

目 录

第一章 常用设计图例	1	4.3.3 蒸汽供暖系统的水力计算.....	164
第二章 法定计量单位及常用单位的换算关系	10	4.4 常用供暖设备选择计算.....	174
2.1 法定计量单位	10	4.4.1 散热器.....	174
2.2 法定计量单位的使用规则摘要	11	4.4.2 减压阀、安全阀.....	186
2.2.1 关于单位和词头的符号	11	4.4.3 疏水器.....	190
2.2.2 单位和词头的使用规则	12	4.4.4 膨胀水箱.....	192
2.3 常用单位的换算关系	13	4.4.5 除污器.....	194
第三章 建筑热工	15	4.4.6 调压板.....	195
3.1 基本数据	15	4.4.7 集气罐和自动排气阀.....	195
3.2 常用围护结构热工特性	34	4.4.8 换热器.....	196
3.2.1 几种墙体和几种保温层的基本数据	36	第五章 热力网设计	212
3.2.2 常用外围护结构的热工指标.....	38	5.1 供热管网热负荷.....	212
3.3 围护结构保温设计	48	5.2 供热介质及其参数的选择.....	212
3.3.1 各类建筑物冬季室内热工计算参数	48	5.3 热力管道敷设.....	213
3.3.2 围护结构最小传热阻 $R_{0\min}$	49	5.4 供热系统.....	218
3.3.3 热桥部位内表面温度验算.....	54	5.4.1 供热系统的选择.....	218
3.4 围护结构的隔热设计	56	5.4.2 供热调节.....	219
3.4.1 验算方法	57	5.4.3 蒸汽供热系统.....	224
3.4.2 夏季隔热计算参数.....	58	5.4.4 热水供热系统.....	231
3.4.3 常用外围护结构隔热验算结果.....	58	5.4.5 凝结水回收和利用系统.....	237
3.5 供暖建筑围护结构的防潮设计.....	75	5.5 热力管网的水力计算.....	245
3.5.1 防潮验算方法	75	5.5.1 基本原则.....	245
3.5.2 几种常用卷材屋面屋顶的验算.....	76	5.5.2 热网水力计算.....	245
第四章 供暖设计	81	5.6 热力网管道的热补偿和管道强度计算.....	252
4.1 供暖热负荷计算.....	81	5.6.1 管道热补偿.....	252
4.1.1 民用建筑供暖设计热负荷计算.....	81	5.6.2 管道机械强度计算.....	252
4.1.2 工业厂房及辅助房屋的供暖设计热负荷计算.....	128	5.6.3 热力网管道补偿器选用与计算.....	254
4.1.3 建筑物热负荷的估算.....	130	5.7 热力管道支架.....	270
4.2 供暖系统选择.....	131	5.7.1 管道支吊架形式.....	270
4.2.1 热媒的选择.....	131	5.7.2 管道活动、固定支架跨距的计算.....	271
4.2.2 供暖系统型式.....	132	5.7.3 管道支架荷载及推力计算.....	277
4.3 管道水力计算.....	139	5.7.4 管道支座.....	286
4.3.1 水力计算方法和要求.....	139	5.7.5 支吊架弹簧的选择.....	293
4.3.2 热水供暖系统的水力计算.....	147	5.7.6 常用支吊架生根结构构件强度计算公式和曲线图.....	297
		5.7.7 增长管道支吊架跨距的措施.....	306
		5.8 管道材料及其附件.....	320

5.8.1 管道材料及其连接	320	6.8 锅炉房典型设计	476
5.8.2 管道阀门	327	6.8.1 锅炉房设计基础资料	476
第六章 锅炉房设计	328	6.8.2 锅炉房设计文件编制深度	478
6.1 锅炉房的总体布置	328	6.8.3 锅炉房布置示例	480
6.1.1 锅炉房在总平面上的布置	328	6.8.4 锅炉房设计对其他专业的技术 要求和互提资料	491
6.1.2 锅炉房区域布置	329	第七章 通风与除尘	498
6.1.3 锅炉房的工艺布置	330	7.1 自然通风的简化计算	498
6.2 锅炉房主机设备的选择	333	7.1.1 自然通风的通风量	498
6.2.1 锅炉房设计容量的确定	333	7.1.2 排风口温度 t_p ($^{\circ}\text{C}$)	498
6.2.2 锅炉设备的选择	334	7.1.3 散热量有效系数 m	498
6.3 锅炉送风排烟系统	338	7.1.4 进风口面积 F_j (m^2)和排风口 面积 F_p (m^2)	499
6.3.1 鼓引风机配置选择要点	338	7.2 局部排风	504
6.3.2 固体燃料燃烧的空气量及烟气量	338	7.2.1 局部排风的设计原则	504
6.3.3 锅炉风烟道系统阻力	339	7.2.2 侧吸罩	506
6.3.4 鼓引风机的计算	345	7.2.3 伞形罩	507
6.3.5 风烟道及烟囱设计	347	7.2.4 槽边排风	508
6.3.6 锅炉烟气除尘	353	7.2.5 通风柜	513
6.3.7 环境烟尘浓度	360	7.3 全面通风	514
6.4 锅炉水处理	362	7.3.1 设计原则	514
6.4.1 水质及水质标准	362	7.3.2 气流组织	515
6.4.2 水处理系统的分类及适用范围	365	7.3.3 全面换气量	516
6.4.3 水处理设备容量的确定	367	7.3.4 空气热平衡计算	519
6.4.4 给水的净化预处理	368	7.3.5 散热量计算	520
6.4.5 炉内水处理	371	7.3.6 散湿量计算	523
6.4.6 离子交换水处理	376	7.4 除尘	524
6.4.7 给水除氧及脱气	396	7.4.1 除尘设计的基本参数	524
6.4.8 锅炉排污	405	7.4.2 加湿防尘	527
6.4.9 锅炉水处理常用资料	408	7.4.3 密闭排尘	529
6.5 锅炉房汽水系统	416	7.4.4 除尘风管	538
6.5.1 给水及凝结水系统	416	7.4.5 除尘设备	539
6.5.2 蒸汽系统	421	7.5 人防地下室的通风	546
6.5.3 汽水管道设计	422	7.5.1 设计原则	546
6.6 运煤除灰系统	425	7.5.2 设计参数	546
6.6.1 概述	425	7.5.3 防护通风系统的设计	548
6.6.2 进煤方式和贮煤场	425	7.5.4 柴油发电机房的通风	550
6.6.3 运煤系统的设计	428	7.5.5 防护通风设备的选择	552
6.6.4 运煤系统设计示例	452	第八章 通风管道设计	554
6.6.5 除灰系统设计	459	8.1 风管设计的基本知识	554
6.7 锅炉房热工检测与控制	462	8.1.1 风管设计的基本内容	554
6.7.1 热工仪表分类	462	8.1.2 风管的统一规格	554
6.7.2 热工检测与控制的基本要求	465		
6.7.3 锅炉热工控制方案	471		

8.1.3	风管设计注意事项	555	10.4	机械防排烟及空调、通风系统防火 控制程序	632
8.1.4	风机与风管的连接	560	10.4.1	不设消防控制室的机械防排烟和 空调、通风系统防火控制程序	632
8.2	风管的沿程压力损失	562	10.4.2	设有消防控制室的机械防排烟和 空调通风系统防火控制程序	633
8.2.1	沿程压力损失的基本计算公式	562	10.5	防火、防排烟设备及部件	635
8.2.2	沿程压力损失的计算	563	10.5.1	各种防火、防排烟阀口	635
8.3	风管的局部压力损失	575	10.5.2	防排烟通风机	643
8.3.1	局部压力损失	575	第十一章	空气调节	647
8.3.2	局部阻力系数	576	11.1	空调设计中的一些基本问题	647
8.4	风管内的压力分布	596	11.1.1	大气环境的质量标准	647
8.4.1	单风机系统	596	11.1.2	舒适感及室内设计条件	648
8.4.2	双风机系统	597	11.1.3	空调系统的划分和技术 层的设置	655
8.5	风管设计方法	597	11.1.4	部分实用设计指标汇编	658
8.5.1	一般设计方法	597	11.1.5	各种空调系统投资、寿命等 的比较	673
8.5.2	简略的估算法	598	11.1.6	通过风管、风机和水泵的 得热与失热	674
第九章	水泵、通风机和电动机	600	11.1.7	空调过程的热、质平衡	677
9.1	水泵	600	11.1.8	空调系统的优化设计	678
9.1.1	水泵型号示意	600	11.2	空调房间的布置与热工要求	679
9.1.2	单台水泵的工作特性	601	11.2.1	位置的选择与布置要求	679
9.1.3	多台水泵的工作特性	604	11.2.2	对建筑热工的要求	682
9.1.4	管道泵	606	11.3	空调系统的分类与比较选择	683
9.1.5	水泵的选择	607	11.3.1	空调系统的分类	683
9.2	通风机	607	11.3.2	空调系统的比较选择	684
9.2.1	通风机的全称	607	11.3.3	集中式空调系统	687
9.2.2	单台风机的工作特性	614	11.4	空调负荷计算	692
9.2.3	多台风机联合的工作特性	615	11.4.1	空调负荷计算的基本构成	692
9.2.4	通风机的选择	616	11.4.2	房间负荷计算的准备工作	693
9.3	电动机	617	11.4.3	外墙和屋面传热冷负荷计算	707
9.3.1	型号示意说明	617	11.4.4	外窗的温差传热冷负荷	708
9.3.2	异步电动机分类	617	11.4.5	外窗太阳辐射冷负荷	708
9.3.3	Y系列小型鼠笼转子异步 电动机	619	11.4.6	内围护结构的传热冷负荷	728
第十章	高层民用建筑防火与防排烟	621	11.4.7	人体冷负荷	728
10.1	自然排烟	621	11.4.8	灯光冷负荷	730
10.1.1	自然排烟孔口有效面积	621	11.4.9	设备冷负荷	731
10.1.2	自然排烟设计要点	621	11.4.10	渗透空气显热冷负荷	734
10.2	加压送风及机械排烟	622	11.4.11	食物的显热散热冷负荷	735
10.2.1	设置加压送风及机械排烟的 部位及设计条件	622	11.4.12	伴随散湿过程的潜热冷负荷	735
10.2.2	加压送风系统	623			
10.2.3	机械排烟系统	626			
10.3	通风与空气调节系统的防火防爆 设计要点	629			

11.4.13	空调房间、空调建筑物及空调系统的计算冷负荷	736	11.9.4	非等温射流的轨迹、轴心速度和轴心温度衰减计算公式	865
11.4.14	计算例题	737	11.9.5	回风口	866
11.5	$i-d$ 图的应用	741	11.10	高大建筑物分层空调设计	868
11.6	空气处理设备的选择计算	742	11.10.1	分层空调适用范围和空调方式	868
11.6.1	空气的过滤净化	742	11.10.2	分层空调负荷计算	868
11.6.2	空气冷却器	749	11.10.3	分层空调气流组织	876
11.6.3	喷水室	757	11.10.4	空调系统	885
11.6.4	空气的加热	760	第十二章	空调节能	887
11.6.5	空气的加湿处理	764	12.1	空调节能措施	887
11.6.6	空气的除湿	770	12.2	空调设备的选择、配置和调节方式与节能的关系	891
11.6.7	组合式空调机组	776	12.2.1	制冷设备的性能系数	891
11.6.8	风机盘管	780	12.2.2	离心式冷水机组不同连接时的能耗比较	892
11.6.9	变风量末端装置	784	12.2.3	空调方式与能耗的关系	893
11.7	空气调节器(机)	789	12.3	蓄热	895
11.7.1	空气调节器(机)的分类	789	12.3.1	蓄热措施的优缺点	895
11.7.2	空气调节器的制冷量	789	12.3.2	水蓄热	895
11.7.3	冷凝温度和冷却水量	790	12.3.3	冰蓄热	899
11.7.4	蒸发器(直接蒸发式空气冷却器)的选择计算	790	12.4	热回收	909
11.7.5	空调器的热平衡计算	792	12.4.1	热回收方式的比较	909
11.7.6	选择计算举例	794	12.4.2	转轮换热器	910
11.7.7	空调器应用范围的扩大——“循环混合”	795	12.4.3	中间热媒式换热器	912
11.7.8	空调器出口的合理连接方法	797	12.4.4	板式显热换热器	915
11.8	空调水系统	798	12.4.5	板翅式全热换热器	918
11.8.1	空调水系统的类型及优缺点	798	12.4.6	热管换热器	920
11.8.2	水系统的布置与承压	799	12.4.7	热泵	929
11.8.3	水系统的典型形式	801	12.5	空调系统的总耗能量	938
11.8.4	水泵变流量的途径	803	12.5.1	当量满负荷运行时间(τ_E)法	938
11.8.5	水系统的水力计算	805	12.5.2	负荷频率表法	943
11.8.6	管路特性曲线	810	第十三章	空气洁净	947
11.8.7	变流量水系统设计流量的确定	811	13.1	洁净室级别	947
11.8.8	水系统的附件	813	13.1.1	《洁净厂房设计规范》的规定	947
11.8.9	冷水设备的配管	817	13.1.2	《药品生产管理规范》的规定	947
11.8.10	水系统的水处理	822	13.1.3	生物洁净室洁净标准	950
11.9	气流组织	829	13.1.4	各种房间对洁净度级别要求的参考资料	952
11.9.1	气流组织的基本要求	829	13.2	洁净室设计的综合要求	953
11.9.2	气流组织的方式及其设计计算方法	829	13.2.1	综合要求	953
11.9.3	空气分布器	857	13.2.2	洁净室的结构型式	954

13.2.3	人、物净化方案	955	14.2	活塞式制冷机	997
13.3	净化空调系统设计	956	14.2.1	活塞式制冷机的分类、基本 参数和型号表示方法	997
13.3.1	净化空调系统设计原则	956	14.2.2	中、小型活塞式单级制冷 压缩机的工况、设计使用条件 及气缸布置形式	999
13.3.2	净化空调系统的划分	957	14.2.3	活塞式制冷机的选择计算	1007
13.3.3	洁净室正压	957	14.3	离心式冷水机组	1021
13.3.4	室内计算参数	958	14.3.1	离心式冷水机组的分类	1021
13.3.5	洁净室供暖设计	959	14.3.2	离心式冷水机组的规格	1022
13.3.6	排风	959	14.3.3	离心式冷水机组的调节	1023
13.3.7	消声与隔振	960	14.3.4	离心式冷水机组的特点比较	1023
13.3.8	风管和附件	960	14.3.5	离心式冷水机组的典型流程	1025
13.4	净化空调系统型式及气流组织	962	14.3.6	离心式冷水机组的选用	1025
13.4.1	气流组织设计	962	14.4	螺杆式冷水机组	1028
13.4.2	净化空调系统的基本形式	962	14.4.1	螺杆式冷水机组的设计制造 条件、工况和型号表示方法	1028
13.4.3	集中式净化空调系统	963	14.4.2	螺杆式冷水机组的基本参数	1028
13.4.4	分散式净化空调系统	965	14.4.3	螺杆式冷水机组的典型流程	1030
13.4.5	洁净隧道	965	14.4.4	螺杆式冷水机组的选用	1030
13.4.6	气流组织和送风量	967	14.5	溴化锂吸收式制冷机	1033
13.4.7	层流洁净室	968	14.5.1	溴化锂吸收式制冷机的特点	1033
13.4.8	乱流洁净室	969	14.5.2	溴化锂吸收式制冷机的分类	1034
13.4.9	层流洁净室与乱流洁净室技术 经济比较	971	14.5.3	溴化锂吸收式制冷过程在 <i>i-t</i> 图上的表示方法	1037
13.5	生物洁净室设计	971	14.5.4	溴化锂吸收式制冷机的 调节性能	1038
13.5.1	生物洁净室与工业洁净室的 主要区别	971	14.5.5	设计安装和运行注意事项	1041
13.5.2	生物洁净室的分类	972	14.6	模块化冷水机组	1044
13.5.3	无菌手术室气流组织形式	972	14.6.1	简介	1044
13.5.4	实验动物洁净室	975	14.6.2	技术规格与性能参数	1044
13.6	洁净室的计算	979	14.6.3	配管与进出水管连接	1048
13.6.1	送风量的计算	979	14.6.4	外形尺寸及安装尺寸要求	1049
13.6.2	排风量的计算	979	14.6.5	选型示例	1049
13.6.3	新风量的计算	979	14.7	制冷系统管道设计与配置	1051
13.6.4	洁净室正压计算	980	14.7.1	基本原则及布置要点	1051
13.6.5	洁净度的计算	980	14.7.2	管材及管件	1052
13.6.6	计算例题	984	14.7.3	氟制冷系统管道设计与配置	1053
第十四章	制冷	987	14.7.4	氨制冷系统管道设计与配置	1061
14.1	制冷机的选择	987	14.8	管道	1063
14.1.1	制冷机的种类	988	14.8.1	常用管道的规格	1063
14.1.2	各种制冷机的优缺点比较	989	14.8.2	管道水力计算	1064
14.1.3	制冷机的经济性比较	991			
14.1.4	制冷机的性能系数(COP)	991			
14.1.5	制冷机的调节性能	994			
14.1.6	制冷机组全年运行能耗计算	996			

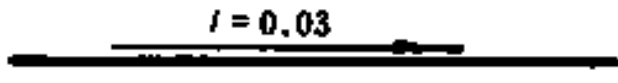

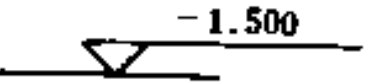
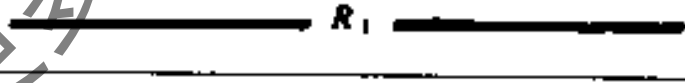
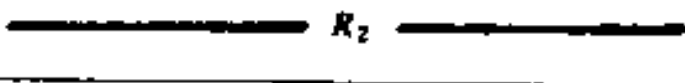
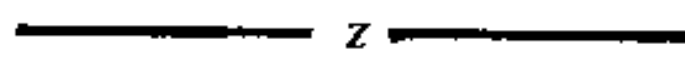
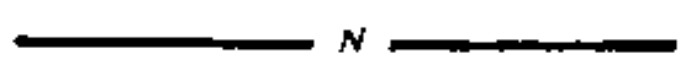
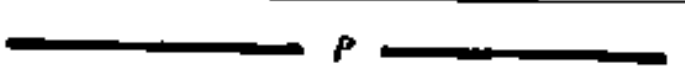
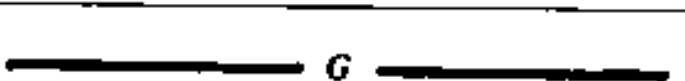
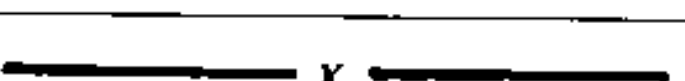
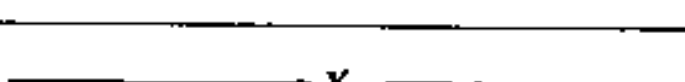
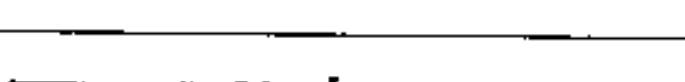
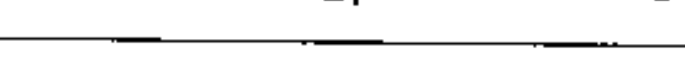
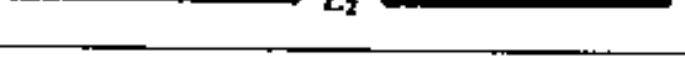
14.8.3 氟管道计算	1065	16.3 隔声设计	1123
14.8.4 氨管道计算	1072	16.3.1 隔声设计的计算方法	1123
14.9 制冷机房的设计原则	1074	16.3.2 设备机房噪声控制设计的主要措施	1125
第十五章 小型冷库设计	1076	16.4 吸声设计	1126
15.1 食品冷藏条件和冷藏间的组成	1076	16.4.1 吸声减噪计算方法	1126
15.1.1 冷藏条件	1076	16.4.2 吸声减噪设计	1127
15.1.2 冷藏间的组成	1078	16.5 隔振控制设计	1130
15.2 围护结构的热工要求	1079	16.5.1 隔振参数传递率 η 及隔振效率 T	1130
15.2.1 隔汽层的设计原则	1079	16.5.2 振动控制	1133
15.2.2 保温层的设计原则	1079	16.5.3 设备转速与隔振的关系	1133
15.2.3 地面防冻	1079	16.6 隔振设计	1134
15.3 冷藏库容量的确定	1080	16.6.1 隔振设计要求	1134
15.4 冷藏间冷负荷计算	1081	16.6.2 干扰力计算	1135
15.5 制冷设备的选择	1087	16.6.3 隔振基座	1136
15.5.1 氟里昂制冷系统的图式	1088	16.6.4 隔振系统的振动量计算	1137
15.5.2 蒸发器的选择	1089	16.6.5 风机隔振后的振动影响范围	1137
15.5.3 热力膨胀阀的选择	1091	16.7 隔振元件	1137
15.5.4 过滤器、干燥器	1093	16.7.1 隔振材料及减振器	1137
15.5.5 回热式热交换器	1093	16.7.2 减振器承受的荷载	1139
15.5.6 气液分离器	1094	16.8 管道隔振	1139
15.5.7 排管及搁架	1094	16.9 隔振设计示例	1139
15.6 制冷管管件及连接	1096	16.10 机械设备及管道隔振措施示例图	1142
15.7 自控和安全保护装置	1099	第十七章 供暖与空调系统的自动控制	1150
15.7.1 库温自控	1099	17.1 供暖系统的自动控制	1150
15.7.2 自控系统框图	1099	17.1.1 室内温度的自动控制	1150
15.7.3 制冷系统的安全保护	1101	17.1.2 供暖系统的自动控制	1151
15.8 装配式冷库	1101	17.1.3 间接供热供暖系统的自动控制	1153
15.8.1 组成和特点	1101	17.1.4 南北向分环控制	1155
15.8.2 冷负荷估算	1102	17.2 新风量的自动控制	1156
15.9 气调冷库	1103	17.2.1 根据新风温度控制新风量	1156
15.10 小冷库工程实例	1104	17.2.2 根据焓值控制新风量	1157
第十六章 噪声与振动控制设计	1109	17.2.3 根据能量判断控制新风量	1158
16.1 噪声源及噪声控制标准	1109	17.3 风机盘管机组的自动控制	1159
16.1.1 风机噪声	1109	17.3.1 两管制系统(双位控制)	1159
16.1.2 气流噪声	1110	17.3.2 四管制系统(双位控制)	1159
16.1.3 噪声控制标准	1112	17.3.3 电子式温度控制器〔连续(比例式)控制〕	1159
16.2 消声设计	1115	17.4 多工况节能控制	1163
16.2.1 管路系统的自然衰减	1115		
16.2.2 阻性消声器设计	1118		
16.2.3 抗性消声器设计	1119		
16.2.4 共振性消声器设计	1120		
16.2.5 空调系统声学计算举例	1122		

17.4.1	控制系统的组成	1163	17.8.4	直通调节阀	1200
17.4.2	多工况分区图	1164	17.8.5	三通调节阀	1201
17.4.3	逻辑量控制	1165	17.8.6	风量调节阀	1203
17.4.4	多工况节能控制的简化途径	1171	17.9	热回收系统的控制	1205
17.5	功能模件式调节装置	1171	17.9.1	运行条件	1205
17.5.1	WSZ-2A型功能模件式温湿度 调节装置的组成	1172	17.9.2	热回收系统的控制	1206
17.5.2	WSZ-2A型功能模件式调节 装置的主要功能和技术指标	1172	第十八章	保温及防腐	1208
17.5.3	应用示例	1174	18.1	保温	1208
17.6	QHRH型分布式微机控制系统	1177	18.1.1	保温材料及其制品的 主要技术性能	1208
17.6.1	中央管理站	1179	18.1.2	管道、设备保温热力计算	1209
17.6.2	局部通讯网络	1180	18.1.3	保护层及防潮层	1224
17.6.3	现场控制机	1181	18.2	防腐处理	1225
17.6.4	典型应用示例	1183	18.2.1	防腐涂料	1225
17.7	流体输送系统的节能控制	1188	18.2.2	硬聚氯乙烯塑料	1228
17.7.1	变风量空调系统的控制	1188	18.2.3	玻璃纤维增强塑料(玻璃钢)	1229
17.7.2	单式泵变流量水系统的控制	1191	第十九章	暖通专业设计说明范例	1230
17.7.3	复式泵变流量水系统的控制	1191	19.1	暖通专业初步设计说明	1230
17.8	调节阀的应用	1195	19.2	供暖工程施工图设计说明	1237
17.8.1	调节阀的理想流量特性	1195	19.3	空调制冷工程施工图设计说明	1239
17.8.2	工作流量特性	1197	厂名录		1245
17.8.3	调节阀的流通能力	1199	主要参考书目与文献		1252


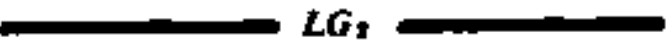






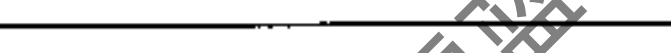









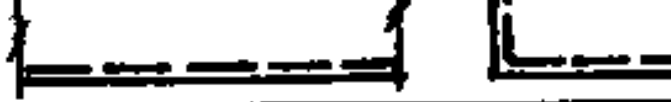


第一章 常用设计图例

序号	名称	图 例	附 注
	1.1 综合类		
	1.1.1 系统编号		
1	送风系统	S ————— 1	二个系统以上时，应进行系统编号
2	排风系统	P ————— 2	
3	空调系统	K ————— 3	
4	新风系统	X ————— 4	
5	回风系统	H ————— 5	
6	排烟系统	PY ————— 6	
7	制冷系统	L ————— 7	
8	除尘系统	C ————— 8	
9	采暖系统	N ————— 9	
10	洁净系统	J ————— 10	
11	正压送风系统	ZS ————— 11	
12	人防送风系统	RS ————— 12	
13	人防排风系统	RP ————— 13	
	1.1.2 各类标注法		
1	焊接钢管	用公称直径表示，例：DN 32	
2	无缝钢管	用外径和壁厚表示，例：D114×4	
3	钢 管	用外径和壁厚表示，例：D16×1.5	
4	金属软管	用公称内径表示，例：D ₀ 72	
5	塑料软管	用内径表示，例：D ₀ 10	
6	塑料硬管	用外径表示，例：D 40	
7	圆形风管	直径数字前冠以拉丁字母φ，例：φ650	

