $N < N_0$ ,取  $N = N_0$ ;

$m$  —— 均值线的试验指数。

$$m = \frac{\lg N_{\infty} - \lg N_0}{\lg \bar{\sigma}_{-1CN_0} - \lg \bar{\sigma}_{-1C}} \quad (31-236)$$

寿命为N时零件疲劳强度的标准差

$$S_{\sigma_{-1CN}} = \frac{\bar{\sigma}_{-1CN} (\sigma_{-1CN})_{-3s}}{3} \quad (31-237)$$

式中  $(\sigma_{-1CN})_{-3s}$  —— 指定寿命N时-3s线上疲  
劳强度

$$(\sigma_{-1CN})_{-3s} = (1 - 3V_{\sigma_{-1C}}) \bar{\sigma}_{-1C} (K_N)_{-3s} \quad (31-238)$$

式中  $(K_N)_{-3s}$  —— -3s线上的寿命系数

$$(K_N)_{-3s} = \left( \frac{N_{\infty}}{N} \right)^{\frac{1}{m-3s}} \quad (31-239)$$

式中  $m_{-3s}$  —— -3s线上的试验指数

$$m_{-3s} = \frac{\lg N_{\infty} - \lg N_0}{\lg(1-3V_{\sigma_{-1CN_0}}) \bar{\sigma}_{-1CN_0} - \lg(1-3V_{\sigma_{-1C}}) \bar{\sigma}_{-1C}} \quad (31-240)$$

当疲劳强度的均值和标准差求得后,若再按载荷和几何尺寸等求得工作应力的均值和标准差,即可用3.1节的方法验算零件的疲劳强度可靠度。

### 3.5.5 按3s- $\sigma_m$ - $\sigma_a$ 线图验算疲劳强度可靠度

图31-36是3s- $\sigma_m$ - $\sigma_a$ 的线图。图中实线为 $\sigma_m$ - $\sigma_a$ 曲线的均值,虚线与均值曲线间隔为三倍的标准差,即-3s线。当已有所设计零件的相应3s- $\sigma_m$ - $\sigma_a$ 线图时,则强度的均值和标准差即可直接从图上量取。若工作中应力循环特性r为常量,可按工作应力 $\bar{\sigma}_m$ 和 $\bar{\sigma}_a$ 在图中描得一点A,过原点O和该点引一直线 $\overline{OA}$ ,应力和强度均按 $\overline{OA}$ 线方向的向量和计算。类似,若工作中平均应力 $\sigma_m$ 为常量,可按 $\sigma_m$ 在图上引垂线 $\overline{BB'}$ ,计算时按工作应力幅、强度数据 $\bar{\sigma}_a$ 和 $S_a$ 都在 $\overline{BB'}$ 线上量取。若工作中最小应力 $\sigma_{min}$ 为常量,可按 $\sigma_{min}$ 在图上引45°斜线 $\overline{CC'}$ ,应力和强度均按在 $\overline{CC'}$ 方向的向量和计算。

图31-37为某零件的3s- $\sigma_m$ - $\sigma_a$ 线图,对最常用的r为常量的情况,工作应力的均值

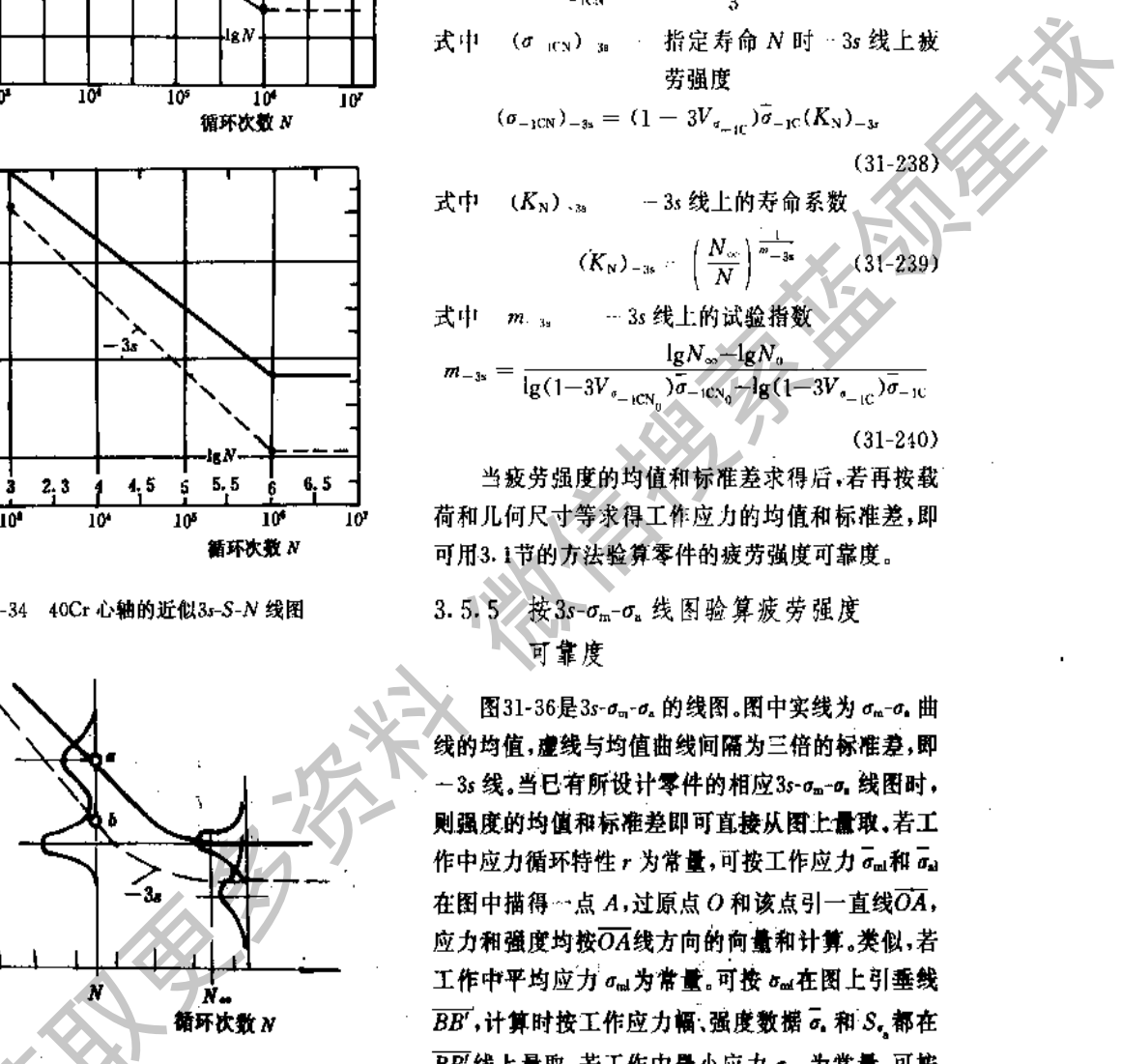
$$\bar{\sigma}_a = (\bar{\sigma}_m^2 + \bar{\sigma}_a^2)^{\frac{1}{2}} \quad (31-241)$$

式中  $\bar{\sigma}_m$  —— 工作应力的平均应力均值;

$\bar{\sigma}_a$  —— 工作应力的应力幅均值。

工作应力的标准差

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!



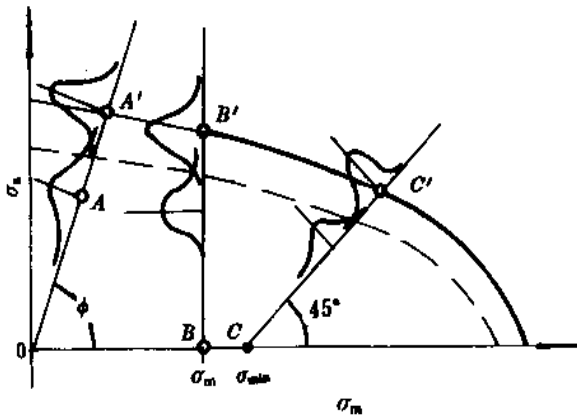


图31-36 按3s-σ<sub>m</sub>-σ<sub>a</sub>线图的计算

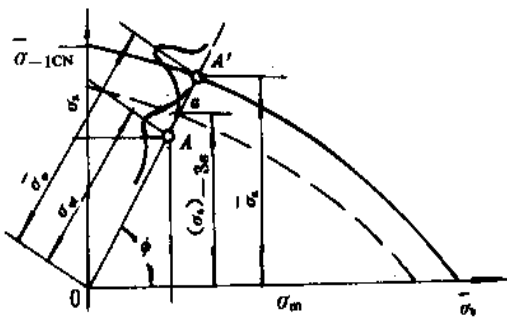


图31-37 某零件的3s-σ<sub>m</sub>-σ<sub>a</sub>线图

$$S_{\sigma_m} = (S_{\sigma_m}^2 + S_{\sigma_a}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (31-242)$$

式中  $S_{\sigma_m}$  —— 工作应力的平均应力标准差；

$S_{\sigma_a}$  —— 工作应力的应力幅标准差。

疲劳强度可直接从图上量得，即  $\bar{\sigma}_a = \overline{OA'}$ ， $S_{\sigma_a} = \frac{aA'}{3}$ 。

疲劳强度也可按近似的经验公式来求。这时常假设  $\sigma_m - \sigma_a$  曲线为直线、抛物线或折线，如图31-38所示。通常应先求出疲劳强度的  $\bar{\sigma}_a$  和  $(\sigma_a)_{-3s}$ ，则

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\bar{\sigma}_a}{\sin\phi} \quad (31-243)$$

$$S_{\sigma_a} = \frac{\bar{\sigma}_a - (\sigma_a)_{-3s}}{3\sin\phi} \quad (31-244)$$

$$\phi = \arctan \frac{\bar{\sigma}_a}{\sigma_m} \quad (31-245)$$

$\bar{\sigma}_a$  和  $(\sigma_a)_{-3s}$  按不同近似假设分别为：

按直线(图31-38a)

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\bar{\sigma}_{-1CN}\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{-1CN}\cot\phi + \sigma_b} \quad (31-246)$$

$$(\sigma_a)_{-3s} = \frac{(1-3V_{\sigma_{-1CN}})(1-3V_{\sigma_b})\bar{\sigma}_{-1CN}\bar{\sigma}_b}{(1-3V_{\sigma_{-1CN}})\bar{\sigma}_{-1CN}\cot\phi + (1-3V_{\sigma_b})\bar{\sigma}_b} \quad (31-247)$$

按抛物线(图31-38b)

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\bar{\sigma}_b^2 \tan^2\phi}{2\bar{\sigma}_{-1CN}} \left[ \left( 1 + \frac{4\bar{\sigma}_{-1CN}^2}{\bar{\sigma}_b^2 \tan^2\phi} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (31-248)$$

$$(\sigma_a)_{-3s} = \frac{(1-3V_{\sigma_b})^2 \bar{\sigma}_b^2 \tan^2\phi}{2(1-3V_{\sigma_{-1CN}})\bar{\sigma}_{-1CN}} \left\{ \left[ 1 + \frac{4(1-3V_{\sigma_{-1CN}})^2 \bar{\sigma}_{-1CN}^2}{(1-3V_{\sigma_b})^2 \bar{\sigma}_b^2 \tan^2\phi} \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \quad (31-249)$$

按折线(图31-38c)

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\bar{\sigma}_{-1CN}}{1 + \psi_s \cot\phi} \quad (31-250)$$

$$\psi_s = \frac{2\bar{\sigma}_{-1CN} - \bar{\sigma}_{\sigma CN}}{\sigma_{\sigma CN}} \quad (31-251)$$

$$(\sigma_a)_{-3s} = \frac{(1-3V_{\sigma_{-1CN}})\bar{\sigma}_{-1CN}}{1 + (\psi_s)_{-3s} \cot\phi} \quad (31-252)$$

$$(\psi_s)_{-3s} = \frac{2(1-3V_{\sigma_{-1CN}})\bar{\sigma}_{-1CN} - (1-3V_{\sigma_{\sigma CN}})\bar{\sigma}_{\sigma CN}}{(1-3V_{\sigma_{\sigma CN}})\sigma_{\sigma CN}} \quad (31-253)$$

求得  $\bar{\sigma}_a$  和  $S_{\sigma_a}$  后，当工作应力已知，按式(31-241)、(31-242)就可求得  $\bar{\sigma}_m$  和  $S_{\sigma_m}$ ，然后按3.1节的方法验算零件的疲劳强度可靠度。

### 3.5.6 按等效应力验算疲劳强度可靠度

当应力循环特性  $r$  为常量时，非对称循环的变应力可近似化为疲劳等效的对称循环变应力。这时强度的均值即为  $\bar{\sigma}_{-1CN}$ ，变异系数为  $V_{\sigma_{-1CN}}$ 。应力的均值为等效应力的均值

$$\bar{\sigma}_e = \bar{\sigma}_a + \psi_s \bar{\sigma}_m \quad (31-254)$$

式中  $\psi_s$  —— 折算等效系数。

按直线的近似3s-σ<sub>m</sub>-σ<sub>a</sub>线图

$$\psi_s = \frac{\bar{\sigma}_{-1CN} - \bar{\sigma}_a}{\sigma_b} = \frac{\bar{\sigma}_{-1CN} K_N - \bar{\sigma}_a}{\sigma_b} \quad (31-255)$$

按抛物线的近似3s-σ<sub>m</sub>-σ<sub>a</sub>线图

$$\psi_s = \frac{\bar{\sigma}_{-1CN} - \bar{\sigma}_a}{\sigma_m} = \frac{\bar{\sigma}_{-1CN} K_N - \bar{\sigma}_a}{\sigma_b \cot\phi} \quad (31-256)$$

这里的  $\bar{\sigma}_a$  按式(31-248)求， $\phi$  按式(31-245)求。

按折线的近似3s-σ<sub>m</sub>-σ<sub>a</sub>线图，当  $\phi \geq 45^\circ$  时

$$\psi_s = \frac{2\bar{\sigma}_{-1CN} - \bar{\sigma}_{\sigma CN}}{\sigma_{\sigma CN}} \approx \frac{K_N(2\bar{\sigma}_{-1} - \bar{\sigma}_b)}{K_D \sigma_b} \quad (31-257)$$

超星浏览器提醒您：  
禁止复制或传播  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆

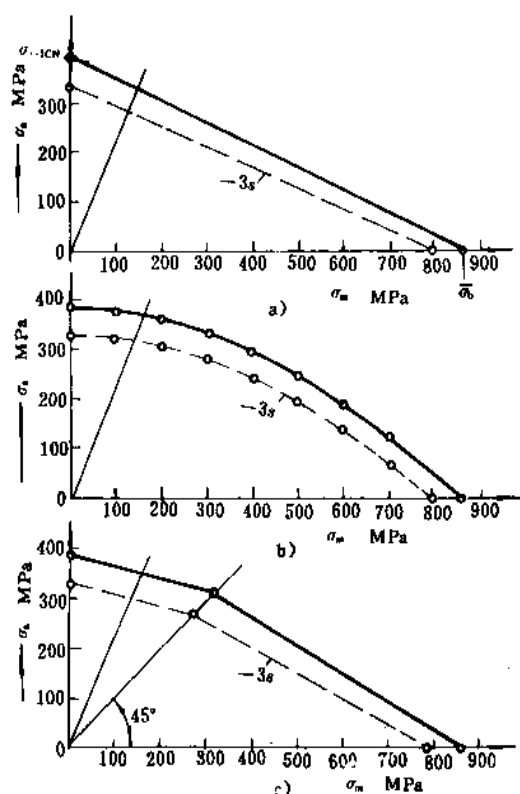


图31-38 近似的3s-σ<sub>m</sub>-σ<sub>a</sub>线图  
a) 直线; b) 抛物线; c) 折线

这里的  $K_{\sigma} = \frac{\bar{K}_{\sigma}}{\beta_{\sigma}}$  (见 3.5.2 节)。

应力的变异系数为等效应力的变异系数

$$V_{\sigma} = V_{\sigma_{al}} = V_{\sigma} \quad (31-258)$$

当应力和强度的均值和变异系数已知时,即可用 3.1 节和 3.2 节的方法验算零件疲劳强度可靠度。

### 3.5.7 受复合应力时疲劳强度可靠度的验算

受复合应力时,可根据相应的强度理论求适当的计算应力。受非对称循环变应力时仍可用等效应力的概念。例如,轴的危险截面上同时受有非对称循环的正应力  $\sigma_a$  和剪应力  $\tau_a$ , 则

$$\sigma_{al} = \frac{1-r_{\sigma}}{2}\sigma_a, \sigma_{ml} = \frac{1+r_{\sigma}}{2}\sigma_a, \sigma_c = \sigma_{al} + \phi_{\sigma}\sigma_{ml}$$

$$\tau_{al} = \frac{1-r_{\tau}}{2}\tau_a, \tau_{ml} = \frac{1+r_{\tau}}{2}\tau_a, \tau_c = \tau_{al} + \phi_{\tau}\tau_{ml}$$

若按第四强度理论,则计算应力

$$\sigma_1 = (\sigma_c^2 + 3\tau_c^2)^{\frac{1}{2}}$$

这时,强度仍用对称循环的疲劳强度  $\sigma_{-1CN}$  计算方法同前。

### 3.5.8 疲劳强度可靠度计算的应用举例

#### (1) 轴的疲劳强度可靠度计算

**例 31-26** 某回转心轴用 40Cr 制造,调质后抗拉强度极限  $\bar{\sigma}_b = 939.6 \text{ N/mm}^2$ ,危险截面为变断面圆角过渡,  $D=120 \text{ mm}$ ,  $d=100 \text{ mm}$ ,  $\rho=10 \pm 2 \text{ mm}$ ,精车,受弯矩  $M=30000 \text{ Nm}$ ,验算  $N=10^6$  时不疲劳失效的可靠度。

**解** 1) 绘制零件的近似  $P-S-N$  曲线

取  $N_{\infty} = 10^6$ ,  $N_0 = 10^3$ ,  $\bar{\sigma}_{-1} = 0.45\bar{\sigma}_b = 422.82 \text{ N/mm}^2$ ,  $\bar{\sigma}_{-1N_0} = 0.85\bar{\sigma}_b = 798.66 \text{ N/mm}^2$ ,在图上描点连接成光滑试件的近似均值  $S-N$  曲线,如图 31-32 中虚线  $b-a-c$ 。

取一般常规设计修正系数作为均值:  $\bar{K}_{\sigma} = 1.53$ ,  $\bar{\epsilon}_{\sigma} = 0.92$ ,  $\bar{\beta} = 0.92$ ,  $\bar{\beta}_q = 1$ ,按式 (31-215),综合修正系数均值

$$\begin{aligned} \bar{K}_{\sigma c} &= \frac{\bar{K}_{\sigma}}{\bar{\epsilon}_{\sigma}} + \frac{1}{\bar{\beta}} - 1 \\ &= \frac{1.53}{0.92} + \frac{1}{0.92} - 1 = 1.75 \end{aligned}$$

按式 (31-214),  $N_0$  时零件疲劳强度均值

$$\bar{\sigma}_{-1c} = \frac{\bar{\sigma}_{-1N_0}}{\bar{K}_{\sigma c}} = \frac{798.66}{1.75} = 456.38 \text{ N/mm}^2$$

由图 31-30 查得  $q_{N_0} = 0.52$ ,按式 (31-227),  $N_0$  时的有效应力集中系数均值

$$\begin{aligned} \bar{K}_{\sigma N_0} &= (\bar{K}_{\sigma} - 1)q_{N_0} + 1 \\ &= (1.53 - 1) \times 0.52 + 1 = 1.276 \end{aligned}$$

按式 (31-226),  $N_0$  时零件疲劳强度均值

$$\bar{\sigma}_{-1cN_0} = \frac{\bar{\sigma}_{-1N_0}}{\bar{K}_{\sigma N_0}} = \frac{798.66}{1.276} = 626.62 \text{ N/mm}^2$$

在图上描点连接成零件的近似均值  $S-N$  曲线,即图 31-32 中  $P=0.50$  的曲线。

取  $V_{\sigma_{-1}} = 0.10$ ,  $V_{\beta} = 0$ ,  $V_{K_{\sigma c}} = 0.025$ ,按式 (31-217),  $N_{\infty}$  时零件疲劳强度的变异系数

$$\begin{aligned} V_{\sigma_{-1c}} &= (V_{\sigma_{-1}}^2 + V_{\beta}^2 + V_{K_{\sigma c}}^2 + V_{\sigma_{-1}}V_{K_{\sigma c}} + V_{\beta}V_{K_{\sigma c}})^{\frac{1}{2}} \\ &= (0.10^2 + 0 + 0.025^2 + 0.10 \times 0.025 + 0)^{\frac{1}{2}} \\ &= 0.115 \end{aligned}$$

按式 (31-216),零件疲劳强度的标准差

$$\begin{aligned} S_{\sigma_{-1c}} &= \bar{\sigma}_{-1c}V_{\sigma_{-1c}} = 456.38 \times 0.115 \\ &= 52.48 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

指定  $P=0.10, 0.01, 0.001$ ,由表 31-6 查得相应的  $Z_P = -1.282, -2.326, -3.090$ ,按式 (31-232),  $N_{\infty}$  时不同失效概率  $P$  时零件的疲劳强度

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{-1C})_{0.10} &= \bar{\sigma}_{-1C} + Z_p S_{\sigma_{-1C}} \\
 &= 241.6 - 1.282 \times 27.79 \\
 &= 205.98 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{-1C})_{0.01} &= 241.6 - 2.326 \times 27.79 \\
 &= 176.97 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{-1C})_{0.001} &= 241.6 - 3.090 \times 27.79 \\
 &= 155.74 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

取  $V_{\sigma_{-1CN_0}} \approx V_{\sigma_0} = 0.05, V_{\kappa_{\sigma_{-1CN_0}}} \approx V_{\kappa_{\sigma_0}} = 0.025$ , 按式 (31-229),  $N_0$  时零件疲劳强度的变异系数

$$\begin{aligned}
 V_{\sigma_{-1CN_0}} &= (V_{\sigma_{-1CN_0}}^2 + V_{\kappa_{\sigma_{-1CN_0}}}^2)^{\frac{1}{2}} \\
 &= (0.05^2 + 0.025^2)^{\frac{1}{2}} = 0.056
 \end{aligned}$$

按式 (31-228), 零件疲劳强度的标准差

$$\begin{aligned}
 S_{\sigma_{-1CN_0}} &= \bar{\sigma}_{-1CN_0} V_{\sigma_{-1CN_0}} = 625.91 \times 0.056 \\
 &= 35.05 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

按式 (31-233),  $N_0$  时不同失效概率  $P$  时零件的疲劳强度

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{-1CN_0})_{0.10} &= \bar{\sigma}_{-1CN_0} + Z_p S_{\sigma_{-1CN_0}} \\
 &= 625.91 - 1.282 \times 35.05 \\
 &= 580.98 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{-1CN_0})_{0.01} &= 625.91 - 2.326 \times 35.05 \\
 &= 544.38 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{-1CN_0})_{0.001} &= 625.91 - 3.090 \times 35.05 \\
 &= 517.61 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

用这些值在图上描点, 并将相同  $P$  的点用直线相连, 得近似  $P$ - $S$ - $N$  曲线, 即图 31-32 的线图。

2) 验算零件不疲劳失效的可靠度

$$\begin{aligned}
 m_{-3\sigma} &= \frac{\lg N_{\infty} - \lg N_0}{\lg(1 - 3V_{\sigma_{-1CN_0}}) \bar{\sigma}_{-1CN_0} - \lg(1 - 3V_{\sigma_{-1C}}) \bar{\sigma}_{-1C}} \\
 &= \frac{\lg 10^6 - 10^3}{\lg(1 - 3 \times 0.056) \times 625.91 - \lg(1 - 3 \times 0.115) \times 241.6} = 5.799
 \end{aligned}$$

-3 $\sigma$  线的寿命系数, 按式 (31-239)

$$(K_N)_{-3\sigma} = \left(\frac{N_{\infty}}{N}\right)^{\frac{1}{m_{-3\sigma}}} \left(\frac{10^6}{10^3}\right)^{\frac{1}{5.799}} = 1.487$$

$N=10^6$  时 -3 $\sigma$  线上疲劳强度, 按式 (31-238)

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{-1CN})_{-3\sigma} &= (1 - 3V_{\sigma_{-1C}}) \bar{\sigma}_{-1C} (K_N)_{-3\sigma} \\
 &= (1 - 3 \times 0.115) \times 241.6 \times 1.487 \\
 &= 235.31 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$N=10^6$  时疲劳强度的标准差, 按式 (31-237)

$$\begin{aligned}
 S_{\sigma_{-1CN}} &= \frac{\bar{\sigma}_{-1CN} - (\sigma_{-1CN})_{-3\sigma}}{3} \\
 &= \frac{331.72 - 235.31}{3} = 32.14 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

求工作应力, 按材料力学公式

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32 \times 30000 \times 10^3}{\pi \times 100^3} = 305.58 \text{ N/mm}^2$$

由指定的  $N=10^5$ , 即  $\lg N = \lg 10^5 = 5$ , 以及工作应力  $\sigma = 305.58$  在图 31-32 中描点。由图知, 此点约在  $P=0.01$  的  $S$ - $N$  线上, 故不疲劳失效的可靠度

$$R = 1 - P = 1 - 0.01 = 0.99$$

**例 31-27** 数据同例 31-26。若危险截面的弯应力  $\sigma \sim N(300, 21^2)$  N/mm<sup>2</sup>, 求  $N=10^6$  时疲劳强度的可靠度。

**解** 由例 31-26 得  $N_{\infty}=10^6$  时,  $\bar{\sigma}_{-1C}=241.6$  N/mm<sup>2</sup>,  $S_{\sigma_{-1C}}=27.79$  N/mm<sup>2</sup>,  $V_{\sigma_{-1C}}=0.115$ ;  $N_0=10^3$  时,  $\bar{\sigma}_{-1CN_0}=625.91$  N/mm<sup>2</sup>,  $S_{\sigma_{-1CN_0}}=35.05$  N/mm<sup>2</sup>,  $V_{\sigma_{-1CN_0}}=0.056$ 。该零件的 3 $\sigma$ - $S$ - $N$  线图类似图 31-34。现按双对数坐标的经验公式求  $\bar{\sigma}_{-1CN}$  和  $S_{\sigma_{-1CN}}$ 。

均值线的试验指数, 按式 (31-236)

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{\lg N_{\infty} - \lg N_0}{\lg \bar{\sigma}_{-1CN_0} - \lg \bar{\sigma}_{-1C}} = \frac{\lg 10^6 - \lg 10^3}{\lg 625.91 - \lg 241.6} \\
 &= 7.257
 \end{aligned}$$

均值线的寿命系数, 按式 (31-235)

$$K_N = \left(\frac{N_{\infty}}{N}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{10^6}{10^5}\right)^{\frac{1}{7.257}} = 1.373$$

$N=10^5$  时疲劳强度的均值, 按式 (31-234)

$$\begin{aligned}
 \bar{\sigma}_{-1CN} &= \bar{\sigma}_{-1C} K_N = 241.6 \times 1.373 \\
 &= 331.72 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

-3 $\sigma$  线的试验指数, 按式 (31-240)

设强度也服从正态分布, 按表 31-55

$$\begin{aligned}
 Z_R &= \frac{\bar{\sigma}_{-1CN} - \sigma}{(S_{\sigma_{-1CN}}^2 + S_{\sigma}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{331.72 - 300}{(32.14^2 + 21^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= 0.8262
 \end{aligned}$$

由  $Z_R=0.8262$  查表 31-6 得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(0.8262) = 0.7955$$

**例 31-28** 45 钢制转轴, 已知危险截面直径  $d = 70^{+0.033}$  mm, 综合修正系数  $\bar{K}_{\sigma} = \bar{K}_{\sigma} = 3.8, V_{\sigma_{\sigma}} = 0.04$ , 表面未强化处理,  $\sigma_b = 600$  N/mm<sup>2</sup>,  $V_{\sigma_b} = 0.043, \bar{\sigma}_{-1} = 275$  N/mm<sup>2</sup>,  $V_{\sigma_{-1}} = 0.041, \bar{\tau}_b = 370$  N/mm<sup>2</sup>,  $V_{\tau_b} = 0.10, \bar{\tau}_{-1} = 140$  N/mm<sup>2</sup>,  $V_{\tau_{-1}} = 0.035$ 。受

扭矩  $\bar{T} = 3360000 \text{ Nmm}$ ,  $V_T = 0.10$ , 弯矩  $\bar{M} = 565000 \text{ Nmm}$ ,  $V_M = 0.10$ . 试按直线和抛物线近似的  $3s-\sigma_m-\sigma_s$  线图验算该截面不疲劳失效的可靠度 ( $N > N_\infty$ ).

解 1) 疲劳强度, 以对称循环正应力为准, 按式 (31-214) 和 (31-217), 式中  $\bar{\beta}_1 = 1, V_{\beta_1} = 0$ , 故

$$\bar{\sigma}_{-1C} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}\bar{\beta}_1}{K_{\sigma C}} = \frac{275 \times 1}{3.8} = 72.368 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{\sigma_{-1C}} = (V_{\sigma_{-1}}^2 + V_{\beta_1}^2 + V_{K_{\sigma C}}^2 + V_{\sigma_{-1}}V_{K_{\sigma C}} + V_{\beta_1}V_{K_{\sigma C}})^{\frac{1}{2}}$$

$$= (0.041^2 + 0 + 0.04^2 + 0.041 \times 0.04 + 0)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.0701$$

2) 求正应力, 正应力由弯矩产生, 为对称循环, 故  $\sigma_{m1} = 0$ , 直径  $d$  有较严的公差限制, 可假定为确定量, 故  $\bar{\sigma}_{s1} = \frac{\bar{M}}{0.1d^3} = \frac{565000}{0.1 \times 70^3} = 16.472 \text{ N/mm}^2$

$$V_{\sigma_{s1}} = V_M = 0.10$$

3) 求剪应力, 剪应力由扭矩产生, 假设为脉动循环, 故

$$\bar{\tau}_{s1} = \bar{\tau}_{m1} = \frac{\bar{\tau}_{m1}}{2} = \frac{\bar{T}}{2 \times 0.2d^3}$$

$$= \frac{3360000}{2 \times 0.2 \times 70^3} = 24.490 \text{ N/mm}^2$$

4) 求等效应力, 因正应力  $\bar{\sigma}_{m1} = 0$ , 故  $\bar{\sigma}_e = \bar{\sigma}_{s1} = 16.472 \text{ N/mm}^2$ .

按直线近似  $3s-\sigma_m-\sigma_s$  线图求  $\bar{\tau}_e$  时, 将式 (31-254) 和 (31-255) 中的  $\sigma$  换为  $\tau$ , 并因  $N > N_\infty, K_N = 1$ , 故

$$\phi_\tau = \frac{\bar{\tau}_{-1C}}{\bar{\tau}_b} = \frac{\bar{\tau}_{-1}}{K_{\tau C}\bar{\tau}_b} = \frac{140}{3.8 \times 370} = 0.0996$$

$$\bar{\tau}_e = \bar{\tau}_{s1} + \phi_\tau \bar{\tau}_{m1} = 24.490 + 0.0996 \times 24.490 = 26.929 \text{ N/mm}^2$$

按抛物线近似  $3s-\sigma_m-\sigma_s$  线图求  $\bar{\tau}_e$  时, 先按式 (31-248) 求出  $\bar{\tau}_s$ , 将式中的  $\sigma$  换为  $\tau$ , 并因  $\tan\phi = 1$ ,

$$N > N_\infty, \bar{\tau}_{-1C} = \frac{\bar{\tau}_{-1}}{K_{\tau C}} = \frac{140}{3.8} = 36.842 \text{ N/mm}^2, \text{ 故}$$

$$\bar{\tau}_s = \frac{\bar{\tau}_b^2 \tan^2\phi}{2\bar{\tau}_{-1C}} \left[ \left( 1 + \frac{4\bar{\tau}_{-1C}^2}{\bar{\tau}_b^2 \tan^2\phi} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

$$= \frac{370^2 \times 1}{2 \times 36.842} \left[ \left( 1 + \frac{4 \times 36.842^2}{370^2 \times 1} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

$$= 36.484 \text{ N/mm}^2$$

按式 (31-254) 和 (31-256)

$$\phi_\tau = \frac{\bar{\tau}_{-1C} - \bar{\tau}_s}{\bar{\tau}_s \cot\phi} = \frac{36.842 - 36.484}{36.484 \times 1}$$

$$= 0.0098$$

$$\bar{\tau}_e = \bar{\tau}_{s1} + \phi_\tau \bar{\tau}_{m1} = 24.490 + 0.0098 \times 24.490 = 24.730 \text{ N/mm}^2$$

5) 求计算应力, 按第四强度理论, 直线近似线图的计算应力均值

$$\bar{\sigma}_1 = (\bar{\sigma}_e^2 + 3\bar{\tau}_e^2)^{\frac{1}{2}} = (16.472^2 + 3 \times 26.929^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 49.466 \text{ N/mm}^2$$

抛物线近似线图的计算应力均值

$$\bar{\sigma}_1 = (\bar{\sigma}_e^2 + 3\bar{\tau}_e^2)^{\frac{1}{2}} = (16.472^2 + 3 \times 24.730^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 45.892 \text{ N/mm}^2$$

工作应力的正应力和剪应力由同一力源产生, 故  $V_\eta = V_\sigma = V_\tau = V_M = 0.10$ .

6) 验算可靠度, 设应力、强度均服从正态分布, 按式 (31-181) 和 (31-182), 用直线近似线图时

$$n_R = \frac{\bar{\sigma}_{-1C}}{\sigma_1} = \frac{72.368}{49.466} = 1.463$$

$$Z_R = \frac{n_R - 1}{(n_R^2 V_{\sigma_{-1C}}^2 + V_{\sigma_1}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{1.463 - 1}{(1.463^2 \times 0.0701^2 + 0.10^2)^{\frac{1}{2}}} = 3.232$$

查表31-6得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.232) = 0.99938$$

用抛物线近似线图时

$$n_R = \frac{\bar{\sigma}_{-1C}}{\sigma_1} = \frac{72.368}{45.892} = 1.577$$

$$Z_R = \frac{n_R - 1}{(n_R^2 V_{\sigma_{-1C}}^2 + V_{\sigma_1}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{1.577 - 1}{(1.577^2 \times 0.0701^2 + 0.10^2)^{\frac{1}{2}}} = 3.871$$

查表31-6得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.871) = 0.999946$$

(2) 齿轮的概率设计 根据 GB3480-83 和其它一些资料中给出的有关减速器齿轮各参数的变异系数的数据, 介绍齿轮的概率设计, 供参考。目前齿轮的计算仅包括齿面接触强度和轮齿的弯曲强度, 下面分别介绍。

1) 齿面接触强度的计算 齿面接触强度计算中以破坏性点蚀开始发生为齿面工作的极限状态, 接触应力

$$\sigma_{H1} = Z_H Z_E Z_\beta \left( \frac{KF_t K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha}}{d_1 b} \cdot \frac{u \pm 1}{u} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (31-259)$$

接触强度

$$\sigma_{H1} = \sigma_{H1n} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X \quad (31-260)$$



式中,  $K$  为计算系数, 在 GB3480—83 的计算方法中没有此系数, 是概率设计增加的。其他各参数的意义见 GB3480—83。

严格地讲, 式(31-259)、(31-260)中各参数除齿数比  $u$  外都是随机变量。由于一般齿轮的几何参数误差相对来说都很小, 故视为确定量; 有些参数的分布情况目前尚难以考虑, 也暂假定为确定量。这些因素引起的误差一并用计算系数  $K$  考虑。

按式(31-259), 用变异系数法可求得接触应力的均值、变异系数和标准差分别为

$$\bar{\sigma}_{H1} = Z_H \bar{Z}_E Z_\epsilon Z_\beta \left( \frac{\bar{K} \bar{F}_t \bar{K}_A \bar{K}_V \bar{K}_{H\beta} \bar{K}_{H\alpha}}{d_1 b} \cdot \frac{u \pm 1}{u} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (31-261)$$

$$V_{\sigma_{H1}} = \left[ V_{Z_E}^2 + \frac{1}{4} (V_{\bar{K}}^2 + V_{\bar{F}_t}^2 + V_{\bar{K}_V}^2 + V_{\bar{K}_{H\beta}}^2 + V_{\bar{K}_{H\alpha}}^2 + V_{K_V} V_{K_{H\alpha}} + V_{K_V} V_{K_{H\beta}} + V_{K_{H\alpha}} V_{K_{H\beta}}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31-262)$$

$$S_{\sigma_{H1}} = \bar{\sigma}_{H1} V_{\sigma_{H1}} \quad (31-263)$$

按式(31-260), 用变异系数法可求得接触强度的均值、变异系数和标准差分别为

$$\bar{\sigma}_{Hs} = \bar{\sigma}_{Hlim} \bar{Z}_N \bar{Z}_L \bar{Z}_V \bar{Z}_R \bar{Z}_W Z_X \quad (31-264)$$

$$V_{\sigma_{Hs}} = (V_{\sigma_{Hlim}}^2 + V_{Z_N}^2 + V_{Z_L}^2 + V_{Z_V}^2 + V_{Z_R}^2 + V_{Z_W}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (31-265)$$

$$S_{\sigma_{Hs}} = \bar{\sigma}_{Hs} V_{\sigma_{Hs}} \quad (31-266)$$

式(31-261)中计算系数  $K$  的均值一般取  $\bar{K}=1$ , 必须保证适当可靠性贮备时取  $\bar{K}>1$ ; 式(31-264)中  $\bar{\sigma}_{Hlim}$  荐用常规取值(即已考虑失效概率为 0.01)的 1.15 倍; 其它确定量以及均值都用常规计算法取值。

尚应指出, 按 GB3480—83 计算方法取使用系数  $K_A$  值时, 则切向力  $\bar{F}_t$  取名义切向力; 若  $\bar{F}_t$  取最大切向力, 则  $K_A=1$ 。

各随机变量的变异系数的数据荐用如下:

计算系数的变异系数, 取  $V_K=0.12$ 。

弹性系数的变异系数, 取  $V_{Z_E}=0.02$ 。

切向力的变异系数按不同情况选取, 当载荷精确求得, 取  $V_{F_t}=0.03$ ; 当载荷近似求得, 取  $V_{F_t}=0.08$ ; 当载荷按原动机最大转矩求得, 取  $V_{F_t}=0.12$ ; 用途未定的通用机械, 取  $V_{F_t}=0.16$ 。

动载系数的变异系数, 取

$$V_{K_V} = \frac{\bar{K}_V + 1}{3\bar{K}_V} \quad (31-267)$$

齿向载荷分布系数的变异系数分两种情况。无齿向修形时, 如第 III 组(接触)精度为  $n$ , 取

$$V_{K_{H\beta}} = \frac{n+1}{10} \cdot \frac{\bar{K}_{H\beta} - 1.05}{3\bar{K}_{H\beta}} \quad (31-268)$$

有齿向修形(鼓形齿)时, 取

$$V_{K_{H\beta}} = \frac{\bar{K}_{H\beta} - 1.25}{6\bar{K}_{H\beta}} \geq 0 \quad (31-269)$$

当齿向载荷分布系数由精确变形求得, 则由式(31-268)和(31-269)求得的  $V_{K_{H\beta}}$  应减至一半。

齿间载荷分布系数的变异系数, 取

$$V_{K_{H\alpha}} = \frac{\bar{K}_{H\alpha} - 1}{3\bar{K}_{H\alpha}} \quad (31-270)$$

接触疲劳极限的变异系数按表 31-69 选取。

寿命系数的变异系数, 当  $\bar{Z}_N=1$  时, 取  $V_{Z_N}=0$ ;

当  $\bar{Z}_N>1$  时, 取  $V_{Z_N} = \frac{0.3}{m}$  ( $m$  为均值  $S-N$  曲线的试验指数)。

表 31-69 接触疲劳极限的变异系数  $V_{\sigma_{Hlim}}$

第 I 组(平稳性)精度等级	单件或小批生产	中批生产	大批生产
6	0.07	0.06	0.05
7	0.08	0.07	0.06
8	0.09	0.08	0.07
9	0.10	0.09	0.08

注: 1. 正火、调质, 当布氏硬度差范围  $>40HBS$ , 增大 10%;  $>80HBS$ , 增大 25%;

2. 整体淬火不脱碳, 增大 10%; 可能脱碳, 增大 25%;

3. 高频淬火有监控, 增大 10%; 无监控, 增大 40%;

4. 渗碳监控含碳量, 增大 10%; 无监控, 增大 25%; 可能脱碳, 增大 40%;

5. 氧化, 增大 10%。

润滑系数的变异系数, 取  $V_{Z_L}=0.025$ 。

速度系数的变异系数, 取  $V_{Z_V}=0.02$ 。

粗糙度系数的变异系数, 取  $V_{Z_R}=0.02$ 。

工作硬化系数的变异系数, 取  $V_{Z_W}=0.02$ 。



假定应力和强度都服从正态分布,则由表31-55中序号1得联结系数

$$Z_R = \frac{\bar{\sigma}_{Fts} - \bar{\sigma}_{FH}}{(S_{\sigma_{Fts}}^2 + S_{\sigma_{FH}}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{n_R - 1}{(n_R^2 V_{\sigma_{Fts}}^2 + V_{\sigma_{FH}}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-271)$$

若假定应力和强度都服从对数正态分布,则由表31-55中序号2得联结系数

$$Z_k = \frac{\ln n_R}{(V_{\sigma_{Fts}}^2 + V_{\sigma_{FH}}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-272)$$

相应的可靠度  $R$  按  $Z_R$  查表31-6。

2) 轮齿弯曲强度计算 轮齿弯曲强度计算中以齿根折断为极限状态。弯曲应力<sup>①</sup>

$$\sigma_{F1} = \frac{KF}{bm_n} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_{\beta} Y_{\beta} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\sigma} \quad (31-273)$$

弯曲强度

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F1m} Y_{ST} Y_{NT} Y_{\beta rd} Y_{Rrel} Y_X \quad (31-274)$$

式中各参数的意义见 GB3480—83, 与齿面接触强度处理方法相同, 在式(31-273)中增加一个计算系数。

按式(31-273)求得齿根弯曲应力的均值、变异系数和标准差分别为

$$\bar{\sigma}_{F1} = \frac{K \bar{F}}{b m_n} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_{\beta} Y_{\beta} K_A \bar{K}_V \bar{K}_{F\beta} \bar{K}_{F\sigma} \quad (31-275)$$

$$V_{\sigma_{F1}} = (V_k^2 + V_{F1}^2 + V_{K_A}^2 + V_{K_V}^2 + V_{K_{F\beta}}^2 + V_{K_{F\sigma}}^2 + V_{K_{F\sigma}} V_{K_{F\beta}} + V_{K_{F\sigma}} V_{K_V} + V_{K_{F\beta}} V_{K_V})^{\frac{1}{2}} \quad (31-276)$$

$$S_{\sigma_{F1}} = \bar{\sigma}_{F1} V_{\sigma_{F1}} \quad (31-277)$$

按式(31-274)求得齿根弯曲强度的均值、变异系数和标准差分别为

$$\bar{\sigma}_{F\sigma} = \bar{\sigma}_{F1m} Y_{ST} Y_{NT} Y_{\beta rd} Y_{Rrel} Y_X \quad (31-278)$$

$$V_{\sigma_{F\sigma}} = (V_{\sigma_{F1m}}^2 + V_{Y_{NT}}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (31-279)$$

$$S_{\sigma_{F\sigma}} = \bar{\sigma}_{F\sigma} V_{\sigma_{F\sigma}} \quad (31-280)$$

式(31-275)中计算系数  $K$  的均值一般取  $K=1$ , 必须保证适当可靠性贮备时取  $K>1$ ; 式(31-278)中  $\bar{\sigma}_{F1m}$  荐用常规取值(即已考虑失效概率为0.01)的1.2倍; 其它确定量及均值都用常规计算法取值。也应指出, 按 GB3480—83 计算方法取使用系数  $K_A$  时, 则切向力  $\bar{F}$ , 取名义切向力; 若  $\bar{F}$ , 取最大切向力, 则  $K_A=1$ 。

各随机变量的变异系数的数据荐用如下:

计算系数的变异系数, 直齿轮传动取  $V_K=0.03$ ; 斜齿轮传动取  $V_K=0.06$ 。

切向力的变异系数  $V_{F1}$  和动载系数的变异系数  $V_{K_V}$  的取法与接触应力时的取法相同。

齿向载荷分布系数的变异系数, 无齿向修形时, 如第Ⅲ组(接触)精度等级为  $n$ , 取

$$V_{K_{F\beta}} = \frac{n+1}{10} \cdot \frac{\bar{K}_{F\beta} - 1.05}{3\bar{K}_{F\beta}} \quad (31-281)$$

有齿向修形(鼓形齿)时, 取

$$V_{K_{F\beta}} = \frac{\bar{K}_{F\beta} - 1.2}{6\bar{K}_{F\beta}} \geq 0 \quad (31-282)$$

齿间载荷分布系数的变异系数, 取

$$V_{K_{F\sigma}} = \frac{\bar{K}_{F\sigma} - 1}{3\bar{K}_{F\sigma}} \quad (31-283)$$

齿根弯曲疲劳极限的变异系数, 按表31-70选取。

表31-70 弯曲疲劳极限的变异系数  $V_{\sigma_{F1m}}$

第Ⅰ组(平稳性)精度等级	单件或小批生产	中批生产	大批生产
6	0.09	0.08	0.07
7	0.10	0.09	0.08
8	0.11	0.10	0.09
9	0.12	0.11	0.10

注: 1~5要求同表31-69。

寿命系数的变异系数, 取  $V_{Y_{NT}} = \frac{0.5}{m}$  ( $m$  为均值  $S-N$  曲线的试验指数); 当  $\bar{Y}_{NT}=1$ , 取  $V_{Y_{NT}}=0$ 。

假定应力和强度都服从正态分布, 则由表31-55中序号1得联结系数

$$Z_R = \frac{\bar{\sigma}_{F\sigma} - \bar{\sigma}_{F1}}{(S_{\sigma_{F\sigma}}^2 + S_{\sigma_{F1}}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{n_R - 1}{(n_R^2 V_{\sigma_{F\sigma}}^2 + V_{\sigma_{F1}}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-284)$$

若应力和强度都服从对数正态分布, 则由表31-

① 弯曲应力计算公式是 GB3480—83中方法2的计算公式

55中序号2得联结系数

$$Z_R = \frac{\ln z_R}{(V_{\sigma_{F_1}}^2 + V_{\sigma_{F_2}}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31-285)$$

相应的可靠度  $R$  按  $Z_R$  查表31-6。

**例31-29** 已知给料机用斜齿圆柱齿轮减速器, 电机驱动, 小齿轮传递功率  $P=9 \text{ kW}$ , 转速  $n=970 \text{ r/min}$ , 单向传动, 工作平稳, 每天工作  $8 \text{ h}$ , 每年工作  $300 \text{ 天}$ , 预期寿命  $10 \text{ 年}$ 。

齿轮的主要参数: 小齿轮材料  $40\text{Cr}$ , 调质, 大齿轮材料  $45\text{钢}$ , 调质; 齿轮精度等级  $8 \text{ 级}$ ;  $z_1=29, z_2=93, m_n=2 \text{ mm}, \beta=12^\circ 34' 41''$ ,  $b_1=55 \text{ mm}, b_2=50 \text{ mm}$ 。试验算该齿轮传动的可靠度。

**解** (1) 接触强度的可靠度

式(31-259)和(31-260)中各参数的均值或确定值按 GB3480—83 中的方法取值, 变异系数按本节给出的荐用值, 具体数值见表31-71。

表31-71 接触强度计算中各参数的均值及变异系数

变 量	$F_t / \text{N}$	$K$	$K_A$	$Z_H$	$Z_E \sqrt{N/\text{mm}^2}$	$Z_\epsilon$	$Z_\beta$	$d_1 / \text{mm}$	$b / \text{mm}$	$u$
均 值	2982.14	1	1	2.45	189.8	0.78	0.99	59.426	50	3.207
变异系数	0.12	0.12	0	0	0.02	0	0	0	0	0
变 量	$K_V$	$K_{H\beta}$	$K_{H\alpha}$	$\sigma_{Hlim} / \text{N/mm}^2$	$Z_N$	$Z_L$	$Z_V$	$Z_R$	$Z_W$	$Z_X$
均 值	1.06	1.12	1.2	672.75	1.04	1.06	0.94	0.87	1	1
变异系数	0.0189	0.078	0.056	0.08	0.0375	0.025	0.02	0.02	0.02	0

(1)  $\sigma_{Hlim}$  和  $Z_N$  的均值均按大齿轮取值

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{Hb} &= \bar{\sigma}_{Hlim} \bar{Z}_N \bar{Z}_L \bar{Z}_V \bar{Z}_R \bar{Z}_W \bar{Z}_X \\ &= 672.75 \times 1.04 \times 1.06 \times 0.94 \times 0.87 \times 1 \times 1 \\ &= 606.51 \text{ N/mm}^2 \\ V_{\sigma_{Hb}} &= (V_{\sigma_{Hlim}}^2 + V_{Z_N}^2 + V_{Z_L}^2 + V_{Z_V}^2 + V_{Z_R}^2 + V_{Z_W}^2 + V_{Z_X}^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= (0.08^2 + 0.0375^2 + 0.025^2 + 0.02^2 \\ &\quad + 0.02^2 + 0.02^2)^{\frac{1}{2}} = 0.098 \\ S_{\sigma_{Hb}} &= \bar{\sigma}_{Hb} V_{\sigma_{Hb}} = 606.51 \times 0.098 \\ &= 59.44 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

按接触应力和接触强度都服从正态分布, 由式(31-271)

$$Z_R = \frac{\bar{\sigma}_{Hb} - \bar{\sigma}_{Ht}}{(S_{\sigma_{Hb}}^2 + S_{\sigma_{Ht}}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{606.51 - 491.78}{(59.44^2 + 53.11^2)^{\frac{1}{2}}} = 1.439$$

查表31-6得接触强度的可靠度

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(1.439) = 0.925$$

(2) 弯曲强度的可靠度

式(31-273)和(31-274)中各参数的均值或确定值按 GB3480—83 中的方法取值, 变异系数按本节给出的荐用值, 具体数值见表31-72。

$$\begin{aligned} V_{\sigma_{Ht}} &= [V_{Z_E}^2 + \frac{1}{4}(V_{K_t}^2 + V_{K_f}^2 + V_{K_V}^2 + V_{K_{H\beta}}^2 \\ &\quad + V_{K_{H\alpha}}^2 + V_{K_V} V_{K_{H\beta}} + V_{K_V} V_{K_{H\alpha}} + V_{K_{H\beta}} V_{K_{H\alpha}})]^{\frac{1}{2}} \\ &= [0.02^2 + \frac{1}{4}(0.12^2 + 0.12^2 + 0.0189^2 \\ &\quad + 0.078^2 + 0.056^2 + 0.0189 \times 0.056 \\ &\quad + 0.0189 \times 0.078 + 0.078 \times 0.056)]^{\frac{1}{2}} \\ &= 0.108 \end{aligned}$$

$$S_{\sigma_{Ht}} = \bar{\sigma}_{Ht} V_{\sigma_{Ht}} = 491.78 \times 0.108 = 53.11 \text{ N/mm}^2$$

按式(31-264)~(31-266)得接触强度的均值、变异系数和标准差分别为

超星浏览器提醒您：  
请勿复制或  
传播相关知识  
产权！



表31-72 弯曲强度计算中各参数的均值及变异系数

变 量	K	F, N	b mm	m <sub>0</sub> mm	Y <sub>Fa</sub>	Y <sub>Sa</sub>	Y <sub>c</sub>	Y <sub>β</sub>	K <sub>A</sub>
均 值	1	2982.14	50	2	2.53 2.21	1.63 1.79	0.704	0.895	1
变异系数	0.06	0.12	0	0	0	0	0	0	0
变 量	K <sub>V</sub>	K <sub>FB</sub>	K <sub>Fa</sub>	σ <sub>Flim</sub> N/mm <sup>2</sup>	Y <sub>ST</sub>	Y <sub>NT</sub>	Y <sub>Rel</sub>	Y <sub>Ret</sub>	Y <sub>X</sub>
均 值	1.06	1.11	1.2	354 264	2	1 1	≈1 ≈1	1.01	1
变异系数	0.0189	0.0162	0.0556	0.10	0	0	0	0	0

按式(31-275)~(31-277)得弯曲应力的均值、变异系数和标准差分别为

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{F1} &= \frac{K \bar{F}}{b m_n} Y_{Fa_1} Y_{Sa_1} Y_c Y_{\beta} K_A \bar{K}_V \bar{K}_{FB} \bar{K}_{Fa} \\ &= \frac{1 \times 2982.14}{50 \times 2} \times 2.53 \times 1.63 \times 0.704 \\ &\quad \times 0.895 \times 1 \times 1.06 \times 1.11 \times 1.2 \\ &= 109.41 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{F2} &= \frac{Y_{Fa_2} Y_{Sa_2}}{\bar{Y}_{Fa_1} \bar{Y}_{Sa_1}} \bar{\sigma}_{F1} = 109.41 \times \frac{2.21 \times 1.79}{2.53 \times 1.63} \\ &= 104.95 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\sigma_{F1}} &= (V_K^2 + V_F^2 + V_{b_n}^2 + V_{m_n}^2 + V_{Y_{Fa_1}}^2 + V_{Y_{Sa_1}}^2 + V_{Y_c}^2 + V_{Y_{\beta}}^2 + V_{K_A}^2 + V_{K_V}^2 + V_{K_{FB}}^2 + \\ &\quad V_{K_{Fa}}^2 + V_{K_{Fc}}^2 + V_{K_{FB}}^2 + \\ &\quad V_{K_{Fa}} V_{K_V} + V_{K_{FB}} V_{K_V})^{\frac{1}{2}} \\ &= (0.06^2 + 0.12^2 + 0.0189^2 + 0.0162^2 + 0.0556^2 \\ &\quad + 0.0556 \times 0.0162 + 0.0556 \times 0.0189 \\ &\quad + 0.0162 \times 0.0189)^{\frac{1}{2}} = 0.155 \end{aligned}$$

$$S_{\sigma_{F1}} = \bar{\sigma}_{F1} V_{\sigma_{F1}} = 109.41 \times 0.155 = 16.96 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{\sigma_{F2}} = \bar{\sigma}_{F2} V_{\sigma_{F1}} = 104.95 \times 0.155 = 16.27 \text{ N/mm}^2$$

按式(31-278)~(31-280)得弯曲强度的均值、变异系数和标准差分别为

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{Fa_1} &= \bar{\sigma}_{Flim1} Y_{ST} Y_{NT} Y_{Rel} Y_{Ret} Y_X \\ &= 354 \times 2 \times 1 \times 1 \times 1.01 \times 1 \\ &= 715.08 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\bar{\sigma}_{Fa_2} = \bar{\sigma}_{Fa_1} \frac{\bar{\sigma}_{Flim2}}{\bar{\sigma}_{Flim1}} = 715.08 \times \frac{264}{354} = 533.28 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{\sigma_{Fa}} = (V_{\sigma_{Flim}}^2 + V_{Y_{NT}}^2)^{\frac{1}{2}} = (0.10^2 + 0)^{\frac{1}{2}} = 0.10$$

$$S_{\sigma_{Fa_1}} = \bar{\sigma}_{Fa_1} V_{\sigma_{Fa}} = 715.08 \times 0.10 = 71.508 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{\sigma_{Fa_2}} = \bar{\sigma}_{Fa_2} V_{\sigma_{Fa}} = 533.28 \times 0.10 = 53.328 \text{ N/mm}^2$$

按弯曲应力和弯曲强度都服从正态分布,由式(31-284)

$$\begin{aligned} Z_{R_1} &= \frac{\bar{\sigma}_{Fa_1} - \bar{\sigma}_{F1}}{(S_{\sigma_{Fa_1}}^2 + S_{\sigma_{F1}}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{715.08 - 109.41}{(71.508^2 + 16.96^2)^{\frac{1}{2}}} \\ &= 8.24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{R_2} &= \frac{\bar{\sigma}_{Fa_2} - \bar{\sigma}_{F2}}{(S_{\sigma_{Fa_2}}^2 + S_{\sigma_{F2}}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{533.28 - 104.95}{(53.328^2 + 16.27^2)^{\frac{1}{2}}} \\ &= 7.68 \end{aligned}$$

按 Z<sub>R</sub> = 7.68 查表31-36得弯曲强度的可靠度

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(7.68) \approx 1$$

### 3.5.9 疲劳寿命的可靠性预计

在一定的应力水平,疲劳寿命服从某种分布。一般认为金属的疲劳寿命服从对数正态分布,也有人认为服从威布尔分布。由于对数正态分布可利用正态分布分析的各种方法,使用较为方便。下面均按寿命服从对数正态分布来预计可靠寿命。

(1) 应力为确定量的可靠寿命 当应力为确定量,或应力的变异系数不大而假定为确定量时,可直接利用 P-S-N 线图或 3s-S-N 线图。

利用 P-S-N 线图时(见图31-39),过该图纵轴指定的应力水平作水平线与指定失效概率 P 的 S-N 曲线相交,该交点的横坐标就是相应失效概率的寿命,或可靠度 R=1-P 的可靠寿命。

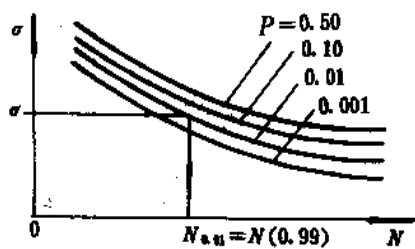


图31-39 用 P-S-N 线图预计可靠寿命

利用 3s-S-N 线图时,可靠度为 R 时的可靠寿命

$$N(R) = 10^{\bar{L} - Z_R S_L} \quad (31-286)$$

式中 Z<sub>R</sub> —— 联结系数,按指定的 R 查表31-36或表31-6

$\bar{L}$  —— 对数寿命的均值

S<sub>L</sub> —— 对数寿命的标准差

求  $\bar{L}$  和 S<sub>L</sub> 时(见图31-40),过该图纵轴指定的

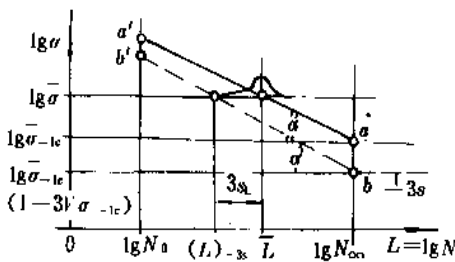


图31-40 用3 $\sigma$ -S-N线图预计可靠寿命

应力水平作水平线,可在该水平线上直接读得对数寿命的均值  $\bar{L}$  和标准差  $S_L$ 。若没有相应的3 $\sigma$ -S-N线图,可按双对数坐标为直线的经验公式求出。在应力水平  $\sigma$  时

$$\bar{L} = \lg N_{\infty} - m(\lg \sigma - \lg \bar{\sigma}_{-1C}) \quad (31-287)$$

$$(L)_{-3s} = \lg N_{\infty} - m_{-3s}[\lg \sigma - \lg(1 - 3V_{\sigma_{-1C}})\bar{\sigma}_{-1C}] \quad (31-288)$$

$$S_L = \frac{\bar{L} - (L)_{-3s}}{3} \quad (31-289)$$

这里,  $m$  和  $m_{-3s}$  分别用式(31-236)、(31-240)求得。

(2) 应力为随机变量的可靠寿命 应力为随机变量是更一般的情况,这时可靠寿命

$$N(R) = N_{\infty} \left( \frac{\bar{\sigma}_{-1C}}{n_R \sigma_1} \right)^m \quad (31-290)$$

式中  $\sigma_1$  —— 工作应力幅的均值,受非对称循环变应力时,取等效应力的均值;受复合应力时,取按强度理论算得的计算应力;

$n_R$  —— 可靠安全系数,由式(31-179)、(31-181)、(31-183)和(31-184)确定。

求  $n_R$  时所需的  $V_{\sigma_1} = V_{\sigma_{-1C}}$  与寿命有关,按3 $\sigma$ -S-N线图的经验公式求时,则

$$V_{\sigma_{-1C}} = \frac{1}{3} \left[ 1 - (1 - 3V_{\sigma_{-1C}}) \left( \frac{N_{\infty}}{N} \right)^{\frac{1}{m-3s} - \frac{1}{m}} \right] \quad (31-291)$$

因此,计算可靠寿命时需迭代计算。式中的  $m$  和  $m_{-3s}$  分别由式(31-236)和(31-240)确定。

若按式(31-290)求得的可靠寿命  $N(R) > N_{\infty}$ ,对于钢铁件可认为  $N(R) \rightarrow \infty$ 。

**例31-30** 按例31-27的数据,求  $R=0.95$  时的可靠寿命。

**解** 当  $R=0.95$  时,查表31-6得  $Z_R=1.645$ 。假定应力和强度均服从正态分布。 $V_{\sigma_1} = V_{\sigma} = \frac{21}{300} = 0.07$ ,初取  $N=N_{\infty}$ ,则  $V_{\sigma_{-1C}} = V_{\sigma_{-1C}} = 0.115$ 。若按式(31-179)

$$n_R = \frac{1 + Z_R(V_{\sigma_{-1C}}^2 + V_{\sigma_1}^2 - Z_R^2 V_{\sigma_{-1C}}^2 V_{\sigma_1}^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - Z_R^2 V_{\sigma_{-1C}}^2}$$

$$= \frac{1 + 1.645(0.115^2 + 0.07^2 - 1.645^2 \times 0.115^2 \times 0.07^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - 1.645^2 \times 0.115^2}$$

$$= 1.266$$

按式(31-290)

$$N(0.95) = N_{\infty} \left( \frac{\bar{\sigma}_{-1C}}{n_R \sigma_1} \right)^m = 10^6 \times \left( \frac{241.6}{1.266 \times 300} \right)^{7.257}$$

$$= 37524 \text{ 次}$$

$N(0.95) < N_{\infty}$ ,故  $V_{\sigma_{-1C}}$  应降低,  $N(0.95)$  会增大。

再取  $N=5 \times 10^4$ ,按式(31-291)

$$V_{\sigma_{-1C}} = \frac{1}{3} \left[ 1 - (1 - 3V_{\sigma_{-1C}}) \left( \frac{N_{\infty}}{N} \right)^{\frac{1}{m-3s} - \frac{1}{m}} \right]$$

$$= \frac{1}{3} \left[ 1 - (1 - 3 \times 0.115) \left( \frac{10^6}{5 \times 10^4} \right)^{\frac{1}{5.756} - \frac{1}{7.257}} \right]$$

$$= 0.0911$$

$n_R =$

$$\frac{1 + 1.645(0.0911^2 + 0.07^2 - 1.645^2 \times 0.0911^2 \times 0.07^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - 1.645^2 \times 0.0911^2}$$

$$= 1.215$$

$$N(0.95) = 10^6 \left( \frac{241.6}{1.215 \times 300} \right)^{7.257} = 50570 \text{ 次}$$

与估计的  $N$  基本一致。

(3) 滚动轴承的可靠寿命 在正常工作条件下滚动轴承的主要失效形式为点蚀。和P-S-N曲线类似,滚动轴承的承载能力和寿命的关系可在不同载荷水平做成组试验得到。图31-41为滚动轴承的p-P-L线图。这里,P是当量动负荷,L是寿命。常规的滚动轴承可靠寿命计算公式

$$L_{10} = L(R) = L(0.90) = \left( \frac{C}{P} \right)^{\epsilon} 10^6 \text{ r} \quad (31-292)$$

式中  $C$  —— 额定动负荷,参见第22章;

$\epsilon$  —— 寿命指数,球轴承,  $\epsilon=3$ ; 滚子轴承,  $\epsilon=\frac{10}{3}$ 。

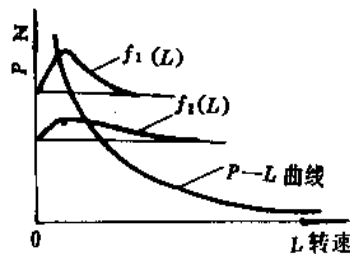


图31-41 滚动轴承的p-P-L线图  
不同可靠度时可靠寿命

$$L_R = L(R) = a_1 \left( \frac{C}{P} \right)^{\epsilon} 10^6 \text{ r} \quad (31-293)$$

式中  $a_1$  ——可靠性的寿命修正系数,查表31-73。

当  $P$  服从对数正态分布时,上式成为

当量动负荷为随机变量时,设  $P$  的概率密度为  $f(P)$ ,这时的可靠寿命

$$L_F = L(R) = a_1 C^m e^{\left(\frac{\sigma^2}{2} - \mu\right)} \quad (31-295)$$

$$L_F = L(R) = \int_0^\infty a_1 \left(\frac{C}{P}\right)^m f(P) dP \quad (31-294)$$

式中  $\mu$  ——当量动负荷  $P$  的对数均值;

$\sigma$  ——当量动负荷  $P$  的对数标准差。

表31-73 可靠性的寿命修正系数

$R$	0.90	0.95	0.95	0.97	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999	$\approx 1.0$
$a_1$	1.0	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21	0.13	0.07	0.04	$\approx 0.04$

### 3.6 其他失效形式的概率设计

前面主要以机械强度为对象的概率设计。按广义的应力、强度概念,应力是对产品功能有影响的各种外界因素,强度是产品承受应力的能力。普通的机械应力和强度只是这广义概念中的一种,其他形式的应力、强度问题也可用类似的办法处理。

(1) 静载抗断裂的可靠度 断裂力学计算带裂纹的零件承受静载能力时用断裂判据,对于张开型

$$K_I \leq K_{IC} \quad (31-296)$$

式中  $K_I$  ——应力强度因子;

$K_{IC}$  ——断裂韧性。

张开型应力强度因子可用下式计算

$$K_I = \alpha \sigma \sqrt{\pi a} \quad (31-297)$$

式中  $\sigma$  ——工作应力;

$a$  ——裂纹长度;

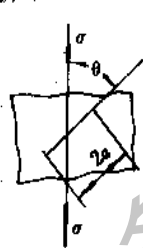
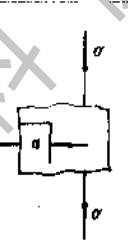
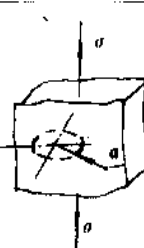
$\alpha$  ——修正系数,反映裂纹几何及受力条件,

表31-74为几种简单情况的  $\alpha$  值。

#### 3.6.1 断裂韧性的概率设计

零件在制造或使用过程中形成裂纹是难以避免的。有裂纹的零件不一定就不能工作,需要用断裂力学的方法来判断。与机械强度类似,在断裂判据中的变量也都是随机变量,因此宜用概率设计。

表31-74 受拉应力的几个  $\alpha$  值

类别	无限宽板斜透纹	无限宽板边透纹	无限体深埋圆片状纹
$\alpha$	$\sin^2 \theta$	1.12	0.637
图形			

显然,  $\sigma, \alpha, a$  都是随机变量,为了简单,假定  $\alpha$  为确定量。根据式(31-296),不发生断裂失效的可靠度

$$R = P(K_{IC} > K_I) \quad (31-298)$$

这里的  $K_I$  相当于应力-强度模型中的应力  $x_1$ ,  $K_{IC}$  相当于应力-强度模型中的强度  $x_2$ 。如果了解了

它们的分布和参数后,就可按3.1.1~3.1.5节的方法求可靠度,或与一般机械强度设计类似进行概率设计计算。

$K_{IC}$  的数据应由试验统计获得,也可由文献中查到参考数据,以此作为  $\bar{K}_{IC}$ 。 $K_{IC}$  的变动范围颇大,一般可暂按表31-61或表31-75选取变异系数。

表31-75 断裂韧性的变异系数

材料	钢	铝合金	钛合金	镍合金
$V_{K_{IC}}$	0.15(0.02~0.19)	0.20(0.02~0.422)	0.10(0.014~0.101)	0.06(0.049~0.061)

注:  $K_I$  单位:  $1 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}} = 31.62 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}} = 3.223 \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}} = 0.91 \text{ ksi} \cdot \sqrt{\text{in}}$



**例31-31** 受静载荷的矩形截面拉杆,材料为 32SiMnMoV 钢,920℃油淬,320℃回火,σ<sub>b</sub> = 1950 N/mm<sup>2</sup>,σ<sub>s</sub> = 1750 N/mm<sup>2</sup>,K<sub>1c</sub> = 1840 N/mm<sup>3/2</sup>,最小截面尺寸宽 W = 150 ± 3 mm,厚 B = 5 ± 0.15 mm,板边透纹 a = 0.5 ± 0.1 mm,受拉力 F = 1000000 ± 100000 N,如果 V<sub>σ</sub> = 0.07, V<sub>K<sub>1c</sub></sub> = 0.10,求不屈服失效和不断裂失效的可靠度。

**解** 取计算系数 K̄ = 1, V<sub>K</sub> = 0。

(1) 不屈服失效的可靠度

$$\text{工作应力 } \sigma = \frac{F}{WB}$$

载荷的均值和变异系数

$$\bar{F} = 1000000 \text{ N}, V_F = \frac{100000}{3 \times 1000000} = 0.033$$

宽度的均值和变异系数

$$\bar{W} = 150 \text{ mm}, V_w = \frac{3}{3 \times 150} = 0.0067$$

厚度的均值和变异系数

$$\bar{B} = 5 \text{ mm}, V_B = \frac{0.15}{3 \times 5} = 0.01$$

工作应力的均值、变异系数及标准差分别为

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{F}}{W \bar{B}} = \frac{1000000}{150 \times 5} = 1333.33 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{\sigma} = (V_F^2 + V_w^2 + V_B^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= (0.033^2 + 0.0067^2 + 0.01^2)^{\frac{1}{2}} = 0.035$$

$$S_{\sigma} = \bar{\sigma} V_{\sigma} = 1333.33 \times 0.035 = 46.67 \text{ N/mm}^2$$

强度的均值和标准差分别为

$$\bar{\sigma}_s = 1750 \text{ N/mm}^2,$$

$$S_{\sigma_s} = \bar{\sigma}_s V_{\sigma_s} = 1750 \times 0.07 = 122.5 \text{ N/mm}^2$$

假设工作应力和屈服极限都服从正态分布,则联结系数

$$Z_R = \frac{\bar{\sigma}_s - \bar{\sigma}}{(S_{\sigma}^2 + S_{\sigma_s}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1750 - 1333.33}{(122.5^2 + 46.67^2)^{\frac{1}{2}}} = 3.179$$

查表31-6得不屈服失效的可靠度

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.179) = 0.99925$$

(2) 不断裂失效的可靠度

按式(31-297)求应力强度因子,因 a ≪ W̄,故由表31-74取 α = 1.12(假定为确定量)。裂纹长度的均值和变异系数

$$\bar{a} = 0.5 \text{ mm}, V_a = \frac{0.1}{3 \times 0.5} = 0.067$$

应力强度因子的均值、变异系数和标准差分别为

$$\begin{aligned} \bar{K}_1 &= \alpha \bar{\sigma} \sqrt{\pi a} = 1.12 \times 1333.33 \sqrt{\pi \times 0.5} \\ &= 1871.61 \text{ N/mm}^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{K_1} &= (V_{\sigma}^2 + \frac{1}{4} V_a^2)^{\frac{1}{2}} = (0.035^2 + \frac{1}{4} \times 0.067^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= 0.0484 \end{aligned}$$

$$S_{K_1} = \bar{K}_1 V_{K_1} = 1871.61 \times 0.0484$$

$$= 90.586 \text{ N/mm}^{\frac{3}{2}}$$

断裂韧性的均值和标准差分别为

$$\bar{K}_{1c} = 1840 \text{ N/mm}^{\frac{3}{2}},$$

$$S_{K_{1c}} = \bar{K}_{1c} V_{K_{1c}} = 1840 \times 0.1 = 184 \text{ N/mm}^{\frac{3}{2}}$$

假设应力强度因子和断裂韧性都服从正态分布,则联结系数

$$\begin{aligned} Z_R &= \frac{\bar{K}_{1c} - \bar{K}_1}{(S_{K_1}^2 + S_{K_{1c}}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1840 - 1871.61}{(184^2 + 90.586^2)^{\frac{1}{2}}} \\ &= -0.154 \end{aligned}$$

查表31-6得不断裂失效的可靠度

$$\begin{aligned} R &= \Phi(Z_R) = \Phi(-0.154) = 1 - \Phi(0.154) \\ &= 0.43879 \end{aligned}$$

由此例可看出,虽然按屈服强度可认为可靠度很高,但按断裂韧性则可靠度很低,几乎不能用。显然,断裂失效的后果比屈服失效的后果要严重得多。一般,断裂失效的可靠度宜高于不屈服失效的可靠度。因此,上例中的拉杆应更换材料或热处理。

(2) 变载抗断裂的可靠度 受反复变应力作用时,裂纹可能逐渐扩展而引起断裂失效。促进裂纹扩展的参数为应力强度因子幅度

$$\Delta K_1 = a \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \quad (31-299)$$

式中 Δσ —— 应力变化幅度

$$\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (31-300)$$

当应力强度因子幅度 ΔK<sub>1</sub> 小于裂纹开始扩展的门槛值 ΔK<sub>th</sub> 时,裂纹几乎不扩展。这时,ΔK<sub>1</sub> 相当于应力-强度模型中的应力 σ<sub>1</sub>, ΔK<sub>th</sub> 相当于应力-强度模型中的强度 σ<sub>s</sub>,故受变载裂纹不扩展的可靠度

$$R = P(\Delta K_{th} > \Delta K_1) \quad (31-301)$$

ΔK<sub>th</sub> 值是根据试验求得的。当受对称循环变应力时,结构碳钢、低合金钢和镍基合金,ΔK<sub>th</sub> = 5.52 ~ 6.82 N/mm<sup>2</sup> · √m; 高强度钢和铝合金,ΔK<sub>th</sub> = 1.09 ~ 2.18 N/mm<sup>2</sup> · √m。也有文献介绍下面的数据: 钢, ΔK<sub>th</sub> = 6.6 ~ 8.8 N/mm<sup>2</sup> · √m; 铝合金, ΔK<sub>th</sub> = 1.1 ~ 3.3 N/mm<sup>2</sup> · √m; 钛合金, ΔK<sub>th</sub> = 2.2 ~ 6.6 N/mm<sup>2</sup> · √m。概略计算时可暂假设 ΔK<sub>th</sub> 服从正态分布,按“3σ”原则取其均值和标准差。重要的情况宜做具体试验以确定 ΔK<sub>th</sub> 的分布。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
须尊重相关知识产权!

超星领星球



## 3.6.2 刚度的概率设计

机械中某些零件或构件对刚度有一定的要求,例如弹簧、轴、梁、刀具等的挠度、偏角和转角等有一定的限制。工作中不满足刚度要求就认为失效。按照应力-强度模型,这时应力是工作中产生的变形,强度是正常工作允许的变形。工作时的变形量可利用材料力学等求挠度、偏角或转角的公式来求,这些公式一般可写成

$$y_i = y(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (31-302)$$

式中  $y_i$  —— 工作变形量,挠度、偏角或转角

$x_i$  —— 影响变形量的各随机变量,如载荷、尺寸、弹性模数等,  $i=1, 2, \dots, n$

$y_i$  常近似假定服从正态分布或对数正态分布,允许的变形量  $y_s$  则按具体条件给定,常视为确定量。若工作时产生的变形量不能大于  $y_s$ , 则可靠度

$$R = P(y_i < y_s) \quad (31-303)$$

**例31-32** 某圆截面钢梁如图31-42所示,已知  $F_1 = 120 \pm 18 \text{ N}$ ,  $F_2 = 40 \pm 6 \text{ N}$ , 截面直径  $d = 20 \pm 0.3 \text{ mm}$ , 跨距和受力点的尺寸误差很小,假定为确定量,  $L = 500 \text{ mm}$ ,  $l_1 = 200 \text{ mm}$ ,  $l_2 = 100 \text{ mm}$ , 允许 A 点最大挠度  $y_s = 0.25 \text{ mm}$ 。分别就  $F_1$  和  $F_2$  由不同力源产生及由同一力源产生两种情况验算满足刚度要求的可靠度。

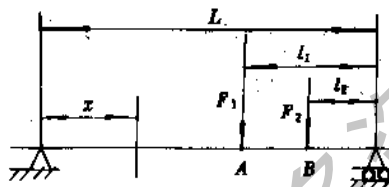


图31-42 梁的受力情况

**解** 由材料力学知,当  $x \leq L - l$  时,坐标  $x$  处梁的挠度

$$y_x = \frac{32lxF}{3\pi LE d^4} (L^2 - l^2 - x^2)$$

$F_1$  和  $F_2$  单独作用时在 A 点产生的挠度分别为

$$y_1 = \frac{32l_1 x F_1}{3\pi LE d^4} (L^2 - l_1^2 - x^2)$$

$$= 4.889 \times 10^7 \frac{F_1}{Ed^4}$$

$$y_2 = \frac{32l_2 x F_2}{3\pi LE d^4} (L^2 - l_2^2 - x^2)$$

$$= 2.716 \times 10^7 \frac{F_2}{Ed^4}$$

叠加得 A 点的总挠度

$$y_A = y_1 + y_2 = \frac{10^7}{Ed^4} (4.889F_1 + 2.716F_2)$$

各随机变量的均值和标准差分别为

$$\bar{F}_1 = 120 \text{ N}, \quad S_{F_1} = \frac{18}{3} = 6 \text{ N}$$

$$\bar{F}_2 = 40 \text{ N}, \quad S_{F_2} = \frac{6}{3} = 2 \text{ N}$$

$$\bar{d} = 20 \text{ mm}, \quad S_d = \frac{0.3}{3} = 0.1 \text{ mm}$$

$$\bar{E} = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2,$$

$$S_E = \bar{E} V_E = 2.06 \times 10^5 \times 0.03$$

$$= 6.18 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

A 点总挠度的均值

$$\bar{y}_A = \frac{10^7}{E \bar{d}^4} (4.889 \bar{F}_1 + 2.716 \bar{F}_2)$$

$$= \frac{10^7}{2.06 \times 10^5 \times 20^4} (4.889 \times 120 + 2.716 \times 40)$$

$$= 0.211 \text{ mm}$$

若  $F_1$  和  $F_2$  由不同力源产生,则标准差

$$S_{y_A} = \left[ \left( \frac{\partial y_A}{\partial F_1} \right)_0^2 S_{F_1}^2 + \left( \frac{\partial y_A}{\partial F_2} \right)_0^2 S_{F_2}^2 \right. \\ \left. + \left( \frac{\partial y_A}{\partial E} \right)_0^2 S_E^2 + \left( \frac{\partial y_A}{\partial d} \right)_0^2 S_d^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.0118 \text{ mm}$$

若  $F_1$  和  $F_2$  由同一力源产生,  $F_1 = \frac{\bar{F}_1}{\bar{F}_2} F_2 = 3F_2$ ,

故

$$y_A = 17.383 \times 10^7 \frac{F_2}{Ed^4}$$

$y_A$  的变异系数

$$V_{y_A} = (V_{F_2}^2 + V_E^2 + 4^2 V_d^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[ \left( \frac{6}{120} \right)^2 + 0.03^2 + 16 \left( \frac{0.1}{20} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.0616$$

$y_A$  的标准差

$$S_{y_A} = \bar{y}_A V_{y_A} = 0.211 \times 0.0616 = 0.0123$$

假设挠度服从正态分布。若  $F_1$  和  $F_2$  由不同力源产生,则联结系数

$$Z_R = \frac{y_s - \bar{y}_A}{S_{y_A}} = \frac{0.25 - 0.211}{0.0118} = 3.305$$

查表31-6得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.305) = 0.999525$$

若  $F_1$  和  $F_2$  由同一力源产生,则联结系数

$$Z_R = \frac{y_s - \bar{y}_A}{S_{y_A}} = \frac{0.25 - 0.211}{0.0123} = 3.171$$

查表 31-6 得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.171) = 0.999238$$

**例 31-33** 一测量用螺旋弹簧, 材料 65Mn, 剪切弹性模量  $\bar{G} = 81500 \text{ N/mm}^2$ ,  $V_G = 0.02$ ; 弹簧中径  $D_2 = 60 \pm 0.9 \text{ mm}$ ; 弹簧丝直径  $d = 6 \pm 0.04 \text{ mm}$ ; 制造时可保证弹簧的有效圈数  $n = 20 \pm 0.5$ , 试估计满足弹簧刚度要求  $C = \bar{C} \pm 0.03 \text{ N/mm}$  时的可靠度。

**解** 弹簧刚度定义为使弹簧产生单位变形所需的载荷, 即

$$C = \frac{F}{\lambda} = \frac{Gd^4}{8D_2^3n}$$

式中各随机变量的均值及变异系数分别为

$$\bar{D}_2 = 60 \text{ mm}, \quad V_{D_2} = \frac{0.9}{3 \times 60} = 0.005$$

$$\bar{d} = 6 \text{ mm}, \quad V_d = \frac{0.04}{3 \times 6} = 0.0022$$

$$\bar{n} = 20, \quad V_n = \frac{0.5}{3 \times 20} = 0.0083$$

弹簧刚度  $C$  的均值、变异系数及标准差

$$\bar{C} = \frac{\bar{G} \bar{d}^4}{8 \bar{D}_2^3 \bar{n}} = \frac{81500 \times 20^4}{8 \times 60^3 \times 20}$$

$$= 0.3056 \text{ N/mm}$$

$$V_C = (V_G^2 + 4^2 V_d^2 + 3^2 V_{D_2}^2 + V_n^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= (0.02^2 + 16 \times 0.0022^2 + 9 \times 0.005^2 + 0.0083^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.0278$$

$$S_C = \bar{C} V_C = 0.3056 \times 0.0278 = 0.0085 \text{ N/mm}$$

假设弹簧刚度  $C$  服从正态分布, 则可靠度

$$R = P(\bar{C} - \Delta C < C < \bar{C} + \Delta C)$$

$$= \int_{\bar{C}-\Delta C}^{\bar{C}+\Delta C} f(C) dC = \Phi\left(\frac{\Delta C}{S_C}\right) - \Phi\left(-\frac{\Delta C}{S_C}\right)$$

$$= \Phi\left(\frac{0.03}{0.0085}\right) - \Phi\left(-\frac{0.03}{0.0085}\right)$$

$$= \Phi(3.53) - \Phi(-3.53) = 0.9995485$$

### 3.6.3 磨损的概率设计

各种机械设备的报废零件中由于磨损引起的比重是很大的。这样重要的失效形式, 目前尚未能建立简单有效的通用计算方法。主要由于磨损速度不仅决定于载荷、材料, 而且还与材料副的组合、表面加工、滑动速度、润滑情况、工作温度、环境清洁情况等有关, 因此很难获得通用的数据。另一方面, 磨损失效多具有明显的发展过程, 不象强度失效那样突然, 若能及时维修、调整、更换过分磨损件, 则对定量计算的要求就不那样迫切了。然而, 磨损量往往是决定某些机械性能、精度、效率等的关键因素, 有些机械

设备对磨损的检查、维修和更换也不容易, 因此也就同样需要进行概率计算和耐磨寿命的可靠性预计。

(1) 磨损和磨损寿命曲线 考虑各影响因素寻找磨损随时间的变化规律都是极其复杂的, 目前尚属于创建阶段。在规定的条件下, 用试验获得一定磨损形式的经验数据, 也可解决不少产品的概率计算和预计的问题。图 31-43 为磨损量 (磨损尺寸、体积或重量) 随时间变化的典型过程。在跑合期, 摩擦表面由于机械加工形成的波峰容易磨去, 磨损速度  $u$  起初很高而迅速下降, 故磨损量  $w$  的变化呈下凹曲线。当波峰基本磨平, 磨损速度基本不变, 磨损量的变化呈直线即形成稳定磨损期。当磨损量过大, 接合面间达到不能允许的间隙, 引起润滑情况的恶化、动载的剧增等原因, 磨损速度和磨损量都剧烈增大而形成剧烈磨损期。显然, 正常工作不应在剧烈磨损期, 往往由于精度、泄漏等限制, 只允许达到很小的磨损量。

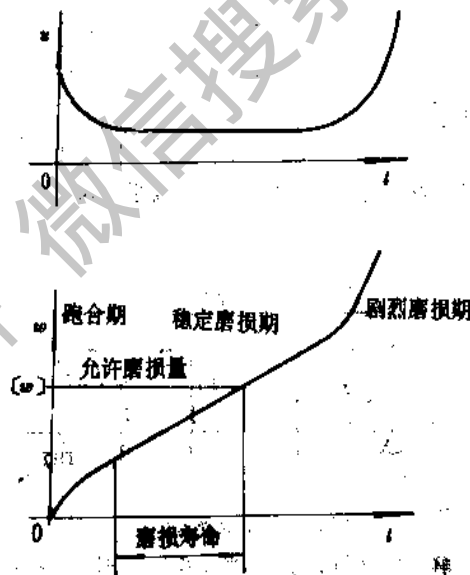


图 31-43 磨损与时间的关系

机械零件的磨损量和耐磨寿命都是随机变量, 图 31-44 是花键联接磨损量与工作时间关系的例子, 随着工作时间或磨损量的增加, 其离散程度也越来越大。

进行磨损的概率计算或预计时, 可根据具体情况观察或专门试验获得磨损数据, 经统计处理绘出磨损寿命曲线, 如图 31-45 所示。图中曲线是在不同时间测得的磨损量经统计后画出的。例如, 取一组  $n$  个试件, 在模拟实际情况下进行试验, 在试验到某时

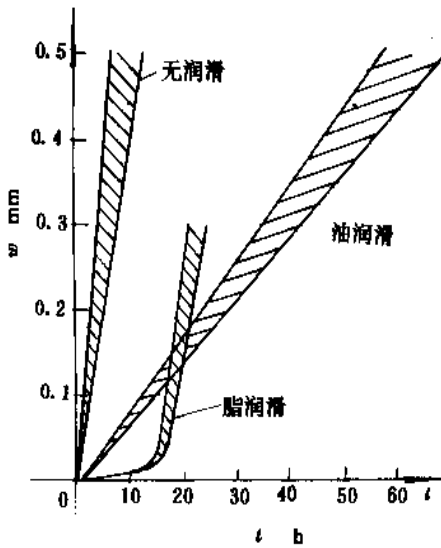


图31-44 花键联接磨损量与工作时间的关系

间  $t_i$ , 检测各试件的磨损量  $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}$ , 将这些数据统计处理, 估计其均值  $\bar{w}_i$  和标准差  $S_{w_i}$ 。再继续试验到  $t_2, t_3, \dots, t_m$ , 同样处理估计其均值  $\bar{w}_i$  和标准差  $S_{w_i} (i=1, 2, \dots, m)$ 。将各均值在坐标纸上描点(图31-45中1, 2,  $\dots, m$ 点)。这些点若近似在一直线上, 就可按这些点配一直线(有时为曲线或折线)。要求较精时, 可用回归分析法求出其回归方程式。再用各  $S_{w_i}$  求“-3 $\sigma$ ”的点1', 2',  $\dots, m'$ , 磨损量为

$$w'_i = (w_i)_{-3\sigma} = \bar{w}_i - 3S_{w_i}, i = 1, 2, \dots, m$$

将求得的各  $w'_i$  也在图31-45上描点, 并用虚线连成-3 $\sigma$ 线。同样也可求出回归方程式。

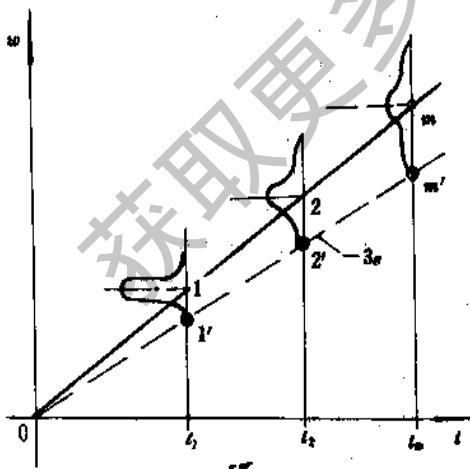


图31-45 磨损寿命曲线

磨损寿命曲线也可按一组试件在不同时间  $t_1, t_2, \dots, t_m$  记录得最大和最小磨损量作为上、下界点而画得界限线。若要求较精时也可将界限线用回归方程式表示, 求均值和标准差按“3 $\sigma$ ”原则近似处理。

(2) 抗磨损的可靠度和可靠寿命 零件在给定工作时间和容许磨损量的条件下, 可靠度决定于磨损寿命的分布。最好就具体情况用试验判定磨损寿命的分布。一般常假设服从正态分布, 即  $t \sim N(\bar{t}, S_t^2)$ , 如图31-46中的  $f_1(t)$ 。若工作时间也服从正态分布, 即  $t_1 \sim N(\bar{t}_1, S_{t_1}^2)$ , 如图31-46中的  $f_2(t)$ , 则求可靠度时联结系数

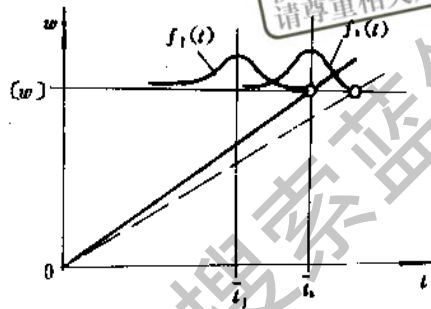


图31-46 求磨损可靠度的应力-强度模型

$$Z_R = \frac{\bar{t} - \bar{t}_1}{(S_t^2 + S_{t_1}^2)^{1/2}} \quad (31-304)$$

由表31-6即可查得  $R = \Phi(Z_R)$ 。

若磨损量一定, 则可靠寿命

$$t(R) = \bar{t} - Z_R S_t \quad (31-305)$$

式中  $\bar{t}$  ——容许磨损量的磨损寿命均值;

$S_t$  ——容许磨损量的磨损寿命标准差。

如果工作时间或磨损寿命不服从正态分布, 可按具体分布3.5.2节给出的相应方法求可靠度。

**例31-34** 某制动器摩擦衬片在容许磨损量  $[w] = 300 \mu\text{m}$  时, 经统计得磨损寿命的上、下限分别为  $t_U = 34.32 \text{ h}, t_L = 29.17 \text{ h}$ 。若该制动器每年实际累积摩擦时间  $t_1 = 25 \pm 5 \text{ h}$ , 求一年不磨损失效的可靠度。若不磨损失效的可靠度  $R = 0.99$ , 则应在实际工作多长时间进行维修或更换。

**解** 按“3 $\sigma$ ”原则, 取

$$\bar{t} = \frac{t_U + t_L}{2} = \frac{34.32 + 29.17}{2} = 31.745 \text{ h}$$

$$S_t = \frac{t_U - t_L}{6} = \frac{34.32 - 29.17}{6} = 0.858 \text{ h}$$

$$\bar{t}_1 = 25 \text{ h}, \quad S_{t_1} = \frac{5}{3} = 1.667 \text{ h}$$

按式(31-304), 假设  $t, t_1$  均服从正态分布, 则

$$Z_R = \frac{\bar{t} - \bar{t}_1}{(S_t^2 + S_{t_1}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{31.745 - 25}{(0.858^2 + 1.667^2)^{\frac{1}{2}}} = 3.60$$

查表 31-6 得

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.60) = 0.9998409$$

当  $R=0.99$  时查表 31-36 得  $Z_R=2.33$ , 按式 (31-305) 得可靠寿命

$$t(R) = t(0.99) = \bar{t} - Z_R S_t \\ = 31.745 - 2.33 \times 0.858 = 29.75 \text{ h}$$

即实际累积工作 29.75 h 时应进行维修或更换。

### 3.6.4 腐蚀的概率设计

有些耗损失效, 若作定期测量, 即可绘得耗损失效曲线。其中最简单的情况是耗损量与时间成线性关系。下面就容器腐蚀为例介绍其概率计算的应用,

表 31-76 容器壁厚的数据

序 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
壁厚	最初	2.388	2.261	2.286	2.337	2.184	2.261	2.286	2.311	2.311	2.235
	500 h	2.184	2.007	2.184	2.108	1.930	2.108	2.134	2.210	2.083	2.032
腐蚀量 $w_i$		0.204	0.254	0.102	0.229	0.254	0.153	0.152	0.101	0.228	0.203

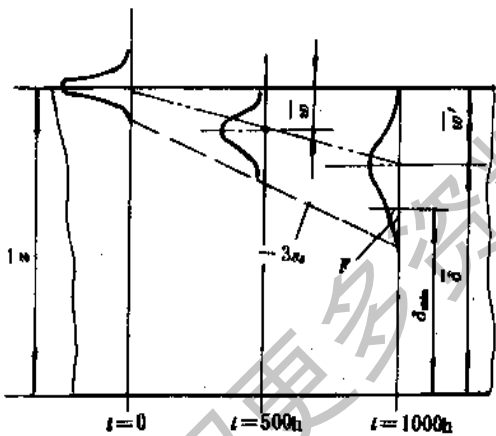


图 31-47 容器壁厚变化情况

$$S_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ = \left\{ \frac{1}{10-1} [(2.388-2.286)^2 + (2.261-2.286)^2 \right. \\ \left. + \dots + (2.235-2.286)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} = 0.0562 \text{ mm}$$

(2) 500 h 时腐蚀量的均值和标准差

其概念和计算公式的形式都与 3.6.3 节相同。

**例 31-35** 某容器要求工作 1000 h, 其主要失效形式是容器受腐蚀变薄泄漏或破裂。已知腐蚀量与时间成正比。现对 10 台容器在工作前测量壁厚, 工作 500 h 时又测量壁厚, 所测得的结果列于表 31-76 中。若容许的最小壁厚为 1.5 mm, 求工作到 1000 h 时的可靠度。

**解** 容器壁厚情况如图 31-47 所示。

(1) 最初壁厚的均值和标准差

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ = \frac{1}{10} (2.388 + 2.261 + \dots + 2.235) \\ = 2.286 \text{ mm}$$

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \\ = \frac{1}{10} (0.204 + 0.254 + \dots + 0.203) \\ = 0.188 \text{ mm} \\ S_w = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ = \left\{ \frac{1}{10-1} [(0.204-0.188)^2 + (0.254-0.188)^2 \right. \\ \left. + \dots + (0.203-0.188)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} = 0.0577 \text{ mm}$$

(3) 外推至 1000 h 时腐蚀量的均值和标准差

$$\bar{w}' = \frac{1000}{500} \bar{w} = \frac{1000}{500} \times 0.188 = 0.376 \text{ mm} \\ S_w' = \frac{1000}{500} S_w = \frac{1000}{500} \times 0.0577 = 0.1154 \text{ mm}$$

(4) 工作到 1000 h 时壁厚的均值和标准差

$$\bar{\delta} = \bar{x} - \bar{w}' = 2.286 - 0.376 = 1.910 \text{ mm} \\ S_{\delta} = (S_x^2 + S_w'^2)^{\frac{1}{2}} = (0.0563^2 + 0.1154^2)^{\frac{1}{2}} \\ = 0.1284 \text{ mm}$$

(5) 假设工作到 1000 h 时壁厚  $\delta$  服从正态分布, 则联结系数

$$Z_R = \frac{\bar{\delta} - \delta_{\min}}{S_{\delta}} = \frac{1.910 - 1.50}{0.1284} = 3.193$$

查表31-6得1000 h时不腐蚀失效的可靠度

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(3.193) = 0.99928$$

### 3.6.5 摩擦传动的概率设计

摩擦传动在机械传动中应用也是比较广的,例如无级变速器、带传动及摩擦离合器等。从承载能力方面分析,摩擦传动的主要失效形式是打滑。产生打滑的原因是传递的力  $F$  或转矩  $T$  大于摩擦传动所能产生的最大摩擦力  $F_{\max}$  或最大摩擦转矩  $T_{\max}$ ,因此不产生打滑失效的条件为

$$F < F_{\max} \quad (31-306)$$

$$\text{或} \quad T < T_{\max} \quad (31-307)$$

由于预紧力(或正压力)、摩擦系数、外载荷及几何尺寸等均为随机变量,故不打滑失效的可靠度

$$R = P(F < F_{\max}) \quad (31-308)$$

$$\text{或} \quad R = P(T < T_{\max}) \quad (31-309)$$

通常假设  $F$ 、 $F_{\max}$ 、 $T$  和  $T_{\max}$  均服从正态分布,按表31-55中序号1的公式求可靠度。

**例31-36** 某带式运输机中的  $V$  带传动,已知  $V$  带传动的输入功率  $P_1 = 7 \pm 0.6$  kW,输入转速  $n_1 = 1400 \pm 90$  r/min,当量摩擦系数  $f_v = 2.5 \pm 0.3$ 。通过初步设计选择  $A$  型  $V$  带4根,小带轮直径  $d_1 = 112$  mm,大带轮直径  $d_2 = 315$  mm(由于有公差限制,故假设为确定量),中心距  $a = 455 \pm 30$  mm,单根  $V$  带的初拉力  $F_0 = 150 \pm 30$  N,试确定此  $V$  带传动不打滑失效的可靠度。

**解** (1)按“3 $\sigma$ ”原则确定各变量的均值和标准差单根  $V$  带输入功率的均值和标准差

$$\bar{P}_1 = \frac{7}{4} = 1.75 \text{ kW}, S_{P_1} = \frac{0.6}{3 \times 4} = 0.05 \text{ kW}$$

输入转速的均值和标准差

$$\bar{n}_1 = 1400 \text{ r/min}, S_{n_1} = \frac{90}{3} = 30 \text{ r/min}$$

当量摩擦系数的均值和标准差

$$\bar{f}_v = 2.5, S_{f_v} = \frac{0.3}{3} = 0.1$$

中心距的均值和标准差

$$\bar{a} = 455 \text{ mm}, S_a = \frac{30}{3} = 10 \text{ mm}$$

初拉力的均值和标准差

$$\bar{F}_0 = 150 \text{ N}, S_{F_0} = \frac{30}{3} = 10 \text{ N}$$

(2)转矩的均值和标准差

$$T_1 = 9549 \frac{P_1}{n_1}$$

$$\begin{aligned} \bar{T}_1 &= 9549 \frac{\bar{P}_1}{\bar{n}_1} = 9549 \times \frac{1.75 \times 10^3}{1400} \\ &= 11936.25 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{T_1} &= (V_{\bar{P}_1}^2 + V_{\bar{n}_1}^2)^{\frac{1}{2}} = \left[ \left( \frac{0.05}{1.75} \right)^2 + \left( \frac{30}{1400} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 0.0357 \end{aligned}$$

$$S_{T_1} = \bar{T}_1 V_{T_1} = 11936.25 \times 0.0357 = 426.29 \text{ Nmm}$$

(3)小带轮包角的均值和标准差

$$\alpha_1 = \pi - 2 \arcsin \frac{d_2 - d_1}{2a}$$

$$\bar{\alpha}_1 = \pi - 2 \arcsin \frac{d_2 - d_1}{2a}$$

$$= \pi - 2 \arcsin \frac{315 - 112}{2 \times 455} = 2.69 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} S_{\alpha_1} &= \frac{2(d_2 - d_1)S_a}{a[4a^2 - (d_2 - d_1)^2]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{2(315 - 112) \times 10}{455[4 \times 455^2 - (315 - 112)^2]^{\frac{1}{2}}} = 0.01 \text{ rad} \end{aligned}$$

(4)不打滑失效的可靠度

带传动不打滑失效的条件为:带在工作中的有效圆周力  $F_e$  小于最大有效圆周力  $F_{e\max}$ ,即

$$F_e < F_{e\max} \quad (a)$$

由机械设计知

$$F_e = \frac{2T_1}{d_1} \quad (b)$$

$$F_{e\max} = 2F_0 \frac{e^{f_v \alpha_1} - 1}{e^{f_v \alpha_1} + 1} \quad (c)$$

将式(b)、(c)代入式(a)整理后得

$$T_1 < F_0 d_1 \frac{e^{f_v \alpha_1} - 1}{e^{f_v \alpha_1} + 1} = T_{1P} \quad (d)$$

故不打滑失效的可靠度

$$\begin{aligned} R &= P\left(T_1 < F_0 d_1 \frac{e^{f_v \alpha_1} - 1}{e^{f_v \alpha_1} + 1}\right) \\ &= P(T_1 < T_{1P}) \quad (e) \end{aligned}$$

$T_{1P}$ 的均值和标准差

$$\begin{aligned} \bar{T}_{1P} &= \bar{F}_0 d_1 \frac{e^{\bar{f}_v \bar{\alpha}_1} - 1}{e^{\bar{f}_v \bar{\alpha}_1} + 1} \\ &= 150 \times 112 \times \frac{e^{2.5 \times 2.69} - 1}{e^{2.5 \times 2.69} + 1} \\ &= 16759.71 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{T_{1P}} &= \left[ \left( \frac{\partial T_{1P}}{\partial F_0} \right)_0^2 S_{F_0}^2 + \left( \frac{\partial T_{1P}}{\partial f_v} \right)_0^2 S_{f_v}^2 + \left( \frac{\partial T_{1P}}{\partial \alpha_1} \right)_0^2 S_{\alpha_1}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[ \left( \frac{\bar{T}_{1P}}{\bar{F}_0} \right)^2 S_{F_0}^2 + \left( \frac{2a_1 \bar{T}_{1P} e^{\bar{f}_v \bar{\alpha}_1}}{e^{\bar{f}_v \bar{\alpha}_1} - 1} \right)^2 S_{f_v}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &+ \left( \frac{2\sqrt{2}T_{1P}e^{T_{1P}^2}}{e^{T_{1P}^2} - 1} S_{T_1}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \left( \frac{16759.71}{150} \right)^2 \times 10^2 \right. \\
 &+ \left( \frac{2 \times 2.69 \times 16759.71 \times e^{2.5 \times 2.69}}{e^{2.5 \times 2.69} - 1} \right)^2 \times 0.1^2 \\
 &+ \left. \left( \frac{2 \times 2.5 \times 16759.71 \times e^{2.5 \times 2.69}}{e^{2.5 \times 2.69} - 1} \right)^2 \times 0.01^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\
 &= 1117.37 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

假设  $T_1$  和  $T_{1P}$  均服从正态分布, 则联结系数

$$\begin{aligned}
 Z_R &= \frac{\bar{T}_{1P} - \bar{T}_1}{(S_{T_{1P}}^2 + S_{T_1}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{16759.71 - 11936.25}{(1117.37^2 + 426.29^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= 4.03
 \end{aligned}$$

查表 31-6 得不打滑失效的可靠度

$$R = \Phi(Z_R) = \Phi(4.03) = 0.999972$$

#### 4 系统可靠性分析

系统是由若干单元(零件、部件、装置、设备等)所组成并能完成某些特定功能的组合体。为便于分析研究, 大型复杂的系统可分级划分为较简单的分系统。单元是系统以下各装配等级的统称。

##### 4.1 不可修复系统的可靠性

“不可修复”是指产品失效后将不能修复或不值得修复。不可修复系统也可理解为在某规定的任务时间内, 系统中某一部分发生故障不可进行修复。这期间的可靠性分析方法也按不可修复系统处理。

##### 4.1.1 系统可靠性模型

系统可靠性模型是表示系统可靠性与单元可靠性之间的关系。它由可靠性逻辑框图(简称可靠性框图)和可靠性数学模型组成。可靠性框图是单元处于正常或失效状态时, 系统处于正常或失效的逻辑关系示意图。可靠性数学模型是可靠性框图的代数描述, 它给出系统可靠性与单元可靠性之间的定量函数关系。

(1) 串联系统 串联系统是组成系统的所有单元中任一单元失效就会导致整个系统失效的系统。图 31-48 为串联系统的可靠性框图。多数机械系统都是串联系统。若假定各单元的失效是相互独立的, 则可靠性数学模型

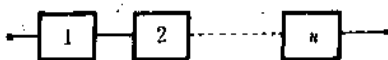


图 31-48 串联系统可靠性框图

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (31-310)$$

式中  $R_s$  ——系统的可靠度;

$R_i$  ——第  $i$  个单元的可靠度。

串联系统的可靠度随着单元可靠度的减小及单元数的增多而下降。为提高串联系统的可靠性, 单元数宜少, 而且应重视改善最薄弱单元的可靠性。

##### (2) 并联系统 并联系统是组成系统的所有

单元都失效时系统才失效的系统。图 31-49 为并联系统的可靠性框图。若假定各单元的失效是相互独立的, 则可靠性数学模型

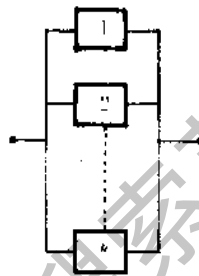


图 31-49 并联系统可靠性框图

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (31-311)$$

式中  $R_s$  ——系统的可靠度;

$F_i$  ——第  $i$  个单元的不可靠度;

$R_i$  ——第  $i$  个单元的可靠度。

并联系统对提高系统的可靠度有显著的效果。但对于机械系统, 由于尺寸、重量、价格等的限制, 很少采用并联系统。对于非常重要的系统, 并联数也不多, 例如动力装置、安全装置采用并联时, 常取  $n=2 \sim 3$ 。

(3) 混联系统 混联系统是由串联和并联混合组成的系统。图 31-50a 为混联系统的可靠性框图, 其数学模型可运用串联和并联两种基本模型将系统中一些串联及并联部分简化为等效单元。例如如图 31-50

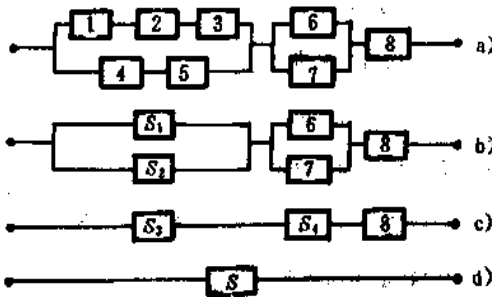


图 31-50 混联系统及其简化



的 a 可按图中 b、c、d 的次序依次简化,则

$$R_{s1} = R_1 R_2 R_3$$

$$R_{s2} = R_4 R_5$$

$$R_{s3} = 1 - (1 - R_{s1})(1 - R_{s2})$$

$$R_{s4} = 1 - (1 - R_6)(1 - R_7)$$

$$R_s = R_{s3} R_{s4} R_8$$

(4) 表决系统 表决系统是组成系统的  $n$  个单元中,不失效的单元不少于  $k$  个 ( $1 \leq k \leq n$ ),系统就不会失效的系统,又称为  $k/n$  系统。图31-51为表决系统的可靠性框图。若  $n$  个单元的可靠度均相同,记为  $R$ ,并假设各单元的失效相互独立,则系统的可靠性数学模型

$$R_s = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i} \quad (31-312)$$

式中  $\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$

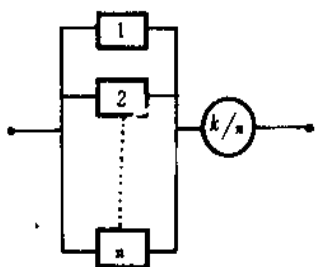


图31-51 表决系统

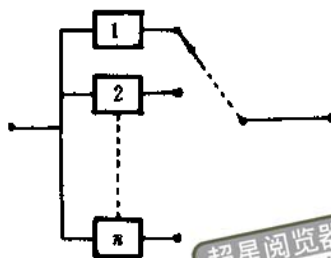


图31-52 旁联系统

(5) 旁联系统 旁联系统是组成系统的  $n$  个单元中只有  $k$  个单元工作,当工作单元失效时,通过失效监测装置和转换装置转到另一个单元进行工作的系统。图31-52为旁联系统的可靠性框图。当各单元的寿命都服从指数分布,失效率都为  $\lambda$ ,略去监测、转换装置不可靠的影响,假设各单元的失效相互独立,则系统的可靠性数学模型

$$R_s = e^{-k\lambda t} \sum_{i=0}^{n-k} \frac{(k\lambda t)^i}{i!} \quad (k \leq n) \quad (31-313)$$

通常,旁联系统常取  $k=1$ 。

#### 4.1.2 常用系统的可靠度和平均寿命

系统的可靠性数学模型给出了系统可靠度与单元可靠度的函数关系。当组成系统的各单元的寿命分布均为指数分布时,常用的系统可靠度和平均寿命的计算公式见表31-77。

表31-77 常用系统的可靠度和平均寿命

单元数	系统类别	单元失效率	系统可靠度 $R_s$	系统平均寿命 $\bar{t}_s$	
n	串联	$\lambda_i$ 不同	$e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i}$	$\frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$	
	表决 $k/n$	$\lambda_i = \lambda$	$\sum_{i=k}^n \binom{n}{i} e^{-n\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n-i}$	$\frac{1}{\lambda} \sum_{i=k}^n \frac{1}{i}$	
	旁联(转换可靠)	$k/n$	$\lambda_i = \lambda$	$e^{-k\lambda t} \sum_{i=0}^{n-k} \frac{(k\lambda t)^i}{i!}$	$\frac{n-k+1}{k\lambda}$
		$1/n$	$\lambda_i$ 不同	$\sum_{i=1}^n \left( \prod_{j=1, j \neq i}^n \frac{\lambda_j}{\lambda_j - \lambda_i} \right) e^{-\lambda_i t}$	$\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}$
		$\lambda_i = \lambda$	$e^{-k\lambda t} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(k\lambda t)^i}{i!}$	$\frac{n}{\lambda}$	

续表 31-77

单元数	系统类别	单元失效率	系统可靠度 $K_s$	系统平均寿命 $\bar{t}_s$	
2	并联	$\lambda_1 \neq \lambda_2$	$e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$	$\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2} \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$	
		$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$	$2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$	$\frac{3}{2\lambda}$	
	旁联	转换可靠	$\lambda_1 \neq \lambda_2$	$\frac{\lambda_2 c^{-\lambda_1 t} - \lambda_1 c^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 - \lambda_1}$	$\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2} \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$
		转换可靠	$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$	$(1 + \lambda t)e^{-\lambda t}$	$\frac{2}{\lambda}$
		转换失效率 $\lambda_0$	$\lambda_1 \neq \lambda_2$	$e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1 - \lambda_2} [e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t}]$	$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2(\lambda_0 + \lambda_1)}$
		转换失效率 $\lambda_0$	$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$	$e^{-\lambda t} \left[ 1 + \frac{\lambda}{\lambda_0} (1 - e^{-\lambda_0 t}) \right]$	$\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda + \lambda_0}$
3	并联	$\lambda_i$ 不同	$1 - (1 - e^{-\lambda_1 t})(1 - e^{-\lambda_2 t})(1 - e^{-\lambda_3 t})$	$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_3} - \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_3} + \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$	
		$\lambda_i = \lambda$	$1 - (1 - e^{-\lambda t})^3$	$\frac{11}{6\lambda}$	
	表决2/3	$\lambda_i$ 不同	$e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} + e^{-(\lambda_2 + \lambda_3)t} + e^{-(\lambda_3 + \lambda_1)t} - 2e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t}$	$\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_3} + \frac{1}{\lambda_3 + \lambda_1} - \frac{2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$	
		$\lambda_i = \lambda$	$3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}$	$\frac{5}{6\lambda}$	
	旁联 (转换可靠)	2/3	$\lambda_i = \lambda$	$(1 + 2\lambda t)e^{-2\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$
		1/3	$\lambda_i$ 不同	$\frac{\lambda_2 \lambda_3 e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_1 \lambda_3 e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)}$	$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}$
			$\lambda_i = \lambda$	$\left[ 1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2} \right] e^{-\lambda t}$	$\frac{3}{\lambda}$

浏览器提醒您：  
 请购买正版书籍  
 使用本复制品  
 将严重损害知识产权！

微信搜一搜 领星球

4.2 可修复系统的可靠性

“可修复”是指产品失效后可以修复。因此，可修复系统的可靠性不仅包括狭义的可靠性，还应包括维修性，常用有效度来衡量。

系统的有效度除与系统类型有关外，还与维修情况有关。一般只配备一组维修人员，有时为能迅速修复发生的几个故障单元，配备多组维修人员，显然其有效度增高。表31-78列出能工作时间和不能工作

时间均服从指数分布时不同系统的有效度计算式。式中，维修系数

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{MTTR}{MTBF} \quad (31-314)$$

图31-53、31-54、31-55分别给出并联、旁联和表决系统  $\rho$  与  $A$  的关系曲线。

表31-79列出各单元相同，能工作时间和不能工作时间均服从指数分布的并联、旁联和表决系统的可靠度和比值  $(MTTF)/MTBF$  的关系式。

表31-78 不同系统的极限有效度

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

系统类别	修理组数 $\gamma$	极限有效度 $A_s$
串联 $A_i$ 不同	1	$\frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \rho_i}$
	$n$	$\frac{1}{\prod_{i=1}^n (1 + \rho_i)}$
并联 $\rho_i = \rho$	1	$1 - \frac{\rho}{\sum_{i=1}^n i \rho^i}$
	$n$	$1 - \frac{\rho^n}{(1 + \rho)^n}$
旁联 $\rho_i = \rho$	1	$1 - \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{1}{\rho^i}}$
	$n$	$1 - \frac{1}{\sum_{i=0}^n i \rho^{n-i}}$
表决 $\rho_i = \rho$	$k$	$\sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \left(\frac{1}{1+\rho}\right)^i \left(\frac{\rho}{1+\rho}\right)^{n-i}$

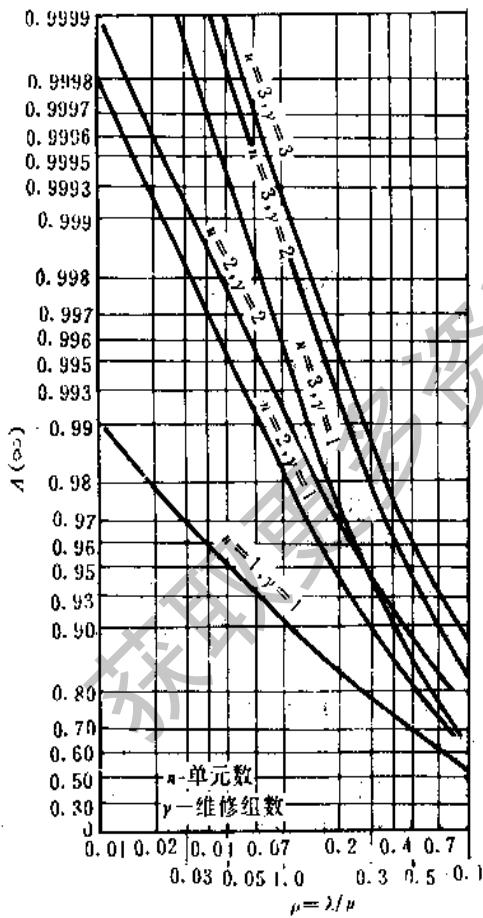


图31-53 并联系统  $A$  与  $\rho$  的关系

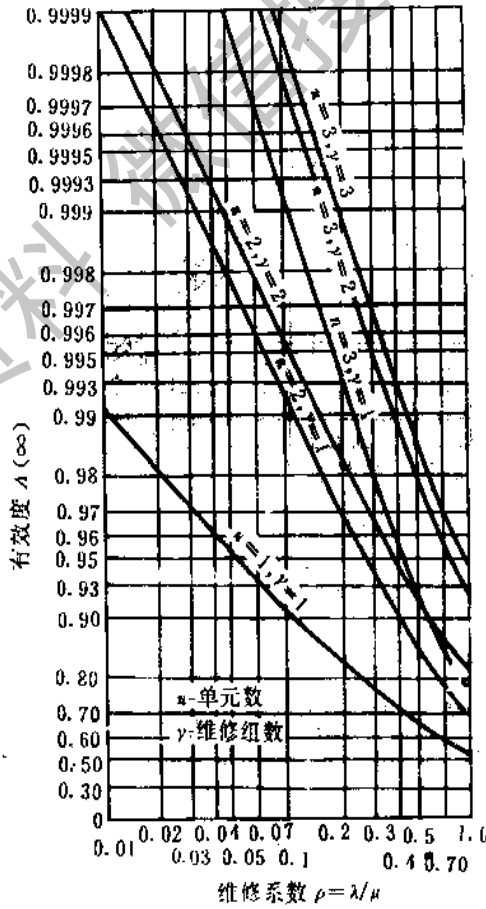


图31-54 旁联系统  $A$  与  $\rho$  的关系

表31-79 可维修系统的可靠度和比值(MTTF)/MTBF

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

系统类别	$R_s$	$S_1$ 和 $S_2$	$\frac{(MTTF)_s}{MTBF}$
2单元并联	$\frac{S_1 e^{S_2 t} - S_2 e^{S_1 t}}{S_1 - S_2}$	$S_2 = \frac{1}{2} [-(3\lambda + \mu) \pm (\mu^2 + 6\lambda\mu + \lambda^2)^{\frac{1}{2}}]$	$\frac{3}{2} + \frac{1}{2\rho}$
2单元旁联	同上	$S_2 = \frac{1}{2} [-(2\lambda + \mu) \pm (\mu^2 + 4\lambda\mu)^{\frac{1}{2}}]$	$2 + \frac{1}{\rho}$
2/3表决	同上	$S_2 = \frac{1}{2} [-(5\lambda + \mu) \pm (\mu^2 + 10\lambda\mu + \lambda^2)^{\frac{1}{2}}]$	$\frac{5}{6} + \frac{1}{6\rho}$

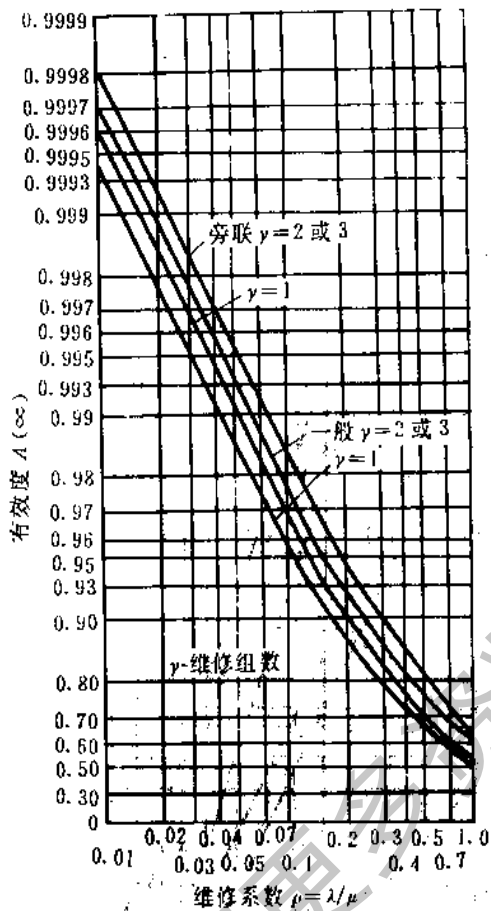


图31-55 2/3表决系统 A 与  $\rho$  的关系

### 4.3 可靠性预计

可靠性预计也称可靠性预测,它是根据组成系统的各单元可靠性或以往经验来推测系统的可靠性。

#### 4.3.1 可靠性预计的目的

a. 了解设计任务所提出的可靠性指标是否能满足,是否已满足。

- b. 便于进行不同方案的比较。
- c. 查明可靠性薄弱环节。
- d. 确认和验证可靠性增长。
- e. 作为可靠性分配的基础。
- f. 评价系统的固有可靠性。

#### 4.3.2 可靠性预计的方法

可靠性预计有许多方法,随预计的目的、设计的时期、系统的规模、失效的类型及数据情况等的不同而用不同的方法。

(1) 设计初期的概率预计法 新设计初期的预计,虽然没有足够的数据,但对可行性研究、方案的比较等均起着重要的作用。缺乏数据,可借用有数据的相类似产品,或由一批有经验的人员按该产品复杂程度与已知可靠性的产品类比评分给定。对于同类产品,有时利用经验公式的所谓快速预计法。这些经验公式是产品的可靠性指标与其有关的主要设计参数及性能参数之间的关系,通过回归分析得到的,其基本模型为

$$\ln MTBF = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i \quad (31-315)$$

式中  $x_i$  ——第  $i$  种参数,例如零件数、重量、功率、尺寸、温度、速度等;

$b_i$  ——系数,  $i=0,1,2,\dots,n$ 。

(2) 数学模型法 数学模型法是可靠性预计的最主要方法。本方法按各单元可靠性与系统可靠性的关系按4.1节所建立的精确或半精确的数学模型,通过计算预计系统的可靠性。

一般可仅考虑对系统可靠性有影响的主要组成,按可靠性的逻辑关系绘制可靠性框图,通常非串联部分均可单独计算,简化为一个等效单元,最终则成为一个简单的串联模型。故典型模型为

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (31-316)$$

式中  $R_i(t)$  ——第  $i$  个单元(或等效单元)的可靠度。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

单元如果是设备或装置等某一分系统,最好能有分系统的可靠性数据,否则需要将其分解成更小的单元,直到最基本的零件、元件。关于单元的可靠性数据可以运用以往积累的资料进行预计。资料来源于国家或企业的数据库、标准规范、参考资料及文献、外购件厂商数据、用户的调查、专门试验等。在设计中期和后期,则可按设计的详细资料对主要零部件或性能参数进行预计。具体算法见第3.5节。

(3) 蒙特卡洛模拟法 蒙特卡洛模拟法也叫随机模拟法。当系统中各单元的可靠性特征量已知,但系统的可靠性模型过于复杂,难以建立可靠性预计的精确数学模型,则用随机模拟法就可以近似计算出系统可靠性的预计值。特别是当组成系统的各单元的失效并不独立时,这种方法就显示出独特的优越性。具体算法及应用见第5节。

#### 4.4 可靠性分配

##### 4.4.1 可靠性分配的原则

a. 技术水平。对技术成熟的单元,能够保证实现较高的可靠性,或预期投入使用时可靠性可有把握地增长到较高水平,则可分配给较高的可靠度。

b. 复杂程度。对较简单的单元,组成该单元的零部件数量少,组装容易保证质量,则可分配给较高的可靠度。

c. 重要程度。对重要的单元,该单元失效将产生严重的后果,则应分配给较高的可靠度。

d. 任务情况。对整个任务时间内均需连续工作以及工作条件严酷,难以保证很高可靠性的单元,则应分配给较低的可靠度。

此外,还应考虑费用、重量、尺寸、时间等因素,最终以最小的代价达到系统可靠性的要求。

为了问题的简化,一般均假定各单元的故障是相互独立的。根据不同情况,可靠性分配可将系统的可靠度 $R_s$ 分配给各单元,也可将系统的不可靠度 $F_s$ 分配给各单元,或将系统的失效率 $\lambda$ 分配给各单元。

##### 4.4.2 可靠性分配的方法

可靠性分配有许多方法,随掌握可靠性资料的多少、设计的时期以及目标和限制条件等的不同而不同。下面仅介绍几种。

(1) 等分配法 本方法用于设计初期,对各单元可靠性资料掌握很少,故假定各单元条件相同。

a. 串联系统,如图31-48所示,各单元的可靠度

为

$$R_i = R_s^{\frac{1}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (31-317)$$

式中  $R_s$  ——系统要求的可靠度;

$R_i$  ——第*i*单元分配得的可靠度;

$n$  ——串联单元数。

b. 并联系统,如图31-49所示,各单元的可靠度为

$$R_i = 1 - F_s^{\frac{1}{n}} = 1 - (1 - R_s)^{\frac{1}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (31-318)$$

式中  $R_s$  ——系统要求的可靠度;

$F_s$  ——系统要求的不可靠度;

$R_i$  ——第*i*单元分配得的可靠度;

$n$  ——并联单元数。

c. 混联系统,一般可化为等效单元,同级等效单元分配给相同的可靠度。例如图31-50中的单元可先按图c)分配得

$$R_8 = R_{93} = R_{14} = R_5^{\frac{1}{3}}$$

再由图b)分配得

$$R_{11} = R_{12} = 1 - (1 - R_{93})^{\frac{1}{2}}$$

$$R_6 = R_7 = 1 - (1 - R_{14})^{\frac{1}{2}}$$

再由图a)分配得

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_5^{\frac{1}{6}}$$

$$R_4 = R_5 = R_2^{\frac{1}{2}}$$

(2) 比例分配法 本方法用于新设计的系统与原有系统基本相同,已知原有系统各单元的 $F_i$ 或 $\lambda_i$ ,但对新设计的系统规定了新的可靠性要求,这时可取新系统分配给各单元的失效概率 $F_i$ 与原系统相应单元的 $F_i$ 成正比,若为指数分布,则各单元分配的失效率 $\lambda_i$ 与相应单元的 $\lambda_i$ 成正比。

a. 串联系统,若系统要求的可靠度为 $R_s$ ,则各单元的不可靠度 $F_i$ 为

$$F_i \approx \frac{F_s F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{(1 - R_s) F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (31-319)$$

当各单元寿命服从指数分布时,各单元的失效率 $\lambda_i$ 为

$$\lambda_i = \frac{\lambda_s \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (31-320)$$

式中  $\lambda_s$  ——新系统要求的失效率。

b. 并联系统,若系统要求不可靠度为 $F_s$ ,则各



单元的不可靠度  $F_i$  为

$$F_i = \left( \frac{F_s}{\prod_{i=1}^n F_i} \right)^{\frac{1}{n}} F_i \quad (31-321)$$

当各单元寿命服从指数分布时,各单元的失效率  $\lambda_i$  为

$$\lambda_i = \left( \frac{F_s}{\prod_{i=1}^n \lambda_i} \right)^{\frac{1}{n}} \lambda_i \quad (31-322)$$

c. 混联系统,化为等效单元后分别运用串联和并联系统的比例分配法。

**例31-37** 已知某系统由3个单元串联组成。原系统工作500 h时各单元失效概率分别为  $F_1 = 0.004, F_2 = 0.008, F_3 = 0.010$ ,新设计的系统要求工作500 h时的可靠度  $R_s = 0.99$ ,求分配给各单元的可靠度。

**解** 用式(31-319),式中

$$\sum_{i=1}^3 F_i = 0.004 + 0.008 + 0.010 = 0.022$$

$$F_s = 1 - R_s = 1 - 0.99 = 0.01$$

$$F_1 = \frac{0.01}{0.022} \times 0.004 = 0.0018$$

$$R_1 = 1 - F_1 = 0.9982$$

$$F_2 = \frac{0.01}{0.022} \times 0.008 = 0.0036$$

$$R_2 = 1 - F_2 = 0.9964$$

$$F_3 = \frac{0.01}{0.022} \times 0.010 = 0.0045$$

$$R_3 = 1 - F_3 = 0.9955$$

验算:

$$R_s = R_1 R_2 R_3 = 0.9982 \times 0.9964 \times 0.9955 = 0.9901 \approx 0.99$$

(3) 综合评分分配法 本方法是按经验对各单元考虑主要因素综合评分,根据各单元得分多少分配给相应的可靠性指标。关于考虑的因素及评分办法可视具体情况而定。通常按4.4.1节的分配原则各评给1~10分,高分分给较高的失效概率或失效率。例如,考虑的因素为:①技术水平,对技术成熟,有把握保证高可靠性评1分,反之评10分;②复杂程度,单元组成元件少,结构简单评1分,反之评10分;③重要程度,极其重要评1分,反之评10分;④任务情况,整个任务期中工作时间很短,工作条件好评1分,反之评10分。第*i*单元综合得分可取各因素得分之积,即

$$\omega_i = \prod_{j=1}^4 \omega_{ij} \quad (31-323)$$

式中,*j*代表前述四项因素。系统总分数为

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (31-324)$$

式中,*i*为单元编号。第*i*单元得分比数为

$$\epsilon_i = \frac{\omega_i}{\omega} \quad (31-325)$$

一般串联系统,各单元分配得的可靠度  $R_i$  为

$$R_i = R_s^{\epsilon_i} \quad (31-326)$$

式中  $R_s$ ——系统要求的可靠度。

**例31-38** 某系统由3个单元串联组成,要求任务时间为500 h时的可靠度  $R_s = 0.95$ ,按综合评分法求各单元的可靠度。

**解** 用式(31-326)列表计算,结果见表31-80。

表31-80 例31-38的列表计算

单元号 <i>i</i>	评 分				单元分 $\omega_i = \prod_{j=1}^4 \omega_{ij}$	单元得分比 $\epsilon_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}$	单元分得可靠度 $R_i = R_s^{\epsilon_i}$
	技术水平 $\omega_{i1}$	复杂程度 $\omega_{i2}$	重要程度 $\omega_{i3}$	任务情况 $\omega_{i4}$			
1	2	2	5	3	60	0.0166	0.99915
2	5	5	10	3	750	0.2078	0.98940
3	8	10	5	7	2800	0.7756	0.96100
$\sum_{i=1}^3 \omega_i = 3610$							$R_s = 0.95$

## 4.5 失效模式、效应及危害度分析

### 4.5.1 基本概念

失效模式、效应及危害度分析,简记为 FME-

CA,它是失效模式分析(FMA)、失效效应分析(FEA)和失效危害度分析(FCA)三种分析方法组合的总称。失效模式是失效表现的状态,失效效应是指某种失效模式对本单元和整个系统的影响。失效危害度是指失效后果的危害程度。根据情况,有时只



用其中的一、二种分析法,例如常只进行失效模式和效应分析,简记为 FMEA。

FMEA 是一种归纳法的定性分析,它是从可靠性的角度对所做的设计进行详细评价,对可能发生的失效模式按其影响程度确定等级,并根据需要提出改进设计的意见,以完善设计工作。它的特征为:用表格的形式表示;从低层次开始逐步向高层次分析,原则上是全面分析。然而,全面详细分析所需工作量很大,因此对已有使用经验表明效果好的部分可免于分析或者提高分析级别;反之,对新产品或研制内容较多的部分,则应详细分析。

FMCA 是 FMEA 的扩展,运用危害度使分析定量化。危害度按因失效引起功能丧失和对人身伤害、经济损失的程度划分等级,有时也按其发生的概率来评定。

本方法既是协助设计评审的一种技术,也是一种保证及评价方法。在系统和子系统设计的最初阶段就可加以应用,并在设计过程中根据获得的新资料不断改进。它可用于各种级别的系统设计,是提高和保证产品可靠性的一种设计分析方法。

#### 4.5.2 分析的过程和方法

由于产品的多样性,分析的过程和方法也不尽相同,大致可取下列内容适当增减。

(1) 划分功能块 系统可逐级分解直到最基本的零件、构件。一般根据分析的目的,可仅将系统分解到某一水平。将系统按功能分解为功能块并绘出系统功能逻辑框图如图31-56所示。

(2) 列举各功能块所有失效模式、起因和效应 失效模式应与该功能块所在级相适应。在最低的

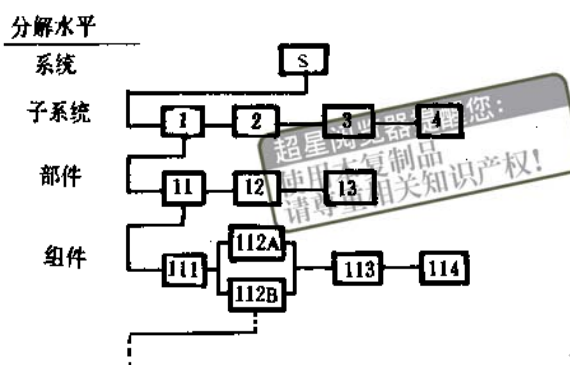


图31-56 系统功能逻辑框图

分析级上,列出该级各单元所有可能出现的各种失效模式,以及每种失效模式发生的起因、对应的失效效应。对于一个更高功能级上考虑失效效应时,前述失效效应又被解释为一个失效模式。连续迭代直至系统最高功能级上的失效效应。为避免重大遗漏,宜由熟悉该系统结构、工作原理、使用情况的设计、使用等技术人员共同分析。

(3) 进行危害度分析 分析方法按情况可取不同方式。下面举几种方式供参考。

a. 按系统的各种要求、目标和约束条件,对所考虑的每种失效效应,根据它对整个系统性能的危害程度加以分类。表31-81是基于人员伤亡、设备损失和功能下降为例编制的危害度等级的例子。

可能时也可估计该失效模式发生的概率(或频率),或将其分为很低、低、中、高等四个类别。当该失效模式的危害程度和发生的概率都很大时,表明危害度也很大,首先需要采取措施改进。

表31-81 失效效应危害程度的尺度举例

危害度等级	危害程度
IV	可能成为主要系统丧失功能、从而导致系统或其环境的重大损失的潜在原因或造成人身伤亡的潜在原因
III	可能成为主要系统丧失功能、从而导致系统或其环境的重大损失的潜在原因,而又几乎不危及人身安全
II	能造成系统功能、性能的退化,而对系统或人员的生命或肢体无显著损害
I	可能成为系统功能、性能退化的原因,而对系统或其环境几乎无损坏,对人身安全亦无损害

b. 按失效发生的频繁程度、影响的严重程度、发现的难易程度等估计危害顺序数。各项均利用数字1

到10来判断其程度高低。发生的可能性极小用1表示,几乎必然发生用10表示,影响极轻微用1表示,很

严重用10表示;极容易发现用1表示,很难发现用10表示。取各项数字的连乘积称为危害顺序数。顺序数越高,表示危害越大。根据各失效模式的危害顺序数,即可突出那些必须改进的关键方面。

不同的产品应制定出适合本产品的评估数,如表31-82所示。同时,为了评定时有据可依,还应给出每种评定数的具体条件。

表31-82 危害程度评价基准举例

数 字	故障发生频繁程度	故障影响严重程度	故障发现难易程度
1~2	几乎不发生	几乎无影响	极易
3~4	发生的可能性很低	轻微	容易
5~6	一般	一般	一般
7~8	发生的可能性高	严重	难
9~10	发生的可能性很高	很严重	很难

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

c 按具体情况拟定几项评定因素、评分标准,按下式计算危害度的分值

$$\omega = \prod_{i=1}^n \omega_i \quad (31-327)$$

式中  $\omega_i$  ——第  $i$  项评定因素的评分值;  
 $n$  ——考虑评定因素的项数。

表31-83为某企业评定因素和给分标准的例子。按式(31-327)求得: $\omega > 1$ ,表示危害严重,需改变设计; $\omega = 0.5 \sim 1$ ,说明有一定程度的危害,应修改设计或采取相应措施; $\omega < 0.5$ ,说明无显著危害,原设计可用

表31-83 危害度评定因素和评分标准举例

评定因素	影 响 程 度	评分值 $\omega_i$
危害后果 $\omega_1$	系统丧失功能,损失巨大,人员伤亡	5.0
	造成相当大的损失	3.0
	不丧失功能	1.0
对系统影响 $\omega_2$	对系统有两个以上重大故障	2.0
	对系统有一个重大故障	1.0
	对系统无重大影响	0.5
故障发生频率 $\omega_3$	发生频率较高	1.5
	可能发生	1.0
	发生可能性很小	0.7
预防难易 $\omega_4$	不能预防	1.3
	能够预防	1.0
	很易预防	0.7
是否需修改设计 $\omega_5$	需大改	1.2
	略改动	1.0
	无需改动	0.8

(4) 提出改进措施 应尽量消除危害性高的失效模式,这时常需改变设计。无法消除时,应分配给高的可靠性指标。必要时,增设报警、监测、防护等措施。

(5)填写失效模式、效应及危害度分析表 不同系统所用表格不尽相同,但对同类产品,企业内部宜取统一格式。图31-57为典型表格的例子。

超星阅读器  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

失效模式、效应及危害度分析								
系统		填表人			日期			
方块图号	失效模式	判定原因	效 应		检测方法	危害性	改进措施	备 注
			本单元	系 统				
			(发生后果)	(发生后果)		(评等级或评分)		

失效模式、效应及危害度分析									
系统		填表人			日期				
零件名称 零件号	零件功用	故障模式	故障后果	故障原因	发生频	影响	发现	危害	改进措施 和 目前情况
					繁程度 $N_f$	严重程 度 $N_i$	难易程 度 $N_d$	顺序数 $RPN$	
		(列举)			(1-10分)	(1-10分)	(1-10分)	前三项分乘积	

图31-57 失效模式、效应及危害度分析表格举例

## 4.6 故障树分析




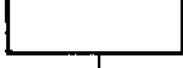
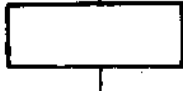



### 4.6.1 基本概念

故障树分析也叫失效树分析,简称FTA,它是系统可靠性和安全性分析的工具之一。故障树分析包括定性分析和定量分析。定性分析的主要目的是,寻找导致与系统有关的不希望事件发生的原因和原因的组,即寻找导致顶事件发生的所有故障模式。定量分析的主要目的是,当给定所有底事件发生的概率时,求出顶事件发生的概率及其它定量指标。在系统设计阶段,故障树分析可帮助判明潜在故障以





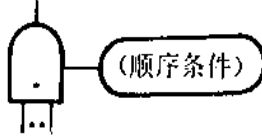



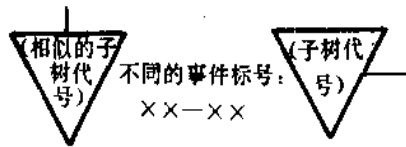
便改进设计。

故障树是一种特殊的倒立树状逻辑因果关系图,它用事件符号、逻辑门符号和转移符号(见表31-84)描述系统中各种事件之间的因果关系。在故障树分析中各种故障状态或不正常情况皆称为故障事件,各种完好状态或正常情况皆称为成功事件。两者均可简称为事件。在故障树分析中逻辑门只描述事件间的逻辑因果关系。逻辑门的输入事件是输出事件的“因”,逻辑门的输出事件是输入事件的“果”。转移符号是为了避免画图时重复和使图形简明而设置的符号。

表31-84 故障树分析中常用的符号

	符号名称	定 义
事 件 符 号	底事件	底事件是故障树分析中仅导致其他事件的原因事件
	 基本事件	基本事件是分析中无需探明其发生原因的底事件
	 未探明事件	未探明事件原则上应进一步探明其原因,但暂时不必或暂时不能探明其原因的底事件
	 结果事件	结果事件是故障树分析中由其他事件或事件组合所导致的事件
	 顶事件	顶事件是故障树分析中所关心的结果事件
	 中间事件	中间事件是位于底事件和顶事件之间的结果事件
	特殊事件	特殊事件指在故障树分析中需用特殊符号表明其特殊性或引起注意的事件
	 开关事件	开关事件是在正常工作条件下必然发生或必然不发生的特殊事件
 条件事件	条件事件是描述逻辑门起作用的具体限制的特殊事件	
逻辑门符号	 与门	与门表示仅当所有输入事件发生时,输出事件才发生

续表 31-84

	符号名称	定 义
逻辑门符号	 或 门	或门表示至少一个输入事件发生时,输出事件就发生 
	 非 门	非门表示输出事件是输入事件的对立事件
	 表决门	表决门表示仅当 n 个输入事件中有 k 个或 k 个以上的事件发生时,输出事件才发生
	 顺序与门	顺序与门表示仅当输入事件按规定的顺序发生时,输出事件才发生
	 异或门	异或门表示仅当单个输入事件发生时,输出事件才发生
	 禁 门	禁门表示仅当条件事件发生时,输入事件的发生方导致输出事件的发生
转移符号	 转向符号、转此符号	相同转移符号用以指明子树的位置,转向和转此字母代号相同
	 相似转向、相似转化	相似转移符号用以指明相似子树的位置,转向和转此字母代号相同,事件的标号不同

#### 4.6.2 故障树的建立

建立故障树是一个反复深入、逐步完善的过程,通常应该在系统早期设计阶段开始。随着系统设计的进展和对故障模式的深入了解,故障树随之增大。建立故障树按演绎法从顶事件开始由上而下,循序渐近逐级进行,步骤如下:

- 选择和确定顶事件。顶事件是系统最不希望发生的事件,或是指定进行逻辑分析的故障事件。
- 分析顶事件,寻找引起顶事件发生的直接原因。将顶事件作为输出事件,将所有直接原因作为输入事件,并根据这些事件实际的逻辑关系用适当的逻辑门相联系。
- 分析每一个与顶事件直接相联系的输入事件。如果该事件还能进一步分解,则将其作为下一级的输出事件,如同b中对顶事件一样继续进行处理。
- 重复上述步骤,逐级向下分解,直到所有的输入事件不能再分解或不必要再分解为止,即建成了一棵故障树。

建树时应注意下列事项:

- 合理确定边界条件,以便明确建树范围,边界条件就是在建树前对系统、部件的某些变动参数作合理的假定。
- 顶事件必须是可分解的。有时最不希望发生的故障事件不止一个,即顶事件不是一个,这时往往要建几棵树。对于复杂的系统,为使工作简化,可将其中某些中间事件移出单独建树。
- 为了节省分析的工作量,应对故障树进行简化和模块分解。

故障树简化的手段是去掉明显的逻辑多余事件和明显的逻辑多余门。往往凭直观即可进行简化,若利用布尔代数进行简化则更合适。图31-58所示为简化的例子,图下面就是布尔代数的表达式。简化的另一手段是用相同的转移符号表示相同的子树,用相似的转移符号表示相似的子树,如图31-59所示。

故障树的模块是故障树中若干个底事件的集合,各集合都不包含其他集合的底事件,即各集合中的底事件向上可到达同一个逻辑门,并且必须通过此门才能到达顶事件,故障树的其他底事件向上均不能到达该逻辑门。最大模块是没有其他模块包含它的模块。图31-60中的a和b均为最大模块。故障

树的模块分解是找出故障树中尽可能大的模块,每个模块均构成一个模块子树,可单独进行定性和定量分析,并可用一等效的虚设底事件来代替,使原故障树的规模减小。

建树和简化不宜完全分为两个步骤,应该边建树边简化,最后再全盘进一步简化。

- 建立故障树需对系统有深入的了解,因此,必要时应邀请运行、维修、制造等各方面有经验的技术人员参加建树工作。

#### 4.6.3 故障树的定性分析

故障树的定性分析主要是通过找出故障树中所有导致顶事件发生的最小割集。割集是导致正规故障树顶事件发生的若干底事件的集合。若割集中的任一底事件不发生,顶事件就不发生,则这样的割集就是最小割集。例如图31-61中的故障树,若将各底事件分别用 $X_1, X_2, X_3, X_4$ 表示,其割集有: $\{X_1\}, \{X_2\}, \{X_3, X_4\}, \{X_1, X_2\}, \{X_1, X_2, X_3\}, \dots, \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$ 等。显然,最小割集只是 $\{X_1\}, \{X_2\}$ 和 $\{X_3, X_4\}$ 三个。这也正表明能导致该系统故障的三种可能形式。组成最小割集的底事件个数称为最小割集的阶。前面的最小割集中 $\{X_1\}$ 和 $\{X_2\}$ 是一阶割集, $\{X_3, X_4\}$ 是二阶割集。一般阶数越低,越容易故障,因此最低阶的最小割集常是系统的薄弱环节。

一般常用下行法或上行法求故障树的所有最小割集。

(1) 下行法 下行法的基本原则:对每一个输出事件,若下面是或门,则将该或门下的每一个输入事件各自排成一行,若下面是与门,则将该与门下的所有输入事件排在同一行。下行法的步骤:从顶事件开始,由上向下逐级进行,对每个结果事件重复上述原则,直到所有结果事件均被处理,所得每一行的底事件的集合均为故障树的一个割集。最后按最小割集的定义,对各行的割集通过两两比较,划去那些非最小割集的行,剩下的即为故障树的所有最小割集。

**例31-39** 用下行法求图31-62所示故障树的所有最小割集。

**解** 由顶事件 $T$ 开始,按上述原则逐步分析,见表31-85。分析至第4步,故障树的所有结果事件均已被处理,这时所得的每行均为一个割集。将得到的所有割集进行两两比较,因此 $\{X_5\}$ 是割集,故 $\{X_4, X_5\}$ 和

① 正规故障树是仅含故障事件以及与门、或门的故障树,对非正规故障树可作正规化处理,即将其他逻辑门变换成与门、或门。例如将顺序与门变换成与门;将禁门变换成与门;将表决门变换成或门和与门的组合。



$\{X_5, X_6\}$  不是最小割集, 应划去。最后得该故障树的所有最小割集为

$\{X_6\}, \{X_3, X_4\}, \{X_4, X_5\}, \{X_1, X_2, X_3\}$

提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

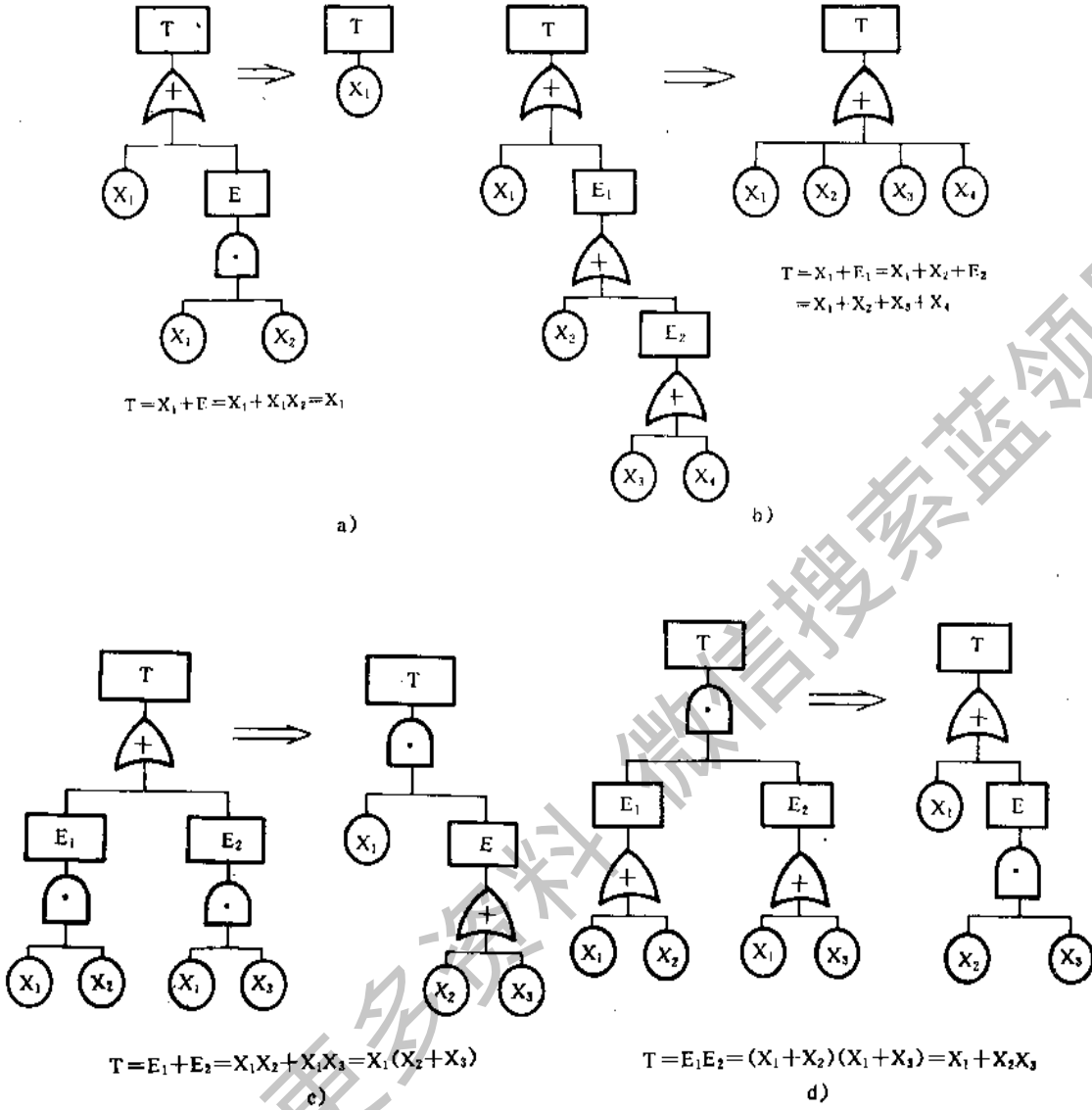


图31-58 故障树的简化例

表31-85 图31-62的故障树用下行法求割集

步		骤		
0	1	2	3	4
T	$E_1$	$E_3$	$X_1X_2X_3$	$X_1X_2X_3$
	$E_2$	$E_4$	$X_3X_4$	$X_3X_4$
		$E_5E_6$	$X_4E_6$	$X_4X_5$
			$X_5E_6$	$X_4X_6$
				$X_5X_6$
				$X_6X_6 = X_6$

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

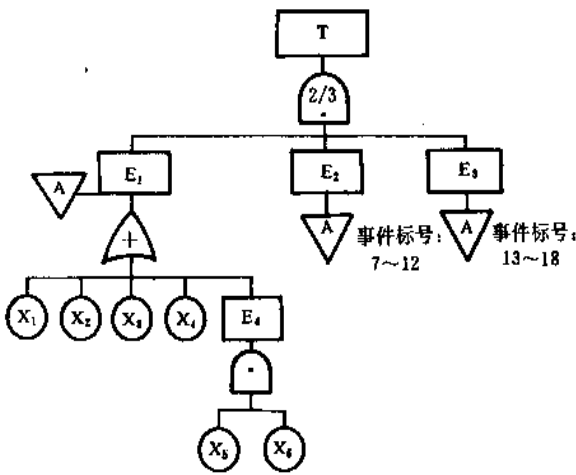


图31-59 相似转移的简化例

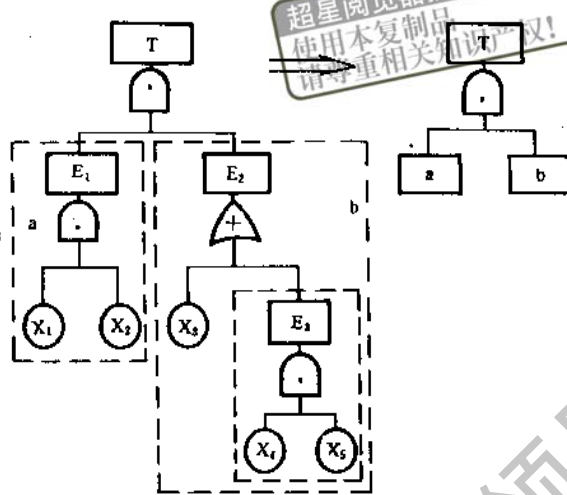


图31-60 故障树中模块例

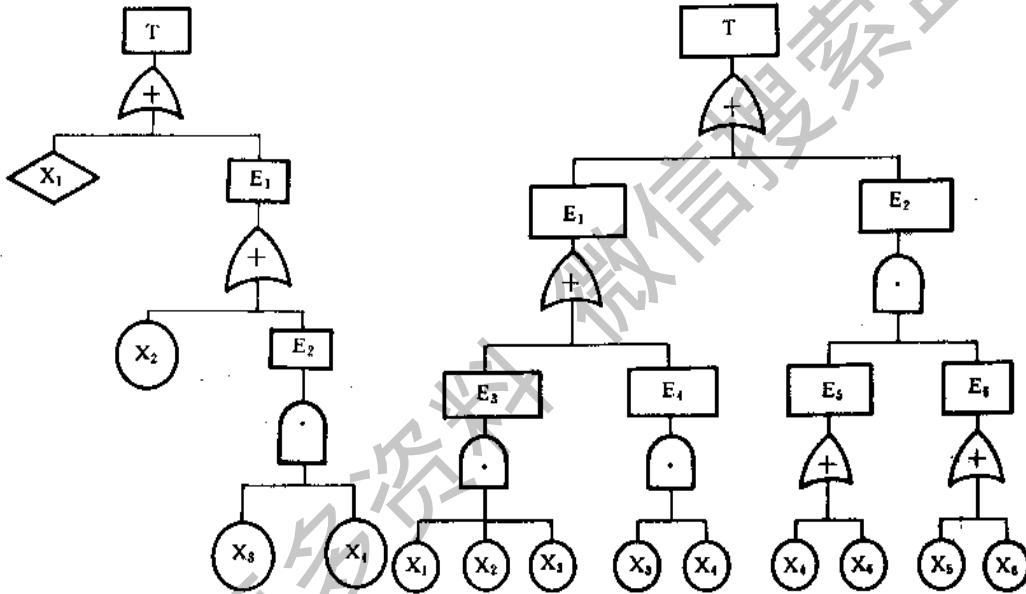


图31-61 故障树定性分析例

图31-62 例题分析用故障树

(2) 上行法 上行法的基本原则：对每个结果事件，若下面是或门，则将此结果事件表示成该或门下的各输入事件的布尔和(事件并)；若下面是与门，则将此结果事件表示成该与门下的输入事件的布尔积(事件交)。上行法的步骤：从底事件开始由下向上逐级进行。对每个结果事件重复上述原则，直到所有结果事件均被处理。将所得的表达式逐次代入，按布尔运算规则，将顶事件表示成底事件积之和的最简式，其中每一项对应于故障树的一个最小割集，从而求得故障树的所有最小割集。

例31-40 用上行法求图31-62所示故障树的所有最

小割集。

解 从底事件开始分析直至顶事件

$$\begin{aligned}
 E_3 &= X_1 X_2 X_3 \\
 E_4 &= X_3 X_4 \\
 E_5 &= X_4 + X_6 \\
 E_6 &= X_5 + X_6 \\
 E_1 &= E_3 + E_4 = X_1 X_2 X_3 + X_3 X_4 \\
 E_2 &= E_5 E_6 = (X_4 + X_6)(X_5 + X_6) = \\
 &= X_4 X_5 + X_4 X_6 + X_5 X_6 + X_6 X_6 = x_4 x_5 + x_4 x_6 \\
 T &= E_1 + E_2 = X_1 X_2 X_3 + X_3 X_4 + X_4 X_5 \\
 &+ X_4 X_6
 \end{aligned}$$

故得故障树的所有最小割集为

$$\{X_1, X_2, X_3\}, \{X_3, X_4\}, \{X_4, X_5\}, \{X_6\}$$

#### 4.6.4 故障树的定量分析

若有足够的能够估计出故障树中各底事件发生的概率,则在所有底事件相互独立的条件下,可用下述方法求出顶事件发生的概率。

(1) 直接概率法 本方法根据故障树的或门相当于可靠性框图中的串联模型,与门相当于可靠性框图中的并联模型,如图 31-63a 所示的或门,事件 E 发生的概率

$$P(E) = q_E = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i) \quad (31-328)$$

如图 31-63b 所示的与门,事件 E 发生的概率

$$P(E) = q_E = \prod_{i=1}^n q_i \quad (31-329)$$

式中  $q_i$  ——故障树中底事件  $X_i$  发生的概率。

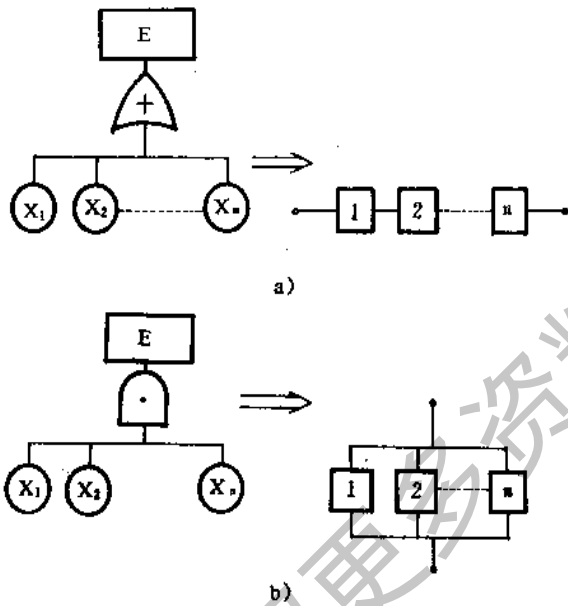


图 31-63 与可靠性框图相对应的或门及与门

一般由下而上求各层中间事件在内的各事件发生的概率直至求得顶事件发生的概率。应该注意,用本方法时不仅要求所有底事件相互独立,而且同一底事件在故障树中只能出现一次。当同一底事件在故障树中出现不只一次时,应按图 31-58 的原则进行简化。

**例 31-41** 求图 31-61 所示故障树的顶事件发生的概率,已知各底事件发生的概率  $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 0.05$ 。

解 由下而上计算于下:

$$q_{E_2} = q_3 q_4 = 0.05 \times 0.05 = 0.0025$$

$$q_{E_1} = 1 - (1 - q_2)(1 - q_{E_2}) = 1 - (1 - 0.05)(1 - 0.0025) = 0.0524$$

$$P(T) = Q = 1 - (1 - q_1)(1 - q_{E_1}) = 1 - (1 - 0.05)(1 - 0.0524) = 0.0998$$

(2) 不交布尔代数法 本方法可用于故障树规模比较大的情况,而且不要求底事件在故障树中只出现一次。用本方法求顶事件发生概率的步骤如下:

- 用上行法求最小割集,并将顶事件表示成各底事件积之和的最简布尔表达式。
- 将所得的最简布尔表达式化为互不相交的布尔和。
- 对求得的不变化表达式两边求概率,即得顶事件发生的概率。