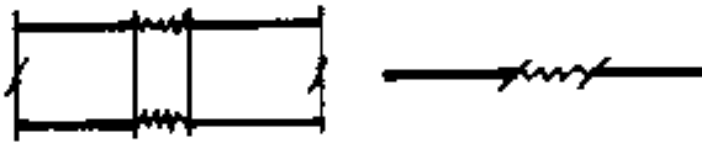

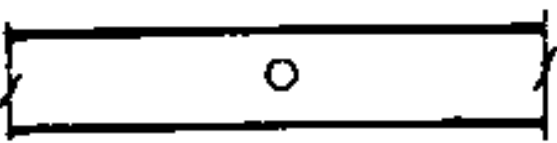
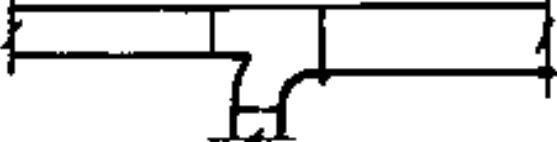

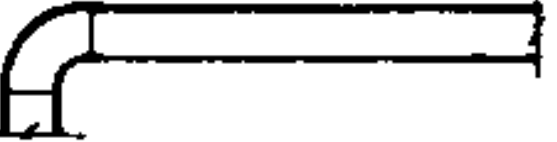
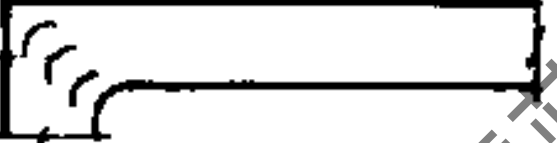

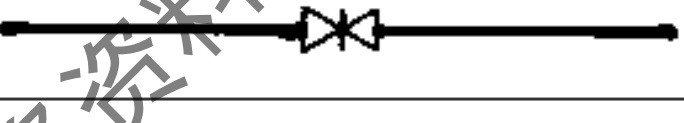



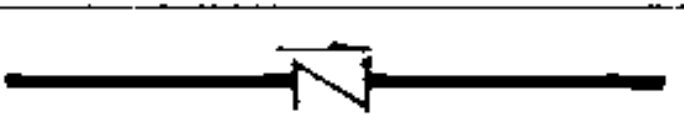
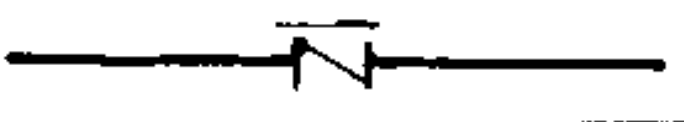


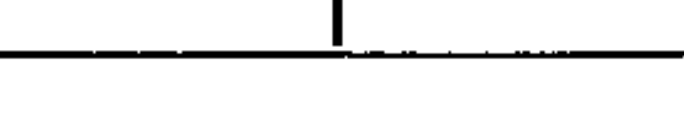

续表

序号	名称	图例	附注
8	矩形风管	前项为该视图投影面尺寸, 例: 400×800	系统、流程图上的表示和平面图一致
9	坡度		坡度值标注在管道上方
10	流向		用箭头表示介质的流向
11	标高		单位: m, 正数不需冠以“+”
12	散热器		
	柱式	标注片数	
	圆翼形	标注根数和排数	例: 3×2
	光面管	标注管径、长度和排数	例: $D108 \times 3000 \times 4$
	闭式钢串片	标注长度	
	串片式平放	标注排数、长度, 并冠以“P”	例: $P 2 \times 1200$
	串片式竖放	标注排数、长度, 并冠以“S”	例: $S 3 \times 1600$
	板式	标注高度、长度	例: 600×800
	扁管式	标注高度、长度	例: 416×1000
	1.2 管道类		
	1.2.1 各类水、汽管		
1	供暖热水管		
2	供暖回水管		
3	蒸汽管		
4	凝结水管		
5	膨胀水管		
6	补给水管		
7	信号管		
8	溢排管		
9	空调供水管		
10	空调回水管		
11	冷凝水管		

续表

序号	名称	图例	附注
12	冷却供水管		
13	冷却回水管		
14	软化水管		
15	盐水管		
1.2.2 制冷剂管道			
1	氟气管		
2	氟液管		
3	氨气管		
4	氨液管		
5	平衡管		
6	放油管		
7	放空管		
8	不凝性气体管		
9	紧急泄氨管		
10	热氨冲霜管		
1.2.3 风管			
1	送风管、新(进)风管		本图为可见面
			本图为不可见面
2	回风管、排风管		本图为可见面
			本图为不可见面
3	混凝土或砖砌风道		
4	异径风管		
5	天窗地方		

续表

序号	名称	图例	附注
6	柔性风管		
7	风管检查孔		
8	风管测定孔		
9	矩形三通		
10	圆形三通		
11	弯头		
12	带导流片弯头		
1.3 阀门及附件			
1.3.1 各种阀门及附件			
1	截止阀		
2	闸阀		
3	球阀		
4	安全阀		
5	蝶阀		
6	膨胀阀		
7	止回阀		
8	蝶式止回阀		
9	手动排气阀		
10	自动排气阀		
11	角阀		

续表

序号	名称	图例	附注
12	三通阀		
13	四通阀		
14	电磁阀		
15	电动二通阀		
16	电动三通阀		
17	减压阀		
18	浮球阀		
19	散热器三通阀		
20	底阀		
21	放风门		
22	疏水器		
23	方形伸缩器		
24	套筒伸缩器		
25	波形伸缩器		
26	弧形伸缩器		
27	球形伸缩器		
28	除污器		
29	水过滤器		

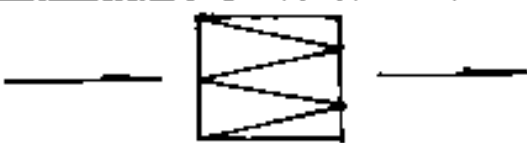





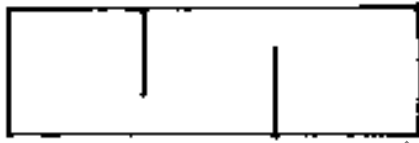

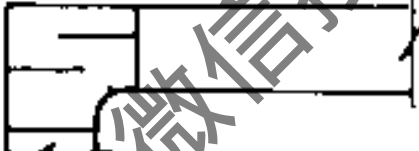
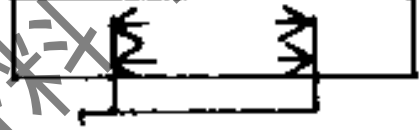






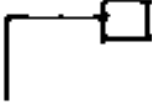
续表

序号	名称	图例	附注
30	节流孔板		
31	固定支架		
32	丝堵或盲板		
1.3.2 风阀及附件			
1	插板阀		
2	蝶阀		
3	手动对开式多叶调节阀		
4	电动对开式多叶调节阀		
5	三通调节阀		
6	防火(调节)阀		
7	余压阀		
8	止回阀		
9	送风口		
10	回风口		
11	方形散流器		
12	圆形散流器		

续表

序号	名称	图例	附注
13	伞形风帽		
14	锥形风帽		
15	筒形风帽		
	1.4 设备类		
	1.4.1 供暖设备		
1	散热器		
2	暖风机		
3	管道泵		
4	集气罐		
5	混水器		
	1.4.2 通风、空调、制冷设备		
1	离心式通风机		(1) 平面, 左: 直联, 右: 皮带 (2) 系统 (3) 流程
2	轴流式通风机		(1) 平面 (2) 系统 (3) 流程
3	离心式水泵		(1) 平面 (2) 系统 (3) 流程
4	制冷压缩机		用于流程、系统
5	水冷机组		用于流程、系统

续表

序号	名称	图例	附注
6	空气过滤器		
7	空气加热器		
8	空气冷却器		
9	空气加湿器		
10	窗式空调器		
11	风机盘管		
12	消声器		
13	减振器		左: 平面, 右: 剖面
14	消声弯头		
15	喷雾排管		
16	挡水板		
17	水过滤器		
18	通风空调设备		用细实线绘画轮廓, 框内用拼音字母以示区别
	1.5 仪表		
	1.5.1 控制和调节执行机构		
1	手动元件		
2	自动元件		
3	弹簧执行机构		
4	重力执行机构		

续表

序号	名称	图例	附注
5	浮动执行机构		
6	活塞执行机构		
7	膜片执行机构		
8	电动执行机构		
9	电磁执行机构		
10	遥控		
1.5.2 传感元件			
1	温度传感元件		
2	压力传感元件		
3	流量传感元件		
4	湿度传感元件		
5	液位传感元件		
1.5.3 仪表			
1	指示器(计)		
2	记录仪		
3	压力表		
4	温度计		
5	流量计		

第二章 法定计量单位及常用单位的换算关系

2.1 法定计量单位

我国的法定计量单位包括:

1. 国际单位制的基本单位, 见表2.1-1;
2. 国际单位制的辅助单位, 见表2.1-2;
3. 国际单位制中具有专门名称的导出单位, 见表2.1-3;

国际单位制的基本单位

表 2.1-1

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m	热力学温度	开[尔文]	K
质量	千克(公斤)	kg	物质的量	摩[尔]	mol
时间	秒	s	发光强度	坎[德拉]	cd
电流	安[培]	A			

注: () 内的字, 是在不致混淆的情况下, 可以省略的字。

() 内的字, 是前者的同义语。

国际单位制的辅助单位

表 2.1-2

量的名称	单位名称	单位符号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

国际单位制中具有专门名称的导出单位

表 2.1-3

量的名称	单位名称	单位符号	其它表示式例
频率	赫[兹]	Hz	s^{-1}
力; 重力	牛[顿]	N	$kg \cdot m/s^2$
压力; 压强; 应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2
能量; 功; 热	焦[耳]	J	$N \cdot m$
功率; 辐射通量	瓦[特]	W	J/s
电荷量	库[仑]	C	$A \cdot s$
电位; 电压; 电动势	伏[特]	V	W/A
电容	法[拉]	F	C/V
电阻	欧[姆]	Ω	V/A
电导	西[门子]	S	A/V
磁通量	韦[伯]	Wb	$V \cdot s$
磁通量密度; 磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m^2
电感	亨[利]	H	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$	
光通量	流[明]	lm	$cd \cdot sr$
光照度	勒[克斯]	lx	lm/m^2
放射性活度	贝可[勒尔]	Bq	s^{-1}
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg

4. 国家选定的非国际单位制单位, 见表2.1-4;
5. 由以上单位构成的组合形式的单位;
6. 由字头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位 (词头见表2.1-5)。

国家选定的非国际单位制单位

表 2.1-4

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分 [小]时 天(日)	min h d	1min=60s 1h=60min=3600s 1d=24h=86400s
平 面 角	[角]秒 [角]分 度	(^o) ([']) (^o)	1 ^o =($\pi/648000$)rad 1 ['] =60 ^o =($\pi/10800$)rad 1 ^o =60 ['] =($\pi/180$)rad
旋转速度 长 度 速 度 质 量 体 积 能 差 级 差 线 密 度	转每分 海里 节 吨 原子质量单位 升 电子伏 分贝 特[克斯]	r/min n mile kn t u L, (l) eV dB tex	1r/min=(1/60)s ⁻¹ 1n mile=1852m(只用于航程) 1kn=1n mile/h(只用于航行) 1t=10 ³ kg 1u≈1.6605655×10 ⁻²⁷ kg 1L=1dm ³ =10 ⁻³ m ³ 1eV≈1.6021892×10 ⁻¹⁹ J 1tex=1g/km

- 注: 1. 角度单位度分秒的符号不处于数字后时, 用括号。
 2. 升的符号中, 小写字母l为备用符号。
 3. 人民生活和贸易中, 质量习称为重量。
 4. r为“转”的符号。
 5. 公里为千米的俗称, 符号为km。

用于构成十进倍数和分数单位的字头

表 2.1-5

所表示的因数	词头名称	词头符号	所表示的因数	词头名称	词头符号
10 ¹⁸	艾[可萨]	E	10 ⁻¹	分	d
10 ¹⁵	拍[它]	P	10 ⁻²	厘	c
10 ¹²	太[拉]	T	10 ⁻³	毫	m
10 ⁹	吉[咖]	G	10 ⁻⁶	微	μ
10 ⁶	兆	M	10 ⁻⁹	纳[诺]	n
10 ³	千	k	10 ⁻¹²	皮[可]	p
10 ²	百	h	10 ⁻¹⁵	飞[母托]	f
10 ¹	十	da	10 ⁻¹⁸	阿[托]	a

注: 10⁴称为万, 10⁸称为亿, 10¹²称为万亿, 这类数词的使用不受词头名称的影响, 但不应与词头混淆。

2.2 法定计量单位的使用规则摘要

2.2.1 关于单位和词头的符号

1. 单位和词头推荐使用国际符号。中文符号只用于通俗出版物之中。
2. 在叙述性文字中也可使用符号表示单位, 不要求一定要用单位名称。
3. 单位和词头的符号所用字母一律为正体。

例如：毫米 mm不应为 mm
微米 μm 不应为 μm

4. 单位符号字母一般为小写体，但对来源于人名者，符号的第一个字母应大写。

例如：秒 s
分 min
赫[兹] Hz
瓦[特] W
帕[斯卡] Pa

5. 词头的符号字母，当表示的因数小于 10^6 时为小写体，大于 10^6 时为大写体。

例如：千 $10^3 k$
兆 $10^6 M$

6. 由单位相乘构成组合单位时，可用下列形式之一。以电能量单位“千瓦时”的符号为例：

kWh 或 $kW \cdot h$

7. 相乘形式的组合单位次序无原则规定，但不能使用词头的单位不应放在最前面。另外，若组合单位符号中某单位符号同时又是词头符号并有可能发生混淆时，则应尽量将它置于右侧。

例如：力矩单位“牛顿米”应写成“ $N \cdot m$ ”，而不应写成“ mN ”，后者易误认为“毫牛顿”。

8. 两个以上单位相除所构成的组合单位，其符号可以采用以下形式之一，以密度单位“千克每立方米”为例： kg/m^3 或 $kg \cdot m^{-3}$ 。

9. 当分母中包含两个以上单位相乘时，整个分母一般应加圆括号。

例如：比热容的单位“焦耳每千克开尔文”的符号应为 $J/(kg \cdot K)$ ，而不应为 $J/kg \cdot K$ 。

10. 在组合单位的符号中，表示除号的斜线不应多于一条。不得已出现二条或多于二条时，必须有括号避免混淆。

例如：传热系数的单位“瓦[特]每平方米开[尔文]”的符号应为 $W/(m^2 \cdot K)$ ，而不应为 $W/m^2/K$ 。

11. 词头和单位符号之间不应有间隔，也不应加表示相乘的其它符号。

2.2.2 单位和词头的使用规则

1. 单位和词头的名称和简称，一般只用于叙述性文字之中，不能用于公式、数表、曲线图等场合。

2. 单位和词头的符号，可用于一切场合。

3. 单位名称或符号，必须作为一个整体使用而不得拆开。

例如：以摄氏度表示的量值，应写成“20摄氏度”或“ $20^\circ C$ ”，而不应写成“摄氏20度”。

4. 单位的名称和符号，应置于整个数值之后。

例如： $5572 \pm 5 mm$ ，不得写成 $5572 mm \pm 5 mm$ ； $20 \pm 1^\circ C$ ，不得写成 $20^\circ C \pm 1^\circ C$ 。

5. 选用的倍数和分数单位，一般应使数值处于0.1~1000范围内。

例如: $1.2 \times 10^4 \text{ N}$ 可写成 12kN
 0.00394 m 可写成 3.94mm
 11401 Pa 可写成 11.401kPa
 $3.1 \times 10^{-8} \text{ s}$ 可写成 31 ns

注: 某些场合习惯使用的单位不受上述限制。

6. 不得重叠使用词头。

2.3 常用单位的换算关系

类别	(非法定单位) × (换算系数) = 法定单位		
长度	in ft yd mile	0.0254 0.3048 0.9144 1609.344	m
质量	lb t	0.4536 1000	kg
面积	in ² ft ²	6.4516×10^{-4} 0.0929	m ²
容积、体积	ft ³ in ³ Usgal Usgal	0.0283 1.6387×10^{-5} 4.5461×10^{-3} 3.7854×10^{-2}	m ³
速度	ft/s ft/min	0.3048 0.0051	m/s
密度	lb/in ³ lb/ft ³	27679.9 16.0185	kg/m ³
压强	kgf/cm ² mmH ₂ O mmHg(torr) inH ₂ O lb/in ² bar atm	9.8067×10^4 9.8067 133.322 249.089 6894.76 1×10^5 101325	Pa
动力粘度	kgf·s/m ² lbf·s/ft ²	9.8067 47.8803	Pa·s
运动粘度	in ² /s ft ² /s in ² /h	6.45×10^{-4} 9.29×10^{-2} 1.79×10^{-7}	m ² /s
能、功、热	kW·h kgf·m Cal ₁₀₁ Cal ₁₅ ft·lbf Hp·h Btu	3.6×10^6 9.8067 4.1868 4.1855 1.3558 2.68×10^6 1055.06	J
功率	Kcal/h Btu/h kgf·m/s Hp	1.163 0.2931 9.8067 745.7	W

续表

类别	(非法定单位) × (换算系数) = 法定单位		
导热系数	kcal/(m·h·°C) Btu/(ft·h·°F)	1.163 1.7307	W/(m·°C)
传热系数	kcal/(m ² ·h·°C) Btu/(ft ² ·h·°F)	1.163 5.678	W/(m ² ·°C)
比热容、比热焓、比嫡	kcal/(kg·°C) Btu/(lb·°F) ft·lbf/(lb·°F) kgf·m/(kg·°C)	4186.8 4186.8 5.3803 9.8067	J/(kg·°C)
冷量	U. S. RT	3516.91	W
力 力矩 转矩	kgf kgf·m kgf·m ²	9.8067 9.8067 9.8067	N N·m N·m ²
应力、强度	kgf/cm ² kgf/mm ²	9.8067 × 10 ⁴ 9.8067 × 10 ⁶	Pa Pa
弹性模量、剪切模量	·kgf/cm ²	9.8067 × 10 ⁴	Pa

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第三章 建筑热工

3.1 基本数据

1. 围护结构冬季室外计算温度 t_w (°C), 见表3.1-1。
2. 建筑热工设计地区分类, 见表3.1-2。
3. 围护结构冬季室外计算参数, 见表3.1-3。
4. 围护结构温差修正系数 n , 见表3.1-4。
5. 内表面换热系数 α_n 及内表面换热阻 R_n , 见表3.1-5。
6. 外表面换热系数 α_w 及外表面换热阻 R_w , 见表3.1-6。
7. 室内空气与围护结构内表面之间的允许温差 Δt (°C), 见表3.1-7。
8. 建筑材料热物理性能计算参数, 见表3.1-8。
9. 导热系数 λ 及蓄热系数 S 的修正系数 α 值, 见表3.1-9。
10. 多种材料围护结构的平均传热阻 R_p 的修正系数 ρ 值, 见表3.1-10。
11. 空气间层热阻值 ($m^2 \cdot K/W$), 见表3.1-11。
12. 热桥形式修正系数 η 值, 见表3.1-12。
13. 窗户的传热阻和传热系数, 见表3.1-13。
14. 供暖建筑地面热工性能类别, 见表3.1-14。
15. 地面吸热计算系数 K 值, 见表3.1-15。
16. 全国主要城市围护结构夏季室外计算温度 (°C)、平均温度 \bar{t}_w 、最高温度 $t_{w, \max}$ 和波幅 Δt_w , 见表3.1-16。
17. 全国主要城市夏季太阳辐射强度 (W/m^2), 见表3.1-17。
18. 太阳辐射吸收系数 ρ 值, 见表3.1-18。
19. 夏季不同风速下围护结构外表面换热系数 α_w 及换热阻 R_w , 见表3.1-19。
20. 相位差修正系数 β 值, 见表3.1-20。

围护结构冬季室外计算温度 t_w (°C) 表 3.1-1

类型	热惰性指标 D	t_w 的取值方法
I	>6.0	$t_w = t_z$
II	$4.1 \sim 6.0$	$t_w = 0.6t_z + 0.4t_{w, \min}$
III	$1.6 \sim 4.0$	$t_w = 0.3t_z + 0.7t_{w, \min}$
IV	<1.5	$t_w = t_{w, \min}$

- 注: 1. 热惰性指标 D 值按式 (3.2-6) 计算。
 2. t_z 和 $t_{w, \min}$ 分别为供暖室外计算温度和累年最低的一个日平均温度。
 3. 对于实心砖墙, $D = 1.6 \sim 4.0$ 时, 其冬季室外计算温度均按 II 型取值。
 4. 冬季室外计算温度 t_w 均取整数。
 5. 全国主要城市四种类型围护结构冬季室外计算温度 t_w 值, 可按表3.1-3采用。

建筑热工设计地区分类 表 3.1-2

地区称号	编号	特 征	
		累年最冷月平均温度 t_{ip}	累年最热月平均温度 t_{rp}
严寒地区	1区	$t_{ip} < -10^\circ C$	
寒冷地区	2区	$0^\circ C > t_{ip} > -10^\circ C$	
温暖地区	3区	$t_{ip} > 0^\circ C$	$t_{rp} < 28^\circ C$
炎热地区	4区		$t_{rp} > 28^\circ C$

21. 常用薄片材料和涂层的蒸汽渗透阻 H 值 ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{g}$), 见表3.1-21。

22. 供暖期间围护结构中保温材料重量湿度的允许增量 $\Delta\omega$ (%), 见表3.1-22。

23. 标准大气压时不同温度下的最大水蒸汽分压力 P 值(Pa), 见表3.1-23。

围护结构冬季室外计算参数

表 3.1-3

序号	城市名称	冬季室外计算温度 t_w ($^{\circ}\text{C}$)				供 暖 期			
		I型	II型	III型	IV型	日平均温度 $<+5^{\circ}\text{C}$ 天数	平均温度 \bar{t}_w ($^{\circ}\text{C}$)	平均相对湿度 $\bar{\phi}_w$ (%)	度日数 D_d ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
黑龙江省									
1	哈尔滨	-26	-29	-31	-33	177	-9.9	66	4938
2	嫩江	-33	-36	-39	-41	199	-13.3	66	6229
3	齐齐哈尔	-25	-28	-30	-32	182	-10.2	62	5132
4	富锦	-25	-28	-30	-32	184	-10.6	65	5262
5	牡丹江	-24	-27	-29	-31	178	-9.4	65	4877
6	呼玛	-39	-42	-45	-47	207	-14.8	69	6790
7	佳木斯	-26	-29	-32	-34	181	-10.3	—	5122
8	安达	-26	-29	-32	-34	180	-10.4	64	5112
9	伊春	-30	-33	-35	-37	194	-12.5	70	5917
10	克山	-29	-31	-33	-35	192	-11.9	66	5741
吉林省									
11	长春	-23	-26	-28	-30	171	-8.3	63	4497
12	吉林	-25	-29	-31	-34	171	-9.1	68	4607
13	延吉	-20	-22	-24	-26	170	-7.1	58	4267
14	通化	-24	-26	-28	-30	169	-7.6	69	4326
15	双辽	-21	-23	-25	-27	167	-7.8	61	4309
16	四平	-22	-24	-26	-28	164	-7.4	61	4166
17	白城	-23	-25	-27	-28	176	-8.9	54	4734
18	长白山	-24	-27	-29	-31	185	-9.1	68	5014
辽宁省									
19	沈阳	-19	-21	-23	-25	152	-5.6	58	3587
20	丹东	-14	-17	-19	-21	145	-3.4	60	3103
21	大连	-11	-14	-17	-19	131	-1.4	58	2541
22	阜新	-17	-19	-21	-23	156	-5.7	50	3697
23	抚顺	-21	-24	-27	-29	154	-7.0	65	3850
24	朝阳	-16	-18	-20	-22	150	-4.9	42	3435
25	本溪	-19	-21	-23	-25	152	-5.6	62	3587
26	锦州	-15	-17	-19	-20	145	-4.0	47	3190
27	鞍山	-18	-21	-23	-25	145	-4.7	59	3292
28	盘锦	-14	-16	-18	-19	143	-4.2	50	3175
新疆维吾尔自治区									
29	乌鲁木齐	-22	-26	-30	-33	162	-8.5	75	4293
30	塔城	-23	-27	-30	-33	163	-6.5	71	3994
31	哈密	-19	-22	-24	-26	138	-5.2	48	3202
32	伊宁	-20	-26	-30	-34	141	-4.7	75	3201
33	喀什	-12	-14	-16	-18	118	-2.6	63	2431