**例 31-42** 求图 31-62 所示故障树顶事件发生的概率。各底事件发生的概率用  $q_i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$  表示。

解 由例 31-40 知,顶事件表示成各底事件积之和的最简布尔表达式为

$$T = X_6 + X_3 X_4 + X_4 X_5 + X_1 X_2 X_3$$

将上式化为互不相交的布尔和,即

$$\begin{aligned} T &= X_6 + X_3 X_4 \bar{X}_6 + X_4 X_5 \bar{X}_6 \bar{X}_3 \\ &+ X_1 X_2 X_3 \bar{X}_6 \bar{X}_4 (\bar{X}_4 + X_4 \bar{X}_5) \\ &= X_6 + X_3 X_4 \bar{X}_6 + X_4 X_5 \bar{X}_6 \bar{X}_3 + X_1 X_2 X_3 \bar{X}_6 \bar{X}_4 \end{aligned}$$

其中,  $\bar{X}_i$  表示底事件  $X_i$  的对立事件,即表示第  $i$  个底事件不发生。

将上面不变化表达式两边求概率,得顶事件发生的概率

$$\begin{aligned} P(T) = Q &= P(X_6) + P(X_3 X_4 \bar{X}_6) \\ &+ P(X_4 X_5 \bar{X}_6 \bar{X}_3) + P(X_1 X_2 X_3 \bar{X}_6 \bar{X}_4) \\ &= q_6 + q_3 q_4 p_6 + q_4 q_5 p_6 p_3 + q_1 q_2 q_3 p_6 p_4 \end{aligned}$$

其中,  $p_i$  表示底事件  $X_i$  不发生的概率,即  $p_i = 1 - q_i$ 。

## 5 蒙特卡洛模拟法及其应用

### 5.1 蒙特卡洛模拟法

#### 5.1.1 概述

蒙特卡洛模拟法又称统计试验法、随机模拟法等,简称模拟法。模拟法首先建立一个概率模型,通

过用数字进行的假想试验得到抽样值,经统计处理,将其结果转化为问题的解。模拟法既可以解随机性问题,也可以解确定性问题。通常用于难以用解析法求解的场合。对于随机性问题,由于本身就具有概率性质,所以所构造的概率模型主要是如何用以正确地描述它。对于确定性问题,则是根据问题的特点人为地构造一个概率模型,使其转化为一个具有概率特征的问题。由于可靠性设计就是处理工程设计中的随机性问题,所以这种方法在可靠性设计中应用非常广泛。例如,在可靠性设计中对应力、强度等分布的估计;用应力-强度模型求可靠度的点估计和区间估计;单元非指数分布或单元失效相关的系统,可靠寿命及可靠度的计算;复杂可修复系统有效度的计算等均可用模拟法来解决。为实现模拟次数  $N$  充分大,必须借助电子计算机来获得。

### 5.1.2 随机数的产生方法

在模拟法中,常以随机数字实验来代替真正的物理实验。随机数字试验的关键就是产生具有给定分布的随机数。一般都是先产生  $[0,1]$  区间均匀分布的随机数,然后再利用适当的抽样方法获得给定分布的随机数。

$[0,1]$  区间均匀分布是表 31-4 中均匀分布  $u(a, b)$  的一个特例,即  $a=0, b=1$ , 故可记为  $u(0,1)$ , 其

概率密度函数

$$f_u(x) = \begin{cases} 1 & \text{当 } 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (31-330)$$

分布函数

$$F_u(x) = \begin{cases} 0 & \text{当 } x \leq 0 \\ x & \text{当 } 0 < x \leq 1 \\ 1 & \text{当 } x > 1 \end{cases} \quad (31-331)$$

$[0,1]$  区间均匀分布随机变量  $X$  的抽样序列  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$  称为  $[0,1]$  区间均匀分布随机数。后面在不致发生混淆时,将其简称为随机数,并用  $r$  或  $r_i$  表示。

产生随机数有多种方法,这里仅给出两种方法。

(1) 随机数表法 为了产生随机数,可以使用随机数表。表 31-86 给出了一个随机数表。若需产生更多的随机数,可查阅其他文献。用该表产生随机数列时,可从任意的某栏某个开始。当需  $n$  位有效数字的随机数时,只需将表中  $n$  个相邻数字合并在一起用  $10^n$  来除即可。随机数表法不宜在计算机上使用,一般常用于模拟的人工试算或估算。

(2) 伪随机数法 伪随机数法是借助于数学递推公式而产生的随机数。严格讲,它不是真正的随机数,然而,如果递推公式和式中参数选择恰当,伪随机数可近似为均匀分布。本方法在计算机中占内存少、占机时少,而且可以重现,因此已被广泛采用。

表 31-86 随机数表

03 47 49 73 86	36 96 47 36 61	46 93 63 71 62	33 26 16 80 45	60 11 14 10 95
97 74 24 67 62	42 81 14 57 20	42 53 32 37 32	27 07 36 07 51	24 51 79 89 73
16 76 62 27 66	56 50 26 71 07	32 90 79 78 53	13 55 38 53 59	88 97 54 14 10
12 56 85 99 26	96 96 68 27 31	05 03 72 93 15	57 12 10 14 21	88 26 49 81 76
55 59 56 35 64	38 54 82 46 22	31 62 43 09 90	06 18 44 32 53	23 83 01 30 30
16 22 77 94 39	49 54 43 54 82	17 37 83 23 78	87 35 20 96 43	84 26 34 91 64
84 42 17 53 31	57 24 55 06 88	77 04 74 47 67	21 76 39 50 25	83 92 12 06 70
63 01 63 78 59	16 95 55 67 19	98 10 50 71 75	12 86 73 58 07	44 39 52 38 79
33 21 12 34 29	78 64 56 07 82	52 42 07 44 38	15 51 00 13 42	99 66 02 79 54
57 60 86 32 44	09 47 27 96 54	49 17 46 09 02	90 52 84 77 27	08 02 73 43 28
18 18 07 92 45	44 17 16 58 09	79 83 86 19 62	06 76 50 03 10	55 23 64 05 05
26 62 38 97 75	84 16 07 44 99	83 11 46 32 24	20 14 85 88 45	10 93 72 88 71
23 42 40 64 74	82 97 77 77 81	07 45 32 14 03	32 98 94 07 72	93 85 79 10 75
52 36 28 19 95	50 92 26 11 97	00 56 76 31 38	80 22 02 53 53	80 60 42 04 53
37 85 94 35 12	83 39 50 03 30	42 34 07 96 88	54 42 06 87 93	35 85 29 48 39
70 29 17 12 13	40 33 20 38 26	13 89 51 03 74	17 76 37 13 04	07 74 21 19 30
56 62 13 37 35	96 33 50 87 75	97 12 25 93 47	70 33 24 03 54	97 77 46 44 80
89 49 57 22 77	88 42 95 45 72	16 64 36 16 00	04 43 18 66 79	94 77 24 21 80
16 03 15 04 72	33 27 14 34 09	45 59 34 68 49	12 72 07 34 45	99 27 72 95 14
31 16 93 32 43	50 27 89 87 19	20 15 37 00 49	52 85 66 60 44	38 63 38 11 80
68 31 30 13 70	55 74 30 77 40	44 22 78 84 26	04 33 46 09 52	63 07 97 06 57
74 57 25 65 76	59 29 97 68 60	71 91 38 67 54	13 58 18 24 76	15 54 55 95 52
27 42 37 86 53	48 55 90 65 72	96 57 69 36 10	96 46 92 42 45	97 60 49 04 91
00 39 68 29 61	66 37 32 20 30	77 84 57 03 29	10 45 65 04 26	11 04 96 67 24
29 94 93 94 24	68 45 95 10 82	53 75 91 93 30	34 25 20 57 27	40 43 73 51 92

续表 31-86

超星网提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

16 90 82 66 59	83 62 64 11 12	67 19 00 71 74	60 47 21 29 63	02 02 37 03 31
11 27 94 75 06	06 09 19 74 66	02 94 37 34 02	76 70 80 30 86	38 45 94 30 33
35 24 10 16 20	33 32 51 26 38	79 78 45 04 91	16 92 53 56 16	02 75 50 95 93
33 23 16 86 38	42 33 97 01 50	87 75 66 81 41	40 01 74 91 62	48 51 84 08 32
31 96 25 01 47	96 44 33 49 13	34 86 82 53 91	00 52 43 48 85	27 55 26 89 62
66 67 40 67 14	64 05 71 95 86	11 05 65 09 63	76 83 20 37 90	57 16 00 11 66
14 90 84 45 11	75 73 88 05 90	52 27 41 14 86	22 88 12 22 08	07 52 74 95 80
68 05 51 13 00	33 96 02 75 19	07 60 62 93 55	59 33 82 43 50	49 37 38 44 59
20 46 78 73 90	97 51 40 14 02	04 02 33 31 08	39 54 16 49 36	47 95 93 13 30
64 19 58 97 79	15 06 15 93 20	01 90 10 75 06	40 78 78 89 62	02 67 74 17 33
05 26 93 70 60	22 35 85 15 13	92 03 51 59 77	59 56 78 06 83	52 91 05 70 74
07 97 10 88 23	09 98 42 99 64	61 71 62 99 15	06 51 29 16 93	58 05 77 09 51
68 71 86 85 85	54 87 66 47 54	73 32 08 11 12	44 95 92 63 16	29 56 24 29 43
26 99 61 65 53	58 37 78 80 70	42 10 50 67 42	32 17 55 35 74	94 44 67 16 94
14 65 52 68 75	87 59 36 22 41	26 78 63 06 55	13 03 27 01 50	15 29 39 39 43
17 53 77 58 71	71 41 61 50 72	12 41 94 96 26	44 95 27 36 99	02 96 74 30 83
90 26 59 21 19	23 52 23 33 12	96 93 02 13 39	07 02 18 36 07	25 99 32 70 23
41 23 52 55 99	31 04 49 69 96	10 47 48 45 38	13 41 43 89 20	97 17 14 49 17
60 20 50 81 69	31 99 73 63 68	35 81 33 03 76	24 30 12 43 60	18 99 10 72 34
91 25 33 05 90	94 58 28 41 36	45 37 59 03 09	90 35 57 29 12	82 62 54 65 60
34 50 57 74 37	93 80 33 00 91	09 77 93 19 82	74 94 80 04 04	45 07 31 66 49
85 22 04 39 43	73 81 53 94 79	33 62 46 86 28	03 31 54 46 31	53 94 13 38 47
09 79 13 77 43	73 82 97 22 21	05 03 27 24 83	72 89 44 05 60	35 80 39 94 88
83 75 80 18 14	22 95 75 42 49	39 32 82 22 49	02 43 07 70 37	16 04 61 67 87
90 96 23 70 00	39 00 03 06 90	55 85 78 38 36	94 37 30 69 32	90 89 00 76 33
53 74 23 99 67	61 32 23 69 34	94 62 67 86 24	93 33 41 19 95	47 53 53 38 09
63 38 06 86 54	99 00 65 26 94	02 82 90 23 07	79 62 67 30 60	75 91 12 81 19
35 30 53 21 16	06 72 17 10 94	25 21 31 75 96	49 28 24 00 49	55 65 79 78 07
63 43 86 82 69	65 51 18 37 83	61 38 44 12 45	32 92 85 33 65	51 34 31 35 35
98 25 37 55 26	01 91 82 81 46	74 71 12 94 97	24 02 71 37 07	03 92 18 66 75
02 63 21 17 69	71 50 30 89 56	38 15 70 11 43	43 40 45 86 98	00 88 26 91 03
64 55 22 21 82	43 22 28 06 00	61 54 13 43 91	82 78 12 23 29	06 66 24 12 27
85 07 26 13 89	01 10 07 82 04	59 63 69 86 03	69 11 15 83 80	13 29 54 19 28
58 54 16 24 15	51 54 44 32 00	62 61 65 04 69	38 18 65 18 97	85 72 13 49 21
34 85 27 84 87	61 48 64 56 26	90 18 48 13 26	37 70 15 12 57	65 65 30 39 07
03 92 18 27 16	57 99 16 96 56	30 33 72 35 22	84 64 38 56 98	99 01 00 98 64
62 93 30 27 59	37 75 41 66 48	86 97 80 61 45	23 53 04 01 63	45 76 03 64 27
08 45 93 15 22	60 21 75 46 91	98 77 27 85 42	28 88 61 08 84	69 62 03 42 73
07 08 55 13 10	45 44 75 13 90	24 94 96 61 02	57 55 66 83 15	73 42 37 11 61
01 85 39 95 66	51 10 19 34 88	15 84 97 19 75	12 76 39 43 78	64 68 91 08 25
72 34 71 14 35	19 11 53 49 26	50 11 17 17 76	86 31 57 20 18	95 60 73 46 75
88 78 28 16 84	13 52 53 94 53	75 45 69 30 96	73 89 65 70 31	99 17 43 48 76
45 17 75 65 57	28 40 19 72 12	25 12 74 75 67	60 40 60 81 19	24 62 01 61 16
96 76 28 12 54	22 01 11 94 25	71 96 16 16 88	68 64 36 74 45	19 59 50 38 92
43 31 67 72 30	24 02 94 03 63	33 32 36 66 02	69 36 88 25 39	43 03 45 15 22
50 44 66 44 21	86 06 53 05 62	63 15 54 35 02	42 35 43 96 32	14 52 41 52 48
22 66 22 15 36	26 63 75 41 99	53 42 36 72 24	58 37 52 18 51	03 37 13 39 11
96 24 40 14 51	23 22 30 83 57	95 67 47 29 83	91 69 40 06 07	18 16 36 78 86
31 73 91 61 19	60 20 72 93 48	98 57 07 23 69	65 95 59 69 58	56 80 30 19 44
73 00 73 99 34	43 89 94 36 45	56 69 47 07 41	90 22 91 07 12	78 35 34 08 72



续表 31-86

超星网提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

84 37 90 61 56	70 10 23 93 05	85 11 34 76 60	76 48 45 34 60	01 64 18 39 96
36 67 10 08 23	93 93 35 08 86	99 29 76 29 31	33 34 91 58 93	63 14 52 32 52
07 28 59 07 48	89 64 58 89 75	83 85 62 27 89	30 11 78 56 27	86 63 59 80 02
10 15 83 87 60	79 24 31 66 56	21 48 24 06 39	91 93 94 05 49	01 47 59 88 00
55 19 63 97 65	03 73 52 16 56	00 53 55 90 27	33 42 29 33 37	22 13 33 83 34
53 31 29 13 39	35 01 20 71 34	62 33 74 32 14	53 73 19 09 03	56 54 29 56 93
51 86 32 63 92	33 93 74 66 99	40 14 71 94 58	45 94 19 33 31	14 44 99 81 07
35 91 70 29 13	80 03 54 07 27	96 94 78 32 86	50 95 52 74 33	13 80 55 62 54
37 71 67 95 13	20 02 44 95 94	64 85 04 05 72	01 32 90 76 14	53 89 74 60 41
93 66 13 83 27	92 79 64 64 72	28 54 96 53 34	48 14 52 98 94	56 07 93 39 30
02 96 03 45 65	13 05 00 41 84	93 07 54 72 59	21 45 57 09 77	19 48 56 27 44
49 88 43 48 35	82 88 33 69 96	72 36 01 19 76	47 45 15 18 60	82 11 08 95 97
34 60 71 62 46	40 30 81 30 37	34 39 23 05 38	25 45 35 74 30	88 12 57 21 77
18 17 30 83 71	44 91 14 38 17	89 23 30 63 15	56 34 20 47 89	99 82 93 24 93
79 69 10 61 78	71 32 76 95 62	37 00 22 58 40	92 54 01 75 25	43 11 71 99 31
75 93 36 57 83	56 20 14 32 11	74 21 97 90 85	96 42 68 63 86	74 54 13 26 94
38 30 92 29 03	06 23 81 39 33	62 25 06 34 63	61 29 08 93 67	04 32 92 08 09
51 29 50 10 34	31 57 75 95 30	51 97 02 74 77	76 15 48 49 44	13 55 63 77 09
21 31 33 85 24	37 79 21 53 74	73 24 16 10 33	52 83 90 55 76	70 47 14 54 36
29 01 23 87 88	58 02 39 37 67	42 10 14 20 92	16 55 23 42 45	54 96 09 11 06
95 33 95 22 00	13 74 72 00 13	38 79 53 69 32	31 76 80 26 92	82 80 84 25 39
90 34 60 79 30	24 36 59 87 33	32 07 53 89 35	96 35 23 79 18	05 93 90 07 35
46 40 62 93 82	54 97 20 56 95	15 74 80 08 32	16 46 70 50 30	67 72 16 42 79
20 31 39 03 43	38 46 32 68 72	32 14 32 99 70	80 60 47 18 97	63 49 30 24 30
71 59 73 05 50	03 22 23 71 77	91 01 93 20 49	82 90 59 26 94	66 39 67 98 60

产生伪随机数的递推公式有多种形式,目前乘同余法用得较为普遍,其递推公式

$$\begin{cases} x_{n+1} = \lambda x_n \pmod{M} \\ r_n = x_{n+1} / M \end{cases} \quad (31-332)$$

本式的意义是:  $x_{n+1}$  是乘积  $\lambda x_n$  除以  $M$  后所得的余数,  $x_{n+1}$  除以  $M$  后所得之商即为第  $n+1$  个均匀分布的随机数  $r_{n+1}$ 。如此反复迭代运算,即可产生一个随机数序列  $r_1, r_2, \dots$ 。

参数  $\lambda, M, x_0$  是事先选定的常数,目前只能用半理论半经验的办法选定。一般  $M$  要充分大才能保证随机数序列具有足够长的周期。对于二进制数字计算机,取  $M=2^k$ ,当  $k>2$  时,可以得到最大可能周期  $T=2^{k-2}$  的伪随机数序列。乘子  $\lambda$  和模  $2^k$  互素,可选取

$$\lambda = 8a \pm 3 \quad (31-333)$$

式中  $a$  —— 任意选定的正整数。

$x_0$  可取为

$$x_0 = 2b + 1 \quad (31-334)$$

式中  $b$  —— 任意选定的正整数。

例如,取  $k=23, a=256, b=0$ , 则

$$M = 2^{23} = 8388608$$

$$\lambda = 8 \times 256 - 3 = 2045$$

$$x_0 = 1$$

再如,  $M=2^{31}-1, a=7^8, x_0$  取任意值,这时  $r_{n+1}=x_n/2^{31}$ 。它们已被证明是非常成功的参数。

### 5.1.3 随机数检验

由式(31-332)迭代产生的伪随机数是否能代表  $[0,1]$  均匀分布的随机数,需要进行统计检验。根据  $[0,1]$  上均匀总体简单样本的性质,如参数、均匀性、独立性等与伪随机数的相应性质进行比较,视其差异显著与否决定取舍,以保证模拟法计算结果没有过大的系统误差。下面介绍几种常用的伪随机数检验方法。

(1) 参数检验 参数检验是检验随机数分布参数的观测值和理论值的差异是否显著。

设  $r_1, r_2, \dots, r_N$  是需要检验的一组随机数,其一阶矩、二阶矩和方差的估计值分别为

$$\begin{cases} \bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \\ \bar{r}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i^2 \\ S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (r_i - E(r))^2 \end{cases} \quad (31-335)$$

根据理论分布,式(31-335)的统计量的均值和方差分别为



$$E(\bar{r}) = \frac{1}{2}, \quad D(\bar{r}) = \frac{1}{12N}$$

$$E(\bar{r}^2) = \frac{1}{3}, \quad D(\bar{r}^2) = \frac{4}{45N}$$

$$D(S^2) = \frac{1}{12}, \quad D(S^2) = \frac{1}{180N}$$

由中心极限定理知,当  $N$  充分大时,统计量

$$\begin{cases} u_1 = \frac{\bar{r} - E(\bar{r})}{\sqrt{D(\bar{r})}} = \sqrt{12N} \left( \bar{r} - \frac{1}{2} \right) \\ u_2 = \frac{\bar{r}^2 - E(\bar{r}^2)}{\sqrt{D(\bar{r}^2)}} = \frac{1}{2} \sqrt{45N} \left( \bar{r}^2 - \frac{1}{3} \right) \\ u_3 = \frac{S^2 - E(S^2)}{\sqrt{D(S^2)}} = \sqrt{180N} \left( S^2 - \frac{1}{12} \right) \end{cases} \quad (31-336)$$

渐近服从  $N(0, 1^2)$  分布。当给定显著性水平  $\alpha$  后,可根据正态分布表确定临界值  $u_{\frac{\alpha}{2}}$ 。若  $|u_i| < u_{\frac{\alpha}{2}}$  ( $i =$

1, 2, 3) 时,即认为差异不显著,可以接受。

(2) 均匀性检验 均匀性检验是检验随机数的经验频率和理论频率的差异是否显著。

将  $(0, 1)$  区间划分成  $k$  个等长的子区间,统计  $r_1, r_2, \dots, r_N$  中落入第  $j$  个子区间内的实际频数  $u_j$ 。

由分布的均匀性假设知,理论频数  $NP_j = \frac{N}{k}$ 。根据  $\chi^2$  检验公式得统计量

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(u_j - NP_j)^2}{NP_j} = \frac{k}{N} \sum_{j=1}^k \left( u_j - \frac{N}{k} \right)^2 \quad (31-337)$$

渐近服从  $\chi^2(k-1)$  分布。当给定显著性水平  $\alpha$  后,可根据  $\chi^2$  分布表确定临界值  $\chi_{\alpha}^2$ 。若  $\chi^2 < \chi_{\alpha}^2$ ,即认为差异不显著,可以接受。

最小子区间个数可参照表 31-87 选择。

表 31-87 均匀性检验的最小子区间数

$N$	200	400	600	800	1000	2000	5000	10000	50000
$k$	16	20	24	27	30	39	56	74	142

(3) 独立性检验 独立性检验主要检验随机数抽样值  $r_1, r_2, \dots, r_N$  中前后各数的统计相关性是否异常。通常可用相关系数检验。相关系数取值为零是其独立的必要条件,取值的大小给出了它们线性相关强弱的测度。

按产生先后次序排列的一组随机数  $r_1, r_2, \dots, r_N$ ,若前后距离为  $j$  的随机数之间是相互独立的,则它们的相关系数  $\rho_j$  应为零。前后距离为  $j$  的样本相关系数

$$\hat{\rho}_j = \left[ \frac{1}{N-j} \sum_{i=1}^{N-j} r_i r_{i+j} - (\bar{r})^2 \right] / S^2 \quad (31-338)$$

对于充分大的  $N$  (例如  $N-j > 50$ ),取零假设  $\rho_j = 0$ ,则统计量

$$u = \hat{\rho}_j \sqrt{N-j} \quad (31-339)$$

渐近服从  $N(0, 1^2)$  分布。当给定显著性水平  $\alpha$  后,可根据正态分布表确定临界值  $u_{\frac{\alpha}{2}}$ 。若  $|u| < u_{\frac{\alpha}{2}}$ ,即认为差异不显著,接受原假设。

除了上述的检验外,还有连检验、组合规律性检验等颇多的检验方法。各种检验方法均有一定的局限性,最好多用几种方法进行检验,以保证伪随机数的统计性质。若有一种检验方法未通过,就更应改递推公式中的参数,重作检验。一般常用显著性水平  $\alpha = 0.05$ 。

### 5.1.4 常用分布随机数的产生

在可靠性设计中常采用指数分布、正态分布、对数正态分布、威布尔分布等各种分布。利用模拟法求解可靠性设计问题就必须有相应分布的随机数。相应分布的随机数是利用  $(0, 1)$  区间均匀分布随机数产生的。

若随机变量  $X$  有连续分布函数  $F(x)$ ,则

$$Y = F(X)$$

是  $(0, 1)$  上均匀分布的随机变量,其反函数

$$X = F^{-1}(Y)$$

是以  $F(x)$  为分布函数的随机变量。因此,为得到服从分布  $F(x)$  的随机数,由  $(0, 1)$  上均匀分布的随机数  $r$ ,解方程

$$r = F(x)$$

得

$$x = F^{-1}(r) \quad (31-340)$$

此即为服从分布  $F(x)$  的随机数。其直观意义如图 31-64 所示。例如分布函数为指数分布

$$r = F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

可解得

$$x = F^{-1}(r) = -\frac{1}{\lambda} \ln(1-r)$$

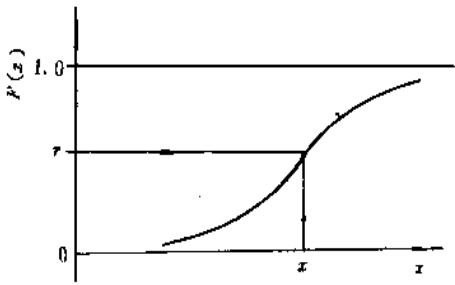


图31-64 分布为  $F(x)$  的随机数的产生

由于  $1-r$  也是  $[0,1]$  区间均匀分布的随机数,故上式可简化为

$$x = -\frac{1}{\lambda} \ln r$$

这就是表31-88中指数分布随机数的抽样计算公式。由此可以看出,只要随机变量具有连续单调递增的分布函数,且其反函数能用显式表示,就可用式(31-340)直接得出随机数。这种产生相应分布随机数方法称为直接抽样法。当分布函数不易用反函数求解时,就要用其他抽样方法,如近似抽样法、变换抽样法、舍选抽样法、复合抽样法等。

表31-88给出了一些常用概率分布的随机数抽样公式,供使用时选取。

表31-88 常用概率分布的随机数抽样公式

分布名称	概率密度	抽样计算公式
$[0,1]$ 均匀分布 $u(0,1)$	$f_u(x) = 1$	$r$
一般离散型分布	$P(X=x_i) = p(x_i)$ $F(x) = \sum_{x_i \leq x} p(x_i)$ $i=1, 2, \dots, n$	满足 $F(x_{i-1}) < r \leq F(x_i)$ 的 $x_i$ 值
二项分布 $B(n, p)$	$P_B(X=x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$ $x=0, 1, 2, \dots, n$	产生随机数 $r_1, r_2, \dots, r_n$ 使得 $r_i < p$ 成立的个数
泊松分布 $P(\lambda)$	$P_P(X=x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$ $x=0, 1, 2, \dots$	产生随机数 $r_1, r_2, \dots$ 满足 $\prod_{i=0}^x r_i \geq e^{-\lambda} > \prod_{i=0}^{x+1} r_i$ 的 $x$ 值 这里 $r_0=1$
$[a, b]$ 均匀分布 $u(a, b)$	$f_u(x) = \frac{1}{b-a}$	$(b-a)r+a$
指数分布 $e(\lambda)$	$f_e(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$-\frac{1}{\lambda} \ln(1-r)$ 或 $-\frac{1}{\lambda} \ln r$
标准正态分布 $N(0, 1^2)$	$f_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$	$\sum_{i=1}^{12} r_i - 6$ 或 $\sqrt{-2 \ln r_1} \cos 2\pi r_2$ 或 $\sqrt{-2 \ln r_1} \sin 2\pi r_2$
正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$	$f_N(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	$u\sigma + \mu$ $u$ 是标准正态分布的抽样
对数正态分布 $\ln(\mu, \sigma^2)$	$f_{\ln}(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$	$e^{u\sigma + \mu}$ $u$ 是标准正态分布的抽样
威布尔分布 $W(k, a, b)$	$f_W(x) = \frac{k}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^k}$	$b(-\ln r)^{\frac{1}{k}} + a$

续表 31-68 浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

分布名称	概率密度	抽样计算式
最大 I 型极值分布 $M(\sigma, \mu)$	$f_M(x) = \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}$	$\mu - \sigma \ln(-\ln r)$
最小 I 型极值分布 $m(\sigma, \mu)$	$f_m(x) = \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}$	$\mu + \sigma \ln(-\ln r)$
伽马分布 $\Gamma(\alpha, \beta)$	$f_\Gamma(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}$	$-\frac{1}{\beta} \ln\left(\prod_{i=1}^n r_i\right)$
贝塔分布 $\beta(k, n-k+1)$	$f_\beta(x) = \frac{n!}{(k-1)!(n-k)!} x^{k-1} (1-x)^{n-k}$	$R_k(r_1, r_2, \dots, r_n)$ $R_k$ 表示按由小到大次序排列的第 $k$ 个
$\chi^2$ 分布 $\chi^2(\nu)$	$f_{\chi^2}(x) = \frac{1}{2^{\frac{\nu}{2}} \Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} x^{\frac{\nu}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}$	$\sum_{i=1}^n u_i^2$ $u$ 是标准正态分布的抽样
$t$ 分布 $t(\nu)$	$f_t(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi\nu} \Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{\nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}}$	$\frac{u}{\sqrt{\eta(\nu) / \nu}}$ $u$ 是标准正态分布的抽样 $\eta(\nu)$ 是自由度为 $\nu$ 的 $\chi^2$ 分布抽样
$F$ 分布 $F(\nu_1, \nu_2)$	$f_F(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu_1+\nu_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu_1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{\nu_2}{2}\right)} \frac{x^{\frac{\nu_1}{2}-1}}{(1+x)^{\frac{\nu_1+\nu_2}{2}}}$	$\frac{\eta(\nu_1) / \nu_1}{\eta(\nu_2) / \nu_2}$ $\eta(\nu)$ 是自由度为 $\nu$ 的 $\chi^2$ 分布抽样

## 5.2 蒙特卡洛模拟法的应用举例

### 5.2.1 随机变量函数的分布

概率论中关于随机变量函数的分布理论仅对一些简单的情况可以得到精确分布,对于工程上所遇到的大部分实际问题不能给出解析式,因而也不能得到精确解。由于模拟法可以产生随机变量函数的抽样值,所以再利用数理统计的有关理论就可方便地得到满意的近似结果。图 31-65 给出了这类计算的程序框图。

**例 31-43** 已知某传动轴受最大转矩  $T \sim W(3.3, 336, 700)$  Nm, 直径  $d \sim N(50, 0.05^2)$  mm, 求工作应力的分布和分布参数。

**解** 工作应力按材料力学公式

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

按图 31-65 编制具体程序上机运算, 输入随机变量  $T$  和  $d$  的分布类型和分布参数, 取模拟次数  $N=1000$ 。

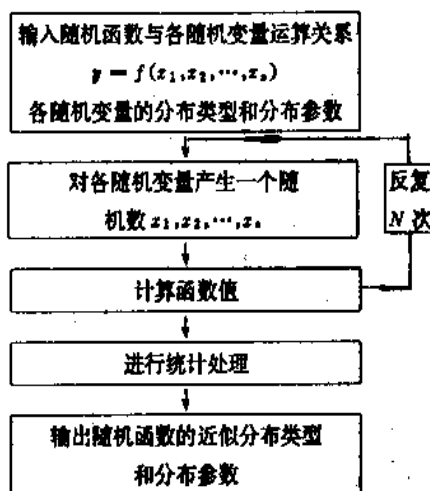


图 31-65 确定随机变量函数分布的程序框图

计算结果:

分布类型: 威布尔分布

分布参数:  $k=3.3913$ ,  $a=14.0551 \text{ N/mm}^2$ ,  $b=28.1398 \text{ N/mm}^2$

### 5.2.2 应力-强度模型验算可靠度

应力-强度模型是机械零件可靠性设计的基础。当应力和强度分布的一些组合难以用解析法求可靠度或应力和强度分别是其他随机变量的函数时,特别是这些随机变量存在相关时,解析法难以求解,而模拟法可有效地求出近似解。图31-66给出了这类计算的程序框图。图中以安全系数  $n > 1$  作为不失效的判据,一般

$$n = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (31-341)$$

$$R = P(n > 1) \approx \frac{M}{N} \quad (31-342)$$

式中  $M$  ——  $N$  次抽样中  $n > 1$  的次数;  
 $N$  —— 模拟计算次数。

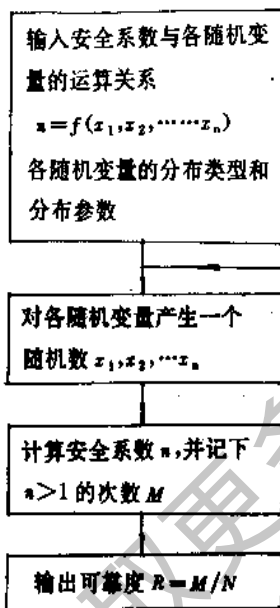


图31-66 应力-强度模型验算可靠度的程序框图

**例31-44** 矩形截面梁的梁高  $H \sim N(190, 2^2)$  mm, 梁宽  $B \sim N(95, 1^2)$  mm, 跨度  $L \sim N(3500, 50^2)$  mm。受均布静载荷  $q \sim N(115, 12^2)$  N/mm, 材料的屈服点  $\sigma_s \sim N(377, 19^2)$  N/mm<sup>2</sup>。若取计算系数  $K \sim N(1.02, 0.05^2)$ , 求不屈服失效的可靠度。

**解** 安全系数

$$n = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{4\sigma_s B H^2}{3KqL^3}$$

按图31-66编制具体程序上机运算,输入随机变量  $H$ 、 $B$ 、 $L$ 、 $q$ 、 $\sigma_s$ 、 $K$  的分布类型和分布参数,取模拟次数  $N=10000$ 。

计算结果:

可靠度:  $R=0.9337$

### 5.2.3 可靠度的置信限

数理统计中的区间估计是求可靠度的置信限的经典方法。对用应力-强度模型求可靠度的置信限及对系统求可靠度的置信限,用经典方法常很难求得。这时可用信赖法求可靠度的置信限。信赖法的观点是统计量中样本观察值是确定的,而参数是随机变量,具有一定的分布。这个参数分布称为信赖分布。根据信赖法的观点,可靠度的置信限可以用模拟法得到。利用可靠度的计算公式和参数区间估计的统计量的计算公式,就可以从已知分布中进行抽样得到可靠度的模拟值,以此作为可靠度的样本观测值。然后求可靠度的分布或分布的分位点,就可以得到可靠度的置信限。

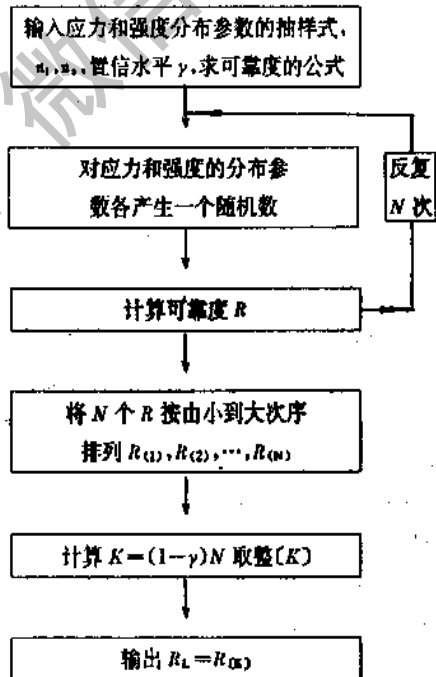


图31-67 应力-强度模型求可靠度置信下限的程序框图

**例31-45** 用10个试件估计得应力服从指数分布,  $\lambda_1=0.04$ ; 用15个试件估计得强度服从正态分布,  $\bar{x}_2=100$ ,  $S_x=10$ 。用模拟法求置信水平  $\gamma$  为 50%, 90%, 95% 时可靠度单侧置信下限。

解 按应力-强度模型,由表31-55序号5知,可靠度

$$R = 1 - e^{-\frac{1}{2}(\frac{\bar{x}_s}{\lambda_1} - \frac{\bar{x}_t}{\lambda_2})^2 \frac{S_s^2}{\lambda_1^2}}$$

按信赖法求应力分布参数  $\lambda_1$  和强度分布参数  $\bar{x}_s$ 、 $S_s^2$  的抽样。由抽样分布知

$$\frac{2n_1\lambda_1}{\lambda_1} \sim \chi^2(2n_1)$$

得

$$\lambda_1 = \frac{\hat{\lambda}_1\{\chi^2(2n_1)\}}{2n_1} = \frac{0.04\{\chi^2(2 \times 10)\}}{2 \times 10}$$

$$= 0.002\{\chi^2(20)\}$$

$$\frac{\hat{\bar{x}}_s - \bar{x}_s}{S_s/\sqrt{n_s}} \sim t(n_s - 1)$$

得

$$\bar{x}_s = \hat{\bar{x}}_s - \frac{S_s\{t(n_s - 1)\}}{\sqrt{n_s}} = 100 - \frac{10\{t(14)\}}{\sqrt{15}}$$

$$\frac{\hat{S}_s^2(n_s - 1)}{S_s^2} \sim \chi^2(n_s - 1)$$

得

$$S_s^2 = \frac{\hat{S}_s^2(n_s - 1)}{\{\chi^2(n_s - 1)\}} = \frac{10^2(15 - 1)}{\{\chi^2(15 - 1)\}} = \frac{1400}{\{\chi^2(14)\}}$$

上面式中, ( ) 中的数为抽样值。

模拟框图如图31-67所示。编制具体程序上机运算,取模拟次数  $N=1000$ 。

计算结果:

$$\gamma=50\% \text{ 时, } R_L=0.97587$$

$$\gamma=90\% \text{ 时, } R_L=0.89071$$

$$\gamma=95\% \text{ 时, } R_L=0.85501$$

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

# 第 32 章 机械优化设计

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 1 机械优化设计概述

机械优化设计是针对某一机械设计问题,在满足各种限制条件下,采用最优化算法,用计算机进行设计参数的选择、调整和设计方案的比较评价,最终使要求的某项或几项性能指标达到最佳值。

机械优化设计过程含两个方面的内容:一是建立描述具体设计问题的优化设计数学模型;二是利用最优化算法上机求解。

### 1.1 优化设计的数学模型

优化设计的数学模型是对具体设计问题的数学描述,它反映设计参数和所追求的设计目标之间的关系,它由设计变量、目标函数和约束条件三部分组成。

#### 1.1.1 设计变量和设计空间

设计变量是设计问题中需要优选的相互独立的结构参数。对于一个具体的机械设计问题,要用许多参数来描述一个设计方案,其中一部分参数可人为给定,而选取另一部分参数中相互独立的参数作为设计变量,通常用向量  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  来表示,其各分量即为设计变量,  $X$  的端点坐标代表一组设计变量值,表示一个设计方案。称以  $X$  的  $n$  个分量为坐标轴构成的  $n$  维实空间  $R^n$  为设计空间。

#### 1.1.2 目标函数

把某一设计问题所追求的设计目标表示成设计变量的函数  $F(X)$ ,称其为目标函数,记为:  $F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。目标函数的值是评价一个设计方案优劣的准则,故也称其为评价函数。机械优化设计问题中的目标函数可以是重量最轻、体积最小、强度最高、能耗最小等,这些目标可以单一或组合后构成目标函数。优化设计的任务就是选取设计变量值,使目标函数极小化,而得到最佳设计方案。

#### 1.1.3 约束条件

实际设计问题中,设计变量  $x_i$  的取值总要受到某些条件的限制,称这些限制条件为约束条件,可用

关于设计变量的约束函数的等式或不等式来表示,即

$$\begin{aligned} g_u(X) &\leq 0 & u &= 1, 2, \dots, m \\ h_v(X) &= 0 & v &= 1, 2, \dots, p \quad (p < n) \end{aligned}$$

式中:  $m$ 、 $p$  分别为不等式和等式约束的个数,  $n$  为设计变量的个数。按约束性质不同,约束条件可分为边界约束和性能约束:边界约束是指对设计变量取值范围的限制,如弹簧优化设计时,簧丝直径应满足  $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$ ,边界约束可表示为:

$$\begin{aligned} g(X) &= d_{\min}/d - 1 \leq 0 \\ g(X) &= d/d_{\max} - 1 \leq 0 \end{aligned}$$

性能约束是由设计问题应满足的某些性能要求而导出的约束条件,如齿轮设计时应满足接触强度条件  $\sigma_H \leq \sigma_{HP}$ ,由此导出的性能约束条件为:

$$g(X) = \sigma_H/\sigma_{HP} - 1 \leq 0$$

#### 1.1.4 优化设计的数学模型

优化设计的数学模型以统一的规范化形式表示为:

$$\begin{aligned} \min F(X) & & X &\in D \subset R^n \\ \text{s. t. } & g_u(X) \leq 0 & u &= 1, 2, \dots, m \\ & h_v(X) = 0 & v &= 1, 2, \dots, p \quad (p < n) \end{aligned} \quad (32-1)$$

优化设计就是在满足约束条件的前提下,使目标函数  $F(X)$  极小化。

## 1.2 目标函数的等值线和可行域的概念

### 1.2.1 目标函数的等值线

当目标函数  $F(X)$  取某一定值  $c$  时,设计空间中就有无穷多点与之对应,这些点的集合即为目标函数  $F(X) = c$  时的等值超曲面,对于二维问题是等值线,以问题

$$\begin{aligned} \min F(X) &= x_1^2 + x_2^2 - 4x_1 + 4 \\ \text{s. t. } & g_1(X) = -x_1 + x_2 - 2 \leq 0 \\ & g_2(X) = x_1^2 - x_2 + 1 \leq 0 \\ & g_3(X) = -x_1 \leq 0 \\ & g_4(X) = -x_2 \leq 0 \end{aligned}$$



为例,其目标函数的等值线如图 32-1 所示。等值线反映了目标函数值的变化性态,对于一个有心的等值线簇,其簇心对应着目标函数的一个局部极小值点,如图中目标函数的无约束极小值点为  $X^* = [2, 0]^T$ ,对应的极小值为  $F(X^*) = 0$ 。

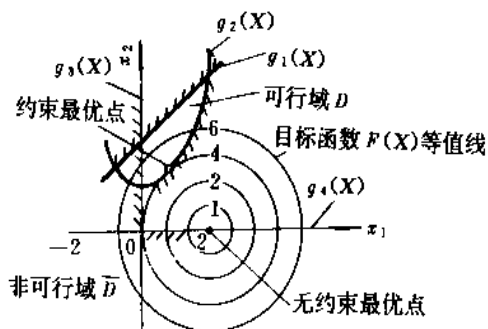
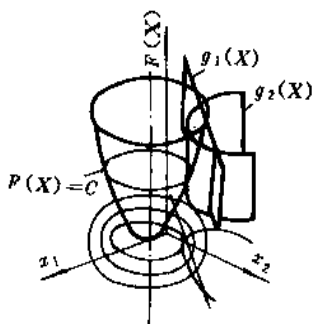


图 32-1 二维非线性优化问题的有关几何概念

### 1.2.2 可行域的概念

约束条件把设计空间  $R^n$  分成两部分:满足约束条件的点的集合构成可行域  $D$ ,不满足约束条件的点的集合构成非可行域  $\bar{D}$ 。可行域内的点为可行点,代表一个可行的设计方案,图 32-1 所示问题中,四个约束条件围成可行域  $D$ ,确定了设计变量的允许取值范围,此时问题的约束最优解为  $X^* = [0.554, 1.307]^T$ ,  $F(X^*) = 3.8$ ,它是可行域内目标函数的极小值点,当目标函数的无约束极小值点不在可行域内时,约束极小值点为目标函数的等值线和约束函数数值为零的约束线相切或相交的各点中目标函数值最小的点。

### 1.3 优化问题数值迭代算法的基本思想和收敛准则

一般机械优化设计问题的目标函数和约束条件多为非线性函数,用解析法处理非常困难,随着计算

机的发展,形成了求解优化设计问题的数值迭代算法,其基本思想是搜索、迭代和逼近,数值迭代法的求解过程可用式(32-2)来表示。

$$\begin{aligned} X^{(K+1)} &= X^{(K)} + \alpha^{(K)} S^{(K)} \\ F(X^{(K+1)}) &\leq F(X^{(K)}) \\ K &= 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

式中  $X^{(K)}$ ——第  $K$  次迭代的初始点;

$S^{(K)}$ ——第  $K$  次迭代的搜索方向;

$\alpha^{(K)}$ ——步长因子;

$X^{(K+1)}$ ——第  $K$  次迭代的终点。

即从某点  $X^{(K)}$  出发,按一定原则确定可行搜索方向  $S^{(K)}$ ,并确定达到该方向上目标函数极小值点的步长  $\alpha^x$ ,得到一个改进的新点  $X^{(K+1)}$ 。重复上述过程,最终逼近到最优解。二维问题的迭代过程如图 32-2 所示。

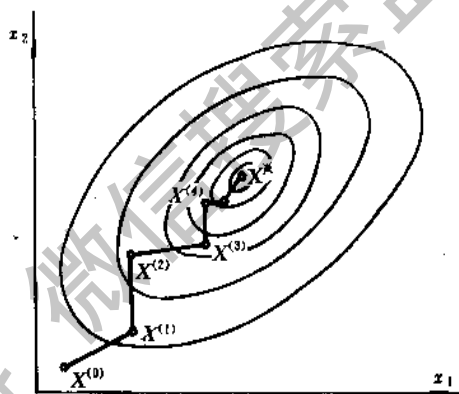


图 32-2 二维问题数值迭代过程示意图

数值迭代算法的另一个问题是迭代的终止准则,各种迭代算法均能产生一个无限点列,  $\{X^{(K)}, K=0, 1, \dots\}$ ,当  $K \rightarrow \infty, X^{(K)} \rightarrow X^{(*)}$ ;而实际计算过程中,只能进行有限次迭代,达到一定精度  $\epsilon$  后即认为得到满足设计要求的最优解而停止迭代。一般可由以下几个条件作为迭代的终止准则,其中精度  $\epsilon$  可取  $0.001 \sim 0.00001$ 。

(1) 相邻两迭代点  $X^{(K)}$  和  $X^{(K+1)}$  间的向量模或各分量的最大变动量达到足够小。

$$\|X^{(K+1)} - X^{(K)}\| \leq \epsilon_1$$

或  $\max |x_i^{(K+1)} - x_i^{(K)}| \leq \epsilon_2 \quad (1 \leq i \leq n)$

(2) 目标函数值在最优解附近的相对变化量小于要求的精度值,当  $F(X^{(K)}) \neq 0$  时

$$\left| \frac{F(X^{(K+1)}) - F(X^{(K)})}{F(X^{(K)})} \right| \leq \epsilon_3$$

(3) 目标函数梯度的模小于给定的精度值

$$\|\nabla F(X^{(k)})\| \leq \varepsilon_k$$

实际优化过程中,为克服目标函数的局部性态的影响,可以同时采用几个终止准则作为迭代收敛的判据。

### 1.4 关于数学模型的几个问题

#### 1.4.1 数学模型的尺度变换

尺度变换是指在构造数学模型时,通过改变各坐标分量的标度来改变目标函数性态的一种技巧。通过尺度变换可以提高优化过程的收敛性和稳定性。

机械优化设计中,设计变量通常具有不同的量纲和数量级,且有时相差很大,当沿某一方向搜索时,目标函数对各设计变量的灵敏度不同,而使其性态变坏,为消除这种差异,可使设计变量成为规格化或无量纲形式,令  $x_i = K_i x_i^{(0)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , 其中的  $K_i = 1/x_i^{(0)}$ ,  $x_i^{(0)}$  为第  $i$  个设计变量的初值。变换后各设计变量的数量级相近,目标函数的性态得到改善。

如果目标函数的等值线严重偏心,各种算法的收敛速度和稳定性均较差,此时可通过放大或缩小不同的变量,对设计变量进行尺度变换来改善目标函数的性态。如目标函数

$$F(X) = 144x_1^2 + 4x_2^2 - 8x_1x_2$$

令  $\bar{x}_1 = x_1/12, \bar{x}_2 = x_2/2$ , 变换前后目标函数的等值线如图 32-3 所示,变换后等值线的偏心程度得到了改善。

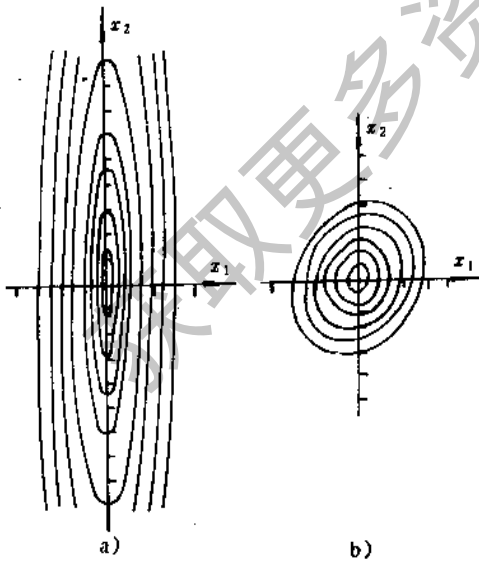


图 32-3 尺度变换前后目标函数的等值线

约束优化设计过程中,有时各约束函数值的数量级相差很大,对设计变量变动反映的灵敏度不同,在罚函数法中,灵敏度高的约束在极小化过程中容易得到满足,而灵敏度低的却几乎得不到考虑,而导致计算失败。如某一设计变量的边界约束为  $0.01 \leq x_i \leq 1000$ , 其约束条件为:

$$g(X) = 0.01 - x_i \leq 0$$

$$g(X) = x_i - 1000 \leq 0$$

为改变约束条件的数量级,可对约束条件进行变换,使其数量级接近。将约束条件变换为:

$$g(X) = 0.01/x_i - 1 \leq 0$$

$$g(X) = x_i/1000 - 1 \leq 0$$

此时约束函数值均限制在 0~1 之间,成为规范化约束条件。

#### 1.4.2 多目标优化设计

机械优化设计中,往往要求几个设计目标均取得最佳值,而其中的某些目标有时是相互矛盾的,此时应综合考虑各不同的目标,进行多目标优化设计。

一种有效的多目标优化方法是采用加权法来构造统一的目标函数。

$$F(X) = \sum_{i=1}^N W_i F_i(X) \quad X \in D \subset R^n$$

式中  $W_i$ ——加权因子,常取  $\sum_{i=1}^N W_i = 1$ ;

$F_i(X)$ ——第  $i$  个分目标函数;

$N$ ——分目标函数的个数。

多目标优化的数学模型表示为:

$$\min F(X) = \sum_{i=1}^N W_i F_i(X) \quad X \in D \subset R^n$$

$$\text{s.t. } g_u(X) \leq 0 \quad u = 1, 2, \dots, m$$

利用加权法把一个多目标优化问题转化为单目标优化问题,可以用单目标优化方法来求解。

#### 1.4.3 含离散变量问题的优化设计

机械优化设计中,某些变量只能取离散值,如齿轮的齿数、模数等,这就构成含离散变量的优化设计问题。一般可以采用两步处理法,首先视离散变量为连续变量,采用连续变量的优化方法求优,而后把求得的结果舍入到相近的可行离散点上,得到多个可行方案,并从中选优作为最终结果。但这只是一种近似方法,当目标函数的性态较差,对设计变量变动较敏感时,会造成很大差异。目前已经形成了许多关于

离散变量优化设计的方法,对于某些重要的离散变量优化问题,可以采用专门的离散变量优化方法来处理。

## 2 无约束优化方法

无约束优化方法是优化设计的基本方法,许多约束非线性规划问题的求解都涉及到求解无约束优化子问题,而求解无约束优化子问题的每一步都涉及到一维搜索。因此,本节将介绍几种常用的一维搜索法和无约束优化方法。

### 2.1 一维搜索

由式(32-2)知,求解非线性规划问题的数值迭代过程中,确定了某一迭代点  $X^{(k)}$  处的搜索方向  $S^{(k)}$  后,还要确定步长因子  $\alpha^{(k)}$ ,以便求得  $S^{(k)}$  方向上新的设计点  $X^{(k+1)}$ 。所谓一维搜索就是沿  $S^{(k)}$  方向搜索,使  $X^{(k+1)}$  为  $S^{(k)}$  方向上目标函数的极小值点。

对于  $n$  元函数  $F(X)$ ,求  $S^{(k)}$  方向上的极小值点就等价于求一元函数  $F(\alpha) = F(X^{(k)} + \alpha S^{(k)})$  的极小值点,故称之为“一维搜索”,由此求得点  $X^{(k+1)}$  是  $S^{(k)}$  与目标函数的某一等值线的切点。一维搜索的过程如图 32-4 所示。常用的一维搜索方法有黄金分割法和二次插值法。

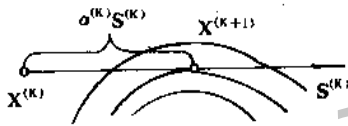


图 32-4 一维搜索示意图

#### 2.1.1 确定搜索区间的进退算法

一维搜索的各种方法中,首先需要确定  $S^{(k)}$  方向上目标函数极小值点所在的区间,而后再在此区间内寻找目标函数的极小值点,所谓搜索区间是指找到三个点  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ,各点对应的函数值  $f_1, f_2, f_3$  满足“高一低一高”变化规律,即区间内任意点  $\alpha_2$  对应的目标函数值均小于两端点对应的目标函数值,此时的搜索区间为  $[\alpha_1, \alpha_3]$ ,搜索区间内目标函数为单谷函数。确定搜索区间常用的方法是“进退”算法,其计算框图如图 32-5 所示,其中,输入的  $\alpha_1$  为初始步长因子,  $\alpha_0$  为步长因子增加系数。

进退算法的基本思想是,由初始点  $X^{(k)}$ ,搜索

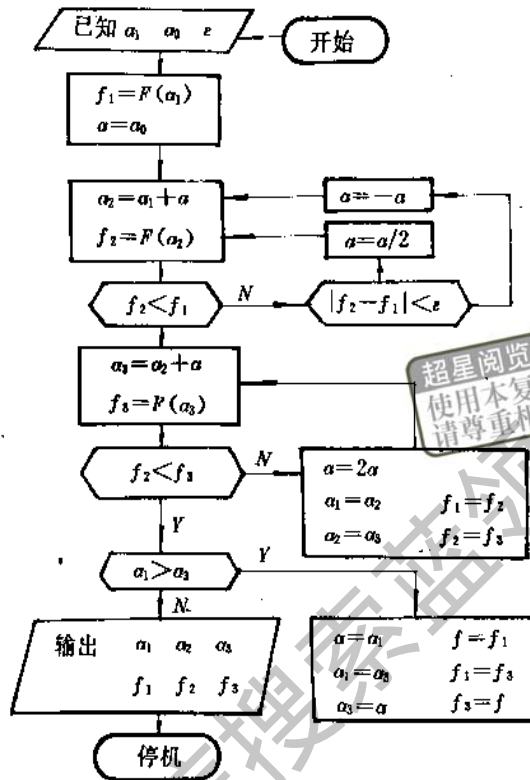


图 32-5 确定搜索区间的进退算法框图

方向  $S^{(k)}$ ,初始步长因子  $\alpha_1 = 0$ ,求  $X^{(k+1)} = X^{(k)} + \alpha_1 S^{(k)}$ ,对应的函数值  $f_1 = F(\alpha_1) = F(X^{(k)} + \alpha_1 S^{(k)})$ ,令  $\alpha = \alpha_0$ ,计算  $\alpha_2 = \alpha_1 + \alpha, f_2 = F(\alpha_2)$ ,比较  $f_1$  和  $f_2$  有以下三种情况:

(1) 如果  $f_1 \geq f_2$ ,  $S^{(k)}$  方向上目标函数的性态如图 32-6(a) 所示,令  $\alpha_3 = \alpha_2 + \alpha$  得  $f_3 = F(\alpha_3)$ ,如  $f_3 < f_2$ ,则令  $\alpha_1 = \alpha_2, f_1 = f_2, \alpha_2 = \alpha_3, f_2 = f_3, \alpha = 2\alpha, \alpha_3 = \alpha_2 + \alpha$ ,重复上述过程,最终出现  $f_3 > f_2$  时,即得到所求区间  $[\alpha_1, \alpha_3]$ 。

(2) 如果  $f_1 < f_2$ ,目标函数的性态可能如图 32-6(b) 所示,此时令  $\alpha = \alpha/2$ ,计算  $\alpha_2 = \alpha_1 + \alpha, f_2 = F(\alpha_2)$ ,如此反复,若此方向上存在满足要求的区间,则最终可以求得对应的  $[\alpha_1, \alpha_3]$ 。

(3) 如果  $f_1 < f_2$ ,目标函数的性态也可能如图 32-6(c) 所示,此时应向相反方向搜索,令  $\alpha = -\alpha$ ,计算  $\alpha_2 = \alpha_1 + \alpha, f_2 = F(\alpha_2), \alpha_3 = \alpha_2 + \alpha$ 。以下各步与 (1) 相同,直到求得满足要求的区间为止,将  $\alpha_1$  和  $\alpha_3$  对调得到区间  $[\alpha_1, \alpha_3]$ ,且有  $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$ 。确定搜索区间之后,可以利用一维搜索法求该区间内的极小值点。

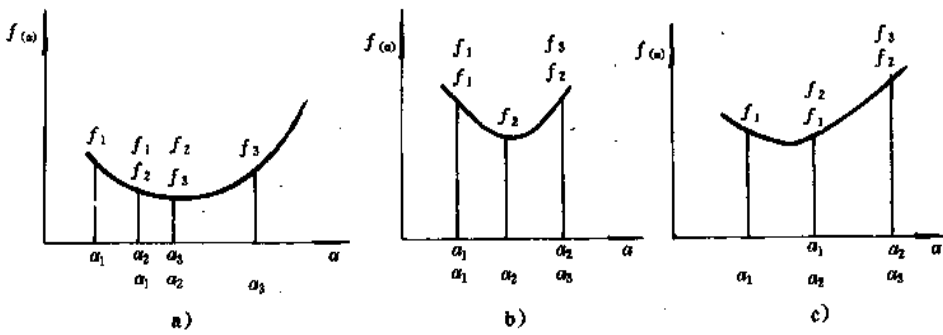


图 32-6 进退算法确定搜索区间时目标函数的几种情况

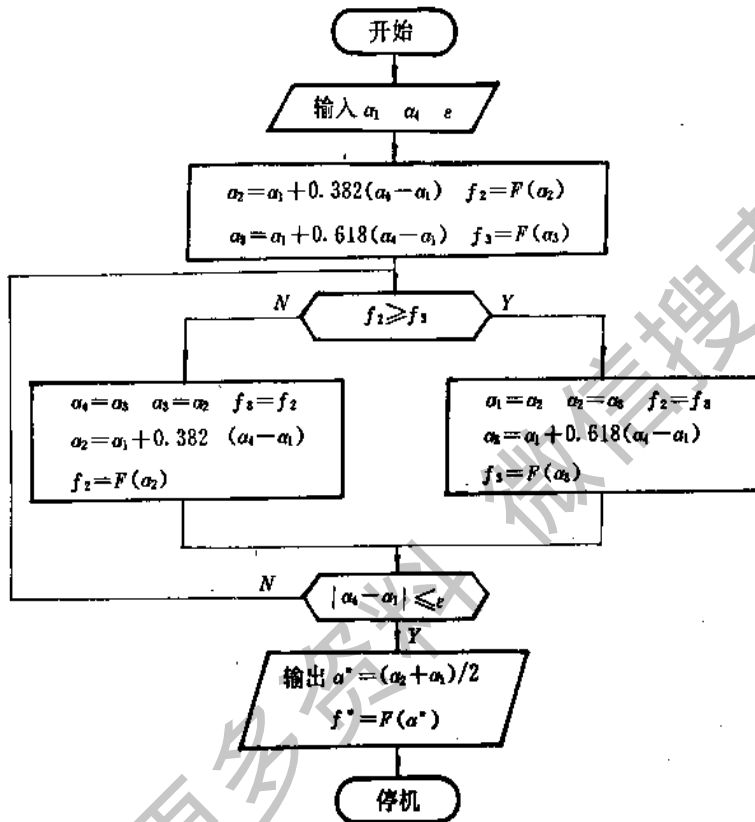


图 32-7 黄金分割法框图

### 2.1.2 黄金分割法(0.618 法)

黄金分割法是通过比较搜索区间内插入的黄金分割点的函数值,确定取舍区间,而使区间按等比率  $\lambda=0.618$  逐渐缩短的一种算法,其计算框图如图 32-7 所示,此处的搜索区间  $[a_1, a_4]$  与进退算法求得的区间  $[a_1, a_3]$  对应。

黄金分割法的基本思想是在区间  $[a_1, a_4]$  内插入两点  $a_2 = a_1 + 0.382(a_4 - a_1)$  和  $a_3 = a_1 + 0.618(a_4 - a_1)$ , 通过比较  $f_2 = F(a_2)$  和  $f_3 = F(a_3)$  的大小,来

判定取舍区间,使区间缩短。

(1) 如果  $f_2 \geq f_3$ , 目标函数的性态如图 32-8 (a) 所示, 极小值必在  $[a_2, a_4]$  内, 应舍去区间  $[a_1, a_2]$ , 令  $a_1 = a_2$  得新区间  $[a_1, a_4]$ , 重新插入  $a_2, a_3$ , 此时新的  $a_2$  与原  $a_3$  重合, 故可令  $a_2 = a_3, f_2 = f_3$ , 计算  $a_3 = a_1 + 0.618(a_4 - a_1), f_3 = F(a_3)$ 。

(2) 如果  $f_2 < f_3$ , 目标函数的性态如图 32-8 (b) 所示, 极小值点在区间  $[a_1, a_3]$  内, 应舍去  $[a_3, a_4]$ , 令  $a_4 = a_3$ , 得新区间  $[a_1, a_4]$ , 插入新点时  $a_3$  与原  $a_2$  重合, 故可令  $a_3 = a_2, f_3 = f_2$ , 计算  $a_2 = a_1 + 0.382$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

$(a_4 - a_1), f_2 = F(a_2)$ 。

重复上述过程,当搜索区间长  $|a_4 - a_1|$  缩短到

于定精度时,令  $a^* = (a_2 + a_3)/2, f^* = F(a^*)$  即为区间内的近似最优解。

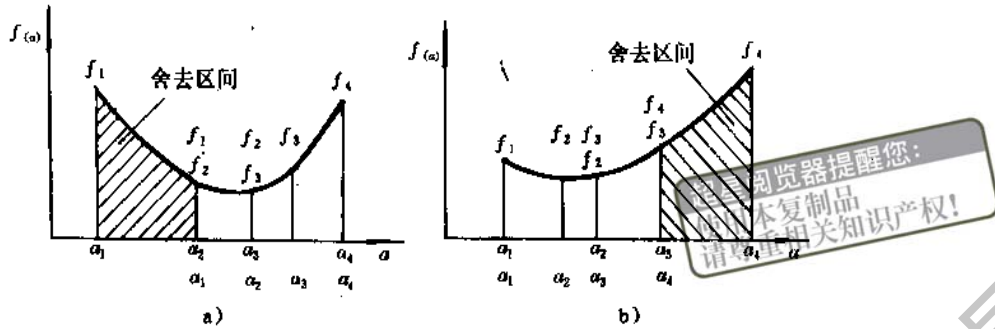


图 32-8 黄金分割法比较  $f_2$  和  $f_3$  确定取舍区间图

### 2.1.3 二次插值法

二次插值法是利用已知三点  $a_1, a_2, a_3$  处的目标函数值  $f_1, f_2, f_3$  来构造二次函数  $P(a)$ ,用它来近似代替原目标函数,并以其极小值点  $a_p$  来近似原目标函数的极小值点,通过比较  $f^* = F(a_p)$  和  $f_2 = F(a_2)$  的值,取其中较小者所对应的点作为新的  $a_2$ ,而以其相邻的两点作为新的  $a_1$  和  $a_3$ ,重复前述过程,当区间缩短到足够小时,即认为目标函数的最优解  $a^* = a_p$ ,其逼近过程如图 32-9 所示。

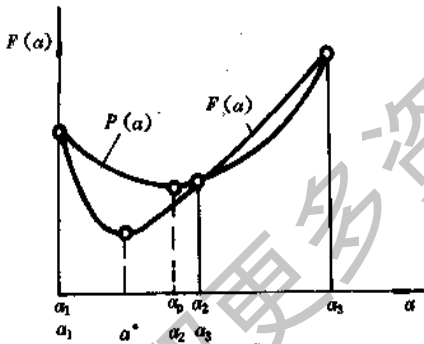


图 32-9 二次插值法逼近函数的极小值点

利用拉格朗日插值公式构造的二次函数为:

$$P(a) = \frac{(a - a_2)(a - a_3)}{(a_1 - a_2)(a_1 - a_3)} f_1 + \frac{(a - a_1)(a - a_3)}{(a_2 - a_1)(a_2 - a_3)} f_2 + \frac{(a - a_1)(a - a_2)}{(a_3 - a_1)(a_3 - a_2)} f_3$$

$P(a)$  的极小值点为  $a_p$ , 令:

$$S_1 = (f_3 - f_1)/(a_3 - a_1)$$

$$S_2 = [(f_2 - f_1)/(a_2 - a_1) - S_1]/(a_2 - a_3)$$

则:  $a_p = (a_1 + a_3 - S_1/S_2)/2$

二次插值法的计算框图如图 32-10 所示。

### 2.2 无约束优化方法

按构造搜索方向  $S^{(k)}$  所利用信息的不同,无约束优化方法分为两大类:一类是不利用导数信息的方法,如 powell 共轭方向法等;另一类是利用导数信息的方法,如共轭梯度法,牛顿法,变尺度法等。本节只介绍常用的 powell 共轭方向法。

powell 共轭方向法的基本思想是:对于  $n$  元目标函数  $F(X)$ ,构造一个含  $n$  个线性无关方向的搜索方向组  $S^{(k)} = [S_1^{(k)}, S_2^{(k)}, \dots, S_n^{(k)}]$  (其中第一轮搜索时  $S_1^{(1)}$  为  $x_1$  坐标轴方向的单位向量  $e_1$ ),第  $K$  轮搜索时,从初始点  $X_0^{(k)}$  出发,依次沿  $S_i^{(k)}$  进行搜索,得到终点  $X_n^{(k)}$ ,并构造一个新方向  $S_{n+1}^{(k)} = X_n^{(k)} - X_0^{(k)}$ ,同时引入一个判定准则,当迭代过程中的某些参数满足要求条件时,就用方向  $S_{n+1}^{(k)}$  来代替  $S^{(k)}$  中的某一方向,构成下一轮迭代的方向组  $S^{(k+1)}$ ,重复前述迭代过程,直到满足要求的收敛精度为止。经过  $n$  轮迭代后,方向组中的  $n$  个方向为一组共轭方向。powell 共轭方向法的计算框图如图 32-11 所示,其计算步骤如下:

(1) 给定初始点  $X_0$ ,收敛精度  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ,初始搜索方向组  $S^{(1)} = [S_1^{(1)}, S_2^{(1)}, \dots, S_n^{(1)}]$ ,其中  $S_i^{(1)}$  为第  $i$  个坐标轴方向的单位向量,令  $X_0^{(1)} = X_0, K=1$ ;

(2) 令  $i=1 \Delta_n^{(k)}=0$ ;



- (3) 一维搜索求  $a_i^{(k)}$ , 使  $\min F(X_i^{(k)} + a_i S_i^{(k)})$ , 计算  $X_i^{(k)} = X_{i-1}^{(k)} + a_i^{(k)} S_i^{(k)}$ ,  $f = F(X_i^{(k)})$ ,  $\Delta f = F(X_{i-1}^{(k)}) - F(X_i^{(k)})$ , 如果  $\Delta f - \Delta_m^{(k)} > 0$ , 则  $\Delta_m^{(k)} = \Delta f$ ,  $m = i$ ;
- (4) 若  $i < n$  则  $i = i + 1$  转(3), 否则转(5);
- (5) 令  $f_2 = f$ , 计算  $X_{n+1}^{(k)} = 2X_n^{(k)} - X_0^{(k)}$ ,  $f_3 = F(X_{n+1}^{(k)})$ ;
- (6) 判定: 如果  $f_3 < f_1$  和  $(f_1 + f_3 - 2f_2)(f_1 - f_2 - \Delta_m^{(k)})^2 < 0.5\Delta_m^{(k)}(f_1 - f_3)^2$  转(8); 否则转(7);
- (7) 如果  $f_2 < f_3$ , 则  $X_0^{(k+1)} = X_n^{(k)}$ ,  $f_1 = f_2$ , 否则  $X_0^{(k+1)} = X_{n+1}^{(k)}$ ,  $f_1 = f_3$  转(10);

- (8) 沿  $S_{n+1}^{(k)}$  方向搜索, 求  $a_{n+1}^{(k)}$  使  $\min F(X_n^{(k)} + a_{n+1} S_{n+1}^{(k)})$ ,  $X = X_n^{(k)} + a_{n+1}^{(k)} S_{n+1}^{(k)}$ ,  $f = F(X)$ ;
- (9) 令  $X_0^{(k+1)} = X$ ,  $f_1 = f$ , 构造第  $k+1$  轮的搜索方向组,  $S_i^{(k+1)} = S_i^{(k)}$ ,  $i < m$ ;  $S_i^{(k+1)} = S_i^{(k)}$ ,  $m \leq i \leq n-1$ ;  $S_n^{(k+1)} = S_{n+1}^{(k)}$ ;
- (10) 判定收敛: 如果  $\|X_0^{(k+1)} - X_0^{(k)}\| \leq \epsilon_1$  或  $|[F(X_0^{(k+1)}) - F(X_0^{(k)})]/F(X_0^{(k)})| \leq \epsilon_2$  转(11), 否则  $K = K + 1$  转(2);
- (11) 输出  $X^* = X_0^{(k+1)}$ ,  $F(X^*) = F(X_0^{(k+1)})$ ; powell 共轭方向法收敛速度较快, 可靠性较好, 不需要计算目标函数的导数, 适用于目标函数的维数小于 50 的情况。

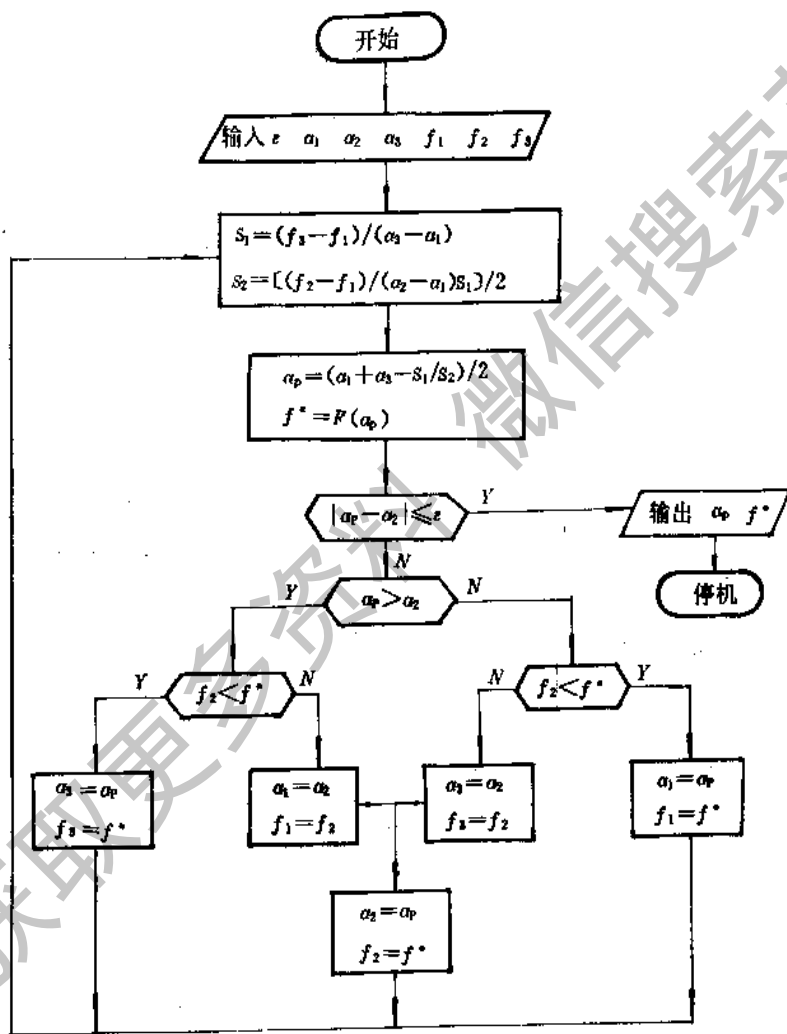


图 32-10 二次插值法计算框图



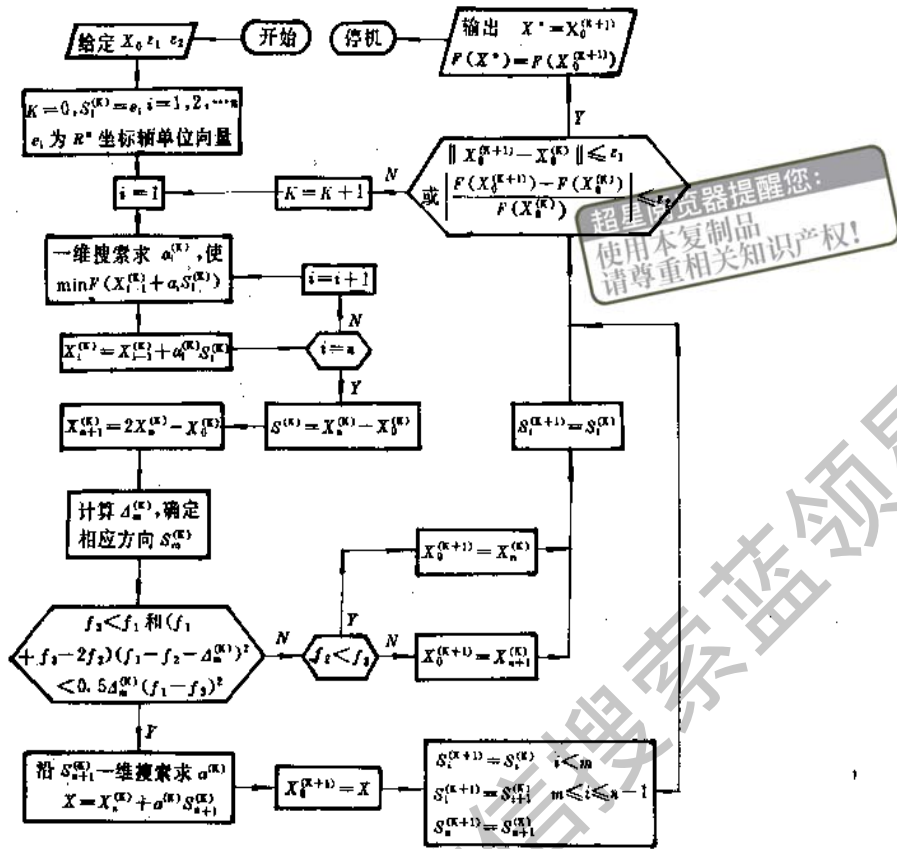


图 32-11 powell 共轭方向法计算框图

### 3 约束优化方法

机械优化设计中绝大多数问题属于约束非线性规划问题,其数学模型如式(32-1)所示。求得的最优设计方案是约束条件下目标函数的极小值点。按求解方法的不同,约束优化方法分为直接法和间接法两类。

直接解法是在可行域内,按一定原则直接搜索出约束最优点,如随机方向搜索法等。

间接解法是构造含原目标函数和约束函数的新目标函数,把约束优化问题转化成一系列无约束子问题来求解,通过求解新的目标函数序列来逼近到原问题的最优解,如罚函数法等。

#### 3.1 随机方向搜索法

随机方向搜索法是在可行域内利用计算机产生的随机数构造随机方向进行一维搜索的算法,主要含以下 4 部分内容。

(1) 选择初始可行点  $X^{(0)}$ ;

(2) 确定搜索方向

利用计算机产生的随机数产生  $N$  个单位向量

$e^{(j)} (j=1, 2, \dots, N)$ , 在以  $X^{(0)}$  为中心, 以  $H=H_0$  为半径的超球面上产生  $N$  个随机试验点  $X^{(j)}, X^{(j)} = X^{(0)} + He^{(j)}, j=1, 2, \dots, N$ , 要求  $X^{(j)} \in D$ , 求其中目标函数值最小的点  $F(X^{(L)}) = \min\{F(X^{(j)}), j=1, 2, \dots, N\}$ , 若满足  $F(X^{(L)}) < F(X^{(0)})$ , 取搜索方向为  $S = X^{(L)} - X^{(0)}$ , 并从  $X^{(0)}$  出发, 沿  $S$  方向以加速步长  $H = 1.3H$  搜索, 否则缩短步长  $H = 0.7H$  产生位于缩小半径的超球面上的  $N$  个试验点, 重新确定搜索方向, 并沿该方向加速步长搜索;

(3) 对于上步搜索得到的新点, 若满足目标函数的下降性和可行性, 继续加速步长搜索, 否则缩短步长搜索, 直至找到该方向上的可行极小点, 并以本轮搜索的终点作为下一轮搜索的起点;

(4) 满足收敛条件时输出计算结果。

随机方向搜索法对目标函数的性态无特殊要求, 适用于求解含不等式约束的小型优化设计问题, 该方法的计算框图如图 32-12 所示。图中  $M$  是规定随机搜索方向试算失败的总次数, 一般可取  $M=10 \sim 20$  次, 若实际计算超过  $M$  次, 且步长  $H$  取值已很小, 则可停止计算。

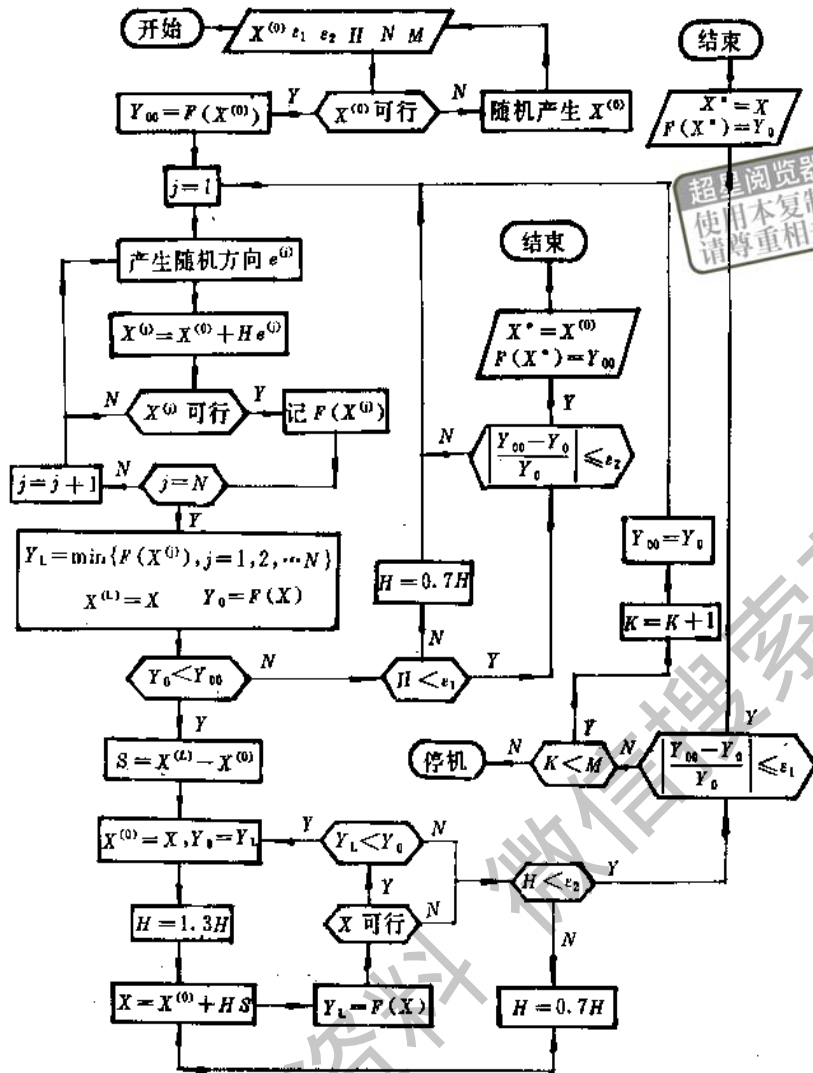


图 32-12 随机方向搜索法计算框图

### 3.2 罚函数法

罚函数法是求解具有等式和不等式约束优化问题的间接方法,它的基本思想是根据约束的特性来构造惩罚函数,加入到目标函数中,把约束优化问题转化成无约束优化子问题来求解,通过对违背约束的点加以“惩罚”,迫使无约束子问题的解逐渐逼近到原目标函数的约束极小值点,按构造惩罚函数的方法不同,罚函数法分为内点法、外点法和混合法。