续表

序号	城市名称	冬季室外计算温度 $t_w(°C)$				供 暖 期			
		I型	II型	III型	IV型	日平均温度 <+5°C天数	平均温度 $\bar{t}_w(°C)$	平均相对湿度 $\bar{\varphi}_w(\%)$	度日数 $D_h(°C \cdot d)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34	新疆维吾尔自治区 富 蕴	-36	-40	-42	-45	178	-12.6	73	5447
35	克拉玛依	-24	-28	-31	-33	148	-9.0	68	3996
36	吐 鲁 番	-15	-19	-21	-24	120	-4.8	50	2736
37	库 车	-15	-18	-20	-22	121	-3.8	56	2638
38	和 田	-10	-13	-16	-18	111	-2.1	50	2231
39	青海省 西 宁	-13	-16	-18	-20	162	-3.3	50	3451
40	玛 多	-23	-29	-34	-38	286	-7.1	56	7179
41	大 柴 旦	-19	-22	-24	-26	205	-7.0	34	5125
42	共 和 木	-15	-17	-19	-21	186	-5.0	44	4242
43	格 尔 木	-15	-18	-21	-23	181	-4.9	35	4145
44	玉 树	-13	-15	-17	-19	195	-3.1	46	4115
45	甘 肃 省 兰 州	-11	-13	-15	-16	139	-2.8	60	2766
46	酒 泉	-16	-19	-21	-23	156	-4.3	52	3479
47	敦 煌	-14	-18	-20	-23	139	-4.1	49	3072
48	张 掖	-16	-19	-21	-23	156	-4.7	55	3541
49	山 丹	-17	-21	-25	-28	165	-5.1	56	3812
50	平 凉	-10	-13	-15	-17	138	-1.6	59	2706
51	天 水	-7	-10	-12	-14	117	-0.2	67	2129
52	宁夏回族自治区 银 川	-15	-18	-21	-23	146	-3.7	57	3168
53	中 宁	-12	-16	-19	-22	139	-8.0	52	2919
54	固 原	-14	-17	-20	-22	161	-3.3	57	3429
55	石 嘴 山	-15	-18	-20	-22	151	-4.0	49	3322
56	陕 西 省 西 安	-5	-8	-10	-12	102	1.1	66	1724
57	榆 林	-16	-20	-23	-26	149	-4.4	56	3338
58	延 安	-12	-14	-16	-18	131	-2.4	57	2672
59	宝 鸡	-5	-7	-9	-11	103	1.1	65	1741
60	华 山	-14	-17	-20	-22	164	-2.8	57	3411
61	内蒙古自治区 呼 和 浩 特	-19	-21	-23	-25	166	-6.2	53	4017
62	德 林 浩 特	-27	-29	-31	-33	192	-10.5	60	5509
63	海 拉 尔	-34	-38	-40	-43	210	-14.2	69	6762
64	通 辽	-20	-23	-25	-27	165	-7.4	48	4042
65	赤 峰	-18	-21	-23	-25	160	-6.0	40	3840
66	满 州 里	-31	-34	-36	-38	211	-12.8	64	6499
67	博 克 图	-28	-31	-34	-36	212	-11.2	63	6190
68	二 连 浩 特	-26	-30	-32	-35	180	-9.9	53	5022
69	多 伦	-26	-29	-31	-33	194	-9.0	62	5238
70	白 云 鄂 博	-23	-26	-28	-30	191	-8.2	52	5004

续表

序号	城市名称	冬季室外计算温度 t_w (°C)				供 暖 期			
		I型	II型	III型	IV型	日平均温度 <+5°C天数	平均温度 \bar{t}_w (°C)	平均相对湿度 $\bar{\varphi}_w$ (%)	度日数 D_d (°C·d)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
71	山西省 太原	-12	-14	-16	-18	137	-2.6	53	2822
72	大同	-17	-20	-22	-24	162	-5.2	49	3758
73	长治	-13	-17	-19	-22	138	-2.7		2857
74	五台山	-28	-32	-34	-37	273	-8.2	62	7153
75	阳泉	-11	-12	-15	-16	126	-1.2	46	2419
76	临汾	-9	-13	-15	-18	114	-1.2		2189
77	晋城	-9	-12	-15	-17	122	-1.1	53	2329
78	运城	-7	-9	-11	-13	105	0.1	57	1901
79	北京市	-9	-12	-14	-16	126	-1.6	50	2470
80	天津市	-9	-11	-12	-13	120	-1.5	57	2340
81	河北省 石家庄	-8	-12	-14	-17	114	-0.5	56	2109
82	张家口	-15	-18	-21	-23	154	-4.7	42	3496
83	秦皇岛	-11	-13	-15	-17	135	-2.4	51	2754
84	保定	-9	-11	-13	-14	120	-1.2	60	2304
85	邯郸	-7	-9	-11	-13	108	0.0	60	1944
86	唐山	-10	-12	-14	-15	129	-2.0	55	2580
87	承德	-14	-16	-18	-20	146	-4.4	44	3270
88	丰宁	-17	-20	-23	-25	163	-5.6	44	3847
89	山东省 济南	-7	-10	-12	-14	103	0.7	52	1702
90	青岛	-6	-9	-11	-13	110	0.9	66	1881
91	烟台	-6	-8	-10	-12	110	0.3	60	1947
92	德州	-8	-12	-14	-17	114	-0.7	63	2132
93	淄博	-9	-12	-14	-16	112	-0.5	61	2072
94	泰山	-16	-19	-22	-24	166	-3.7	52	3602
95	兖州	-7	-9	-11	-12	106	0.4	62	1950
96	潍坊	-8	-11	-13	-15	115	-0.7	61	2151
97	江苏省 南京	-3	-5	-7	-9	77	3.0	74	1155
98	徐州	-5	-8	-10	-12	96	1.8	63	1574
99	连云港	-5	-7	-9	-11	93	1.3	68	1629
100	安徽省 合肥	-3	-7	-10	-13	72	3.0	73	1080
101	阜阳	-6	-9	-12	-14	86	2.1	66	1367
102	蚌埠	-4	-7	-10	-12	85	2.4	68	1326
103	黄山	-11	-15	-17	-20	121	-3.4	64	2589
104	江西省 庐山	-10	-13	-15	-17	136	-2.0	68	2720
105	庐山	-8	-11	-13	-15	106	1.7	70	1728

续表

序号	城市名称	冬季室外计算温度 t_w (°C)				供 暖 期			
		I型	II型	III型	IV型	日平均温度 <+5°C天数	平均温度 \bar{t}_w (°C)	平均相对湿度 $\bar{\phi}_w$ (%)	度日数 D_h (°C·d)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
106	河南省 郑州	-5	-7	-9	-11	100	1.4	58	1660
107	安阳	-7	-11	-13	-15	106	0.4	59	1866
108	濮阳	-7	-9	-11	-12	105	0.0	69	1890
109	新乡	-5	-8	-11	-13	98	0.7		1695
110	洛阳	-5	-8	-10	-12	93	2.2	55	1469
111	南阳	-4	-8	-11	-14	94	2.5	67	1457
112	信阳	-4	-7	-10	-12	80	2.7	72	1224
113	商丘	-6	-9	-12	-14	102	1.4	67	1693
114	开封	-5	-7	-9	-10	102	1.3	63	1703
115	湖北省 武汉	-2	-6	-8	-11	59	3.5	77	856
116	湖南省 南岳	-7	-10	-13	-15	86	1.3	80	1436
117	四川省 阿坝	-12	-16	-20	-23	189	2.8	57	3931
118	甘孜	-10	-14	-18	-21	165	-1.2	43	3168
119	康定	-7	-9	-11	-12	140	0.2	65	2492
120	峨眉山	-12	-14	-15	-16	202	-1.5	83	3939
121	贵州省 威宁	-5	-7	-9	-11	97	3.1	78	1445
122	西藏自治区 拉萨	-6	-8	-9	-10	143	0.5	35	2503
123	噶尔	-17	-21	-24	-27	241	-5.5	28	5664
124	日喀则	-8	-12	-14	-17	159	-0.5	28	2942

温差修正系数 μ 值

表 3.1-4

序号	围护结构及其所处情况	μ 值
1	外墙, 平屋顶及直接接触室外空气的楼板等	1.00
2	带通风间层的平屋顶, 坡屋顶闷顶及与室外空气相通的不供暖地下室上面的楼板等	0.90
3	与有外门窗的不供暖楼梯间相邻的隔墙: 多层建筑 高层建筑	0.70 0.60
4	不供暖地下室上面的楼板: 当外墙上无窗户时 当外墙上无窗户且位于室外地坪以上时 外墙上无窗户且位于室外地坪以下时	0.75 0.60 0.40
5	与有外门窗的不供暖房间相邻的隔墙 与无外门窗的不供暖房间相邻的隔墙	0.70 0.40
6	伸缩缝、沉降缝墙 抗震缝墙	0.30 0.70

内表面换热系数 α_n 及内表面换热阻 R_n 值

表 3.1-5

表面特性	α_n [W/(m ² ·℃)]	R_n [(m ² ·℃)/W]
墙、地面：表面平整的顶棚、屋盖或楼板以及带肋的顶棚 $h/s < 0.3$	8.72	0.11
有井形突出物的顶棚、屋盖或楼板 $h/s > 0.3$	7.56	0.13

注：表中 h 为肋高； s 为肋间净距。

外表面换热系数 α_w 及外表面换热阻 R_w 值

表 3.1-6

外表面状况	α_w [W/(m ² ·℃)]	R_w [(m ² ·℃)/W]
与室外空气直接接触的表面	23.26	0.04
不与室外空气直接接触的表面： 阁楼楼板上表面	8.14	0.12
不供暖地下室顶棚下表面	5.82	0.17

室内空气与围护结构内表面之间的允许温差 $[\Delta t]$ (℃)

表 3.1-7

序号	建筑物与房间类型	外 墙	平屋顶和闷顶下顶棚
1	居住建筑、医院和幼儿园等	6.0	4.0
2	办公楼、学校和门诊部等	6.0	4.5
3	公共建筑(上述指明者除外)和工业企业辅助建筑(潮湿房间除外)	7.0	5.5
4	室内空气潮湿的公共建筑和工业企业辅助建筑： 当不允许外墙和顶棚内表面结露时 当允许外墙内表面结露，但不允许顶棚内表面结露时	$t_n - t_d$ 7.0	$0.8(t_n - t_d)$ $0.9(t_n - t_d)$

注：1.潮湿房间系指室内空气温度低于或等于12℃，相对湿度大于75%；室内空气温度为13~24℃，相对湿度大于60%；室内空气温度高于24℃，相对湿度大于50%的房间。

2.表中 t_n 、 t_d 分别为室内空气温度和露点温度，℃。

3.对于直接接触室外空气的楼板和供暖地下室上面的楼板，当有人长期停留时，取 $\Delta t = 2.5$ ℃；当无人长期停留时，取 $\Delta t = 5$ ℃。

建筑材料热物理性能计算参数

表 3.1-8

序号	材料名称	干密度 ρ_0 (kg/m ³)	计 算 参 数			
			导热系数 λ [W/(m·℃)]	蓄热系数 S (周期24小时) [W/(m ² ·℃)]	比热容 c [kJ/(kg·℃)]	蒸汽渗透系数 μ [g/(m·h·Pa)]
1	2	3	4	5	6	7
1	混凝土					
1.1	普通混凝土					
	钢筋混凝土	2500	1.74	17.20	0.92	0.0000158*
	碎石、卵石混凝土	2300	1.51	15.36	0.92	0.0000173*
		2100	1.28	13.57	0.92	0.0000173*

续表

序号	材料名称	干密度 ρ_0 (kg/m ³)	计算参数			
			导热系数 λ (W/(m·℃))	蓄热系数 S (周期24小时) (W/(m ² ·℃))	比热容 c (kJ/(kg·℃))	蒸汽渗透系数 μ (g/(m·h·Pa))
1	2	3	4	5	6	7
1.2	轻骨料混凝土					
	膨胀矿渣珠混凝土	2000 1800 1600	0.77 0.63 0.53	10.49 9.05 7.87	0.96 0.96 0.96	
	自然煤干石、炉渣混凝土	1700 1500 1300	1.00 0.76 0.56	11.68 9.54 7.63	1.05 1.05 1.05	0.0000548* 0.00009 0.000105
	粉煤灰陶粒混凝土	1700 1500 1300 1100	0.95 0.70 0.57 0.44	11.40 9.16 7.78 6.30	1.05 1.05 1.05 1.05	0.0000188 0.0000975 0.000105 0.000135
	粘土陶粒混凝土	1600 1400 1200	0.84 0.70 0.53	10.36 8.93 7.25	1.05 1.05 1.05	0.0000315* 0.000039* 0.0000405*
	油页岩渣、石灰、水泥混凝土、页岩陶粒混凝土	1300 1500 1300 1100	0.52 0.77 0.63 0.50	7.39 9.65 8.16 6.70	0.98 1.05 1.05 1.05	0.0000855* 0.0000315* 0.000039* 0.0000435*
	火山灰渣、沙、水泥混凝土	1700	0.57	6.30	0.57	0.0000395*
	浮石混凝土	1500 1300 1100	0.67 0.53 0.42	9.09 7.54 6.13	1.05 1.05 1.05	0.0000188* 0.0000353*
1.3	轻混凝土					
	加气混凝土、泡沫混凝土	700 500	0.22 0.19	3.59 2.81	1.05 1.05	0.0000998* 0.000111*
2	砂浆和砌体					
2.1	砂浆					
	水泥砂浆 石灰水泥砂浆 石灰砂浆 石灰石膏砂浆 保温砂浆	1800 1700 1600 1500 800	0.93 0.87 0.81 0.76 0.29	11.37 10.75 10.07 9.44 4.44	1.05 1.05 1.05 1.05 1.05	0.000021* 0.0000975* 0.0000443*
2.2	砌体					
	重砂浆砌筑粘土砖砌体 轻砂浆砌筑粘土砖砌体 灰砂砖砌体 硅酸盐砖砌体 炉渣砖砌体 重砂浆砌筑26、33及36孔 粘土空心砖砌体	1800 1700 1900 1800 1700 1400	0.81 0.76 1.10 0.87 0.81 0.58	10.63 9.96 12.72 11.11 10.43 7.92	1.05 1.05 1.05 1.05 1.05 1.05	0.000105* 0.00012 0.000105 0.000105 0.000105 0.0000158

续表

序号	材料名称	干密度 ρ_0 (kg/m^3)	计算参数				
			导热系数 λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$]	蓄热系数 S (周期24小时) [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	比热容 c [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$]	蒸汽渗透系数 μ [$\text{g}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})$]	
1	2	3	4	5	6	7	
3	热绝缘材料						
3.1	纤维材料						
	矿棉、岩棉、玻璃棉	板	80以下 80~200	0.054 0.050	0.62 0.81	1.22 1.22	0.000488
		毡	70以下 70~200	0.055 0.050	0.61 0.73	1.34 1.34	0.000488
		松散	70以下 70~120	0.055 0.050	0.48 0.53	0.84 0.84	0.000488
	麻刀	150	0.070	1.34	2.10		
3.2	膨胀珍珠岩、蛭石制品						
	水泥膨胀珍珠岩	300 600 400	0.26 0.21 0.16	4.37 3.44 2.49	1.17 1.17 1.17	0.000042* 0.00009* 0.000191*	
	沥青、乳化沥青膨胀珍珠岩	400	0.12	2.28	1.55	0.000293*	
	水泥膨胀蛭石	300 350	0.093 0.14	1.77 1.99	1.55 1.05	0.0000675*	
3.3	泡沫材料及多孔聚合物						
	聚苯乙烯泡沫塑料	100 30	0.047 0.042	0.70 0.36	1.38 1.38		
	聚氨酯硬泡沫塑料	50 40	0.037 0.033	0.43 0.36	1.38 1.38		
	聚氯乙烯硬泡沫塑料	130	0.048	0.79	1.38		
	钙塑	120	0.049	0.83	1.59		
	泡沫玻璃	140	0.058	0.70	0.84	0.0000225	
	泡沫石灰	300	0.116	1.70	1.05		
	炭化泡沫石灰	400	0.14	2.33	1.05		
	泡沫石膏	500	0.19	2.78	1.05	0.0000375	
4	木材、建筑板材						
4.1	木材						
	橡木、枫树(热流方向垂直木纹)	700	0.17	4.90	2.51	0.0000562	
	橡木、枫树(热流方向顺木纹)	700	0.35	6.93	2.51	0.0003	
	松、枞木、云杉(热流方向垂直木纹)	500	0.14	3.85	2.51	0.0000345	
	松、枞木、云杉(热流方向顺木纹)	500	0.29	5.55	2.51	0.000168	
4.2	建筑板材						
	胶合板	600	0.17	4.57	2.51	0.0000225	
	软木板	300	0.093	1.95	1.89	0.0000255*	
		150	0.058	1.09	1.89	0.0000285*	
	纤维板	1000	0.34	8.13	2.51	0.00012	

续表

序号	材料名称	干密度 ρ_0 (kg/m ³)	计算参数			
			导热系数 λ [W/(m·°C)]	蓄热系数S (周期24小时) [W/(m ² ·°C)]	比热容c [kJ/(kg·°C)]	蒸汽渗透系数 μ [g/(m·h·Pa)]
1	2	3	4	5	6	7
4.2	建筑板材					
	石棉水泥板	600	0.23	5.28	2.51	0.000113
	石棉水泥隔热板	1800	0.52	8.52	1.05	0.0000135*
	石膏板	500	0.16	2.58	1.05	0.00039
	水泥刨花板	1050	0.33	5.28	1.05	0.000079*
		1000	0.34	7.27	2.01	0.000024*
		700	0.19	4.56	2.01	0.000105
	稻草板	300	0.13	2.33	1.68	0.0003
	木屑板	200	0.065	1.54	2.10	0.000263
5	松散材料					
5.1	无机材料					
	锅炉渣	1000	0.29	4.40	0.92	0.000193
	粉煤灰	1000	0.23	3.93	0.92	
	高炉炉渣	900	0.26	3.92	0.92	0.000203
	浮石、凝灰岩	600	0.23	3.05	0.92	0.000263
	膨胀蛭石	300	0.14	1.79	1.05	
	膨胀蛭石	200	0.10	1.24	1.05	
	硅藻土	200	0.076	1.00	0.92	
	膨胀珍珠岩	120	0.07	0.84	1.17	
	膨胀珍珠岩	80	0.058	0.63	1.17	
5.2	有机材料					
	木屑	250	0.093	1.84	2.01	0.000263
	稻壳	120	0.06	1.02	2.01	
	干草	100	0.047	0.83	2.01	
6	其他材料					
6.1	土壤					
	夯实粘土	2000	1.16	12.99	1.01	
		1800	0.93	11.03	1.01	
	加草粘土	1600	0.76	9.37	1.01	
		1400	0.58	7.69	1.01	
	轻质粘土	1200	0.47	6.36	1.01	
	建筑用砂	1600	0.58	8.26	1.01	
6.2	石材					
	花岗岩、玄武岩	2800	3.49	25.49	0.92	0.0000113
	大理石	2800	2.91	23.27	0.92	0.0000113
	砾石、石灰岩	2400	2.04	18.03	0.92	0.0000375
	石灰石	2000	1.16	12.56	0.92	0.00006
6.3	卷材、沥青材料					
	沥青油毡、油毡纸	600	0.17	3.33	1.47	
	地沥青混凝土	2100	1.05	16.39	1.68	0.0000075
	石油沥青	1400	0.27	6.73	1.68	
		1050	0.17	4.71	1.68	0.0000075

续表

序号	材料名称	干密度 ρ_0 (kg/m ³)	计算参数			
			导热系数 λ [W/(m·℃)]	蓄热系数 S (周期24小时) [W/(m ² ·℃)]	比热容 c [kJ/(kg·℃)]	蒸汽渗透系数 μ [g/(m·h·Pa)]
1	2	3	4	5	6	7
6.4	玻璃					
	平板玻璃	2500	0.76	10.69	0.84	0
	玻璃钢	1800	0.52	9.25	1.26	
6.5	金属					
	紫铜	8500	407	324	0.42	0
	青铜	8000	64.0	118	0.38	0
	建筑钢材	7850	58.2	126	0.48	0
	铝	2700	203	191	0.92	0
	铸铁	7250	49.9	112	0.48	

注：1. 在严寒、寒冷、温暖和炎热地区正常使用条件下，材料的热物理性能计算参数可按表3.1-8直接采用。

2. 在有表3.1-9所列情况者，材料的导热系数计算值应按式修正：

$$\lambda_c = \lambda \cdot a$$

式中 λ —材料的导热系数，按表3.1-8采用；

a —修正系数，按表3.1-9采用。

材料的蓄热系数计算值应按式修正：

$$S_c = S \cdot a$$

式中 S —材料的蓄热系数，按表3.1-8采用；

a —修正系数，按表3.1-9采用。

3. 在供暖期平均相对湿度为50%以下的干燥地区，重砂浆砌筑的粘土砖砌体导热系数可采用 $\lambda = 0.76 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{℃})$ ，蓄热系数可采用 $S = 10.16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{℃})$ ；轻砂浆砌筑的粘土砖砌体导热系数可采用 $\lambda = 0.70 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{℃})$ ，蓄热系数可采用 $S = 9.47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{℃})$ 。

4. 在表3.1-8中比热容 c 的单位为法定单位。但在实际计算中比热容 c 的单位应取 $\text{W} \cdot \text{h}/(\text{kg} \cdot \text{℃})$ ，因此，表中数值应乘以换算系数0.2778。

5. 在表3.1-8中带*号者为测定值，试验温度为20℃左右，未扣除两侧边界层蒸汽渗透阻的影响。

导热系数 λ 及蓄热系数 S 的修正系数 a 值

表 3.1-9

序号	材料、构造、施工、地区及使用情况	a
1	作为夹芯层浇筑在混凝土墙体及屋面构件中的块状多孔保温材料（如加气混凝土、泡沫混凝土及水泥膨胀珍珠岩等），因干燥缓慢及灰缝影响	1.6
2	铺设在密闭屋面中的多孔保温材料（如加气混凝土、泡沫混凝土、水泥膨胀珍珠岩、石灰炉渣等），因干燥缓慢	1.5
3	铺设在密闭屋面中及作为夹芯层浇筑在混凝土构件中的半硬质矿棉、岩棉、玻璃棉板等，因压缩及吸湿	1.2
4	作为夹芯层浇筑在混凝土构件中的泡沫塑料等，因压缩	1.2
5	开孔型保温材料（如水泥刨花板、木丝板、稻草板等），表面抹灰或与混凝土浇筑在一起，因灰浆渗入	1.3
6	加气混凝土、泡沫混凝土砌块墙体及加气混凝土条板墙体、屋面、因灰缝影响	1.25

续表

序号	材料、构造、施工、地区及使用情况	α
7	填充在空心墙体及屋面构件中的松散保温材料(如稻壳、木屑、矿棉、岩棉等),因下沉	1.2
8	矿渣混凝土、炉渣混凝土、浮石混凝土、粉煤灰陶粒混凝土、加气混凝土等实心墙体及屋面构件,在严寒地区,且在室内平均相对湿度超过65%的供暖房间内使用,因干燥缓慢	1.15

多种材料围护结构平均传热阻修正系数 φ 值

表 3.1-10

λ_2/λ_1 或 $\frac{\lambda_2+\lambda_3}{2}/\lambda_1$	φ
0.09~0.19	0.86
0.20~0.39	0.93
0.40~0.69	0.96
0.70~0.99	0.98

注: 1. 当围护结构由两种材料组成时, λ_2 应取较小值, λ_1 应取较大值, 然后求得两者的比值。2. 当围护结构由三种材料组成, 或有两种厚度不同的空气间层时, φ 值可按比值 $\frac{\lambda_2+\lambda_3}{2}/\lambda_1$ 确定。

3. 当围护结构中存在圆孔时, 应先将圆孔折算成同面积的方孔, 然后再按上述规定计算。

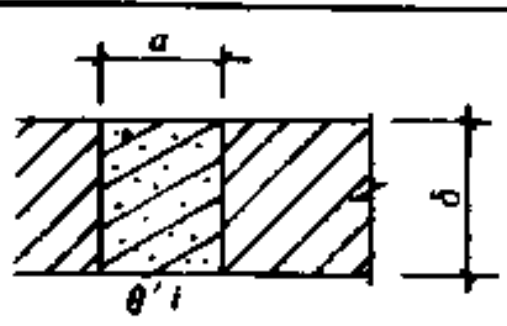
空气间层热阻值 [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]

表 3.1-11

位置、热流状况及材料特性	冬季状况							夏季状况						
	间层厚度 (mm)							间层厚度 (mm)						
	5	10	20	30	40	50	60以上	5	10	20	30	40	50	60以上
一般空气间层														
热流向下(水平、倾斜)	0.10	0.14	0.17	0.18	0.19	0.20	0.20	0.09	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.15
热流向上(水平、倾斜)	0.10	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.09	0.11	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
垂直空气间层	0.10	0.14	0.16	0.17	0.18	0.18	0.18	0.09	0.12	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15
单面铝箔空气间层														
热流向下(水平、倾斜)	0.16	0.28	0.43	0.51	0.57	0.60	0.64	0.15	0.25	0.37	0.44	0.48	0.52	0.54
热流向上(水平、倾斜)	0.16	0.26	0.35	0.40	0.42	0.42	0.43	0.14	0.20	0.28	0.29	0.30	0.30	0.28
垂直空气间层	0.16	0.26	0.39	0.44	0.47	0.49	0.50	0.15	0.22	0.31	0.34	0.36	0.37	0.37
双面铝箔空气间层														
热流向下(水平、倾斜)	0.18	0.34	0.56	0.71	0.84	0.94	1.01	0.16	0.30	0.49	0.63	0.73	0.81	0.86
热流向上(水平、倾斜)	0.17	0.29	0.45	0.52	0.55	0.56	0.57	0.15	0.25	0.34	0.37	0.38	0.38	0.35
垂直空气间层	0.18	0.31	0.49	0.59	0.65	0.69	0.71	0.15	0.27	0.39	0.46	0.49	0.50	0.50

热桥形式修正系数 η 值

表 3.1-12

编号	热桥形式 热桥图示	a/δ									备注
		0.02	0.06	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.50	
1		0.12	0.24	0.38	0.55	0.74	0.83	0.87	0.90	0.95	1. 当 $a/\delta > 1.5$ 时, 热桥部位内表面温度按下式计算: $\theta'_n = t_n - \frac{t_n - t_w}{R'_0} R_n$

续表

热桥形式		a/δ									备 注
编号	热桥图示	0.02	0.06	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.50	
2		0.07	0.15	0.26	0.42	0.62	0.73	0.81	0.85	0.94	2. a/δ的中间值可用内插法确定
3		0.25	0.50	0.96	1.20	1.27	1.21	1.16	1.10	1.00	
4		0.04	0.10	0.17	0.32	0.50	0.62	0.71	0.77	0.89	
热桥形式		δ_i/δ	a/δ							备 注	
编号	热桥图示		0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16		0.18
5		0.50	0.011	0.025	0.044	0.071	0.102	0.130	0.170	0.205	a/δ的中间值可用内插法确定
		0.25	0.006	0.014	0.025	0.040	0.054	0.074	0.092	0.112	

窗户传热系数和传热阻

表 3.1-13

窗 户 类 型	玻璃及空气间层厚度 (mm)	窗框窗面积比 (%)	传热系数K [W/(m ² ·℃)]	传热阻R ₀ (m ² ·℃/W)
单层金属窗	3~5	20~30	6.40	0.156
单框双玻金属窗	4+A6+4	20~30	4.40	0.227
单框双玻金属窗	4+A12+4	20~30	4.20	0.238
双层金属窗	A(100~140)	20~30	3.00	0.333
单层木窗	3~5	30~40	4.80	0.208
单框双玻木窗	4+A12+4	30~40	2.90	0.345
单框双玻木窗	4+A24+4	30~40	2.85	0.351
双层木窗	A(100~140)	30~40	2.30	0.435
单层塑料窗	3~5	30~40	5.00	0.200
单框双玻塑料窗	4+A6+4	30~40	3.30	0.303
单框双玻塑料窗	4+A12+4	30~40	3.10	0.323
双层塑料窗	A(100~140)	30~40	2.40	0.417

注: 1.表中窗户包括一般窗户、天窗和阳台门上部带玻璃部分。

2.表中窗户传热系数和传热阻系计算值。

供暖建筑地面热工性能类别

表 3.1-14

地面热工性能类别	B值[W/(m ² ·h ^{-1/2} ·K)]
I	<17
II	17~23
III	>23

注: 1.地面吸热指数B值按有关规定计算。

2.几种常用地面的热工性能类别为: 基层为碎石混凝土, 面层为木材、塑料等地面, 属I类; 基层为碎砖混凝土, 面层为水泥砂浆等地面, 属II类; 基层为碎石混凝土, 面层为水泥砂浆、水磨石、豆石混凝土等地面, 属III类。

表 3.1-15

地面吸热计算系数 K 值

序号	$\frac{b_1}{b_2}$	$\frac{\delta_1^2}{a_1 \tau}$																
		0.005	0.01	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00	1.50	2.00	3.00	
1	0.2	-0.82	-0.80	-0.80	-0.79	-0.78	-0.78	-0.77	-0.76	-0.73	-0.70	-0.65	-0.56	-0.47	-0.30	-0.18	-0.07	
2	0.3	-0.70	-0.70	-0.69	-0.69	-0.68	-0.67	-0.66	-0.64	-0.61	-0.58	-0.54	-0.46	-0.39	-0.24	-0.15	-0.05	
3	0.4	-0.60	-0.60	-0.58	-0.58	-0.57	-0.56	-0.55	-0.54	-0.51	-0.47	-0.44	-0.37	-0.31	-0.19	-0.12	-0.04	
4	0.5	-0.50	-0.50	-0.49	-0.48	-0.47	-0.46	-0.45	-0.43	-0.41	-0.38	-0.35	-0.29	-0.24	-0.15	-0.09	-0.03	
5	0.6	-0.40	-0.40	-0.39	-0.38	-0.37	-0.36	-0.35	-0.34	-0.31	-0.29	-0.26	-0.22	-0.18	-0.11	-0.07	-0.03	
6	0.7	-0.30	-0.30	-0.29	-0.28	-0.27	-0.26	-0.25	-0.24	-0.22	-0.21	-0.19	-0.16	-0.13	-0.08	-0.05	-0.02	
7	0.8	-0.20	-0.20	-0.19	-0.19	-0.18	-0.17	-0.16	-0.16	-0.14	-0.13	-0.12	-0.10	-0.08	-0.05	-0.03	0.00	
8	0.9	-0.10	-0.10	-0.10	-0.09	-0.09	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07	-0.06	-0.06	-0.05	-0.04	-0.02	-0.01	0.00	
9	1.1	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.02	0.01	0.00	
10	1.2	0.20	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.04	0.03	0.00	
11	1.3	0.30	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	-0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.10	0.06	0.04	0.01	
12	1.4	0.40	0.40	0.38	0.34	0.32	0.30	0.28	-0.26	0.24	0.21	0.19	0.15	0.12	0.08	0.05	0.02	
13	1.5	0.50	0.49	0.46	0.42	0.39	0.37	0.34	-0.32	0.29	0.25	0.23	0.18	0.15	0.09	0.05	0.02	
14	1.6	0.60	0.59	0.55	0.50	0.46	0.43	0.40	-0.38	0.33	0.30	0.26	0.21	0.17	0.10	0.06	0.02	
15	1.7	0.70	0.68	0.63	0.58	0.53	0.49	0.46	-0.43	0.38	0.33	0.30	0.24	0.19	0.12	0.07	0.03	
16	1.8	0.79	0.78	0.71	0.65	0.60	0.55	0.51	0.48	0.42	0.37	0.33	0.26	0.21	0.13	0.08	0.03	
17	1.9	0.89	0.88	0.80	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.46	0.40	0.36	0.29	0.23	0.14	0.08	0.03	
18	2.0	0.99	0.97	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	0.57	0.49	0.44	0.39	0.31	0.25	0.15	0.09	0.03	
19	2.2	1.18	1.16	1.03	0.92	0.83	0.76	0.70	0.65	0.56	0.49	0.44	0.35	0.28	0.17	0.10	0.04	
20	2.4	1.37	1.35	1.19	1.04	0.94	0.85	0.78	0.72	0.62	0.55	0.48	0.38	0.31	0.19	0.11	0.04	
21	2.6	1.57	1.53	1.33	1.16	1.04	0.94	0.86	0.79	0.68	0.60	0.52	0.42	0.34	0.20	0.12	0.04	
22	2.8	1.77	1.72	1.47	1.27	1.13	1.02	0.93	0.85	0.73	0.66	0.56	0.45	0.36	0.21	0.13	0.05	
23	3.0	1.95	1.89	1.60	1.37	1.21	1.08	0.99	0.91	0.78	0.68	0.60	0.47	0.38	0.23	0.14	0.05	

注: 1. b_1, b_2 —分别为最上一层和第二层材料热渗透系数, $W/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ K)$ 。2. δ_1 —最上一层材料的厚度, m。

3. 人脚与地面接触的时间, 取0.2h。

· 全国主要城市围护结构夏季室外计算温度(℃)

表 3.1-16

序号	城市名称	夏季室外计算温度			序号	城市名称	夏季室外计算温度		
		平均值 t_w	最高值 $t_{w,max}$	波幅值 A_{t_w}			平均值 t_w	最高值 $t_{w,max}$	波幅值 A_{t_w}
1	西安	32.3	38.4	6.1	31	武汉	32.4	36.9	4.5
2	汉中	29.5	35.8	6.3	32	宜昌	32.0	36.2	6.2
3	北京	30.2	36.3	6.1	33	黄石	33.0	37.9	4.9
4	天津	30.4	35.4	5.0	34	长沙	32.7	37.9	5.2
5	石家庄	31.7	38.3	6.6	35	芷江	30.4	36.3	5.9
6	济南	33.0	37.3	4.3	36	岳阳	32.5	35.9	3.4
7	青岛	28.1	31.1	3.0	37	株洲	34.4	39.9	5.5
8	上海	31.2	36.1	4.9	38	衡阳	32.8	38.3	5.5
9	南京	32.0	37.1	5.1	39	广州	31.1	35.6	4.5
10	常州	32.3	36.4	4.1	40	海口	30.7	36.3	5.6
11	徐州	31.5	36.7	5.2	41	汕头	30.6	35.2	4.6
12	东台	31.1	35.8	4.7	42	韶关	31.5	30.3	4.8
13	合肥	32.3	36.8	4.5	43	肇庆	31.2	36.6	5.4
14	芜湖	32.5	36.9	4.4	44	湛江	30.9	35.5	4.6
15	阜阳	32.1	37.1	5.2	45	南宁	31.0	36.7	5.7
16	杭州	32.1	37.2	5.1	46	桂林	30.9	36.2	5.3
17	衡水	32.1	37.6	5.5	47	百色	31.8	37.6	5.8
18	温州	30.3	35.7	5.4	48	梧州	30.9	37.0	6.1
19	南昌	32.9	37.8	4.9	49	柳州	32.9	38.8	5.9
20	赣州	32.2	37.8	5.6	50	桂平	32.4	37.5	5.1
21	九江	32.8	37.4	4.6	51	成都	29.2	34.4	5.2
22	景德镇	31.6	37.2	5.6	52	重庆	33.2	38.9	5.7
23	福州	30.9	37.2	6.3	53	达县	33.2	38.6	5.4
24	建阳	30.5	37.3	6.8	54	南充	34.0	39.3	5.3
25	南平	30.8	37.4	6.6	55	贵阳	26.9	32.7	5.8
26	永安	30.8	37.3	6.9	56	铜仁	31.2	37.8	6.6
27	漳州	31.3	37.1	5.8	57	遵义	28.5	34.1	5.6
28	厦门	30.8	35.5	4.7	58	思南	31.4	36.8	5.4
29	郑州	32.5	38.8	6.3	59	昆明	23.3	29.3	6.0
30	信阳	31.9	36.6	4.7	60	元江	33.7	40.3	6.6

表 3.1-17

全国主要城市夏季太阳辐射强度(W/m²)

序号	城市名称	朝向	当地太阳时												日总量	昼夜平均			
			时																
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			18		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	17	18
1	南宁	S W(E) N	17 17 100 60	60 60 168 251	98 98 186 473	129 129 176 678	150 150 157 838	182 162 162 942	196 166 166 976	182 162 162 942	189 154 154 962	175 341 151 926	150 502 157 838	129 591 176 678	98 594 186 473	60 483 168 251	17 255 100 60	1468 3559 2064 7462	61.2 148.3 86.0 310.9
2	广州	S W(E) N H	15 15 101 58	53 53 163 244	89 89 176 462	118 118 162 664	138 138 143 924	175 151 151 926	189 154 154 962	175 341 151 926	189 154 154 962	175 341 151 926	138 494 143 824	118 586 162 664	89 591 176 462	53 487 163 244	15 265 101 58	1365 3482 1946 7318	56.9 145.1 81.1 304.9
3	福州	S W(E) N H	16 16 113 70	52 52 162 261	86 86 159 481	112 112 131 685	163 131 131 845	211 143 143 949	227 146 146 983	211 143 143 949	227 146 146 983	211 344 143 949	163 508 131 845	112 609 131 685	86 624 159 481	52 528 162 261	16 305 113 70	1507 3604 1824 7565	62.8 150.2 76.0 315.2
4	贵阳	S W(E) N H	20 20 103 73	67 67 163 269	110 110 174 496	145 145 158 708	205 169 169 876	255 184 184 983	273 189 189 1021	255 184 184 983	273 189 189 1021	255 375 184 983	205 524 169 876	145 608 158 708	110 603 174 496	67 489 165 269	20 267 103 73	1877 3750 2091 7831	78.2 156.3 87.1 326.3
5	长沙	S W(E) N H	16 16 124 77	48 48 159 272	79 79 141 493	106 104 104 697	184 123 123 860	236 134 134 984	254 138 138 1000	236 134 134 984	254 138 138 1000	236 345 134 964	184 518 123 860	106 629 104 697	79 651 141 493	48 561 159 272	16 341 124 77	1592 3687 1708 7726	66.3 153.6 71.2 321.9
6	北京	S W(E) N H	30 30 148 139	65 65 137 336	116 95 95 543	245 118 118 730	352 136 136 878	423 147 147 972	447 151 151 1003	423 147 147 972	447 151 151 1003	423 364 147 972	352 543 126 878	245 662 118 730	116 697 95 543	65 629 137 336	30 441 148 39	2909 4078 1713 8199	121.2 169.9 71.4 341.6
7	郑州	S W(E) N H	20 20 118 95	53 53 132 275	83 83 98 475	172 109 109 661	261 126 126 808	310 138 138 902	340 141 141 935	310 138 138 902	340 141 141 935	310 333 138 902	261 491 126 808	172 590 109 661	83 609 98 475	53 528 132 275	20 338 118 95	2156 3559 1583 7367	89.8 148.3 66.0 307.0
8	上海	S W(E) N H	18 18 125 86	50 50 148 276	79 79 118 487	134 102 102 661	217 119 119 836	273 130 130 933	291 133 133 967	273 130 130 933	291 133 133 967	273 336 130 933	217 505 119 836	134 615 102 661	79 640 118 487	50 558 148 276	18 353 125 86	1833 3638 1617 7569	76.4 151.6 67.4 315.4

序号	城市名称	朝向	当地 太 阳 时														日总量	昼夜平均	
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	17	18
9	武汉	S W(E) N H	17 17 123 83	47 47 147 269	76 76 120 480	125 100 100 675	207 117 117 829	261 127 127 928	280 131 131 961	261 127 127 928	280 131 131 961	261 332 127 928	207 501 117 829	125 609 100 675	76 633 120 480	47 551 147 269	17 345 123 83	1746 3586 1599 7489	72.8 149.4 66.6 312.0
10	西安	S W(E) N H	24 24 119 98	60 60 139 282	94 94 111 486	180 122 122 672	267 141 141 819	325 153 153 914	345 157 157 945	325 153 153 914	345 157 157 945	325 344 153 914	267 496 141 819	180 591 122 672	94 607 111 486	60 523 139 282	24 332 119 98	2245 3644 1727 7487	93.5 151.8 72.0 312.0
11	重庆	S W(E) N H	16 16 124 81	47 47 153 270	79 79 131 487	119 104 104 664	200 122 122 844	252 133 133 945	270 138 138 980	252 133 133 945	270 138 138 980	252 340 133 945	200 509 122 844	119 617 104 664	79 640 131 487	47 555 153 270	16 345 124 81	1686 3645 1672 7606	70.7 151.9 69.7 316.9
12	杭州	S W(E) N H	18 18 116 82	53 53 147 266	84 84 127 473	131 109 109 664	209 127 127 815	261 138 138 910	279 143 143 944	261 138 138 910	279 143 143 944	261 333 138 910	209 490 127 815	131 590 109 664	84 608 127 473	53 521 147 266	18 318 116 82	1791 3532 1671 7364	74.6 147.2 69.6 306.8
13	南京	S W(E) N H	18 18 124 89	51 51 146 281	82 82 117 497	148 108 108 700	237 126 126 860	296 138 138 964	316 141 141 989	296 138 138 964	316 141 141 989	296 350 138 964	237 521 126 860	148 629 108 700	82 650 117 497	51 560 146 281	18 350 124 89	1980 3724 1650 7761	82.5 165.1 69.1 324.2
14	南昌	S W(E) N H	15 15 131 82	46 46 161 280	76 76 138 505	108 101 101 714	189 118 118 879	244 132 130 985	262 133 133 1021	244 132 130 985	262 133 133 1021	244 350 130 985	189 530 118 879	108 647 101 714	76 676 138 505	46 589 161 280	15 366 131 82	1618 3779 1691 7911	67.4 157.4 70.5 329.6
15	合肥	S W(E) N H	18 18 133 94	51 51 153 294	81 81 119 521	150 106 106 730	241 125 125 897	302 137 137 1004	324 141 141 1040	302 137 137 1004	324 141 141 1040	302 361 137 1004	241 544 125 897	150 660 106 730	81 687 119 521	51 596 153 294	18 377 133 94	2010 3884 1687 8120	83.8 161.8 70.3 338.3

太阳辐射吸收系数 ρ 值

表 3.1-18

序号	外表面材料	表面状况	色泽	ρ
1	红瓦屋面	旧	红褐色	0.70
2	灰瓦屋面	旧	浅灰色	0.52
3	石棉水泥瓦屋面		浅灰色	0.75
4	油毡屋面	旧, 不光滑	黑色	0.85
5	水泥屋面及墙面		青灰色	0.70
6	红砖墙面		红褐色	0.75
7	硅酸盐砖墙面	不光滑	灰白色	0.50
8	石灰粉刷墙面	新, 光滑	白色	0.48
9	水刷石墙面	旧, 粗糙	灰白色	0.70
10	浅色饰面砖及浅色涂料		浅黄、浅绿色	0.50
11	草坪		绿色	0.80

夏季不同风速下围护结构外表面的换热系数 a_w 、换热阻 R_w

表 3.1-19

室外平均风速 (m/s)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
换热系数 a_w [W/(m ² ·°C)]	14.0	17.4	19.8	22.1	24.4	25.6	27.9
换热阻 R_w [(m ² ·°C)/W]	0.071	0.057	0.051	0.045	0.041	0.039	0.036

相位差修正系数 β 值

表 3.1-20

序号	$\frac{A_{1-w}}{a_0}$ 与 $\frac{A_{1-w}}{a_n}$ 的比值或 A_{1-w} 与 A_{1-w} 的比值	$\Delta\varphi = (\varphi_{1-w} + \xi_w) - (\varphi_{1-w} + \xi_w)$ 或 $\Delta\varphi = \varphi_{1-w} - \varphi_1(h)$									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0	0.98	0.97	0.92	0.87	0.79	0.71	0.60	0.50	0.38	0.26
2	1.5	0.99	0.97	0.93	0.87	0.80	0.72	0.63	0.53	0.42	0.32
3	2.0	0.99	0.97	0.93	0.88	0.81	0.74	0.65	0.58	0.49	0.41
4	2.5	0.99	0.97	0.94	0.89	0.83	0.76	0.69	0.62	0.55	0.49
5	3.0	0.99	0.97	0.94	0.90	0.85	0.79	0.72	0.65	0.60	0.55
6	3.5	0.99	0.97	0.94	0.91	0.86	0.81	0.76	0.69	0.64	0.59
7	4.0	0.99	0.97	0.95	0.91	0.87	0.82	0.77	0.72	0.67	0.63
8	4.5	0.99	0.97	0.95	0.92	0.88	0.83	0.79	0.74	0.70	0.66
9	5.0	0.99	0.98	0.95	0.92	0.89	0.85	0.81	0.76	0.72	0.69

注: 表中 φ_{1-w} 为室外综合温度最大值出现时间, 点钟, 通常可取: 水平及南向, φ_{1-w} 13:00; 东向, 9:00; 西向, 16:00。

常用薄片材料和涂层的蒸汽渗透阻H值

表 3.1-21

序号	材料及涂层名称	厚度 (mm)	H ($m^2 \cdot h \cdot Pa / g$)
1	普通纸板	1	16.0
2	石膏板	8	120.0
3	硬质木纤维板	8	106.7
4	软质木纤维板	10	53.3
5	三层胶合板	3	226.6
6	石棉水泥板	6	266.6
7	热沥青一道	2	266.6
8	热沥青二道	4	480.0
9	乳化沥青二道	—	520.0
10	偏氯乙烯二道	—	1239.9
11	环氧煤焦油二道	—	3733.0
12	油漆二道(先做油灰嵌缝、上底漆)	—	639.9
13	聚氯乙烯涂层二道	—	3866.3
14	氯丁橡胶涂层二道	—	3466.3
15	玛瑙脂涂层一道	—	599.9
16	沥青玛瑙脂涂层一道	—	639.9
17	沥青玛瑙脂涂层二道	—	1079.9
18	石油沥青油毡	1.5	1106.6
19	石油沥青油纸	0.4	293.3
20	聚乙烯薄膜	0.16	733.3

供暖期间围护结构中保温材料重量湿度的允许增量 $[\Delta\omega]$ (%)

表 3.1-22

序号	材料名称	允许增量 [$\Delta\omega$]
1	多孔混凝土(包括泡沫混凝土、加气混凝土等) $\rho_0 = 500 \sim 700 kg/m^3$	4
2	水泥膨胀珍珠岩和水泥膨胀蛭石等 $\rho_0 = 300 \sim 500 kg/m^3$	6
3	水泥纤维板	5
4	矿棉、岩棉、玻璃棉及其制品(板或毡)	3
5	聚苯乙烯泡沫塑料	15
6	矿渣和炉渣填料	2

标准大气压时不同温度下的最大水蒸汽分压力 p 值(Pa)

表 3.1-23

t(°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
a. 温度自0°C至-40°C(与冰面接触)										
-0	610.6	605.3	601.3	595.9	590.6	586.6	581.3	576.0	572.0	566.6
-1	562.6	557.3	553.3	548.0	544.0	540.0	534.6	530.6	526.6	521.3
-2	517.3	513.3	509.3	504.0	500.0	496.0	492.0	488.0	484.0	480.0
-3	476.0	472.0	468.0	464.0	460.0	456.0	452.0	448.0	445.3	441.3
-4	437.3	433.3	429.3	426.6	422.6	418.6	416.0	412.0	408.0	405.3
-5	401.3	398.6	394.6	392.0	388.0	385.3	381.3	378.6	374.6	372.0
-6	368.0	365.3	362.6	358.6	356.0	353.3	349.3	346.6	344.0	341.3
-7	337.3	334.6	332.0	329.3	326.6	324.0	321.3	318.6	314.6	312.0
-8	309.3	306.6	304.0	301.3	298.6	296.0	293.3	292.0	289.3	286.6
-9	284.0	281.3	278.6	276.0	273.3	272.0	269.3	266.6	264.0	262.6
-10	260.0	257.3	254.6	253.3	250.6	248.0	246.6	244.0	241.3	240.0

t (°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
a. 温度自0°C至-40°C (与冰面接触)										
-11	237.3	236.0	233.3	232.0	229.3	226.6	225.3	222.6	221.3	218.6
-12	217.3	216.0	213.3	212.0	209.3	208.0	205.3	204.0	202.6	200.0
-13	198.6	197.3	194.7	193.3	192.0	189.3	187.0	186.7	184.0	182.7
-14	181.3	180.0	177.3	176.0	174.7	173.3	172.0	169.3	168.0	166.7
-15	165.3	164.0	162.7	161.3	160.0	157.3	156.0	154.7	153.3	152.0
-16	150.7	149.3	148.0	146.7	145.3	144.0	142.7	141.3	140.0	138.7
-17	137.3	136.0	134.7	133.3	132.0	130.7	129.3	128.0	126.7	126.7
-18	125.3	124.0	122.7	121.3	120.0	118.7	117.3	117.3	116.0	114.7
-19	113.3	112.0	112.0	110.7	109.3	108.0	106.7	106.7	105.3	104.0
-20	102.7	102.7	101.3	100.0	100.0	98.7	97.3	96.0	96.0	94.7
-21	93.3	93.3	92.0	90.7	90.7	89.3	88.0	88.0	86.7	85.3
-22	85.3	84.0	84.0	82.7	81.3	81.3	80.0	80.0	78.7	77.3
-23	77.3	76.0	76.0	74.7	74.7	73.3	73.3	72.0	70.7	70.7
-24	70.7	69.3	68.0	68.0	66.7	66.7	65.3	65.3	64.0	64.0
-25	62.7	62.7	61.3	61.3	61.3	60.0	60.0	58.7	58.7	57.3
-26	57.3	57.3	56.0	56.0	54.7	54.7	53.3	53.3	53.3	52.0
-27	52.0	50.7	50.7	50.7	49.3	49.3	48.0	48.0	48.0	46.7
-28	46.7	46.7	45.3	45.3	45.3	44.0	44.0	44.0	42.7	42.7
-29	42.7	41.3	41.3	41.3	40.0	40.0	40.0	38.7	38.7	38.7
-30	37.3	37.3	37.3	37.3	36.0	36.0	36.0	34.7	34.7	34.7
-31	34.7	33.3	33.3	33.3	33.3	32.0	32.0	32.0	32.0	30.7
-32	30.7	30.7	30.7	29.3	29.3	29.3	29.3	28.0	28.0	28.0
-33	28.0	28.0	26.7	26.7	26.7	26.7	25.3	25.3	25.3	25.3
-34	25.3	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	22.7	22.7	22.7	22.7
-35	22.7	22.7	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	20.0	20.0	20.0
-36	20.0	20.0	20.0	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7
-37	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	16.0	16.0	16.0
-38	16.0	16.0	16.0	16.0	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
-39	14.7	14.7	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
-40	13.3	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
b. 温度自0°C至50°C (与水面接触)										
0	610.6	615.9	619.9	623.9	629.3	633.3	638.6	642.6	647.9	651.9
1	657.3	661.3	666.6	670.6	675.9	681.3	685.3	690.6	695.9	699.9
2	705.3	710.6	715.9	721.3	726.6	730.6	735.9	741.3	746.6	751.9
3	757.3	762.6	767.9	773.3	779.9	785.3	790.6	795.9	801.3	807.9
4	813.3	818.6	823.9	830.6	835.9	842.6	847.9	853.3	859.9	866.6
5	874.9	878.6	883.9	890.6	897.3	902.6	909.3	915.9	921.3	927.9
6	934.6	941.3	947.9	954.6	961.3	967.9	974.6	981.2	987.9	994.6
7	1001.2	1007.9	1014.6	1022.6	1029.2	1035.9	1043.9	1050.6	1057.2	1065.2
8	1071.9	1079.9	1086.6	1094.6	1101.2	1109.2	1117.2	1123.9	1131.9	1139.9
9	1147.9	1155.9	1162.6	1170.6	1178.6	1186.6	1194.6	1202.6	1210.6	1218.6
10	1227.9	1235.9	1243.9	1251.9	1259.9	1269.2	1277.2	1286.6	1294.6	1303.9
11	1341.9	1321.2	1329.2	1338.6	1347.9	1355.9	1365.2	1374.5	1383.9	1393.2
12	1401.2	1410.5	1419.9	1429.2	1438.5	1449.2	1458.5	1467.9	1477.2	1486.5
13	1497.2	1506.5	1517.2	1526.5	1537.2	1546.5	1557.2	1566.5	1577.2	1587.9
14	1597.2	1607.9	1618.5	1629.2	1639.9	1650.5	1661.2	1671.9	1682.5	1693.2
15	1703.9	1715.9	1726.5	1737.2	1749.2	1759.9	1771.8	1782.5	1794.5	1805.2
16	1817.2	1829.2	1841.2	1851.8	1863.8	1875.8	1887.8	1899.8	1911.8	1925.2
17	1937.2	1949.2	1961.2	1974.5	1986.5	1998.5	2011.8	2023.8	2037.2	2050.5
18	2062.5	2075.8	2089.2	2102.5	2115.8	2129.2	2142.5	2155.8	2169.1	2182.5
19	2195.8	2210.5	2223.8	2238.5	2251.8	2266.5	2279.8	2294.5	2309.1	2322.5