#### 3.2.1 内点罚函数法

内点法仅适用于求解具有不等式约束的优化问题,定义于可行域内的罚函数为:

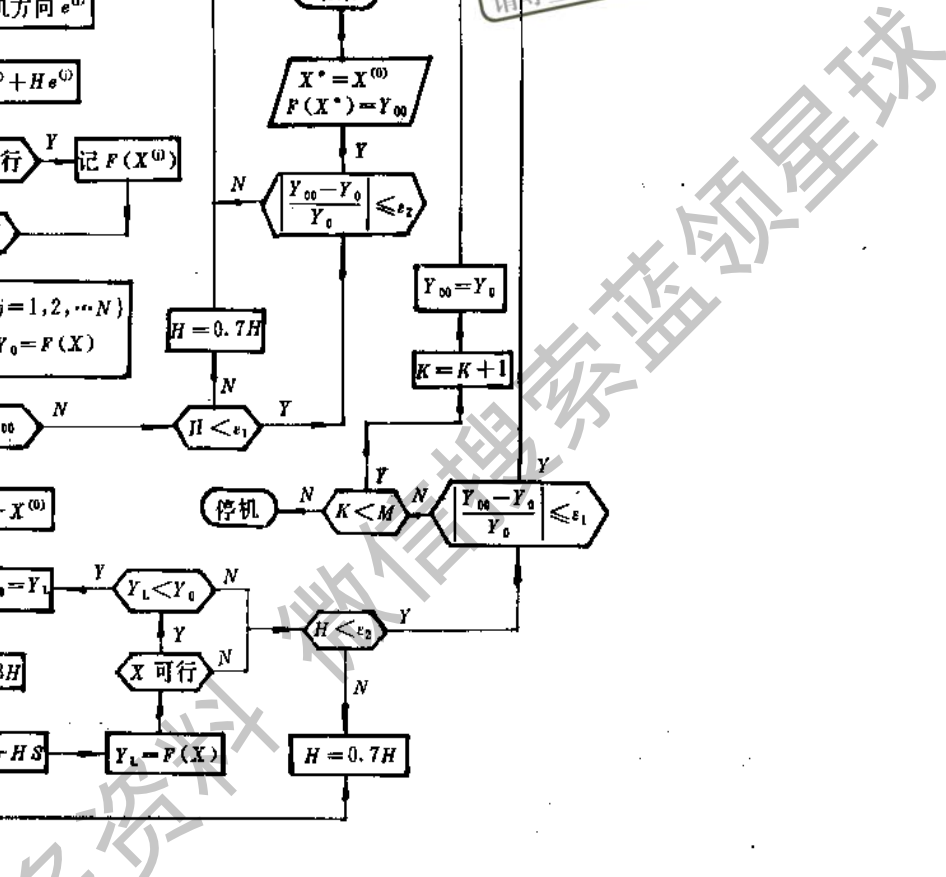
$$\Phi(X, r^{(k)}) = F(X) - r^{(k)} \sum_{i=1}^m 1/g_i(X)$$

式中  $F(X)$  为原约束优化问题的目标函数,  $-r^{(k)} \sum_{i=1}^m 1/g_i(X)$  为惩罚项,是对违背约束点施加的惩罚,  $r^{(k)}$  为罚因子。

##### (1) 内点法的特点

内点法的设计点为内点,其中惩罚项  $-r^{(k)} \sum_{i=1}^m 1/g_i(X)$  恒大于零,当设计点企图从可行域内部靠近边界时,施以惩罚,设计点越靠近边界,惩罚项的值急剧增加,好象在边界筑起一道“高墙”,保证设计点始终在可行域内,并当  $r^{(k)} \rightarrow 0$  时,惩罚项趋近于零,罚函数的极值点逼近到原问题的最优解。内点

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！



法的设计点均为可行点,设计者可以从中选择一可行方案。

惩罚因子  $r^{(k)}$  是一递减的正数序列

$$r^{(0)} > r^{(1)} > \dots > r^{(k)} > \dots > 0$$

$$\lim_{K \rightarrow \infty} r^{(k)} = 0$$

$$r^{(k+1)} = Cr^{(k)}$$

其中罚因子的缩减系数  $C < 1$ , 一般情况下可取初始罚因子  $r^{(0)} = 1, C = 0.1 \sim 0.7$ 。

(2) 内点法的算法步骤

- 1) 给定可行初始点  $X^{(0)}$ , 初始罚因子  $r^{(0)}$ , 缩减系数  $C$  和计算精度  $\epsilon_1, \epsilon_2$ , 令  $K=1$ ;
- 2) 从  $X^{(K-1)}$  出发求罚函数的极小值点  $\min \Phi(X, r^{(k)})$  得  $X^*(r^{(k)})$ , 令  $X^{(k)} = X^*(r^{(k)})$ ;
- 3) 判定收敛性, 如果  $|F(X^*, r^{(k)}) - F(X^*, r^{(k-1)})| < \epsilon_1, \|X^*(r^{(k)}) - X^*(r^{(k-1)})\| \leq \epsilon_2$  则转 5, 否则转 4);
- 4) 令  $r^{(k+1)} = Cr^{(k)}, K=K+1$ , 转 2);
- 5) 输出  $X^* = X^*(r^{(k)}), F(X^*) = F(X^*(r^{(k)}))$ ,

内点法的计算框图如图 32-13 所示。

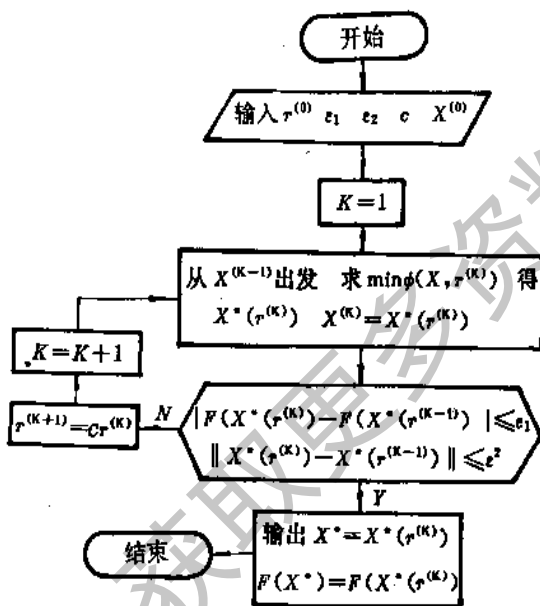


图 32-13 内点罚函数法计算框图

3.2.2 外点罚函数法

外点法可以求解含有等式和不等式约束的优化

设计问题, 定义外点罚函数为:

$$\Phi(X, r^{(k)}) = F(X) + r^{(k)} \left\{ \sum_{a=1}^m \max[0, g_a(X)]^2 + \sum_{v=1}^p [h_v(X)]^2 \right\}$$

其中  $F(X)$  为原目标函数, 第二项为惩罚项,  $g_a(X)$  为不等式约束,  $h_v(X)$  为等式约束,  $r^{(k)}$  为外点罚因子。

外点法把罚函数定义于可行域之外, 通过求解一系列无约束子问题, 从可行域外来逼近原目标函数的约束最优解, 当设计点为内点时, 惩罚项为零, 罚函数即为原目标函数, 当设计点为外点时, 惩罚项大于零, 随着违背约束程度的增加, 惩罚增加, 从而迫使设计点向可行域靠近。外点法对初始点的选择无要求。

外点罚因子  $r^{(k)}$  为一递增序列

$$r^{(0)} < r^{(1)} < \dots < r^{(k)} < \dots$$

$$\lim_{K \rightarrow +\infty} r^{(k)} = +\infty$$

$$r^{(k+1)} = Cr^{(k)}$$

式中罚因子递增系数  $C > 1$ , 一般取  $C = 5 \sim 10$ , 随着迭代的进行, 罚因子增加, 对违背约束点的惩罚增加, 迫使设计点移向可行域。但因外点法是从可行域之外逼近原目标函数的约束最优解, 所以外点法只能得到原目标函数的一个近似最优解。

3.2.3 混合罚函数法

混合罚函数法是吸收内点法设计点均为内点, 而外点法可以处理等式约束的优点, 把二者相结合构造出可以求解等式和不等式约束问题的优化方法, 即对  $m$  个不等式约束采用内点法, 对  $P$  个等式约束采用外点法来构造混合罚函数如下:

$$\Phi(X, r^{(k)}) = F(X) - r^{(k)} \sum_{a=1}^m 1/g_a(X) + [r^{(k)}]^{-\frac{1}{2}} \sum_{v=1}^p [h_v(X)]^2$$

式中统一的罚因子为一递减序列,

$$r^{(0)} > r^{(1)} > \dots > r^{(k)} > \dots$$

$$\lim_{K \rightarrow +\infty} r^{(k)} = 0$$

$$r^{(k+1)} = Cr^{(k)} \quad (C < 1)$$

混合法的初始罚因子可参考内点法选取, 迭代的初始点应为可行点, 计算过程可参考内点法。

### 4 常用机械零件优化设计的数学模型

#### 4.1 齿轮传动优化设计的数学模型

##### 4.1.1 渐开线圆柱齿轮传动优化设计的数学模型

(1) 渐开线圆柱齿轮强度计算的基本公式  
 渐开线圆柱齿轮传动的几何尺寸、啮合性能和强度计算的详细过程请参考本手册第 12 章的有关部分，在此仅给出建立优化设计数学模型所需的强度计算公式如表 32-1 所示。

(2) 设计变量 圆柱齿轮传动优化设计的目的

标一般有体积最小或给定尺寸条件下所传递的功率最大，对应于不同设计目标的设计变量见表 32-2。

#### (3) 目标函数

1) 以齿轮传动的体积最小为设计目标 视齿轮为实体，按齿顶圆计算其体积，取目标函数为：

$$\min F(X) = (d_{a1}^3 + d_{a2}^3)b \times 10^{-4}$$

其中  $10^{-4}$  是为使目标函数值减小的加权系数。

2) 以传递功率最大为设计目标 中心距一定时，以传递功率最大为目标的目标函数为：

$$\min F(X) = \min(P_{H1}, P_{F1}) \quad i = 1, 2$$

式中的  $P_{H1}$ 、 $P_{F1}$  分别为按接触强度和弯曲强度计算得到的许用功率，可按表 32-1 中公式计算。

表 32-1 渐开线圆柱齿轮接触强度和弯曲强度计算公式

计算内容	单位	接 触 强 度	弯 曲 强 度
强度条件		$\sigma_H \leq \sigma_{HP}$	$\sigma_F \leq \sigma_{FP}$
计算应力	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_H = Z_H Z_E Z_\epsilon Z_\beta \left[ \frac{F_t(u \pm 1)}{bd_1 u} K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha} \right]^{1/2}$	$\sigma_F = \frac{F_t K_A K_V K_F K_{F\beta} Y_{FS} Y_\epsilon \beta}{bm_n}$
许用应力	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{HP} = \sigma_{Hlim} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X / S_{Hmin}$	$\sigma_{FP} = \sigma_{FE} Y_{NT} Y_{ST} Y_{RrelT} Y_X / S_{Fmin}$
安全系数		$S_H = \sigma_{Hlim} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X / \sigma_H$	$S_F = \sigma_{FE} Y_{NT} Y_{ST} Y_{RrelT} Y_X / \sigma_F$
许用功率	kW	$P_{HP} = \frac{u n_1 b d_1^3 \sigma_{HP}}{19.1 \times 10^6 (u \pm 1) (Z_H Z_E Z_\epsilon Z_\beta)^2 (K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha})}$	$P_{FP} = \frac{n_1 b d_1 m_n \sigma_{FP}}{19.1 \times 10^6 K_A K_V K_F K_{F\beta} Y_{FS} Y_\epsilon \beta}$
说 明		$Y_{FS} = Y_{Fa} Y_{Sa}, \quad Y_\epsilon \beta = Y_\epsilon Y_\beta$	

表 32-2 圆柱齿轮传动优化设计的设计变量

齿轮传动类型	设计 变 量	
	以体积最小为目标	给定中心距，以传递功率最大为目标
直齿变位齿轮	$X = (z_1, \phi_m, m, x_{11}, x_{12})^T$	$X = (z_1, \phi_m, m, x_{11})^T$
斜齿标准齿轮	$X = (z_1, \phi_m, m_n, \beta)^T$	$X = (z_1, \phi_m, m_n)^T$
斜齿变位齿轮	$X = (z_1, \phi_m, m_n, x_{11}, x_{12}, \beta)^T$	$X = (z_1, \phi_m, m_n, x_{11}, \beta)^T$
说 明	$x_{11}, x_{12}$ 分别为小、大齿轮的端面变位系数； $\phi_m = b/m_n (m)$ 为齿宽系数	

#### (4) 约束条件

1) 边界约束 圆柱齿轮传动优化设计的边界约束主要有齿数  $z$ 、齿宽  $b$  (或齿宽系数  $\phi_m$ )、模数  $m_n$  和螺旋角  $\beta$  (直齿轮无此项) 限制。

- a. 齿数限制  $g(X) = z_{min}/z_1 - 1 \leq 0$   
 $g(X) = u z_1 / z_{max} - 1 \leq 0$
- b. 模数限制  $g(X) = m_{min}/m_n - 1 \leq 0$   
 $g(X) = m_n / m_{max} - 1 \leq 0$
- c. 齿宽限制  $g(X) = b_{min}/b - 1 \leq 0$   
 $g(X) = b/b_{max} - 1 \leq 0$
- d. 螺旋角限制  $g(X) = \beta_{min}/\beta - 1 \leq 0$

$$g(X) = \beta/\beta_{max} - 1 \leq 0$$

(2) 性能约束 性能约束主要有强度条件、齿廓干涉、重合度等限制，对应的约束条件为：

#### a. 强度条件限制

$$g(X) = \sigma_H / \sigma_{HP} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

$$g(X) = \sigma_F / \sigma_{FP} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

#### b. 滚切外啮合齿轮不产生根切限制

$$g(X) = \left( h_{a1}^* - \frac{z_1 \sin^2 \alpha_1}{2} \right) / x_{11} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

#### c. 滚切外啮合齿轮不产生过渡曲线干涉的限制

制

小轮

$$g(X) = \left[ \tan\alpha_1 - \tan\alpha'_1 + \frac{z_2}{z_1} (\tan\alpha_{a12} - \tan\alpha'_1) \right] / \left[ \frac{4(h_{at}^* - x_{11})}{z_1 \sin 2\alpha_1} \right] - 1 \leq 0$$

大轮

$$g(X) = \left[ \tan\alpha_1 - \tan\alpha'_1 + \frac{z_1}{z_2} (\tan\alpha_{a11} - \tan\alpha'_1) \right] / \left[ \frac{4(h_{at}^* - x_{12})}{z_2 \sin 2\alpha_1} \right] - 1 \leq 0$$

d. 内啮合传动, 内齿轮插齿, 外齿轮滚齿不产生过渡曲线干涉的限制

外齿轮

$$g(X) = \left[ \tan\alpha_1 - \tan\alpha'_1 - \frac{z_2}{z_1} (\tan\alpha_{a12} - \tan\alpha'_1) \right] / \left[ \frac{4(h_{at}^* - x_{11})}{z_2 \sin 2\alpha_1} \right] - 1 \leq 0$$

内齿轮

$$g(X) = \left[ \tan\alpha_{a11} - \tan\alpha'_1 - \frac{z_2}{z_1} (\tan\alpha'_{c2} - \tan\alpha'_1) \right] / \left[ \frac{z_c}{z_1} (\tan\alpha_{ac} - \tan\alpha'_{c2}) \right] - 1 \leq 0$$

e. 齿厚限制

$$g_i(X) = \frac{S_a}{m_n} \left/ \left\{ \frac{d_{ai}}{m_n} \left[ \left( \frac{\pi}{2} \pm 2x_i \tan\alpha_i \right) / z_i \mp (\text{inv}\alpha_{ai} - \text{inv}\alpha_i) \right] \right\} \right. - 1 \leq 0$$

$i = 1, 2$

式中符号“±”、“∓”: 上面的用于外啮合, 下面的用于内啮合; 一般机械制造业  $\frac{S_a}{m_n} = 0.25 \sim 0.4$ 。

f. 重合度限制

$$g(X) = \epsilon_{a0} / \epsilon_a - 1 \leq 0$$

式中  $\epsilon_a = \frac{\pi}{2} [z_1 (\tan\alpha_{a11} - \tan\alpha'_1) \pm z_2 (\tan\alpha_{a12} - \tan\alpha'_1)]$ , 其中“+”用于外啮合, “-”用于内啮合, 一般机械制造业  $\epsilon_{a0} = 1.2$ 。

g. 插内齿轮不产生径向干涉限制

$$g(X) = z_2 (\delta'_2 + \text{inv}\alpha_{a12}) / [z_c (\delta'_c + \text{inv}\alpha_{ac}) + (z_2 - z_c) \text{inv}\alpha'_{c2}] - 1 \leq 0$$

式中  $\delta'_c = \arcsin(D/r_{ac})$ ,  $\delta'_2 = \arcsin(D/r_{a2})$   
 $D = \{ [(z_2 r_{ac})^2 - (z_c r_{a2})^2] / (z_2^2 - z_c^2) \}^{1/2}$

h. 内啮合传动不产生齿廓重迭干涉限制

$$g(X) = z_2 (\delta_2 + \text{inv}\alpha_{a12}) / [z_1 (\delta_1 + \text{inv}\alpha_{a11}) + (z_2 - z_1) \text{inv}\alpha'_1] - 1 \leq 0$$

式中  $\delta_1 = \arccos \{ (r_{a2}^2 - r_{a1}^2 - (a')^2) / 2r_{a1}a' \}$   
 $\delta_2 = \arccos \{ (r_{a2}^2 - r_{a1}^2 + (a')^2) / 2r_{a2}a' \}$

以上各式中:

$h_{at}^*$  —— 端面齿顶高系数;

$\alpha_1, \alpha'_1$  —— 端面压力角和啮合角;

$\alpha_{ac}$  —— 插齿刀顶圆压力角;

$\alpha_{c2}$  —— 插内齿时插刀与内齿轮的啮合角;

$\alpha_{a11}, \alpha_{a12}$  —— 小、大齿轮顶圆端面压力角;

$z_c$  —— 插齿刀齿数;

$r_{ac}$  —— 插齿刀顶圆半径;

$a'$  —— 中心距。

(5) 渐开线圆柱齿轮优化设计实例

例 32-1 试以体积最小为目标, 设计二级圆柱齿轮减速器。已知传递的功率  $P = 10 \text{ kW}$ , 输入轴转速  $n_1 = 1450 \text{ r/min}$ , 总传动比  $i_0 = 30$ , 工作载荷平稳, 要求工作寿命约为 12 年 (105120 h)。

解 减速器的结构简图如图 32-14 所示

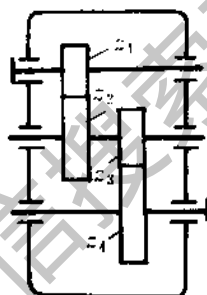


图 32-14 减速器结构简图

1) 计算有关参数 (参见 GB3480—83)

a. 齿轮材料均选用 45 钢, 小轮调质 260HBS, 大轮正火 230HBS, 接触疲劳极限分别为:

$$\sigma_{Hlim1} = \sigma_{Hlim2} = 600 \text{ N/mm}^2,$$

$$\sigma_{Hlim3} = \sigma_{Hlim4} = 570 \text{ N/mm}^2;$$

许用弯曲应力的基本值分别为:

$$\sigma_{FE1} = \sigma_{FE3} = 520 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{FE2} = \sigma_{FE4} = 480 \text{ N/mm}^2$$

b. 计算许用接触应力

基本应力循环次数  $N_{H0} = 5 \times 10^7$

应力循环次数 (初取高速级传动比  $i_1 = 6$ )

$$N_{H1} = N_{F1} = 60\pi h = 60 \times 1450 \times 105120 = 9.145 \times 10^9$$

$$N_{H2} = N_{F2} = N_{H3} = N_{F3} = N_{H1} / i_1 = 9.145 \times 10^9 / 6 = 1.524 \times 10^9$$

$$N_{H4} = N_{F4} = N_{H1} / i_0 = 9.145 \times 10^9 / 30 = 3.04 \times 10^8$$

因  $N_{Hi} > N_{H0}$ , 取寿命系数  $Z_{Ni} = 1, i = 1 \sim 4$

与润滑有关的系数  $Z_L Z_V Z_R = 0.85$



表面强化系数  $Z_{w2} = Z_{w4} = 1.14$

尺寸系数  $Z_{xi} = 1 \quad i = 1 \sim 4$

接触强度计算最小安全系数  $S_{Hmin} = 1.2$

许用接触应力为:

$$\begin{aligned} \sigma_{HR1} &= \sigma_{Hlim2} Z_{N2} Z_L Z_V Z_R Z_{X2} Z_{W2} / S_{Hmin} \\ &= 570 \times 1 \times 0.85 \times 1 \times 1.14 / 1.2 \\ &= 552 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{HP2} = \sigma_{HP1} = 552 \text{ N/mm}^2$$

c. 计算许用弯应力

基本应力循环次数  $N_{F0} = 3 \times 10^6$

因  $N_{Fi} > N_{F0}$ , 寿命系数  $Y_{NTi} = 1 \quad i = 1 \sim 4$

相对齿根圆角敏感系数  $Y_{brlTi} = 1 \quad i = 1 \sim 4$

相对齿根表面状况系数  $Y_{RrelTi} = 1 \quad i = 1 \sim 4$

尺寸系数  $Y_{xi} = 1 \quad i = 1 \sim 4$

强度计算最小安全系数  $S_{Fmin} = 1.4$

许用弯曲应力为:

$$\begin{aligned} \sigma_{FP1} = \sigma_{FP3} &= \sigma_{FE1} Y_{NT1} Y_{brlT1} Y_{RrelT1} Y_{X1} / S_{Fmin} \\ &= 520 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 / 1.4 \\ &= 371 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{FP2} = \sigma_{FP4} &= \sigma_{FE2} Y_{NT2} Y_{brlT2} Y_{RrelT2} Y_{X2} / S_{Fmin} \\ &= 480 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 / 1.4 \\ &= 343 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

2) 设计变量

$$\begin{aligned} X &= [x_1, \Phi_{m1}, m_{n1}, x_{21}, x_{12}, \beta_1, z_3, \Phi_{m2}, m_{n2}, x_{23}, x_{14}, \beta_2, i_1]^T \\ &= [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}]^T \end{aligned}$$

3) 目标函数

$$F(X) = [(d_{21}^2 + d_{22}^2)\Phi_{m1}m_{n1} + (d_{33}^2 + d_{34}^2)\Phi_{m2}m_{n2}] \text{ mm}^3$$

式中

$$\begin{aligned} d_{21} &= \frac{z_1 m_{n1}}{\cos \beta_1} + 2(h_{a1}^* + x_{11} - \sigma_{11}) \frac{m_{n1}}{\cos \beta_1} \\ &= \frac{x_1 x_3}{\cos x_6} + 2(\cos x_6 + x_4 - a_{11}) \frac{x_3}{\cos x_6} \\ d_{22} &= \frac{z_1 m_{n1} i_1}{\cos x_6} + 2(h_{a1}^* + x_{12} - \sigma_{11}) \frac{m_{n1}}{\cos \beta_1} \\ &= \frac{x_1 x_3 x_{13}}{\cos x_6} + 2(\cos x_6 + x_5 - a_{11}) \frac{x_3}{\cos x_6} \\ d_{33} &= \frac{z_3 m_{n2}}{\cos \beta_2} + 2(h_{a2}^* + x_{13} - \sigma_{12}) \frac{m_{n2}}{\cos \beta_2} \\ &= \frac{x_7 x_9}{\cos x_{12}} + 2(\cos x_{12} + x_{10} - a_{12}) \frac{x_9}{\cos x_{12}} \\ d_{34} &= \frac{z_3 m_{n2} i_0}{\cos \beta_2 i_1} + 2(h_{a2}^* + x_{14} - \sigma_{12}) \frac{m_{n2}}{\cos \beta_2} \\ &= \frac{x_7 x_9 i_0}{\cos x_{12} x_{13}} + 2(\cos x_{12} + x_{11} - a_{12}) \frac{m_{n2}}{\cos x_{12}} \end{aligned}$$

$$\sigma_{11} = x_{11} + x_{12} - \frac{z_1(1+i_1)}{2} \left( \frac{\cos \alpha_{c1}}{\cos \alpha_{c1}'} - 1 \right)$$

$$= x_4 + x_5 - \frac{x_1(1+x_{13})}{2} \left( \frac{\cos \alpha_{c1}}{\cos \alpha_{c1}'} - 1 \right)$$

$$\sigma_{12} = x_{13} + x_{14} - \frac{z_3(1+i_0/i_1)}{2} \left( \frac{\cos \alpha_{c2}}{\cos \alpha_{c2}'} - 1 \right)$$

$$= x_{10} + x_{11} - \frac{x_7(1+i_0/x_{13})}{2} \left( \frac{\cos \alpha_{c2}}{\cos \alpha_{c2}'} - 1 \right)$$

$$\alpha_{11} = \arctan(\tan \alpha_n / \cos \beta_1) = \arctan(\tan \alpha_n / \cos x_6)$$

$$\alpha_{12} = \arctan(\tan \alpha_n / \cos \beta_2) = \arctan(\tan \alpha_n / \cos x_{12})$$

$$\text{inv} \alpha_{11}' = \frac{2(x_{11} + x_{12})}{Z_1(1+i_1)} \tan \alpha_{c1} + \text{inv} \alpha_{11}$$

$$= \frac{2(x_4 + x_5)}{x_1(1+x_{13})} \tan \alpha_{c1} + \text{inv} \alpha_{11}$$

$$\text{inv} \alpha_{12}' = \frac{2(x_{13} + x_{14})}{Z_3(1+i_0/i_1)} \tan \alpha_{c2} + \text{inv} \alpha_{12}$$

$$= \frac{2(x_{10} + x_{11})}{x_7(1+i_0/x_{13})} \tan \alpha_{c2} + \text{inv} \alpha_{12}$$

4) 约束条件

a. 计算接触应力和弯曲应力

$$\text{区域系数 } Z_{Hi} = \sqrt{\frac{2 \cos \beta_{bi}}{\cos^2 \alpha_{ni} \tan \alpha_{ci}}} \quad i = 1 \sim 2$$

式中

$$\beta_{b1} = \arctan(\tan \beta_1 \cos \alpha_{c1}) = \arctan(\tan x_6 \cos \alpha_{c1})$$

$$\beta_{b2} = \arctan(\tan \beta_2 \cos \alpha_{c2}) = \arctan(\tan x_{12} \cos \alpha_{c2})$$

材料系数  $Z_{E1} = Z_{E2} = 189.8 \sqrt{\text{N/mm}^2}$

重合度系数  $Z_\epsilon, Y_\epsilon$

接触强度计算重合度系数  $Z_{\epsilon i}$

$$Z_{\epsilon i} = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_{\alpha i}}{3} (1 - \epsilon_{\beta i}) + \epsilon_{\beta i} / \epsilon_{\alpha i}} \quad i = 1 \sim 2$$

当  $\epsilon_{\beta i} > 1$  时, 取  $\epsilon_{\beta i} = 1$  计算。

弯曲强度计算重合度系数  $Y_{\epsilon i}$

$$Y_{\epsilon i} = 0.25 + 0.75 / \epsilon_{\alpha i} \quad i = 1 \sim 2$$

式中  $\epsilon_\beta$  —— 轴向重合度

$$\epsilon_{\beta 1} = \frac{\Phi_{m1} \sin \beta_1}{\pi} = \frac{x_2 \sin x_6}{\pi}$$

$$\epsilon_{\beta 2} = \frac{\Phi_{m2} \sin \beta_2}{\pi} = \frac{x_8 \sin x_{12}}{\pi}$$

$\epsilon_\alpha$  —— 端面重合度

$$\epsilon_{\alpha 1} = \frac{1}{2\pi} [z_1(\tan \alpha_{a13} - \tan \alpha_{a1}') + z_2(\tan \alpha_{a12} - \tan \alpha_{a1}')] ]$$

$$= \frac{x_1}{2\pi} [(\tan \alpha_{a11} - \tan \alpha_{a1}') + x_{13}(\tan \alpha_{a12} - \tan \alpha_{a1}')] ]$$

$$\epsilon_{\alpha 2} = \frac{1}{2\pi} [z_3(\tan \alpha_{a23} - \tan \alpha_{a2}') + z_4(\tan \alpha_{a24} - \tan \alpha_{a2}')] ]$$

$$= \frac{x_7}{2\pi} [(\tan \alpha_{a23} - \tan \alpha_{a2}') + i_0(\tan \alpha_{a24} - \tan \alpha_{a2}') / x_{13}] ]$$

$\alpha_{ai}$  —— 齿顶端面压力角  $i = 1 \sim 4$



$$\alpha_{a1} = \arccos\left(\frac{z_1 m_n \cos \alpha_{a1}}{\cos \beta_1 d_{a1}}\right) = \arccos\left(\frac{x_1 x_3 \cos \alpha_{a1}}{\cos x_6 d_{a1}}\right)$$

$$\alpha_{a12} = \arccos\left(\frac{z_1 m_n i_1 \cos \alpha_{a1}}{\cos \beta_1 d_{a2}}\right) = \arccos\left(\frac{x_1 x_3 x_{13} \cos \alpha_{a1}}{\cos x_6 d_{a2}}\right)$$

$$\alpha_{a3} = \arccos\left(\frac{z_3 m_n \cos \alpha_{a12}}{\cos \beta_2 d_{a3}}\right) = \arccos\left(\frac{x_7 x_9 \cos \alpha_{a12}}{\cos x_{12} d_{a3}}\right)$$

$$\alpha_{a4} = \arccos\left(\frac{z_3 m_n i_0 \cos \alpha_{a12}}{\cos \beta_2 i_0 d_{a4}}\right) = \arccos\left(\frac{x_7 x_9 i_0 \cos \alpha_{a12}}{\cos x_{12} x_{13} d_{a4}}\right)$$

螺旋角系数  $Z_\beta, Y_\beta$

接触强度计算螺旋角系数  $Z_{\beta 1}$

$$Z_{\beta 1} = \sqrt{\cos \beta_1} = \sqrt{\cos x_6}$$

$$Z_{\beta 2} = \sqrt{\cos \beta_2} = \sqrt{\cos x_{12}}$$

弯曲强度计算螺旋角系数  $Y_{\beta 1}$

$$Y_{\beta 1} = 1 - \epsilon_{\beta 1} \frac{\beta_1}{120^\circ} = 1 - \epsilon_{\beta 1} \frac{x_6}{120^\circ}$$

$$Y_{\beta 2} = 1 - \epsilon_{\beta 2} \frac{\beta_2}{120^\circ} = 1 - \epsilon_{\beta 2} \frac{x_{12}}{120^\circ}$$

当  $\epsilon_{\beta i} > 1$  时, 取  $\epsilon_{\beta i} = 1$ , 当  $\beta_i > 30^\circ$  时, 取  $\beta_i = 30^\circ$

齿形系数  $Y_{Fa}$  和应力修正系数  $Y_{Sa}$  按 GB3480—83 中的公式计算, 齿形系数  $Y_{Fa}$  的计算公式见表 32-3, 各参数的意义同 GB3480—83。本例中取  $\rho_{a0} = 0.38 m_n, h_K = 0, h_{a0} = 1.25 m_n$ , 计算  $Y_{Fa i}$  ( $i=1 \sim 4$ ) 时, 应代入第  $i$  个齿轮参数所对应的设计变量值。

齿根应力集中系数  $Y_{Sa}$

$$Y_{Sa} = (1.2 + 0.13 L_s) q_s^{(1.71 + 2.37/L_s)}$$

式中:  $L_s = \frac{S_{Fn}}{h_{Fa}}, \quad q_s = \frac{S_{Fn}}{2\rho_F}$

上式中分别代入各轮所对应的设计变量得到  $Y_{Sa i}$  ( $i=1 \sim 4$ )。

工况系数  $K_{A i} = 1 \quad i=1 \sim 2$

动载系数  $K_v$ , (按 8 级精度斜齿轮计算)

$$K_{v 1} = 1 + 0.53 \times 10^{-4} x_1^2 x_3 / \cos x_6$$

$$K_{v 2} = 1 + 0.5 \times 10^{-4} x_7^2 x_9 / (x_{13} \cos x_{12})$$

表 32-3 外齿轮齿形系数  $Y_{Fa}$  的有关公式

序号	名称	代号	计算公式	备注
1	凸台齿廓的起 点高度	$h_k$	$\frac{\rho_{a0} \cos \alpha_{pro}}{\sin(\alpha_n - \alpha_{pro})} + \rho_{a0} \left[ 1 - \frac{\sin \frac{\alpha_n + \alpha_{pro}}{2}}{\cos \frac{\alpha_n - \alpha_{pro}}{2}} \right]$	
2	刀尖圆心至刀 齿对称线的距离	$E$	$\frac{\pi m_n}{4} - h_{a0} \tan \alpha_n + h_k (\tan \alpha_n - \tan \alpha_{pro}) - (1 - \sin \alpha_{pro}) \frac{\rho_{a0}}{\cos \alpha_{pro}}$	刀具无凸台时 $\alpha_{pro} = 0$
3	辅助值	$G$	$\frac{\rho_{a0}}{m_n} \frac{h_{a0}}{m_n} + \frac{x_1}{\cos \beta}$	$x_1$ —端面变位系数
4	基圆螺旋角	$\beta_b$	$\arccos[\sqrt{1 - (\sin \beta \cos \alpha_n)^2}]$	
5	当量齿数	$z_v$	$\frac{z}{\cos^2 \beta_b \cos \beta}$	
6	辅助值	$H$	$\frac{2}{z_v} \left( \frac{\pi}{2} \frac{E}{m_n} \right) - \frac{\pi}{3}$	
7	辅助角	$\theta$	$\left( \frac{2G}{z_v} \right) \tan \theta - H$	用牛顿法求解时可 取初值 $\theta = -H / \left( 1 - \frac{2G}{z_v} \right)$
8	危险截面齿厚 与模数之比	$\frac{S_{Fn}}{m_n}$	$z_v \sin \left( \frac{\pi}{3} - \theta \right) + \sqrt{3} \left( \frac{G}{\cos \theta} \frac{\rho_{a0}}{m_n} \right)$	
9	30°切点处曲率 半径与模数之比	$\frac{\rho_F}{m_n}$	$\frac{\rho_{a0}}{m_n} + \frac{2G^2}{\cos \theta (z_v \cos^2 \theta - 2G)}$	
10	齿顶端面压力 角	$\alpha_{at}$	$\arccos \left( \frac{d_b}{d_a} \right)$	
11	齿顶圆齿厚半角	$\gamma_{at}$	$\frac{1}{x} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{2x_1 \tan \alpha_n}{\cos \beta} \right) + \text{inv} \alpha_i - \text{inv} \alpha_{at}$	

续表 32-3

序号	名称	代号	计算公式	备注
12	端面载荷作用角	$\alpha_{Fat}$	$\alpha_{at} - \gamma_{at}$	
13	弯曲力臂与模数之比	$\frac{h_{Fa}}{m_n}$	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{x}{\cos\beta} \left( \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{Fat}} - 1 \right) + z_v \left[ 1 - \cos\left( \frac{\pi}{3} - \theta \right) \right] - \frac{G}{\cos\theta} + \frac{\rho_{so}}{m_n} \right\}$	
14	辅助角	$\beta_{Fa}$	$\arctan\left( \frac{d_h}{d \cos\alpha_{Fat}} \tan\beta \right)$	$\beta_{Fa}$ —载荷作用线与轮齿对称线交点处所在圆柱面上的螺旋角
15	法向载荷作用角	$\alpha_{Fan}$	$\arctan(\tan\alpha_{Fa} \cos\beta_{Fa})$	
16	齿形系数	$Y_{Fa}$	$\frac{6 \left( \frac{h_{Fa}}{m_n} \right) \cos\alpha_{Fan}}{\left( \frac{S_{Fn}}{m_n} \right)^2 \cos\alpha_n}$	

齿间载荷分配系数  $K_{H\alpha}$  与  $K_{F\alpha}$

按 8 级精度齿轮, 取  $K_{H\alpha i} = K_{F\alpha i} = 1.2 \quad i = 1 \sim 2$

齿向载荷分布系数  $K_{H\beta}$  与  $K_{F\beta}$

按 8 级精度齿轮非对称布置, 装配时进行检验调整, 接触强度计算齿向载荷分布系数  $K_{H\beta}$  为:

$$K_{H\beta 1} = 1.15 + 0.36 \left( \frac{b_1}{d_1} \right)^2 + 0.31 \times 10^{-3} b_1$$

$$= 1.15 + 0.36 \left( \frac{\Phi_{m1} m_{n1}}{z_1 m_{n1} / \cos\beta_1} \right)^2 + 0.31 \times 10^{-3} \Phi_{m1} m_{n1}$$

$$= 1.15 + 0.36 \left( \frac{x_2 \cos x_6}{x_1} \right)^2 + 0.31 \times 10^{-3} x_2 x_3$$

$$K_{H\beta 2} = 1.15 + 0.36 \left( \frac{b_2}{d_3} \right)^2 + 0.31 \times 10^{-3} \Phi_{m2} m_{n2}$$

$$= 1.15 + 0.36 \left( \frac{\Phi_{m2} m_{n2}}{z_3 m_{n2} / \cos\beta_2} \right)^2 + 0.31 \times 10^{-3} \Phi_{m2} m_{n2}$$

$$= 1.15 + 0.36 \left( \frac{x_8 \cos x_{12}}{x_7} \right)^2 + 0.31 \times 10^{-3} x_8 x_9$$

弯曲强度计算齿向载荷分布系数  $K_{F\beta} = (K_{H\beta})^N$

式中指数  $N = \frac{(b/h)^2}{1 + (b/h) + (b/h)^2}$

取  $h = 2.25m_n$ , 则  $b/h = \frac{\Phi_m m_n}{2.25m_n} = \frac{\Phi_m}{2.25}$

$$N_i = \frac{\Phi_{mi}^2}{5.0625 + 2.25\Phi_{mi} + \Phi_{mi}^2} \quad i = 1 \sim 2$$

得  $K_{F\beta 1} = (K_{H\beta 1})^{\frac{2}{5.0625 + 2.25x_2 + x_2^2}}$

$$K_{F\beta 2} = (K_{H\beta 2})^{\frac{2}{5.0625 + 2.25x_8 + x_8^2}}$$

齿面接触应力  $\sigma_H$

$$\sigma_{H1} = Z_{H1} Z_{E1} Z_{\epsilon1} Z_{\beta1} \sqrt{\frac{2T_1 i_1 + 1}{b_1 d_1^3 i_1} K_{A1} K_{V1} K_{H\epsilon1} K_{H\beta1}}$$

$$= Z_{H1} Z_{F1} Z_{\epsilon1} Z_{\beta1}$$

$$\times \sqrt{\frac{2T_1 \cos^2 \beta_1 i_1 + 1}{z_1^2 \Phi_{m1} m_{n1}^3 i_1} K_{A1} K_{V1} K_{H\epsilon1} K_{H\beta1}}$$

$$= Z_{H1} Z_{E1} Z_{\epsilon1} Z_{\beta1}$$

$$\times \sqrt{\frac{2T_1 \cos^2 x_6 x_{13} + 1}{x_1^2 x_2 x_3^3} K_{A1} K_{V1} K_{H\epsilon1} K_{H\beta1}}$$

$$\sigma_{H2} = Z_{H2} Z_{E2} Z_{\epsilon2} Z_{\beta2} \sqrt{\frac{2T_3 (i_0/i_1 + 1)}{b_3 d_3^3} K_{A2} K_{V2} K_{H\epsilon2} K_{H\beta2}}$$

$$= Z_{H2} Z_{E2} Z_{\epsilon2} Z_{\beta2}$$

$$\times \sqrt{\frac{2T_3 \cos^2 \beta_2 i_0 + i_1}{z_3^2 \Phi_{m2} m_{n2}^3 i_0} K_{A2} K_{V2} K_{H\epsilon2} K_{H\beta2}}$$

$$= Z_{H2} Z_{E2} Z_{\epsilon2} Z_{\beta2}$$

$$\times \sqrt{\frac{2T_3 \cos^2 x_{12} i_0 + x_{13}}{x_7^2 x_8 x_9^3} K_{A2} K_{V2} K_{H\epsilon2} K_{H\beta2}}$$

式中:  $T_1 = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n_1} = 9.55 \times 10^6 \times \frac{10}{1450}$

$$= 65862 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T_3 = i_1 T_1 = 65862 x_{13} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

齿根弯曲应力  $\sigma_F$

$$\sigma_{F1} = K_{A1} K_{V1} K_{F\alpha1} K_{F\beta1} \frac{2T_1}{b_1 d_1 m_{n1}} Y_{Fa1} Y_{Sa1} Y_{\epsilon1} Y_{\beta1}$$

$$= K_{A1} K_{V1} K_{F\alpha1} K_{F\beta1} \frac{2T_1 \cos\beta_1}{z_1 \Phi_{m1} m_{n1}^2} Y_{Fa1} Y_{Sa1} Y_{\epsilon1} Y_{\beta1}$$

$$= K_{A1} K_{V1} K_{F\alpha1} K_{F\beta1} \frac{2T_1 \cos x_6}{x_1 x_2 x_3^2} Y_{Fa1} Y_{Sa1} Y_{\epsilon1} Y_{\beta1}$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{Fa2} Y_{Sa2}}{Y_{Fa1} Y_{Sa1}}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{F3} &= K_{A2} K_{V2} K_{F02} K_{FB2} \frac{2T_3}{\delta_3 d_3 m_{02}} Y_{Fa3} Y_{Sa3} Y_{E3} Y_{B3} \\ &= K_{A2} K_{V2} K_{F02} K_{FB2} \frac{2T_3 \cos \beta_2}{z_3 \Phi_{m2} m_{02}^2} Y_{Fa3} Y_{Sa3} Y_{E3} Y_{B3} \\ &= K_{A2} K_{V2} K_{F02} K_{FB2} \frac{2T_3 \cos x_{12}}{x_7 x_8 x_9^3} Y_{Fa3} Y_{Sa3} Y_{E3} Y_{B3}\end{aligned}$$

$$\sigma_{F4} = \sigma_{F3} \frac{Y_{Fa4} Y_{Sa4}}{Y_{Fa3} Y_{Sa3}}$$

b. 约束条件式

最少齿数限制

$$g_1(X) = \frac{2h_{a1}^*}{z_1 \sin^2 \alpha_{11}} - 1 = \frac{2 \cos x_6}{x_1 \sin^2 \alpha_{11}} - 1 \leq 0$$

$$g_2(X) = \frac{2h_{a2}^*}{z_3 \sin^2 \alpha_{12}} - 1 = \frac{2 \cos x_{12}}{x_3 \sin^2 \alpha_{12}} - 1 \leq 0$$

齿宽系数限制, 取  $20 \leq \Phi_m \leq 35$ 

$$g_3(X) = 20/x_2 - 1 \leq 0$$

$$g_4(X) = x_2/35 - 1 \leq 0$$

$$g_5(X) = 20/x_3 - 1 \leq 0$$

$$g_6(X) = x_3/35 - 1 \leq 0$$

螺旋角限制  $8^\circ \leq \beta \leq 15^\circ$ 

$$g_7(X) = 8/x_6 - 1 \leq 0$$

$$g_8(X) = x_6/15 - 1 \leq 0$$

$$g_9(X) = 8/x_{12} - 1 \leq 0$$

$$g_{10}(X) = x_{12}/15 - 1 \leq 0$$

强度条件限制

$$g_{11}(X) = \sigma_{H1}/\sigma_{HP1} - 1 \leq 0$$

$$g_{12}(X) = \sigma_{H2}/\sigma_{HP2} - 1 \leq 0$$

$$g_{13}(X) = \sigma_{F1}/\sigma_{FP1} - 1 \leq 0$$

$$g_{14}(X) = \sigma_{F2}/\sigma_{FP2} - 1 \leq 0$$

$$g_{15}(X) = \sigma_{F3}/\sigma_{FP3} - 1 \leq 0$$

$$g_{16}(X) = \sigma_{F4}/\sigma_{FP4} - 1 \leq 0$$

最小变位系数限制

$$g_{17}(X) = \left( h_{a1}^* - \frac{z_1 \sin^2 \alpha_{11}}{2} \right) / x_{11} - 1$$

$$= \left( \cos x_6 - \frac{x_1 \sin^2 \alpha_{11}}{2} \right) / x_4 - 1 \leq 0$$

$$g_{18}(X) = \left( h_{a2}^* - \frac{z_2 \sin^2 \alpha_{11}}{2} \right) / x_{12} - 1$$

$$= \left( \cos x_6 - \frac{x_1 x_{13} \sin^2 \alpha_{11}}{2} \right) / x_5 - 1 \leq 0$$

$$g_{19}(X) = \left( h_{a2}^* - \frac{z_2 \sin^2 \alpha_{12}}{2} \right) / x_{13} - 1$$

$$= \left( \cos x_{12} - \frac{x_7 \sin^2 \alpha_{12}}{2} \right) / x_{10} - 1 \leq 0$$

$$g_{20}(X) = \left( h_{a2}^* - \frac{z_2 \sin^2 \alpha_{12}}{2} \right) / x_{14} - 1$$

$$= \left( \cos x_{12} - \frac{x_7 i_0 \sin^2 \alpha_{12}}{2 x_{13}} \right) / x_{11} - 1 \leq 0$$

不产生过渡曲线干涉限制

$$\begin{aligned}g_{21}(X) &= \frac{\left[ \tan \alpha_{11} - \tan \alpha'_{11} + \frac{z_2}{z_1} (\tan \alpha_{a2} - \tan \alpha'_{11}) \right]}{\frac{4(h_{a1}^* - x_{11})}{z_1 \sin 2\alpha_{11}}} - 1 \\ &= \frac{\left[ \tan \alpha_{11} - \tan \alpha'_{11} + x_{13} (\tan \alpha_{a2} - \tan \alpha'_{11}) \right]}{\frac{4(\cos x_6 - x_4)}{x_1 \sin 2\alpha_{11}}} - 1 \leq 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g_{22}(X) &= \frac{\left[ \tan \alpha_{11} - \tan \alpha'_{11} + \frac{z_1}{z_2} (\tan \alpha_{a1} - \tan \alpha'_{11}) \right]}{\frac{4(h_{a1}^* - x_{12})}{z_2 \sin 2\alpha_{11}}} - 1 \\ &= \frac{\left[ \tan \alpha_{11} - \tan \alpha'_{11} + (\tan \alpha_{a1} - \tan \alpha'_{11})/x_{13} \right]}{\frac{4(\cos x_6 - x_5)}{x_1 x_{13} \sin 2\alpha_{11}}} - 1 \leq 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g_{23}(X) &= \frac{\left[ \tan \alpha_{12} - \tan \alpha'_{12} + \frac{z_4}{z_3} (\tan \alpha_{a4} - \tan \alpha'_{12}) \right]}{\frac{4(h_{a2}^* - x_{13})}{z_3 \sin 2\alpha_{12}}} - 1 \\ &= \frac{\left[ \tan \alpha_{12} - \tan \alpha'_{12} + i_0 (\tan \alpha_{a4} - \tan \alpha'_{12})/x_{13} \right]}{\frac{4(\cos x_{12} - x_{10})}{x_7 \sin 2\alpha_{12}}} - 1 \leq 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g_{24}(X) &= \frac{\left[ \tan \alpha_{12} - \tan \alpha'_{12} + \frac{z_3}{z_4} (\tan \alpha_{a3} - \tan \alpha'_{12}) \right]}{\frac{4(h_{a2}^* - x_{14})}{z_4 \sin 2\alpha_{12}}} - 1 \\ &= \frac{\left[ \tan \alpha_{12} - \tan \alpha'_{12} + x_{13} (\tan \alpha_{a3} - \tan \alpha'_{12})/i_0 \right]}{\frac{4(\cos x_{12} - x_{11}) x_{13}}{x_7 i_0 \sin 2\alpha_{12}}} - 1 \leq 0\end{aligned}$$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

齿顶最小齿厚限制,取  $S_{at}/m_t=0.3$

$$g_{25}(X) = 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a1}}{m_1} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{11} \tan \alpha_{11} \right) / z_1 - (\text{inv} \alpha_{a11} - \text{inv} \alpha_{11}) \right] \right\} - 1 \right.$$

$$= 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a1}}{(x_3/\cos x_6)} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{11} \tan \alpha_{11} \right) / z_1 - (\text{inv} \alpha_{a11} - \text{inv} \alpha_{11}) \right] \right\} - 1 \right. \leq 0$$

$$g_{26}(X) = 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a2}}{m_1} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{12} \tan \alpha_{11} \right) / z_2 - (\text{inv} \alpha_{a12} - \text{inv} \alpha_{11}) \right] \right\} - 1 \right.$$

$$= 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a2}}{(x_3/\cos x_6)} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{12} \tan \alpha_{11} \right) / (x_1 x_{13}) - (\text{inv} \alpha_{a12} - \text{inv} \alpha_{11}) \right] \right\} - 1 \right. \leq 0$$

$$g_{27}(X) = 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a3}}{m_{12}} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{13} \tan \alpha_{12} \right) / z_3 - (\text{inv} \alpha_{a13} - \text{inv} \alpha_{12}) \right] \right\} - 1 \right.$$

$$= 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a3}}{(x_9/\cos x_{12})} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{13} \tan \alpha_{12} \right) / x_1 - (\text{inv} \alpha_{a13} - \text{inv} \alpha_{12}) \right] \right\} - 1 \right. \leq 0$$

$$g_{28}(X) = 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a4}}{m_{12}} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{14} \tan \alpha_{12} \right) / z_4 - (\text{inv} \alpha_{a14} - \text{inv} \alpha_{12}) \right] \right\} - 1 \right.$$

$$= 0.3 \left/ \left\{ \frac{d_{a4}}{(x_9/\cos x_{12})} \left[ \left( \frac{\pi}{2} + 2x_{14} \tan \alpha_{12} \right) x_{13}/(x_7 i_0) - (\text{inv} \alpha_{a14} - \text{inv} \alpha_{12}) \right] \right\} - 1 \right. \leq 0$$

端面重合度限制,要求  $\epsilon_a \geq 1.2$

$$g_{29}(X) = 1.2/\epsilon_{a1} - 1 \leq 0$$

$$g_{30}(X) = 1.2/\epsilon_{a2} - 1 \leq 0$$

最小模数限制,要求  $m_n > 2.5$

$$g_{31}(X) = 2.5/x_3 - 1 \leq 0$$

$$g_{32}(X) = 2.5/x_9 - 1 \leq 0$$

传动比限制  $\sqrt{1.2}i_0 \leq i_1 \leq \sqrt{1.3}i_0$

$$g_{33}(X) = \sqrt{1.2}i_0/x_{13} - 1 \leq 0$$

$$g_{34}(X) = x_{13}/\sqrt{1.3}i_0 - 1 \leq 0$$

变位系数取值限制  $x_{12} \leq x_{11}, x_{14} \leq x_{13}$

$$g_{35}(X) = x_5 - x_4 \leq 0$$

$$g_{36}(X) = x_{11} - x_{10} \leq 0$$

小轮变位系数取值限制  $x_{11} \geq 0, x_{13} \geq 0$

$$g_{37}(X) = -x_4 \leq 0$$

$$g_{38}(X) = -x_{10} \leq 0$$

5) 计算结果 本例为含 13 个设计变量,38 个不等式约束的非线性优化问题,利用内点法构造罚函数为:

$$\Phi(X, r^{(k)}) = F(X) - r^{(k)} \sum_{n=1}^{38} \frac{1}{g_n(X)}$$

选取初始点  $X^{(0)} = [20, 25, 3, 0, 0, 10, 20, 25, 30, 0, 0, 10, 5, 5]^T$ , 初始罚因子  $r^{(0)} = 5$ , 罚因子递减系数  $c = 0.1$ , 利用无约束优化的 powell 共轭方向法进行优化,求得最优解为:

$$X^{(*)} = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_{13}^*]^T = [z_1^*, \Phi_{m1}^*, m_{n1}^*, x_{11}^*, x_{12}^*, \beta_1^*, z_2^*, \Phi_{m2}^*, m_{n2}^*, x_{13}^*, x_{14}^*, \beta_2^*, i_1^*]^T$$

$$= [15.78, 20.26, 2.905, 0.01349, 0.01243, 14.8213, 16.32, 20.13, 8.31, 0.00017, -0.20299, 10.6031, 6.154]^T$$

$$F(X^{(*)}) = 0.88078 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

设计变量经离散化处理,圆整后得到一个可行的设计方案如下,供设计者参考。

高速级参数

齿数:  $z_1=16, z_2=98$

模数:  $m_{n1}=3 \text{ mm}$

齿宽系数:  $\Phi_{m1}=20.26$

变位系数:  $x_{11}=0.01853, x_{12}=0.01852$

螺旋角:  $\beta_1=14.8214^\circ$

中心距:  $a'_1=177 \text{ mm}$

低速级参数

齿数:  $z_3=17, z_4=83$

模数:  $m_n=8 \text{ mm}$

齿宽系数:  $\Phi_{m2}=20.14$

变位系数:  $x_{13}=0.00924, x_{14}=-0.19391$

螺旋角:  $\beta_2=13.6031^\circ$

中心距:  $a'_2=410 \text{ mm}$

总传动比:  $i=29.9044$

总体积:  $F=0.8797728 \times 10^6 \text{ mm}^3$

### 4.1.2 圆锥齿轮传动优化设计的数学模型

(1) 圆锥齿轮传动强度计算基本公式 锥齿传动强度计算的基本公式见表 32-4,详细计算过程可参考本手册第 14 章和有关资料。

(2) 设计变量 锥齿轮传动优化设计的目标有体积最小或给定锥距时传递功率最大,对应不同设计目标的设计变量见表 32-5。

(3) 目标函数 锥齿轮传动不同设计目标时的目标函数见表 32-6。



表 32-4 锥齿轮强度计算基本公式

计算内容	单位	接触强度计算式	弯曲强度计算式
齿面接触应力 $\sigma_H$ 和齿根弯曲应力 $\sigma_F$	N/mm <sup>2</sup>	$\Sigma \neq 90^\circ$ 时	$\sigma_F = \frac{F_t}{b_e d_{m1} m_{no}} K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_{\epsilon} Y_{\beta}$
		$\sigma_H = Z_H Z_E Z_{\epsilon} Z_{\beta} Z_K \sqrt{\frac{F_t}{b_e d_{m1} u} \frac{u+1}{u}} K_A K_V K_{H\alpha} K_{H\beta}$	
许用接触应力 $\sigma_{HP}$ 和许用弯曲应力 $\sigma_{FP}$	N/mm <sup>2</sup>	$\Sigma \neq 90^\circ$ 时	$\sigma_{FP} = \sigma_{PE} Y_{NT} Y_{\beta rel} Y_{Rrel} Y_X / S_{Fmin}$
		$\sigma_{HP} = \sigma_{Hlim} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_X Z_W / S_{Hmin}$	
许用功率 $P_H$ 和 $P_F$	kW	$\Sigma \neq 90^\circ$ 时	$P_F = \frac{n_1}{19.1 \times 10^6} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_{\epsilon} Y_{\beta} K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta}$
		$P_H = \frac{u n_1}{19.1 \times 10^6 \sqrt{u^2+1}} \frac{b_e d_{m1} m_{no} \sigma_{HP}}{(Z_H Z_E Z_{\epsilon} Z_{\beta} Z_K)^2 (K_A K_V K_{H\alpha} K_{H\beta})}$	
说 明		$b_{eH}$ ——有效齿宽 $b_{eH} = 0.85 b$ , $u$ ——当量齿数比, $u$ ——齿数比, $Z_K$ ——锥齿轮系数, $d_{m1}$ ——小轮齿宽中点分度圆直径 mm, $d_{m1}$ ——小轮齿宽中点当量齿数分度圆直径 mm	

表 32-5 锥齿轮传动优化设计的设计变量

齿轮类型	设计变量	
	以体积最小为目标	以传递功率最大为目标
直齿锥齿轮	$X = [z_1, \Phi_R, m]^T$	$X = [z_1, \Phi_R]^T$
弧齿锥齿轮	$X = [z_1, \beta_m, b, m_1]^T$	$X = [z_1, \beta_m, b]^T$
零度齿锥齿轮	$X = [z_1, b, m_1]^T$	$X = [z_1, b]^T$
双曲面齿轮	$X = [z_1, b_2, d_2]^T$	$X = [z_1, b_2, d_2]^T$

表 32-6 锥齿轮传动优化设计的目标函数

齿轮类型	设计目标	
	以体积最小为目标	以传递功率最大为目标
直齿锥齿轮	$\min F(X) = \frac{\pi}{3} b \left\{ \cos \delta_1 \left[ \left( \frac{m z_1}{2} \right)^2 + \left( \frac{m z_1 R - b}{2 R} \right)^2 \right] + \frac{m z_1}{2} \left( \frac{m z_1 R - b}{2 R} \right) \right\} + \cos \delta_2 \left[ \left( \frac{m z_2}{2} \right)^2 + \left( \frac{m z_2 R - b}{2 R} \right)^2 + \frac{m z_2}{2} \left( \frac{m z_2 R - b}{2 R} \right) \right] \times 10^{-4}$	$\min F(X) = -\min(P_{H1}, P_{F1})$ $i = 1, 2$
弧齿锥齿轮和零度锥齿轮	$\min F(X) = 0.78539 \left( \frac{R_m}{R_c} \right)^2 (d_{a1}^2 + d_{a2}^2) b / \cos(0.5\beta_m)$	$\min F(X) = -\min(P_{H1}, P_{F1})$ $i = 1, 2$
双曲面齿轮	$\min F(X) = \left[ b_1 d_1^2 \cos \delta_1 \left( 3 + \frac{4b \sin^2 \delta_1}{d_1^2} - \frac{6b \sin \delta_1}{d_1^2} \right) + b_2 d_2^2 \cos \delta_2 \left( 3 + \frac{4b \sin^2 \delta_2}{d_2^2} - \frac{6b \sin \delta_2}{d_2^2} \right) \right] \times \frac{\pi}{12}$	$\min F(X) = -\min(P_{H1}, P_{F1})$ $i = 1, 2$
说 明	$d_{a1}, d_{a2}$ ——小、大齿轮的顶圆直径 mm; $\delta_1, \delta_2$ ——直齿锥齿轮的节锥角; $\delta_1, \delta_2$ ——弧齿锥齿轮的节锥角; $R$ ——直齿锥齿轮锥距 mm; $R_m, R_c$ ——弧齿锥齿轮齿宽中点和大端锥距 mm; $P_{H1}, P_{F1}$ ——接触强度和弯曲强度许用功率 kW	

(4) 约束条件

1) 直齿锥齿轮优化设计约束条件

齿数限制

$$g(X) = 13/z_1 - 1 \leq 0$$

$$g(X) = z_1/36 - 1 \leq 0$$

当量齿轮齿数和限制

$$g(X) = 34/[z_1/\cos\delta_1 + z_2/\cos\delta_2] - 1 \leq 0$$

齿宽系数限制

$$g(X) = 1 - 4\Phi_R \leq 0$$

$$g(X) = 3\Phi_R - 1 \leq 0$$

模数限制

$$g(X) = 1 - 0.67m(1 - 0.5\Phi_R) \leq 0$$

强度条件限制

$$g(X) = \sigma_H/\sigma_{HPi} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

$$g(X) = \sigma_{Ft}/\sigma_{FPi} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

2) 弧线齿和零度齿锥齿轮优化设计的约束条件

最少齿数限制

$$g(X) = z_{min}/z_1 - 1 \leq 0$$

式中  $z_{min} = \begin{cases} 11 & \text{一般工业和航空工业用弧线锥齿轮} \\ 5 & \text{汽车和拖拉机用弧线齿锥齿轮} \\ 12 & \text{零度齿锥齿轮} \end{cases}$

大、小轮齿数和限制

$$g(X) = 39/(z_1 + z_2) \leq 0$$

大端模数限制

$$g(X) = 1.5/m_e - 1 \leq 0$$

中点螺旋角限制

$$g(X) = \beta_{min}/\beta_m - 1 \leq 0$$

$$g(X) = \beta_m/\beta_{max} - 1 \leq 0$$

式中

$\beta_{min} \sim \beta_{max} = \begin{cases} 25 \sim 38^\circ & \text{一般工业用弧线齿锥齿轮} \\ 30 \sim 40^\circ & \text{汽车、拖拉机用弧线齿锥} \\ & \text{齿轮} \\ 30 \sim 38^\circ & \text{航空工业用弧线齿锥齿轮} \\ 0 \sim 10^\circ & \text{零度齿锥齿轮} \end{cases}$

齿宽限制

$$g(X) = b_{min}/b - 1 \leq 0$$

$$g(X) = b/b_{max} - 1 \leq 0$$

式中

$b_{min} \sim b_{max} = \begin{cases} (0.24 \sim 0.32)R_e & \text{弧线齿锥齿轮} \\ 3.5m_e \sim 0.26R_e & \text{零度齿锥齿轮} \end{cases}$

纵向重合度限制

$$g(X) = \epsilon_{pmin}/\epsilon_p - 1 \leq 0$$

式中  $\epsilon_{pmin} = \begin{cases} 1.2 & \beta_m \geq 35^\circ \\ 0.9 & \beta_m = 30^\circ \sim 35^\circ \\ 0 & \beta_m < 30^\circ \end{cases}$

强度条件限制

$$g(X) = \sigma_H/\sigma_{HPi} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

$$g(X) = \sigma_{Ft}/\sigma_{FPi} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

3) 圆弧齿准双曲面锥齿轮优化设计的约束条件

齿宽限制

$$g(X) = 0.13d_2/b_2 - 1 \leq 0$$

$$g(X) = b_2/10m_n - 1 \leq 0$$

小轮齿数限制

$$g(X) = z_{min}/z_1 - 1 \leq 0$$

$$g(X) = z_1/z_{max} - 1 \leq 0$$

式中  $z_{max} = 20, z_{min}$  见表 32-7。

表 32-7 准双曲面齿轮小轮的最少齿数

传动比 $u$	2	2.5	3	4	5	6~8
最小齿数 $z_{min}$	17	15	13	8	7	6

大轮齿数限制

$$g(X) = 30/uz_1 - 1 \leq 0$$

$$g(X) = uz_1/60 - 1 \leq 0$$

齿数和限制

$$g(X) = 40/[z_1(1+u)] - 1 \leq 0$$

强度条件限制

$$g(X) = \sigma_H/\sigma_{HPi} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

$$g(X) = \sigma_{Ft}/\sigma_{FPi} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2$$

当以传动功率最大为设计目标时,还应满足大轮顶圆变动量限制。

$$g(X) = |(d_{a20} - d_{a2})/\Delta d| - 1 \leq 0$$

式中  $d_{a20}$ ——给定的大轮大端顶圆直径, mm

$\Delta d$ ——给定的大轮大端顶圆允许变动范围, mm

以上各式中的  $\sigma_H, \sigma_{Ft}, \sigma_{HPi}, \sigma_{FPi}$  按表 32-4 所示公式计算。

锥齿轮传动优化设计数学模型的建立过程可参考 4.1.1 中圆柱齿轮传动优化设计实例。

4.2 圆柱螺旋弹簧优化设计的数学模型

4.2.1 圆柱螺旋弹簧的主要计算公式

(1) 几何尺寸计算 各种螺旋弹簧的几何尺寸计算公式见表 32-8。

(2) 圆柱螺旋弹簧的基本计算和验算公式

根据 GB1239—78 和 GB1358—78, 圆截面圆柱拉、压、扭螺旋弹簧的基本计算公式如表 32-9 所示, 验算公式如表 32-10 所示。



表 32-8 圆柱螺旋弹簧几何尺寸计算公式

弹簧种类	压 簧		拉 簧	扭 簧
弹簧钢丝直径 $d$ mm	$d$		$d$	$d$
弹簧中径 $D_2$ mm	$D_2 = D - d$		$D_2 = D - d$	$D_2 = D - d$
弹簧内径 $D_1$ mm	$D_1 = D_2 - d$		$D_1 = D_2 - d$	$D_1 = D_2 - d$
弹簧外径 $D$ mm	$D = D_2 + d$		$D = D_2 + d$	$D = D_2 + d$
旋绕比 $C$	$C = D_2/d = 4 \sim 14$		$C = D_2/d = 4 \sim 14$	$C = D_2/d = 4 \sim 14$
工作圈数 $n$	$n \geq 2$		$n \geq 2$	$n \geq (\Phi_1/123.1)^4$
支承圈数 $n_2$	冷卷	$n_2 = 2 \sim 2.5$		
	Y <sub>1</sub> 型热卷	$n_2 = 1.5 \sim 2$		
总圈数 $n_1$	$n_1 = n + n_2$		$n_1 = n$	$n_1 = n$
自由高度 $H_0$	两端磨平 $H_0 = \begin{cases} np + d & n_2 = 1.5 \\ np + 1.5d & n_2 = 2 \\ np + 2d & n_2 = 2.5 \end{cases}$ 两端不磨平 $H_0 = \begin{cases} np + 3d & n_2 = 2 \\ np + 3.5d & n_2 = 2.5 \end{cases}$		$H_0 = \begin{cases} (n+1)d + D_1 & \text{半圆吊钩} \\ (n+1)d + 2D_1 & \text{圆环吊钩} \\ (n+1.5)d + 2D_1 & \text{圆钩环压中心} \end{cases}$	
	压并高度 $H_b$ mm	$H_b = \begin{cases} (n_1 - 0.5)d \text{ 并紧磨平} \\ (n_1 + 1)d \text{ 并紧不磨平} \end{cases}$		—
工作余隙 $\delta_1$ mm	$\delta_1 \geq 0.1d$			
各圈间的间隙 $\delta$ mm	—			$\delta = 0.5 \text{ mm}$ 或 $\delta = 0$
节 距 $p$ mm	$p = d + \frac{f_{\text{min}}}{n} = (0.28 \sim 0.5)D_2$		$p = d$	$p = d + \delta$
螺旋角 $\gamma$ ( $^\circ$ )	$\gamma = \arctan\left(\frac{p}{\pi D_2}\right)$		$\gamma = \arctan\left(\frac{p}{\pi D_2}\right)$	$\gamma = \arctan\left(\frac{p}{\pi D_2}\right)$
高径比 $b$	$b = H_0/D_2$		—	—
簧丝展开长度 $L$ mm	$L = \frac{\pi D_2 n_1}{\cos \gamma}$		$L = \frac{\pi D_2 n_1}{\cos \gamma} + \text{钩环展开长度}$	$L = \frac{\pi D_2 n_1}{\cos \gamma} + \text{挂钩展开长度}$

表 32-9 圆截面圆柱拉、压、扭螺旋弹簧的基本计算公式

弹簧类型	压 簧	拉 簧	扭 簧
变 形	$f = \frac{8D_2^3 n}{Gd^4} F$	$f = \frac{8D_2^3 n}{Gd^4} F$	$\Phi = 3670 \frac{\pi D_2 T}{Ed^4}$
拉压弹簧: mm	$= \frac{8C^4 n}{GD_2} F$	$= \frac{8C^4 n}{GD_2} F$	$= 360 \frac{\pi D_2}{K_1 Ed} \sigma$
扭 簧: $\Phi$ ( $^\circ$ )			
应 力	$\tau = K \frac{8D_2}{\pi d^3} F$	$\tau = K \frac{8D_2}{\pi d^3} F$	$\sigma = K_1 \frac{10.2T}{d^3}$
拉压弹簧: $\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$= K \frac{8C}{\pi d^3} F$	$= K \frac{8C}{\pi d^3} F$	$= K_1 \frac{Ed\Phi}{360\pi D_2}$
扭 簧: $\sigma$ N/mm <sup>2</sup>			
刚 度	$k = \frac{Gd^4}{8D_2^3 n}$	$k = \frac{Gd^4}{8D_2^3 n}$	$k = \frac{Ed^4}{3670\pi D_2}$
拉压弹簧: $k$ N/mm <sup>2</sup>	$= \frac{GD_2}{8C^4 n}$	$= \frac{GD_2}{8C^4 n}$	$= \frac{Ed^3}{3670\pi C}$
扭 簧: $k$ N·mm/( $^\circ$ )			
工作圈数: $n$ 圈	$n = \frac{Gd^4 f}{8D_2^3 F} = \frac{KGf}{\pi d C^2 \tau}$	$n = \frac{Gd^4 f}{8D_2^3 F} = \frac{KGf}{\pi d C^2 \tau}$	$n = \frac{Ed^4 \Phi}{3670 D_2 T} = \frac{Ed^3}{3670 C k}$

表 32-10 圆截面圆柱拉、压、扭螺旋弹簧的主要验算公式

弹簧类型	压 簧	拉 簧	扭 簧
疲劳强度安全系数验算 $S \geq S_p$	$S = \frac{\tau_0 + 0.75\tau_1}{\tau_2}$ $\tau_0$ : 脉动疲劳极限 $N/mm^2$	$S = \frac{\tau_0 + 0.75\tau_1}{\tau_2}$ $\tau_0$ : 脉动疲劳极限 $N/mm^2$	—
静强度系数验算 $S \geq S_0$	$S = \frac{\tau_s}{\tau_2}$	$S = \frac{\tau_s}{\tau_2}$	—
稳定性验算	$b = \frac{H_0}{D_2} \leq b_m$ , 否则: $F_2 \leq F_e =$ $0.813kH_0 \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{6.85}{\mu_0^2} \left( \frac{D_2}{H_0} \right)^2} \right]$	—	$n \geq \left( \frac{\phi}{123.1} \right)^4$
共振验算	阀门类弹簧 $f_r/f_n \leq 0.08 \sim 0.1$	$f_r/f_n \leq 0.08 \sim 0.1$	—
	减振弹簧 $f_r/f_n \geq 2$	$f_r/f_n \geq 2$	—
最小内径验算 $D'_1$ mm	—	—	$D'_1 = D_2 - \frac{n}{n + \frac{\phi_{lm}}{360}} d$
说 明	$\tau_1 = \frac{8KD_2}{\pi d^3} F_1$ , $\tau_2 = \frac{8KD_2}{\pi d^3} F_2$ , $f_n = \begin{cases} 1.78 \times 10^5 \frac{d}{nD_2^2} & \text{一端固定, 一端转动的钢制弹簧} \\ 3.55 \times 10^5 \frac{d}{nD_2^2} & \text{一端固定的钢制弹簧} \\ \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_0 + \frac{1}{3}m}} & \text{端部联接其它零件的弹簧} \end{cases}$		

表 32-8~表 32-10 有关符号的说明:

$f$ ——拉伸(或压缩)弹簧的变形量 mm;  $F$ ——弹簧所承受载荷 N;  $T$ ——扭矩  $N \cdot mm$ ;  $k$ ——弹簧刚度  $N/mm$  (扭转刚度为  $N \cdot mm/(\circ)$ );  $\tau$ ——剪应力  $N/mm^2$ ;  $\sigma$ ——正应力  $N/mm^2$ ;  $G$ ——剪切弹性模量  $N/mm^2$ ;  $E$ ——弹性模量  $N/mm^2$ ;  $K$ ——拉、压弹簧的曲度系数:

$$K = \begin{cases} 1 + \frac{1}{2C} & \text{载荷作用次数小于 } 10^3 \text{ 次时} \\ \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} & \text{载荷作用次数大于 } 10^3 \text{ 次时} \end{cases}$$

$K_1$ ——扭簧的曲度系数:  $K_1 = \frac{4C-1}{4C-4}$

$\phi$ ——扭簧的扭转变形, 若弹簧的圈数较少, 或臂长大于一圈的长度时,  $\phi = \frac{3670(\pi D_2 n + \frac{1}{3}(L_1 + L_2))T}{\pi E d^4}$  (°)

$L_1, L_2$ ——扭转臂长 mm;  $\tau_s$ ——剪切屈服限  $N/mm^2$ ;  $\mu_0$ ——弹簧端部系数:

$$\mu_0 = \begin{cases} 1 & \text{弹簧一端固定, 一端可移动} \\ 0.7 & \text{弹簧一端固定, 一端铰支} \\ 0.5 & \text{弹簧两端固定} \end{cases}$$

$H_0$ ——弹簧自由高度 mm;  $b$ ——高径比;  $b_m$ ——许用高径比:

$$b_m = \begin{cases} 5.3 & \text{弹簧两端固定} \\ 3.7 & \text{弹簧一端固定, 一端回转} \\ 2.6 & \text{弹簧两端回转} \end{cases}$$

$F_e$ ——弹簧失稳临界载荷 N;  $F_1$ ——最小工作载荷 N;  $F_2$ ——最大工作载荷 N;  $f_r$ ——变载荷变化频率 Hz;  $f_n$ ——弹簧的固有频率 Hz;  $\phi_{lm}$ ——工作极限扭矩  $T_{lm}$  作用下的扭转角(°)。

超星浏览器提醒 1249  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

4.2.2 圆柱螺旋弹簧优化设计的数学模型

(1) 设计变量 拉、压、扭转圆柱螺旋弹簧优化设计的设计变量均为：

$$X = [d, D_2, n]^T = [x_1, x_2, x_3]^T$$

(3) 目标函数 拉、压、扭转圆柱螺旋弹簧以重量最轻为目标的优化设计目标函数为：

圆柱拉、压弹簧 
$$\min F(X) = \rho(n+n_2) \frac{\pi^2 D_2 d^2}{4}$$

圆柱扭转弹簧

$$\min F(X) = \rho(nD_2 + L_1 + L_2) \frac{\pi d^2}{4}$$

式中  $\rho$ ——簧丝材料的密度  $\text{kg/mm}^3$ 。

(3) 约束条件 拉、压、扭转圆柱螺旋弹簧优化设计的约束条件如表 32-11 所示，其中各式中符号的意义与表 32-8~32-10 相同。

表 32-11 拉、压、扭圆柱螺旋弹簧优化设计的约束函数

约束项目	弹簧种类	压 弹	拉 簧	扭 簧
旋绕比的限制 $4 \leq C \leq 14$			$g(X) = 4/C - 1 \leq 0$ $g(X) = C/14 - 1 \leq 0$	
弹簧外径限制 $D_2 + d \leq D_F$		$g(X) = (D_2 + d)/D_F - 1 \leq 0$ ( $D_F$ 为允许的最大外径)		
弹簧刚度限制 $\left  \frac{k - k_0}{k_0} \right  \leq \Delta$		$g(X) = \left  \frac{k - k_0}{k_0} \right  / \Delta - 1 \leq 0$ ( $k, k_0$ 分别为实际和要求的刚度, $\Delta$ 为允许的刚度相对变化量)		
弹簧疲劳强度限制 (受变载荷的弹簧) $S \geq S_F$		$g(X) = S_F/S - 1 \leq 0$		—
受变载荷弹簧的共振条件限制		$g(X) = 2f_n/f_r - 1 \leq 0$ (减振弹簧) $g(X) = 10f_r/f_n - 1 \leq 0$ (汽门类弹簧)		—
弹簧强度条件限制		$g(X) = \tau/\tau_F - 1 \leq 0$	$g(X) = \tau/(0.8\tau_F) - 1 \leq 0$	$g(X) = \sigma/\sigma_F - 1 \leq 0$
弹簧的节距限制 $p \geq d + \frac{1.2f}{n}$		$g(X) = (d + \frac{1.2f}{n})/p - 1 \leq 0$ ( $f$ 为总变形量)	—	—
稳定性限制 ( $\frac{H_0}{D_2} \geq \frac{2.62}{\mu_0}$ 时)		$g(X) = F_2/F_s - 1 \leq 0$	—	$g(X) = \left( \frac{\Phi}{123.1} \right)^4 / n - 1 \leq 0$
弹簧内径限制 $D_{1\min} \geq D_0$		—	—	$g(X) = D_0/D_{1\min} - 1 \leq 0$ ( $D_0$ 为芯轴直径)

4.2.3 圆柱螺旋弹簧优化设计实例

例 32-2 试以重量最轻为目标，设计一汽门弹簧，已知：安装高度  $H_1 = 50.8 \text{ mm}$ ，安装(初始)载荷  $F_1 = 267 \text{ N}$ ，最大工作载荷  $F_2 = 666 \text{ N}$ ，弹簧的工作频率  $f_1 = 25 \text{ Hz}$ ，工作行程  $h = 10.16 \text{ mm}$ ，簧丝选用 50CrVA，油淬并喷丸强化处理，工作温度为  $126^\circ\text{C}$ ，要求弹簧中径  $20 \leq D_2 \leq 50 \text{ mm}$ ，总圈数  $4 \leq n_1 \leq 50$ ，支承圈数  $n_2 = 2$  圈，旋绕比  $C \geq 6$ ，安全系数  $S_F = 1.3$ ，要求弹簧刚度相对误差小于 1%。

解 (1) 有关参数的计算 由表 25-6(I) 查得 50CrVA 的强度极限为  $\sigma_b = 1471 \text{ N/mm}^2$ ，由表

25-12 求得喷丸强化后簧丝丝的脉动疲劳极限为

$$\begin{aligned} \tau_0 &= 1.2 \times 0.3\sigma_b \\ &= 0.36 \times 1471 = 530 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