续表

$t(^{\circ}\text{C})$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
b. 温度自0℃至50℃ (与水面接触)										
20	2337.1	2351.8	2366.5	2381.1	2395.8	2410.5	2425.1	2441.1	2455.8	2470.5
21	2486.5	2501.1	2517.1	2531.8	2547.8	2563.8	2579.8	2594.4	2610.4	2626.4
22	2642.4	2659.8	2675.8	2691.8	2707.8	2725.1	2741.1	2758.8	2774.4	2791.8
23	2809.1	2825.1	2842.4	2859.8	2877.1	2894.4	2911.8	2930.4	2947.7	2965.1
24	2983.7	3001.1	3019.7	3037.1	3055.7	3074.4	3091.7	3110.4	3129.1	3147.1
25	3167.7	3186.4	3205.1	3223.7	3243.7	3262.4	3282.4	3301.1	3321.1	3341.0
26	3361.0	3381.0	3401.0	3421.0	3441.0	3461.0	3482.4	3502.3	3523.7	3543.7
27	3585.0	3586.4	3607.7	3627.7	3649.0	3670.4	3693.0	3714.4	3735.7	3757.0
28	3779.7	3802.3	3823.7	3846.2	3869.0	3891.7	3914.3	3937.0	3959.7	3982.3
29	4005.0	4029.0	4051.7	4075.7	4099.7	4122.3	4146.3	4170.3	4194.3	4218.3
30	4243.6	4267.6	4291.6	4317.0	4341.0	4366.3	4391.6	4417.0	4442.3	4467.6
31	4493.0	4518.3	4543.6	4570.3	4595.6	4622.3	4648.9	4675.6	4702.3	4728.9
32	4755.6	4782.3	4808.9	4836.9	4863.6	4891.6	4918.2	4946.2	4974.2	5002.2
33	5030.2	5059.6	5087.6	5115.6	5144.9	5174.2	5202.2	5231.6	5260.9	5290.2
34	5319.5	5350.2	5379.5	5410.2	5439.5	5470.2	5500.9	5531.5	5562.2	5592.9
35	5623.5	5655.5	5686.2	5718.2	5748.8	5780.8	5812.8	5844.8	5876.8	5910.2
36	5942.2	5978.2	6007.5	6040.8	6074.2	6107.5	6140.8	6174.1	6208.8	6242.1
37	6276.8	6310.1	6344.8	6379.5	6414.1	6448.8	6484.8	6519.4	6555.4	6590.1
38	6626.1	6662.1	6698.1	6734.1	6771.4	6807.4	6844.8	6882.1	6918.1	6955.4
39	6994.1	7031.4	7068.7	7107.4	7144.7	7183.4	7222.1	7260.7	7298.0	7338.0
40	7378.0	7416.7	7456.7	7496.7	7536.7	7576.7	7616.7	7658.0	7698.0	7739.3
41	7780.7	7822.0	7863.3	7904.7	7946.0	7988.7	8031.3	8072.6	8115.3	8158.0
42	8202.0	8241.6	8288.6	8331.3	8375.3	8419.3	8463.3	8506.6	8552.6	8597.9
43	8641.9	8687.3	8735.6	8777.9	8824.6	8869.9	8916.6	8963.2	9009.9	9056.6
44	9103.2	9151.2	9197.9	9245.8	9293.9	9341.9	9389.9	9439.2	9487.2	9536.5
45	9585.9	9635.2	9684.5	9733.8	9784.5	9835.2	9885.8	9936.5	9987.2	10037.8
46	10088.5	10140.5	10192.5	10244.5	10296.5	10349.8	10403.1	10456.4	10508.4	10561.8
47	10616.4	10669.8	10724.4	10777.8	10832.4	10888.4	10943.1	10997.7	11053.7	11109.7
48	11165.7	11221.7	11279.0	11336.4	11393.7	11449.6	11507.0	11565.7	11623.0	11681.7
49	11740.3	11799.0	11857.7	11917.7	11977.6	12037.6	12097.6	12157.6	12217.6	12279.0
50	12340.3	12491.6	12462.9	12525.6	12586.9	12649.6	12712.2	12774.9	12837.6	12901.6

3.2 常用围护结构热工特性

常用围护结构的热工特性总传热阻 R_0 、总传热系数 K_0 、热惰性指标 D 、总衰减倍数 ν_0 、总延迟时间 ξ_0 、室内空气到内表面的衰减倍数 ν_n 及延迟时间 ξ_n ，分别按以下公式计算：

1. 总传热阻 R_0 ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

$$R_0 = R_n + R + R_w \quad (3.2-1)$$

式中 R_n ——内表面换热阻， $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；

R_w ——外表面换热阻， $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；

R ——围护结构热阻， $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；对单一材料层： $R = \frac{\delta}{\lambda_c}$ (3.2-2)

式中 δ ——材料层厚度， m ；

λ_c ——材料层计算导热系数，按表3.1-8注中方法确定。

对于多层围护结构热阻：

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N \quad (3.2-3)$$

式中 R_1, R_2, \dots, R_N ——各材料层热阻， $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

由两种以上材料组成的、两向非均质围护结构的平均热阻 R_p ($m^2 \cdot ^\circ C/W$):

$$R_p = \left[\frac{F_0}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_{0i}}} - (R_n + R_w) \right] \cdot \varphi \quad (3.2-4)$$

式中 F_0 ——与热流方向垂直的传热面积, m^2 ;
 F_i ——按平行于热流方向划分的各个传热面积, m^2 ;
 R_{0i} ——各个传热面上的总热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;
 φ ——修正系数, 按表3.1-10采用。

2. 总传热系数 K_0 [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

$$K_0 = 1/R_0 \quad (3.2-5)$$

3. 热惰性指标 D

对多层围护结构:

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_N = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + \dots + R_N \cdot S_N \quad (3.2-6)$$

式中 R_1, R_2, \dots, R_N ——分别为各层材料的热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;
 S_1, S_2, \dots, S_N ——分别为各层材料的蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$, 对单一材料层:

$$D = R \cdot S \quad (3.2-7)$$

式中 R ——材料层热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;
 S ——材料层蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$ 。

4. 总衰减倍数 γ_0

$$\gamma_0 = 0.9 e^{\frac{\sum D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + a_n)(S_2 + \gamma_1) \dots \gamma_{K-1} \dots (S_N + \gamma_{N-1})(\gamma_N + a_w)}{(S_1 + \gamma_1)(S_2 + \gamma_2) \dots \gamma_K \dots (S_N + \gamma_N) \cdot a_w} \quad (3.2-8)$$

式中 $\sum D$ ——围护结构总热惰性指标, $\sum D = D_1 + R_2 + \dots + D_N$;
 S_1, S_2, \dots, S_N ——由内到外各层材料的蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$, 空气层 $S = 0$;
 $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N$ ——由内到外各层材料的外表面蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$, 按注1方法计算, 层次排列见下图。

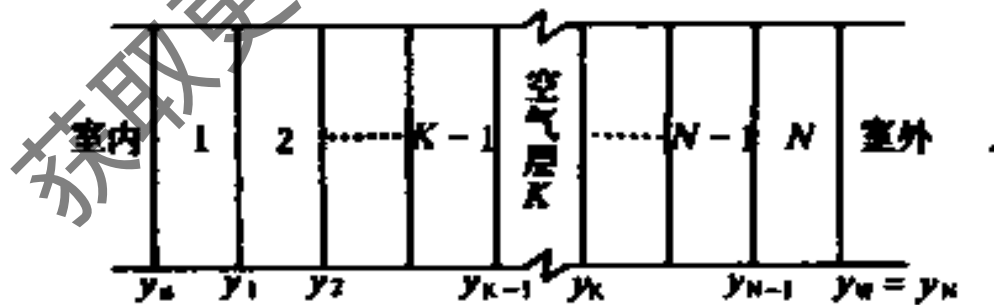


图 3.2-1 多层围护结构层次排列示意图

γ_K, γ_{K-1} ——分别为空气间层外表面和空气间层前一层材料外表面蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$ 。

5. 总延迟时间 ξ_0 (h)

$$\xi_0 = \frac{1}{15} \left(40.5 \sum D - \text{tg}^{-1} \frac{a_n}{a_n + \gamma_n \sqrt{2}} + \text{tg}^{-1} \frac{R_K \cdot \gamma_{K0}}{R_K \cdot \gamma_{K0} + \sqrt{2}} + \text{tg}^{-1} \frac{\gamma_w}{\gamma_w + a_w \sqrt{2}} \right) \quad (h) \quad (3.2-9)$$

式中 γ_w ——围护结构外表面 (亦即最后一层外表面) 蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$;
 γ_n ——围护结构内表面蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$, 按注2方法计算;
 R_K ——空气间层热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$, 按表3.1-11采用;

γ_{kn} ——空气间层内表面蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$, 按注2方法计算。

6. 室内空气到内表面的衰减倍数 γ_n

$$\gamma_n = 0.95 \frac{a_n + \gamma_n}{a_n} \quad (3.2-10)$$

7. 室内空气到内表面的延迟时间 ξ_n (h)

$$\xi_n = \frac{1}{15} \lg^{-1} \frac{\gamma_n}{\gamma_n + a_n \sqrt{2}} \quad (3.2-11)$$

注: 1. 多层围护结构各层的外表面蓄热系数, 按下列规定由内到外逐层进行计算 (参见图3.2-1); 如果任何一层的 $D > 1$, 则 $\gamma = S$, 即为该层材料的蓄热系数。

如果第一层的 $D_1 < 1$, 则:

$$\gamma_1 = \frac{R_1 S_1^2 + a_n}{1 + R_1 \cdot a_n} \quad (3.2-12)$$

如果第二层的 $D_2 < 1$, 则:

$$\gamma_2 = \frac{R_2 S_2^2 + \gamma_1}{1 + R_2 \gamma_1} \quad (3.2-13)$$

余类推, 直到最后一层 (第 N 层):

$$\gamma_w(\gamma_N) = \frac{R_N S_N^2 + \gamma_{N-1}}{1 + R_N \cdot \gamma_{N-1}} \quad (3.2-14)$$

式中 $S_1, S_2 \dots S_N$ ——各层材料的蓄热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

$R_1, R_2 \dots R_N$ ——各层材料的热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;

$\gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_N$ ——各层外表面蓄热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

a_n ——内表面换热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

2. 多层围护结构内表面蓄热系数按下列规定计算:

如果多层围护结构中的第一层 (即紧接内表面的一层) $D_1 > 1$, 则取围护结构内表面蓄热系数 $\gamma_n = S_1$ 。

如果多层结构中最接近内表面的第 m 层, 其 $D_m > 1$, 则取 $\gamma_m = S_m$, 然后从第 $m-1$ 层开始, 由外向内逐层计算, 直至第1层的 γ_1 即为所求的围护结构内表面蓄热系数, 参见图3.2-1。

如果多层结构中的每一层 D 值均小于1, 则计算应从最后一层 (第 N 层) 开始, 然后由外向内逐层计算, 直至第1层的 γ_1 即为所求的围护结构内表面蓄热系数。

3.2.1 几种墙体和几种保温层的基本数据

1. 普通砖外墙在各种厚度下的总热阻 R_0 ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) 和热惰性指标 D 值, 见表3.2-1。

2. 空心砖在各种厚度下的总热阻 R_0 ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) 和热惰性指标 D 值, 见表3.2-2。

3. 几种保温材料保温层在各种厚度下的热阻 R ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) 及热惰性指标 D 值, 见表3.2-3。

注:

1. 表3.2-3中保温材料的热物理性能:

沥青膨胀珍珠岩: $\rho = 400$, $\lambda = 0.12$, $S = 2.28$;

加气混凝土块: $\rho = 700$, $\lambda = 0.22$, $S = 3.56$;

水泥膨胀珍珠岩: $\rho = 400$, $\lambda = 0.16$, $S = 2.35$;

水泥膨胀蛭石: $\rho = 350$, $\lambda = 0.14$, $S = 1.92$ 。

2. 导热系数 λ 及蓄热系数 S 的修正系数 a 值取 $a = 1.0$ 。

普通砖外墙在各种厚度下的总热阻 R_0 ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) 和热惰性指标 D 值 表 3.2-1

墙厚 (mm)	无抹灰			单面抹灰			双面抹灰			备注
	R_0	D	t_w 类型	R_0	D	t_w 类型	R_0	D	t_w 类型	
120	0.299	1.56	IV	0.321	1.81	III	0.344	2.06	III	普通砖 $\rho=1800kg/m^3$, $\lambda=0.81W/(m \cdot ^\circ C)$, $S=10.53$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, 20厚水泥砂浆抹 灰层; $R=0.023$, $D=0.248$ 。 双面抹灰层; $R=0.046$, $D=$ 0.498 。 $R_0 + R_w = 0.11 + 0.04 = 0.15$
180	0.372	2.34	III	0.395	2.59	III	0.418	2.84	III	
240	0.446	3.12	III	0.469	3.37	III	0.492	3.62	III	
370	0.607	4.81	II	0.630	5.06	II	0.653	5.31	II	
490	0.755	6.37	I	0.778	6.62	I	0.801	6.87	I	
620	0.915	8.06	I	0.938	8.31	I	0.961	8.56	I	

空心砖在各种厚度下的总热阻 R_0 ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) 和热惰性指标 D 值 表 3.2-2

墙厚 (mm)	无抹灰			单面抹灰			双面抹灰			备注
	R_0	D	t_w 类型	R_0	D	t_w 类型	R_0	D	t_w 类型	
120	0.357	1.56	IV	0.380	1.80	III	0.403	2.05	III	空心砖 $\rho=1400kg/m^3$, $\lambda=0.58W/(m \cdot ^\circ C)$, $S=7.52W/m^2 \cdot ^\circ C$ 。 其他同上表 ($\bar{\lambda}$ 为平均导热系数)
180	0.460	2.33	III	0.483	2.58	III	0.506	2.83	III	
240	0.564	3.11	III	0.587	3.36	III	0.610	3.61	III	
370	0.788	4.80	II	0.811	5.05	II	0.834	5.29	II	
490	0.995	6.35	I	1.018	6.60	I	1.041	6.85	I	
620	1.219	8.04	I	1.242	8.29	I	1.265	8.54	I	

几种保温材料在各种厚度下的热阻 R 及热惰性指标 D 值 表 3.2-3

保温层 厚度 (mm)	沥青膨胀珍珠岩		加气混凝土块		水泥膨胀珍珠岩		水泥膨胀蛭石	
	$R(m^2 \cdot ^\circ C/W)$	D	$R(m^2 \cdot ^\circ C/W)$	D	$R(m^2 \cdot ^\circ C/W)$	D	$R(m^2 \cdot ^\circ C/W)$	D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	0.333	0.76	0.182	0.65	0.250	0.59	0.286	0.55
50	0.417	0.95	0.227	0.81	0.313	0.73	0.357	0.69
60	0.500	1.14	0.273	0.97	0.375	0.88	0.429	0.82
70	0.583	1.33	0.318	1.13	0.438	1.03	0.500	0.96
80	0.667	1.52	0.364	1.29	0.500	1.18	0.571	1.10
90	0.750	1.71	0.409	1.46	0.563	1.32	0.643	1.23
100	0.833	1.90	0.455	1.62	0.625	1.47	0.714	1.37
125	1.042	2.38	0.568	2.02	0.781	1.84	0.893	1.71
150	1.250	2.85	0.682	2.43	0.938	2.20	1.071	2.06
175	1.458	3.33	0.795	2.83	1.094	2.57	1.250	2.40
200	1.667	3.80	0.909	3.24	1.250	2.94	1.429	2.74
225	1.875	4.28	1.023	3.64	1.406	3.30	1.607	3.09
250	2.083	4.75	1.136	4.05	1.563	3.67	1.786	3.43
275	2.292	5.23	1.250	4.45	1.719	4.04	1.964	3.77
300	2.500	5.70	1.364	4.85	1.875	4.41	2.143	4.11
325	2.708	6.18	1.477	5.26	2.031	4.77	2.321	4.46
350	2.917	6.65	1.591	5.66	2.188	5.14	2.500	4.80

3.2.2 常用外围护结构的热工指标

1. 外墙的热工指标

(1) 普通砖外墙热工指标, 见表3.2-4。

普通砖外墙热工指标 ($\alpha_w = 23.26, \alpha_n = 8.72$)

表 3.2-4

序号	构造	保温材料	δ	R_0	K_0	v_0	ζ_0	v_n	ζ_n	ΣD	冬季 t_w 类型
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			120	0.298	3.36	3.60	3.77	2.10	1.65	1.560	II
2			180	0.372	2.69	6.25	5.88	2.10	1.65	2.340	II
3			240	0.446	2.24	10.85	7.98	2.10	1.65	3.120	II
4			370	0.607	1.65	35.85	12.54	2.10	1.65	4.810	II
5			490	0.755	1.32	108.04	16.76	2.10	1.65	6.370	I
6			620	0.915	1.09	356.91	21.32	2.10	1.65	8.060	I
7			120	0.323	3.10	4.29	4.35	1.97	1.56	1.810	II
8			180	0.397	2.52	7.46	6.39	1.89	1.49	2.590	II
9			240	0.471	2.12	12.94	8.46	1.84	1.45	3.368	II
10			370	0.632	1.58	42.76	12.97	1.79	1.40	5.060	II
11			490	0.780	1.28	128.84	17.16	1.76	1.37	6.620	I
12			620	0.940	1.06	425.64	21.70	1.74	1.35	8.310	I
13			120	0.344	2.91	5.07	5.10	2.08	1.64	2.052	II
14			180	0.418	2.39	8.81	7.21	2.08	1.64	2.830	II
15			240	0.493	2.03	15.29	9.31	2.08	1.64	3.612	II
16			370	0.653	1.53	50.51	13.88	2.08	1.64	5.302	II
17			490	0.801	1.25	152.22	18.09	2.08	1.64	6.862	I
18			620	0.961	1.04	502.86	22.65	2.08	1.64	8.552	I

普通砖 $\lambda = 0.81, S = 10.53, \rho = 1800$

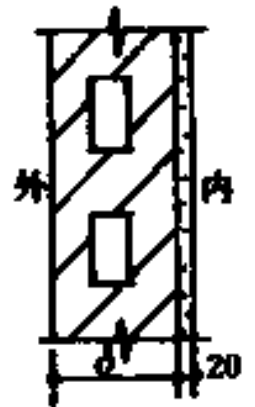
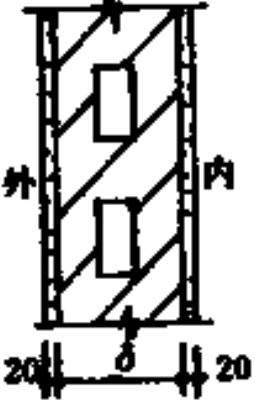
(2) 空心砖外墙热工指标, 见表3.2-5。

空心砖外墙热工指标 ($\alpha_w = 23.26, \alpha_n = 8.72$)

表 3.2-5

序号	构造	保温材料	δ	R_0	K_0	v_0	ζ_0	v_n	ζ_n	ΣD	冬季 t_w 类型
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19			120	3.570	2.801	3.86	3.29	1.77	1.38	1.556	IV
20			180	0.460	2.17	6.70	5.39	1.77	1.38	2.334	III
21			240	0.564	1.77	11.61	7.49	1.77	1.38	3.112	III
22			370	0.788	1.27	38.23	12.04	1.77	1.38	4.797	II
23			490	0.995	1.01	114.88	16.24	1.77	1.38	6.353	I
24			620	1.219	0.82	378.30	20.79	1.77	1.38	8.039	I

续表

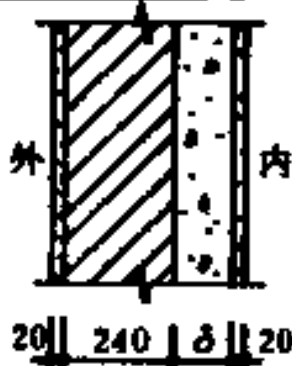
序号	构造	保温材料	δ	R_0	$^{\circ}K_0$	v_0	ζ_0	ν_0	ξ_0	ΣD	冬季 t_w 类型
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25			120	0.382	2.62	4.63	3.95	1.76	1.37	1.806	III
26			180	0.485	2.06	8.03	5.97	1.68	1.29	2.584	III
27			240	0.589	1.70	13.91	8.02	1.63	1.24	3.362	III
28			370	0.813	1.23	45.82	12.51	1.58	1.18	5.047	II
29			490	1.020	0.98	137.68	16.67	1.55	1.14	6.603	I
30			620	1.244	0.80	453.41	21.20	1.53	1.12	8.289	I
31			120	0.405	2.47	5.38	4.81	1.87	1.48	2.054	III
32			180	0.508	1.97	9.33	6.91	1.87	1.48	2.832	III
33			240	0.612	1.63	16.18	9.01	1.87	1.48	3.610	III
34			370	0.836	1.20	53.28	13.56	1.87	1.48	5.300	II
35			490	1.043	0.96	160.08	17.76	1.87	1.48	6.851	I
36			620	1.267	0.79	527.16	22.31	1.87	1.48	8.537	I

空心砖 $\lambda=0.58$, $S=7.52$, $\rho=1400$

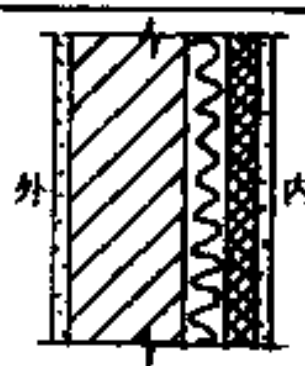
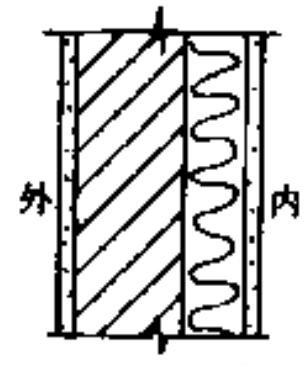
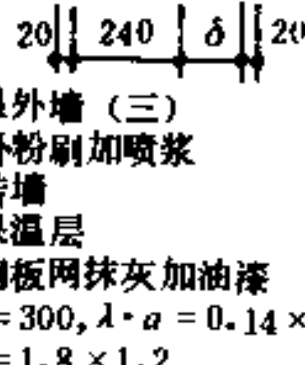
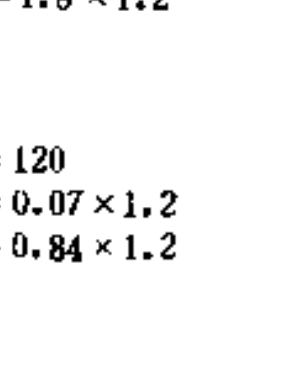
(3) 保温外墙热工指标, 见表3.2-6。

保温外墙热工指标 ($a_w=23.26$, $a_s=8.72$)

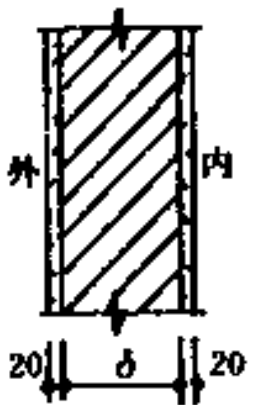
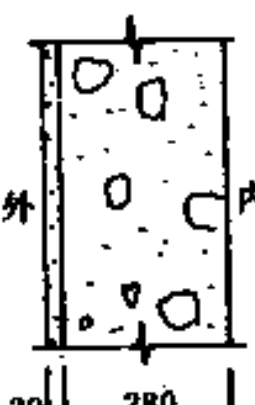
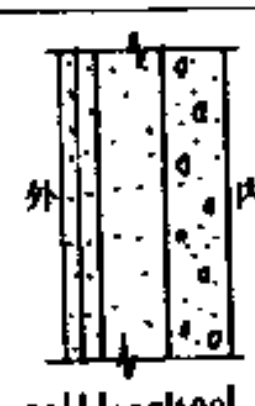
表 3.2-6

序号	构造	保温材料	δ	R_0	$^{\circ}K_0$	v_0	ζ_0	ν_0	ξ_0	ΣD	t_w 类型		
1		加气混凝土	250	1.40	0.71	313.62	19.85	1.64	1.24	7.66	I		
2			190	1.18	0.85	157.85	17.23	1.64	1.24	6.69	I		
3			150	1.04	0.96	99.88	15.48	1.64	1.24	6.05	I		
4			120	0.93	1.08	70.86	14.17	1.64	1.24	5.56	II		
5			80	0.82	1.22	50.27	12.86	1.64	1.24	5.07	II		
6			70	0.75	1.33	39.99	11.99	1.64	1.24	4.75	II		
7	保温外墙 (一) 1. 水泥砂浆抹灰加浅色喷浆 2. 砖墙240 3. 保温层 4. 内粉刷加油漆 注: 1. 加气混凝土 $\rho_0=700$, $\lambda \cdot a=0.22 \times 1.25$, $S \cdot a=4.45$ 2. 水泥膨胀珍珠岩 $\rho_0=400$, $\lambda \cdot a=0.18 \times 1.25$, $S \cdot a=3.58 \times 1.25$ 3. 沥青膨胀珍珠岩 $\rho_0=400$, $\lambda \cdot a=1 \times 0.12$, $S \cdot a=2.28 \times 1$	水泥膨胀珍珠岩	140	1.19	0.84	93.16	14.33	1.51	1.09	5.68	II		
8			110	1.04	0.96	68.21	13.14	1.51	1.09	5.23	II		
9			80	0.89	1.12	49.93	11.95	1.51	1.09	4.79	II		
10			60	0.79	1.27	39.82	11.18	1.52	1.11	4.50	II		
11			50	0.74	1.35	34.93	10.82	1.55	1.15	4.35	II		
12			40	0.69	1.45	30.45	10.47	1.59	1.20	4.21	II		
13			保温外墙 (二) 1. 外粉刷加浅色喷浆 2. 砖墙240 3. 保温层 4. 木丝板 5. 钢板网抹灰加油漆	沥青膨胀珍珠岩	160	1.83	0.55	214.91	16.89	1.45	1.01	6.65	I
14					110	1.41	0.71	109.78	14.33	1.45	1.01	5.70	II
15					80	1.16	0.86	73.36	12.79	1.45	1.01	5.13	II
16					65	1.03	0.97	59.97	12.02	1.45	1.01	4.85	II
17					50	0.91	1.10	48.54	11.26	1.45	1.02	4.58	II
18				40	0.83	1.20	40.59	10.79	1.49	1.06	4.37	II	
19		沥青矿渣棉毡	100	1.72	0.58	143.28	14.34	1.61	1.22	5.63	II		
20			80	1.50	0.67	118.10	13.60	1.61	1.22	5.35	II		
21			70	1.39	0.72	105.97	13.23	1.61	1.22	5.22	II		
22			50	1.17	0.85	79.65	12.51	1.63	1.23	4.94	II		
23			40	1.06	0.94	67.89	12.15	1.64	1.25	4.81	II		
24			30	0.94	1.06	56.84	11.80	1.65	1.26	4.67	II		

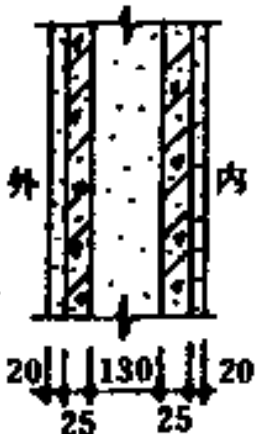
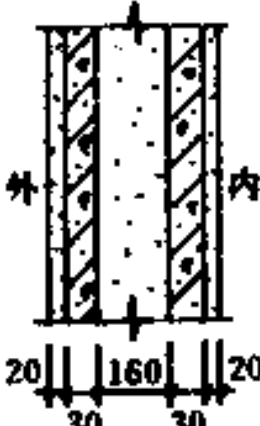
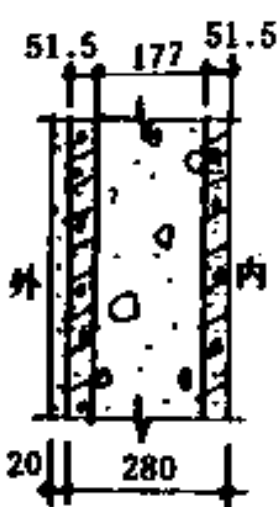
续表

序号	构造	保温材料	δ	R_0	K_0	v_0	ξ_0	v_n	ξ_n	ΣD	类型
25		塑料袋装膨胀蛭石	100	1.20	0.83	92.71	14.11	1.64	1.25	5.53	II
26			80	1.08	0.93	77.47	13.43	1.64	1.25	5.28	II
27			70	1.02	0.98	69.51	13.09	1.65	1.26	5.15	II
28			50	0.91	1.10	55.02	12.42	1.66	1.27	4.90	II
29			40	0.85	1.18	48.54	12.09	1.67	1.29	4.77	II
30			30	0.79	1.27	42.48	11.76	1.69	1.30	4.64	II
31	注: 1. 沥青矿渣棉毡 $\rho_0 = 300, \lambda \cdot a = 0.09 \times 1,$ $S \cdot a = 1.23 \times 1$ 2. 塑料袋装膨胀蛭石 $\rho_0 = 300, \lambda \cdot a = 0.14 \times 1.2$ $S \cdot a = 1.8 \times 1.2$ 3. 塑料袋装膨胀珍珠岩粉 $\rho_0 = 120, \lambda \cdot a = 0.07 \times 1.2$ $S \cdot a = 0.84 \times 1.2$ 4. 木丝板 $\rho_0 = 600, \lambda \cdot a = 0.16 \times 1.3$ $S \cdot a = 4.19 \times 1.3$ $\rho_0 = 150$ $\lambda \cdot a = 0.058 \times 1$ $S \cdot a = 0.94 \times 1$ $\rho_0 = 20$ $\lambda \cdot a = 0.047 \times 1.0$ $S \cdot a = 0.314 \times 1.0$	塑料袋装膨胀珍珠岩粉	85	1.62	0.62	130.15	13.40	1.60	1.21	5.28	II
32			60	1.33	0.75	95.18	12.60	1.61	1.22	4.98	II
33			50	1.21	0.83	82.45	12.28	1.62	1.23	4.86	II
34			40	1.09	0.92	70.42	11.97	1.63	1.24	4.74	II
35			30	0.97	1.03	58.93	11.66	1.65	1.26	4.62	II
36			25	0.91	1.10	53.35	11.51	1.66	1.27	4.56	II
37		沥青玻璃棉毡	85	2.08	0.48	176.97	14.35	1.60	1.20	5.64	II
38			60	1.65	0.61	131.74	13.26	1.60	1.20	5.23	II
39			50	1.47	0.68	110.89	12.83	1.61	1.21	5.07	II
40			40	1.30	0.77	91.86	12.40	1.61	1.22	4.91	II
41			30	1.13	0.88	74.28	11.98	1.63	1.24	4.75	II
42			25	1.04	0.96	65.91	11.77	1.64	1.24	4.67	II
43		塑料袋装聚氨酯	70	2.10	0.48	165.86	11.88	1.59	1.19	4.73	II
44			60	1.89	0.53	145.58	11.71	1.59	1.19	4.66	II
45			50	1.68	0.60	125.51	11.53	1.60	1.20	4.59	II
46			35	1.36	0.74	95.00	11.28	1.61	1.21	4.49	II
47			25	1.14	0.88	76.28	11.11	1.62	1.23	4.43	II
48			20	1.04	0.96	66.38	11.03	1.63	1.24	4.39	II
49		沥青矿渣棉毡	110	1.71	0.58	112.15	12.59	1.35	0.86	5.12	II
50			80	1.38	0.72	83.92	11.49	1.35	0.86	4.71	II
51			50	1.05	0.95	55.65	10.45	1.39	0.92	4.30	II
52			40	0.94	1.06	46.90	10.12	1.42	0.97	4.16	II
53			30	0.83	1.20	38.65	9.81	1.46	1.03	4.02	II
54			25	0.77	1.30	34.67	9.67	1.49	1.07	3.95	III
55	保温外墙(三) 1. 外粉刷加喷浆 2. 砖墙 3. 保温层 4. 钢板网抹灰加油漆 $\rho_0 = 300, \lambda \cdot a = 0.14 \times 1.2,$ $S \cdot a = 1.8 \times 1.2$	塑料袋装膨胀蛭石	110	1.04	0.96	69.62	12.44	1.44	0.99	5.01	II
56			80	0.96	1.04	53.17	11.41	1.44	0.99	4.63	II
57			50	0.79	1.27	36.90	10.48	1.50	1.08	4.25	II
58			40	0.73	1.37	32.16	10.18	1.54	1.13	4.12	II
59			30	0.67	1.49	27.70	9.91	1.60	1.20	3.99	III
60			25	0.64	1.56	25.55	9.78	1.63	1.24	3.93	III
61	$\rho_0 = 120$ $\lambda \cdot a = 0.07 \times 1.2$ $S \cdot a = 0.84 \times 1.2$	塑料袋装膨胀珍珠岩粉	95	1.62	0.62	101.65	11.59	1.33	0.82	4.75	II
62			70	1.33	0.75	77.50	10.80	1.34	0.85	4.45	II
63			50	1.05	0.95	57.89	10.20	1.38	0.90	4.21	II
64			40	0.97	1.03	48.89	9.92	1.40	0.95	4.09	II
65			30	0.85	1.18	40.28	9.66	1.45	1.01	3.97	III
66			25	0.79	1.27	36.08	9.54	1.48	1.05	3.91	III


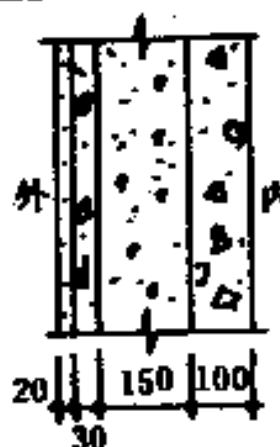
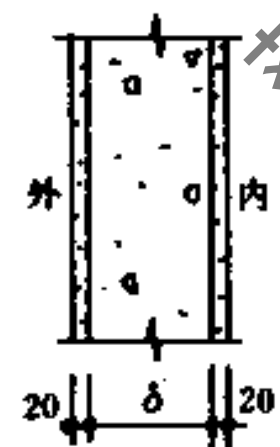
续表

序号	构造	保温材料	δ	R_0	K_0	ν_0	ζ_0	ν_n	ξ_n	ΣD	f_n 类型
67	$\rho_0 = 150$ $\lambda \cdot a = 0.058 \times 1.0$ $S \cdot a = 0.94 \times 1.0$	沥青玻璃棉毡	95	2.13	0.47	142.79	12.65	1.32	0.81	5.15	II
68			70	1.70	0.59	107.22	11.55	1.32	0.81	4.75	II
69			50	1.35	0.74	79.17	10.71	1.34	0.84	4.42	II
70			40	1.18	0.85	64.96	10.30	1.36	0.88	4.26	II
71			30	1.01	0.99	51.81	9.92	1.39	0.93	4.10	II
72			25	0.92	1.09	45.54	9.74	1.42	0.96	4.02	III
73			$\rho_0 = 20$ $\lambda \cdot a = 0.047 \times 1.0$ $S \cdot a = 0.314 \times 1.0$	塑料泡沫装尿料	75	2.09	0.48	128.75	9.79	1.29	0.75
74	65	1.88			0.53	113.32	9.62	1.29	0.77	4.05	II
75	55	1.66			0.60	98.16	9.46	1.31	0.79	3.98	III
76	40	1.34			0.75	75.74	9.23	1.33	0.83	3.88	III
77	30	1.13			0.88	60.87	9.10	1.36	0.88	3.81	III
78	25	1.02			0.98	53.42	9.04	1.38	0.91	3.78	III
79	 <p>砖墙 1. 外粉刷 2. 砖墙 3. 内粉刷 $\lambda_1 = 0.87$ $S_1 = 10.79$</p>		370	0.65	1.54	50.51	13.88	2.08	1.64	5.30	II
80			240	0.49	2.03	15.29	9.31	2.05	1.64	3.61	III
81	 <p>陶粒页岩混凝土大板280 1. 外粉刷 2. 陶粒页岩混凝土 3. 大白浆 $\lambda_1 = 0.87$ $S_1 = 10.79$ $\rho_2 = 1500$, $\lambda_2 = 0.77$ $S_2 = 9.65$</p>			0.54	1.85	17.02	9.60	2.00	1.58	3.75	III
82			 <p>混凝土、加气混凝土复合板240 1. 外粉刷 2. 混凝土 3. 加气混凝土 4. 混凝土大白浆 $\lambda_3 \cdot a = 0.22 \times 1.2$, $S_3 \cdot a = 3.56 \times 1.2$</p>	加气混凝土		0.64	1.56	15.13	7.91	1.42	0.96

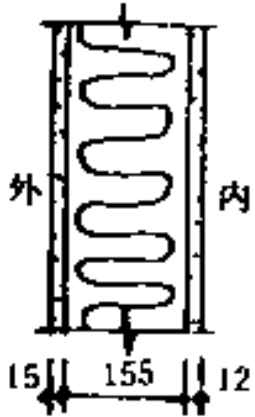
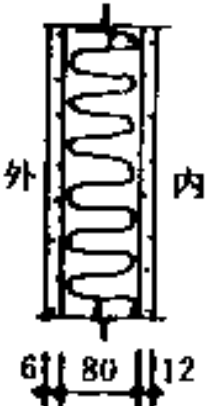
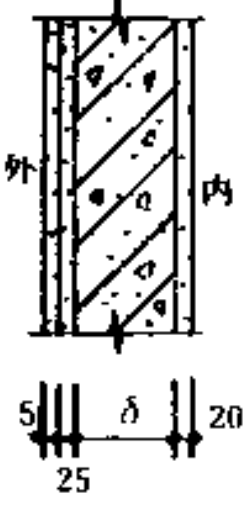
续表

序号	构造	保温材料	δ	R_a	K_0	v_0	ξ_0	v_n	ξ_n	ΣD	I_{∞} 类型
83	 <p>填泡沫混凝土的钢筋混凝土墙 板180 1. 外粉刷 2. 钢筋混凝土空心板填充泡沫 混凝土 3. 内粉刷 泡沫混凝土: $\lambda \cdot a = 0.19 \times 1.6, S \cdot a = 2.76$ $\times 1.6$</p>	泡 沫 混 凝 土		0.42	2.38	7.72	6.29	2.11	1.66	2.48	III
84	 <p>填泡沫混凝土的钢筋混凝土墙 板220 1. 外粉刷 2. 钢筋混凝土空心板填充泡沫 混凝土 3. 内粉刷 泡沫混凝土: $a = 1.6$</p>	泡 沫 混 凝 土		0.49	2.04	12.41	8.14	2.18	1.70	3.13	III
85	 <p>膨珠混凝土大板280 1. 外粉刷 2. 膨胀珍珠岩混凝土 3. 大白浆 $\lambda_2 \cdot a = 0.16 \times 1.6, S_2 \cdot a =$ 2.35×1.6</p>			0.50	2.00	13.93	8.64	2.39	1.82	3.26	III

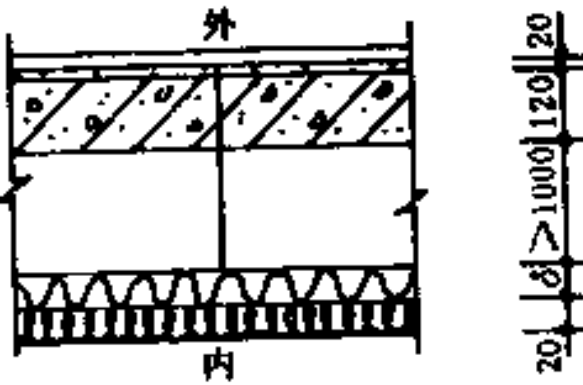
续表

序号	构造	保温材料	δ	R_0	K_0	ν_0	ξ_0	ν_n	ξ_n	ΣD	I_w 类型
86	 <p>混凝土、加气混凝土复合板280 (一) 1. 外粉刷 2. 混凝土 3. 加气混凝土 4. 混凝土板、喷白浆 $\lambda_3 \cdot a = 0.19 \times 1.6, S_3 \cdot a = 2.76 \times 1.6$</p>	加气混凝土		0.67	1.49	23.71	9.57	2.82	2.01	3.59	Ⅲ
87	 <p>混凝土、加气混凝土复合板280 (二) 1. 外粉刷 2. 混凝土 3. 加气混凝土 ($a=1.6$) 4. 混凝土喷白浆</p>	加气混凝土		0.74	1.35	25.72	9.88	2.81	2.01	3.71	Ⅲ
88			200	1.03	0.97	18.80	7.80	1.55	1.14	3.37	Ⅲ
89	 <p>纯加气混凝土大板 1. 外粉刷 2. 加气混凝土 3. 内粉刷 $\lambda_2 \cdot a = 0.19 \times 1.25, S_2 \cdot a = 2.76 \times 1.25$</p>	加气混凝土	175	0.93	1.08	14.58	6.83	1.55	1.14	3.01	Ⅳ

续表

序号	构造	保温材料	δ	R_0	K_0	r_0	ξ_0	r_n	ξ_n	ΣD	I_n 类型
90	 <p> 矿棉轻质复合板182 1. 钢丝网水泥板 2. 矿棉板 3. 石膏板 $\lambda_2 \cdot a = 0.064 \times 1.2, S_2 \cdot a = 0.93 \times 1.2, \lambda_3 \cdot a = 0.33 \times 1$ $S_3 \cdot a = 5.08 \times 1$ </p>	矿棉板		2.22	0.45	23.47	4.91	1.17	0.52	2.61	Ⅲ
91	 <p> 矿棉轻质复合板98 1. 石棉水泥板 2. 矿棉板 3. 石膏板 $\lambda_1 \cdot a = 0.52 \times 1, S_1 = 5.04 \times 1$ </p>	矿棉板		1.25	0.80	10.54	1.74	1.17	0.52	1.49	Ⅳ
92	 <p> 钢筋混凝土剪力墙 1. 轴面砖 2. 水泥砂浆 3. 钢筋混凝土 4. 内粉刷 </p>		400	0.45	2.22	32.90	12.19	2.46	1.86	4.57	Ⅱ
93			350	0.42	2.38	23.19	10.85	2.46	1.86	4.08	Ⅲ
94			300	0.35	2.56	16.35	9.52	2.46	1.86	3.59	Ⅲ
95			250	0.36	2.78	11.53	8.18	2.46	1.86	3.09	Ⅲ
96			200	0.33	3.03	8.13	6.85	2.46	1.86	2.60	Ⅲ

续表

序号	构造	保温材料	δ	R_0	K_0	v_0	ζ_0	v_n	ζ_n	ΣD	类型	
91	$\rho_0 = 300$ $\lambda \cdot a = 0.14 \times 1.0$ $S \cdot a = 1.8 \times 1.0$	膨胀蛭石 ($a=1$)	120	1.35	0.74	40.65	7.39	1.42	0.98	3.24	Ⅲ	
92			90	1.13	0.88	30.94	6.35	1.42	0.98	2.85	Ⅲ	
93			70	0.99	1.01	25.41	5.67	1.43	0.99	2.60	Ⅲ	
94			60	0.92	1.09	22.69	5.34	1.44	1.00	2.47	Ⅲ	
95			50	0.85	1.18	20.17	5.01	1.46	1.02	2.34	Ⅲ	
96			40	0.78	1.28	17.83	4.69	1.48	1.05	2.21	Ⅲ	
97			30	0.70	1.43	15.65	4.38	1.50	1.08	2.08	Ⅲ	
98	$\rho_0 = 300$ $\lambda \cdot a = 0.09 \times 1.0$ $S \cdot a = 1.23 \times 1.0$	沥青矿棉毡 ($a=1$)	120	1.82	0.55	54.97	7.57	1.37	0.89	3.34	Ⅲ	
99			90	1.49	0.67	41.14	6.46	1.37	0.89	2.93	Ⅲ	
100			70	1.27	0.79	33.58	5.73	1.37	0.90	2.65	Ⅲ	
101			60	1.16	0.86	29.46	5.38	1.38	0.91	2.52	Ⅲ	
102			50	1.05	0.95	25.66	5.03	1.40	0.94	2.38	Ⅲ	
103			40	0.93	1.08	22.14	4.69	1.42	0.96	2.24	Ⅲ	
104			30	0.82	1.22	18.84	4.36	1.44	1.00	2.11	Ⅲ	
105	吊顶屋面 (三) 	尿醛泡沫塑料 ($a=1$)	80	2.35	0.43	73.74	6.59	1.54	1.13	2.88	Ⅲ	
106			60	1.92	0.52	58.81	6.24	1.54	1.14	2.75	Ⅲ	
107			40	1.50	0.67	44.39	5.89	1.56	1.15	2.62	Ⅲ	
108			35	1.39	0.72	40.82	5.80	1.56	1.16	2.58	Ⅲ	
109			25	1.18	0.85	33.70	5.64	1.57	1.17	2.52	Ⅲ	
110			膨胀珍珠岩粉	95	2.00	0.60	67.32	8.24	1.55	1.15	3.49	Ⅲ
111				70	1.65	0.61	52.17	7.44	1.56	1.15	3.19	Ⅲ
112	55	1.43		0.70	43.21	6.96	1.56	1.16	3.01	Ⅲ		
113	40	1.22		0.82	35.07	6.48	1.57	1.17	2.83	Ⅲ		
114	30	1.08		0.93	29.99	6.17	1.58	1.18	2.71	Ⅲ		
115	25	1.00	1.00	27.53	6.02	1.59	1.19	2.65	Ⅲ			
116	1. 防水层加小豆石 2. 水泥砂浆找平层 3. 屋面板120空心板 $\phi 60$ 孔 4. 吊顶空间 5. 保温层 6. 隔汽层 7. 木丝板 8. 钢丝网抹灰油毡 $a=1$	沥青玻璃棉毡	95	2.28	0.44	82.73	9.32	1.56	1.15	3.89	Ⅲ	
117			70	1.85	0.54	62.12	8.23	1.56	1.15	3.49	Ⅲ	
118			55	1.59	0.63	50.99	7.58	1.56	1.15	3.24	Ⅲ	
119			40	1.34	0.75	39.91	6.93	1.57	1.16	3.00	Ⅲ	
120			30	1.16	0.86	33.30	6.51	1.57	1.17	2.84	Ⅲ	
121	25	1.08	0.93	30.18	6.29	1.58	1.18	2.76	Ⅲ			
122	膨胀蛭石 $a=1$	115	1.47	0.68	55.08	9.20	1.58	1.18	3.83	Ⅲ		
123		85	1.25	0.80	41.93	8.16	1.58	1.19	3.44	Ⅲ		
124		65	1.11	0.90	34.35	7.47	1.59	1.19	3.19	Ⅲ		
125		50	1.00	1.00	29.21	6.96	1.60	1.20	2.99	Ⅲ		
126		40	0.93	1.08	26.11	6.62	1.60	1.21	2.86	Ⅲ		
127	30	0.86	1.16	23.23	6.28	1.61	1.21	2.74	Ⅲ			
128	沥青矿棉毡	115	1.92	0.52	71.55	9.43	1.57	1.16	3.92	Ⅲ		
129		85	1.59	0.63	53.55	8.32	1.57	1.16	3.51	Ⅲ		
130		65	1.37	0.73	43.25	7.58	1.57	1.17	3.24	Ⅲ		
131		50	1.20	0.83	35.75	7.04	1.58	1.18	3.03	Ⅲ		
132		40	1.09	0.92	31.23	6.68	1.58	1.18	2.90	Ⅲ		
133		30	0.98	1.02	27.02	6.32	1.59	1.19	2.76	Ⅲ		

3.3 围护结构保温设计

严寒地区的建筑应充分满足冬季保温设计的要求；寒冷地区应以满足冬季保温设计要求为主，适当兼顾夏季防热；温暖地区的建筑应兼顾冬季保温和夏季防热；炎热地区应以满足夏季防热设计要求为主，适当兼顾冬季保温。

冬季保温设计的主要目的是保证围护结构内表面温度符合卫生标准，防止内表面结露和满足供暖建筑所限制的能耗指标，节约能源。

保温设计的主要内容：一是验算围护结构的总热阻，使其不小于最小总热阻 R_{0min} 。二是对围护结构热桥部位的内表面温度进行验算，使其不低于室内空气的露点温度。三是确定经济热阻。

3.3.1 各类建筑物冬季室内热工计算参数

按建筑物和房间类型分成六类，根据室内不同温度和相对湿度确定的水蒸汽分压力和露点温度数据见表3.3-1。

各类建筑物冬季热工计算参数

表 3.3-1

建筑物类别	建筑物 房间 类型	室内参数				空气与房间内表面允许温差 [Δt](°C)		备注
		温度 t_n (°C)	相对湿度 ϕ_n (%)	水蒸汽分压力 P_n (Pa)	露点温度 t_p (°C)	外墙	平屋顶和 闷顶楼板	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
一	居住建筑、医院、托儿所、幼儿园和旅馆等	16	60	1090.32	8.25	6.0	4.0	
		18	60	1237.50	10.13			
		20	60	1402.26	12.01			
		22	60	1585.44	13.98			
		24	60	1790.22	15.76			
二	办公楼、学校和门诊部等	16	60	1090.32	8.25	6.0	4.5	
		18	60	1237.50	10.13			
		20	60	1402.26	12.01			
		22	60	1585.44	13.98			
		24	60	1790.22	15.76			
三	公共建筑(上述指明者除外)和工业企业辅助建筑(潮湿房间除外)	16	60	1090.32	8.25	7.0	5.5	
		18	60	1237.50	10.13			
		20	60	1402.26	12.01			
		22	60	1585.44	13.98			
		24	60	1790.22	15.76			

续表

建筑物类别	建筑物 房间 类型	室内参数				空气与房间内表面允许温差 [Δt](℃)		备注
		温度 t_n (℃)	相对湿度 ϕ_n (%)	水蒸汽分压力 P_n (Pa)	露点温度 t_d (℃)	外墙	平屋顶和 闷顶楼板	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
四	$t_n = 12 \sim 24 \text{℃}$ $\phi_n > 65\%$ 的房间: 当不允许外墙和顶棚结露时, 如厨房、电镀、酸洗车间等	16	70	1272.04	10.54	$t_n - t_d = 5.46$	$0.8(t_n - t_d) = 4.37$	
		18	70	1443.75	12.45		5.55	4.44
		20	70	1635.97	14.36		5.64	4.51
		22	70	1849.68	16.28		5.72	4.58
		24	70	2088.59	18.20		5.80	4.64
五	同四, 仅当不允许顶棚内表面结露时, 如浴室、更衣室等	18	75	1546.88	13.50	7.0	$0.9(t_n - t_d) = 4.05$	
		20	75	1752.83	15.43		4.11	
		22	75	1981.80	17.36		4.18	
		24	75	2237.78	19.30		4.23	
		25	75	2375.78	20.26		4.27	
六	锻工、冲压车间、小型锅炉房、空压机房	16	45	817.74	4.0	12.0	12.0	
		18	45	928.13	5.9	12.1	12.1	
		20	45	1051.70	7.7	12.3	12.3	
		22	45	1189.08	9.5	12.5	12.5	
		24	45	1342.67	11.3	12.7	12.7	