要求弹簧刚度  $k_0 = (F_2 - F_1)/h = (666 - 267)/10.16 = 39.27 \text{ N/mm}$

弹簧最大变形量  $f_2 = F_2/k_0 = 666/39.27 = 16.958 \text{ mm}$

(2) 设计变量 取簧丝直径  $d$ 、中径  $D_2$  和工作圈数  $n$  为设计变量，并作为连续变量处理，最终圆整，则： $X = [x_1, x_2, x_3]^T = [d, D_2, n]^T$ 。

(3) 目标函数 簧丝的质量  $W = \frac{\pi^2}{4} d^2 D_2 (n +$

超星浏览器提醒您：  
禁止复制或传播！

2)  $\rho$ , 式中钢的密度  $\rho = 7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ , 则目标函数为:  $F(X) = 1.925 \times 10^{-5} x_1^2 x_2 (x_3 + 2) \text{ kg}$

(4) 约束条件

中径限制  $20 \leq D_2 \leq 50$

$$g_1(X) = 20/x_2 - 1 \leq 0$$

$$g_2(X) = x_2/50 - 1 \leq 0$$

总圈数限制  $4 \leq n_1 \leq 50$

$$g_3(X) = 4/(x_3 + 2) - 1 \leq 0$$

$$g_4(X) = (x_3 + 2)/50 - 1 \leq 0$$

疲劳强度条件限制  $S \geq 1.3$

$$g_5(X) = 1.3/S - 1 \leq 0$$

式中  $S = (\tau_0 + 0.75\tau_1)/\tau_2$

$$\tau_1 = 8KD_2F_1/\pi d^3 = 680Kx_2/x_1^3$$

$$\tau_2 = 8KD_2F_2/\pi d^3 = 1696Kx_2/x_1^3$$

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

$$= \frac{4(x_2/x_1)-1}{4(x_2/x_1)-4} + \frac{0.615}{(x_2/x_1)}$$

旋绕比限制  $C \geq 6$

$$g_6(X) = 6x_1/x_2 - 1 \leq 0$$

稳定性限制  $F_2 \leq F_c$

$$g_7(X) = F_2/F_c - 1 \leq 0$$

式中临界载荷

$$F_c = 0.813kH_0 \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{6.85}{\mu_0^2} \left( \frac{D_2}{H_0} \right)^2} \right]$$

弹簧自由高度  $H_0 = H_1 + F_1/k_0$

$$= 50.8 + \frac{267}{39.27}$$

$$= 57.79 \text{ mm}$$

由表 25-7 查得温度修正系数  $k_t = 0.973$ , 材料剪切弹性模量  $G = 78.5 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ , 高温条件下的剪切弹性模量  $G_s = k_t G = 0.973 \times 78.5 \times 10^3 = 7.63805 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ , 弹簧刚度为:

$$k = \frac{G_s d^4}{8D_2^3 n} = \frac{7.63805 \times 10^4 x_1^4}{x_2^3 x_3} = \frac{9547.6 x_1^4}{x_2^3 x_3}$$

按一端固定, 一端铰支, 取端部系数  $\mu_0 = 0.7$ , 得:

$$F_c = 4.47 \times 10^5 \frac{x_1^4}{x_2^3 x_3} \left[ 1 - \sqrt{1 - 0.0042 x_2^2} \right]$$

当  $H_0/D_2 < 3.7$  时,  $F_c = 2F_s = 1332 \text{ N}$

共振条件限制 汽门类弹簧  $f_r/f_n \leq 0.1$

$$g_8(X) = 10f_r/f_n - 1 \leq 0$$

式中 弹簧的固有频率为:

$$f_n = 3.56 \times 10^5 \frac{d}{D_2^3 n} = 3.56 \times 10^5 \frac{x_1}{x_2^3 x_3}$$

弹簧工作频率  $f_r = 20 \text{ Hz}$

最大工作载荷作用时不出现并圈现象  $H_2 \geq H_0$

$$H_2 = H_1 - h = 50.8 - 10.16 = 40.64 \text{ mm}$$

$$H_0 = (n_1 - 0.5)d = (n + 2 - 0.5)d$$

$$= (x_3 + 1.5)x_1$$

$$g_9(X) = (x_3 + 1.5)x_1/40.64 - 1 \leq 0$$

弹簧刚度  $k$  与要求弹簧刚度  $k_0$  的相对误差限制

制

$$|(k - k_0)/k_0| \leq 0.01$$

$$|k/k_0 - 1| = \left| \frac{243.127x_1^4}{x_2^3 x_3} - 1 \right| \leq 0.01$$

$$g_{10}(X) = \left| \frac{2.43127 \times 10^4 x_1^4}{x_2^3 x_3} - 100 \right| - 1 \leq 0$$

(5) 计算结果 本例为具有 10 个约束的 3 维非线性优化问题, 利用内点法构造罚函数为

$$\Phi(X, r^{(k)}) = F(X) - r^{(k)} \sum_{i=1}^{10} \frac{1}{g_i(X)}$$

选取初始点  $X^{(0)} = [5, 30, 4]^T$ , 初始罚因子  $r^{(0)} = 5$ , 罚因子递减系数  $C = 0.1$ , 利用无约束优化的 powell 共轭方向法进行优化, 求得最优解为:

$$X^* = [x_1^*, x_2^*, x_3^*]$$

$$= [4.9029, 33.2135, 3.7964]^T$$

$$F(X^*) = 0.08908 \text{ kg}$$

经圆整后得到一个可行的设计方案如下, 供设计时参考。

簧丝直径:  $d = 5 \text{ mm}$

弹簧中径:  $D_2 = 32 \text{ mm}$

总圈数:  $n_1 = 6.22 \text{ 圈}$

自由高度:  $H_0 = 57.59 \text{ mm}$

弹簧重量:  $W = 0.0987 \text{ kg}$

### 4.3 径向液体动压润滑轴承优化设计的数学模型

#### 4.3.1 径向动压润滑轴承的几何参数和性能计算

(1) 径向动压润滑轴承的几何参数 径向动压润滑轴的几何参数如图 32-15 所示。

图中  $O$ ——轴瓦中心;

$O_1$ ——轴径中心;

$e$ ——偏心距  $m$ ;

$R$ ——轴瓦半径,  $D = 2R$ , 轴瓦直径  $m$ ;

$r$ ——轴径半径,  $d = 2r$ , 轴径直径  $m$ ;

$c$ ——半径间隙,  $c = R - r \text{ m}$ ;

$\phi$ ——相对间隙,  $\phi = c/r$ ;

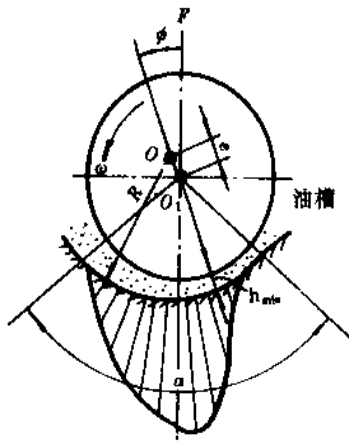


图 32-15 径向动压润滑轴承原理图

- $\epsilon$  — 偏心率,  $\epsilon = e/c$ ;
- $B$  — 轴承宽度  $m$ ;
- $\omega$  — 轴的角速度  $rad/s$ ;
- $\phi$  — 连心线与载荷作用线的夹角;
- $h_{min}$  — 最小油膜厚度;
- $h_{min} = c - e = c(1 - \epsilon) \quad m$
- $F$  — 轴承载荷  $N$ ;
- $\alpha$  — 包角 ( $^\circ$ )。

(2) 轴承的主要性能计算

径向液体动压润滑轴承的主要性能有: 轴承功耗  $P$ 、供油量  $Q$ 、温升  $\Delta t$ 、最小油膜厚度  $h_{min}$ 。

1) 承载量系数  $\Phi$

$$\Phi = \frac{\psi^2 F}{\eta \omega \left(\frac{B}{d}\right) d^2} = \Phi(\epsilon, \frac{B}{d}, \alpha)$$

- 式中  $\Phi(\epsilon, \frac{B}{d}, \alpha)$  — 承载量系数, 见图 21-4~6。
- $\eta$  — 平均温度下油的动力粘度  $N \cdot s/m^2$ , 温度为  $t^\circ C$  时油的动力粘度  $\eta = \rho_t \nu_t \times 10^{-5}$ ;
- $\rho_t$  —  $t^\circ C$  时油的密度  $kg/m^3$ ;
- $\nu_t$  —  $t^\circ C$  时油的运动粘度  $mm^2/s$ 。

常用润滑油的运动粘度  $\nu_t$  和温度  $t$  的关系如下:

- 机械油 N15  $\nu_t = \exp[4.632 \times \exp(-0.01481 \times t)]$
- 机械油 N32  $\nu_t = \exp[5.58 \times \exp(-0.01249 \times t)]$
- 机械油 N46  $\nu_t = \exp[6.25 \times \exp(-0.01223 \times t)]$
- 机械油 N68  $\nu_t = \exp[6.698 \times \exp(-0.01178 \times t)]$
- 机械油 N100  $\nu_t = \exp[7.556 \times \exp(-0.01203 \times t)]$

当  $\epsilon, \frac{B}{d}$  一定时, 相对间隙

$$\psi = \sqrt{\frac{\Phi \eta \omega \left(\frac{B}{d}\right) d^2}{F}}$$

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

2) 轴承功耗  $P$

$$P = \left[\frac{f}{\psi} + \frac{f'}{\psi}\right] \phi F v \quad W$$

式中  $\frac{f}{\psi}$  — 承载区摩擦数, 见图 21-4~6;

$\frac{f'}{\psi}$  — 非承载区摩擦数,  $\frac{f'}{\psi} = \xi \frac{\pi}{2\phi}$ ;

$$\text{修正系数 } \xi = \begin{cases} 0.75 & \alpha = 120^\circ \\ 1 & \alpha = 180^\circ \\ 0.36\epsilon + 0.588 & \alpha = 360^\circ \end{cases}$$

$v$  — 轴颈表面线速度  $m/s$ 。

3) 流量  $Q$

$$Q = (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3}) \psi v \left(\frac{B}{d}\right) d^2$$

式中  $\Phi_{Q1}$  — 承载区流量系数, 见图 21-8~10;

$\Phi_{Q2}$  — 非承载区流量系数;

$$\Phi_{Q2} = \zeta \Phi \left(\frac{d}{B}\right)^2 \frac{p_s}{p} = \frac{\zeta \Phi p_s d^2}{\left(\frac{B}{d}\right) F}$$

$p_s$  — 供油压力,  $Pa$ ;

$\zeta$  — 修正系数, 见图 21-12;

$\Phi_{Q3}$  — 轴向供油槽端泄流量系数;

$$\begin{aligned} \Phi_{Q3} &= \theta \Phi \left(\frac{d}{B}\right)^2 K \left(\frac{B}{a} - 2\right) \frac{p_s}{p} \\ &= \theta \Phi K \left(\frac{1}{a} \frac{B}{d} - \frac{2}{d}\right) \frac{p_s d^2}{\left(\frac{B}{d}\right) F} \end{aligned}$$

$K, a$  — 供油槽尺寸, 见图 21-11;

$$K = (0.2 \sim 0.25)d, a = 0.05d$$

$\theta$  — 修正系数, 见图 21-12。

4) 轴承温升  $\Delta t$

压力供油时轴承温升:

$$\Delta t = \frac{\left[\frac{f}{\psi} + \frac{f'}{\psi}\right] F}{C \left(\frac{B}{d}\right) d^2 (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3})} \quad ^\circ C$$

非压力供油时轴承温升:

$$\Delta t = \frac{\left[\frac{f}{\psi} + \frac{f'}{\psi}\right] F}{\left[C \Phi_{Q1} + \frac{\pi K_s}{\psi v}\right] \left(\frac{B}{d}\right) d^2} \quad ^\circ C$$

式中  $C$  — 润滑油单位容积的热容量  $J/m^3 \cdot ^\circ C$ ;

一般可取  $C = 1.72 \times 10^6 J/m^3 \cdot ^\circ C$ ;

$K_s$  — 散热系数  $J/m^2 \cdot s \cdot ^\circ C$ ;

轻型轴承, 不易散热环境工作  $K_s = 50$

中型轴承, 普通通风条件  $K_s = 80$

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
相关知识产权！

重型轴承,良好通风条件  $K_s=140$

5) 最小油膜厚度

$$h_{\min} = r\psi(1 - \epsilon) \quad \text{m}$$

4.3.2 径向液体动压润滑圆柱轴承优化设计的数学模型

(1) 设计变量 当包角  $\alpha$  一定时,单油楔液体动压润滑圆柱轴承的设计变量为:偏心率  $\epsilon$  和宽径比  $B/d$ ,即:

$$X = [x_1, x_2]^T = [\epsilon, B/d]^T$$

(2) 目标函数 液体动压润滑轴承优化设计的目标函数有如下几种:

摩擦功耗  $P$  最小:  $\min F(X) = P$

轴承温升  $\Delta t$  最小:  $\min F(X) = \Delta t$

供油量  $Q$  最小:  $\min F(X) = Q$

功耗  $P$  和温升  $\Delta t$  最小:

$$\min F(X) = W_1 P + W_2 \Delta t$$

功耗  $P$  和供油量  $Q$  最小:

$$\min F(X) = W_1 P + W_2 Q$$

3) 约束条件

a. 边界约束

宽径比限制

$$g(X) = (B/d)_{\min} / (B/d) - 1 \leq 0$$

$$g(X) = (B/d) / (B/d)_{\max} - 1 \leq 0$$

偏心率限制

$$g(X) = \epsilon_{\min} / \epsilon - 1 \leq 0$$

$$g(X) = \epsilon / \epsilon_{\max} - 1 \leq 0$$

b. 性能约束

平均压强限制

$$g(X) = p / (\bar{p}) - 1 \leq 0$$

式中  $\bar{p} = \frac{F}{(B/d)d^2} \quad \text{N/m}^2$

温升限制

$$g(X) = \Delta t / (\Delta t) - 1 \leq 0$$

最小油膜厚度限制

$$g(X) = [h_{\min}] / h_{\min} - 1 \leq 0$$

相对间隙限制

$$g(X) = \psi_{\min} / \psi - 1 \leq 0$$

$$g(X) = \psi / \psi_{\max} - 1 \leq 0$$

功耗限制

$$g(X) = P / (P) - 1 \leq 0$$

流量限制

$$g(X) = Q / (Q) - 1 \leq 0$$

以上各式中:

$[\Delta t]$ ——许用温升,  $\Delta t \leq 30^\circ\text{C}$ ;

$[h_{\min}]$ ——许用最小油膜厚度, 见式 21-15;

$[P]$ ——许用功耗  $W$ ;

$[Q]$ ——许用流量  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

宽径比  $B/d$ , 平均压强  $\bar{p}$  和相对间隙  $\psi$  的取值范围见本手册第 21 章的推荐值。

4) 有关参数的计算

当轴承的包角  $\alpha$  一定时, 径向液体动压润滑轴承的有关参数多为偏心率  $\epsilon$  和宽径比  $B/d$  的函数。进行优化设计时, 需对第 21 章所给出的有关曲线做数据化处理, 并用插值法进行计算。

a. 一元插值

如图 21-12 所示, 修正系数  $\zeta$  和  $\theta$  均可表示为  $\epsilon$  的函数  $y = f(\epsilon)$ , 对曲线进行离散化处理, 得到对应的离散值  $\epsilon_i, y_i (i = 1, \dots, n)$ , 利用一元三点插值法可求得对应于任意  $\epsilon$  的  $y$  值, 当取  $K, K+1, K+2$  三点作为插值节点时,

$$y = \sum_{j=K}^{K+2} y_j \left( \prod_{\substack{i=K \\ i \neq j}}^{K+2} \frac{\epsilon - \epsilon_i}{\epsilon_j - \epsilon_i} \right)$$

为使三个节点靠近插值点,  $K$  按下述方法选取

$$K = \begin{cases} 1 & \text{当 } \epsilon \leq \epsilon_2 \\ S & \text{当 } \epsilon_3 < \epsilon < \epsilon_{S+1} \quad \epsilon - \epsilon_S \geq \epsilon_{S+1} - \epsilon \\ S-1 & \text{当 } \epsilon_3 < \epsilon < \epsilon_{S+1} \quad \epsilon - \epsilon_S < \epsilon_{S+1} - \epsilon \\ n-2 & \text{当 } \epsilon \geq \epsilon_{n-1} \end{cases}$$

b. 二元插值

如图 21-4~6 和图 21-8~10 所示,  $\alpha$  一定时, 承载系数  $\phi$ , 摩擦数  $\frac{f}{\psi}$  和承载区流量系数  $\phi_{Q1}$  均可表示为偏心率  $\epsilon$  和宽径比  $\frac{B}{d}$  的函数  $y = f(\epsilon, B/d)$ , 对曲线离散化处理, 求得对应于  $\epsilon_i (i = 1, \dots, n)$  和  $(B/d)_j (j = 1, \dots, m)$  的  $y(j, i)$  值, 利用二元三点插值公式计算得到对应  $\epsilon, B/d$  的  $y$  值, 当取对应于  $B/d$  的插值节点为  $L, L+1, L+2, j$  对应于  $\epsilon$  的插值节点为  $K, K+1, K+2$  时,

$$y = \sum_{U=L}^{L+2} \sum_{P=K}^{K+2} \left( \prod_{\substack{i=K \\ i \neq P}}^{K+2} \frac{\epsilon - \epsilon_i}{\epsilon_P - \epsilon_i} \right) \times \left( \prod_{\substack{j=L \\ j \neq U}}^{L+2} \frac{(B/d) - (B/d)_j}{(B/d)_U - (B/d)_j} \right) y(U, P)$$

式中  $K, L$  的取值方法同一元三点插值。

4.3.3 径向液体动压润滑轴承优化设计实例

例 32-3 试以功耗最小为目标设计一汽轮机



转子的单油楔液体动压润滑圆柱轴承。已知：  
 $d=0.3\text{m}$ ；载荷  $F=6500\text{N}$ ； $n=3000\text{r/min}$  ( $\omega=314\text{rad/s}$ )，轴承为自位调心式，在水平面两侧压力供油， $p_s=1\times 10^5\text{Pa}$ ；进油温度控制在  $40^\circ\text{C}$  左右，许用功耗  $[P]=35\text{kW}$ ，许用流量  $[Q]=0.0012\text{m}^3/\text{s}$ ，许用温升  $(\Delta t)=30^\circ\text{C}$ 。

解 1. 设计变量

$$X = (\epsilon, B/d)^T = (x_1, x_2)^T$$

2. 目标函数

$$F(X) = P = \left[ \frac{f}{\psi} + \xi \frac{\pi}{2\Phi} \right] \psi F v$$

$$\alpha = 180^\circ \text{时} \quad \xi = 1$$

$$F(X) = \left[ \frac{f}{\psi} + \frac{\pi}{2\Phi} \right] \psi \times 65000 \times \frac{0.3}{2} \times 314$$

$$= 3.061 \times 10^6 \left[ \frac{f}{\psi} + \frac{\pi}{2\Phi} \right] \psi \quad W$$

式中  $\frac{f}{\psi}$  和  $\Phi$  由图 21-5 插值求得

选用机械油 N32，平均温度  $t_m=50^\circ\text{C}$  时油的运动粘度为：

$$\nu_{50} = \exp(5.58 \times \exp(-0.01249 \times 50))$$

$$= 19.85 \text{ mm}^2/\text{s}$$

$$\text{油的密度 } \rho_{50} = 880 \text{ kg/m}^3$$

$$50^\circ\text{C} \text{ 时油的动力粘度 } \eta = \nu_{50} \times \rho_{50} \times 10^{-6}$$

$$= 19.85 \times 880 \times 10^{-6}$$

$$= 0.017468 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$$

$$\text{相对间隙 } \psi = \sqrt{\frac{\eta \omega d^2 \Phi \left( \frac{B}{d} \right)}{F}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.0174 \times 314 \times 0.3^2 \Phi x_2}{6500}}$$

$$= 0.00275 \sqrt{\Phi x_2}$$

3. 约束条件

宽径比限制 汽轮机轴承  $0.5 \leq B/d \leq 1.0$

$$g_1(X) = 0.5/x_2 - 1 \leq 0$$

$$g_2(X) = x_2 - 1 \leq 0$$

平均压强限制  $p \leq [p]$

轴承平均压强许用值  $[p] = 2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

$$\text{轴承平均压强 } p = \frac{F}{\left( \frac{B}{d} \right) d^2} = \frac{65000}{x_2 0.3^2}$$

$$= 722222/x_2$$

$$g_3(X) = 0.361111/x_2 - 1 \leq 1$$

轴承功耗限制  $P \leq [P]$

$$g_4(X) = P/[P] - 1$$

$$= 3.061 \times 10^6 \left[ \frac{f}{\psi} + \frac{\pi}{2\Phi} \right] \psi / 35000 - 1$$

$$= 87.45 \left[ \frac{f}{\psi} + \frac{\pi}{2\Phi} \right] \psi - 1 \leq 0$$

流量限制  $Q \leq [Q]$

$$g_5(X) = Q/[Q] - 1 \leq 0$$

$$Q = d^2 v \psi \left( \frac{B}{d} \right) (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3})$$

$$= 0.3^2 \times \frac{0.3}{2} \times 314 \psi x_2 (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3})$$

$$= 4.239 \psi x_2 (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3})$$

$$\text{式中 } \Phi_{Q2} = \frac{\xi \Phi d^2 p_s}{\left( \frac{B}{d} \right) F} = \frac{\xi \Phi 0.3^2 \times 1 \times 10^5}{65000 x_2}$$

$$= 0.3185 \xi \Phi / x_2$$

$$\text{取 } K = 0.06 \text{ m} \quad a = 0.015 \text{ m}$$

$$\Phi_{Q3} = \theta \Phi K \left( \frac{1}{a} \frac{B}{d} - \frac{2}{d} \right) \frac{p_s d^2}{\left( \frac{B}{d} \right) F}$$

$$= 0.06 \theta \Phi \left( \frac{1}{0.015 x_2} - \frac{2}{0.3} \right) \frac{1 \times 10^5 \times 0.3^2}{65000 x_2}$$

$$= 0.0554 \theta \Phi \left( 10 - \frac{1}{x_2} \right)$$

$$g_5(X) = 3532.5 (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3}) \psi x_2 - 1 \leq 0$$

温升限制  $\Delta t \leq [\Delta t]$

$$g_6(X) = \Delta t / 30 - 1 \leq 0$$

$$\text{式中 } \Delta t = \frac{\left[ \frac{f}{\psi} + \frac{\pi}{2\Phi} \right] F}{C \left( \frac{B}{d} \right) d^2 (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3})}$$

$$= \frac{\left[ \frac{f}{\psi} + \frac{\pi}{2\Phi} \right] \times 65000}{1.72 \times 10^6 \times 0.3^2 x_2 (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3})}$$

$$= 0.42 \frac{\left[ \frac{f}{\psi} + \frac{\pi}{2\Phi} \right]}{x_2 (\Phi_{Q1} + \Phi_{Q2} + \Phi_{Q3})}$$

以上各式中

$\Phi_{Q1}$  由图 21-9 求得

$\xi, \theta$  由图 21-12 求得

最小油膜厚度限制  $h_{\min} \geq [h_{\min}]$

轴颈表面不平度平均高度  $R_{Z1} = 3.2 \times 10^{-6}$

轴瓦表面不平度平均高度  $R_{Z2} = 6.3 \times 10^{-6}$

$$[h_{\min}] = 1.5(R_{Z1} + R_{Z2})$$

$$= 1.5 \times (3.2 + 6.3) \times 10^{-6}$$

$$= 1.425 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$h_{\min} = r \psi (1 - \epsilon) = 0.15 \psi (1 - x_1)$$

$$g_7(X) = [h_{\min}] / h_{\min} - 1$$

$$= 9.5 \times 10^{-5} / \psi (1 - x_1) - 1 \leq 0$$

相对间隙限制  $0.001 \leq \psi \leq 0.002$

$$g_8(X) = 0.001 / \psi - 1 \leq 0$$

$$g_9(X) = \psi / 0.002 - 1 \leq 0$$

进口油温限制  $36 \leq t_1 \leq 45 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$g_{10}(X) = 36/t_1 - 1 \leq 0$$

$$g_{11}(X) = t_1/45 - 1 \leq 0$$

4. 计算结果

本例为具有 11 个约束的二维非线性约束优化设计问题,利用内点法构造罚函数为:

$$\Phi(X, r^{(k)}) = F(X) - r^{(k)} \sum_{i=1}^{11} \frac{1}{g_i(X)}$$

选取初始点  $X^{(0)} = [0.5, 0.5]^T$ , 初始罚因子  $r^{(0)} = 5$ , 罚因子递减系数  $C = 0.1$ , 利用无约束优化的 powell 共轭方向法进行优化, 求得最优解和相应的轴承参数如下, 供设计时参考。

偏心率:	$\varepsilon = 0.70838$	
宽径比:	$\frac{B}{d} = 0.50332$	
轴承宽:	$B = 150.997$	mm
半径间隙:	$c = 0.27345$	mm
相对间隙:	$\phi = 0.00182$	
压强:	$p = 1.4 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>
最小油膜厚度:	$h_{\min} = 0.07974$	mm
温升:	$\Delta t = 13.4841$	°C
功耗:	$P = 2.7777 \times 10^4$	W
流量:	$Q = 1.1976 \times 10^{-3}$	m <sup>3</sup> /s
入口油量:	$T_1 = 43.2579$	°C

浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

## 第 33 章 计算机辅助设计

### 1 概论

#### 1.1 基本概念

计算机辅助设计简称 CAD (COMPUTER AID-ED DESIGN)。它是在人的参与下,以计算机为中心的一整套系统对设计对象自动进行设计,其中包括资料检索、设计计算、结构设计、自动绘图和数控加工程序的输出。使用 CAD 可以缩短产品设计周期,使设计工作的效率大大提高,同时可以提高产品设计的精确度和可靠性,还可以利用优化方法使产品达到最佳设计。

计算机辅助设计概念的提出和实际应用,到现在只有 30 多年的时间,但这种先进技术已普遍应用于机械制造、汽车、航空、计算机、大规模集成电路、造船、土建、工厂设计、铁道、轻纺等许多行业中。由于计算机技术(硬件和软件)的飞速发展,特别是小型计算机和微型计算机的大量生产,硬件价格性能比大幅度降低,所谓成套式 CAD 系统和各种档次的 CAD 工作站大量供应市场,使得 CAD 技术进入了中小企业,大大地推进了计算机辅助设计技术的普及和应用。80 年代以来,计算机已逐渐深入到科技工作者、设计师的办公室和住宅,计算机网络和数据库技术为 CAD 技术提供了更广阔的天地。

产品的设计、制造和工程管理之间具有密切的关系。近年来,计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)日益密切结合。一个对产品的初始构思和设计、加工制造、直到产品最终装配和出厂检验的全过程实行计算机控制的系统,叫做集成生产系统(IMS)。这种大规模的、功能极强的设计/制造/管理集成生产系统,已在国外一些大企业出现。

#### 1.2 CAD 系统的硬件

所谓硬件(hardware),就是组成计算机的物质设备,它一般由金属构架、机械、电子器件和磁性器件所构成。一个典型的 CAD 系统基本上应由如下几部分硬件组成(图 33-1)。

##### 1.2.1 主机

主机主要是指计算机的中央处理机 CPU (Central Processing Unit) 和内存贮器(简称内存)两部分。它是控制和指挥整个系统运行并执行实际运算、逻辑分析的装置,是系统的核心。CAD 系统的主机可根据不同需要采用大、中型机器,也可采用小型机、微型计算机及专用的分布式多处理机。

计算机的主要性能指标有:

寄存器位数(bit),时钟频率(MHz),执行速度(Mips,每秒执行的百万次指令数),内、外存容量(K byte 或 M byte)。

##### 1.2.2 图形输入装置

它是向计算机输入数据、图形、程序以及各种字符信息的设备。常用的数据输入装置有光电式(或电容式)纸带输入机、卡片输入机、键盘和字符终端等。随着 CAD 技术的发展,出现了大量性能良好的图形输入设备,如鼠标器、光笔、触摸屏、图形扫描器和数字化仪等。这些设备的发展又推动了 CAD 技术的应用。

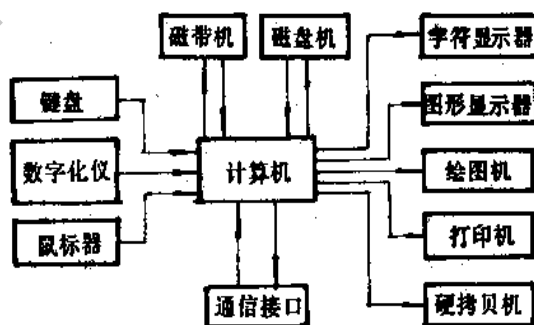


图 33-1 CAD 系统的硬件组成

图形输入装置的主要作用是将平面或空间上点的坐标输入计算机,其基本功能是定位(Locator)和拾取(Pick)。定位是确定和控制光标在图形上的位置,拾取是指示图形上的特定内容。理想的图形输入设备应兼有上述两种功能。这类设备主要的技术指标是:分辨率,直线性,重复精度和工作范围。

分辨率:是指在单位距离内设备所能鉴别的点数。可用每英寸线数表示(单位 lpi)。

重复精度:是测度设备从某点出发并返回该点时所产生的最小误差,一般以绝对距离表示。

直线性:是测量设备随着操作者手的移动所给出的输入坐标增减值的忠实程度。

下面我们对几种常用的图形输入设备作一简介:

(1)键盘 是最常用的数据和字符输入装置,也能够用于图形输入。作为图形输入装置的键盘,除通常的以 ASC I 编码的数字和字母键外,还附有一些命令键和功能键,以完成图形操作时的某一特定功能,如指定设备工作方式,指定图形变换方式,开始菜单作业等工作。

随着磁盘机的发展,由键盘和磁盘构成的输入装置也已获得广泛应用,其工作过程是,由键盘控制数据存入磁盘,然后再输入计算机。这种方式适合于大批量数据的输入。

(2)光笔 光笔是一种检测装置。它能够将屏幕上的显示状态(明暗变化),转换为电信号,送给计算机。光笔广泛应用于 60 年代至 70 年代初期,与当时高级的刷新式矢量型图形显示器相配合,能够有效地从屏幕上拾取部分图形或对图形进行增添,删除,修改等功能。因此,在人机图形交互中,光笔曾经是一种非常有用的设备。但是,由于光笔的精度低以及更好的图形输入设备的出现,现在光笔已很少使用。

(3)鼠标器 鼠标器是一种手持式的形如鼠状的塑料盒滚动装置。一般有 2~3 个功能键,用来控制光标的位置。它有机械式和光电式之分。鼠标器的底部装有两个互相垂直的滚轮,有两个电位计分别与滚轮相连,当鼠标器在桌面上行走时,电位计记录了它在  $x$  及  $y$  方向的增量,经转换成数字量送入计算机,就可移动光标的位置。它只提供运动的增量,而不依赖于一个给定的坐标原点作为起始位置参

考。因此只要滚轮没有运动,鼠标器放在桌面上的任何位置光标也不会移动。鼠标器可单独使用,也可配合数字化仪一起使用。

(4)数字化仪 数字化仪随尺寸大小不同而有不同的名称,一般把小型的称作图形输入板(tablet),大型的叫作数字化仪(digitizer)。从原理来看,它们是相同的,仅在板面尺寸、精度上有所区别。因此,也被通称为数字化仪。

数字化仪因制作原理不同,有多种结构型式:

- 电磁感应式
- 静电感应式
- 超声波式
- 磁致伸缩式

数字化仪的典型指标为:

- 分辨率 100~1800lpi(每英寸线数)
- 精度  $\pm 0.01 \sim \pm 0.001$  in
- 重复精度  $\pm 0.0015 \sim \pm 0.05$  in
- 面积  $11 \times 14$  in<sup>2</sup>  
 $8.6 \times 11.8$  in<sup>2</sup>  
 $15 \times 15$  in<sup>2</sup> 等

(5)大幅面图纸自动扫描输入机 为了实现大幅图纸的快速输入,1985 年出现了一种大幅面图纸自动扫描输入机。这类图纸输入机利用光学扫描原理,以两万条光纤排列成 1m 宽的光源及光接受阵列,对宽至 1m,长至 4m 多的大幅图纸能自动地进行高精度的扫描,快速的完成图纸输入任务。并能将扫描输入的数据,转换成计算机文件。需要用软件将扫描输入的点阵数据转换成 CAD 系统能接受的矢量数据。

(6)摸感显示屏 是一种利用摸感新技术制成的屏幕。它可以使用户不必记住什么命令和操作顺序,直接用手指在屏面上一指,就能进行菜单选用,移动光标以及画图等工作。

表 33-1 列出了几种图形输入装置的性能比较。

表 33-1 几种图形输入装置的性能比较

	光 笔	鼠标器	数字化仪
优 点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 能快速输入简单图形</li> <li>2. 易于实现图形跟踪</li> <li>3. 出错率低</li> <li>4. 拾取图形的效率高</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高精度和高分辨率</li> <li>2. 使用方便舒适</li> <li>3. 有微调能力</li> <li>4. 使用时不遮挡屏幕</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高精度、高分辨率</li> <li>2. 适合于人的工作习惯</li> <li>3. 不遮挡显示屏幕</li> <li>4. 能完成数字化、拾取、跟踪、手书等多种功能</li> <li>5. 有微调功能</li> </ol>

超星浏览器提醒  
使用本复制品  
请尊重知识产权  
续表 33-1

	光 笔	鼠标器	数字化仪
缺 点	1. 与真正的钢笔写字和作图相去甚远,使用起来易疲劳 2. 工作时会挡住屏幕上的部分画面 3. 精度低	1. 输入图形时速度低 2. 不适于手书和徒手画图 3. 需要专门的工作台面	1. 需要专门的工作台面

### 1.2.3 图形输出装置

常用的图形输入设备可以分为两大类,一类是与图形输入设备相结合,构成具有交互功能的可以快速生成和删改图形的显示设备(Display);一类是在纸或其它介质上输出可以永久保存图形的绘图设备(Plotter)。

图形显示设备是 CAD 系统中必不可少的人机交互、图形显示的窗口,它包括图形适配器和图形显示器。图形适配器是与 CPU 接口并控制图形显示的电子器件,它装有微处理器和数据缓冲用的存储器等元件。图形显示器的主要器件是阴极射线管 CRT。

CRT 系统工作时需要很高的电压,结构体积大

且笨重,但具有性能可靠,价格便宜,而且显示的形象可迅速改变的优点。因此,虽然近年来,国外已研究出低压,轻便的新型显示装置,如等离子板,液晶显示器、激光扫描显示器等,但在性能价格,可靠性等方面,均未达到在 CAD 中的实用阶段。所以基于 CRT 原理的图形显示器仍然是当前使用最广泛的图形显示设备。

绘图系统的发展也十分迅速,种类繁多。总的趋势是向高速度、高精度、大面积、低成本、低噪声的方向发展。目前,平板式和滚筒式两种绘图仪使用的比较普遍。此外还有喷墨绘图机、热传导绘图机、激光绘图机等。

表 33-2 给出了若干种绘图机的综合性能对比。

表 33-2 若干种图形输出设备的综合性能对比

对比结果技术指标	设备类型	笔式绘图仪	撞击式印刷机	静电绘图机	热传导绘图机	喷墨式绘图机
绘图精度和绘图质量		好	较差	好	中	中
每毫米点数		40	2.8~9.4	8	4~6	3~8
每个点的尺寸 mm		0.38~0.15	0.46~0.25	0.2	0.25~0.18	0.51~0.20
复制速度		差	好	好	较好	较好~极好
可靠性/可维修性		好	好	好	好	较好~好
噪声		小	大	小	小	小

绘图仪的主要技术指标如下:

#### a. 绘图速度

绘图速度是指绘图仪画笔移动的速度。它有最高速度和最低速度两个指标。画图时,画笔由静止状态到运动状态再停止,画笔所做的是变速运动。因此,绘图仪画笔运动的加速度决定了它绘图速度的高低,只有绘图速度和加速度都很大时,绘图仪才能实现高速度高效率的绘图工作。

#### b. 步距

步距又称为脉冲当量或分辨率,当绘图仪控制

线路向驱动部件发出一个走步脉冲时,驱动部件就带动画笔(或绘图仪滚筒)移动一个步距。绘图仪的步距一般在 0.1~0.0025mm 之间,步距越小,绘图的精度越高,图的质量就越好。

#### c. 绘图精度

绘图精度是指实际绘出的图线与理想的图线之间的误差率。

#### d. 绘图仪功能

它是绘图仪能绘图形的复杂程度,如图形的大小、形状,绘图仪的插补功能(插补直线、圆、抛物线



超星浏览器提醒您:

等);画笔颜色数量及曲线拟合功能等。

### 1.2.4 数据存贮设备——外存贮器

它是用来存放大量的暂时不用而等待调用的程序和数据。CAD 系统在工作中要进行图形、数据、文字和信息处理。图形在系统内也要转化为数据和字符形式的几何信息和属性信息,所以系统对存贮设备的要求很高,一是存贮量大,二是存取效率要高。外存贮器是经过通道与 CPU 连接的辅助存贮器,目前常用的磁盘和磁带。

磁盘有软磁盘和硬磁盘两种。软磁盘容量较小,一般是 360kB,720kB,1.2MB,1.44MB 等。作为大容量外存贮器的主要指硬磁盘(也叫温盘),通常简称为硬盘,而称软磁盘为软盘。磁盘是随机存取方式的,有固定和可拆式两种,前者容量较大。磁盘的主要指标有存取容量,传输速度,尺寸及形状。硬盘容量从 10MB 到几百 MB。因为是随机存取,数据传输速度快,所以磁盘是 CAD 系统的主要外存设备,以支持系统频繁、随机的数据访问。

磁带的成本低,存贮容量很大(可达几百 MB),可支持脱机打印和绘图以及与外部系统传递信息,也是常用的外存设备。但由于磁带是顺序存贮方式,不便于随机访问的数据存贮,故一般用于存贮批量大,使用不频繁的数据和用于备份保存数据。

近年来,光盘技术发展很快。光盘存贮密度比磁盘高十倍以上,可能不久就会取代目前磁盘的地位。

微缩胶卷也是一种存贮介质,可以用来存贮工程图纸,技术资料,文件等信息,特别是便于远距离传送这些信息。

上述硬件设备是在 CAD 系统中通常使用的,但并非每个 CAD 系统都要样样具备,特别是在硬件价格下降较快的情况下,应该根据需要来配置。

### 1.3 计算机辅助设计系统的软件

所谓软件(Software)是指使用和发挥计算机效率、功能的各种程序。整个计算机系统的工作过程都是由软件来控制 and 实现的。软件的水平是决定系统性能优劣、功能强弱、使用方便与否的关键因素。在不同 CAD 系统中,对软件的要求也不同。这些软件的开发设计一般需由计算机的软件人员和专业领域的设计人员密切合作,才能取得满意的效果。

CAD 系统的软件可按功能分为三个层次(图 33-2),一般称之为系统软件、支撑软件和应用软件。系统软件 and 支撑软件统称为内核的基础软件系统,

外层是各种应用软件,系统软件,是对计算机资源进行自动管理和控制的软件系统,处于整个软件的核心内层。它主要包括操作系统,数据通讯系统等,所有的软件都要在操作系统的管理和支持下进行工作。操作系统(Operating System)是对计算机进行自动管理和控制的中心,通过对计算机的软、硬件资源的合理使用,使之协调一致并且高效地完成各种任务。例如,对存贮器进行管理以有效地存取程序和数据;执行对作业和进程的管理,用处理机完成各种操作或运算,实现多道和分时运行功能;管理外围设备进行机内、机外的信息传递等等。此外,操作系统还可以利用虚拟存贮和覆盖技术,将实机(硬件本身)改造成功能更强,使用更灵活的“虚机”。覆盖管理是操作系统对一个作业的若干程序段或作业的某些部分,使其轮流使用某一段内存空间的一种管理技术。使用覆盖技术,可提高整个系统的使用效率和经济效益。

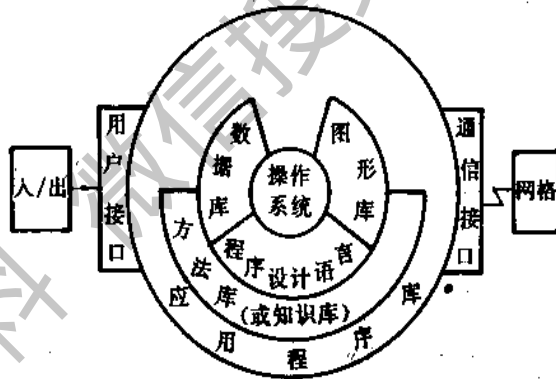


图 33-2 CAD 系统的软件组成

CAD 系统的开发与操作系统密切相关,在购买计算机时,应选择配置功能完善,通用性好的操作系统。注意它对高级语言的支持,内存寻址能力,是否具有虚拟存贮和多用户工作环境等方面的性能,特别是对已有软件的支持能力。超级小型、微型机 CAD 系统中,VAX 主流机型,多采用 UNIX 及其它通用操作系统。IBM PC 及其兼容的微机主要采用 MS DOS 或 PC DOS 磁盘操作系统,都是单用户的。IBM PC/AT 以上档次的微机,除 MS-DOS 外,还采用了 Xenix 操作系统,Xenix 是由 UNIX II 开发的多用户、多任务操作系统,直接寻址空间为 16MB 以上,虚存空间达 100MB 以上。操作系统软件大多是由计算机厂商提供的,用户可根据需要进行配置。

支撑软件(Support Software),是帮助人们高效



率地开发、运行应用软件的软件系统,亦称为软件开发工具。CAD 系统的支撑软件主要包括交互式图形支撑系统和工程数据库及其管理系统,这是 CAD 的核心技术。此外,高级语言、汇编语言,面向设计问题的专用语言等也属于支撑软件。它们为 CAD 系统的软件开发,特别是用户的二次开发,提供必要的软件环境。

支撑软件是应用软件开发的基础,应用软件以至 CAD 系统的功能和效率在很大程度上取决于支撑软件的性能。此外,还可以从以下几个方面理解支撑软件的作用。首先是一般的 CAD 软件往往很难满足用户的多种要求,特别是工作内容较多的综合性 CAD 系统。应该支持用户根据自己特殊的需要,习惯、经验等进行二次开发,良好完善的支撑软件是二次开发的必要条件。其次是 CAD 系统开发单位(尤其是高等院校,CAD 公司等)往往要开发不同应用或不同专业领域的 CAD 系统。虽然都需要交互环境,图形操作,数据管理等。但这些应当由公用的软件提供,与具体应用相分离,没有必要在每个系统中重复地开发。三是因为计算机和外围设备种类繁多,不同型号间接口经常有所差别。所以应当将与硬件接口有关的部分局部化在支撑软件中,使支撑软件适用常用的硬件系统,应用软件则与硬件无关。这样的 CAD 系统才能适应较广泛的硬件环境,而且具有良好的可移植性。

交互式图形处理是 CAD 最主要的特色和基本的功能,它是由图形支撑软件和各种应用图形程序实现的。图形支撑软件通常为用户提供一个可被高级语言调用的图形程序库。它将与计算机和图形输入/输出设备等硬件有关的细节屏蔽起来,提供一批完成图形的生成、显示、编辑、修改、输出、存贮以及文本操作,标注尺寸等基本功能的子程序,其中也包括曲线和曲面插值,等高线,消隐线,消隐面等图形生成的基本算法子程序。在应用程序中可以调用这些子程序进行具体的图形处理。

图形支撑软件的任务主要有:

a. 联接图形输入/输出设备。把与设备控制码,操作命令,参数设置等相关的硬件接口部分局部化在设备驱动程序中,用户程序只需定义设备类型。如果软件移植到新的硬件系统,程序修改也仅限于少数接口部分。

b. 创造人机交互的图形显示环境。通过三种主要的人机接口技术:多窗口显示;菜单驱动;提示和帮助性信息;提供对用户友好的交互图形处理和辅

助设计环境。

c. 提供基本算法子程序,例如,曲线、曲面的插值和拟合,绘制等值线,消隐等算法,帮助用户完成几何模型构造和图形变换。

d. 建立图形数据库和管理系统,有效地存取、管理基本图形元素和属性、文本等信息,以支持图形处理。这部分工作与数据库技术有关。

图形支撑软件支持不同专业的应用图形软件开发,并根据应用软件与系统数据的连接方式和紧密程度提供不同级别的可调用程序。各类面向应用的图形软件,都可在此基础上开发。

工程数据库及其管理系统是支撑软件的另一重要内容,也是 CAD 系统的基础。数据库管理是在数据信息处理中由文件系统发展起来的关于如何有效地存贮、管理,使用信息的一门技术。它的主要特点是由数据库管理系统(DBMS)集中管理数据,减少冗余数据;保持数据与程序,数据与存贮设备的独立性;支持多用户交叉访问和共享数据资源。在 CAD 系统运行过程中会生成、存贮和处理大量的数据和图形信息,要允许不同的用户能够方便地检索,存取,修改这些图形的或非图形的信息,并保持它们的一致性和完整性,还要为各种应用程序提供数据接口以便传递和转换数据,这些工作必须建立在 CAD 工程数据库管理系统的基础上。

CAD 的工程数据库有许多不同于商用数据库的特点:(1)数据对象复杂,类型丰富,特别是要处理大量的图形信息。(2)信息在设计过程中动态地产生、增长,并且经常在数值,几何,文字等形态之间转换,因此伴随着大量的数据删除、插入、修改和转换。(3)要求具有灵活的数据模型和接口,以满足不同用户和各种应用软件的需要。单一的关系模型,网络模型或层次模型往往不能满足 CAD 系统的要求。(4)在数据存取频率、处理时间、I/O 信息量等方面有其特殊性。由于上述原因以及缺乏那种既熟悉数据库技术又熟悉工程专业知识的人才,工程数据库的发展相对来说还不够成熟,所以工程数据库是目前数据库技术中正在研究的一个课题。目前,开发 CAD 工程数据库有两个途径:一是改造现有的商用数据库,使之适应工程设计的特殊需要;二是在文件系统基础上,按照数据库设计原则和 CAD 特点加以扩充和改造。

在 CAD 支撑软件中,汇编语言和编译技术是很重要的工具。汇编语言能够调用计算机硬件接口,利用它的特殊性能实现许多高级语言所不具备的功

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重知识产权!

能。例如,微机 IBM PC 的图像显示、键盘控制、磁盘读写,异步通讯都可以由汇编语言支持,利用汇编语言建立必要的硬件接口程序模块,就能实现 FORTRAN, PASCAL 等高级语言的图像显示和人机交互系统设计。另外也可以利用汇编语言加速某些关键环节的程序运行,所以,汇编语言往往作为支撑软件中基本的核心模块。编译技术可以用来提高程序的灵活性和效能。例如,对于某些复杂的工程问题,或某些因具体单位、工程师的习惯不同而采取不同处理方法的问题,可以定义一种数学语言或公式来描述,然后利用编译技术处理这些语言或公式。

CAD 系统的功能最终反映在解决具体设计问题的应用软件上,应用软件是在操作系统软件和支撑软件基础上,针对某种特定任务发展起来的。这类软件应具备如下特点:

- a. 能够切实可行地解决具体工程问题,给出直接用于设计的最终结果。
- b. 符合规范、标准和工程设计中的习惯。
- c. 充分利用 CAD 系统的软件资源,具有较高的效率。
- d. 具有较好的硬件无关性和数据存贮无关性,便于移植以及与不同的软件连接。
- e. 使用方便,维护简单,运行可靠。
- f. 具有良好的人机交互界面,较高的人机友好程度。

一般的 CAD 公司都提供部分应用软件,但大量的专业软件,需要用户自行开发,这是因为某些设计的专业性很强,涉及的领域广泛,其开发非 CAD 专家力所能及,此外,不同的企业,设计部门往往有自己的工作习惯和某些特殊要求,因而需要对已有的 CAD 系统进行修改、扩充。所以,以 CAD 系统的应用软件的二次开发是用户的一项重要任务,尤其是对从国外引进的 CAD 系统,二次开发是必不可少的。“二次开发”,是用户针对特定的应用领域,在基本 CAD 软件系统上结合特定应用目标所进行的技术开发工作,现代的 CAD 系统软件开发工作要涉及到设计,数值计算,数据管理,图形处理等内容,软件系统日趋复杂,规模越来越大,综合性越来越强,传统的小手工业式的程序设计方法已不能适应新的要求,必须采用软件工程学的方法。软件工程学 (Software Engineering) 是近十多年发展起来的一门新兴学科,它是指导计算机软件开发和维护的工程科学。在应用软件的开发中,采用软件工程学中提出的比较成熟的软件开发方法,如结构化、模块化程

序设计方法,分阶段开发技术,各类规格说明书等,实践证明可收到较好的效果。

## 2 几何处理和造型

### 2.1 图形变换

#### 2.1.1 点的变换

在二维空间中,一个点通常用它的两个坐标  $(x, y)$  来表示。在计算机图形学里,这两个坐标值常表示为一行两列的坐标矩阵  $[x \ y]$  的元素(行向量),或者表示为两行一列的坐标矩阵  $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$  的元素(列向量)。同样,在三维空间里,点可以表示为  $[x \ y \ z]$  的行向量,或表示为  $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$  的列向量。在计算机图形学中,坐标矩阵多数以行向量表示。这一系列用坐标矩阵表示的点,可以像一个数字矩阵那样以数组的形式存贮在机器的内存中,便于取用或参与运算。

我们知道,组成矩阵的元素可以表示各种量,例如数字、坐标或一组方程的系数等;而且矩阵可以通过矩阵代数的方法来施行运算。

例如,若  $A, B$  和  $T$  均系矩阵,且

$$AT=B$$

则可把该式视为矩阵方程式。这种方程式通常用来解决两种类型的问题

- (1) 已知矩阵  $A, B$ , 求解矩阵  $T$ 。这时  $T=A^{-1}B$ ;
- (2) 已知矩阵  $A, T$ , 求解矩阵  $B$ 。这时  $AT=B$ 。这种用一个矩阵  $A$  对另一个矩阵  $T$  施行乘法运算而得出一个新矩阵的方法,可以被用来完成一个点或一组点的几何变换,这里的  $T$  一般称为“变换矩阵”。这个方法是构成计算机图形学的数学基础,并在图形变换中获得广泛的应用。

我们首先来研究点  $P$  的坐标矩阵  $[x \ y]$  和一个一般的  $2 \times 2$  变换矩阵相乘的结果:

即

$$\begin{aligned} [x \ y] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} &= [(ax+cy) \ (bx+dy)] \\ &= [x' \ y'] \end{aligned}$$

这个数学方法的意思是点  $P$  由初始坐标  $(x, y)$  被变换成  $(x', y')$ , 其中

$$\begin{aligned} x' &= ax+cy \\ y' &= bx+dy \end{aligned}$$

我们感兴趣的是要研究变换后的坐标  $(x', y')$  有什么意义? 现在来讨论几种特殊情况:

(1) 当  $a=d=1; c=b=0$  时, 变换矩阵简化为单位阵。

$$\text{即 } [x \ y] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \ y] = [x' \ y']$$

这说明点  $P$  的坐标不发生变化。  
 (2) 当  $d=1; b=c=0$  时,  
 即  $[x \ y] \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [ax \ y] = [x' \ y']$   
 这个变换使  $x$  产生按比例变化(见图 33-3a), 因此该变换有使初始坐标在  $x$  方向伸长的结果。

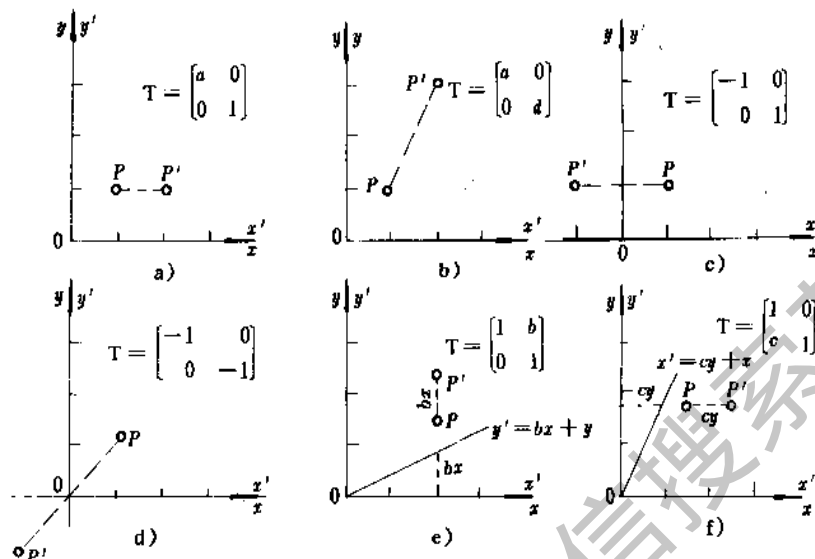


图 33-3 点的各种变换

(3) 当  $b=c=0$  时,

$$\text{即 } [x \ y] \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix} = [ax \ dy] = [x' \ y']$$

该变换产生以原点为中心的在  $x$  和  $y$  两个坐标方向的伸长(图 33-3b)。

若  $a \neq d$ , 则这个伸长是不等的。若  $a=d > 1$ , 则点  $P$  的坐标围绕原点作纯放大或发生按比例变化; 若  $0 < a=d < 1$ , 则点  $P$  的坐标将围绕原点缩小; 若  $b=c=0, a$  或  $d$  是负数, 则在  $xy$  平面内发生围绕某轴的反射。如  $d=1$  和  $a=-1$  的情况

$$\text{即 } [x \ y] \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [-x \ y] = [x' \ y']$$

这就发生对于  $y$  轴的反射, 该变换的结果如图 33-3c。

若  $b=c=0; a=1$  和  $d=-1$ , 于是就发生对于  $x$  轴的反射。

若  $b=c=0; a=d < 0$ , 于是将发生对于原点的反射。如  $a=d=-1$  的情况, 则如图 33-4d 所示。

注意: 坐标的伸长、按比例变化和反射仅在变换矩阵的主对角线项。

(4) 当  $a=d=1$  和  $c=0$  的情况,

即

$$[x \ y] \begin{bmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \ (bx+y)] = [x' \ y']$$

这时点  $P$  的  $x$  坐标没有变化, 而  $y'$  则随初始坐标线性地变化。这个结果产生正比于  $x$  坐标的“错切”, 并表示在图 33-3e 上。与此类似, 当  $a=d=1; b=0$  时, 这个变换产生正比于  $y$  坐标的“错切”, 如图 33-3f。于是, 我们看到, 主对角线两边的项产生关于点  $P$  错切的结果。

在结束我们讨论点的变换以前, 再来研究一下一个一般的  $2 \times 2$  变换矩阵用于原点  $(0, 0)$  的结果:

即

$$[0 \ 0] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = [0 \ 0] = [x' \ y']$$

这说明, 在一个一般的  $2 \times 2$  的变换过程中, 原点是不变化的, 要想使原点平移一下也不可能。不仅是原点, 平面上的任意一点  $(x, y)$  都不可能平移, 其实质是这种变换不能引入平移常数所致, 这是这类变换的一个缺点, 通过使用齐次坐标, 这个缺点将可以被

克服。

### 2.1.2 齐次坐标

用一个 $(n+1)$ 维的分向量来表示一个 $n$ 维的分向量的方法称为“齐次坐标表示法”。如把三维空间一个点 $P$ 的直角坐标 $(x, y, z)$ 表示成齐次坐标,则为 $(W_x, W_y, W_z, W)$ 。它与普通直角坐标的关系,可用下列式子进行换算:

$$x = \frac{W_x}{W}; y = \frac{W_y}{W}; z = \frac{W_z}{W}$$

亦即假如第 1、第 2、第 3 个元素分别用第 4 个元素来除,就可以得到普通坐标。

假设 $P$ 点的齐次坐标为 $P$ , $Q$ 点的齐次坐标为 $Q$ ,当 $P=aQ$ (其中 $a$ ——系数)时,实际上应注意 $P$ 点和 $Q$ 点是同一点。

例如 $(2, 3, 4, 1)$ 和 $(-4, -6, -8, -2)$ 表示同一点。

将一个点的齐次坐标分别乘以变换矩阵,则平移、缩放、旋转、透视投影以及三种基本视图(俯视图、正视图和侧视图)的变换等就可以很简单地进行。

### 2.1.3 二维图形的坐标变换

(1)以原点为中心的放大(缩小)

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [xs_x \quad ys_y \quad 1] \text{ 或 } [x' \quad y' \quad 1]$$

图形以原点为中心,在 $x$ 方向放大(缩小) $s_x$ 倍,在 $y$ 方向放大(缩小) $s_y$ 倍(图 33-4)。

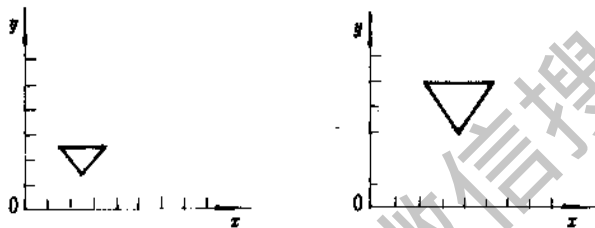


图 33-4 图形以原点为中心放大(缩小)( $s_x=1.5, s_y=2$ )

(2)平移

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ e & f & 1 \end{bmatrix} = [x+e \quad y+f \quad 1] \text{ 或 } [x' \quad y' \quad 1]$$

图形在 $x$ 方向平移 $e$ ,在 $y$ 方向平移 $f$ (图 33-5)。

(3)以原点为中心的旋转

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [x\cos\theta - y\sin\theta \quad x\sin\theta + y\cos\theta \quad 1]$$

图形以原点为中心,以逆时针方向转 $\theta$ 角(图 33-6)。

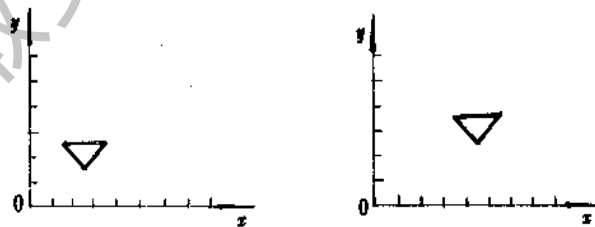
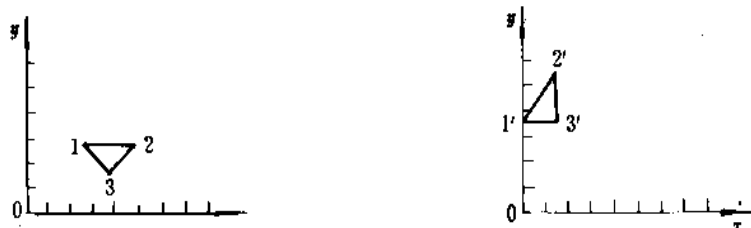


图 33-5 图形的平移( $e=2, f=1$ )

实际上,上列 1~3 三种变换一般不单独出现,通常出现的都是复合变换。例如,当图形要对画面中

的某一点 $(x_0, y_0)$ 作放大(缩小)时,可以设想用如下三种变换复合而成:首先将坐标原点 $(0, 0)$ 平移至

$(x_0, y_0)$ , 然后图形以  $(x_0, y_0)$  为中心作放大(缩小), 以下为经常出现的多重变换矩阵。  
最后将坐标原点由  $(x_0, y_0)$  的位置移回原处  $(0, 0)$ 。

图 33-6 图形绕原点旋转(逆时针转  $\theta=45^\circ$ )

(4)以点  $(x_0, y_0)$  为中心、放大(缩小)  $s_x, s_y$  的复合变换矩阵

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ x_0(1-s_x) & y_0(1-s_y) & 1 \end{bmatrix}$$

因此

$$[x \ y \ 1] \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ x_0(1-s_x) & y_0(1-s_y) & 1 \end{bmatrix} \\ = [x' \ y' \ 1]$$

(5)以点  $(x_0, y_0)$  为中心旋转的复合变换矩阵

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ x_0(1-\cos\theta) + y_0\sin\theta & y_0(1-\cos\theta) - x_0\sin\theta & 1 \end{bmatrix}$$

因此

$$[x \ y \ 1] \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ x_0(1-\cos\theta) + y_0\sin\theta & y_0(1-\cos\theta) - x_0\sin\theta & 1 \end{bmatrix} \\ = [x' \ y' \ 1]$$

旋转按逆时针方向进行。

(6)旋转和平移的复合

a. 若先绕原点作逆时针方向旋转  $\theta$ , 其后分别向  $x, y$  方向平移  $e$  和  $f$  的情况

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ e & f & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ e & f & 1 \end{bmatrix}$$

因此

$$[x \ y \ 1] \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ e & f & 1 \end{bmatrix} \\ = [x' \ y' \ 1]$$

b. 若先作平移, 再作旋转

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ e & f & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ e\cos\theta - f\sin\theta & e\sin\theta + f\cos\theta & 1 \end{bmatrix}$$

因此

$$[x \ y \ 1] \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ e\cos\theta - f\sin\theta & e\sin\theta + f\cos\theta & 1 \end{bmatrix} \\ = [x' \ y' \ 1]$$

这表明, 在复合变换的情况下, 变换的顺序不同, 变换矩阵也不相同。

另外, 在进行图形变换时, 由于一个图形由许多点构成, 因此对构成图形的点都应进行矩阵的乘法运算。在前面举的例子中, 都只列出了一个点的变换结果。如以图 33-6 的三角形绕原点逆时针旋转  $45^\circ$  为例, 其变换形式应完整地写成

$$\begin{matrix} 1 [x_1 & y_1 & 1] \\ 2 [x_2 & y_2 & 1] \\ 3 [x_3 & y_3 & 1] \end{matrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{matrix} [x'_1 & y'_1 & 1] \\ [x'_2 & y'_2 & 1] \\ [x'_3 & y'_3 & 1] \end{matrix} \begin{matrix} 1' \\ 2' \\ 3' \end{matrix}$$



浏览器提醒您：  
使用本软件时，  
请尊重相关知识。

### 2.1.4 三维图形的坐标变换

三维图形的坐标变换是二维情况的扩展，基本原理相同。

图形以原点为中心，在  $x, y, z$  方向上分别放大(缩小)  $s_x, s_y, s_z$  倍。

(2) 平移

(1) 以原点为中心的放大(缩小)

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = [xs_x \quad ys_y \quad zs_z \quad 1] \text{ 或 } [x' \quad y' \quad z' \quad 1]$$

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ e & f & g & 1 \end{bmatrix} \\ = [x+e \quad y+f \quad z+g \quad 1] \\ \text{或 } [x' \quad y' \quad z' \quad 1]$$

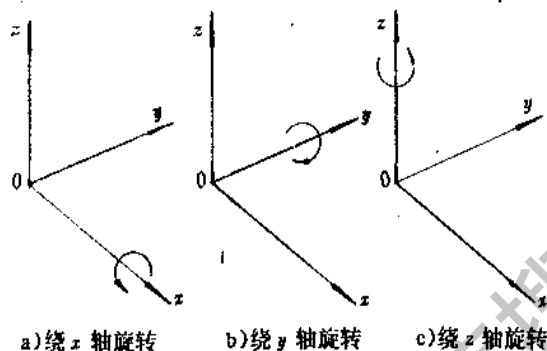


图 33-7 绕  $x, y, z$  轴旋转

图形在  $x, y, z$  方向分别移动  $e, f, g$ 。

(3) 旋转

图形规定在右手坐标系中来描述。当使图形在图 33-7 所示的方向旋转  $\theta$  角时，就有下面三种变换公式。式中旋转的正方向分别规定从  $+x, +y, +z$  的各轴端观察原点时为逆时针方向。

a. 绕  $x$  轴旋转

这时  $x$  分量：无变化  $x' = x$   
 $y$  分量： $y' = y \cos \theta - z \sin \theta$   
 $z$  分量： $z' = y \sin \theta + z \cos \theta$

因此

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = [x' \quad y' \quad z' \quad 1]$$

b. 绕  $y$  轴旋转

这时  $x$  分量： $x' = x \cos \theta + z \sin \theta$   
 $y$  分量：无变化  $y' = y$   
 $z$  分量： $z' = -x \sin \theta + z \cos \theta$

因此

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = [x' \quad y' \quad z' \quad 1]$$

c. 绕  $z$  轴旋转

这时  $x$  分量： $x' = x \cos \theta - y \sin \theta$   
 $y$  分量： $y' = x \sin \theta + y \cos \theta$   
 $z$  分量：无变化  $z' = z$

因此

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = [x' \quad y' \quad z' \quad 1]$$

(4) 反射

当一个三维物体要通过一个平面发生反射时，仅使物体坐标向量的某一坐标值改变符号便可。如物体通过  $xoy$  平面反射时，仅使  $z$  坐标值改变符号，这时反射变换矩阵为



于是

$$x_s = \frac{z_0 - z_s}{z_0 - z} x$$

$$y_s = \frac{z_0 - z_s}{z_0} z$$

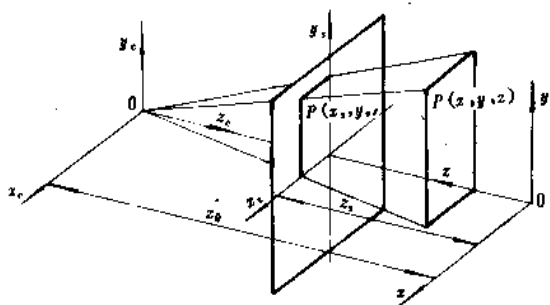


图 33-10 物体坐标系与视点坐标系的关系

为了把上式简化,我们使物体坐标系的  $xy$  平面移动至与象平面重合,即使  $z_s=0$ ,于是,上式可以改写成

$$x_s = \frac{1}{1 - z/z_0} x$$

$$y_s = \frac{1}{1 - z/z_0} y$$

$$z_s = 0$$

如用矩阵形式表示,则可以表达成

$$[x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{z_0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= [x \ y \ 0 \ 1 - \frac{z}{z_0}]$$

或  $\begin{bmatrix} x & y & 0 & 1 \end{bmatrix}$

即  $[x_s \ y_s \ 0 \ 1]$

式中的矩阵

$$T_{Pr} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{z_0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

即为由物体坐标系透视变换至象平面坐标系的变换矩阵。

如果进一步移动视点  $e$ ,使  $z_0 \rightarrow \infty$ ,则

$$\left(1 - \frac{z}{z_0}\right) \rightarrow 1, \text{ 于是}$$

$$x_s = x, y_s = y$$

这就是正投影变换,其变换矩阵为

$$T_{or} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

上述变换表明:  $4 \times 4$  变换矩阵最后一列的前三行若为非零元素,则产生一个透视变换。如果视点位于无限远处,则最后一列前三行变为零元素,此时的透视变换就变为正投影变换;当  $4 \times 4$  变换矩阵相应的列中全都为零时,就在三根正交轴的某一根的零平面上产生一个正投影。上述的正投影变换就表示发生在  $z=0$  的平面上。

有了绕  $x, y, z$  轴纯旋转的变换矩阵和正投影变换矩阵,就可以方便地求出一个单位立方体的正视图、俯视图和侧视图。

考虑到要从各种不同角度对物体进行透视变换,以把它显示成象平面上的图形,一般是将物体看成是作旋转和平移复合运动的结果,这种复合运动可用旋转-平移复合矩阵表示。

例如欲显示一物体绕  $y$  轴逆时针转  $\theta$ ,再在各轴向平移  $e, f, g$  后的透视变换图形,则可表达为

$$[x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ e & f & g & 1 \end{bmatrix} T_{Pr} = [x_s \ y_s \ 0 \ 1]$$

## 2.2 图形消隐

在立体图的显示中,为了使所显示物体能完整、清晰地表达出来,还必须处理好线段的可见性问题,即需要解决物体上哪些线是可见的,哪些线是不可见的;要求在显示(或画图)时只显示(或画出)看得见的线。去掉那些被遮盖的线——这就是所谓“隐藏性”问题。如图 33-11a 所示的物体如果把它看成是透明的,这样显示的图形就将有两种可能(如图 b, c),为了一义性地图示物体,就必须把物体看成是不透明的,即必须通过某种方法,把隐藏线检出来,消去它们,这就是“隐藏线的处理”问题。

例如图 33-12 是一种长立方体结构的物体,要清晰地图示该物体,必须把它看成是不透明的。该物体由于边  $BC, DC, CG$  被遮盖着,因此需要用虚线表

$$T_{xz} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

图 33-8 是一个立方体通过  $xoy$  平面作三维反射前后的图示。

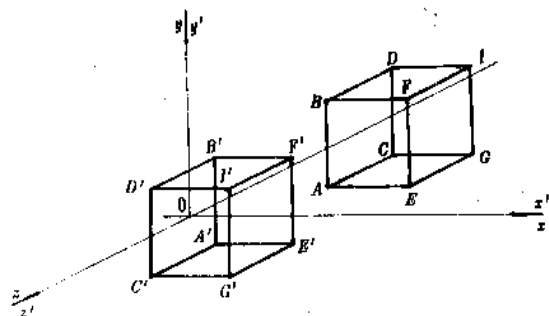


图 33-8 通过  $xoy$  平面的三维反射

该图形的反射变换式如下：

$$\begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ I \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 & 1 \\ 2 & 0 & -1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 0 & -2 & 1 \\ 2 & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{matrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{matrix} \begin{matrix} A' \\ B' \\ C' \\ D' \\ E' \\ F' \\ G' \\ I' \end{matrix}$$

同理，对一个通过  $yozy$  平面的反射变换矩阵为

$$T_{yz} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

对一个通过  $xoz$  平面的反射变换矩阵为

$$T_{xy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(5) 透视变换

所谓透视变换就是把由眼睛所观察到的三维物体变换到象平面上来再现的一种方法，其原理如图 33-9 所示。图中水平面  $A$  上有一个正方形  $abcd$ ，在视点  $e$  和物体(正方形)之间用一个不通过  $e$  点的透明平面  $B$  切断视线而在平面  $B$  上所截得的形状  $a'b'c'd'$  即为透视变换所成的象，所以把平面  $B$  叫做“象平面”。在透视变换中，物体离视点越远，其图形也就越小，如图中边  $ad$  和边  $bc$  原来是等长的，但透视变换后的图形就不一样 ( $a'd' > b'c'$ )；边  $ab$  和  $dc$  原来虽然平行，在透视变换中这种平行性也就不再保持， $a'b'$  和  $c'd'$  交于其延长线上的点，这种现象如同从高处眺望平行连续的长铁路线时也会有这种感觉一样。

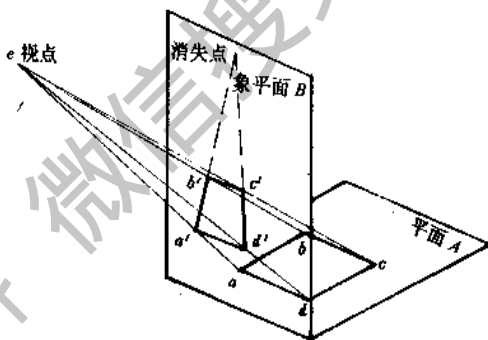


图 33-9 透视原理

三维物体一般是在右手物体坐标系  $(x, y, z)$  中来描述的。根据透视变换的特点，它通过要用“视点坐标系”(eye coordinate system)来描述物体，这个坐标系设定以视点为原点，视线方向为  $z$  轴，视线的右手方向为  $x$  轴，视线的上方为  $y$  轴，所以这是一个左手坐标系，并以  $(x_e, y_e, z_e)$  表示。物体坐标系与透视变换的视点坐标系间的关系如图 33-10 所示。

根据透视原理，图中设置一平面  $s$  (即显示器荧光屏)，并使其垂直于  $z$  轴，亦即  $s$  平行于  $xy$  平面 (或者平行于  $x_e y_e$  平面)， $s$  与  $z$  轴的交点为象平面的原点，我们把物体坐标系中的一点  $P(x, y, z)$  叫做象源，根据透视关系可得象点为  $P_s(x_s, y_s, s_s)$ ，由图中的相似三角形的关系，可以建立如下的等式：

$$\frac{x_s}{x} = \frac{z_0 - z_s}{z_0 - z} = \frac{y_s}{y}$$

示,而在显示时应通过适当的办法把它消去。在复杂的三维图形的场合,识别这类隐藏线的问题很重要。象图 33-13 那样的凸多面体,用简单的矢量计算就可判断出隐藏线并加以消去,但对于凹凸的多面体

和曲面体这样一类物体就不那么简单了。除了隐藏线外,进而在透视图上标阴影或层次等也属于本问题的范围。

使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

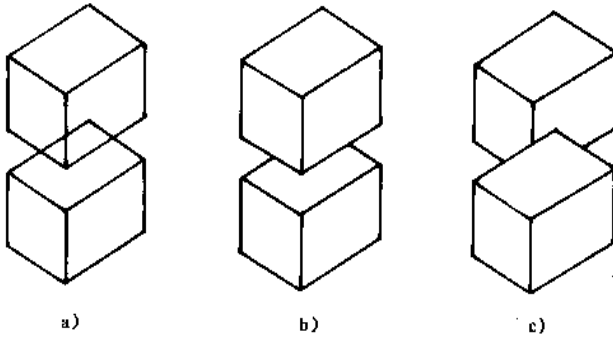


图 33-11 隐藏线

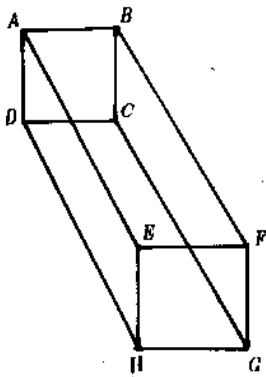


图 33-12 长方体结构

根据所处理对象的几何属性和描述几何体的方法不同,隐藏线的消去方法也不相同。在已发表的为数众多的有关隐藏线消去的文献中,有处理由平面构成的多面体的隐藏线消去方法,也有处理曲面(二元单值函数)的隐藏线的消去方法,还有适合于更复杂曲面的隐藏线的消去方法等。

这里主要介绍简单多面体隐藏线消去的一种方法。先如图 33-13 那样的定义边(edge),点(node)和面(face),所谓边是面的交线,点是边的两个端点,面是三维空间图形某一平面部分的名称。通过一根边的两个平面在实体外所夹的角大于  $180^\circ$  时为“凸边”,小于  $180^\circ$  时为“凹边”。图 33-13 中所有的边都是“凸边”。图 33-14 中由  $j_1$  面和  $j_2$  面的交线所构成

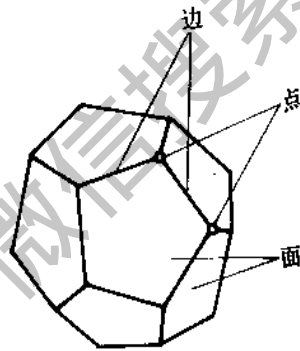


图 33-13 凸多面体

的边为“凹边”,图 33-15 中  $j_1$  面和  $j_2$  面的交线所构成的边为“凸边”。

凡至少是一根凹边的端点,该点称为“凹点”,否则就叫“凸点”。图 33-13 中所有的点都是“凸点”。在图 33-14 中,由于  $P$  点是一根凹边的端点,所以该点是“凹点”。图 33-15 与图 33-13 一样,其上所有点都是“凸点”。

当一个物体上的边、点、面投影在象平面上时,名称作如下的改变以示区别。

三维(原象)→二维(投影象)	
面(faces)	多边形(polygons)
边(edges)	线段(segments)
点(nodes)	顶点(vertices)

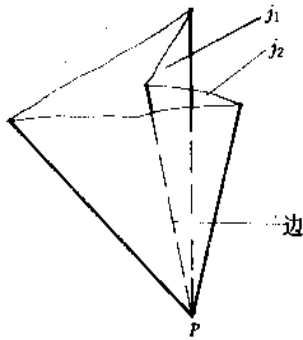


图 33-14 凹边

### 2.2.1 边的评价

边有凹凸之别,究竟是凹边还是凸边可用矢量内积  $c = e \cdot (m_{j1} \times m_{j2})$  来评价。如图 33-16 所示。 $m_{j1}$  系该面的单位法线矢量,  $(m_{j1} \times m_{j2})$  是两个单位法线矢量的矢量积,按右手法则可以定出该矢量的方向。边  $e$  是一根有向边,其方向是这样规定的:观察者面对边  $e$ ,使矢量积  $m_{j1} \times m_{j2}$  中的第一个法线矢量  $m_{j1}$  的所在平面  $j_1$  处在观察者右边,这时边  $e$  应指向上方。所以图 33-16a 中的  $e$  向上,图 b 中的边  $e$  向下。有向边  $e$  和矢量  $(m_{j1} \times m_{j2})$  的内积由  $c$  值确定。

即 
$$c = |e| \cdot |m_{j1} \times m_{j2}| \cos \alpha$$

因为矢量  $e$  和  $m_{j1} \times m_{j2}$  始终平行,所以  $\alpha$  或为  $0^\circ$ , 或为  $180^\circ$ , 决定了  $c$  值  $>0$  或  $<0$ 。

当  $c > 0$  时,  $e$  是凹边。

当  $c < 0$  时,  $e$  是凸边。

如果把  $m_{j2}$  所在的平面  $j_2$  放在观察者的右边,

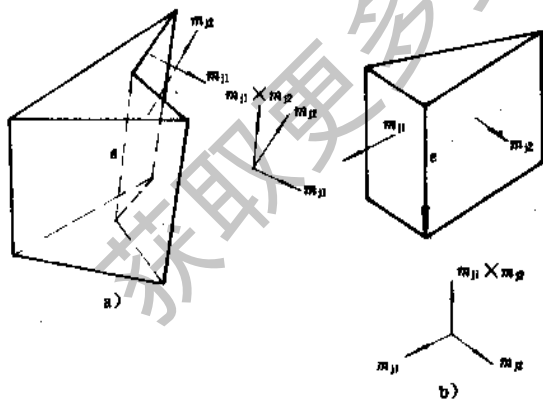


图 33-16 凹边与凸边的评定

(1) 凡属于两个不可见面(即 hidden face——隐藏面)的交线的投影(称“线段”)应予消去。

(2) 凡两个面所共有的凹边,一方是“不可见

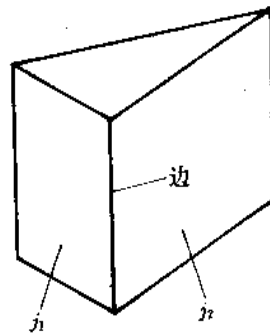


图 33-15 凸边

则评价式应变为  $c = e \cdot (m_{j2} \times m_{j1})$ 。

### 2.2.2 点的评价

边的凹凸确定后,该边端点上的点究竟是凹点还是凸点也就可以按上面的定义确定。而面的凹凸也可以随之确定。掌握了点、线、面的凹凸情况,就掌握了三维物体的凹凸状态,这是构成算法的第一步。

### 2.2.3 可见面和不可见面的评价

如图 33-17 所示,设  $E$  为视点,向着视点  $E$  的象平面的法向矢量为  $V$ ,设面  $j_i$  的法线矢量为  $m_{j_i}$ ,算法的第二步就是用内积  $V \cdot M_{j_i}$  来评价“可见面和不可见面”。

即 
$$c' = V \cdot M_{j_i}$$

当  $c' > 0$ , 则  $j_i$  面是“可见面”。

$c' < 0$ ,  $j_i$  面是“不可见面”。

并进而可按如下的规则作隐藏线消去:

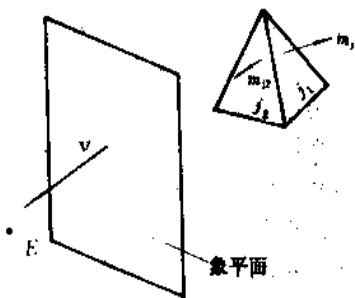


图 33-17 可见面与不可见面

面”,一方是“可见面”时,这些“线段”也应予消去。

现以实例说明。如图 33-18 所示图形的各面中,根据规则(1)消去的线段是如下的四段:

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

超星数字图书馆  
www.superstar.cn

GL: 因属于不可见面  $AGLF, GHIJKL$ ;  
 FL: 因属于不可见面  $AGLF, FLKE$ ;  
 LK: 因属于不可见面  $FLKE, GHIJKL$ ;  
 JI: 因属于不可见面  $GHIJKL, DJIC$ 。

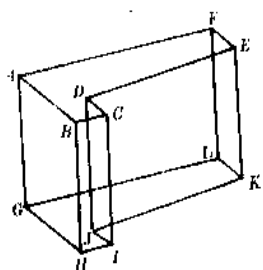


图 33-18 原图形

根据规则(2)消去的线段:

DJ: 属于可见面  $DJKE$  和不可见面  $DJIC$  的交线, 则此凹边应予消去。消去的结果如图 33-19 所示。

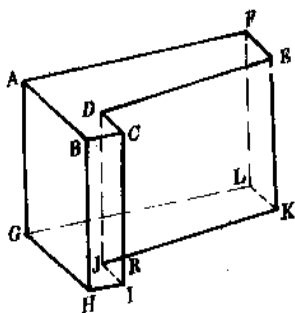


图 33-19 隐藏线消去后的图形

该物体在第二步中已消去大部分的隐藏线, 这时还待消去的只是  $JK$  中的一部分。处理这个问题在第三步, 着眼于  $JK$  和  $CI$  的交点来考虑分开  $JR$  和  $RK$ , 因为  $RK$  的前面虽然没有什么表面遮住, 但  $JR$  前面则有  $BCIH$  面遮住, 因此应该用另一算法来消去  $JR$ 。

涉及隐藏线消去的文章较多, 关于单元值函数(曲面)和更复杂型面的隐藏线消去方法, 可进一步参阅有关文献。

### 2.3 图形裁剪

作为一个显示器屏幕, 对显示器来说总是固定的。常见的 PC 机其屏幕尺寸为 14in, 分辨率  $640 \times 480$  或  $1024 \times 768$ , 大型 CAD 系统采用高分辨率彩显屏幕为 20in~26in, 分辨率可达  $2048 \times 2048$ 。任何一种屏幕上显示的图形均以象素单位为量值, 与千变万化的物理世界有着重大的区别。计算机图形学的一个任务是从物理世界把感兴趣的那一部分取出来, 然后在屏幕上或屏上的某一区域显示出来。这里必然涉及“窗口”、“视口”、“裁剪”等概念。

(1) 窗口 通常表示以矩形框取出物理世界中的一部分, 或者说是图形信息要被显示的一个矩形区域, 相当于透过窗口观察这部分图形, 称为“窗口”(Window)。

(2) 视口 把从窗口取得的那一部分物理世界(图形)映射到屏上的某一区域, 或者说是屏幕上设立的一个用于图形信息(包括图、字符)的矩形区域, 这称为“视口”(Viewport)。视口的系统缺省值为全屏幕。

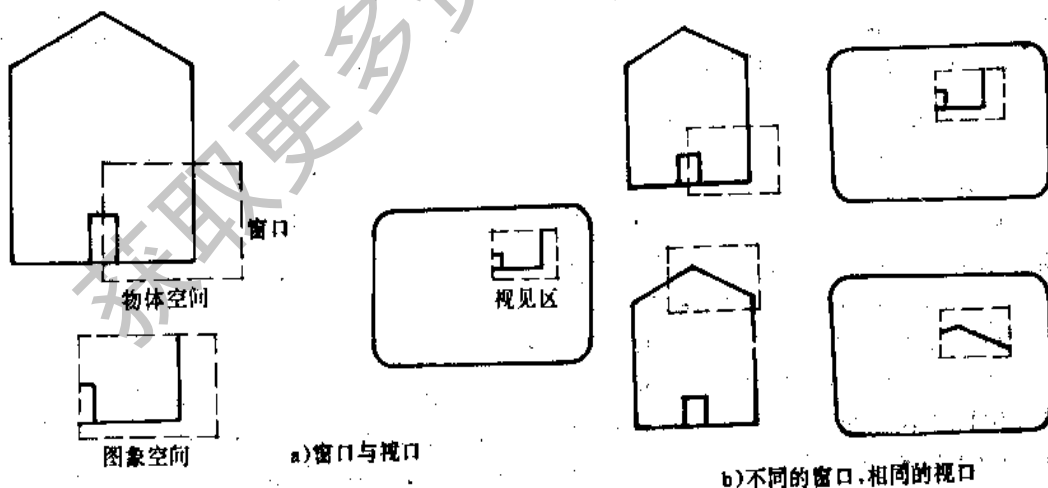


图 33-20 窗口与视口



图 33-20a 表示了窗口和视口的不同概念。图 33-20b 表示了不同的窗口图形被映射到屏幕上同一视口显示。同样也可将相同的窗口图形映射到屏幕上不同的视口显示。

(3) 裁剪 由“窗口”看物理世界,必定会产生这样的结果,即物理世界中哪些部分在“窗口”之内,哪些部分则在“窗口”外,这个判别处理称为“裁剪”(Clipping)。

例如,在一幅大的显示图形中,部分图形在窗口内,而另一部分却在窗口外的图形。在这种情况下,对图形处理的要求是识别窗口所围的部分(这是可见部分)和窗口以外的部分(这是不可见部分),窗口内的部分应加以显示,窗口外的部分应沿窗口边框加以剪除。所以“裁剪”就是把图形的每个元素分解为可见和不可见两部分。保留可见部分而剪除不可见部分的一种处理技术。

裁剪有二维(线裁剪和多边形裁剪)、三维之分,二维线裁剪又是多边形裁剪乃至三维裁剪的基础,也是取重要的部分。本节主要研究二维裁剪的原理及其算法。

### 2.3.1 点的裁剪

任何图形都由点、线(直线、折线乃至曲线)、字符所组成,而它们又都可看作是点的集合,因此研究图形的裁剪问题,首先必须了解点的裁剪原理。

假设窗口  $x$  坐标的界限值为  $x_{\min}$  和  $x_{\max}$ ,  $y$  坐标的界限值为  $y_{\min}$  和  $y_{\max}$ , 则一点  $(x, y)$  判为可见时, 必须满足下列条件

$$\begin{aligned} x_{\min} &\leq x \leq x_{\max} \\ y_{\min} &\leq y \leq y_{\max} \end{aligned}$$

若其中任一条件不满足,则该点即判为不可见点。

### 2.3.2 二维线裁剪

#### (1) 线裁剪的基本要求

各种几何图形都可看作是由直线段组成的,即使是曲线、圆(弧)、椭圆弧等也可以离散化,用直线段组近似表示,因此线裁剪是平面图形裁剪的基础。

线裁剪主要就是研究直线与窗口边框的相对位置,然后鉴别直线的可见性,或者把直线分解为可见线段与不可见线段,保留并显示可见线段,裁剪不可见线段的处理问题。直线裁剪只需依据直线的两个端点,而无需考虑其上有无限多个内部点的情况。

一根直线相对于窗口来说,其端点可能有下列几种情况(图 33-21)。

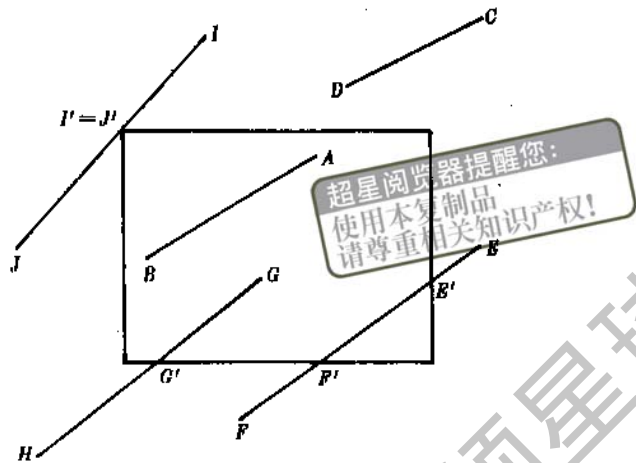


图 33-21 二维线裁剪

a. 两端点都在窗口内(如  $AB$ )。该直线完全在矩形窗口内,故可全部显示在屏幕的视口内,而无需作裁剪计算;

b. 两个端点都在窗口外,需要通过测试计算加以鉴别。如  $CD$  与窗口框不相交,则应完全不显示;如  $EF$  与窗口框相交两点,需要求出点  $E'$ 、 $F'$ ,显示可见段  $E'F'$ ,裁剪其余部分,如  $IJ$  与窗口框相交于一点,则可见线段已退化为一点。

c. 一个端点在窗口,另一个端点在窗口外(如  $GH$ ),需要求出与窗口框的交点  $G'$  而加以裁剪,显示可见段  $GG'$ ,裁剪其余部分。

上列情况都要通过一定的规则来鉴别。国内外学者曾提出过多种裁剪算法,而裁剪算法的效率是交互图形技术中一个普遍关心的问题,因为一个复杂的图形可有成百上千根直线,故只有效率高的算法才有现实意义。

1001	1000	1010
0001	0000	0010
0101	0100	0110

图 33-22 窗口边框分割平面的区域

一种有效算法最早由 D. Cohen 和 I. E. Sutherland 提出,算法首先用窗口的边框将平面分成九个区,每个区用四位二进制码表示(图 33-22),任一条直线的两个端点的编码都与它们所在的区号相对应。四位编码自左向右的意义为:



- 第一位 表示在窗口之上的点
- 第二位 表示在窗口之下的点
- 第三位 表示在窗口之右的点
- 第四位 表示在窗口之左的点

基本思想是先对直线的两个端点进行测试,检查其是否都在窗口内,并使完全在窗口内的直线能被简单接受并显示。对不完全在窗口内或者完全不在窗口内的直线端点,则通过四位编码来作区域性检查,判定直线与窗框边是否有必要进行求交计算,有则算出交点并进行适当的裁剪工作,使窗口内的部分予以保留,窗口外的部分予以简单剔除。

线裁剪算法可以简单地归结为三个步骤:

(1)确定直线与窗框边所处的相对位置并判断是否相交?与哪些边相交(至多有两个交点)?