3.3.2 围护结构最小传热阻 R_{0min}

设置集中供暖的建筑物, 其围护结构(窗户、外门和天窗除外)的传热阻, 应根据技术经济比较确定, 但不得小于按下式确定的最小传热阻 R_{0min} ($\text{m}^2 \cdot \text{℃} / \text{W}$):

$$R_{0min} = \frac{(t_n - t_w) \cdot n \cdot R_n}{[\Delta t]} \quad (3.3-1)$$

式中 t_n ——冬季室内计算温度, ℃ ;

t_w ——围护结构冬季室外计算温度, ℃ , 按表3.1-3采用;

n ——温差修正系数, 按表3.1-4采用;

R_n ——内表面换热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{℃} / \text{W}$, 按表3.1-5采用;

$[\Delta t]$ ——室内空气与围护结构内表面之间的允许温差, ℃ , 按表3.1-7采用。

根据室内计算温度, 各类不同建筑物和房间类型及外围护结构的允许温差, 计算出 t_w 在 $+3 \text{℃}$ 至 -31℃ 的 R_{0min} 值。按外墙、屋顶和不供暖地下室的楼板两种情况分别列于表3.3-2及表3.3-3。

连续供暖的重型、次重型结构外墙、屋顶在各种室内、外
计算温度下的最小传热阻 $R_{0 \min}$

表 3.3-2

室外计算温度 t_w (°C)	室内计算温度 t_n (°C)	建筑物和房间类型									
				二		三		四		五	
		最小总热阻 $R_{0 \min}$ ($m^2 \cdot C/W$)									
		外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶
3	18	0.288	0.413	0.288	0.367	0.246	0.300	0.311	0.372	/	
	20	0.326	0.468	0.326	0.416	0.279	0.340	0.347	0.415	0.299	0.455
	22	0.364	0.523	0.364	0.464	0.312	0.380	0.382	0.456	0.312	0.500
	24	0.403	0.578	0.403	0.513	0.345	0.420	0.416	0.498	0.345	0.546
	25	0.422	0.605	0.422	0.538	0.361	0.440	/	0.517	0.361	0.567
1	18	0.326	0.468	0.326	0.416	0.279	0.340	0.352	0.421		
	20	0.364	0.523	0.364	0.464	0.312	0.380	0.387	0.463	0.312	0.509
	22	0.403	0.578	0.403	0.513	0.345	0.420	0.422	0.504	0.345	0.553
	24	0.441	0.633	0.441	0.562	0.378	0.460	0.456	0.545	0.378	0.598
	25	0.460	0.660	0.466	0.587	0.391	0.480	/	0.564	0.391	0.618
-1	18	0.364	0.523	0.364	0.464	0.312	0.380	0.391	0.471	/	
	20	0.403	0.578	0.403	0.513	0.345	0.420	0.428	0.512	0.345	0.562
	22	0.441	0.633	0.441	0.562	0.378	0.460	0.462	0.552	0.378	0.605
	24	0.479	0.688	0.479	0.611	0.411	0.500	0.496	0.593	0.411	0.650
	25	0.498	0.715	0.498	0.636	0.427	0.520	/	0.611	0.427	0.670
3	18	0.403	0.578	0.403	0.513	0.345	0.420	0.435	0.520	/	
	20	0.441	0.633	0.441	0.562	0.378	0.460	0.469	0.561	0.378	0.616
	22	0.479	0.688	0.479	0.611	0.411	0.500	0.503	0.600	0.411	0.658
	24	0.518	0.743	0.518	0.660	0.444	0.540	0.535	0.640	0.444	0.702
	25	0.537	0.770	0.537	0.684	0.460	0.560	/	0.658	0.460	0.721
-5	18	0.441	0.633	0.441	0.562	0.378	0.460	0.477	0.570		
	20	0.479	0.688	0.479	0.611	0.411	0.500	0.510	0.610	0.411	0.669
	22	0.518	0.743	0.518	0.660	0.444	0.540	0.543	0.648	0.444	0.711
	24	0.556	0.798	0.556	0.709	0.476	0.580	0.575	0.688	0.476	0.754
	25	0.575	0.825	0.575	0.733	0.493	0.600	/	0.705	0.493	0.773
-7	18	0.479	0.688	0.479	0.611	0.411	0.500	0.539	0.619		
	20	0.518	0.743	0.518	0.660	0.444	0.540	0.551	0.659	0.444	0.723
	22	0.556	0.798	0.556	0.709	0.476	0.580	0.583	0.697	0.476	0.763
	24	0.594	0.853	0.594	0.758	0.509	0.620	0.615	0.735	0.509	0.806
	25	0.613	0.880	0.613	0.782	0.526	0.640	/	0.752	0.526	0.821
-9	18	0.518	0.743	0.518	0.661	0.444	0.540	0.559	0.669		
	20	0.556	0.798	0.556	0.709	0.476	0.580	0.591	0.707	0.476	0.776
	22	0.594	0.853	0.594	0.758	0.509	0.620	0.623	0.745	0.509	0.816
	24	0.633	0.908	0.633	0.807	0.542	0.660	0.654	0.782	0.542	0.858
	25	0.652	0.935	0.652	0.831	0.559	0.680	/	0.799	0.559	0.876
-11	18	0.556	0.798	0.556	0.709	0.476	0.580	0.601	0.718		
	20	0.594	0.853	0.594	0.758	0.509	0.620	0.632	0.756	0.509	0.830
	22	0.632	0.908	0.633	0.807	0.542	0.660	0.663	0.793	0.542	0.868
	24	0.671	0.963	0.671	0.856	0.575	0.700	0.694	0.830	0.575	0.910
	25	0.690	0.990	0.690	0.880	0.591	0.720	/	0.846	0.591	0.927

续表

室外计算温度 $t_w(°C)$	室内计算温度 $t_n(°C)$	建筑物和房间类型									
		一		二		三		四		五	
		最小总热阻 R_{0min} ($m^2 \cdot °C/W$)									
		外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶
-13	18	0.594	0.853	0.594	0.758	0.509	0.620	0.642	0.768	/	/
	20	0.633	0.908	0.633	0.807	0.542	0.660	0.673	0.805	0.542	0.883
	22	0.671	0.963	0.671	0.856	0.575	0.700	0.704	0.841	0.575	0.921
	24	0.709	1.018	0.709	0.904	0.608	0.740	0.734	0.877	0.608	0.962
	25	0.728	1.045	0.728	0.929	0.624	0.760	/	0.893	0.624	0.979
-15	18	0.633	0.908	0.633	0.807	0.542	0.660	0.684	0.818	/	/
	20	0.671	0.963	0.671	0.856	0.575	0.700	0.714	0.854	0.575	0.937
	22	0.709	1.018	0.709	0.904	0.608	0.740	0.744	0.889	0.608	0.974
	24	0.748	1.073	0.748	0.953	0.641	0.780	0.773	0.925	0.641	1.014
	25	0.767	1.100	0.767	0.978	0.657	0.800	/	0.940	0.657	1.030
-17	18	0.671	0.963	0.671	0.856	0.575	0.700	0.728	0.867	/	/
	20	0.709	1.018	0.709	0.904	0.608	0.740	0.754	0.902	0.608	0.990
	22	0.748	1.073	0.748	0.953	0.641	0.780	0.784	0.937	0.641	1.026
	24	0.786	1.128	0.786	1.002	0.674	0.820	0.813	0.972	0.674	1.066
	25	0.805	1.155	0.805	1.027	0.690	0.840	/	0.987	0.690	1.082
-19	18	0.709	1.018	0.709	0.904	0.608	0.740	0.767	0.917	/	/
	20	0.748	1.073	0.748	0.953	0.641	0.780	0.752	0.951	0.641	1.044
	22	0.786	1.128	0.786	1.002	0.674	0.820	0.824	0.985	0.674	1.079
	24	0.824	1.183	0.824	1.051	0.706	0.860	0.853	1.019	0.706	1.118
	25	0.843	1.210	0.843	1.076	0.723	0.880	/	1.034	0.723	1.133
-21	18	0.748	1.073	0.748	0.953	0.641	0.780	0.808	0.966	/	/
	20	0.786	1.128	0.786	1.002	0.674	0.820	0.836	1.000	0.674	1.097
	22	0.824	1.183	0.824	1.051	0.706	0.860	0.865	1.033	0.706	1.132
	24	0.863	1.238	0.863	1.100	0.739	0.900	0.892	1.067	0.739	1.170
	25	0.882	1.265	0.882	1.124	0.756	0.920	/	1.081	0.756	1.185
-23	18	0.786	1.128	0.786	1.002	0.674	0.820	0.850	1.016	/	/
	20	0.824	1.183	0.824	1.051	0.706	0.860	0.877	1.049	0.706	1.151
	22	0.863	1.238	0.863	1.100	0.739	0.900	0.905	1.081	0.739	1.184
	24	0.901	1.293	0.901	1.149	0.772	0.940	0.932	1.114	0.772	1.222
	25	0.920	1.320	0.920	1.173	0.789	0.960	/	1.128	0.789	1.237
-25	18	0.824	1.183	0.824	1.051	0.706	0.860	0.891	1.065	/	/
	20	0.863	1.238	0.863	1.100	0.739	0.900	0.918	1.098	0.739	1.203
	22	0.901	1.293	0.901	1.149	0.772	0.940	0.945	1.129	0.772	1.237
	24	0.939	1.348	0.939	1.198	0.805	0.980	0.972	1.162	0.805	1.274
	25	0.958	1.375	0.958	1.222	0.821	1.000	/	1.175	0.821	1.288
-27	18	0.863	1.238	0.863	1.100	0.739	0.900	0.932	1.115	/	/
	20	0.901	1.293	0.901	1.149	0.772	0.940	0.958	1.146	0.772	1.258
	22	0.939	1.348	0.939	1.198	0.805	0.980	0.985	1.177	0.805	1.289
	24	0.978	1.403	0.978	1.247	0.838	1.020	1.011	1.209	0.838	1.326
	25	0.997	1.430	0.997	1.271	0.854	1.040	/	1.222	0.854	1.340

续表

室外计算温度 $t_w(^\circ\text{C})$	室内计算温度 $t_n(^\circ\text{C})$	建筑物和房间类型									
		一		二		三		四		五	
		最小总热阻 $R_{0\min}$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)									
		外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶	外墙	屋顶
-29	18	0.901	1.293	0.901	1.149	0.772	0.940	0.974	1.164	/	
	20	0.939	1.348	0.939	1.198	0.805	0.980	0.999	1.195	0.805	1.311
	22	0.978	1.403	0.978	1.247	0.838	1.020	1.025	1.225	0.838	1.342
	24	1.016	1.458	1.016	1.296	0.871	1.060	1.051	1.236	0.871	1.378
	25	1.035	1.485	1.035	1.320	0.887	1.080	/	1.269	0.887	1.391
31	18	0.939	1.348	0.939	1.198	0.805	0.980	1.015	1.214	/	
	20	0.978	1.403	0.978	1.247	0.838	1.020	1.040	1.244	0.838	1.365
	22	1.016	1.458	1.016	1.296	0.871	1.060	1.066	1.273	0.871	1.395
	24	1.054	1.513	1.054	1.344	0.904	1.100	1.091	1.304	0.904	1.430
	25	1.073	1.540	1.073	1.369	0.920	1.120	/	1.316	0.920	1.443

【例 3.2-1】 北京市一住宅建筑, 冬季连续供暖, $t_n = 20^\circ\text{C}$, 拟用370普通砖外墙, 两面抹灰, 问是否能满足最小传热阻 $R_{0\min}$ 要求?

【解】

1. 由表3.2-1查得 $D = 5.31$ 属 II 型, $R_0 = 0.653$;
2. 由表3.1-3查得北京市冬季室外计算温度 II 型 $t_w = -12^\circ\text{C}$;
3. 由表3.3-2按“-”类建筑 $t_w = -12^\circ\text{C}$, $t_n = 20^\circ\text{C}$ 查得 $R_{0\min} = 0.613$ 。因 $R_0 = 0.653 > R_{0\min} = 0.613$, 故能满足要求。

【例 3.2-2】 北京市一高级住宅, 连续供暖室内温度 20°C , 问普通砖、空心砖和加气混凝土砌块三种外墙, 其厚度为多少才能满足最小总热阻要求?

【解】

1. 高级住宅属“-”类建筑物, 见表3.3-1。
2. 北京市冬季室外计算温度 t_w , 见表3.1-3。
3. 北京市“-”类建筑物满足 t_w 的 $R_{0\min}$, 见表3.3-2数据列如下表:

t_w 类型:	I	II	III	IV
t_w 值 ($^\circ\text{C}$):	-9	-12	-14	-16
$R_{0\min}$	0.556	0.613	0.652	0.690

4. 由表3.2-1、3.2-2、3.2-3查得以下厚度能满足要求, 普通砖外墙: 370厚, $D = 5.31$, 属 II 型, $R = 0.653 > R_{0\min} = 0.613$ 。空心砖外墙: 370厚, $D = 5.29$, 属 II 型, $R = 0.834 > R_{0\min} = 0.613$ 。加气混凝土砌块外墙: 200厚, $D = 3.74^{*1}$, 属 III 型, $R = 0.773^{*2} > R_{0\min} = 0.652 \times 1.15^{*3} = 0.750$ 。

*1: $D = 3.24 + 0.496$ (两面抹灰); *2: 加气混凝土修正系数 $\alpha = 1.25$ $R = \frac{0.909}{1.25} + 0.046$ (两面抹灰) = 0.773; *3: ρ

=700 $R_{0\min}$ 附15%~30%。

直接与室外空气接触的楼板和供暖地下室上面的楼板在各种室内、
外计算温度下的最小传热阻 $R_{0 \min}$ 值

表 3.3-3

室外计算温度 t_w (°C)	室内计算温度 t_n (°C)	建筑物为一至五类				室外计算温度 t_w (°C)	室内计算温度 t_n (°C)	建筑物为一至五类			
		直接与室外空气接触的楼板 $n=1$		不供暖地下室上面的楼板 $n=0.9$				直接与室外空气接触的楼板 $n=1$		不供暖地下室上面的楼板 $n=0.9$	
		有人长期停留 [Δt]=2.5	无人长期停留 [Δt]=5.0	有人长期停留 [Δt]=2.5	无人长期停留 [Δt]=5.0			有人长期停留 [Δt]=2.5	无人长期停留 [Δt]=5.0	有人长期停留 [Δt]=2.5	无人长期停留 [Δt]=5.0
3	18	0.660	0.330	0.594	0.297	-15	18	1.452	0.726	1.307	0.654
	20	0.748	0.374	0.673	0.337		20	1.540	0.770	1.386	0.693
	22	0.836	0.418	0.752	0.376		22	1.628	0.814	1.465	0.733
	24	0.924	0.462	0.832	0.416		24	1.716	0.858	1.544	0.772
	25	0.968	0.484	0.871	0.436		25	1.760	0.880	1.584	0.792
1	18	0.748	0.374	0.673	0.337	-17	18	1.540	0.770	1.386	0.693
	20	0.836	0.418	0.752	0.376		20	1.628	0.814	1.465	0.733
	22	0.924	0.462	0.832	0.416		22	1.716	0.858	1.544	0.772
	24	1.012	0.506	0.911	0.456		24	1.804	0.902	1.624	0.812
	25	1.056	0.528	0.950	0.475		25	1.848	0.924	1.663	0.832
-1	18	0.836	0.418	0.752	0.376	-19	18	1.628	0.814	1.465	0.733
	20	0.924	0.462	0.832	0.416		20	1.716	0.858	1.544	0.772
	22	1.012	0.506	0.911	0.456		22	1.804	0.902	1.624	0.812
	24	1.100	0.550	0.990	0.495		24	1.892	0.946	1.703	0.852
	25	1.144	0.572	1.030	0.515		25	1.936	0.968	1.742	0.871
-3	18	0.924	0.462	0.832	0.416	-21	18	1.716	0.858	1.544	0.772
	20	1.012	0.506	0.911	0.456		20	1.804	0.902	1.624	0.812
	22	1.100	0.550	0.990	0.495		22	1.892	0.946	1.703	0.852
	24	1.188	0.594	1.069	0.535		24	1.980	0.990	1.782	0.891
	25	1.232	0.616	1.109	0.555		25	2.024	1.012	1.822	0.911
-5	18	1.012	0.506	0.911	0.456	-23	18	1.804	0.902	1.624	0.812
	20	1.100	0.550	0.990	0.495		20	1.892	0.946	1.703	0.852
	22	1.188	0.594	1.069	0.535		22	1.980	0.990	1.782	0.891
	24	1.276	0.638	1.148	0.574		24	2.068	1.034	1.861	0.931
	25	1.320	0.660	1.188	0.594		25	2.112	1.056	1.901	0.951
-7	18	1.100	0.550	0.990	0.495	-25	18	1.892	0.946	1.703	0.852
	20	1.188	0.594	1.069	0.535		20	1.980	0.990	1.782	0.891
	22	1.276	0.638	1.148	0.574		22	2.068	1.034	1.861	0.931
	24	1.364	0.682	1.228	0.614		24	2.156	1.078	1.940	0.970
	25	1.408	0.704	1.267	0.634		25	2.200	1.100	1.980	0.990
-9	18	1.188	0.594	1.069	0.535	-27	18	1.980	0.990	1.782	0.891
	20	1.276	0.638	1.148	0.574		20	2.068	1.034	1.861	0.931
	22	1.364	0.682	1.228	0.614		22	2.156	1.078	1.940	0.970
	24	1.452	0.726	1.307	0.654		24	2.244	1.122	2.020	1.010
	25	1.496	0.748	1.346	0.673		25	2.288	1.144	2.059	1.030
-11	18	1.276	0.638	1.148	0.574	-29	18	2.068	1.034	1.861	0.931
	20	1.364	0.682	1.228	0.614		20	2.156	1.078	1.940	0.970
	22	1.452	0.726	1.307	0.654		22	2.244	1.122	2.020	1.010
	24	1.540	0.770	1.386	0.693		24	2.332	1.166	2.099	1.050
	25	1.584	0.792	1.426	0.713		25	2.376	1.188	2.138	1.069
-13	18	1.364	0.682	1.228	0.614	-31	18	2.156	1.078	1.940	0.970
	20	1.452	0.726	1.307	0.654		20	2.244	1.122	2.020	1.010
	22	1.540	0.770	1.386	0.693		22	2.332	1.166	2.099	1.050
	24	1.628	0.814	1.465	0.733		24	2.420	1.210	2.178	1.089
	25	1.672	0.836	1.505	0.753		25	2.464	1.232	2.218	1.109

3.3.3 热桥部位内表面温度验算

围护结构热桥部位：包括嵌入墙体的混凝土梁、柱，墙体和屋面板的混凝土肋，装配式建筑中板材的接缝以及外墙角、屋顶檐口、墙体勒脚等部位的内表面温度都应通过验算，并保证使其高于室内空气的露点温度。各类房间在不同温、湿度下的露点温度已列于表3.3-1。

1. 热桥部位内表面温度的验算

对于表3.1-12中所列热桥形式的内表面温度按下列公式计算。

当 $a/\delta < 1.5$ 时

$$\text{内表面温度 } \theta'_n = t_n - \frac{R'_0 + \eta(R_0 - R'_0)}{R'_0 \cdot R_0} R_n (t_n - t_w) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.3-2)$$

当 $a/\delta > 1.5$ 时

$$\text{内表面温度 } \theta'_n = t_n - \frac{t_n - t_w}{R'_0} R_n \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.3-3)$$

式中 t_n ——室内计算温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_w ——室外计算温度， $^\circ\text{C}$ ，按表3.1-3采用；

R_0 ——非热桥部位的总热阻， $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

R'_0 ——热桥部位的总热阻， $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

R_n ——内表面换热阻，通常取 $0.11\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

η ——修正系数，根据 a/δ 比值按表3.1-12采用。

2. 对于单一材料外墙角处

外墙角内表面温度 θ'_n ($^\circ\text{C}$)

$$\theta'_n = t_n - \frac{t_n - t_w}{R_0} R_n \cdot \xi \quad (3.3-4)$$

外墙角最小附加热阻 $R_{a.d.\min}$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)

$$R_{a.d.\min} = (t_n - t_w) \left(\frac{1}{t_n - t_d} - \frac{1}{t_n - \theta'_n} \right) \cdot R_n \quad (3.3-5)$$

式中 ξ ——比例系数，根据外墙热阻 R 按下面规定采用：

$$R = 0.10 \sim 0.40, \quad \xi = 1.42$$

$$R = 0.41 \sim 0.49, \quad \xi = 1.70$$

$$R = 0.50 \sim 1.50, \quad \xi = 1.73$$

$R_{a.d.\min}$ ——内侧最小附加热阻， $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

t_d ——室内空气露点温度， $^\circ\text{C}$

3. 几种常见热桥部位的判断

判断方法是按热桥部位的内表面温度达到露点温度 t_d 时，各类房屋（一~五类）已开始不能适应的室外最低计算温度 $t_{w.\min}$ ($^\circ\text{C}$)。

对于表3.1-12图示中的热桥形式：

当 $a/\delta < 1.5$ 时

$$t_{w.\min} = t_n - \frac{R'_0 \cdot R_0 (t_n - t_d)}{[R'_0 + \eta(R_0 - R'_0)] \cdot R_n} \quad (3.3-6)$$

当 $a/\delta > 1.5$ 时

$$t_{w \cdot \min} = t_n - \frac{t_n - t_d}{R_n} R'_0 \quad (3.3-7)$$

对于单一材料外墙角处:

$$t_{w \cdot \min} = t_n - \frac{t_n - t_d}{R_n \cdot \xi} R_0 \quad (3.3-8)$$

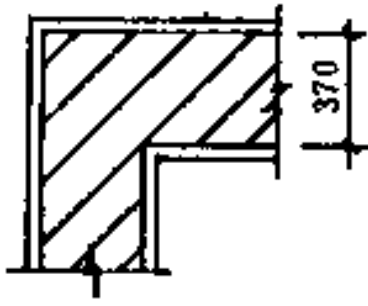
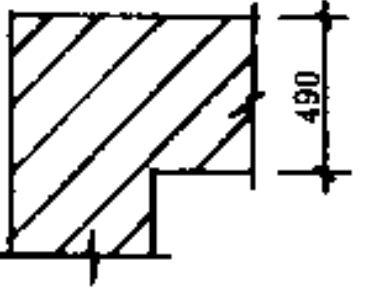
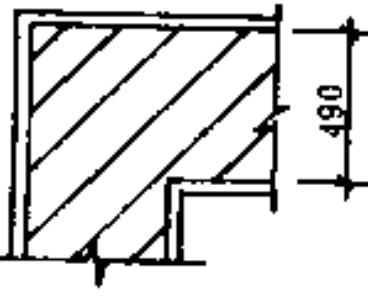
常见热桥形式的计算结果列于表3.3-4。

各型热桥出现结露时的室外计算温度 $t_{w \cdot \min}$

表 3.3-4

热桥编号	热桥部位简图	室内温度 t_n (°C)	房屋类别								
			一、二、三类			四类			五类		
			$t_{w \cdot \min}$			$t_{w \cdot \min}$			$t_{w \cdot \min}$		
			普通砖与柱	空心砖与柱	加气混凝土砖与柱	普通砖与柱	空心砖与柱	加气混凝土砖与柱	普通砖与柱	空心砖与柱	加气混凝土砖与柱
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		18	-3.29	-3.66	-4.31	2.99	2.72	2.27	5.83	5.61	5.24
		20	-1.61	-1.99	-2.65	4.74	4.48	4.01	7.64	7.42	7.04
		22	0.31	-0.07	-0.74	6.53	6.26	5.78	9.45	9.23	8.85
		24	1.71	1.32	0.64	8.31	8.04	7.56	11.29	11.06	10.68
2		18	-9.02	-9.45	2.55	-1.05	-1.36	-1.90	2.55	4.30	1.86
		20	-7.43	-7.87	4.31	0.64	0.33	-0.23	4.31	4.06	3.61
		22	-5.53	-5.97	6.07	2.36	2.05	1.49	6.07	5.82	5.36
		24	-4.29	-4.74	7.85	4.09	3.77	3.20	7.86	7.61	7.15
3		18	-31.55	—	—	-16.94	—	—	-10.33	—	—
		20	-30.30	—	—	-15.51	—	—	-8.77	—	—
		22	-28.49	—	—	-14.01	—	—	-7.21	—	—
		24	-27.88	—	—	-12.52	—	—	-5.59	—	—
4		18	-0.77	—	—	4.76	—	—	/	—	—
		20	0.94	—	—	6.55	—	—	9.10	—	—
		22	2.87	—	—	8.36	—	—	10.93	—	—
		24	4.35	—	—	10.17	—	—	12.79	—	—
		25	5.23	—	—	11.29	—	—	13.70	—	—
5		18	-2.71	—	—	3.40	—	—	/	—	—
		20	-1.02	—	—	5.16	—	—	7.98	—	—
		22	0.90	—	—	6.95	—	—	9.79	—	—
		24	2.32	—	—	8.74	—	—	12.37	—	—
		25	3.19	—	—	9.87	—	—	12.53	—	—
6		18	-7.11	—	—	0.30	—	—	3.64	—	—
		20	-5.49	—	—	2.01	—	—	5.42	—	—
		22	-3.58	—	—	3.75	—	—	7.20	—	—
		24	-2.29	—	—	5.50	—	—	9.01	—	—

续表

热桥编号	热桥部位简图	室内温度 t_n (°C)	房屋类别									
			一、二、三类			四类			五类			
			$t_{w \cdot \min}$			$t_{w \cdot \min}$			$t_{w \cdot \min}$			
			普通砖与柱	空心砖与柱	加气混凝土砖与柱	普通砖与柱	空心砖与柱	加气混凝土砖与柱	普通砖与柱	空心砖与柱	加气混凝土砖与柱	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
7		18	-9.01	-	-	-1.04	-	-	-	-	-	-
		20	-7.42	-	-	0.65	-	-	-	4.32	-	-
		22	-5.52	-	-	2.37	-	-	-	6.08	-	-
		24	-4.27	-	-	4.10	-	-	-	7.87	-	-
		25	-3.45	-	-	5.27	-	-	-	8.74	-	-
8		18	-13.22	-	-	-4.02	-	-	-	-	-	-
		20	-11.70	-	-	-2.37	-	-	-	1.87	-	-
		22	-9.82	-	-	-0.69	-	-	-	3.59	-	-
		24	-8.69	-	-	0.99	-	-	-	5.36	-	-
		25	-7.89	-	-	2.19	-	-	-	6.20	-	-
9		18	-15.13	-	-	-5.36	-	-	-	-	-	-
		20	-13.63	-	-	-3.74	-	-	-	0.76	-	-
		22	-11.76	-	-	-2.08	-	-	-	2.47	-	-
		24	-10.68	-	-	-0.41	-	-	-	4.22	-	-
		25	-9.89	-	-	0.80	-	-	-	5.05	-	-