(2)若相交,则求出交点;

(3)把相交直线分解为可见线段与不可见线段,并作裁剪处理。

设窗口尺寸为 $\pm DX, \pm DY$ (图 33-23a),原点设在窗口中心,这仍不失算法的通用性,于是,窗框绝对尺寸为 $2DX, 2DY$ 。如将窗框的四边延长,则可将二维平面分成九个区域,用特征码 $IX, IY$ 标识每一个区域,并规定九个区域的特征码如图 33-23b 所示。这样,任一点 $(x, y)$ 在平面的任一区域内均有一个特征码 $IX, IY$ 与其对应。

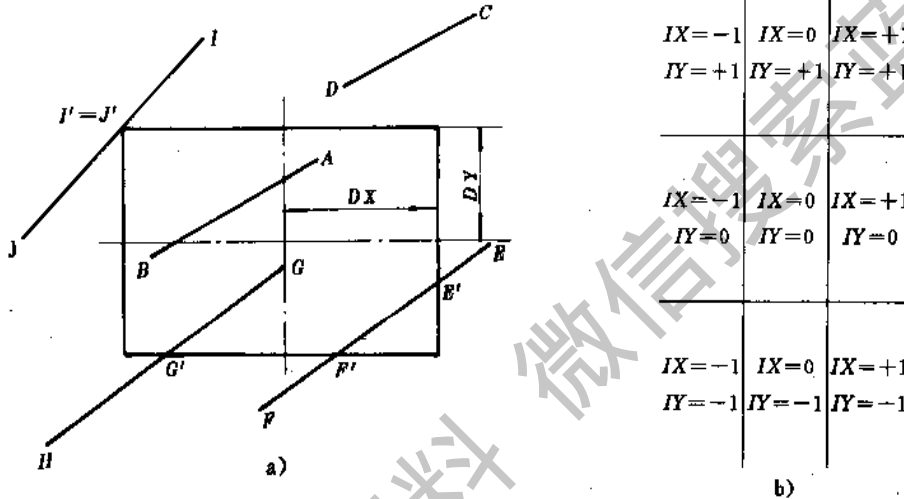


图 33-23 二维裁剪及特征码

- 如 A 点  $IX=0, IY=0$
- C 点  $IX = +1, IY = +1$
- F 点  $IX=0, IY = -1$
- ……等等。

算法的具体步骤

- (1)分别求出直线两端点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 的特征码;
- (2)若直线两端点的特征码 $IX_1 = IX_2 \neq 0$ ,则线段 $\overline{I_1 I_2}$ 肯定不在裁剪框内,可予简单剪除并直接返回;
- (3)若 $IX_1 = IX_2 = IY_1 = IY_2 = 0$ ,则线段 $\overline{I_1 I_2}$ 必定在裁剪框内,可予简单接受并显示(或绘出);
- (4)若直线的—个端点 $(x_1, y_1)$ 其特征码 $IX_1 \neq 0$ 或 $IY_1 \neq 0$ ,则可求出直线和裁剪框Y边或X边的一个交点 $(x_1, y_1)$ ,并求出交点所对应的特征码;同

理,可以处理直线的另一端点 $(x_2, y_2)$ ,亦可以求得交点 $(x_2, y_2)$ 及其相应的特征码,两个交点之间的线段 $\overline{I' I'}$ 可以简单接受并显示(或绘出),其余则剪除。

若 $(x'_1, y'_1)$ 和 $(x'_2, y'_2)$ 非常接近,则可见线段退化为—点,如图 33-23a 中的 $I' = J'$ ,则该直线段应作全部剪除,并直接返回;

(5)若 $IX_1 = IY_1 = 0, IX_2$ 或 $IY_2 \neq 0$ ,则亦应求直线段与裁剪框的交点 $(x'_1, y'_1)$ ,线段 $\overline{I_1 I'}$ 应予简单接受并予显示(或绘出),余者剪除。

需要指出,在直线与窗口边框求交时,由于窗框的界限尺寸已知,故该交点的 $x$ 坐标或 $y$ 坐标可免于计算。

设交点的坐标为 $(x_1, y_1)$ ,则直线与窗框四边的求交公式可见表 33-3。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

表 33-3 直线与窗框四边的求交公式

相交形式	交点的计算式
直线与右垂直边	$x_{11} = DX * IX_1$ $y_{11} = y_1 + ((y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)) * (x_{11} - x_1)$
直线与左垂直边	$x_{21} = DX * IX_2$ $y_{21} = y_1 + ((y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)) * (x_{21} - x_1)$
直线与上水平边	$y_{11} = DY * IY_1$ $x_{11} = x_1 + ((x_2 - x_1) / (y_2 - y_1)) * (y_{11} - y_1)$
直线与下水平边	$y_{21} = DY * IY_2$ $x_{21} = x_1 + ((x_2 - x_1) / (y_2 - y_1)) * (y_{21} - y_1)$

## 2.4 几何造型

几何造型是计算机图形学在三维空间和一个具体而又十分重要的应用领域。它是 GT(成组技术)、CAPP(计算机辅助工艺规程设计)、三维形体有限元分析、几何仿真和物性分析等的重要基础,也是真正实现 CAD/CAM 一体化的基本手段。

### 2.4.1 外部模型与内部模型

从 CAD/CAM 的设计阶段制造阶段,在计算机内部处理的物体(模型),一般称为内部模型。反之,

在计算机外部包括存在于设计者头脑中的模型都称为外部模型。例如为了设计一个零件,一般由设计人员先对零件的形状在头脑中进行初步构思,用计算机语言以一定的数据结构进行几何定义的描述,然后输入计算机,变成计算机的内部表示,即通常所说的“内部模型”。内部模型经分析、图形处理,即可输出结果(图 33-24),在这个过程中,内、外模型是并不一致的。内部模型与外部模型完全一致的状态是最理想的情况,然而要使内部模型与外部模型一致,迄今目前为止还是技术上的难题之一。

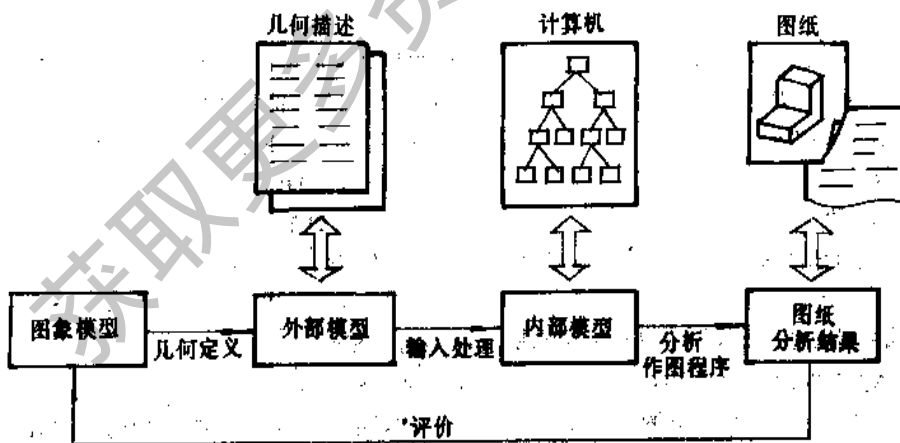
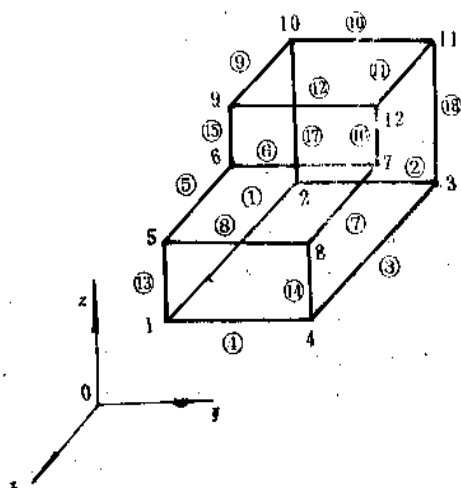


图 33-24 外部模型与内部模型

2.4.2 内部模型的表示型与数据结构

几何造型研究的对象是三维形体,而三维形体在计算机内部应如何表示呢?现在,作为计算机内部模型使用的主要有三种型式:线框模型、曲面模型和实体模型。这三种模型人们统称为“几何模型”。

(1) 线框模型(Wire-frame model)



线框模型是用棱线构成框架来进行造型的一种方法。图 33-25 所示的阶梯式立体模型,它是由  $V_1, V_2, \dots, V_{12}$  等 12 个顶点和  $W_1, W_2, \dots, W_{18}$  等 18 根棱线所构成的线框组成。工程中有些物体如平面立体,仅用轮廓线框来表示形体足够了,这是由于其轮廓线和棱线经常是一致的。象球和圆柱、圆锥那样的物体,线框模型还难以充分表示。

顶点表

	x	y	z
1	0	0	5
2	0	0	0
3	3	0	0
4	3	0	5
5	0	3	5
6	0	3	2
7	3	3	2
8	3	3	5
9	0	5	2
10	0	5	0
11	3	5	0
12	3	5	2

直边表

1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	1
5	5	6
6	6	7
7	7	8
8	8	5
9	9	10
10	10	11
11	11	12
12	12	9
13	1	5
14	4	8
15	6	9
16	7	12
17	2	10
18	3	11

图 33-25 线框模型及其数据结构

线框模型的数据结构是两张结构:一张是立体的顶点表,反映该立体模型 12 个顶点构成;一张是立体的直边表,总共有 18 根直边,每根边由两个顶点构成,没有必要给定各线段之间的连接关系。由于结构简单,故早期 CAD 的内部模型多数使用线框模型,但由于它难以表示比较复杂的形状,故现在正在向实体模型方向发展。

线框模型有如下几点特征:

- 结构简单,生成模型比较容易;
- 容易通过线框模型生成三视图、透视图;
- 当零件形状复杂时,线框很多,图形难以辨认,会产生不确定的理解——即所谓多义性。
- 难以计算物体的几何特性(如重量、重心和惯性矩等)。

这样,从 CAD/CAM 的功能来考虑,从设计到制造的整个流程中,如用线框模型作为物体的信息来传输,就会有许多不足,因此导致曲面模型的出

现。

(2) 曲(表)面模型(Surface model)

曲面模型是在线框模型的线框之间又定义了面的一种造型方法。图 33-26 表示立方体的曲面模型。在该模型中定义了八个顶点 1、2、...、8,还定义了各由四个顶点所围成的面。它的数据结构除了有前面的顶点表、直边表外,还应具有反映该立体各个表面的信息,面表中应反映棱线有序连通的附加指针,所以它是一种三表结构。这样,它在提供三维立体完整、严密的几何模型方面,比前一种模型前进了一步,对线框模型多义性的缺点有所改善。

这类模型的优点是,有可以生成剖面图和进行消隐处理;可以获得 NC 加工所需的信息。不足之处是仍然缺乏表示内部结构的能力,因为它仅仅表示了一个形体的边界形状(或外壳),至于形体的实心部分在边界的哪一侧,还是不明确的,对于一个三维实体来说,还具有某些多义性。

超星浏览器提醒您:  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权

微信搜一搜 超星全球

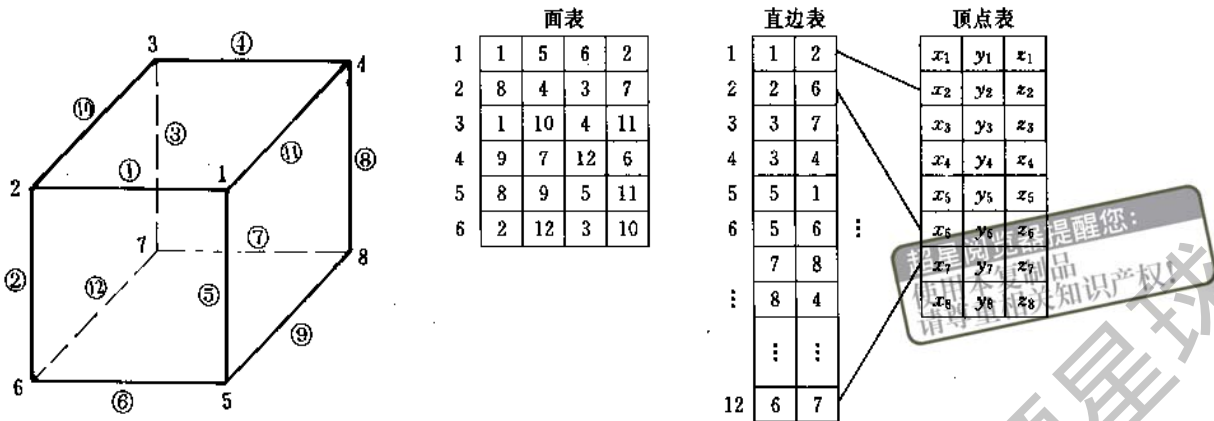


图 33-26 曲面模型及其数据结构

(3) 实体模型 (Solid model)

作为从设计到制造过程可以连贯使用的内部模型一般认为就是实体模型,这是因为实体模型能完整地描述物体的所有几何特征,具有完整性和确定性,即一个模型只对应一个物体。迄至目前为止,实体模型在计算机内部的表示模式曾有过十余种,但用得较多的有如下三种:

1) 边界表示模式 (Boundary Representation) 简称 B-Reps 一个形体一般可以把它的边界折成一

些有界的、称为“面”或“小片”的子集来表示,而每个面又可通过它的边界边和顶点来表示。图 33-27 是一个四棱锥边界表示的例子。图中把形体的边界折成一些不相互覆盖的三角形,这种表示可看作是以体、面、边、顶点为节点的一张有向图,其中的一些节点是面、线的方程及点的坐标,它们之间的连线表示面、线、点之间的邻接拓扑关系。

这是一种大多数实体造型系统所采用的模式。其优点是易于施行变型操作,缺点是实体的定义不易改变。

2) 构造实体几何树表模式 (Constructive solid geometry tree representation) 简称 CSG-Reps CSG 模式可看作是一棵有序的二叉树,树的内部节点可以是集合运算,也可以是刚体运动,叶节点是体素实体或运动变量。CSG 树可定义如下:  
(CSG 树) ::= (体素叶) | (CSG 树) (集合运算节点) (CSG 树) | (CSG 树) (运动节点) (运动变量)

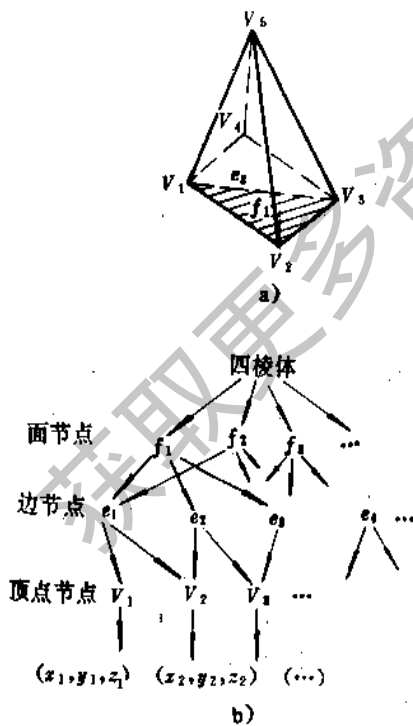


图 33-27 一个四棱锥的 B-Reps

图 33-28 是槽型物体的 CSG-Reps, 图中的形体是用正投影来表示的,  $P_1, P_2$  是体素,  $\Delta x$  表示运动变量, 它们分别经  $P_1, P_2$  的并运算和  $P_2$  与  $\Delta x$  的平移运动, 构成左右两个内节点, 最后再经并运算构成一棵完全二叉树的根节点, 这个根节点就是槽型物体。

一个几何造型系统应由哪些基本体素来构成, 表示了不同工程对象的不同要求和几何描述能力的强弱, 不同的几何造型系统采用的基本体素不完全相同。一般的机械零件用 CSG 表示, 其造型系统所具有的基本体素只需有长方体、圆柱体和棱柱、圆锥和棱锥、球和环以及几种曲面体等就够了。

超星浏览器提示: 1275  
 请为本复制品  
 保留知识产权!

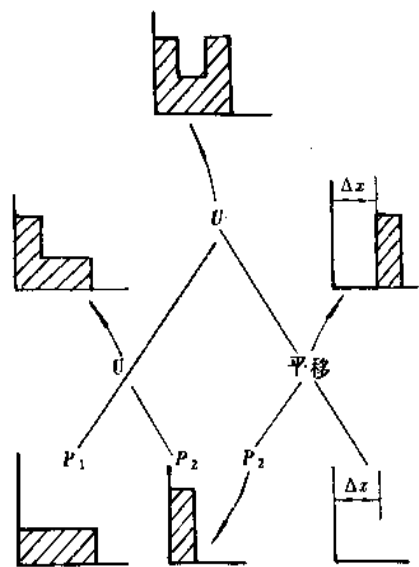


图 33-28 槽型体的 CSG 表示

CSG 表示有体素数量少、容易改变所定义的立体; 不仅能表达一个零件的外表形状, 还能通过剖面表示其内部结构, 即反映零件的实心性质, 还便于计算物体的体积、表面积、重量、重心、惯性矩等长处; 它也是三维有限元分析最主要的表示方法。

图 33-29 是对同一 L 型立体用 CSG 和 B-Reps 两种模式的比较, 图 33-29b 表示立体的二叉树数据结构, 叶节点是三个体素实体, 内部节点是实体的集合运算, 根节点即为 L 型立体本身; 图 33-29c 表示 L 型立体将其边界拆成几个相互不覆盖的有界面的过程, 各面由边、点组成, 它们之间再通过邻接拓扑关系反映在数据结构中, 最后表示成一个 L 型立体。

3) 扫刮表示模式 (Sweep representation) 这种模式是以某一面或实体在空间运动中所扫刮出的轨迹来表示实体的。

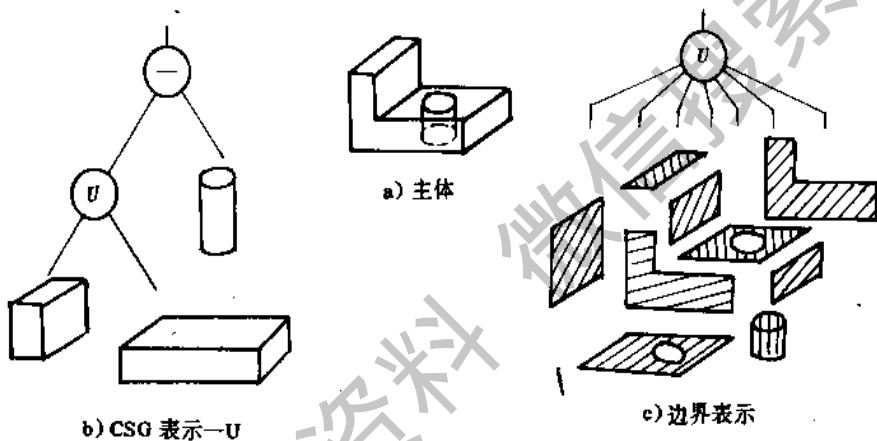


图 33-29 立体的 CSG 表示和边界表示

图 33-30 表示扫刮造型的原理。图 33-30a 表示平移扫刮。平面上有一个二维集合  $A$ , 还有一根垂直于  $A$  平面并有一个端点在其上的线段  $B$ 。  $S$  是  $A$  沿着轴  $B$  并平行于  $xy$  平面扫刮出来的形体。显然  $S$  可用  $A$  和  $B$  来表示, 因为  $B$  的表示是简单的, 这样就把表示三维形体  $S$  的问题简化为表示二维集合  $A$  的问题。图 33-30b 表示旋转扫刮, 它是用一个二维的集合  $A$ , 经旋转扫刮而成。

许多几何造型系统用平移扫刮来生成平板型零件, 用旋转扫刮来生成回转体零件, 两种扫刮变换形式都是用边界表示来作为输入手段的。

各种表示模式各具特点, 因此, 应根据不同的使用目的而选用。在目前的几何造型系统中, 通常将上

列三种模式组合使用, 成为一种复合表示模式, 特别是 CSG 与 B-Reps 在系统内部可进行适当转换, 既互补不足, 又能发挥各自的长处。不过应注意: 由 CSG 向 B-Reps 转换是可能的, 其逆向至少在现阶段还难以实现。常见的复合模式有:

- CSG/B-Reps 模式
- CSG/Sweep 模式
- CSG/B-Reps/Sweep 模式

### 2.4.3 体素的集合运算与操作

在实体造型系统中对体素施以各种操作便形成复杂立体。其中最基本的一种操作就对两个体素进行集合运算。



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重知识产权！

所谓集合运算就是对两个基本体素施行并运算 (union)、交运算 (intersection) 和差运算 (difference)。

对两个体素  $A$  和  $B$  的并运算如图 33-31a 所示, 并记为  $A \cup B$ , 相当于使两个体素接合的操作;

差运算记为  $A - B$ , 如图 33-31b 所示, 相当于从体素  $A$  中除去体素  $B$  的操作; 交运算记为  $A \cap B$ , 如图 33-31c 所示, 相当于把体素  $A$  和  $B$  的共同部分提取出来的操作。

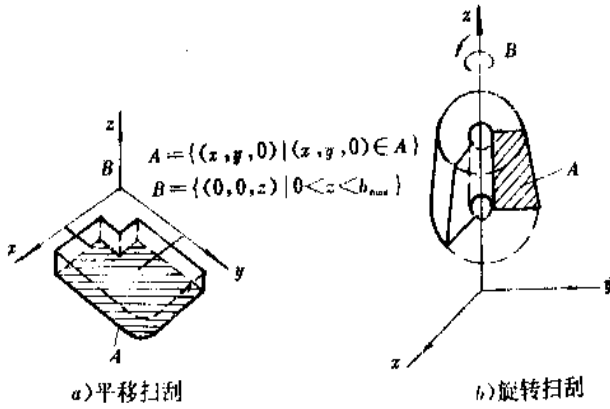


图 33-30 用平移和旋转扫刮造型的原理

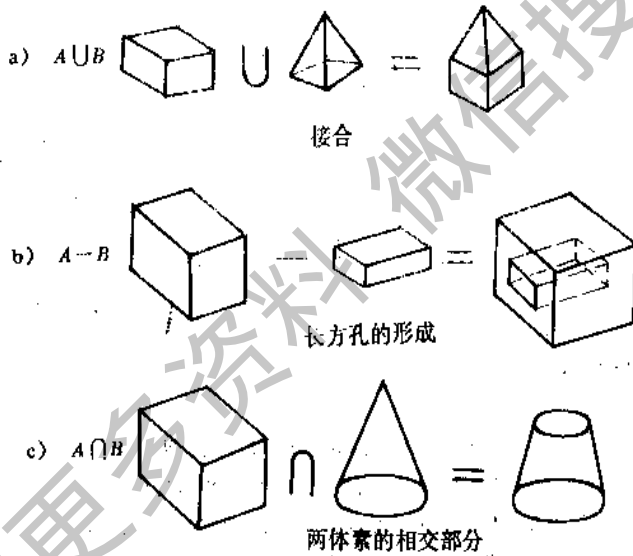


图 33-31 体素的集合运算

除了在两个体素间进行上述集合运算外, 对每个体素本身还可施行多种操作, 如

- a. 平移、旋转;
- b. 放大、缩小和仿射变换;
- c. 镜象的生成等。

平移、旋转和缩放就是前面所介绍的几何变换。镜象的生成如图 33-32 所示, 对左右对称的物体, 仅生成右或左侧的半部分就够了, 其余的半部分可作

为镜象来生成。

### 2.4.4 SM 的主要技术及典型的几何造型系统

目前实体造型 (Solid Modeling) 技术正在蓬勃发展, 它促使了 CAD 和 CAM 进一步自动化和一体化, 它将设计、分析和制造融为一体, 是 CAD/CAM 技术发展的最前沿。现在国外凡计算机厂商所推出



表 33-4 国际上典型的几何造型系统

系统名	开发者	主机	图形终端	程序语言	造型手段	应用情况
ANVIL	美国 MCS	MS, VAX 系列	*	FORTAN 对话	Boolean 操作、变比、平移变换	物性计算、公差分析、剖面、尺寸标注
BDS/GLIDE	美国 CARNEGIE-MELLON 大学	DEC PDP10, 11	*	BLISS, PASCAL 对话	CSG、平移、Euler 操作	
BUILD-1 BUILD-2	美国 Cambridge 大学	TITAN, PDP11	*	ALGOL-68, SAL 对话	CSG, Euler 操作	
CADD	美国 MCAUTO 公司	DEC PDP11 VAX 系列	DDS 100 UNIGR, APHCS1280×1024	FORTAN, BAL GRIP 对话	Sweep, 雕塑曲面	物性计算、有限元分析、NC 编程
CAM-X	英国 Ferranti	DEC VAX11/750, 780	DEC VT100, GM A, 125, 25 4096×3120	FORTAN 对话	B-Reps, 二次曲面, Boolean 操作	物性计算、有限元分析、NC 编程
CDC SYNTHAVISION	美国 CDC Control data	SYBER6000, 8000 系列	*	FORTAN 对话	CSG, B-Reps, Boolean 操作 Sweep	物性计算、有限元分析、剖面
GEOMPAC	德国 柏林工业大学	SIEMENS7, 541 UNIVAC 1160		FORTAN 批处理	CSG, Sweep, 曲面, B-样条	物性计算、有限元分析、尺寸标注
DESIGN	美国 MDSI	N/A		PASCAL 对话	CSG, 二次曲面	
DIKAD	德国 Karlsruhe 大学	DEC 11/34		FORTAN 对话	B-Reps, Sweep, 半空间	有限元分析、NC 编程、尺寸标注
DUST	美国 COMEDA	DEC11, VAX, IBM VAX 系列	*	FORTAN 对话	Sweep, Bezier 曲面	物性计算、NC 编程
EUCLID(F)	美法 MATRA DATA VISION		Tektronix 4014	FORTAN 对话	B-Reps, Boolean 操作, Sweep	物性计算、剖面
EUCLID(S)	瑞士 FLDES 公司	CDC 6500		SUMBAL 批处理	Bezier 曲面, CSG, Boolean 运算	
CRP/GRM	IBM	IBM 系列	*	PL/I 对话	CSG, 二次曲面、边界体系	
GEOMED	英国 Stanford 大学	DEC PDP/10		汇编语言 对话	Euler 操作, Boolean 操作	
GEO-Metrical Modeling System	美国 ISM	VAX 750/780, Apollo	Tektronix4010 或 1024×1024	FORTAN 对话	B-Reps, CSG, 边界体系, Sweep	物性计算、有限元分析



续表 33-4

系 统 名	开 发 者	主 机	图 形 终 端	程 序 语 言	造 型 手 段	应 用 情 况
CEOMOD	美国 SDRS	VAX 系列 IBM4341	*	FORTRAN 对话	边界文件、Sweep、表面变形操作	物性计算、有限元分析、运动学分析、尺寸标注
GEOMAP	日本 东京大学	TOSBAC5600(GE 635)		FORTRAN 批处理	CSG、Boolean 操作	物性计算、有限元分析
GMSOLID	美国 通用汽车公司			PL/1 对话	HYBRID、CSG、B-Reps 二次曲面	物性计算、有限元分析、装配
MEDUSA	美国 AGS, Prime	PRIME	1280×1024	FORTRAN 对话	多边形模式、Breps、二次及雕塑曲面	物性计算、剖面图、NC 编程、尺寸标注
HOSAKA	日本 东京大学	TOSBAC5600(GE635)	Tektronix 4096×3120	G/L 批处理	Boolean 操作	有限元分析
PADL-1/PADL-2	美国 罗切斯特大学	PDP11/40 IBM300, 360, 370	*	FLECS/FORTRAN 对话	CSG、封闭体素	物性计算、剖面图、NC 编程、尺寸标注
PROREN-2	德国 Bochum 大学	*	*	FORTRAN 对话	B-Reps、Sweep、二次曲面	物性计算
ROMULUS	英、美 Shape Data E. Sutherland	*	*	FORTRAN 对话	B-Reps、Boolean 操作	物性计算、剖面、有限元分析、NC 编程
SHAPES	美国 DRAPER 实验室	N/A		BAL-360 对话	CSG、二次曲面	物性计算、装配
SIMAK	原苏联 莫斯科动力学院	DEK 11/34	VT-100, VS-62	FORTRAN 对话	CSG、B-Reps	物性计算、装配
SOLID MODELING	美国 APPLICON	VAX11/780, 11/750, PDP11	Applicon/768×576	FORTRAN 对话	MAGI-SYNTHAVISION 法	物性计算、有限元分析、NC 编程、尺寸标注
SOLIDESIGN	美国 COMPUTERVISION 公司	32 位, CV	线框 1280×1024 帧深 640×512	FORTRAN 对话	边界文件、Sweep、Boolean 操作	物性计算、有限元分析、NC 编程
SYNTHAVISION	美国 MAGI 公司	32 位	Chromatics 7400, IBM3250, 3-D	FORTRAN 对话	CSG、Sweep、Boolean 操作	物性计算、尺寸标注、有限元分析、NC 编程
TIPS-1	日本 CAM-1 北海道大学	IBM-360, 370, Prime SYBER, VAX11/780	Tektronix4014, 3-D	FORTRAN 批处理	半空间、Boolean 操作、Sweep	物性计算、有限元分析、尺寸标注、NC 编程

提醒您：  
本制品  
相关知识产权！

星球

的 CAD 系统,几乎都带有 SM 功能,否则它在竞争激烈的 CAD/CAM 市场上将难以站稳脚跟。SM 之所以能受到重视,并开始在生产中得到应用,主要因为它是将 CAD 和 CAM 集为一体的粘剂。

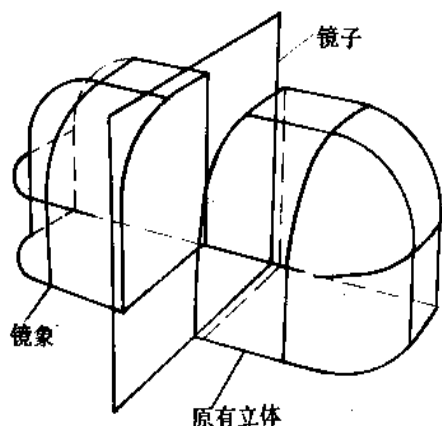


图 33-32 镜像的生成

SM 的主要技术有

a. 几何造型中形体表示的各种方法,如构造实体几何树法(CSG)、边界表示法(B-Reps)、扫描法(Sweep)、半空间法、八叉对法及复合模式法等。

b. 建立、转换几何造型中形体表示的各种方法,解决面/面相交、边/体分类、动态干涉量的检测等数学问题。

c. 计算机图形学技术方面:如实体模型的彩色浓淡化(明暗效应)处理、光照及阴影控制、高真实感图形和工程图的生成。

d. 几何造型技术方面:实体模型有限元网格的生成、物性分析、尺寸标注、NC 程序的生成和切削模拟、检验、几何仿真等。

从目前的情况看,SM 技术的应用主要集中在以下几方面:

- 实体模型 CAD、实体的机械零部件设计;
- 物性分析、三维形体的有限元分析、运动学特性分析;
- 建筑体的设计、空间布置;
- 计算机辅助制造(CAM);如部件装配、NC 程序的生成和检验、机器人、产品检验等;
- 电影制片技术:如动画片、电影特技镜头;
- 景物模拟;
- 医疗工程等。

为了实现这些应用,许多先进工业国家开发了多种几何造型系统,现将国际上曲型的有关 SM 系统的情况列于表 33-4 中。

### 3 CAD 的计算方法

#### 3.1 数表和线图的处理

在机械设计中,常遇到参数之间的函数关系难于用数学公式来表达。这时常用数表函数给出。如平键剖面尺寸与轴颈之间的关系,轴承型号及其参数;材料的牌号及其机械性能等。其共同的特点就是在非列表节点上不存在数值。

根据自变量数量,数表函数可分为一元数表函数、二元数表函数等。其程序化最常用的方法就是以一维、二维数组形式存入计算机。其编程步骤如下:

(1) 确定标识符并写成维数组的形式

由于计算机只识别数字及英文字母,所以每个参数均需确定一个标识符,并尽量与惯用符一致。

(2) 编写输入语句

(3) 检索输出语句

有些数据间虽有一定的函数关系,但不涉及非节点上函数值的问题。即在检索时不涉及到插值计算。但是,在机械设计中很多数表函数均要求用插值方法求函数值,以满足精度方面的要求。因此,在程序设计中就不可避免地遇到插值计算方法。

##### 3.1.1 函数插值

插值的基本思想是,设法构造某个简单的函数  $y=p(x)$ ,作为数表函数  $f(x)$  的近似表达式,然后计算  $p(x)$  的值以得到  $f(x)$  的近似值。即根据给定函数  $f(x)$  的数表值,希望得到反映  $f(x)$  特征而且计算比较简单的函数  $p(x)$ 。使

$$f(x_i) = p(x_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \text{ 成立}$$

$p(x)$  是  $f(x)$  的插值函数,点  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  称为插值节点。最常用的插值函数是代数多项式。多项式的次数不超过  $n-1$  次。

(1) 线性插值

线性插值即两点插值。已知两端点函数值  $y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2)$  构造一个  $n-1$  次多项式即一次多项式  $p_1(x)$ ,使它满足  $p_1(x_1) = y_1, p_2(x_2) = y_2$ 。  $y = p(x)$  的几何意义就是过二点  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$  的直线,插值公式为

$$p_1(x) = \frac{x-x_2}{x_1-x_2}y_1 + \frac{x-x_1}{x_2-x_1}y_2 \quad (33-1)$$

(2) 拉格朗日插值

从式(33-1)看出  $p_1(x)$  是由两个线性函数

$$A_1(x) = \frac{x-x_2}{x_1-x_2}, \quad A_2(x) = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}$$

的线性组合而得到,其系数分别是  $y_1, y_2$

$$\text{即: } p_1(x) = y_1 A_1(x) + y_2 A_2(x)$$

我们称  $A_1(x), A_2(x)$  为线性插值的基函数,在结点处它应满足

$$A_i(x_j) = \begin{cases} 1 (i=j) \\ 0 (i \neq j) \end{cases} \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (33-2)$$

当取三个结点时,作二次多项式  $y = p_2(x)$  使它满足  $p_2(x_i) = y_i, i=1, 2, 3$ 。为了求  $p_2(x)$  的表达式可采用基函数的方法,使其在节点处满足式(33-2),就很容易求出基函数  $A(x)$  的表达式。当  $x = x_i$  时

$$A_1(x_i) = 1, A_2(x_i) = 0, A_3(x_i) = 0$$

因为有两个零点,而且是二次多项式,则

$$A_1(x) = L(x-x_2)(x-x_3)$$

所以 
$$L = \frac{1}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)}$$

则 
$$A_1(x) = \frac{(x-x_2)(x-x_3)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)}$$

同理可得

$$A_2(x) = \frac{(x-x_3)(x-x_1)}{(x_2-x_3)(x_2-x_1)}$$

$$A_3(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_1)(x_3-x_2)}$$

利用二次基函数可求出二次插值多项式

$$p_2(x) = y_1 A_1(x) + y_2 A_2(x) + y_3 A_3(x) \quad (33-3)$$

当取  $n$  个节点,按式(33-1)及式(33-3)用基函数方法,可求出  $n-1$  次插值多项式

$$\begin{aligned} p_{n-1}(x) &= y_1 A_1(x) + y_2 A_2(x) + \dots \\ &+ y_{n-1} A_{n-1}(x) + y_n A_n(x) \\ &= \sum_{j=1}^n \left( \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \frac{x-x_i}{x_j-x_i} \right) y_j \quad (33-4) \end{aligned}$$

式(33-4)称为拉格朗日插值多项式,当  $n=3$  时为式(33-3)的抛物线插值多项式。

(3)一元三点插值

一般来说,适当的提高插值公式的阶数,可以改善插值的精度。但有时出现异常。在实际插值时,常采取分段插值法。即将插值范围划分若干段,在每个段上采用低阶插值。最常用的是抛物线插值。

由式(33-4)知,当取  $K, K+1, K+2$  三点时

$$p_{2K}(x) = \sum_{j=K}^{K+2} y_j \left( \prod_{\substack{i=K \\ i \neq j}}^{K+2} \frac{x-x_i}{x_j-x_i} \right) \quad (33-5)$$

为了提高插值精度,使所取三个节点最靠近插值点。为此  $K$  值按下法来取

$$K = \begin{cases} 1 & \text{当 } x \leq x_2 \text{ 时} \\ s & \text{当 } x_s < x < x_{s-1}, x-x_s \geq x_{s+1}-x \\ & \text{时}(s=2, 3, \dots, n-2) \\ s-1 & \text{当 } x_s < x < x_{s+1}, x-x_s > x_{s+1}-x \\ & \text{时}(s=2, 3, \dots, n-2) \\ n-2 & \text{当 } x \geq x_{n-1} \text{ 时} \end{cases}$$

(4)二元插值

在机械设计中除一元插值外,还经常用到二元插值,甚至三元插值,可以分别多次调用一元插值去处理。也可以用二元插值公式直接计算。

a. 二元拟线性插值

二元拟线性插值可以二次调用一元线性插值来完成,已知函数  $Z(x, y)$  第一变量  $x$  的节点  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 第二变量  $y$  的节点  $y_j (j=1, 2, \dots, m)$ , 可以把  $y$  看成不变值,用一元插值求  $Z(x, y_j), Z(x, y_{j+1})$  的函数值,然后再一次调用一元插值求  $Z(x, y)$ 。其几何示意图见图 33-33。

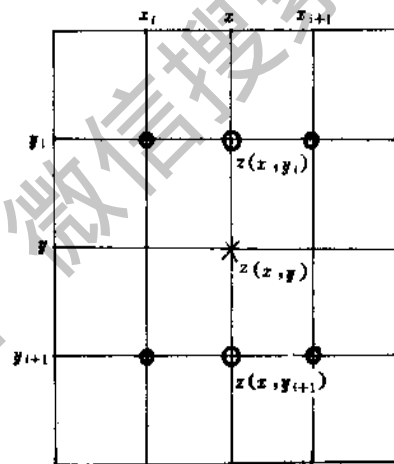


图 33-33 二元拟线性几何示意图

由式(33-1)可知

$$\begin{aligned} Z(x, y_j) &= Z(x_1, y_j) A_1(x) + Z(x_{i+1}, y_j) A_{i+1}(x) \\ Z(x, y_{j+1}) &= Z(x_1, y_{j+1}) A_1(x) + Z(x_{i+1}, y_{j+1}) A_{i+1}(x) \\ Z(x, y) &= Z(x, y_j) B_j(y) + Z(x, y_{j+1}) B_{j+1}(y) \\ &= Z(x_1, y_j) A_1(x) B_j(y) + Z(x_{i+1}, y_j) \\ &\quad \times A_{i+1}(x) B_j(y) + Z(x_1, y_{j+1}) A_1(x) B_{j+1}(y) \\ &\quad + Z(x_{i+1}, y_{j+1}) A_{i+1}(x) B_{j+1}(y) \quad (33-6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z(x, y) &= \sum_{q=1}^{j+1} \sum_{p=j}^{j+1} \left( \prod_{\substack{u=1 \\ u \neq q}}^{j+1} \frac{x-x_u}{x_q-x_u} \right) \\ &\quad \times \left( \prod_{\substack{u=1 \\ u \neq p}}^{j+1} \frac{y-y_u}{y_p-y_u} \right) Z(x_q, y_p) \end{aligned}$$

式中  $A_i(x) = \frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}}$ ,  $A_{i+1}(x) = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}$   
 $B_j(y) = \frac{y - y_{j+1}}{y_j - y_{j+1}}$ ,  $B_{j+1}(y) = \frac{y - y_j}{y_{j+1} - y_j}$

b. 二元三点插值

按式(33-5)形式推出二元三点插值公式

$$L(x, y) = \sum_{G=1}^{i+1} \sum_{P=1}^{j+1} \left( \prod_{\substack{U=1 \\ U \neq Q}}^{i+2} \frac{x - x_U}{x_Q - x_U} \right) \times \left( \prod_{\substack{V=1 \\ V \neq P}}^{j+2} \frac{y - y_V}{y_P - y_V} \right) L(x_Q, y_P) \quad (33-7)$$

3.1.2 数表公式化

插值的实质是根据数表建立公式的一种方法, 这种方法存在着两个明显的缺点:

一是插值公式在几何上是用严格通过各个节点的曲线, 来近似代替数表函数曲线。但通过实验所得到的数表函数的数据  $(x_i, y_i)$  是有离散性的, 个别点离散很大, 误差较大。因而用插值方法建立的公式, 必然保留了这些误差。二是当要求精度高时, 用插值方法所得到的公式形式比较复杂, 使用不方便。因此, 在工程上常采用拟合的方法来构造近似曲线。该曲线并不严格通过所有节点, 而是尽可能反映所给数据的趋势。这种方法称为数据的曲线拟合, 或称数表公式化。曲线拟合所得到的公式称为回归方程, 其理论基础为最小二乘法。

(1) 最小二乘法

一组数据序列  $(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, m$  用一个多项式来拟合, 如图 33-34。

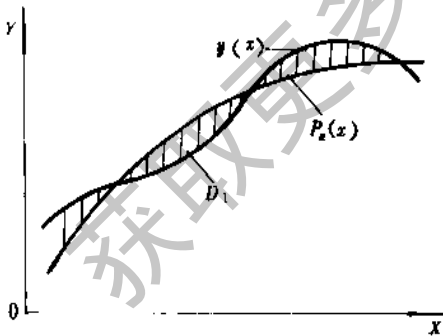


图 33-34 曲线拟合

$$P_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

$$= \sum_{j=0}^n a_j x^j \quad (33-8)$$

如果把  $x_i$  处的偏差记为

$$D_i = P_n(x_i) - y_i$$

则拟合要求, 使其偏差  $D_i$  的总合最小。由于  $D_i$  有正负之分, 因此为了真正达到最好拟合, 要求各节点的偏差平方和为最小, 这就是拟合问题的最小二乘法。

设偏差的平方和为  $\varphi(a_0, a_1, \dots, a_n)$

$$\varphi = \sum_{i=1}^m D_i^2 = \sum_{i=1}^m (P_n(x_i) - y_i)^2 \quad (33-9)$$

只要求出  $\varphi_{\min}$  时的  $a_j (j=0, 1, \dots, n)$  代入(33-8)所得的  $P_n(x)$  即为偏差平方和极小的拟合曲线方程, 由此可见, 曲线拟合可归结为多元函数求极值问题。即

$$\frac{\partial \varphi}{\partial a_k} = 0 \quad (k=0, 1, 2, \dots, n)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial a_k} &= \sum_{i=1}^m 2 \left( \sum_{j=0}^n a_j x_i^j - y_i \right) \frac{\partial \varphi}{\partial a_k} \sum_{j=0}^n a_j x_i^j \\ &= 2 \sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=0}^n a_j x_i^{j+k} - y_i x_i^k \right) \\ &= 2 \left( \sum_{j=0}^n a_j \sum_{i=1}^m x_i^{j+k} - \sum_{i=1}^m y_i x_i^k \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{令 } S_L &= \sum_{i=1}^m x_i^L \quad (L=0, 1, 2, \dots, 2n) \\ t_k &= \sum_{i=1}^m y_i x_i^k \quad (k=0, 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

$$\text{则 } \frac{\partial \varphi}{\partial a_k} = 2 \left( \sum_{j=0}^n a_j S_{j+k} - t_k \right) = 0$$

$$\sum_{j=0}^n a_j S_{j+k} = t_k \quad (k=0, 1, 2, \dots, n)$$

写成线性方程组形式

$$\left. \begin{aligned} s_0 a_0 + s_1 a_1 + \dots + s_n a_n &= t_0 \\ s_1 a_0 + s_2 a_1 + \dots + s_{n+1} a_n &= t_1 \\ \dots & \\ s_n a_0 + s_{n+1} a_1 + \dots + s_{2n} a_n &= t_n \end{aligned} \right\} \quad (33-10)$$

解式(33-10)求出  $a_j (j=0, 1, 2, \dots, n)$  代入式(33-8)即可求出  $P_n(x)$  表达式。

在实际应用时一般取  $n < m$ , 希望  $n \ll m$ , 当  $n = m$  时求得多项式为拉格朗日插值多项式。当  $n > m$  时没有确定解。

(2) 回归方程的常用类型

回归方程常用的类型有线性回归、抛物线回归、可化为线性回归的曲线及多元回归等。下面介绍最常用的几种:

1) 线性回归及抛物线回归



$$y = a_0 + a_1x, \quad y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

显然这两个方程用上述方法直接求解。

2) 可化为线性回归的曲线

在工程实验中的数据序列是多样的,把这些数据画在坐标纸上,呈现各种形状,如疲劳曲线、滑动轴承中与轴承特性数有关的曲线。如用多项式去构造近似曲线,难于满足精度要求,这时根据数据的趋势,采用适当的变量替换,常使问题得以解决。

a. 幂回归

$$y = ax^b \quad (b \text{ 为实数}) \quad (33-11)$$

$$\ln y = \ln a + b \ln x$$

$$P_1(x) = a_0 + a_1x$$

式中  $P_1(x) = \ln y, a_0 = \ln a, a_1 = b, x = \ln x$ 。

拟合求出  $a_0, a_1$  则

$$a = e^{a_0}, b = a_1$$

得到了拟合方程

$$y = ax^b$$

b. 指数回归

$$y = ae^{bx} \quad (33-12)$$

$$\ln y = \ln a + bx$$

$$P_1(x) = a_0 + a_1x$$

式中  $P_1(x) = \ln y, a_0 = \ln a, a_1 = b, x = x$

### 3.2 数值分析方法

#### 3.2.1 数学模型的程序化

一个工程问题,在建立了它的数学模型之后,求解此模型的计算方法和程序结构可以有多种方案。为了使 CAD 能达到较好的效果,在程序化过程中,需要对各种算法和程序方案作必要的分析比较,从中找出最佳方案,供设计选用。

程序化方案的优劣是根据一定的优化目标评定的,一般从计算精度、计算量、占用的内存单元数量和程序结构的简易程度等几个方面来分析比较。这些也是程序化的基本要求。

##### (1) 解题的精度

程序化的最基本的要求是保证能在计算机上解得符合要求的结果,包括必要的解题精度,但任何工程技术问题的求解总是有误差的。除了在建立数学模型时,由于总要忽略一些次要的因素以简化模型而产生的某些误差外,在解题过程中,还会产生多种误差。其中与程序化有关的主要是计算方法本身造成的“截断误差”。

例如,由高等数学可知,微分、积分和无穷级数

的求和等都是通过极限过程来定义的,但计算机只能完成有限次的算术运算的逻辑运算,因此,在用计算机解题时,需对解题方案作必要的加工。这种加工通常表现为某种无穷过程的“截断”,即只取其中有限项而略去其它各项,产生了所谓的“截断误差”。

例如,在计算指数  $e^x$  时,只是截取其展开级数

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots$$

中有限的  $n+1$  项,求出

$$S_n(x) = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!}$$

作为  $e^x$  的近似值。根据泰勒(Taylor)余项定理,

$s_n(x)$  关于  $e^x$  的截断误差为

$$R_n(x) = \frac{x^{n+1}}{(n+1)!} e^{\theta x}, 0 < \theta < 1$$

在一般计算中,总是给定一个允许的误差  $\epsilon$ 。在确定算法时,必须保证准确值  $Z^*$  与其近似值  $Z$  之间的差别不大于  $\epsilon$ ,即满足

$$|Z^* - Z| \leq \epsilon$$

$\epsilon$  就是近似值  $Z$  的误差限。

为了保证解题的精度,在程序设计时,常要对截断误差进行分析和检查,并在程序中编入相应语句来保证计算精度。

##### (2) 计算量和解题时间

计算量直接影响机器解题时间。为提高计算机的效率,缩短解题时间,总希望解题方案的计算量尽可能少些。这就要求对不同的计算方法和程序方案进行计算量的统计和比较。

全面精确地统计解题过程中各个运算操作的机器时间是非常复杂和烦琐的。事实上也没有这种必要。为了简化统计工作,一般只抓住费时较多的运算环节而略去费时较少运算环节。例如,加减法操作的机器时间要比乘除法的少得多,因此,对于和式  $s = \sum_i a_i b_i$ ,就可以只统计乘法次数。又如函数调用的操作时间要比乘除法多得多(因为函数调用中,通常要进行多次加减乘除的运算),因此,对于计算式  $s = \sum_i a_i f(x_i)$ ,就可以只统计函数  $f(x)$  的调用次数来简化计算量的统计。

下面通过一个实例来具体分析比较不同计算方法的计算量。

设要对给定的  $x$  计算下列  $n$  次多项式:

$$P(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n \quad (33-13)$$

对这个计算式,可以有多种算法和程序方案。



今举三种方案作分析比较。

1) 按式(33-13)直接逐项求出乘积后求和。根据上述原则,统计计算量时,只需统计乘法。式(33-13)的右端自左至右每项的乘法次数依次为 0、1、2、 $\dots$ 、 $n-1$ 、 $n$ 。算式的乘法总数为  $\frac{n(n+1)}{2}$ 。

2) 上述计算方案中,有关  $x$  的幂次方的计算重复很多。如  $x^k$  需把  $x$  连乘  $k-1$  次,而事实上由于  $x^k = x^{k-1}x$ ,因此,在计算  $x^k$  时完全可以利用它左项中  $x^{k-1}$  的结果,把它再乘上一个  $x$  就可获得结果,不必再作  $k-1$  次的连乘。同样,计算  $x^{k+1}$  时又可利用它左项  $x^k$  的结果。以此类推,就可避免大量的重复计算而减少解题的计算量。

若用  $t_k$  表示  $x$  的  $k$  次幂,即  $t_k = x^k$ ;又用  $S_k$  表示式(33-13)左端前  $k+1$  项之和,即:

$$S_k = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{k-1}x^{k-1} + a_kx^k$$

由于  $t_k = x^k = xt_{k-1}$  以及  $S_k = S_{k-1} + a_kx^k$ ,因此,可得式(33-13)的另一种形式为

$$\begin{cases} t_k = xt_{k-1} \\ S_k = S_{k-1} + a_k t_k \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (33-14)$$

取初值  $t_0 = 1$  及  $S_0 = a_0$ ,对  $k=1, 2, \dots$ ,直到  $n$  反复执行式(33-14),最终得到的  $S_n$  就是所要求的结果  $P(x)$ 。

式(33-14)称作式(33-13)的递推公式。此公式的每一步需做两次乘法。因此,总的计算量为  $2n$  次乘法,为第一种方案总计算的  $\frac{4}{n+1}$  倍。由此可见,当  $n > 3$  时,第二种方案可减少计算量。 $n$  愈大,两种方案的计算量的差别也愈大。

3) 若把式(33-13)按降幂的次序排列并用括号写成下列嵌套形式:

$$P(x) = (\dots((a_nx + a_{n-1})x + a_{n-2})x + \dots + a_1)x + a_0 \quad (33-15)$$

则  $P(x)$  就可以按另一种递推公式来计算。式(33-15)中第  $k$  层(由内向外)括号内的计算结果  $S_k$  就是它前层括号内的计算结果  $S_{k-1}$  乘上  $x$  后再加上其右项系数  $a_{n-k}$ ,即

$$S_k = S_{k-1}x + a_{n-k}, k = 1, 2, \dots, n \quad (33-16)$$

式(33-15)或式(33-16)的总计算量为  $n$  次乘法,仅为第二种方案的一半。

从上述三种方案的分析比较可以看出,减少计算式(33-13)的计算量的措施有两条,即:

1) 把复杂的多项式改编为递推公式以减少相同内容的重复计算;

2) 用括号把含有共同因子的若干项括起来,把共同的乘除因子提到括号外面以减少乘除次数。

以上两点也是一般计算式程序化的基本原则。类似的具体方法还有

1) 把重复多次的复杂表达式用中间变量来寄存。如语句

$$A = X + \text{SIN}(\text{ALPHA} * 3.1415926/180.0)$$

$$B = Y / \text{SIN}(\text{ALPHA} * 3.1415926/180.0)$$

可改写成

$$C = \text{SIN}(\text{ALPHA} * 3.1415926/180.0)$$

$$A = Y + C$$

$$B = Y/C$$

改写后,由于采用了中间变量  $C$ ,避免了对  $\text{SIN}$  函数的重复调用和计算。

2) 与括弧类似,把循环体内不变化的表达式部分,提到循环体外进行计算。

(3) 内存单元的需用量

机器的内存容量是有限的,而有些大型题目需用的内存单元很多。超过允许的内存容量时,就不能解题,因此,应尽量节约程序的内存单元需用量或程序的存贮量。

压缩存贮量的一个简单而有效的方法是,尽量利用原有的工作单元进行计算。如使用自动变量,动态数组等。

对数据很多的大题目,往往需要用调外存的方法来节约所需的内存单元。通常把数据存在外存中,并把大题目分成若干个小题目。计算时,按小题目逐个分别从外存中调入数据,进行计算后,又分别把结果送到外存中,写成外存文件供进一步运算调用。这样,解题所需的内存量只是小题目所需的量而已,大大压缩了原来解大题目所需的内存量。例如两个阶数很高的矩阵相乘时,所需的内存单元很多。此时,可根据矩阵分块法则,把它分成若干块,按上述方法逐块分别计算而达到节约内存量的目的。

(4) 程序的结构

CAD 是一门应用技术,它的有关程序总是要随着生产和技术的发展而不断地修改、补充、完善和更新。因此,程序的逻辑结构要简单清晰,便于阅读和理解,为以后的不断检查、修改提供方便。另一方面,程序是通过一定的外部介质存贮的,如穿孔纸带、穿孔卡片、磁鼓、磁盘、磁带以及内存贮器等。如果程序的篇幅大,则存放的外部介质的需要量就要增加,程序编制工作量也大,运算时输入过程也会延长,降低了工作效率。此外,在解题时源程序和目标程序都要

占用内存单元,较多的程序的篇幅也增加了内存的需用量。因此程序化时总希望篇幅少些。具体措施有:

1)算法递推化和程序循环化 采用循环程序是减少程序篇幅最常用的方法。为此计算式需进行递推化。所谓递推化的基本思想是把一个复杂的计算过程归结为简单过程的多次重复。这样,在程序化时就可以用循环程序来实现。如前所述,递推化还可减少计算量和内存量。因此,尽可能使算法递推化是程序化中的一项基本原则。

2)程序分段化和过程通用化 对一个较大的题目,把程序分段,并把其中计算方法与步骤类同的部分编成通用的过程段,不仅可减少篇幅,还可使用程序的结构简单清晰,便于阅读和修改。因此是程序化中常用的一种方法。在 CAD 中,通常把设计中的各种典型计算式和计算过程分段单独编成通用的程序过程,建立用户程序库,供各个设计题目的主程序需要时调用。

### 3)编码的结构化

结构化编码是一种能用有限数量的程序结构去表示程序控制逻辑的技术。每个程序结构只有一个入口和出口,因此可以支持自顶向下的程序设计方法。每个程序结构仅执行一个操作,可以和其它程序结构结合或嵌套。使用顺序、重复和条件的选择,可构成具有任何复杂程度算法程序。在结构化编码中,应严格控制 GOTO 语句的使用,仅在下列情况下方可使用:

- a. 用一个非结构化的程序设计语言实现一个结构化的程序设计;
- b. 不使用 GOTO 时会模糊功能而不是澄清功能。

一个程序模块的长度应当予以限制,通常不应大于 2~3 页打印纸长度。这样的程序具有可读性,易于理解和验证,保证程序的正确性和可维护性。

以上各方面的要求,不是都能全面满足的,有时甚至彼此之间还会有些矛盾。因此,具体设计时,还要根据情况区别主次、全面掌握。

根据上述分析可知,影响程序化质量的最根本的也是决定性的因素是计算方法。以下几节将阐述工程技术中最基本的、最常用的计算式的程序化方法。

## 3.2.2 方程求根

工程技术中的许多问题常可归结为解函数方程

$$f(x) = 0$$

方程的解  $x^*$  称作方程的根,或称函数  $f(x)$  的零点。

对于一些较简单的方程,常可根据公式直接计算出它的根。如代数中的二次方程

$$ax^2 + bx + c = 0$$

的根  $x_1$  和  $x_2$  可由下列公式直接计算求得。

$$x_1 = \frac{-b}{2a} + \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

$$x_2 = \frac{-b}{2a} - \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

求解这种方程的程序,也可根据计算公式直接编制。

由于客观事物的复杂性,工程技术中的一些函数方程(包括经验公式)往往比较复杂,有时很难直接按公式求根。此时常用另一种方法,即先确定根的某个粗糙的近似值,即所谓初始近似值,然后再把此初始近似值逐步加工成满足精度要求的结果。

根的初始近似值可按下述方法和步骤确定。

由解析几何可知,方程  $f(x) = 0$  的实单根在几何上表示曲线  $y = f(x)$  与  $x$  轴的交点  $x^*$  (图 33-35)。因此在  $x^*$  附近的左右两点,它们的函数值不是同号。我们可以根据这个原理来确定某个区间  $(a, b)$  内的单个实根  $x^*$  的初始近似值。方法是:从左端点  $x = a$  出发,按某个预选的步长  $h$  一步一步地向右跨。每跨一步进行一次根的“扫描”,即检查每一步的起点  $x_0$  和终点  $x_0 + h$  的函数值是否同号。如果发现  $f(x_0)$  与  $f(x_0 + h)$  的非同号,即

$$f(x_0) f(x_0 + h) \leq 0$$

则所求的根  $x^*$  必在点  $x_0$  与  $x_0 + h$  之间。此时就可取  $x_0$  或  $x_0 + h$  作为根的初始近似值。

求得根的初始近似值后,再对它进行细加工,使之逐步精确化。常用的精确化方法有以下几种。

### (1) 二分法

假定按上述步骤得知方程  $f(x) = 0$  在区间  $(a, b)$  内有且仅有一个根  $x^*$ ,则可按下述方法与步骤求得满足一定精度要求的近似根。

1) 取中点  $x_0 = \frac{1}{2}(a + b)$ ,将区间  $(a, b)$  分为两半。

2) 对其中半个区间如  $(a, x_0)$  进行根的“扫描”,即检查  $f(x_0)$  与  $f(a)$  是否同号。若为同号,即  $f(x_0)f(a) > 0$  说明  $x^*$  不在区间  $(a, x_0)$  内而是在区间  $(x_0, b)$  内(图 33-35a),于是丢弃  $ax_0$  部分,在剩下的有根区间  $(x_0, b)$  中,把  $x_0$  作为  $a_1, b$  作为  $b_1$ ,建立了新区间  $(a_1, b_1)$ ;若  $f(x_0)$  与  $f(a)$  为异号(图

提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

星球

33-35b), 就丢弃  $x_0b$  部分并把  $a$  作为  $a_1, x_0$  作为  $b_1$ , 压缩了一半。同样建立新的有根区间  $(a_1, b_1)$ 。这样, 区间  $(a, b)$  被

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

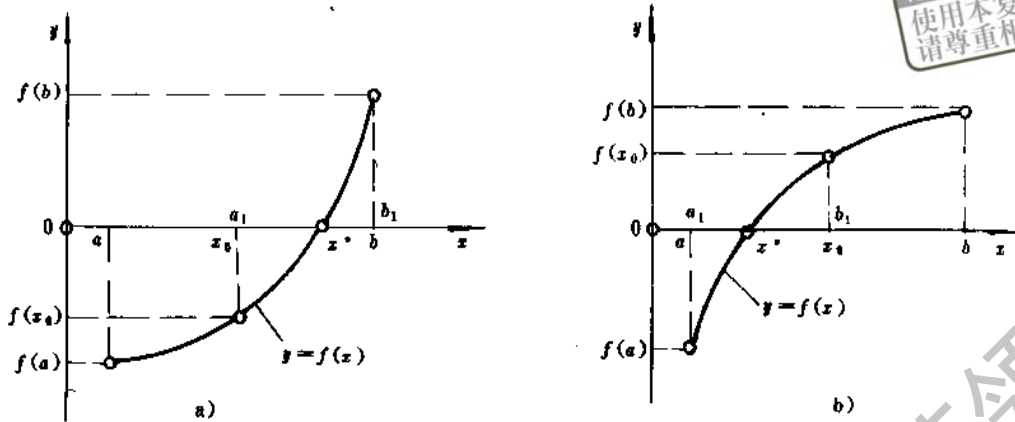


图 33-35 二分法求根

3) 对压缩了的有根区间  $(a_1, b_1)$  按上述步骤再进行根的扫描和判定新的有根区间  $(a_2, b_2)$ , 其长度  $(a_1, b_1)$  的一半。

如此反复二分下去, 便可得到一系列有根区间

$$(a, b), (a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_k, b_k), \dots$$

其中每个区间都是前一个区间的一半。显然若二分过程无限地继续下去, 这些区间最终必收缩于一点  $x^*$ , 该点  $x^*$  就是所求的根。

每次二分后, 设取有根区间  $(a_k, b_k)$  的中点

$$x_k = \frac{1}{2}(a_k + b_k)$$

该序列必以根  $x^*$  为极限。

实际计算时, 不可能也不必完成这个无限的过程, 因为数值分析的结果允许带有一定的误差  $\epsilon$ 。只要有根区间  $(a_{k-1}, b_{k-1})$  的长度小于  $\epsilon$ , 则结果  $x_k$  将按所需的精度要求满足方程。相应的程序如下:

```

SUBROUTINE BISECT(A,B,EPS,X,Y)
  A1=A
  B1=B
  Y0=F(A)
1  X=(A1+B1)/2.0
  Y=F(X)
  IF(Y*Y0)2,2,3
2  B1=X
  GOTO 4
3  A1=X
4  IF(ABS(B1-A1).GT.EPS)GOTO 1
  RETURN
    
```

END

程序中 A,B-----求根区间的左右端点;

EPS-----允许的误差;

X-----所求的根;

Y-----近似根在 X 点的函数值;

F-----所解函数方程的函数名。

(2) 牛顿迭代法

迭代法是一种重要的逐次逼近的方法。此方法先确定根的某个初始近似值, 然后用某个固定公式反复校正根的近似值, 使之逐步精确化, 最后得到满足精度要求的结果。例如求方程

$$x^3 - x - 1 = 0$$

在  $x=1.5$  附近的一个根。则可将此方程改写成

$$x = \sqrt[3]{x+1}$$

用所给的初始近似值  $x_0=1.5$  代入上式的右端, 得到

$$x_1 = \sqrt[3]{x_0 + 1} = 1.35721$$

计算结果表明,  $x_0$  并不满足方程。再改用  $x_1$  作为近似值代入, 又得

$$x_2 = \sqrt[3]{x_1 + 1} = 1.3308$$

由于  $x_2$  与  $x_1$  仍有偏差, 再取  $x_2$  作为近似值继续迭代下去, 直到获得满足精度要求的结果为止。

迭代法要求逐次迭代的近似值数列  $x_0, x_1, x_2, \dots$  有极限, 即迭代格式是收敛的。否则不能求得结果, 限制了它的应用, 因此, 常用牛顿迭代法(简称牛顿法)或弦截法。

牛顿法的基本思想是设法将非线性方程  $f(x)$

= 0 逐步转化为某种线性方程来求解。

设已知函数  $f(x) = 0$  的一个近似根  $x_0$ , 则函数  $f(x)$  在点  $x_0$  附近可用一阶泰勒多项式

$$p_1 = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$$

来近似。因此方程  $f(x) = 0$  在点  $x_0$  附近可近似地表示为线性方程

$$f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) = 0$$

设  $f'(x_0) \neq 0$  则由上式可得

$$x = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

若取上式中算出  $x$  作为原方程的新的近似根  $x_1$  代替此式中的  $x_0$  进行迭代, 则可得一系列的新根  $x_2, x_3, \dots, x_k, x_{k+1}, \dots$ 。这种迭代法称为牛顿法。其迭代公式是

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \quad (33-17)$$

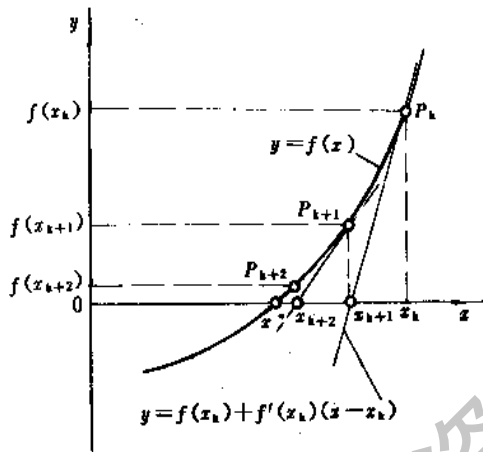


图 33-36 牛顿法的几何解释

牛顿法的几何解释如图 33-36 所示。方程  $f(x) = 0$  的根  $x^*$  在几何上表示曲线  $y = f(x)$  与  $x$  轴的交点。设  $x_k$  是  $x^*$  的某个近似位置, 过曲线  $y = f(x)$  上的对应点  $P_k(x_k, f(x_k))$  引切线, 则此切线方程为

$$y = f(x_k) + f'(x_k)(x - x_k)$$

在切线与  $x$  轴的交点  $x_{k+1}$  处,  $x = x_{k+1}, y = 0$ 。代入上式得

$$f(x_k) + f'(x_k)(x_{k+1} - x_k) = 0$$

此式就是迭代公式(33-17)的另一形式。

由此可见, 由迭代公式求得的新的近似根  $x_{k+1}$  就是过  $P_k$  点所作切线与  $x$  轴的交点。下一步的迭代就是由  $y = f(x)$  上的对应点  $P_{k+1}$  引切线求出它与  $x$  轴的新交点  $x_{k+2}$ 。如此迭代下去, 即可使切线与

$x$  轴的交点  $x_1, x_2, \dots, x_k, x_{k+1}, \dots$  逐步逼近  $x^*$  而求得结果。因而牛顿法也称切线法。

可以证明牛顿法恒收敛, 而且收敛速度快, 因此, 计算量少, 解题时间短, 是一种重要的迭代法。

迭代是一个无限的过程。但实际计算时, 只能迭代有限次, 因此就有一个控制迭代次数的问题。教学中可证明, 对于收敛的迭代法, 只要前后两次迭代值的差(称为迭代偏差)的绝对值  $|x_k - x_{k-1}|$  不超过允许的误差  $\epsilon$ , 即满足条件

$$|x_k - x_{k-1}| \leq \epsilon$$

则  $x_1$  的误差就不会超过  $\epsilon$ , 即符合解题的要求。

根据牛顿迭代公式(33-17), 可得

$$x_{k+1} - x_k = -\frac{f(x_k)}{f'(x_k)}$$

因此, 在牛顿迭代法中, 只要满足

$$\left| \frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \right| \leq \epsilon \quad (33-18)$$

在程序化中, 就可以根据式(33-18)来控制程序运行中的迭代次数。若已知  $f(x)$  的导数  $f'(x)$  及允许误差  $\epsilon$ , 则可编出牛顿的程序。用 F(X) 与 FP(X) 标识对  $f(x)$  及  $f'(x)$  的调用, EPS 标识  $\epsilon$ , 则程序为

```

5 A = -F(X)/FP(X)
  X = X + A
  IF (ABS(A) .GT. EPS) GOTO 5

```

对于复杂的函数  $f(x)$ , 使用牛顿法是不方便的。因为求此函数的导数也相当复杂, 为避免导数计算, 常用下述弦截法。

### (3) 弦截法

假如用差商  $\frac{f(x_k) - f(x_0)}{x_k - x_0}$

替换牛顿公式(33-17)中的导数  $f'(x_k)$ , 则迭代公式就成为下列离散化的形式。

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f(x_k) - f(x_0)}(x_k - x_0) \quad (33-19)$$

此公式的几何意义如下:  $\frac{f(x_k) - f(x_0)}{x_k - x_0}$

由图 33-37 可见, 差商表示弦线  $P_0P_k$  的斜率。该弦线的方程是

$$y = f(x_k) + \frac{f(x_k) - f(x_0)}{x_k - x_0}(x - x_k)$$

若将弦线与  $x$  轴的交点  $x_{k+1}$  的坐标代入, 即可得式(33-19)。因此由式(33-19)求得的近似根  $x_{k+1}$  就是



弦线与 x 轴的交点。再过 P<sub>k</sub> 与 P<sub>k+1</sub> 作新的弦线,又可得新的近似根 x<sub>k+2</sub>。如此下去就可使近似根逐步逼近 x\* 而求得结果。这种算法称作弦截法。

如果把前两步的迭代结果 x<sub>k</sub> 和 x<sub>k-1</sub> 代入式(33-19)来求新的近似根 x<sub>k+2</sub>,即公式(33-19)改为下列形式:

$$x_{k+2} = x_{k+1} - \frac{f_{k+1}}{f_{k+1} - f_k}(x_{k+1} - x_k) \tag{33-20}$$

则收敛速度较快,称为快速弦截法。

由公式(33-19)或(33-20)可见,计算近似根时,都要用到两个值 x<sub>0</sub>, x<sub>k</sub> 或 x<sub>k</sub>, x<sub>k-1</sub>。因此,在用弦截法时,计算前必须选给出两个初始值。我们可以用前述逐步“扫描”的方法,求出有根区间,取此有根区间的两个端点作为弦截法的两个初始值。

### 3.2.3 线性方程组的求解

线性方程组的解法大致分为直接法与迭代法两大类。迭代法的算法简单,容易编制程序。但它要求方程组的系数矩阵具有“主对角线优势”。否则不收敛而得不到所求的解。直接法的计算量较小,且可事先估计所需的机器时间。因此在条件(如机器的内存容量等)许可的情况下,大都用直接法。其中最简单而常用的一种直接法是消去法。

消去法的基本思想是将各个方程进行初等变换,逐步减少方程中的变元数目,最终使每个方程只含有一个变元而得到所求的解。

例如线性方程组

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = a_{1,n+1} \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n = a_{2,n+1} \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n = a_{3,n+1} \\ \dots \dots \dots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n = a_{n,n+1} \end{cases} \tag{33-21}$$

用消去法求解时,可按下列步骤进行。

第一步:先将式(33-21)第一个方程中 x<sub>1</sub> 的系数化为 1,并从其余方程中消去变元 x<sub>1</sub>。具体是:

(1) 将式(33-21)中的第一个方程的各项除以 a<sub>11</sub> 得

$$x_1 + \frac{a_{12}}{a_{11}}x_2 + \frac{a_{13}}{a_{11}}x_3 + \dots + \frac{a_{1n}}{a_{11}}x_n = \frac{a_{1,n+1}}{a_{11}}$$

令 a<sub>12</sub><sup>(1)</sup> = a<sub>12</sub>/a<sub>11</sub>; a<sub>13</sub><sup>(1)</sup> = a<sub>13</sub>/a<sub>11</sub>; … (即用 a<sub>ij</sub><sup>(1)</sup> 表示经第一步消元后 a<sub>ij</sub> 的新值),则上式可写成

$$x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + a_{13}^{(1)}x_3 + \dots + a_{1n}^{(1)}x_n = a_{1,n+1}^{(1)}$$

(2) 将上式中的各项乘上 (-a<sub>21</sub>) 后与式(33-21)

中的第二个方程相加,即可消去该方程中的变元 x<sub>1</sub> 而得

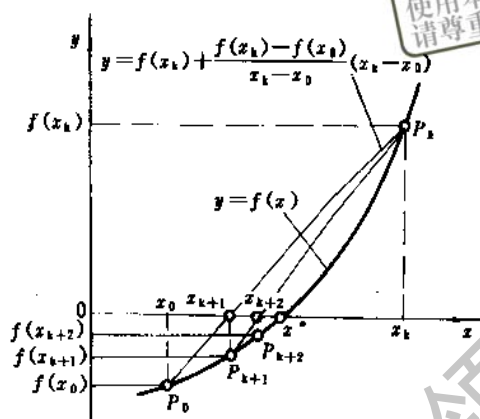
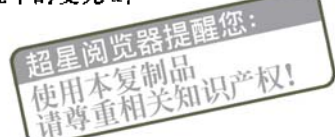


图 33-37 弦截法的几何意义

$$(a_{22} - a_{21}a_{12}^{(1)})x_2 + (a_{23} - a_{21}a_{13}^{(1)})x_3 + \dots + (a_{2n} - a_{21}a_{1n}^{(1)})x_n = a_{2,n+1} - a_{21}a_{1,n+1}^{(1)}$$

或

$$a_{22}^{(1)}x_2 + a_{23}^{(1)}x_3 + \dots + a_{2n}^{(1)}x_n = a_{2,n+1}^{(1)}$$

其中 a<sub>22</sub><sup>(1)</sup> = a<sub>22</sub> - a<sub>21</sub>a<sub>12</sub><sup>(1)</sup>, a<sub>23</sub><sup>(1)</sup> = a<sub>23</sub> - a<sub>21</sub>a<sub>13</sub><sup>(1)</sup>, … 或写成

$$a_{2j}^{(1)} = a_{2j} - a_{21}a_{1j}^{(1)}, j = 2, 3, \dots, n, n+1$$

仿此,可消去式(33-21)中其他各个方程中的变元 x<sub>1</sub> 而把式(33-21)变换成

$$\begin{cases} x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + a_{13}^{(1)}x_3 + \dots + a_{1n}^{(1)}x_n = a_{1,n+1}^{(1)} \\ a_{22}^{(1)}x_2 + a_{23}^{(1)}x_3 + \dots + a_{2n}^{(1)}x_n = a_{2,n+1}^{(1)} \\ a_{32}^{(1)}x_2 + a_{33}^{(1)}x_3 + \dots + a_{3n}^{(1)}x_n = a_{3,n+1}^{(1)} \\ \dots \dots \dots \\ a_{n2}^{(1)}x_2 + a_{n3}^{(1)}x_3 + \dots + a_{nn}^{(1)}x_n = a_{n,n+1}^{(1)} \end{cases} \tag{33-22}$$

第二步:按上述同样的步骤,将式(33-22)中的第二个方程中 x<sub>2</sub> 的系数化为 1(用 a<sub>22</sub><sup>(1)</sup> 遍除各项),并从其余方程中消去变元 x<sub>2</sub> 而把式(33-22)变换成

$$\begin{cases} x_1 + 0 + a_{13}^{(2)}x_3 + \dots + a_{1n}^{(2)}x_n = a_{1,n+1}^{(2)} \\ x_2 + a_{23}^{(2)}x_3 + \dots + a_{2n}^{(2)}x_n = a_{2,n+1}^{(2)} \\ a_{33}^{(2)}x_3 + \dots + a_{3n}^{(2)}x_n = a_{3,n+1}^{(2)} \\ \dots \dots \dots \\ a_{n3}^{(2)}x_3 + \dots + a_{nn}^{(2)}x_n = a_{n,n+1}^{(2)} \end{cases}$$

其中,第二个方程中的各系数

$$a_{2j}^{(2)} = a_{2j}^{(1)}/a_{22}^{(1)}, j = 3, 4, \dots, n, n+1$$

其它各方程中的系数

$a_{ij}^{(2)} = a_{ij}^{(1)} - a_{i2}^{(1)} a_{2j}^{(2)}, j = 3, 4, \dots, n, n+1$   
 及  $i \neq 2$  即  $i = 1, 3, 4, \dots, n$ 。

依此类推,直到每个方程仅有一个变元为止。于是最终经  $n$  步消元而成为以下形式,从而得到所求的解。

$$\begin{cases} x_1 = a_{1,n+1}^{(n)} \\ x_2 = a_{2,n+1}^{(n)} \\ \dots\dots\dots \\ x_n = a_{n,n+1}^{(n)} \end{cases}$$

上述方法称为约当(Jordan)消去法。它的每一步消元过程包括下列两部分的运算。

$$a_{kj}^{(k)} = a_{kj}^{(k-1)} / a_{kk}^{k-1}, \quad j = k+1, k+2, \dots, n+1 \quad (33-23)$$

$$a_{ij}^{(k)} = a_{ij}^{(k-1)} - a_{kk}^{(k-1)} a_{ki}^{(k)}, \quad j = k+1, k+2, k, \dots, n+1 \quad (33-24)$$

其中,  $i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, n$ , 及  $i \neq k, k$  也是消元过程的步骤,第一步消元中  $k = 1$ ; 第二步消元中  $k = 2$ , 整个消元过程中,  $k = 1, 2, \dots$  直到  $k = n$  为止。

由式(33-23)可见,每一步消元过程中,都要用  $a_{kk}$  作为除数进行运算。如果  $a_{kk}$  的绝对值很小或为零,则计算过程就会严重损失精度,甚至在计算机上造成溢出而中断。因此,须事先进行适当处理。具体方法是:在每一步(如第  $k$  步)消元中,首先检查变元

$x_k$  的各个系数  $a_{kk}^{k-1}, a_{k+1,k}^{k-1}, \dots, a_{n,k}^{k-1}$ , 从中选出绝对值为最大者作为第  $k$  步的主元素。设主元素在第 1 个方程,则将第 1 方程与第  $k$  个方程互易位置,使绝对值为最大的主元素成为新的  $a_{kk}^{k-1}$ , 然后再进行消元。这种方法称为“主元消去法”。

由上可知,解方程组的运算实际上是它各个系数(包括等号右边的右端项)的运算。为此,可用这些系数所构成的增广矩阵作为方程组的一种简化形式。如方程组(33-21)的增广矩阵为

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & a_{1,n+1} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & a_{2,n+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} & a_{n,n+1} \end{bmatrix}$$

方程组(33-21)的求解过程,也就是把上述矩阵变换成矩阵

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & a_{1,n+1} \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & a_{2,n+1} \\ \dots\dots\dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & a_{n,n+1} \end{bmatrix}$$

的过程。其中末一列元素  $a_{1,n+1}, a_{2,n+1}, \dots, a_{n,n+1}$  就是方程的解。在程序中可用体积为  $N \times M$  ( $M = N+1$ ) 的二维数组 A 来标识方程组的增广矩阵。

具体程序如下

```

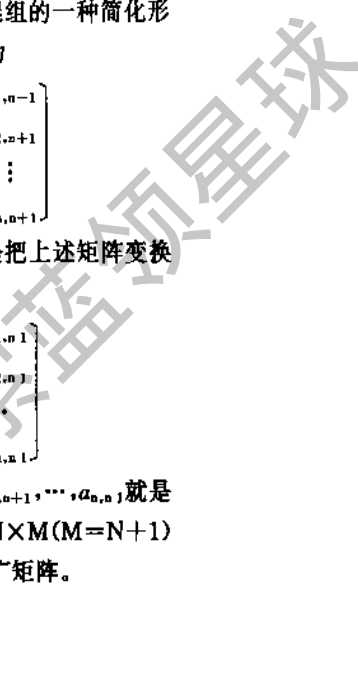
SUBROUTINE SIMUL(A,N,M,ISW)
DIMENSION A(N,M)
DO 10 K=1,N
P=0.0
DO 2 I=K,N
IF(P-ABS(A(I,K)))1,2,2
1 P=ABS(A(I,K))
L=I
2 CONTINUE
IF(P-1.0E-10)3,3,4
3 ISW=1
RETURN
4 DO 5 J=K,M
TEMP=A(K,J)
A(K,J)=A(L,J)
5 A(L,J)=TEMP

```

找主元素。将找出的主元素赋与 P,并记下主元素所在的行赋与 L

判定是否为奇异方程组,当  $P \leq 10^{-10}$  时为奇异,记下 ISW=1,并返回

主元素所在行(L行)与 K 行各元素互易位置





```

KP1=K+1
DO 6 J=KP1,M
6   A(K,J)=A(K,J)/A(K,K)
DO 9 I=1,N
IF(I-K)7,9,7
7   DO 8 J=KP1,M
8   A(I,J)=A(I,J)-A(I,K)*A(K,J)
9   CONTINUE
10  CONTINUE
ISW=0
RETURN
END
    
```

约当消去法过程

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

程序中的哑元 ISW 是收敛参数。ISW=1 时，无解；ISW=0 时，有解。

### 3.2.4 数值积分

机械工程中，常用到计算定积分的问题。如计算形状较复杂的表面的面积、体积、曲线、弧长、机件的重心、转动惯量以及其它的分析计算等。这种计算，在微积分中，常是先找出被积函数的原函数，然后再按原函数求出积分值。但是，在实用上有些也不能用此法。例如，有些被积函数是用曲线或数表给出的；有些被积函数很难求出它的原函数，甚至找不到可用初等函数表示的原函数，特别是在用计算机解题时，难于编出求被积函数的程序。因此，在 CAD 中，都不用求原函数的办法，而用近似的数值计算方法来求积分值。

由微积分知道，定积分  $\int_a^b f(x)dx$  不论在实验问题中的意义如何，在数值上都等于曲线  $y = f(x)$ ，

直线  $x = a, x = b$  与  $x$  轴所转成的曲边梯形的面积 ACBba (图 33-38)。因此，只要计算出此曲边梯形的面积，就得到了此定积分的值。计算此曲边梯形的面积，可以用各种近似方法。

#### (1) 梯形法

如图 33-38 所示，以直线 AB 代替曲边 ACB，即用线性函数  $P_1(x)$  来代替被积函数  $f(x)$ ，从而算出积分的近似值

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{2} [f(a) + f(b)] \quad (33-25)$$

#### (2) 抛物线法

如图 33-39 所示，在  $a, b$  之间补充一个中点  $c = \frac{a+b}{2}$ ，以过 ACB 的抛物线代替曲边，即用二次函数  $P_2(x)$  来代替被积函数  $f(x)$ 。通过分析可得计算公式为

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{a-b}{6} [f(a) + 4f(c) + f(b)] \quad (33-26)$$

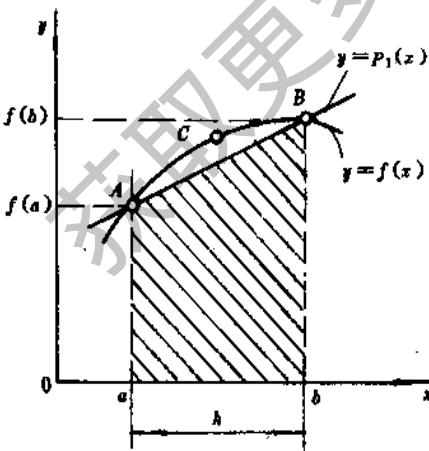


图 33-38 梯形法

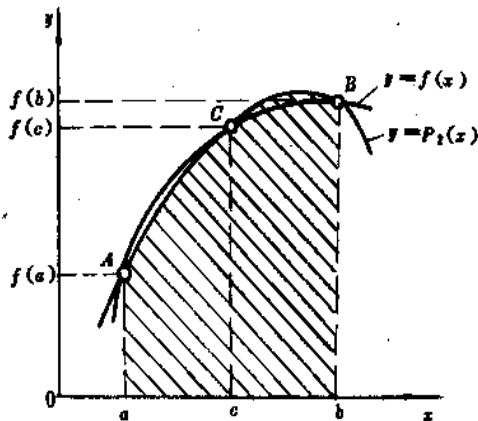


图 33-39 抛物线法

此即辛卜生(Simpson)公式。抛物线法的精度较高,因此,用得较多。

但是,当积分区 $(a,b)$ 较大时,直接用此公式求积,误差还是较大,精度难以保证。通常采用的办法是细分求积区间。譬如,取步长 $h = \frac{b-a}{n}$ ,把区间 $(a,b)$ 分为 $n$ 等分。分点为

$$x_k = a + kh, k = 0, 1, 2, \dots, n$$

然后对每个分段 $(x_{k-1}, x_k)$ 用上述求积公式求得积分的近似值 $S_k$ ,并取和值 $S = \sum_{k=1}^n S_k$ 作为整个区间 $(a,b)$ 上的积分近似值。这种方案称作复化求积法。

设每个子区间 $(x_{k-1}, x_k)$ 的中点记为 $x_{k-\frac{1}{2}}$ ,则复化辛卜生公式为

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=1}^n \frac{h}{6} [f(x_{k-1}) + 4f(x_{k-\frac{1}{2}}) + f(x_k)] \\ &= \frac{h}{6} [f(a) + 4 \sum_{k=1}^{n-1} f(x_{k-\frac{1}{2}}) \\ &\quad + 2 \sum_{k=1}^{n-1} f(x_k) + f(b)] \end{aligned} \quad (33-27)$$

式中 $x_k = a + kh; x_{k-\frac{1}{2}}$ 是 $x_{k-1}$ 与 $x_k$ 的中点,即 $x_{k-\frac{1}{2}} = a + kh - \frac{h}{2}$ 。

在用复化求积公式之前还必须给出合适的步长 $h$ , $h$ 太大则精度难以保证, $h$ 太小则使计算量增加。实际计算时,通常采用变步长的方案,即先用原区间长度进行初次计算,然后自动将区间逐次折半或称步长二分法,反复利用复化求积公式进行计算,直到折半前后计算出的两个积分近似值之差不超过允许的误差 $\epsilon$ 为止。

对于式(33-27)要减少计算量,就要减少函数 $f(x)$ 的调用次数。由式(33-27)可见,计算 $S_n$ 需对函数 $f(x)$ 调用 $2 + n + n - 1 = 2n + 1$ 次。因此,当步长折半后,由于 $n$ 加倍,计算量也几乎加倍。事实上步长折半前后的两次计算中,函数 $f(x)$ 的调用约有一个半是重复的。就以图 33-40 中步长 $h_1 = ab$ 的一个子区间来说。根据辛卜生公式(33-26),这个子区间面积的近似值 $S_1$ 为

$$S_1 = \frac{h_1}{6} [f(a) + 4f(c) + f(b)] \quad (33-28)$$

在程序中需以实参 A,B,C 分别调用函数 F(X)以求 $f(a)$ 、 $f(b)$ 和 $f(c)$ 值。若把区间 $(a,b)$ 分细,步长折半为 $h_2 = \frac{h_1}{2}$ ,成为两个子区间 $(a,c)$ 和 $(c,b)$ ,则用辛卜生公式(33-26)分别对这两个子区间求出它们的面积后再相加,其结果就是区间 $(a,b)$ 的面积近似值

$S_2$ 。设 $d,e$ 分别为 $ac$ 和 $cb$ 的中点,则 $S_2$ 的计算式可根据式(33-26)求得为

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{h_2}{6} [f(a) + 4f(d) + 2f(c) \\ &\quad + 4f(e) + f(b)] \end{aligned} \quad (33-29)$$

式中的 $f(a)$ 、 $f(b)$ 、 $f(c)$ 在前一次计算中已求得,步长折半后只是增加了 $f(d)$ 和 $f(e)$ 的计算。因此在编程时,就要设法避免这种相同内容的重复计算。

将 $h_2 = \frac{h_1}{2}$ 代入式(33-26)并改写为

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{h_1}{12} [f(a) + 4f(c) + f(b) \\ &\quad - 2f(c) + 4f(d) + 4f(e)] \end{aligned}$$

式中的前三项可用式(33-28)代入,简化为

$$S_2 = \frac{S_1}{2} - \frac{h_1}{6} f(c) + \frac{2h_2}{3} [f(d) + f(e)] \quad (33-30)$$

式中,前二项是步长折半前已计算过的内容。因此,步长折半后需计算的只是 $\frac{2h_2}{3} [f(d) + f(e)]$ 而已。注意到式(33-30)第二项中 $f(c)$ 是前一次计算中的中点,第三项中 $f(d)$ 及 $f(e)$ 是后一次计算中的中点,若下步再把步长折半进行计算,则 $f(d)$ 和 $f(e)$ 就处于式(33-30)第二项中 $f(c)$ 的地位。因此,式(33-30)也是一个递推公式。

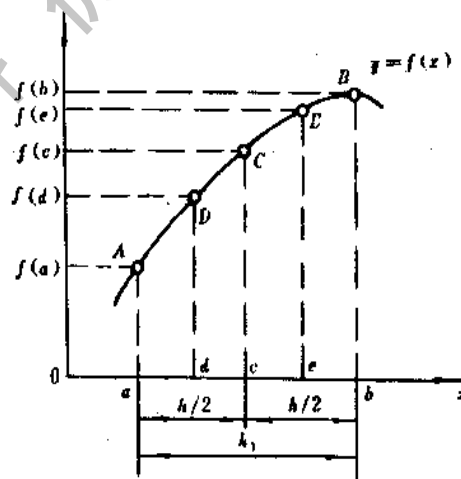


图 33-40 单元区间步长折半

以下为通用的辛卜生法计算一重积分的子程序。程序中采用了把区间自动加密分细进行递推的计算,直到符合所给的精度 EPS 为止。为了避免因不收敛而无限计算下去,程序中设置了控制加密分细次数的参数 IMAX。当分细次数达到此值而未收敛时,程序即转出,并打印出信息 IER = 4。其它参

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

超星数字图书馆

数为

A,B --- 积分区间;  
 S1,S --- 前一次及本次的积分结果;  
 N --- 积分面积加密细分的块数;  
 IER --- 计算情况的信息

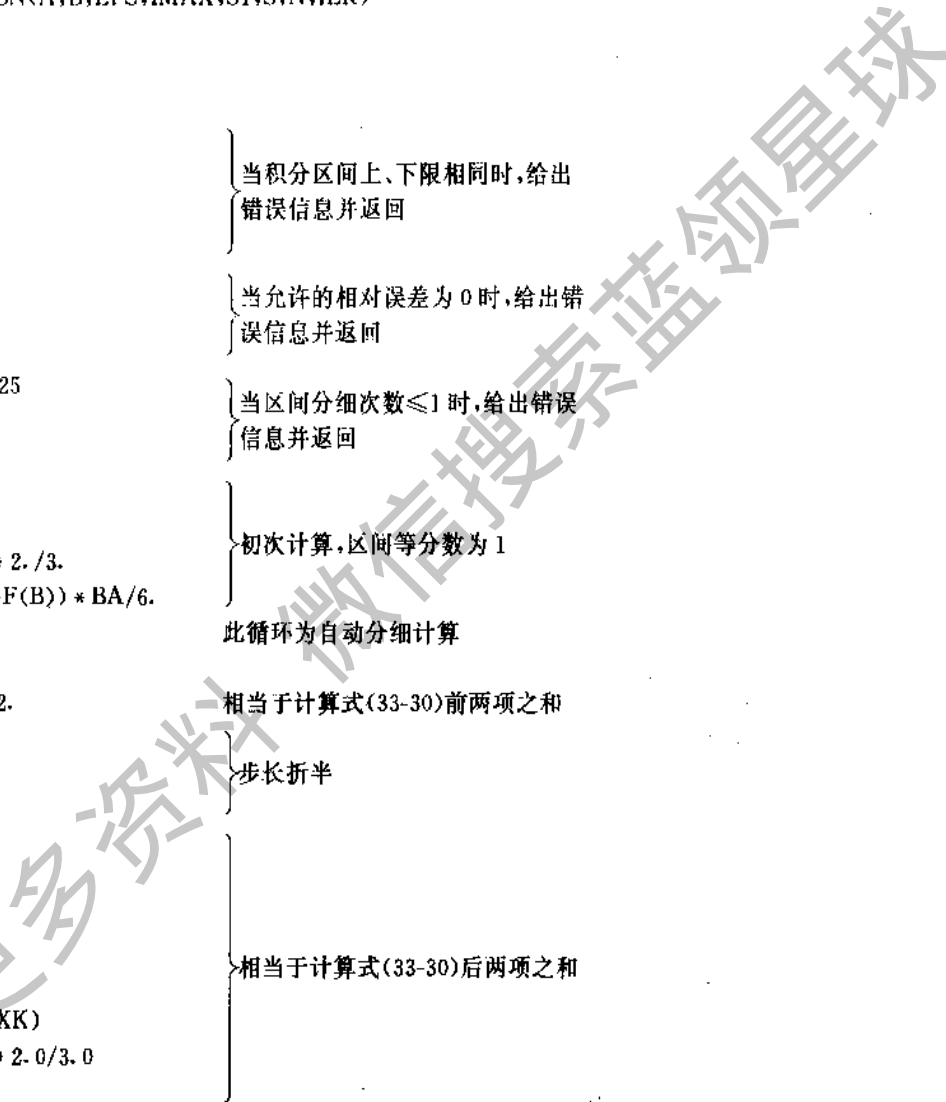
IER =  $\begin{cases} 0, \text{正常情况,} \\ 1, \text{当 } A=B \\ 2, \text{当 } EPS=0 \\ 3, \text{IMAX}<1 \\ 4, \text{当积分 IMAX 次仍未满足精度要求} \end{cases}$   
 具体程序为



```

SUBROUTINE SMPSN(A,B,EPS,IMAX,S1,S,N,IER)
  S1=.0
  S=.0
  N=0
  BA=B-A
  IF(BA)20,19,20
19  IER=1
   RETURN
20  IF(EPS)22,22,23
22  IER=2
   RETURN
23  IF(IMAX-1)24,24,25
24  IER=3
   RETURN
25  X=BA/2. +A
   N2=1
   SUMK=F(X) * BA * 2./3.
   S=SUMK + (F(A)+F(B)) * BA/6.
   DO 28 I=2,IMAX
     S1=S
     S=(S-SUMK/2.)/2.
     N2=N2 * 2
     AN2=N2
     H=BA/AN2
     XK=A+H/2.0
     SUMK=F(XK)
     KLAST=N2-1
     DO 26 K=1,KLAST
26  SUMK=SUMK+F(XK)
     SUMK=SUMK * H * 2.0/3.0
     S=S+SUMK
27  IF(ABS(S-S1)-ABS(EPS * S))29,28,28
28  CONTINUE
   IER=4
   GOTO 30
29  IER=0
30  X=2 * N2
   RETURN
   END
    
```

} 当积分区间上、下限相同时,给出  
 错误信息并返回  
 } 当允许的相对误差为 0 时,给出错  
 误信息并返回  
 } 当区间分细次数  $\leq 1$  时,给出错误  
 信息并返回  
 } 初次计算,区间等分数为 1  
 此循环为自动分细计算  
 } 相当于计算式(33-30)前两项之和  
 } 步长折半  
 } 相当于计算式(33-30)后两项之和



### 3.2.5 常微分方程的数值解法

求解常微分方程有多种解析方法,但解析方法只能用来求解一些特殊类型的方程,大量从实际问题中抽象出来的微分方程主要靠数值解法。

一阶常微分方程的初值问题就是

$$y' = f(x, y) \quad (33-31)$$

$$y(x_0) = y_0 \quad (33-32)$$

我们知道,只要函数  $f(x, y)$  适当光滑,理论上就可保证初值问题(33-31), (33-32)的解存在,并且是唯一的。

所谓数值解法,就是寻求初值问题(33-31), (33-32)的解  $y=y(x)$  在一系列离散结点

$$x_1 < x_2 < \dots < x_n$$

上的近似值

$$y_1, y_2, \dots, y_n$$

相邻两个结点间的距离  $h=x_i - x_{i-1}$  称为步长。一般如不特别说明,总假定步长为定数。

#### (1) 欧拉方法

方程(33-31)的解  $y=y(x)$  在几何上表示  $xoy$  坐标平面中的一条曲线,此曲线上各点的切线斜率  $y'$  满足式(33-31),即  $y' = f(x, y)$ 。如图 33-41 所示,我们可以从初始点  $P_0(x_0, y_0)$  出发,按该点切线的方向引直线,与  $x=x_1$  交于  $P_1(x_1, y_1)$ ,其中  $x_1 = x_0 + h, y_1 = y_0 + hf(x_0, y_0)$ 。再自  $P_1$  点按  $P_1$  点切线的方向引直线交  $x=x_2$  于  $P_2(x_2, y_2)$ 。如此继续下去,就可以获得一条折线  $P_0P_1 \dots P_i P_{i+1} \dots P_n$ 。以此折线折点上的  $y$  值作为曲线  $y=y(x)$  在相应点  $x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$  上  $y$  的近似值。设折线已推进到  $P_i(x_i, y_i)$ ,则下一点  $P_{i+1}$  的纵坐标为

$$y_{i+1} = y_i + hf(x_i, y_i) \quad (33-33)$$

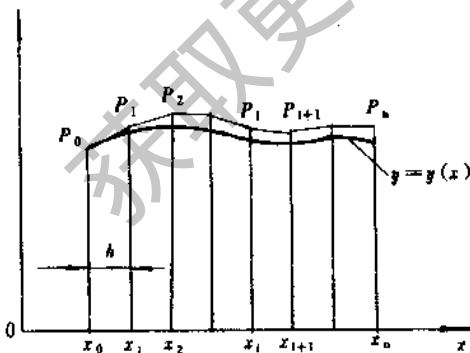


图 33-41 欧拉方法的几何解释

这就是欧拉格式。

欧拉方法简单地取切线的端点  $P_{i+1}$  作为折线的下一个顶点,因此精度较低。

#### (2) 改进的欧拉方法

将方程(33-31)的两端从  $x_i$  到  $x_{i+1}$  求积分可得

$$y(x_{i+1}) = y(x_i) + \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y(x)) dx \quad (33-34)$$

为了要通过这积分关系式获得  $y(x_{i+1})$  的近似值,只要近似地算出其中的积分项  $\int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y(x)) dx$  即可,选用不同的近似方法计算这个积分项,就可以得到不同的计算格式。

例如,用梯形法计算积分项,根据式(33-25)得到

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y(x)) dx \approx \frac{h}{2} [f(x_i, y(x_i)) + f(x_{i+1}, y(x_{i+1}))]$$

代入式(33-34)得

$$y(x_{i+1}) \approx y(x_i) + \frac{h}{2} [f(x_i, y(x_i)) + f(x_{i+1}, y(x_{i+1}))]$$

设将其中的  $y(x_i), y(x_{i+1})$  分别用  $y_i, y_{i+1}$  代替,则有如下计算格式:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_{i+1})] \quad (33-35)$$

这称为求解微分方程(33-31)的梯形法则。

如果先用欧拉格式(33-33)求得一个初步的近似值  $\tilde{y}_{i+1}$ ,称之为预报值,然后用预报值  $\tilde{y}_{i+1}$  代替梯形法则式(33-35)右端  $y_{i+1}$ ,再直接计算得到校正值  $y_{i+1}$ ,这样建立起来的预报-校正系统称为改进的欧拉格式。即

预报  $\tilde{y}_{i+1} = y_i + hf(x_i, y_i)$

校正

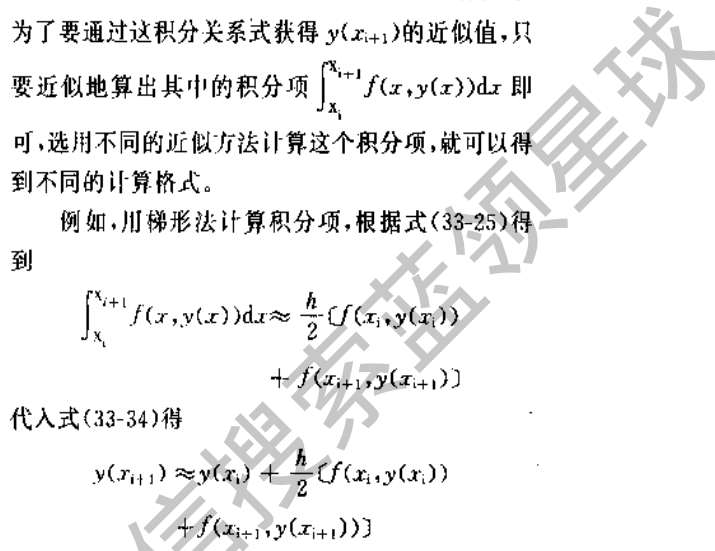
$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, \tilde{y}_{i+1})] \quad (33-36)$$

格式(33-36)的每一步需要两次调用函数  $f(x, y)$ ,它可以改写成下列形式:

$$\begin{aligned} y_p &= y_i + hf(x_i, y_i) \\ y_c &= y_i + hf(x_{i+1}, y_p) \\ y_{i+1} &= \frac{1}{2}(y_p + y_c) \end{aligned}$$

#### (3) 龙格-库塔方法

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!



考察差商

$$\frac{y(x_{i+1}) - y(x_i)}{h}$$

根据拉格朗日中值定理, 存在  $0 < \theta < 1$ , 使得

$$\frac{y(x_{i+1}) - y(x_i)}{h} = y'(x_i + \theta h)$$

于是, 利用所给方程  $y' = f(x, y)$  得到

$$y(x_{i+1}) = y(x_i) + hf(x_i + \theta h, y(x_i + \theta h)) \quad (33-37)$$

这里的  $f(x_i + \theta h, y(x_i + \theta h))$  称作区间  $(x_i, x_{i+1})$  上的平均斜率。由此得知, 只要对平均斜率提供一种算法由式(33-37)便相应地得到一种计算格式。

欧拉格式由于仅取  $x_i$  一个点的斜率值  $f(x_i, y_i)$  作为平均斜率的近似值, 故精度很低。

再考察改进的欧拉格式, 它可改写为

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2}(K_1 + K_2)$$

式中

$$K_1 = f(x_i, y_i)$$

$$K_2 = f(x_{i+1}, y_i + hK_1)$$

可见改进的欧拉格式可这样理解: 它用  $x_i$  与  $x_{i+1}$  两个点的斜率值  $K_1$  和  $K_2$  取算术平均作为平均斜率的近似值, 而  $x_{i+1}$  处的斜率值  $K_2$  则通过已知信息  $y_i$  来预报。

这个处理过程启发我们, 如果设法在  $(x_i, x_{i+1})$  内多预报几个点的斜率值, 然后将它们加权平均作为平均斜率的近似值, 则有可能构造出更高精度的计算格式, 这就是龙格-库塔(Runge-Kutta)法的基本思想。

常用的一种四阶龙格-库塔格式是

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \quad (33-38)$$

式中

$$K_1 = hf(x_i, y_i)$$

$$K_2 = hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{K_1}{2})$$

$$K_3 = hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{K_2}{2})$$

$$K_4 = hf(x_{i+1}, y_i + K_3)$$

以下为通用的龙格-库塔法的子程序。参数符号为

A——区间的左端点( $x$  的初值);

B——区间的右端点( $x$  的终值);

YA—— $y$  的初值;

X——体积为  $N$  的一维数组。 $x$  值向量;

Y——体积为  $N$  的一维数组。近似解  $y$  的向量。

具体程序为

```

SUBROUTINE RNGK (A,B,YA,X,Y,N)
REAL K1,K2,K3,K4
DIMENSION X(N),Y(N)
AN=N
H=(B-A)/AM
HALF=H*0.5
X1=A
Y1=YA
DO 10 I=1,N
Y0=Y1
X0=X1
X1=X0+H
X2=X0+HALF
K1=FUN(X0,Y0)*H
K2=FUN(X2,Y0+K1*0.5)*H
K3=FUN(X2,Y0+K2*0.5)*H
K4=FUN(X1,Y0+K3)*H
Y1=(K1+2.0*K2+2.0*K3+K4)/6.0+
Y0
X(I)=X1
10 Y(I)=Y1
RETURN
END

```

## 4 图形软件标准

### 4.1 图形软件的标准化

实现图形软件标准化可获得下列效果:

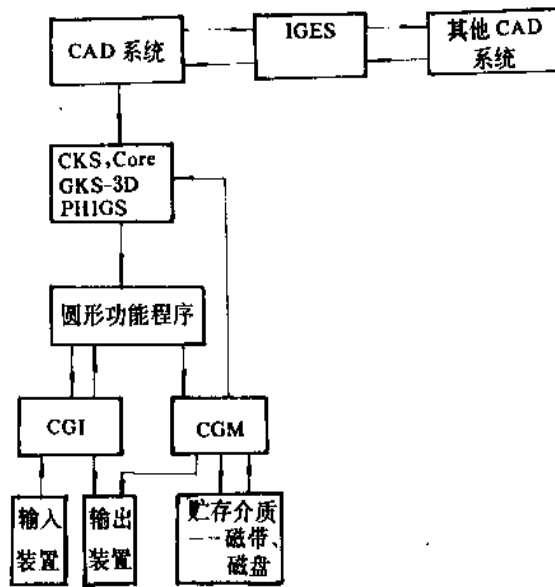
(1) 在组建 CAD/CAM 系统时, 可自由选择各种软硬件进行组合。

(2) 在开发通用图形软件包时, 可不受具体运行硬件的牵制。按通用标准开发的软件具有较好的适应性, 通过标准接口联接, 可以在各种硬件环境下运行。

(3) 借助公共标准作为联系媒介, 可在系统内部不同功能模块之间以及不同 CAD/CAM 系统之间进行信息交换。

已有多个图形软件标准, 它们都是对图形描述和接口格式进行规定。根据各标准规定的接口在整个系统中的功用和地位, 图形标准可分为以下三个层次(图 33-42)。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!



超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

图 33-42 不同层次图形标准的应用

a. 不同 CAD 系统之间信息交换标准 在这个层次标准中,应用最广泛的是美国标准局主持制定的原始图形信息交换规范(IGES)。这个标准不仅对图形而且对产品设计和制造中的定义数据规定了统一标准格式,它是独立于具体系统的,因此,按照 IGES 标准形成的产品模型文件属于所谓中间标准文件。采用 IGES 标准文件将系统 A 中的信息传送

到系统 B 中时,要先将系统 A 中的信息转换成 IGES 标准描述,然后再将 IGES 标准数据文件转换为系统 B 中的数据文件(如图 33-43 所示)。将具体系统中的信息转换为 IGES 标准数据文件的过程称为 IGES 前置处理,将 IGES 标准数据文件转换为具体系统中的信息数据的过程称为 IGES 后置处理。



图 33-43 IGES 前后处理

在不同系统之间信息的交换也可以不经过中间文件而是采取直接翻译的方法。当有 N 个系统需要互相交换信息时,采用直接互译的方法需有  $N \times (N - 1)$  个翻译程序;而采用中间文件的方法则仅需  $2 \cdot N$  个前或后处理程序(图 33-44)。

同系统之间交换信息,特别是微机系统。但是,DXF 文件格式能定义表达的内容不如 IGES 丰富。

通用微机会绘图软件 Auto CAD 使用一种称为 DXF 文件的格式与外部交换其内部图形数据。DXF 文件是可读的,比 IGES 简单易懂,目前已在微机系统中流行应用。因此,也可以用 DXF 文件格式在不

b. 应用程序和图形功能子程序之间的联接标准 规定这个层次标准的目的是使图形应用程序具有可移植性和对设备的不依赖性。在这个层次的标准中最著名的是图形核心系统(GKS)。GKS 原是只处理二维图形数据的。GKS-3D 是在 GKS 基础上进行扩充,包含有处理三维数据功能的新标准。

程序员层次交互图形系统(PHIGS)是另一个重



要标准,它具有三维处理功能,并且克服了 GKS 的某些不足,可以以层次结构贮存和定义图形数据或产品模型数据。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

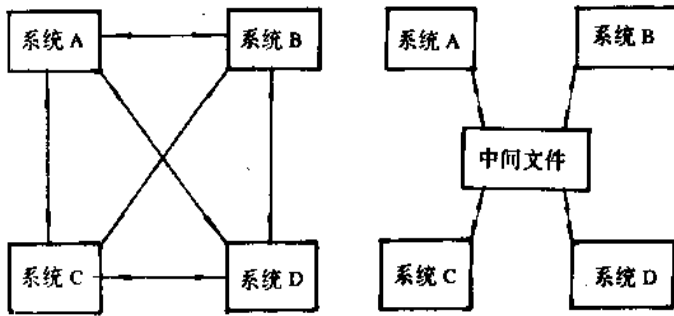


图 33-44 系统之间交换信息

c. 图形功能子程序和图形输入输出装置接口标准 这一层次的主要标准有:计算机图形接口(CGI)和计算机图形元文件(CGM)。制定这个层次的标准的目的旨在实现图形程序相对于图形输入和输出设备的独立性。CGI 是图形命令与图形硬件系统输入和输出设备的接口,当被图形软件调用时,可在输出设备上绘出基本图形元素或从输入装置上读入几何信息。采用 CGI 标准后,当更换输入输出设备时,不需修改图形应用程序,而只需重写外围设备驱动程序。CGM 则是对静态图像贮存文件的规定,它为图像从一个硬件输出设备传递到另一输出设备显示或从一个系统传送到另一系统提供了工具。

#### 4.2.1 IGES 标准文件中的单元

IGES 本身只是描述产品设计和制造信息的数据文件格式规范。它把对产品的定义或工程图样视作许多单元的集合。在 IGES 文件中,单元分为三大类:几何单元、标识单元和结构单元。属于几何单元的如定义产品形状的直线、圆及表面等;属于标识单元的如尺寸标注、标题栏等;属于结构单元的如子图形的组成、属性的定义等。IGES1.0 版本中的单元主要是组成线框几何模型用的有关单元。随着 CAD 技术的发展,IGES 了对单元的种类进行了扩充,例如,2.0 版增加了有理 B 样条曲线和曲面、直纹曲面、旋转曲面、有限元及其节点等单元,4.0 版本起支持三维实体模型。典型的单元及其代号示例如图 33-45。

#### 4.2 IGES 标准

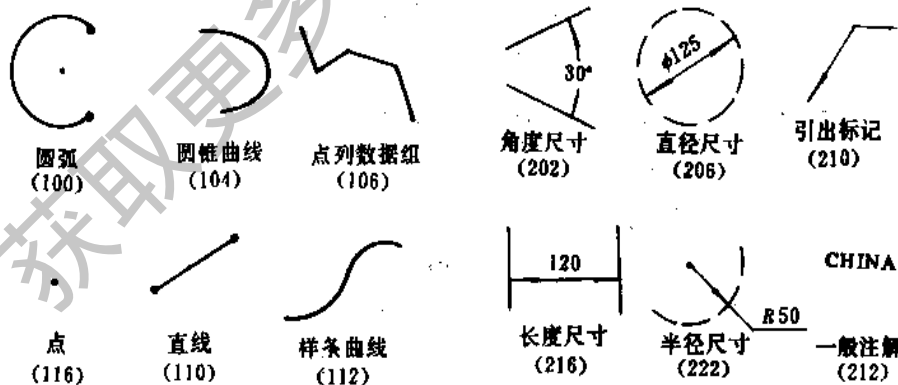


图 33-45 IGES 标准中单元示例(括号中数字为单元号)

### 4.2.2 IGES 文件结构

IGES 文件由多行每行 80 列的记录组成。通常都是采用 ASCII 码,由于 ASCII 码文件长度较长(一般要比 CAD 系统中的原始贮存文件长 5~10 倍)也允许采用二进制码或压缩 ASCII 码,但,这样将牺牲 IGES 文件的可读性和适应性。

IGES 文件由开始,全局参数,单元分类入口,参数数据和结束五个部分组成。

上述各部分分别在文件的行记录的 73 列处以字符 S、G、D、P 和 T 作为标识区别。行中,4 列至 80 列的数字代表每部分从该部分开始行至该行的顺序行号。每行的第 1 列至 72 列用以记录产品定义信息的具体内容。

开始部分只是对本 IGES 文件的注解,没有固定的格式,记录行的数目不限,但至少要有一行。

全局参数部分是对全局性的 22 个参数进行定义。各全局参数的说明见表 33-5,全局参数部分采用自由格式。

单元的有关信息分别贮存在分类入口部分和参数数据部分。

分类入口部分为本文件引用的每种单元定义了其公共部分特征。它所包含的单元种类数目不限,除了定义单元必须在其实例引用前面之外,单元的顺序可以任意。对每个单元,采用两行连续的记录来描述,每一行分为 10 个域,每个域占 8 个字符,各域特征参数说明见表 33-6,各域数据类型说明中,以“#”表示数字,以“▷”表示指针,指针也是数字,它所代表的是定义该参数单元的记录序号。类型说明“#,▷”则表示该参数可能是特征值数字或指针,在这些域中,用负值表示指针,而正值则表示特征值数字。

参数数据部分包含每一单元的特定参数,参数以自由格式存放,其第一个域总是存放单元类型代号。对每一单元,在分类入口部分用二行记录描述,而在参数数据部分则有 1 行或多行记录来描述。同一单元的分类入口部分和参数数据部分有联系关系。

结束部分只有一行记录,它总是整个文件最后一个记录,记录的内容是分别在字符 S、G、D、P 后以数字表示相应各部分记录的总行数。

表 33-5 IGES 文件全局参数说明

参数序号	参数所属类型	内 容
1	字符串	分隔符(默认字符为“,”)
2	字符串	记录结束符(默认字符“;”)
3	字符串	传送的产品图号
4	字符串	传送的文件名(IGES 文件名)
5	字符串	传送的系统名·销售商名·软件版本
6	字符串	IGES 的版本号
7	整型数	表示整型数的二进制位数
8	整型数	表示单精度浮点数指数部分的二进制位数
9	整型数	表示单精度浮点数尾数部分的二进制位数
10	整型数	表示双精度浮点数指数部分的二进制位数
11	整型数	表示双精度浮点数尾数部分的二进制位数
12	字符串	接收端指定的图号
13	浮点数	模型空间比例(例 0.5 表示为 1:2 模型)
14	整型数	单位代码,1 表示使用 in,2 表示作用 mm,3 表示使用其它单位
15	字符串	单位名称 { 4HINCH...当单位代码为 1 { 2HMM...当单位代码为 2
16	整型数	线条宽度分级数
17	浮点数	线条宽度最大值(序号 19 参数值/序号 16 参数值)表示线条宽度最小值
18	字符串	IGES 文件生成日期和时间 13H <u>YY</u> <u>MM</u> <u>DD</u> <u>HH</u> <u>NN</u> <u>SS</u> 年 月 日 小时 分 秒
19	浮点数	最小网格大小
20	整型数	模型空间的最大坐标值,例如本参数为 1000 则表示  X , Y , Z <1000
21	字符串	IGES 文件作者名
22	字符串	IGES 文件生成部门名

## 4.2.3 IGES 文件示例

图 33 46 为 IGES 文件示例及其传送的图形。

整个文件按照开始部分、全局参数部分、单元分类入口部分、结束部分的次序依次排列,其代表的标识字符及顺序行号见 73 列至 80 列。

S0000001~S0000002 是文件的开始部分,是对本文件的文字注解。

G0000002~G0000003 是文件的全局参数部分,最开始两个参数是用以定义分隔符和记录结束符的,本例中在两个逗号前什么也没有,表示采用默认符号“,”和“;”。后面依次表示表 33-5 中的各个参数:传送的产品图号(hK),文件名(gg),软件版本(AutoCAD—2.6),IGES 版本(IGES1.0),接着是系统内部表示不同类型数据的二进制位数,接收端指定图号,模型空间与实际空间比例(1.0D+0),使用

表 33-6 分类入口部分单元参数说明

域的序号	域的类型	内 容
1	#	单元类型代号
2	▷	参数指针,指到该单元第一个参数记录
3	#,▷	版本号,如为负值,其绝对值是指针,指向结构定义单元
4	#,▷	线型号 正值时:1—实线,2—虚线,3—双点划线,4—点划线 负值时:其绝对值为指针指向线型定义单元
5	#,▷	层号,如为负值则其绝对值为指针,指向层的定义单元
6	>	视图指针
7	▷	由定义空间向模型空间转换的转换矩阵指针。指针值为零表示定义空间即模型空间
8	▷	标号,显示相关性指针
9	#	状态码,以四个二位数字表示:aabbccdd aa:可见性 00表示可见 01表示该单元不显示 bb:单元是独立或从属 00表示该单元是独立单元 01表示该单元是其它单元结构的一部分 cc:单元分类 00几何单元 01标注单元 02定义单元 03其它 dd:层次结构 00全局量起作用 01全局量暂不起作用 02利用系统特权属性
10	D...	D表示是分类入口部分,...是数字,代表从分类入口部分开始行至本记录行的行数
11	#	单元类型代号,同本表序号1参数
12	#	表示线段宽度数 实际线段宽度=(表示线段宽度数)· $\frac{\text{(全局参数序号17项值)}}{\text{(全局参数序号16项值)}}$
13	#	笔号或颜色号
14	#	本单元的参数记录数量
15	#	格式号
16		保留将来使用
17		保留将来使用
18	字符串	单元标号,最多可使用8个字符
19	#	单元下标,与序号18单元标号合并使用
20	D...	意义同序号10参数



1P0000001  
 3P0000002  
 5P0000003  
 7P0000004  
 9P0000005  
 11P0000006  
 13P0000007  
 15P0000008  
 17P0000009  
 19P0000010  
 19P0000011  
 21P0000012  
 21P0000013  
 23P0000014  
 25P0000015  
 25P0000016  
 27P0000017  
 27P0000018  
 29P0000019  
 29P0000020  
 29P0000021  
 31P0000022  
 31P0000023  
 31P0000024  
 33P0000025  
 33P0000026  
 T00000001

超星浏览器提醒您：  
 使用本复制品  
 请尊重相关知识产权！

110, 2.0D+0, 3.0D+0, 0.0D+0, 6.0D+0, 3.0D+0, 0.0D+0, 0.0D+0;  
 110, 6.0D+0, 3.0D+0, 0.0D+0, 6.0D+0, 6.0D+0, 5.0D+0, 0.0D+0;  
 110, 6.0D+0, 5.0D+0, 0.0D+0, 2.0D+0, 3.0D+0, 0.0D+0, 0.0D+0;  
 110, 2.0D+0, 5.0D+0, 0.0D+0, 2.0D+0, 3.0D+0, 0.0D+0, 0.0D+0  
 100, 0.0D+0, 4.0D+0, 4.0D+0, 4.75D+0, 4.0D+0, 4.75D+0, 4.0D+0;  
 110, 2.0D+0, 2.9375D+0, 0.0D+0, 2.0D+0, 1.82D+0, 0.0D+0;  
 110, 6.0D+0, 2.9375D+0, 0.0D+0, 6.0D+0, 1.82D+0, 0.0D+0;  
 110, 2.18D+0, 2.0D+0, 0.0D+0, 3.75D+0, 2.0D+0, 0.0D+0,  
 110, 5.82D+0, 2.0D+0, 0.0D+0, 4.24D+0, 2.0D+0, 0.0D+0,  
 106, 1, 4, 0.0D+0, 2.18D+0, 1.97D+0, 2.0D+0, 2.0D+0, 2.03D+0,  
 2.18D+0, 1.97D+0;  
 106, 1, 4, 0.0D+0, 5.82D+0, 1.97D+0, 6.0D+0, 2.0D+0, 5.82D+0, 2.03D+0,  
 5.82D+0, 1.97D+0;  
 212, 1, 1, 1.2D-1, 1, 8D-1, 1, 0.0D+0, 0, 0, 3.94D+0, 1.91D+0, 0.0D+0, 1H4,  
 110, 4.44848412D+0, 4.3563844698371D+0, 0.0D+0, 4.242741574322D+0,  
 4.1944692280303D+0, 0.0D+0;  
 110, 3.55151588D+0, 3.643615530163D+0, 0.0D+0, 3.7572583256781D+0,  
 3.8055307719697D+0, 0.0D+0,  
 106, 1, 4, 0.0D+0, 4.4260913346401D+0, 4.379797544153D+0,  
 4.5853268578947D+0, 4.4689269339962D+0, 4.4636654893598D+0,  
 4.3329713955213D+0, 4.4260913346401D+0, 4.379797544153D+0;  
 106, 1, 4, 0.0D+0, 3.5363945106402D+0, 3.6670286044787D+0,  
 3.4146731421053D+0, 3.5310730660038D+0, 3.57390866536D+0,  
 3.6202924558451D+0, 3.5363945106402D+0, 3.6670286044787D+0;  
 212, 1, 6, 4.8D-1, 1, 8D-1, 1, 0.0D+0, 0, 0, 3.76D+0, 3.91D+0, 0.0D+0, 6H%%C  
 1.5;  
 S0000002C000003D0000034P0000026

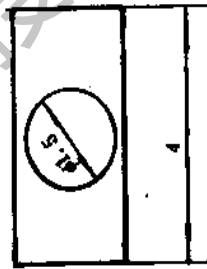


图 33-46 IGES 文件传递图形

英制单位 in、线条宽度分级和最大值,文件生成日期 (89. 8. 1)和时间等。

D0000001~D0000034 是分类入口部分,每一单元都有一个分类入口,共有 20 个域,分布在两个记录上(一行为一个记录)。其中,D0000001~D0000010 是用来画四条直线和圆,D0000011~D0000024 是用来标注长度尺寸 4.00,D0000025~D0000034 是用来标注直径尺  $\phi 1.5$ 。共引用了下列类型单元(记录的第一个域都是单元类型代号):

110 直线段单元。其中 D0000008 行以前代表图形四条边框直线,D0000011 行及以后的 110 单元代表尺寸边界线和尺寸线。

100 圆弧单元。本例中代表图中的圆。

106 数据组单元。本例中用来产生箭头。此单元的第十五个域中的 63 是格式号,代表简单闭合区(箭头是封闭的)。

212 一般注解单元。

P0000001~P0000026 是文件的参数部分,其中:

110 单元中给出了直线段两端点的 X、Y、Z 坐标;

100 单元中给出了圆弧的圆心坐标 X、Y、Z 及圆弧的起点和终点的坐标 X、Y;

106 单元中各数值的意义是:1 表示数据点是二元组,Z 坐标是共同的;4 表示含二元组的个数为 4,即用 4 个点来形成一个箭头;0.0D+0 是 X 坐标值;其后的八个数据是箭头组成 4 个点的坐标;

212 单元中给出了字符串的个数,字符串中字符个数,字符串的高、宽、型体以用字符串起点坐标和字符串。P0000014 行中的 1H4 和 P0000025~P0000026 行中的 6H%%C1.5 分别表示标注尺寸字符“4”和“ $\phi 1.5$ ”。

在分类入口部分和参数数据部分中,代表同一图素的记录间有相互联系,可以互相检索。例如,本例中有一条直线,其分类入口记录为:

110 2 1 1 1 00000000D0000003  
110 0 7 1 D0000004

其参数数据记录为:

110,6.0D+0,3.0D+0,0.0D+0  
6.0D+0,5.0D+0,0.0D+0

在 D0000003 行中,单元类型号 110 后的第一个参数 2 表示与其相对应的参数数据顺序行号为 2,即 P0000002;在 P0000002 行中记录了直线段的端点坐标,而在字符 P 前的参数 3 则表示此行参

数对应的分类入口记录顺序行号,即 D0000003。

文件的最后一行记录是 T0000001,它是文件结束部分,记录了上述四部分各自的总记录行数。

### 4.3 DXF 文件

#### 4.3.1 DXF 文件结构

DXF 文件是一种 ASCII 文本文件,其总体结构分为如下五个段:

(1)标题段 有关图形的总体信息,如系统当前设置状态参数等。

(2)表段 包括以下各项的定义:线型表;图层表;字体表;视图表。

(3)图块段 包括定义图块实体的描述。

(4)实体段 图中各实体图素的具体描述。本段是 DXF 文件的核心部分。

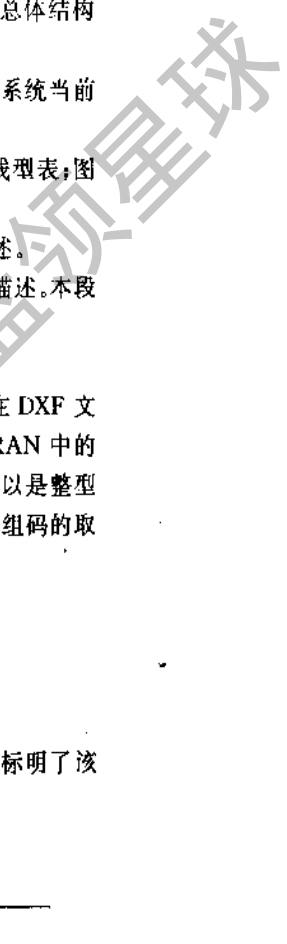
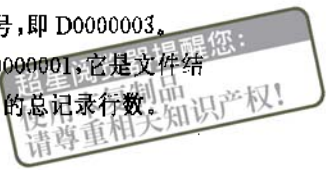
(5)文件结束标志 EOF。

DXF 文件的基本单元是组,每个组在 DXF 文件中占二行,其首行是组码,它是 FORTRAN 中的“I3”格式的非负整数;第二行是组值,它可以是整型数、浮点数或字符串,具体数据类型取决于组码的取值范围,其关系是:

组码取值范围	组值数据类型
0~9	字符串
10~59	浮点数
60~79	整型数

组码除用以标明组值数据类型外,还标明了该组的用途。组码和该组用途的关系是:

组码	组的用途
0	标识图素实体、表项或文件头的开始,后随的文字标明具体对象
1	图素实体的文字说明
2	名称、属性特征、图块名等
3~5	其他文字或名称
6	线型名
7	字体名
8	图层名
9	变量名标识符(仅用于标题段)
10	主 x 坐标(直线或文字起点、圆心等)
11~18	其他 x 坐标
20	主 y 坐标
21~28	其他 y 坐标





超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

30	主 z 坐标	LINE
31~36	其他 z 坐标	8
38	实体的标高,如果非零的话	0
39	实体厚度,如果非零的话	10
40~48	文字字符高,比例因数等浮点数数值	6.0
49	重复性的值	* 20
50~58	角度值	5.0
62	颜色号	11
66	实体跟随标志	2.0
70~78	整数值,如重复次数、标志位、模式等	21
		5.0
		0

所有的变量、表项、实体描述都是先由一个组找出名称,然后由若干个组说明其内容,由这些变量、表项、实体组成各个段。

#### 4.3.2 DXF 文件实例

DXF 文件实例如下,它所表示的图形与图 33-46 中所示的图形相同。

```

0
SECTION
2
ENTITIES
0
LINE
8
0
10
2.0
20
3.0
11
6.0
21
3.0
0
LINE
8
0
10
6.0
20
3.0
11
6.0
21
5.0
0
LINE
8
0
10
4.0
20
4.0
40
0.75
0
DIMENSION
8
4
2
*D2
10
6.0
20
2.0
11
4.0
21
2.0
1
4
    
```

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

13  
2.0  
23  
3.0  
14  
6.0  
24  
3.0  
0  
DIMENSION  
8  
4  
2  
\* D3  
10  
3.432811  
20  
3.509289  
11  
4.0  
21  
4.0  
70  
3  
1  
%C1.5  
15  
4.567189  
25  
4.490711  
0  
ENDSEC  
0  
EOF

在本文件中只列出实体段和文件结束标志部分,略去了其他段。在进入实体段(SECTION, ENTITIES)后,分别在 LINE, CIRCLE, DIMENSION 之后记录了直线、圆、尺寸标注等图形元素实体的几何参数。

#### 4.4 GKS 标准

国际标准化组织于 1985 年 8 月公布的“ISO7942 图心核心系统(GKS)的功能描述”是第一个有关图形的国际标准。标准中介绍了有关 GKS 工作站、输出图形元素及其属性、逻辑输入设备和元文件的概念,还列出了 GKS 功能的名称、输入/输出参数、效果和出错信息等。这里简要地介绍 GKS 的基

本概念和 GKS 的功能。

#### 4.4.1 GKS 的基本概念

GKS 中涉及的基本概念有:

a. 菜单输出 由 GKS 产生并送到所有活动工作站的图形信息是由输出图形元素的片段构成。GKS 提供了六种输出图形元素,如图 33-47 所示。每个图形元素还隐含有三类属性,如:几何的、非几何的和标识。前两类属性决定输出图形元素精确的外观,而第三类属性则用于和输入的联系,如折线输出图形元素的属性包括:检取标识、线宽度比例因子、线型、颜色等。六种输出图形元素的属性共有:检取标识、线型、线宽度比例因子、颜色、标记类型、标记尺寸比例因子、文字字体、文字精度、字符排列方向、字符扩展因子、文字路径、字符间隔、字符对中、填充区内部式样、样本尺寸、样本参照点、样本数组、剖面线式样等。

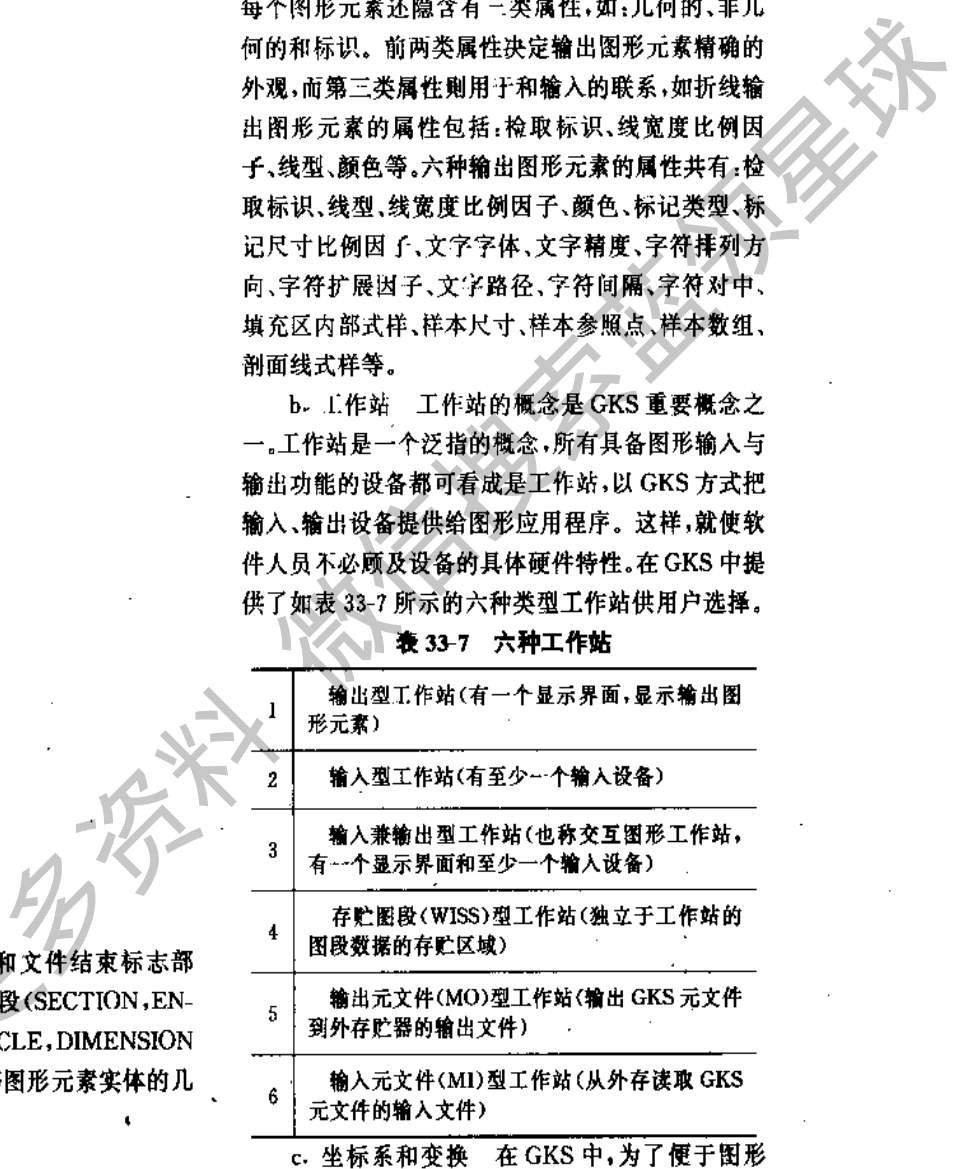
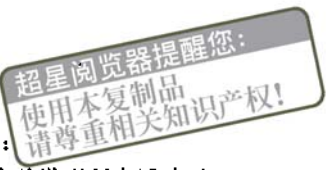
b. 工作站 工作站的概念是 GKS 重要概念之一。工作站是一个泛指的概念,所有具备图形输入与输出功能的设备都可看成是工作站,以 GKS 方式把输入、输出设备提供给图形应用程序。这样,就使软件人员不必顾及设备的具体硬件特性。在 GKS 中提供了如表 33-7 所示的六种类型工作站供用户选择。

表 33-7 六种工作站

1	输出型工作站(有一个显示界面,显示输出图形元素)
2	输入型工作站(有至少一个输入设备)
3	输入兼输出型工作站(也称交互图形工作站,有一个显示界面和至少一个输入设备)
4	存贮图段(WISS)型工作站(独立于工作站的图段数据的存贮区域)
5	输出元文件(MO)型工作站(输出 GKS 元文件到外存贮器的输出文件)
6	输入元文件(MI)型工作站(从外存读取 GKS 元文件的输入文件)

c. 坐标系和变换 在 GKS 中,为了便于图形应用程序的使用和对输入、输出的统一处理,设置了世界坐标系、规范化设备坐标系、设备坐标系三种不同坐标系。

这三种坐标系及其变换,如图 33-48 所示。在 GKS 中,规范化变换是将世界坐标系上窗口内的图形映射到规范化设备视区中的变换;工作站变换是将规范化设备坐标系上的工作站窗口内的图形映射



到装置(设备)坐标系上的工作站视区内的坐标变换。

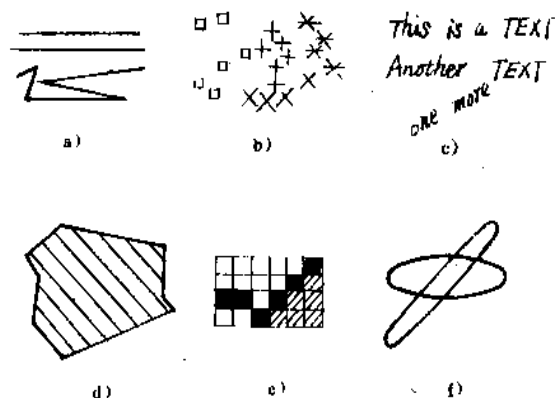


图 33-47 六种输出图形元素

a)折线; b)多点标记; c)正文; d)填充区; e)象元阵列; f)广义绘图图形元素

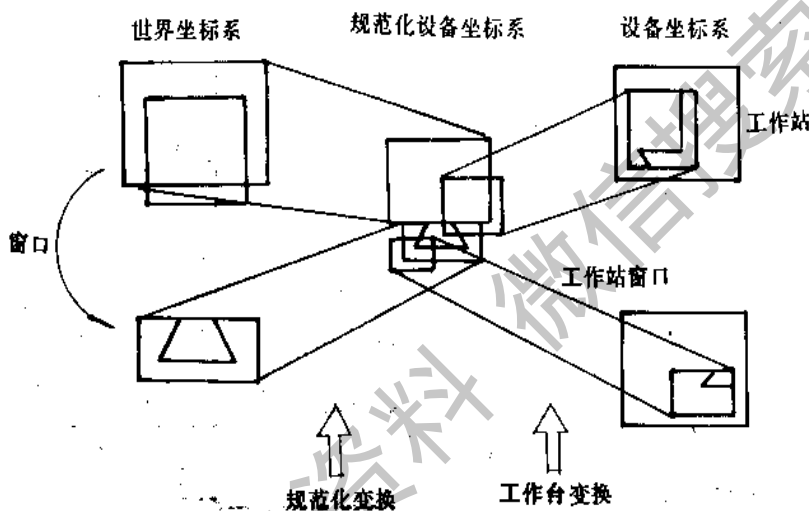


图 33-48 坐标系及其变换

表 33-8 六种逻辑输入设备

1	定位器(LOCATOR)—输入世界坐标系中一个点的位置
2	笔划(STROKE)—输入世界坐标系中一个点列位置
3	定值器(VALUATOR)—输入一个实数值
4	选择(CHOICE)—给出一个非负整数,它代表一项选择
5	检取(PICK)—给出一个图段名或检取标识
6	字符串(String)—给出一个字符串

d. 图形输入 应用程序通过控制把逻辑输入值发送给程序的逻辑输入设备的活动,由操作员那

里得到图形输入。GKS 为应用程序规定了六种逻辑输入设备,如表 33-8 所示。

GKS 提供了三种输入方式,如表 33-9 所示。

e. 图段 在 GKS 中,为了对图形能部分地进行操作,产生了图段的概念。每个图段由一个指定的图段名加以标识。图段可加以变换,使其可见或不可见及其他操作,如排序、检索、删除、插入等。

f. GKS 元文件 为了图形信息文件长期保存的目的,GKS 提供了到 GKS 元文件(GKSM)的顺序文件的接口。它们能用于:在系统间传送图形信息、从一个 GKS 应用程序向另一个应用程序传送图形信息、存贮伴随的非图形信息等。GKS 和 GKSM 之间的关系,如图 33-49 所示。

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

超星数字图书馆 蓝领星球

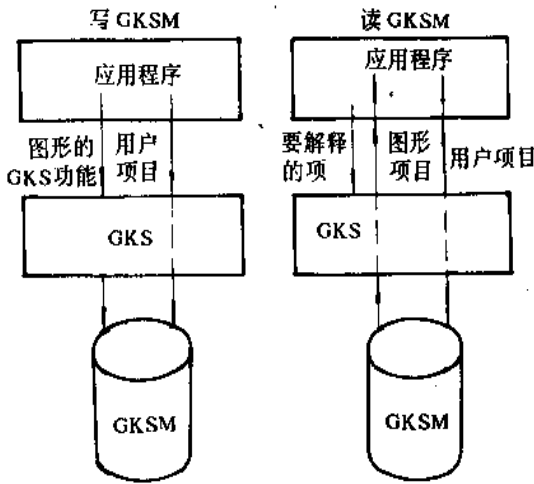


图 33-49 GKS 和 GKSM 之间的关系

表 33-9 三种输入方式

1	请求方式 (REQUEST)——每当应用程序对设备发出输入请求后,应用程序要等待操作员的输入动作。动作完成后,操作员按键通知 GKS 系统,系统才把数据送给应用程序
2	采样方式 (SAMPLE)——一旦应用程序发出采样要求,GKS 立即响应,把设备的当前状态送给应用程序
3	事件方式 (EVENT)——与请求方式的操作相同,但允许操作员超前输入数据,系统把它们缓冲在内存中的输入队列中,以便于协调计算机和操作员之间不同的处理速度

g. GKS 级别 一个通用图形软件包应该适用于大多数图形设备,而用一个固定的 GKS 系统来满足所有不同要求,显然又不太合理。为了适应不同环境要求,GKS 按输出和输入的功能定义了九级(0a、0b、0c、1a、1b、1c、2a、2b 和 2c),如表 33-10 所示。

其中 0a 级最低,分级的原则是:面向应用的子系统;实现的可行性;向上兼容。

h. GKS 状态 GKS 处于五个不同状态之一,如图 33-50 所示。

i. 出错处理 对每个 GKS 功能都规定了有限种出错情况,其中任何一种的出现都将引起 ERROR HANDLING 过程的调用。

表 33-10 GKS 的级

输出级	输入级		
	a (无输入功能)	b (REQUEST 功能)	c (全部输入功能)
0 (最低的输出功能)			
1 (基本的图段功能和全部输出功能)			
2 (独立于工作站的图段存储器 WISS)			

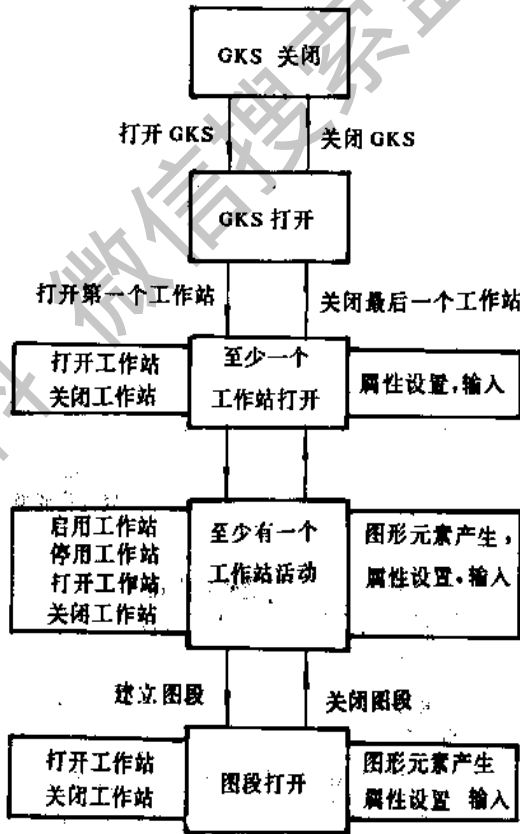


图 33-50 操作状态之间的迁移

#### 4.4.2 GKS 的功能

GKS 由 186 个功能子程序和 7 种表组成。186 个功能子程序按功能分为 10 类,如图 33-51 所示。

统称为 GKS 数据结构的 7 种表置于图中右面的方框中。

具体功能。如表 33-11 所示。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

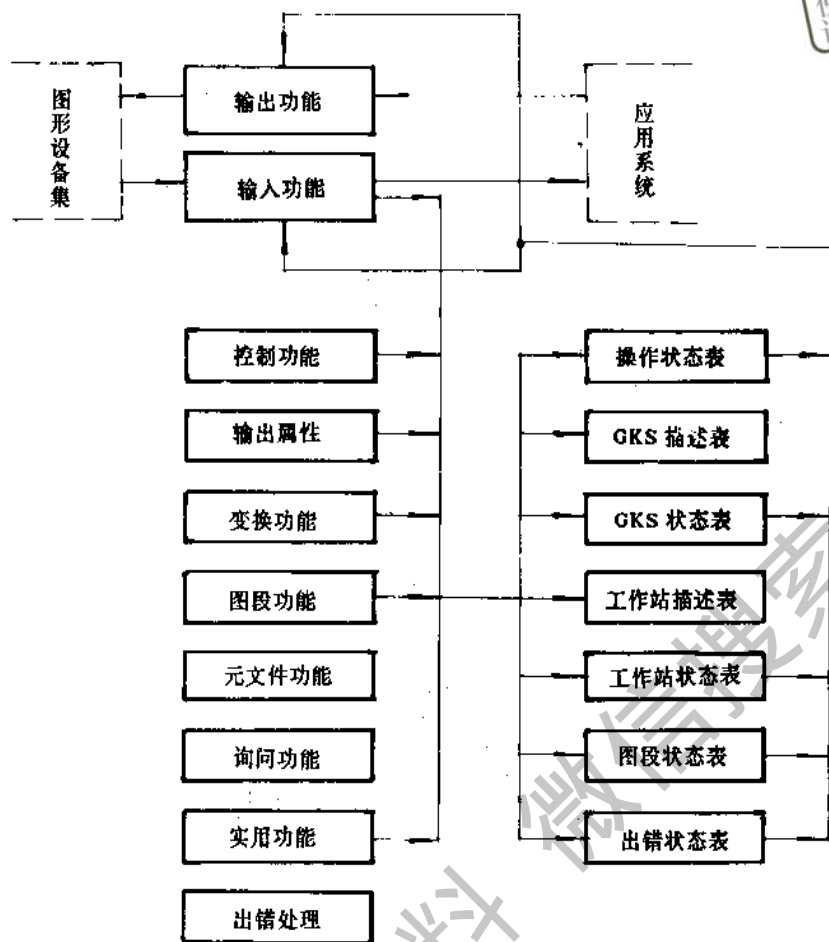


图 33-51 GKS 的功能

表 33-11 GKS 的功能

名称	内容
1. 控制功能	执行打开、关闭 GKS 及工作站进入或退出活动状态、消除工作站内容等
2. 输出功能	确定输出图形的类型
3. 输出属性	设定图形元素的各种属性以及各图形元素在工作站上的表现方式
4. 变换功能	实现规范化变换和工作站变换
5. 图段功能	对图段进行建立、删除、复制以及实现图段属性(即可见性、可检测性和变换等)
6. 输入功能	对各种输入设备初始化、设置输入方式、确定请求、采样、事件模式的输入功能
7. 询问功能	查询 GKS 描述表、状态表以及误差表、工作站描述表、图形元素表等,以及找 GKS 状态值、级别和状态、工作站类型和状态以及描述表、图段状态、图形元素情况和出错情况
8. 元文件功能	实现对无文件的读写
9. 实用功能	用以实现坐标变换
10. 出错处理功能	用以出错处理

### 5 CAD 数据库

通过 CAD 系统进行工程或产品设计的过程,实质上就是一个应用计算机进行信息处理的过程,数据是计算机表达信息的主要形式,在设计的过程中要产生、记录和加工大量的数据,文字和图形,如何有效地存贮和管理各类数据,使图形处理、数值计算等应用软件,既能共享公共数据资源,又可保持数据的独立性和完整性,避免不必要的数据冗余,是 CAD 技术的关键。所以建立统一的,并保存有设计所需全部数据资料的工程数据库系统是开发 CAD 所必不可少的内容。如何用计算机对各种数据进行存贮、查询、修改及安全保护等问题,是数据结构和数据管理的主要内容。数据库及其管理系统,是数据处理的最新研究成果,为数据信息处理提供了有效的工具。CAD 的工程数据库系统的研究。自七十年代开始不断发展,虽不如商业和事物处理的数据库成熟,但它的地位和作用已逐步得到确认,工程数据

库管理和图形处理成为 CAD 开发中的两个核心技术。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

#### 5.1 概 述

##### 5.1.1 数据的描述

数据就是用数字,字母或其它符号表示的信息代表,用来描述事物的某些特征,这些特征也称为该事物的属性。由一些属性所描述的对像称为实体。例如齿轮零件是一个实体,它可由 齿轮的几个属性,如零件的编号、模数、齿数等来描述。属性的具体值如模数为 3,齿数为 24,材料牌号为 20Cr 等叫做属性值,也就是描述齿轮某些特征的数据。

数据以及数据之间的关系可以从逻辑和物理两个方面来进行组织和描述。数据的逻辑描述是指从数据间逻辑关系的角度来组织和表达数据的形式,图 33-52 则表示了车床各组成部分的逻辑关系,也是一种逻辑描述。

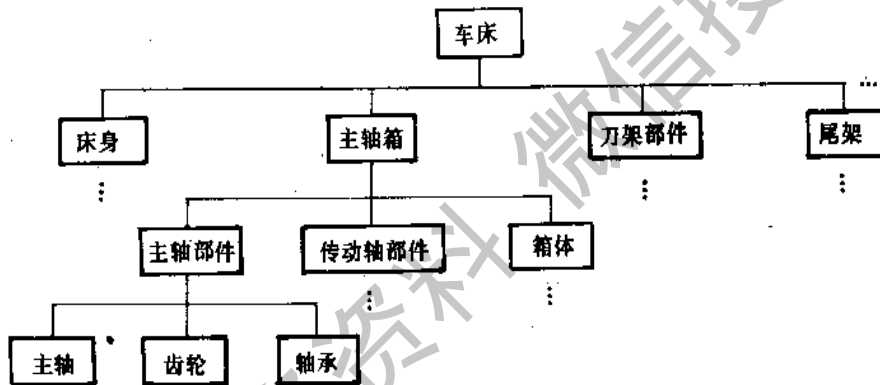


图 33-52 车床的数据结构

按照逻辑描述来构造的数据叫数据的逻辑结构。

数据的物理描述涉及数据在存贮器中的存贮方式,它从物理存贮的角度来描述数据和数据之间的关系,如数据在计算机存贮器中的存贮顺序,存贮单元的组织 and 具体分布等。

数据在存贮器中的表现及其配置叫数据的物理结构,也叫数据的存贮结构。

##### 5.1.2 数据的组织形式

数据可按其组成内容分为不同的组织形式,供不同的系统使用,一般有以下几种:

(1) 字段 字段是数据中最基本的、不可分的和

命名的即有名字的数据元素,也称数据项。

(2) 记录 相关的字段组成一个记录。因此,记录是字段的集合。

记录按其描述方式可分为逻辑记录和物理记录两类。逻辑记录是用户或应用程序员根据需要,把某些逻辑上有关联的数据组织在一起的字段集合。一般所说的记录大都是指逻辑记录。

物理记录通常是指硬件设备上的一个基本存取单位。如图 33-60 所示的一个磁盘面,两相邻间隙之间的一个磁道弧段是一个基本存取单位,也就是一个物理记录。它与逻辑记录有不同含义,一个逻辑记录存放在一个或几个物理记录中,而一个物理记录也可能含有一个或几个逻辑记录。



(3)文件 相同性质记录的集合就是文件。例如一台机器中的每个齿轮的有关数据可组成一个记录,所有这台机器的各个齿轮的记录组成了这台机器的齿轮文件。

(4)数据库 数据库这个术语是 60 年代出现的。当时泛指一个较大的文件集合。随着计算机科学和数据处理和管理技术的发展,数据库的含义也随之发展。按现代的要求来说,数据库不只是文件的集合,还包含着许多其它的特点。它是一个通用的、综合的、减少冗余度(即数据重复存贮的程度)的集合,它按照信息的自然联系来构造数据,把数据本身和数据间的关系都存入数据库,用各种存取方法对数据进行各种组合以满足各种应用,做到数据为多用户共享。

### 5.1.3 数据的组织和管理技术

一般情况下,在一个系统内,实体之间、实体与其属性之间或属性之间总有一定的联系,因而描述实体和属性的数据,彼此之间也是有联系的。这对于需进行大量加工处理的 CAD 系统来说,就有一个数据的组织和管理问题,它对 CAD 系统的功能和工作效率都有直接的影响。

早期的 CAD 系统,数据的组织和管理是通过计算机操作系统中的文件系统来实现的。数据按一定的格式,以文件的形式长期保存在计算机系统内,由文件系统集中统一管理。由于数据的各种转换和物理存贮的安排是由文件系统统一管理的,因此数据的更动,并不一定要修改应用程序。用户需用数据时,只要按所规定的格式要求向文件系统提出请求。这样,一个应用程序可使用多个文件,同一个文件可供不同的应用程序调用,数据与应用程序之间保持了一定程度的独立性。

但是,文件与文件之间还是孤立的,不能反映出彼此之间的关系。各文件的某些数据是重复的,数据冗余度大,浪费了存贮资源。此外,数据的修改也不够完善。因此文件系统的管理还不能满足 CAD 发展的需要。

数据管理技术的进一步发展,产生了数据库系统及其技术。此系统用专门的软件——数据库管理系统 DBMS(Data Base Management System)来管理数据,使数据与应用程序真正实现了相互独立,并最大限度地消除了数据的冗余度,做到了数据为多用户共享(图 33-53),进一步满足了 CAD 作业的需要,促进了 CAD 技术的发展。因此,现代 CAD 系统

都有数据库系统,它是 CAD 系统的重要组成部分。

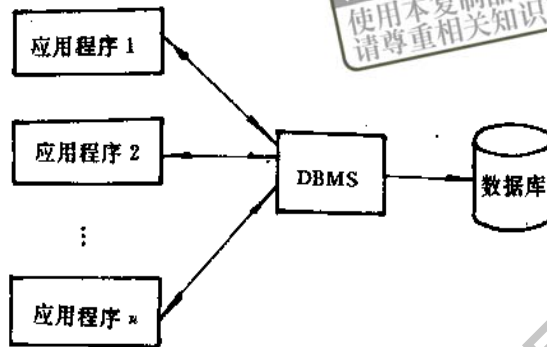


图 33-53 数据库与应用程序

必须指出,当前 CAD 技术发展的重要方向之一,是 CAD/CAM 一体化,用计算机把产品的设计(CAD)制造(CAM)集成为一体,甚至进一步再和计算机辅助经营决策和生产管理集成起来,成为计算机集成制造系统 CIMS。在这种系统中,由于设计、制造、经营和管理作业之间密切相关,有许多数据是共同的或彼此有联系的,因而数据的组织管理更为重要,数据库系统的作用更为突出。

## 5.2 数据结构

数据结构的基本含义是数据元素(记录)之间的相互关系。人们常用一组规则或约束条件来表示数据元素之间的结构关系。为便于分析,这些规则和约束条件可作多种方式来表示。较简便的方法是用由一些符号构成的图来表示,也可用数学式描述。

若把数据元素或记录归结为图上的结点,用圆或方框表示;两结点间的关系则用相应两结点间的连线来代表,就可用这些符号来构成数据结构图,如图 33-54 和 33-55 所示。

### 5.2.1 数据的逻辑结构

数据的逻辑结构可根据数据结点间逻辑关系分为下述三类。



图 33-54 顺序关系的数据结构

(1)顺序关系的数据结构 这是最简单的一类数据结构。数据结点是顺序排列的。因此,每一个结点只与它前一个和后一个结点相联系(图 33-54),

结点间只存在着线性(一维)位置关系。所以也称为线性并列表。

线性并列表是  $n \geq 0$  个结点  $x(1), x(2), \dots, x(n)$  的集合, 它的约束条件是: 当  $n > 0$  时,  $x(1)$  是第一个结点; 当  $1 < k < n$  时, 第  $k$  个结点  $x(k)$  的前一个结点是  $x(k-1)$ , 最后一个结点是  $x(n)$ 。数组就是这种结构的例子。

在线性并列表上所进行的操作(或运算)通常有:

- a. 存取第  $k$  个结点;
- b. 紧靠在第  $k$  个结点前插入一个新结点;
- c. 删除第  $k$  个结点;
- d. 把两张或更多的线性并列表组合成一张表;
- e. 把一张表分成多张表;
- f. 复制某表;

g. 按结点中某一个域值的升序对结点进行分类;

h. 搜索在某一域中具有特别的结点;

i. 求出表中结点的数目。

在线性并列表中, 栈和排队是用得最广泛的两种重要数据结构。

栈是存、取、插入和删除等操作只能在表的某一端进行的线性并列表。机械装拆就是栈的模型的一个例子。机械或其部件装配过程中, 各有关零件都是按一定顺序装上的。拆卸顺序与安装顺序相反, 后装先拆, 装拆操作只能在装配顺序的最后一端进行。若把零件数据作为结点, 构成机械部件装配的线性并列表, 则结点的插入或删除只能在表的末端进行。因而栈是一种后进先出(LIFO 即 Last Into First Out)型的数据结构。

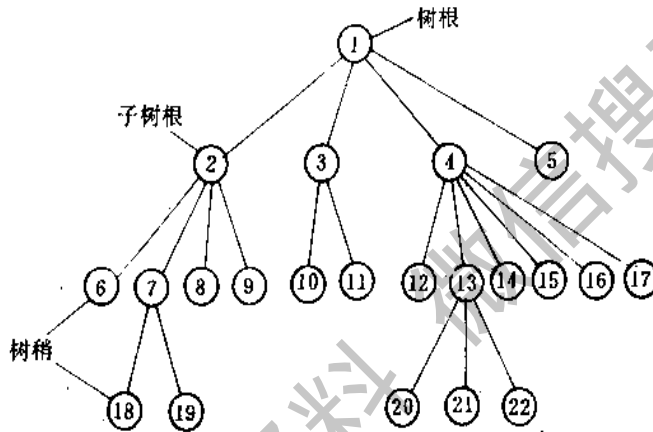


图 33-55 树结构

排队的插入在表的一端进行, 而删除则在表的另一端进行, 是一种先进先出(FIFO 即 First Into First Out)的数据结构。工件在正常运行的流水生产线上的情形, 就类似于这种结构。

(2) 树形层次关系的数据结构(树结构) 这种结构的数据间的逻辑关系较复杂, 呈层次的逻辑关系。图 33-52 表示的机床组成部分的数据结构就是一种树结构。典型的树结构如图 33-55 所示。

树结构的特点是, 下一层中的结点只能有一根连线与它的上一层的一个结点相连; 反之, 上一层的结点则可与下层中的几个结点相连。最高一层的结点只有一个(图中的结点 1)叫做树根。其它层中的结点如 2、3、4 等又都可作为一个子树的根, 分别与它的下一层中的结点 6、7、……、17 等相连。末端的结点 5、6、18、19、8、9 等叫做树梢或叶。通常树结构

图总是把树倒放, 树根在上方。

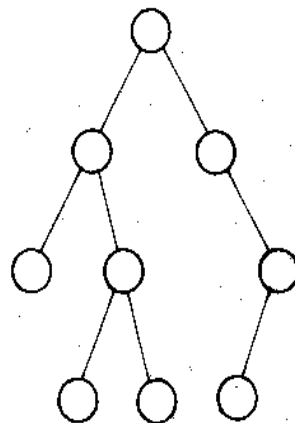


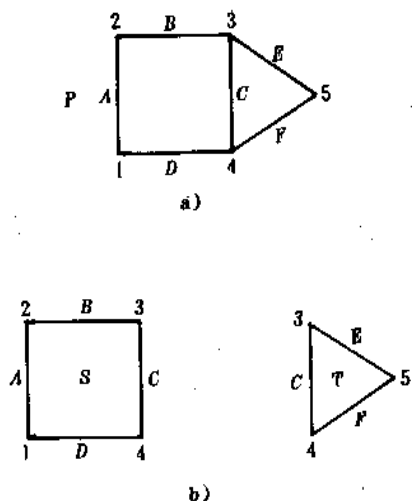
图 33-56 二叉树

在树结构中, 有一种特殊的结构即二叉树有重

超星浏览器提醒您: 请尊重相关知识产权!

要的意义和应用。这种结构的特点是：每个结点最多只有两个下一层的结点与它相连(图 33-56)。由于计算机是采用二进制的计算方式，因而处理树的许多算法用到二叉树上时将变得非常简单。在实际处理层次关系的结构时，往往把复杂的树结构转换成三叉或二叉树。

(3)网状关系的数据结构 这种结构能表达数据间更复杂的关系。如图 33-57a 所示的几何图 P 是



由一个四边形 S 和一个三角形 T 所组成(图 33-57b)。四边形 S 由 A、B、C、D 四条边组成；三角形 T 由 E、F、C 三条边组成。每边都有两个端点，但由于有公用端点，整个图形有 1、2、3、4、5 五个顶点，根据此图形 P 的组成逻辑，其数据结构可如图 33-57c 所示。此图上部类似于树结构，下部是网状结构。由此可见，由于客观事物的复杂性，数据间的逻辑关系往往是上述几个基本结构的组合。

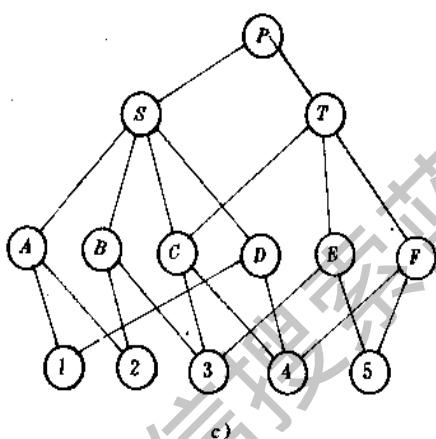


图 33-57 图形的数据结构

### 5.2.2 数据的存储结构

作业过程所用到的数据都要以一定的形式存入计算机系统，系统才能对这些数据进行加工和处理。因此用户根据专业特点、使用要求以及数据间的逻辑关系设计好数据的逻辑结构后，还要以一定的语言加以描述，输入系统。系统通过特定的软件把数据间的关系按一定的形式存在存储器中，构成这些数据的存储结构即物理结构。这个把逻辑结构变换成物理结构的过程叫做“映象”。

数据的物理结构是从系统设计的角度来考虑和设计的，与用户考虑的角度不完全一致。用户一般从应用的角度，从数据的逻辑关系角度来考虑，不考虑存储的特点和要求。而存储设计中除了要考虑到数据的逻辑结构外，还要考虑存储本身的一些特点和要求，如存储资源的充分利用，减少存取时间，便于数据的增、删、修改、可靠性等问题。因此，逻辑结构与物理结构两者一般是不一致的。同一结构可以映象出多种物理结构。

#### (1) 存储单元模型

数据结构是数据结点和关系的结合。存储结构

也是如此。为便于分析研究，可把结点及其关系作为一个存储单元的模型来考虑。在这种模型中，每个存储单元由数据域和指针域两部分构成(图 33-58)。数据域存放结点的值；指针域用来实现，即用来存放与该点有某种关系的结点的存储单元的地址。每个域由若干计算机字或存储器字组成。因此一个存储单元模型相当于实际计算机存储器中由若干存储器字组成的一个存储块。其存储单元的模型如图 33-58 所示。图中数据域存放记录  $R_1$  的各项数据共占 8 个存储器字，指针域存放记录  $R_2$  ( $R_1$  的后件) 的存储单元第一个存储器的地址 2020，此地址称为指针，也就是后件的入口地址。通过指针来实现结点间关系的方法称为链接地址法。

#### (2) 几种存储结构

1) 线性并列表的存储结构 线性并列表只有简单的顺序位置关系。这种关系可通过下列两种结构来实现。

顺序存储结构 这种结构的存储单元是按照逻辑结构的顺序在存储器中连续分配的。逻辑结构与物理结构完全一致，因而在存储单元模型中，可以不需要指针，也没有指针域。数组就是此例。

顺序分配点为  $R_1, R_2, \dots, R_n$  的线性并列表时,第  $i$  个结点的地址,  $a_i$  可以用第一个结点的地址

$a_1$  按下式直接计算出;

$$a_i = a_1 + s(i-1)$$

超星浏览器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

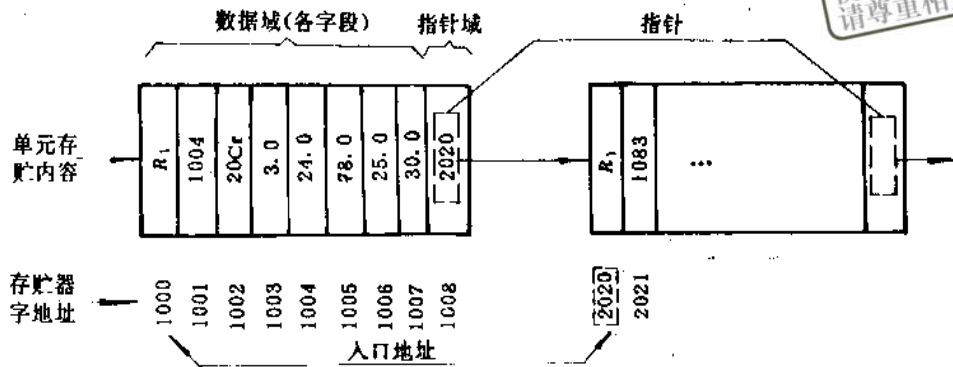


图 33-58 存储单元模型

式中  $s$ ——步长,两相邻存储单元模型之间的存储器字数。

因此,访问第  $i$  个结点是很简单的。因为没有指针域,所需的存储区域也小。但是结点的插入,删除和重新排列却是比较麻烦的,在进行这类操作时,往往需要在存储器中移动许多结点。

链接存储结构 这种结构的存储单元不是按照逻辑结构的顺序分配的,逻辑结构与物理结构不一致。逻辑结构中的顺序关系是通过存储单元模型的指针域中的指针来实现的。其存储结构的模型如图 33-59 所示。在存储器中的实际存储结构如图 33-60 所示。

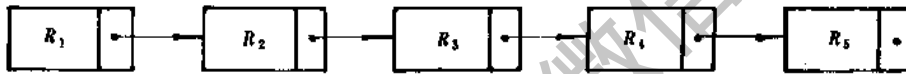


图 33-59 线性并列表的存储模型

图 33-60 表示一个磁盘面。每个记录(结点)分散存储在不同磁道的弧段中。各有指针指出下一个记录的地址,在图中用弧线箭头表示此指针及其存取路径。因此,尽管物理存储结构分散而不按逻辑顺序,但通过指针仍可按照逻辑顺序来存取各个记录,实现逻辑结构的顺序关系。这样,物理存储独立于逻辑结构,这是链接存储结构的基本特点。

代码,图中以符号 \* 表示。

链接存储需要额外的存储器来存放指针,占用的存储区域较大。但结点的插入和删除等操作比较简单,可以不改变原来的物理存储结构来实现。如图 33-59 所示的链结构中,若要在记录  $R_2$  和  $R_3$  之间插入一个记录  $R_4$ ,并删去记录  $R_3$ ,则可把  $R_2$  中的指针改为  $R_4$  的入口地址,在  $R_3$  的指针地址中存入  $R_4$  的入口地址,这就实现了插入记录  $R_4$  的功能。要删去记录  $R_3$ ,可把  $R_3$  的指针改为  $R_2$  的入口地址,如图 33-61 所示。

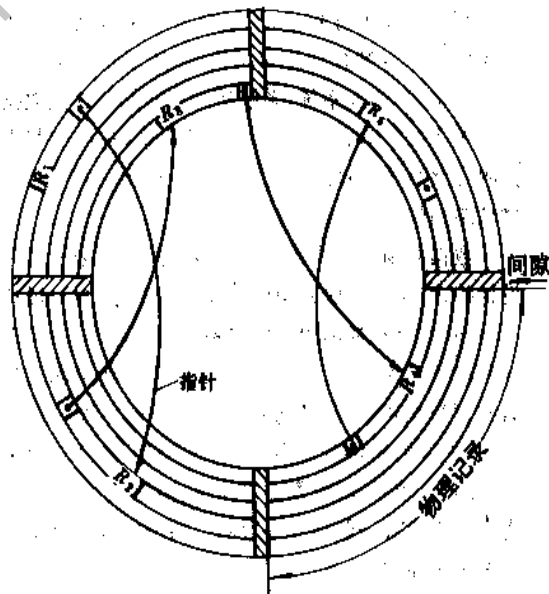
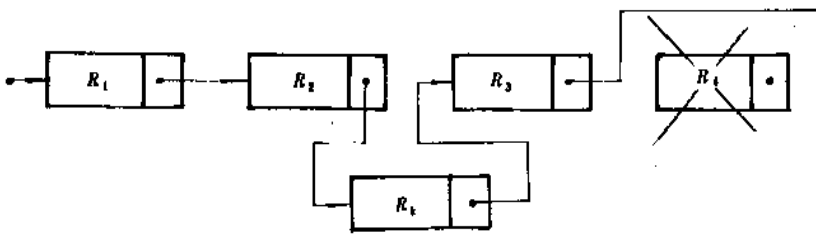


图 33-60 物理存储结构

图 33-59 所示的结构模型称为链结构模型。其最后一个存储块中无指针,放入一个标志链结束的



超星浏览器提醒您：  
使用本产品  
请尊重知识产权！

图 33-61 记录的增删

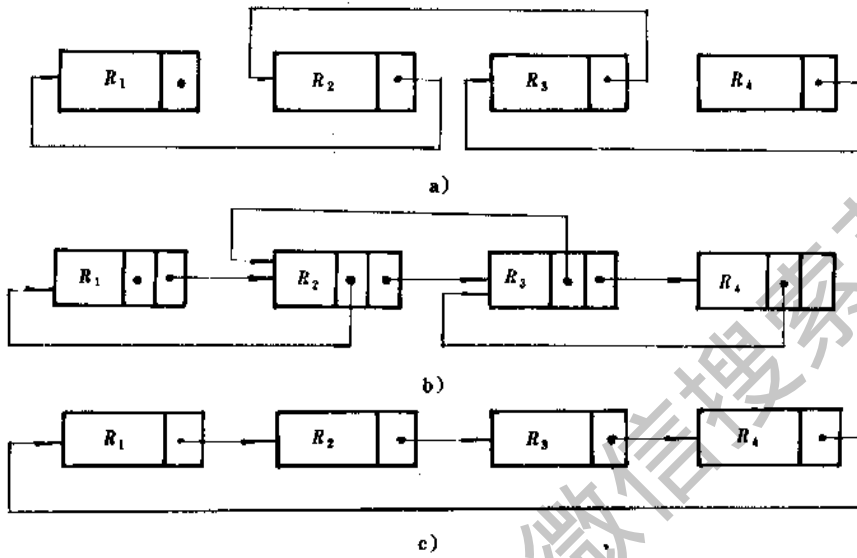


图 33-62 链结构与环结构

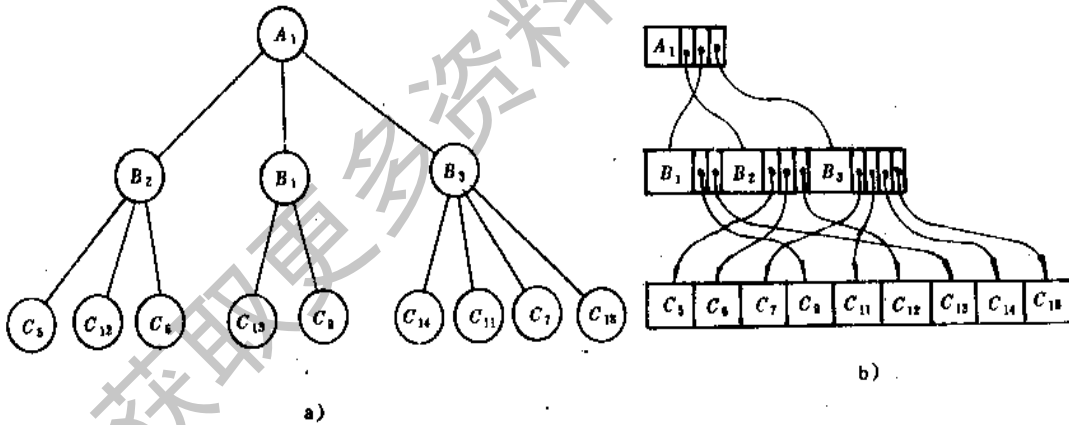


图 33-63 树结构的存储结构

链结构可根据指针的连接方向分为正向链结构(图 33-61),反向链结构(图 33-62a)和双向链结构(如 33-62b)三种。双向链结构中的存储块中有两个指针,分别按正、反两个方向连接。

若链结构中最后一个记录与第一个记录通过指

针连接,就成为环结构(图 33-62c)。环结构的特点是存取时可以从环的任何一个记录入口,按指针逐个存取各个记录,直到再遇到入口记录为止。

环结构也可以有双向的结构。双向结构的优点是当某个指针因意外而损坏时不致于影响整个结构



而且还容易修复。另外一个优点就是可缩短存取时间,因为可按两个方面来存取某个记录,所以可自入口处按较短路径方向存取。

2) 树结构的存储结构 对于逻辑结构为树结构的数据(图 33-63a),它的物理存储结构可把逻辑结构中各层次的数据按层次分别存储在三个顺序连续块中,然后用指针按逻辑结构联系,构成树状结构,如图 33-63b 所示。

### 5.2.3 数据结构在 CAD 中的应用

上述指针法数据结构在 CAD 中的应用主要有

下列两个方面:

(1) 适应 CAD 作业中对设计模型作实时修改的需要 这种修改可用光标在显示器屏幕上实现,实现人机对话中的实时修改。例如在会话型 CAD 作业中,随着设计的进程需要在屏幕上实时删去某一系统图的一个元件或某一机械结构图的一个零件 P,就要有一定的数据结构来实现这个功能。设 P 由 A、B、C、D 四个图元素组成,每个图元素的数据构成一个记录,则删去元件 P 的功能可以用图 33-64 的数据结构来实现。

超星阅读器提醒您:  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权!

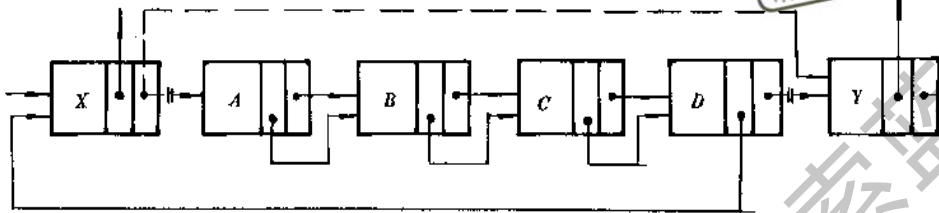


图 33-64 删去某一元件的数据结构

图中每个存储块中有两个指针。第一个在右边的指针把元件 P 的各元素 A、B、C、D 与其它部分 X、Y 连成一体;第二个靠左边的指针则在 A、B、C、D、X 之间又构成一个链结构。

当无删改操作时,按照右边的第一个指针即沿 X→A→B→C→D→Y 的路径把元件 P 连在 X、Y 之间,因而在屏幕上显示时,P 随同 X、Y 和其图形一起被显示出。当应用数字化仪删去此元件 P 时,把光标指向屏幕上 P 的任何元素,并在键盘上按“删除”键,调用“删除”子程序,就把元件 P 删去。

实现上述屏幕实时删改的功能,还必须有一定的算法和程序指令,如上例中的检查指针,更改指针等。因此,要把这些操作的算法编成程序指令作为标准子程序先存在系统内,并定义在有关的按键(或其它形式)上。当实时操作中按下“删除”键时,实际上就是调用了其子程序。

(2) 为数据检索提供条件 在设计中往往要根据设计对象的某些特征或属性来检索一些数据供设计参考选用。这也要通过一定的数据结构来提供条件。可举一个简单的例子来说明。

图 33-65 中是有五个零件的记录。为了按照标别码来检索数据,我们可根据记录中的标别码来设置指针。如需要按照零件材料来检索,可按照材料这个标别码设置第一个指针,把具有相同材料的记录用此针链成环结构。另外也可按照零件种类这个标

别码来设置第二个指针,把相同类型的零件记录用第二个指针链成环结构。图中把钢零件和齿轮分别构成两个环。这样当我们检索这批零件中的钢零件时,只要指出标别码,就可按第一个指针检索到所有的钢零件(其它材料也可仿此构成相应的环结构,因此也可被检索)。同样,当给出零件种类的标别码时,就可按第二指针检索到各类型的零件数据。

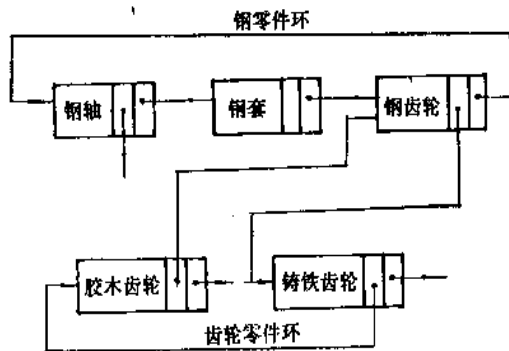


图 33-65 数据结构在数据检索中的应用

数据检索除了可用上述链地址法外,还可用其它数据结构和文件组织方法来实现,如算法和索引法等。这些都有专门的文献来论述,需要时可参阅有关文献。



### 5.3 文件组织

CAD 作业中的数据记录可按照使用要求和上述数据结构方法组织成如下各种文件:

#### 5.3.1 顺序文件

顺序文件是数据处理历史上最早使用的文件。其中的数据记录是根据记录中某一属性值的次序排列的,表示这一属性的字段称作关键字或关键词。

顺序文件的基本优点是连续存取的速度较快。如文件中第  $k$  个记录刚被存取过,下一个要存取的是第  $k+1$  个记录,这个存取将会很快完成。顺序文件大多存在磁带上,可以充分发挥连续存取的优点。

当需要对顺序文件中的某个记录进行查找时,一般采用扫描的方法,即扫视整个文件,直到所需的记录被找到为止。当文件很大时,扫描过程很长,降低了查找效率。因此只有当按顺序连续查找大量记录时,才能表现出它存取速度快的优越性。另外,数据的少量修改是很不合算的。因为顺序文件的存储结构是与逻辑结构一致的,对顺序文件的任何修改,都要求把整个文件的物理存储重新映射一遍。

#### 5.3.2 索引文件

针对上述顺序文件扫描查找记录过程长的缺点,在文件组织中,采用了索引表,构成了索引文件。索引表相当于图书资料中的目录,目的是提高查找速度。在索引文件中,把文件中所有记录的关键码及对应的入口地址集中在一起,另外组成一个记录或文件,称之为索引表,存入存储器的某个区域(图 33-66)。当要查找某个记录时,先在索引表中找到这个需要查找的关键码,根据其提供的指针即所找记录的地址来找到所需的数据记录。由于索引表比原来的文件简单,字段要少得多,因此,查找效率比前述的顺序文件高。

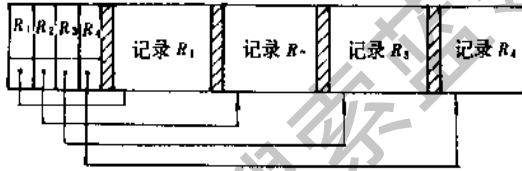


图 33-66 索引顺序文件结构

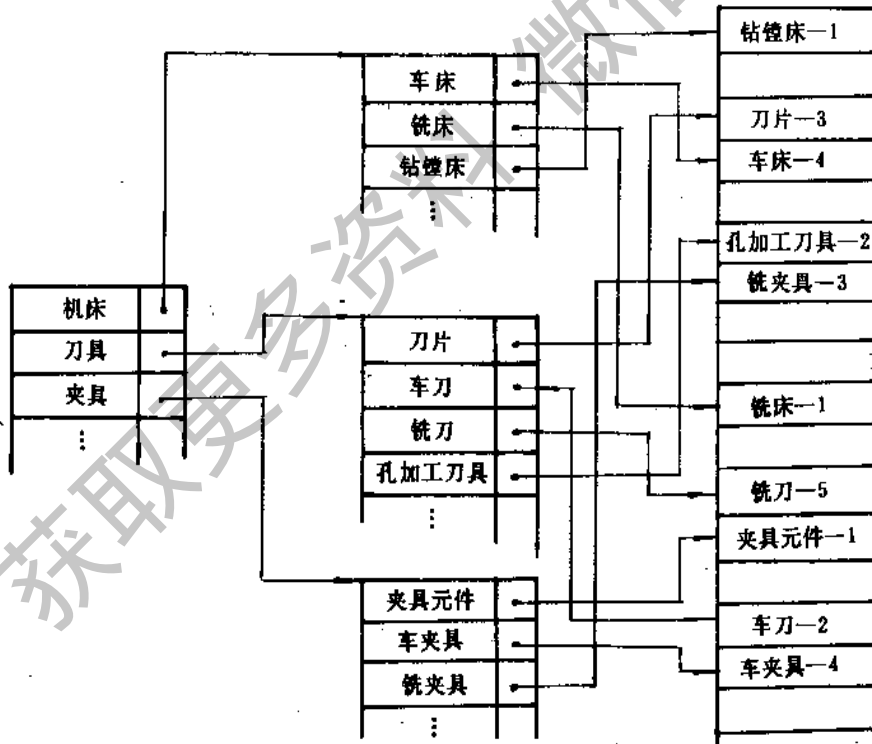


图 33-67 层次索引文件

索引文件包括索引顺序文件(图 33-66)的索引非顺序文件。前者指文件的物理存储结构是顺序连续的;后者则是指随机分散存储的。一般所说的索引文件,大都是指非顺序文件而言。

对于很大的文件,索引表本身也相当大,为进一步提高查找速度,可在此索引表上再建立索引,甚至还可建立更多级层次结构或树结构的索引表(图 33-67)。

索引文件不仅可提高查找速度,相对于顺序文件来说,对文件的修改也简便得多。在索引顺序文件中减少某个记录,只要在索引中删去此记录的关键词即可。而实际存储中的记录可暂时不变动,等修改多了,累积了一段时间后,再作统一的处理。

增加记录时,可把新记录插入溢出区内,溢出区可在每个记录的后面,也可留在整个文件的后面。但这要求对可能增加的记录的大小有一个合理的估计。

对索引非顺序文件的修改,则更简单一些。在非顺序的索引文件中,由于采用了指针链接结构,数据记录不必按逻辑顺序存储,而是按建立时的顺序随机存放在不同的存储空间。修改也更方便。要删除一个记录,只要在指针链中消去该记录即可。要增加新的记录可随机地存放在一个空闲区内,然后用指针链接起来。

这两种文件各有其特点,对于要批量存取的情况,可选用索引顺序文件。若数据的随机性高,而且经常要改动时,选用索引非顺序文件比较合适。也可以两者结合使用,即部分顺序,部分非顺序。

### 5.3.3 散列文件

索引文件的特点是文件的物理存储独立于逻辑结构,使文件便于修改,但记录要通过索引表的指针来实现查找。不能直接寻址存取,影响了存取效率。随着 CAD 的发展,有大量的数据需作快速存取,因此不需要建立索引的直接存取的文件组织形式日益受到重视。散列文件就是一种直接存取文件。在这种文件中,把记录的关键词通过某种计算处理,直接转换为该记录的相应地址。这不仅可以提高存取速度,而且修改也方便。这种文件能否很好实现,关键是要找到一个合适的把关键词转换成地址的算法。

## 5.4 数据库体系结构

### 5.4.1 数据库模式

在建立某一专业用途的数据库时,总是先要考虑一个总体规划,确定数据要涉及到的各个实体及其数据的类型、各类数据之间的联系以及它们的表示方法等。这种规划称为数据库的模式。

模式(Schema)是数据库的总体逻辑结构,并不涉及具体数据。数据库中的具体数据是模式的实例,它经常要根据实际情况而作变化或修改,而数据库的模式即总体规划结构则在一段较长时期内是不变的,只是总体结构需作修改时才相应地改变模式。

模式涉及整个数据库的全局性的规划结构,所以也称之为全局模式。但对于一个具体的应用程序来说,需处理的数据只是涉及全局模式的某一局部,只需了解这一局部的数据间的联系或逻辑关系,也就是只需了解这一局部的逻辑结构。这种局部的逻辑结构称为数据库的子模式(Subschema)。

模式和子模式实质上是现实世界的一种抽象,需用一定的数据模型来描述。在数据库系统中使用的主要数据模型有三种,即层次模型、网状模型的关系模型。

#### 5.4.2 层次数据模型

层次数据模型是用前述数据结构中的层次结构来描述数据库总体逻辑结构的一种方式,用图形表示就是树结构。数据的存储就按照这个层次树所表示的数据间的关系进行。图 33-68 所示的刀具数据库逻辑结构就是一种层次结构。若把此层次结构作为某个刀具数据库的总体逻辑结构或全局模式,则此数据库就是层次模型的数据库。

图 33-68 中的一部分如铣刀,是整个树结构的一棵子树,也就是全局模式的子集即子模式。由图可见,当全局模式需作某些改变时,如要增加自动化刀具这部分的数据时,只要在全局模式中加上这部分的子树即可,不必更改或不影响其他子树或子模式。同样当需修改某一子模式时,也不会影响其它子模式。由于应用程序只是根据子模式的要求来编写,因此当全局模式修改时,并不影响有关子模式的应用程序,也不必修改这些应用程序,做到了逻辑数据的独立性。

层次模型的逻辑结构清楚而简单,也容易实现。但只适用于较简单的数据集,对于复杂的数据关系,实现起来相当复杂。另外,如图 33-68 所示的刀具数据模型中,每种刀具的子模式中都会有刀具材料和刀具几何参数等的数据元素,许多数据会重复,造成较大的冗余度。因而使用受到限制。

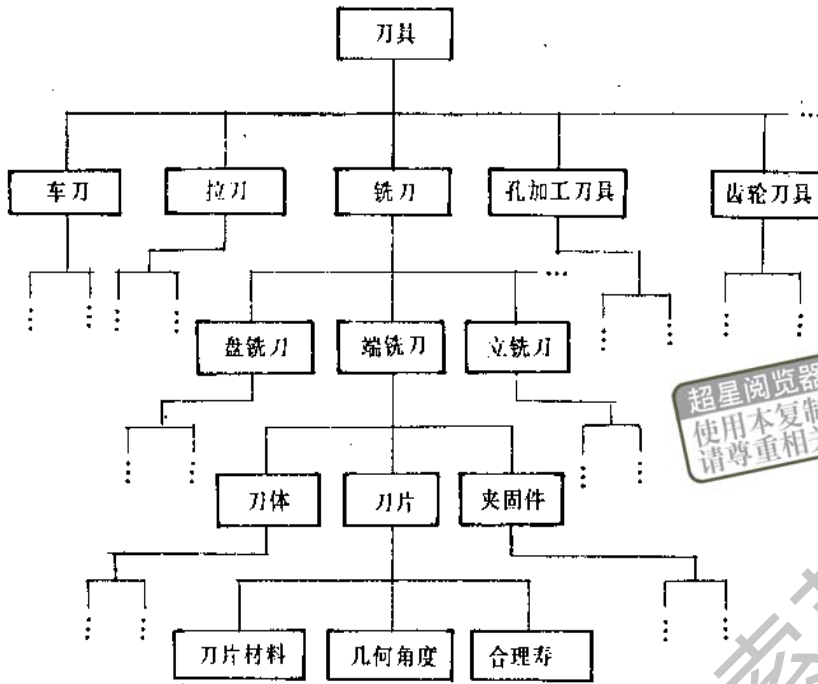


图 33-68 刀具数据模型

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

5.4.3 网状数据模型

这种模型是用网状数据结构来描述数据库的总体逻辑结构。这种结构的数据之间可任意连接，因而可以描述复杂的数据间的关系。图 33-69 是图 33-68 刀具数据模型中部分数据构成的网状模型。由于数据间可任意连接，避免了层次模型中存在的如刀片和紧固件的重复存储。

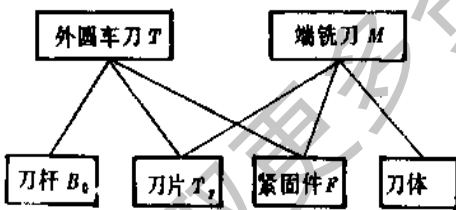


图 33-69 网状模型

为了实现数据间的连接，在网状模型中，引进了“系”的概念，用来表达数据间的联系。这是它与层次模型的最大差别。

“系”(Set)是一个具有层次关系的二级树(图 33-70)第一级称为首记录，如图 33-70 中的  $T$  和  $M$ ；第二级称为属记录，如图 33-70 中的  $B_0$ 、 $T_p$ 、 $F$  和  $T_p$ 、 $F$ 、 $B_1$ 。因此，系是命名了的由有关的记录构成的二级层次模型的集合。系可用数学式表示为

$$S = \{O, M_1, M_2, \dots, M_n\}$$

式中  $S$  系名；  
 $O$  首记录；  
 $M_1, M_2, \dots, M_n$  属记录。

一个网结构可以分解成若干个系。图 33-70 就是图 33-59 所示的网结构分解所得的两个系  $S_1$  和  $S_2$ ，其表达式分别为  $S_1 = \{T; B_0, T_p, F\}$  和  $S_2 = \{M; T_p, F, B_1\}$ 。

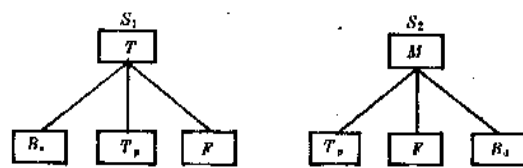


图 33-70 网状模型的系

网状模型数据间的连接，通常用指针链接来实现。也可以采用指针阵列式连接的方式。图 33-71 是用二进制数 0,1 实现连接的一个例子。若首记录与属记录的交点为 1 则表示该属记录属于该首记录，应连接；若为 0，则表示不属于，不应连接；通过扫描整个阵列，就可以把同一系内的首、属记录连在一起。

网状模型不仅具有层次模型的特点，而且还能描述较复杂的数据关系，因而应用较广泛。

	首记录 1	首记录 2	...	首记录 m
属记录 1	1	0	...	1
属记录 2	1	1	...	0
⋮	⋮	⋮	...	⋮
属记录 n	0	1	...	1

图 33-71 指针阵列

### 5.4.4 关系数据模型

上述层次模型和网状模型都是结构化的模型,即都要事先根据应用需要,把数据之间的逻辑关系固定下来。因而数据模型的柔性差。关系数据模型则是以数学理论为基础来实现数据间的联系,通过关系运算来实现数据的选取和重新组织,形成新的关系,数据结构的柔性大。因而此模型一提出,就受到广泛的重视。

#### (1) 数学概念

设  $D_1, D_2, \dots, D_n$  是  $n$  个非空的集合,则  $D_1, D_2, \dots, D_n$  的直积(或称笛卡尔乘积),记为  $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ ,是  $n$ -元组  $(d_1, d_2, \dots, d_n)$  的集合,即

$$D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n = \{(d_1, d_2, \dots, d_n) \mid d_i \in D_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

其中  $d_1, d_2, \dots, d_n$  分别是  $D_1, D_2, \dots, D_n$  中的任何元素; $D_1, D_2, \dots, D_n$  称为直积的域。

直积的子集即直积的一部分,记为  $R(D_1, D_2, \dots, D_n)$  称为一个  $n$  元关系。

可把关系看作是一个二维表。表的每一行即文件的每个记录对应一个元组;每一列属性就对应一个域。

#### (2) 关系模式

一个关系的属性名的序列称为关系模式,相当于文件中逻辑记录的构成模式。若一个关系模式有属性  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ,则可把关系模式写成  $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ 。如前所述,模式并不涉及具体数据值,关系模式也是如此。

#### (3) 关系运算

关系运算包括两类运算。一类是把关系作为集合进行并、交、差等运算,另一类是专门的关系运算如筛选、投影、联接等。

• 并运算 给定两个关系  $R$  和  $S$ ,属于  $R$  或  $S$  的全体元组  $x$  所组成的集合称为关系  $R$  和  $S$  的并,记作  $R \cup S$ ,即

$$R \cup S = \{x \mid x \in R \text{ 或 } x \in S\}$$

所得的结果仍是一个关系。

• 差运算 给定两个关系  $R$  和  $S$ ,在关系  $R$  的元组中除去既属于  $R$  也属于  $S$  的元组之后剩下的元组所构成的关系称为关系  $R$  和  $S$  的差,记为  $R - S$ ,即

$$R - S = \{x \mid x \in R \text{ 但 } x \notin S\}$$

• 交运算 由既属于关系  $R$  也属于关系  $S$  的全体元组所组成的关系,称为关系  $R$  和  $S$  的交,记为  $R \cap S$ ,即

$$R \cap S = \{x \mid x \in R \text{ 且 } x \in S\}$$

设关系  $R(A, B, C)$  和  $S(A, B, C)$  分别如图 33-72a 和 b 所示,则  $R \cup S$  和  $R \cap S$  分别如图 33-72e、f 所示。

• 直积运算 两个分别为  $K_1$  元和  $K_2$  元的关系  $R$  和  $S$  的直积是一个  $(K_1 + K_2)$  元组的集合,其中每一元组的前  $K_1$  个分量是  $R$  的一个元组,后  $K_2$  项则是  $S$  的一个元组,记为  $R \times S$ 。图 33-72a 和 b 所示的关系  $R$  和  $P$  的直积  $R \times P$  和  $P \times R$  分别如图 33-72g 和 h 所示。

• 投影运算 投影是一关系在其某些字段上的运算。其运算结果是在给定关系的各元组中,选出相应于给定属性的那些分量,并去掉重复的元组。

若以算符  $\pi$  表示投影运算,所需运算的关系  $R(D_1, D_2, \dots, D_n)$  的给定域为  $D' = (D'_1, D'_2, \dots, D'_m)$  (其中  $1 \leq m \leq n$ ), $D'$  是域  $D = (D_1, D_2, \dots, D_n)$  的一个子域。则关系  $R$  在域  $D'$  上的投影可写成  $\pi_{D'}(R)$ 。设  $r$  为关系  $R$  的元组。则  $\pi_{D_i}(r)$  表示元组  $r$  中对应于域  $D_i$  的那个分量,即元组在域  $D_i$  上的投影。而  $\pi_{D'}(r)$  则表示元组  $r$  中对应于域  $D' = (D'_1, D'_2, \dots, D'_m)$  的  $m$  个分量。此  $m$  个分量组成一个  $m$  元组。关系  $R$  的所有各元组在  $D'$  上的投影的集合就是  $R$  在  $D'$  的投影,即

$$\pi_{D'}(R) = \{\pi_{D'}(r) \mid r \in R\}$$

图 33-72a 中的关系  $R$  在域  $A, B$  上的投影运算  $\pi_{A, B}(R)$  的结果如图 33-72f 所示。由此可见,投影运算可消去关系  $R$  中的某些分量,留下某些分量,实际上就是按列拆表,取其中的某几列。

• 联接运算 两个关系的联接运算是指从这两个关系的直积中,选出满足给定属性间一定条件的那些元组,同时去掉重复的元组,用符号  $\bowtie$  表示,

其中  $c$  表示联接的条件,用实例说明:假设有两关系  $R$  和  $S$  如图 33-73a 和 b 所示,要在此两关系的直积中选出满足属性  $B < D$  条件的那些元组的联接运算

$$R \times S$$

$$B < D$$

A	B	C
a	b	c
d	e	f
g	h	k

a)关系  $R$

A	B	C
g	h	k
e	m	n

b)关系  $S$

C	D	E
e	h	k
f	m	n
g	h	n

c)关系  $T$

D	E	F
x	y	z
w	y	z

d)关系  $P$

A	B	C
a	b	c
d	e	f
g	h	k
e	m	n

e)  $R \cup S$

A	B
a	b
d	e
g	h

f)  $\pi_{AB}(R)$

A	B	C	D	E	F
a	b	c	x	y	z
a	b	c	w	y	z
d	e	f	x	y	x
d	e	f	w	y	z
g	h	k	x	y	z
g	h	k	w	y	z

g)  $R \times P$

D	E	F	A	B	C
x	y	z	a	b	c
x	y	z	d	e	f
x	y	z	g	h	k
w	y	z	a	b	c
w	y	z	d	e	f
w	y	z	g	h	k

b)  $P \times R$

A	B	C
g	h	k

i)  $R \cap S$

A	B	C	D	E
a	b	c	h	k
d	e	f	m	n

j)  $R \times T$

C	D	E	A	B
c	h	k	a	b
f	m	n	d	e

k)  $T \times R$

图 33-72 关系运算

运算结果如图 33-73c 所示。

A	B	C
1	2	3
4	5	6
7	8	9

a)关系  $R$

D	E
3	1
6	2

b)关系  $S$

A	B	C	D	E
1	2	3	3	1
1	2	3	6	2
4	5	6	6	2

c)  $R \times S$   
 $B < D$

图 33-73 联接的例子

由此可见,通过联接运算,可把满足一定属性间条件的数据,从不同的关系中联接在一起,相当于并表的作用。

当两个关系  $R$  和  $S$  具有公共属性时,它们的联接运算称为自然联接,记为  $R \bowtie S$ 。如图 33-72a 和 c 中的关系  $R$  和  $T$ ,其自然联接  $R \bowtie T$  和  $T \bowtie R$  运算结果如图 33-72j 和 k 所示。

比较以上三种数据模型可看出,格式化的层次模型和网状模型,都要在建数据库时,为以后可能的应用预先设计好模式和子模式,一旦在应用中发生事先未考虑到的模式或子模式时,就要先修改模式或子模式,然后,才能使用。而关系模型则只要按数据库的一些规定以一定的关系(即二维表)存入库

中,应用时可通过各种关系运算来检索或组合某些数据,可动态地满足用户方面的需要。另外,数据的冗余度也低,修改存取都方便。由于这些优点,因此,关系模型受到更多的注意,应用也日趋广泛。

除了上述三种数据模型外,近年来还发展了其它的一些数据库方法如实体集方法和加标有向图方法等,此处不再细述。

### 5.5 数据库管理系统

在一个数据库系统中,数据库的一切活动,包括库内数据的存贮、检索、修改以及数据的安全维护等,都是通过一些软件来实现的。另外,前述的模式和子模式的描述,关系运算,逻辑结构到物理结构的



映射以及其他对数据的操纵和管理等,也要通过相应的程序来实现。这些软件统称为数据库管理系统(DBMS),是数据库系统的核心组成部分。

### 5.5.1 DBMS 的基本功能

DBMS 具有下列基本功能:

(1)定义功能 包括数据库文件的数据结构的定义,存储结构的定义,数据格式定义和保密定义等;

(2)管理功能 包括系统运行的监督和控制,数据管理,数据完整性控制,运行操作过程的记录等;

(3)建立或生成功能 包括各种文件的建立和生成;

(4)维护功能 包括数据库的更新或再组织,结构的维护,恢复和性能监视等;

(5)通讯功能 DBMS 是在计算机操作系统的支持下建立和使用的,为此必须具备与操作系统联机处理的通讯功能。

DBMS 一般都是通用系统,它具有与多种类型的操作系统的接口软件,因而可方便地安装在多种类型的计算机上。

### 5.5.2 DBMS 的主要程序

DBMS 虽然是在操作系统的控制下工作的,但作为一个管理数据的独立系统,为了实现上述各种功能,它本身包括了种类繁多的系统程序,其复杂程度甚至超过操作系统。DBMS 所包括的程序,大致可分为下列两类:

一类是数据库系统的运行控制、管理和实用程序。所包括的主要程序及其功能如下:

(1)数据库管理程序 这组程序控制和监督 DBMS 的运行。DBMS 中的其他程序都是在这组程序的控制下运行的。因此它是 DBMS 的核心程序。一般要常驻在内存。

(2)系统安装程序 这组程序的功能是在数据库的初始安装阶段,把 DBMS 中的其他系统程序装入计算机系统,使之能在操作系统控制之下运行,因此,这组程序中,包含了与各操作系统的接口。

(3)数据装入程序 此程序的功能是在建立数据库时,把经过整理的初始数据,按照数据库的子模式、模式和物理存储方式的规定,存入数据库内。

(4)数据检索程序 此程序为用户提供各种查询数据的功能。用户通过程序或显示终端的命令来检索数据。

(5)数据库的安全保护和保密程序 数据库的一个优点是数据的共享性,同一数据可为许多不同的用户程序检索使用。随着数据库技术的发展,数据库的使用将日益简便,用户也日益增多。这就要求 DBMS 有一套严格有效的安全保护措施,保护数据库不致于由于错误操作,使用不当,意外事故甚至犯罪破坏行为等原因而造成破坏。另一方面,数据的使用也有一定的权限范围,有些数据对非授权人是严格禁止使用的。这就需要保密措施。DBMS 提供相应的程序来实现这些功能。其中最主要的是有关恢复和封锁的程序。

此外,还有其他一些如数据库更新,数据库事务登记等控制管理程序,随不同的系统而异。

另一类程序是数据库系统专用语言的编译程序。为便于编制上述各种系统程序,DBMS 为用户提供了多种语言的编译程序。

### 5.5.3 数据库系统语言

数据库系统专用的语言按其功能可分为数据描述语言 DDL (Data Description Language) 和数据操纵语言 DML (Data Manipulation Language) 两类。前者包括逻辑和物理两类描述语言。主要如下:

(1)模式描述语言 这种语言用来描述数据库的数据模式即数据库数据的全局性逻辑结构包括数据的类型和结构。由于模式涉及全局逻辑结构,因此这种语言主要是数据库管理员建立全局模式时用。

(2)子模式描述语言 这种语言用来描述子模式的数据类型和结构。子模式是从用户的应用角度来考虑的,与用户的关系较密切,因而是面向用户的一种语言,与上述模式描述语言不同。一般在应用程序使用的高级语言如 FORTRAN 中嵌入一些具有描述数据功能的语句而形成,但也有少数 DBMS 单独设计一种专门的子模式描述语言供使用。

(3)物理数据描述语言 这种语言用描述数据的物理存储方式,也就是把模式具体映射为物理存储结构的一种描述语言。

(4)数据操纵语言 这种语言用来描述数据库中数据的存取作业,为用户提供查询数据库中数据的功能。用户的应用程序所用的语言如 FORTRAN, BASIC 等一般不具有使用数据库中数据的功能。为了实现这种功能,可采用上述子模式描述语言类似的方法,也就是在编写应用程序的语言中增加一些特殊的语句,扩充它的功能,使应用程序可与 DBMS 联系,实现存取和修改数据库中数据的功能。



这就是一种嵌套的数据操纵语言。对用户来说,这种语言的使用较方便。也有单独设计的专门的数据操纵语言。用户的应用程序要用这种语言来编写,使用不便,因此不受用户欢迎。

以上只是最主要的几类语言,不同的系统,人都有自己设计开发的语言。

## 5.6 数据库系统的建立和使用

对于某一专业或学科应用领域的 CAD 系统来说,有两种建立数据库的环境:一种是 CAD 系统中还没有配置 DBMS 的情况,在这种情况下,为了满足 CAD 作业的需要,首先要自行设计研制一套 DBMS 软件,然后再建一个数据库系统。但是研制一套 DBMS 软件是一项相当复杂的工程,需要较多的技术力量和时。对于大多数用户来说往往不易实现。另一种情况是 CAD 系统已配置有 DBMS 软件,用户只是在这已有的 DBMS 的基础上建立本专业应用领域的数据库系统。对大多数 CAD 用户来说,往往就是这种开发环境。因此,下面将着重讨论在这种环境下的建立数据库(简称建库)的方法和过程。

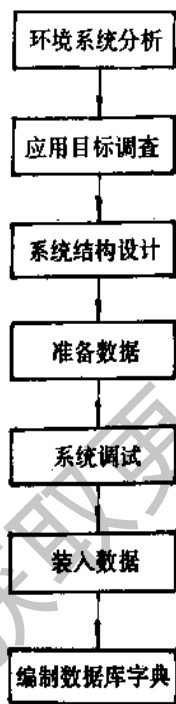


图 33-74 建库工作流程

### 5.6.1 建库的工作流程

建库的工作流程如图 33-74 所示。流程的各个

阶段的工作内容如下:

#### (1) 调查和分析阶段

此阶段的主要工作是对建库的环境和应用目标作调查和分析研究。这是建立数据库系统的第一步工作,主要包括两方面。

1) 对建立数据库系统的环境作分析研究。要对原有的软件和硬件两方面的情况作全面的调查和认真的分析研究。软件方面主要是 DBMS 的结构和功能,如数据库的模式,子模式,数据模型,检索或存取数据的方式和速度,对数据的要求和限制,数据的安全保护措施等。对硬件的调查和分析研究主要是外存设备的容量,能提供的数据输入输出方式和数据传输速度等。这种调查和分析研究,为以后的建库工作提供了必要的依据。

2) 对 CAD 数据库系统的应用目标作调查和分析研究。首先要了解本专业范围内的 CAD 所涉及的数据范围、用途和数据的类型,包括当前需要的和长远需要的在内。再分析研究这些数据间的联系,数据的基本规律,如哪些是基本数据,哪些是衍生的数据,哪些是组合数据等。然后,结合上述系统环境所进行的调查研究结果,拟订一个数据库系统的建立规划。规划中一般应包括拟建成的数据库系统的规模、功能、使用率、数据类型和输入输出格式等内容。

#### (2) 系统的数据结构设计阶段

此阶段的主要工作是根据已有 DBMS 所确定的数据库模型,利用 DBMS 所提供的数据定义语言和有关程序来定义数据的模式和子模式。对于关系数据库模型来说,也就是设计某个数据文件的空白二维表,设计二维表中各个字段的名称及字段的类型和格式。但并不涉及具体的数据值。这相当于编写设计手册时,设计其中的某个数表的结构或格式,也就是只确定数表中各个标题栏的名称和框格,但没有填入具体数据的空白表格。并对以后将填入的数据类型和格式加以规定。

这项工作可充分利用已有的各种手册和标准如机械工程手册、机械零件设计手册、机床设计手册、刀夹具设计手册和有关的国家标准、ISO 标准、部颁布标准等资料进行。

#### (3) 系统调试

设计好模式和子模式后,就可以准备少量数据装入系统进行预运行调试来检验系统的设计是否合理可行,必要时可根据测试结果对原设计作修正,直到符合要求为止。

#### (4) 装入数据

系统经调试修正符合要求后,可利用 DBMS 提供的数据装入程序把具体数据装入数据库系统内。实际上也就是把具体数据填入上述设计好的有标题栏和框格的空白二维表中。此阶段的工作完成后,数据库系统已建成,可以投入使用。

这项工作也可充分利用上述各种手册和标准中的资料。在某种意义上,建立 CAD 数据库系统也就是要把有关的设计手册、标准和其他设计资料存入计算机系统并提供高效手段为 CAD 作业所用。

(5) 编制数据字典

为了方便用户的使用,在建成数据库系统后,要编制出数据库系统的使用说明书或数据字典。这相当于编制设计手册的目录和使用说明。

以上是建立数据库系统的大致过程,在实际过程中,某些阶段可能会发生一些问题,需要作某些修改,甚至要经过不断反复的修改才能达到较为完善的地步。

5.6.2 数据库系统的使用

CAD 作业使用数据库系统,主要表现在对设计数据的存储和检索,具体包括数据文件 建立、修改、显示、查看、增删、改变文件结构和报表打印等。

(1) 应用程序从数据库系统中读取数据的过程

应用程序从数据库中读取数据地过程大致如下(参见图 33-75):

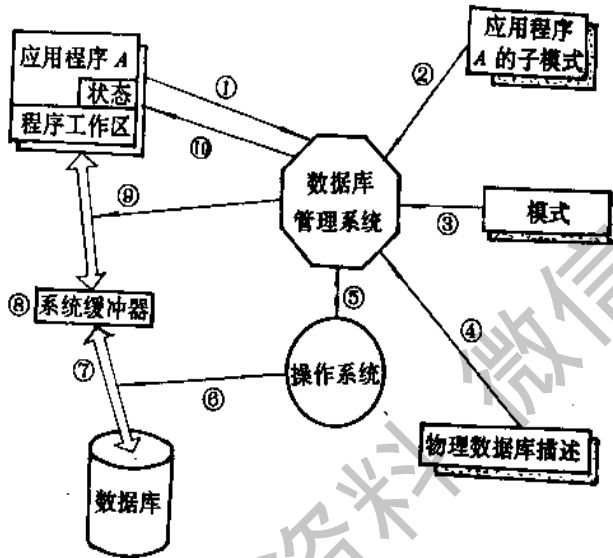


图 33-75 读取数据库系统数据的过程

1) 如前所述,应用程序 A 如要向数据库存取数据,必须在应用程序 A 中用数据操纵语言编上有关的命令语句。通过此语句的执行,向数据库管理系统发出读取(或其它命令)数据库数据命令。

2) 数据库管理系统分析此请求,检查数据的描述,并从应用程序 A 所用的子模式中取得有关信息。

3) 数据库管理系统从模式中取得信息,并根据此信息决定所需数据的类型。

4) 数据库管理系统根据物理数据库描述确定需存取数据的物理记录的位置。

5) 数据库管理系统向操作系统发出读取所需数据的命令。

6) 操作系统与存放该数据的物理存储设备相互

作用,启动读操作。

7) 所需数据由数据库的物理存储器送入系统的缓冲区。

8) 数据库管理系统根据模式与子模式,从数据中衍生出应用程序所需的逻辑记录。

9) 数据库管许系统把数据从系统的缓冲迁传送到应用程序 A 的工作区。

10) 数据库管理系统向应用程序 A 提供有关数据库取数的情况信息,包括错误信息在内。

以上过程是一个典型的取数过程。整个过程是在 DBMS 和在操作系统的控制下进行的。

(2) 使用数据库系统的方式

使用数据库系统的方式有两种:第一种方式是人机交互方式,用户操作者通过显示屏幕与系统进

行问答对话,实现对数据文件的各种操作以满足用户的需要。另一种方式是自动执行方式,用户根据使用所要求的各种操作,实现所需的功能。此程序称为命令文件。DBMS 都有他相应的命令文件的编制规则和方法。

## 5.7 工程数据库与分布式数据库系统简介

目前,不论是国内还是国外,都在致力于开发更理想的适用于 CAD 的数据库系统,特别是工程数据库和分布式数据库系统。鉴于目前国内这两类数据库处于开发研制阶段,资料不多,在此只作简单的介绍。

### 5.7.1 工程数据库

为了缩短工业产品的研制周期,提高产品质量,降低成本,要求工程数据数据库化,以便能及时改进设计、更新产品、扩大市场、增加产品竞争力。工程数据通常包括图形信息及文字数值信息两部分。显然,常规的文字数值数据库系统(例如 dBASE)是难于描述和管理这一领域的信息,需研究开发工程数据库。

#### (1) 工程数据的特点

工程数据具有以下的特点:

1) 工程数据包含图形信息与数据信息 在机械设计中,工程数据通常由零件图(或装配图)与零、部件属性两部分信息来表示。这两部分信息是不可分割的整体。例如,在零件工作图的设计中,都需按国标规定的机械制图画法,画出零件形体结构图,并对图上形体各部分大小和相对位置要求标注上尺寸和公差的属性。此外还需标明技术要求、材料和重量等属性。比如,在设计手册中,多数表格往往附有结构图来说明表格中所列的各项数值与其形体参数之间的对应关系。因此,工程数据是图与数的混合体。

2) 相似图形重复出现 由于工程中使用的零、部件有许多是标准化的。多处使用同一的零、部件,必导致相似图形的重复出现。例如,在装配图中,螺栓、滚动轴承、联轴器(或离合器)等零、部件会在多处出现。通常某一类工程图采用某一组固定的基本部件,而不同类型的工程图采用截然不同的部件。为此,可以为每一类工程图定义一组基本部件(包括零件)图函数。只要用适当坐标值调用这些图函数,就可以在所需的位置上绘出相应的零、部件。这样就可以避免零、部件图的重复存储及重复描述。

3) 工程图需层次表示 工程所涉及的工程图很

少是仅由一张图来表示的。通常采用分层表示法,如机械工程图中的装配图和零件图。上层喉程图中的一个符号表示下层某一张子工程图(即上层的一个抽象的部件符号代表下层若干个零件或部件的组合),此子工程图中的一个符号又能表示更下一层的某一张子工程图...即自顶向下逐层细化,直到全部由基本零件组成的底层为止。工程图的逐层细化可用树状结构来描述。

各层工程图均包含图形与文字数值信息,因此,各层的描述可采用相同的定义工具。

4) 工程数据的复杂性 一个机械产品必须经过设计任务计划的分析,进行可行性分析、总体方案初步设计、方案评审和工艺试验验证后再进入具体的总装图、零、部件图设计,经样机、小批生产后,再对图纸修改,然后才能投产。经过上述过程,相应的工程数据逐渐明确,逐步详细,最后得到满意的结果。为此必须记录整个过程的全部图形与文字、数据,作为文档保存,以便在设计、生产的过程中修改。这就要求工程数据库除具有查找、修改、更新、删除等常规操作外,还必须具有易于改变数据结构的能力。

#### (2) 工程数据描述语言的功能要求

根据上述工程数据的特点,对工程数据的描述语言应具有如下的功能:

- 1) 语言应兼有描述图形与文字的能力。
- 2) 能简洁地为不同工程应用定义不同的基本零、部件图函数,以便反复调用,使描述简洁。
- 3) 工程数据描述语言应具有对模型逐步求精的能力,即上层模型是基于下层各子模型定义的基础上定义的。这样,即使图形很复杂,其描述量不会急剧增加,且各层可采用相同的描述语言。
- 4) 描述语言应具有易于改变数据结构的能力,以便及时反映工程数据的变化。

#### 5) 描述语言应简炼,易于掌握。

#### (3) 工程描述语言的几个关系代数概念

为了获得上述的工程数据描述语言的功能要求,必须扩充关系代数,打破关系中元组的属性值只能是原子的这一限制,增加如下概念:

1) 引入以  $x, y$  坐标为变量的图形函数值域。变更  $x, y$  的值,将使零、部件的图形出现在平面坐标系  $xy$  平面的任意位置。

2) 图形函数值可作为关系中元组的属性值。这样,就使得关系的每一元组不仅能表示零、部件的文字数值属性,而且也能在确定的坐标位置绘制该零、部件的图形或符号。

3) 关系可作为一个变量出现在函数中。例如 PLINE(LINE), 其中 PLINE 是一个绘制直线函数的名字, LINE 是一根直线始点、终点关系即 LINE( $X_1, Y_1, X_2, Y_2$ ) 而 PLINE(LINE) 的含意是对 LINE 中每一个元组绘制一条直线。

采用上述措施后, 关系数据库不仅具有图形处理功能, 而且具备分层表示能力。

工程数据描述语言一般包括工程图或子工程图函数名, 变量说明, 概形说明, 边框说明, 属性说明, 关系定义, 零件分布关系, 关键点分布关系, 线段分布关系, 一致性说明, 子工程图或工程图的动态定义等若干个组成部分。而工程数据库则是由数据描述语言所定义的工程图与子工程图的集合。

### 5.7.2 分布式数据库系统

数据库系统根据其分散与集中的程度可分为集中式和分散式两种。

(1) 集中式数据库系统与分散式数据库系统的特点

早期使用的数据库都是集中式系统, 这种系统全部的工作都是由一台计算机来完成。由于系统集中管理, 可以减少不必要的数据库重复, 对数据和程序可以有较高级别的共享性, 并且可以加强系统的处理功能和完成大型的任务。并具有大量可用的软件包等优点。

随着数据库应用的不断发展, 逐渐感到过分集中化的数据库系统也有它不方便之处。例如: 在研制新程序时, 如使用大型数据库, 操作复杂, 有时感到不方便; 在需要处理几个不同应用领域的问题时, 集中化系统也不够灵活。因此有时也采用分散的数据库系统, 即数台计算机及数据库分开装置, 相互之间并没有联系, 应用程序的研制以及数据库的管理等都是分开进行, 相互独立的。这种系统具有以下特点:

1) 用户对于所使用的计算机和数据库有较多的控制, 使用同一个数据库的用户数量减少, 因此系统对用户的响应时间也会更快些;

2) 由于用户对计算机使用的主动性增加了, 扩大了交互式终端的使用。但也会产生应用程序和数据库的重复、不统一和不标准等问题;

3) 某些专门化应用可按要求选用适合于较小计算机的系统。因此较经济;

4) 为了更适应于一些小型应用的需要, 人们注意发展一些简单化的小型计算机和小型数据库。其

设计时间和生产周期都较短, 并尽可能地采用了最新的工艺和技术。因此, 竞争力强, 发展较快;

5) 由于这类系统可以避免集中化的大型系统, 因此, 计算机和数据库的可靠性可以提高。

由于这类系统有以上优点, 因此这种系统发展较快。

#### (2) 分布式数据库系统

集中式和分散式的系统虽然各有其优点, 但又不能同时发挥这两种系统的优点。随着通讯技术的发展, 又开发和研制了分布式数据库及其管理系统。此系统由多个计算机组成, 但各计算机之间由数据通讯网络相联系。在这种系统中, 大多数处理任务都是由本地的计算机来完成的。对于少量本地计算机单独不能胜任的处理任务, 则通过数据通讯网络与其它计算机相联系, 以取得其它计算机和数据库的支持。一般分布式系统在设计 and 运行时, 还有一个集中化的协调系统。

#### (3) 分布式数据的定义及特点

分布式数据库是一个逻辑的数据库, 而它们的一些被映制的物理数据库(可能有重复的部分)在地理位置上分布在一个含有多个数据库管理系统的计算机网络中。

分布式数据库应具有以下的优点:

1) 较高的可靠性;

2) 模块扩展比较容易实现;

3) 有较快的响应时间;

4) 能分散工作负荷, 使其比较均衡;

5) 多数处理由局部完成, 偶然性的故障对全局影响较小。

分布式数据库系统可兼有集中式和分散式数据库系统的优点。但目前仍有一些问题有待解决。如:

1) 从整个系统的角度看, 会存在程序、数据的重复, 因此也就产生不一致的问题;

2) 分布式系统的设计和实现目前还都比较困难;

3) 目前尚缺乏对整个系统进行全面优化的有效方法, 而只是对局部加以优化。

总的来说, 分布式数据库系统尚需要进一步研究和发展。

#### (4) 分布式数据库的类型

目前分布式数据库可以归纳为以下三种类型:

1) 分布式处理 它只有一个总的数据库, 没有局部的数据库。各局部处理机要查询数据时, 向其查询机发出查询请求, 查询机向总数据库查询。各查询



机之间具有通讯能力,能协调查询,避免查询冲突。

2) 分层系统 这种系统有局部数据库(不进行数据共享),如图 33-76 所示。例如,工厂库存、生产、帐目等数据目录系统。系统有一个中央控制的总目录,同时在每一个局部,还都有各局部数据库的一个目录。

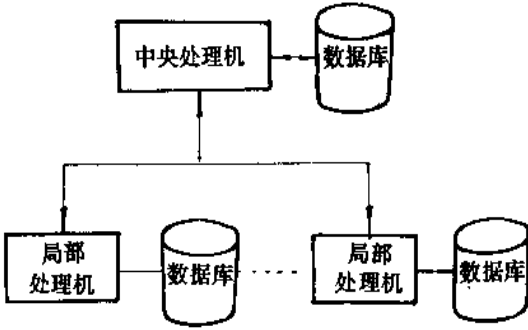


图 33-76 分层式数据库系统

这种系统存在的问题是:同步处理较困难,为了解决这类问题,需要实行封锁的方法,但这又有可能引起死锁。此外,还有数据安全等问题,也需要建立有效的手段加以保证。

多级分层的分布式数据库系统如图 33-77 所

示。

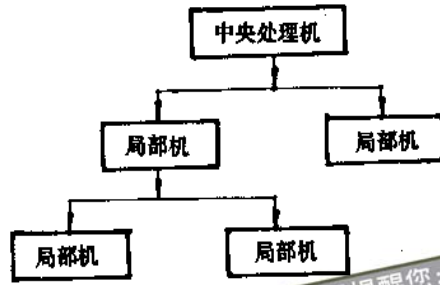


图 33-77 多级分层的分布式数据库系统

3) 充分分散的分布式网络 这种系统没有中央控制的部分。在充分分散的分布式网络中,各节点之间的联结方式不同,又可有多种。如松散的联结(即较少利用相互间的联系),紧密的联结(即经常利用相互间的联系),动态的联结(即平时可以不联系,需要时才建立联系,或者需要时可以改变联系对象)、广播通知联系(即每个节点将其对数据的修改通知其它各节点)、点对点的联结(每两点之间都有独立的联系通路)等等。

获取更多资料 微信扫一扫 超星阅读器提醒您: 使用本复制品 请尊重知识产权!

## 参 考 文 献

- [1]徐灏主编,机械设计手册,机械工业出版社,1991。
- [2]蔡春源主编,新编机械设计实用手册,学苑出版社,1992。
- [3]机械工程手册、电机工程手册编辑委员会,机械工程手册,第1~6卷,机械工业出版社,1984。
- [4]西安重型机械研究所编,重型机械标准,国家机械工业委员会重型机械局,1987。
- [5]《机械设计手册》联合编写组,机械设计手册,第二版(修订),化学工业出版社,1987。
- [6]江耕华等编,机械传动设计手册,上、下册,煤炭工业出版社,1983。
- [7]杨黎明等编,机械零件设计手册,国防工业出版社,1984。
- [8]许镇宇、邱宜怀主编,机械零件,修订版,高等教育出版社,1985。
- [9]《齿轮手册》编委会,齿轮手册,机械工业出版社,1990。
- [10]《机械设计师手册》编写组,机械设计师手册,机械工业出版社,1989。
- [11]郑志峰等编著,链传动,机械工业出版社,1984。
- [12]机械工业部编,中小型电机产品样本,机械工业出版社,1984。
- [13]陈碧秀、文选烈编,实用中小电机手册,辽宁科学技术出版社,1987。
- [14]机械工业部编,机械产品样本5.8卷,机械工业出版社,1991。
- [15]洛阳轴承研究所编,滚动轴承产品样本,1989。
- [16]陈湛闻等,“81型双圆弧齿轮接触疲劳强度计算方法”,机械工程学报,1988, No. 5。
- [17]陈式椿等,“81型双圆弧齿轮齿根应力公式”,机械工程学报,1988, No. 4。
- [18]陈荣增等,“67型圆弧齿轮齿根应力公式研究”,齿轮,1983, No. 1。
- [19]北京齿轮厂编译,格里森锥齿轮技术资料译文集,机械工业出版社,1983。
- [20]B. H. 库德里亚夫采夫著,江耕华、顾永寿译,齿轮减速器的结构与计算,上海科学技术出版社,1982。
- [21]B. H. 库德里亚夫采夫等著,陈启松等译,行星齿轮传动手册,冶金工业出版社,1986。
- [22]李义等,渐开线圆柱内轮强度计算与结构设计,机械工业出版社,1986。
- [23]G. 昂里奥著,王兆义译,齿轮的理论与实践,第一卷,机械工业出版社,1986。
- [24]冶金工业部钢铁研究院等主编,合金钢手册,冶金工业出版社,1984。
- [25]机械电子工业部机械标准化研究所上海材料研究所编,机械工业常用材料标准汇编。
- [26]《重有色金属材料加工手册》编写组,重有色金属材料加工手册,第1分册,冶金工业出版社,1979。
- [27]《轻金属材料加工手册》编写组,轻金属材料加工手册,上册,冶金工业出版社,1970。
- [28]第一汽车厂设备修造分厂,机械工程材料手册,机械工业出版社,1982。
- [29]《铸铁手册》编写组,铸铁手册,机械工业出版社,1987。
- [30]《铸钢手册》编写组,铸钢手册,机械工业出版社,1977。
- [31]N. M. 费多尔钦科编,徐润泽译,现代摩擦材料,冶金工业出版社,1983。
- [32]陈献庭编,硬质合金使用手册,冶金工业出版社,1986。
- [33]唐纳德、皮克纳, I. M. 伯恩斯坦编,顾守仁等译,不锈钢手册,机械工业出版社,1987。
- [34]王致禄、陈道义等编,聚合物胶粘剂,上海科学技术出版社,1988。
- [35]夏文干、蔡武峰、林德宽编,胶接手册,国防工业出版社,1989。
- [36]张云兰,杜万程编,塑料在机械工业中的应用,机械工业出版社,1988。



- [37] 饶振纲编, 行星传动机构设计, 国防工业出版社, 1980。
- [38] 马从谦、陈自修、张文照、张展、蒋学全、吴中心编, 渐开线行星齿轮传动设计, 机械工业出版社, 1987。
- [39] 张少名主编, 行星传动, 陕西科学技术出版社, 1988。
- [40] 李力行, 摆线针轮行星传动的齿形修正及受力分析, 《机械工程学报》第1期, 1986。
- [41] 李力行、关天民、王子孚, 大型摆线针轮行星传动的合理结构和齿形, 《机械工程学报》, 第3期, 1988。
- [42] 日本机械学会技术资料《齿轮强度设计资料》出版分科会编, 李茹贞、赵慧译, 齿轮强度设计资料, 机械工业出版社, 1984。
- [43] 太原工学院齿轮研究室编, 圆弧齿轮, 机械工业出版社, 1980。
- [44] 近畿歯車懇話会編, 歯車の設計、制作(I)機械工学全書, 1971。
- [45] 仙波正社, 歯車, 第三十卷新版, 日刊工業新聞社, 1978。
- [46] 日本金属学会編, 金属便覧, 改訂4版丸善株式会社, 1982。
- [47] 日本鉄鋼協会編, 鉄鋼便覧1卷3版, 丸善株式会社, 1981。
- [48] 日本鑄物協会編, 鑄物便覧, 改訂4版, 丸総部株式会社, 1986。
- [49] 方昆凡主编, 公差与配合技术手册, 北京出版社, 1984。
- [50] 何德芳著, 曲柄压力机, 修订版, 机械工业出版社, 1987。
- [51] H. 梅梯格著, 高宗英等译, 高速内燃机设计, 机械工业出版社, 1981。
- [52] 《起重机设计手册》编写组, 起重机设计手册, 机械工业出版社, 1980。
- [53] 梁庚煌主编, 运输机械手册第1、2册, 化工出版社, 1983。
- [54] 陈道南、过玉卿、周培德等编, 起重运输机械, 机械工业出版社, 1982。
- [55] 吉林工业大学汽车教研室编, 汽车设计, 机械工业出版社, 1981。
- [56] 王超、王金等编, 机械可靠性工程, 冶金工业出版社, 1992。
- [57] 第四机械工业部标准化研究所, 可靠性试验用表, 增订本, 国防工业出版社, 1987。
- [58] 王世芳, 可靠性管理技术, 机械工业出版社, 1987。
- [59] T. A. 什赫萨列夫, 减速器的可靠性设计, 机械设计, 1984. 2、3、4期。
- [60] 孙志礼, 王超, 载荷为随机变量时滚动轴承的可靠性设计, 东北工学院学报, 1991. 12(5)。
- [61] 孙志礼, 赵乃素, 可靠性设计在带传动中的应用, 机械设计与制造, 1991. 6。
- [62] K. C. 卡帕, L. R. 兰伯森著, 张智铁译, 工程设计中的可靠性, 机械工业出版社, 1984。
- [63] 戴树森、费鹤良、王玲玲、苏德清、白鹤翔、滕怀流, 可靠性试验及其统计分析, 国防工业出版社。
- [64] I. M. 盖尔, W. 韦学著, 边启光译, 杆系结构分析, 水力电力出版社, 1983。
- [65] 丁耀武主编, 线弹性结构静动态有限元法, 东北工学院出版社, 1990。
- [66] 姚玉泉等主编, 摩擦磨损润滑密封, 东北工学院出版社, 1989。
- [67] 中国机械工程学会摩擦学学会《润滑工程》编写组主编, 润滑工程, 机械工业出版社, 1986。
- [68] 卢英才等主编, 新编润滑油脂实用手册, 辽宁科学技术出版社, 1989。
- [69] 中国石油化工总公司销售公司编, 新编石油商品知识手册, 中国石化出版社, 1991。
- [70] 王金, 张锡安主编, 机械设计程序设计, 东北工学院出版社, 1991。