【例 3.3-3】西安市一高级旅馆，为普通砖370外墙，双面抹灰，冬季室内供暖计算温度 $t_n = 20^\circ\text{C}$ 。验算外墙拐角处是否会结露？

【解】

1. 由表3.3-1查得其属“一”类建筑，当 $t_n = 20^\circ\text{C}$ 时，露点温度 $t_d = 12.01^\circ\text{C}$ ；
2. 由表3.3-4热桥形式序号7，“一”类建筑外墙角内表面到达露点温度 $t_d = 12.01^\circ\text{C}$ 时的室外计算温度 $t_{w \cdot \min} = -7.42^\circ\text{C}$ ；
3. 由表3.2-1查得370砖外墙 $D = 5.31$ 属Ⅱ类；
4. 由表3.1-3查得西安市冬季室外计算温度Ⅱ类 $t_w = -8^\circ\text{C} < t_{w \cdot \min} = -7.42^\circ\text{C}$ ，故不能满足要求。

3.4 围护结构的隔热设计

隔热设计的任务，是对夏季外围护结构中屋顶和外墙的内表面温度进行验算，并采取 措施使其不超过规定的标准。

3.4.1 验算方法

1. 在房间自然通风条件下, 屋顶和西(东)向外墙的内表面最高温度 $\theta_{n, \max}$ 应满足下式要求。

$$\theta_{n, \max} < t_{w, \max} \quad (3.4-1)$$

式中 $\theta_{n, \max}$ ——内表面最高温度, $^{\circ}\text{C}$, 其值按下面注中方法计算;

$t_{w, \max}$ ——夏季室外计算最高温度, $^{\circ}\text{C}$, 按表3.1-16取值。

2. 对于夏季特别炎热的地区(如南京、合肥、芜湖、九江、南昌、武汉、宜昌、长沙、赣州、衡阳、株洲、重庆等)应满足下式要求。

$$\theta_{n, \max} < t_{w, \max} \quad (3.4-2)$$

3. 当外墙和屋顶采用轻混凝土等轻型结构时, 内表面最高温度 $\theta_{n, \max}$ 应满足下式:

$$\theta_{n, \max} < t_{w, \max} + 0.5^{\circ}\text{C} \quad (3.4-3)$$

4. 当外墙和屋顶内侧复合轻质材料(如砖墙或混凝土墙内侧复合轻混凝土、岩棉、泡沫塑料、石膏板等)时, 内表面最高温度 $\theta_{n, \max}$ 应满足下式。

$$\theta_{n, \max} < t_{w, \max} + 1^{\circ}\text{C} \quad (3.4-4)$$

对于夏季既属炎热地区, 冬季又属寒冷地区的区域, 既应考虑防寒又应考虑隔热, 其外墙和屋顶的设计, 则应同时满足冬季保温和夏季隔热的要求。

注: 内表面最高温度 $\theta_{n, \max}$ 的计算

1. 非通风围护结构内表面最高温度, 可近似地按下式计算:

$$\theta_{n, \max} = \bar{\theta}_n + \left(\frac{A_{t, s}}{\gamma_0} + \frac{A_{t, r}}{\gamma_0} \right) \beta \quad (3.4-5)$$

式中 $\bar{\theta}_n$ ——内表面平均温度;

$$\bar{\theta}_n = \bar{t}_n + \frac{\bar{t}_{s, s} - \bar{t}_n}{R_0 \cdot a_n} \quad (3.4-6)$$

$A_{t, s}$ ——室外综合温度波幅, $^{\circ}\text{C}$;

$$A_{t, s} = (A_{t, w} + A_{t, r}) \beta \quad (3.4-7)$$

$A_{t, w}$ ——室外计算温度波幅, $^{\circ}\text{C}$, 按表3.1-16取值;

$A_{t, r}$ ——太阳辐射当量温度波幅, $^{\circ}\text{C}$;

$$A_{t, r} = \frac{\rho(I_{\max} - \bar{I})}{a_w} \quad (3.4-8)$$

I_{\max} ——水平或垂直面上太阳辐射照度最大值, W/m^2 , 按表3.1-17;

\bar{I} ——水平或垂直面上太阳辐射照度平均值, W/m^2 , 见表3.1-17;

ρ ——太阳辐射吸收系数, 见表3.1-18;

β ——相位差修正系数, 见表3.1-20;

a_w ——外表面换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

\bar{t}_n ——室内计算温度平均值, $^{\circ}\text{C}$, 取 $\bar{t}_n = \bar{t}_w + 1.5^{\circ}\text{C}$;

\bar{t}_w ——室外计算温度平均值, $^{\circ}\text{C}$, 见表3.1-16;

$A_{t, n}$ ——室内计算温度波幅, $^{\circ}\text{C}$, 取 $A_{t, n} = A_{t, w} - 1.5^{\circ}\text{C}$;

$\bar{t}_{s, s}$ ——室外综合温度平均值, $^{\circ}\text{C}$;

$$\bar{t}_{s, s} = \bar{t}_w + \frac{\rho \bar{I}}{a_w} \quad (3.4-9)$$

- ν_0 ——围护结构总衰减倍数, 见(3.2-8)式;
 ξ_0 ——围护结构总延迟时间, h, 见(3.2-9)式;
 ν_n ——室内空气至内表面的衰减倍数, 见(3.2-10)式;
 ξ_n ——室内空气至内表面的延迟时间, h, 见(3.2-11)式;
 $\varphi_{t_{s,k}}$ ——室外综合温度最大值出现时间, 见表3.1-20注;
 φ_{t_n} ——室内空气温度最大值出现时间, 通常取16:00;
 φ_{t_w} ——室外空气温度最大值出现时间, 通常取15:00;
 φ ——太阳辐射照度最大值出现时间, 通常取: 水平及南向12:00, 东向8:00, 西向16:00。

2. 通风屋顶内表面最高温度

对于薄型面层(如混凝土薄板、大阶砖等), 厚型基层(如混凝土实心板、空心板等), 间层高度为20cm左右的通风屋顶, 其内表面最高温度可近似按以下方法计算。

(1) 面层下表面温度的最大值 $\theta_{n,max}$ 、平均值 $\bar{\theta}_n$ 及波幅 A_{θ_n} 分别按下列公式计算:

$$\theta_{n,max} = 0.8t_{sa,max} \quad (3.4-10)$$

$$\bar{\theta}_n = 0.54t_{s,k,max} \quad (3.4-11)$$

$$A_{\theta_n} = 0.26t_{sa,max} \quad (3.4-12)$$

(2) 间层综合温度(作为基层上表面的热作用)的平均值 $t_{j,z}$ 及波幅 $A_{t_{j,z}}$ 分别按下列公式计算:

$$t_{j,z} = 0.5(\bar{t}_{j,k} + \bar{\theta}_n) \quad (3.4-13)$$

$$A_{t_{j,z}} = 0.5(A_{t_{j,k}} + A_{\theta_n}) \quad (3.4-14)$$

式中 $\bar{t}_{j,k}$ ——间层空气温度平均值, °C, 取 $\bar{t}_{j,k} = 1.06\bar{t}_w$, \bar{t}_w 为室外计算温度平均值;

$A_{t_{j,k}}$ ——间层空气温度波幅, °C, 取 $A_{t_{j,k}} = 1.3A_{t_w}$, A_{t_w} 为室外计算温度波幅;

$\bar{\theta}_n$ ——为面层下表面温度平均值, °C;

A_{θ_n} ——为面层下表面温度波幅, °C。

(3) 求得间层综合温度后, 可按(1)中同样的方法计算出基层内表面(即下表面)最高温度, 中间层综合温度最大出现时间取 $\varphi_{t_{j,z}} = 13:30$ 。

3.4.2 夏季隔热计算参数

对全国十一个地区建筑物的外墙和屋顶的隔热计算用参数进行了计算, 其结果列于以下各表中。

1. 外墙

水刷石墙面西(东)向外墙夏季隔热计算参数, 见表3.4-1。

2. 屋顶

(1) 油毡屋面的屋顶夏季隔热计算参数, 见表3.4-2。

(2) 油毡屋面防水层上抹白色水泥砂浆屋顶, 夏季隔热计算参数, 见表3.4-3。

(3) 通风间层面板为钢筋混凝土薄板, 间层净高200mm的通风屋顶, 夏季隔热计算参数, 见表3.4-4。

3.4.3 常用外围护结构隔热验算结果

1. 外墙

(1) 对普通无抹灰240砖墙, 空心砖240内表面抹灰砖墙和普通240双面抹灰砖墙作为西(东)向外墙的隔热效果。对八个地区的计算结果列于表3.4-5。

(2) 加气混凝土砌块外墙夏季隔热效果

表 3.4-1

水刷石墙面的西向墙夏季隔热计算参数

地 区	室外气温及波幅			东西向太阳辐射强度		\bar{t}_w $\rho=0.7$	A_{t_1} $\rho=0.7$	A_{t_2}	A_{t_1}	β	$A_{t_w} + A_{t_1}$ $= A_{t_{10}}$	$(A_{t_w} + A_{t_1}) \times \beta$	\bar{t}_n
	\bar{t}_w	$t_{w,max}$	A_{t_w}	I_{max}	\bar{I}								
贵阳	26.9	32.7	5.8	608	156.3	31.6	13.59	4.3	2.34	0.99	19.39	19.2	28.4
北京	30.2	36.3	6.1	697	169.9	35.31	15.86	4.6	2.6	0.99	21.96	21.74	31.7
福州	30.9	37.2	6.3	624	150.2	35.42	14.21	4.8	2.26	0.99	20.51	20.3	32.4
广州	31.1	35.6	4.5	591	145.1	35.47	13.38	3	2.97	0.99	17.88	17.7	32.6
上海	31.2	36.1	4.9	640	151.6	35.76	14.65	3.4	2.99	0.99	19.55	19.35	32.7
南京	32.0	37.1	5.1	680	155.1	36.67	14.85	3.5	2.91	0.99	19.95	19.75	33.5
西安	32.3	38.4	6.1	607	151.9	36.87	13.66	4.6	2.24	0.99	19.76	19.56	33.8
武汉	32.4	36.9	4.5	633	149.4	36.9	14.55	3	3.23	0.99	19.05	18.86	33.9
郑州	32.5	38.8	6.3	609	148.8	36.96	13.82	4.8	2.18	0.99	20.12	19.92	34.0
长沙	32.7	37.9	5.2	651	153.6	37.32	14.92	3.7	2.87	0.99	20.12	19.92	34.2
重庆	33.2	38.9	5.7	640	151.9	37.77	14.64	4.2	2.57	0.99	20.34	20.14	34.7

表 3.4-2

油毡屋面的屋顶夏季隔热计算参数

地 区	室外气温及波幅			水平面太阳辐射强度		\bar{t}_w $\rho=0.85$	A_{t_1} $\rho=0.85$	A_{t_2}	A_{t_1}	β	$A_{t_w} + A_{t_1}$ $= A_{t_{10}}$	$(A_{t_w} + A_{t_1}) \times \beta$	\bar{t}_n
	\bar{t}_w	$t_{w,max}$	A_{t_w}	I_{max}	\bar{I}								
贵阳	26.9	32.7	5.8	1021	326.3	38.82	25.39	4.3	4.38	0.94	31.19	29.32	28.4
北京	30.2	36.3	6.1	1003	341.6	42.68	24.14	4.6	3.96	0.94	30.24	28.43	31.7
福州	30.9	37.2	6.3	983	315.2	42.42	24.37	4.8	3.87	0.94	30.67	28.83	32.4
广州	31.1	35.6	4.5	962	304.9	42.24	23.98	3	5.33	0.95	28.48	27.06	32.6
上海	31.2	36.1	4.9	967	315.4	42.73	23.78	3.4	4.85	0.95	28.68	27.25	32.7
南京	32	37.1	5.1	999	324.2	43.85	24.63	3.6	4.93	0.95	29.73	28.24	33.5
西安	32.3	38.4	6.1	945	312	43.7	23.1	4.6	3.79	0.95	29.2	27.74	33.8
武汉	32.4	36.9	4.5	961	312	43.8	23.69	3	5.26	0.95	28.19	26.78	33.9
郑州	32.5	38.8	6.3	935	307	43.72	22.92	4.8	3.64	0.94	29.22	27.47	34
长沙	32.7	37.9	5.2	1000	321.9	44.46	24.75	3.7	4.76	0.95	28.95	28.45	34.2
重庆	33.2	38.9	5.7	980	316.9	44.75	24.2	4.2	4.25	0.95	28.9	28.41	34.7

表 3.4-3 在油毡防水层上抹白色水泥砂浆的屋顶夏季隔热计算参数

地区	室外气温及波幅			水平面太阳辐射强度		\bar{t}_{sa} $\rho=0.5$	A_{t_s} $\rho=0.5$	A_{t_n}	$A_{t_w} + (A_{t_w} + A_{t_s}) \times \beta$		\bar{t}_n	
	\bar{t}_w	$t_{w, max}$	A_{t_w}	I_{max}	\bar{I}				A_{t_s}			$A_{t_w} + A_{t_s}$
									A_{t_s}	A_{t_w}		
贵阳	26.9	32.7	5.8	1021	326.3	33.91	14.93	4.3	2.57	20.73	28.4	
北京	30.2	36.3	6.1	1003	341.5	37.54	14.22	4.6	2.33	20.32	31.7	
福州	30.9	37.2	6.3	983	315.2	37.68	14.36	4.8	2.28	20.66	32.4	
广州	31.1	35.6	4.5	962	304.9	37.65	14.13	3	3.14	18.63	32.6	
上海	31.2	36.1	4.9	967	315.4	37.98	14.01	3.4	2.86	18.91	32.7	
南京	32	37.1	5.1	999	324.2	38.97	14.51	3.6	2.85	19.61	33.5	
西安	32.3	38.4	6.1	945	312	39	13.61	4.6	2.23	19.71	33.8	
武汉	32.4	36.9	4.5	961	312	39.11	13.95	3	3.1	18.45	33.9	
郑州	32.5	38.8	6.3	935	307	39.1	13.5	4.9	2.14	19.8	34	
长沙	32.7	37.9	5.2	1000	321.9	39.62	14.58	3.7	2.8	19.79	34.2	
重庆	33.2	38.9	5.7	980	316.9	40.01	14.25	4.2	2.5	19.95	34.7	

表 3.4-4 通风间层面为钢筋混凝土薄板间层净高200的通风屋顶夏季隔热计算参数

地区	\bar{t}_{sa} $\rho=0.7$	A_{t_s}	A_{t_w}	β	$(A_{t_w} + A_{t_s}) \times \beta = A_{t_{sa}}$	A_{t_n}	\bar{t}_n	$\bar{\theta}_n = 0.54 \times A_{t_{sa, max}}$	$A_{\theta_n} = 0.26 \times I_{sa, max}$	$\bar{t}_{1, k} = 1.06 \bar{t}_w$	$A_{t_{1, k}} = 1.3 \times (t_{1, k} + \bar{\theta}_n)$	$\bar{t}_{1, r} = 0.5 \times (t_{1, k} + \bar{\theta}_n)$	$A_{t_{1, r}} = 0.5 \times (A_{t_{1, k}} + A_{\theta_n})$
贵阳	36.72	20.91	3.61	0.94	25.11	4.3	28.4	38.39	16.08	28.51	7.54	30.95	11.81
北京	40.48	19.9	3.26	0.94	24.44	4.6	31.7	35.06	16.88	32.01	7.93	33.54	12.41
福州	40.39	20.1	3.19	0.94	24.82	4.8	32.4	35.21	16.95	32.75	8.19	33.99	12.57
广州	40.28	19.78	4.4	0.95	23.07	3	32.6	34.21	16.47	32.97	5.85	33.59	11.16
上海	40.69	19.61	4.0	0.95	23.28	3.4	32.7	34.51	17.03	33.07	6.37	33.81	11.5
南京	41.76	20.31	3.98	0.95	24.14	3.6	33.5	35.59	17.13	33.92	6.63	34.76	11.89
西安	41.69	19.05	3.12	0.94	23.64	4.6	33.8	35.28	16.99	34.24	7.93	34.76	12.46
武汉	41.79	19.53	4.34	0.95	22.83	3	33.9	34.89	16.8	34.34	5.85	34.62	11.33
郑州	41.74	1.9	3	0.94	23.69	4.8	34	35.33	17.01	34.45	8.19	34.89	12.6
长沙	42.39	20.41	3.93	0.95	24.33	3.7	34.2	36.03	17.35	34.66	6.76	35.35	12.06
重庆	42.74	19.96	3.5	0.94	24.12	4.2	34.7	36.1	17.39	35.19	7.41	35.65	12.4

表 3.4-5

地 区		内表面最高温度 $\theta_{n,max}$ °C		
地 名	$t_{w,max}$ (°C)	普通无抹灰240砖墙 $\nu_0 = 10.85, \xi_0 = 8.00$ $\rho = 0.75$ 红砖	空心砖240内表面抹灰砖墙 $\nu_0 = 13.91, \xi_0 = 8.02$ $\rho = 0.75$ 红砖	普通240两面抹灰砖墙 $\nu_0 = 15.29, \xi_0 = 9.31$ $\rho = 0.70$ 水刷石
重 庆	38.9	38.24	38.11	37.30
武 汉	36.9	37.20	37.09	34.05
广 州	35.6	35.80	35.73	34.70
长 沙	37.9	37.60	37.33	36.65
西 安	38.4	37.45	37.35	36.55
南 京	37.1	36.86	36.59	35.91
上 海	36.1	35.94	35.66	33.59
北 京	36.3	35.63	35.42	34.67

注 1. 从表中计算结果表明: 普通无抹灰240砖墙、和空心内表面抹灰砖墙作为西向外墙, 除武汉、广州两地 $\theta_{n,max}$ 稍高于隔热标准 $t_{w,max}$ 外, 对其他地区都能满足标准的要求。但 $\theta_{n,max}$ 出现的时间都在深夜24点。普通240两面抹灰砖墙对所有地区都能满足隔热标准要求。

2. 一般只要西(东)向外墙厚度满足了隔热标准要求, 其他各向外墙都能满足要求。

以加气混凝土砌块作为西(东)向外墙, 当墙厚为150~225mm, 两面有水泥石灰砂浆抹面, 对十一个地区的隔热效果列于表3.4-6。

从计算结果表明, 两面抹灰的加气混凝土砌块外墙, 除武汉地区需175mm厚外, 其他地区150mm厚都能满足隔热要求。

2. 屋顶

屋顶隔热, 按以下几种屋顶构造满足 $\theta_{n,max} < t_{w,max}$ 或 $\theta_{n,max} < t_{w,max} + 1$ 时, 所需隔热层厚度 δ 和内表面出现最高温度 $\theta_{n,max}$ 的时间, 计算结果列表如下:

(1) 120高小型空心板二毡三油屋面, 水泥膨胀蛭石隔热层屋顶, 表3.4-7。

(2) 大型屋面板二毡三油屋面, 水泥膨胀蛭石隔热层屋顶, 表3.4-8。

(3) 大型屋面板二毡三油屋面, 水泥膨胀蛭石隔热层屋顶(内侧复合轻质材料), 表3.4-9。

(4) 大型屋面板二毡三油屋面, 加气混凝土隔热层屋顶, 表3.4-10。

(5) 大型屋面板二毡三油屋面, 加气混凝土隔热层屋顶(内侧复合轻质材料), 表3.4-11。

(6) 在二毡三油防水层上抹白水泥砂浆的大型屋面板, 水泥膨胀蛭石隔热层屋顶, 表3.4-12。

(7) 在二毡三油防水层上抹白水泥砂浆的大型屋面板, 水泥膨胀蛭石隔热层屋顶(内侧复合轻质材料), 表3.4-13。

(8) 120高小型空心板二毡三油屋面, 水泥膨胀蛭石隔热层, 钢筋混凝土薄板架空层通风屋顶, 表3.4-14。

(9) 大型屋面板二毡三油屋面, 水泥膨胀蛭石隔热层, 钢筋混凝土薄板架空层通风屋顶, 表3.4-15。

两面抹灰（外粉为水刷石）的西向加气混凝土砌块外墙当满足夏季隔热要求（即 $\theta_{n, \max} < f_{w, \max}$ ）时应采用的墙厚及

表 3.4-6

$\theta_{n, \max}$ 出现的时间

地区	砌块厚度 δ	外墙总热阻 R_0	$\tau_{s, \max} - \tau_n$ $R_0 \cdot \alpha_n$	$\bar{\theta}_n$	v_0	ξ_0	$A_{t, n}$		$(\varphi_{t, n} + \xi_0) - (\varphi_{t, n} - \xi_n)$	$A_{t, n} / v_n$		β	$\theta_{n, \max}$	$f_{w, \max}$	$\theta_{n, \max}$ 出现时间
							v_0	v_n		$A_{t, n} / v_n$	$A_{t, n} / v_0$				
贵阳	125	0.651	0.563	28.96	9.104	5.051	2.109	2.598	3.79	1.23	0.88	33.1	32.7	21:03	
	150	0.741	0.495	28.9	12.081	6.131	1.589	2.598	4.87	1.64	0.8	32.25	32.7	22:08	
	175	0.832	0.441	28.84	16.088	7.224	1.193	2.598	5.96	2.18	0.74	31.65	32.7	23:13	
北京	125	0.651	0.636	32.34	9.104	5.051	2.388	2.779	3.79	1.16	0.88	36.89	36.3	21:03	
	150	0.741	0.559	32.26	12.081	6.131	1.8	2.779	4.87	1.54	0.8	35.92	36.3	22:08	
	175	0.832	0.498	32.2	16.088	7.224	1.381	2.779	5.96	2.01	0.74	35.28	36.3	23:13	
福州	125	0.651	0.532	32.93	9.104	5.051	2.23	2.9	3.79	1.3	0.88	37.44	37.2	21:03	
	150	0.741	0.467	32.87	12.081	6.131	1.68	2.9	4.87	1.73	0.81	36.58	37.2	22:08	
	175	0.832	0.416	32.82	16.088	7.224	1.262	2.9	5.96	2.3	0.75	35.94	37.2	23:13	
广州	125	0.651	0.506	33.11	9.104	5.051	1.944	1.813	3.79	0.93	0.88	36.42	35.6	21:03	
	150	0.741	0.444	33.04	12.081	6.131	1.465	1.813	4.87	1.238	0.8	35.1	35.6	22:08	
	175	0.832	0.396	33	16.088	7.224	1.1	1.813	5.96	1.648	0.72	34.7	35.6	23:13	
上海	150	0.741	0.467	33.17	12.081	6.131	1.602	2.054	4.87	1.28	0.8	36.09	36.1	22:08	
	175	0.832	0.422	33.12	16.088	7.224	1.203	2.054	5.96	1.71	0.74	35.49	36.1	23:13	
	200	0.923	0.38	33.08	21.422	8.318	0.903	2.054	7.05	2.28	0.67	35.06	36.1	24:08	
南京	150	0.741	0.49	33.99	12.081	6.131	1.635	2.175	4.87	1.33	0.8	37.04	37.1	22:08	
	175	0.832	0.437	33.94	16.088	7.224	1.228	2.175	5.96	1.77	0.74	36.46	37.1	23:13	
	200	0.923	0.394	33.89	21.422	8.318	0.922	2.175	7.05	2.36	0.68	36.0	37.1	24:08	
西安	125	0.651	0.541	34.34	9.104	5.051	2.149	2.79	3.79	1.29	0.88	38.68	38.4	21:03	
	150	0.741	0.475	34.28	12.081	6.131	1.619	2.79	4.87	1.72	0.81	37.84	38.4	22:08	
	175	0.832	0.423	34.22	16.088	7.224	1.216	2.79	5.96	2.26	0.75	37.22	38.4	23:13	
武汉	150	0.741	0.433	34.33	12.081	6.131	1.588	1.813	4.87	1.16	0.8	37.03	36.9	22:08	
	175	0.832	0.386	34.29	16.088	7.224	1.17	1.813	5.96	1.55	0.72	36.44	36.9	23:13	
	200	0.923	0.348	34.25	21.422	8.318	0.879	1.813	7.05	2.06	0.63	35.95	36.9	24:08	
郑州	125	0.651	0.521	34.52	9.104	5.051	2.188	2.9	3.79	1.33	0.88	39	38.8	21:03	
	150	0.741	0.458	34.46	12.081	6.131	1.649	2.9	4.87	1.76	0.8	38.1	38.8	22:08	
	175	0.832	0.408	34.41	16.088	7.224	1.238	2.9	5.96	2.34	0.75	37.51	38.8	23:13	
长沙	150	0.741	0.483	34.68	12.081	6.131	1.649	2.236	4.87	1.36	0.8	37.79	37.9	22:08	
	175	0.832	0.43	34.63	16.088	7.224	1.238	2.236	5.96	1.81	0.73	37.17	37.9	23:13	
	200	0.923	0.388	34.59	21.422	8.318	0.93	2.236	7.05	2.4	0.69	36.77	37.9	24:08	
重庆	150	0.741	0.475	35.18	12.081	6.131	1.667	2.538	4.87	1.52	0.8	38.54	38.9	22:08	
	175	0.832	0.423	35.12	16.088	7.224	1.252	2.538	5.96	2.03	0.74	37.92	38.9	23:13	
	200	0.923	0.381	35.08	21.422	8.318	0.94	2.538	7.05	2.7	0.7	37.51	38.9	24:08	

120高小型空心板二毡三油屋面、水泥膨胀蛭石隔热层屋顶，当满足夏季隔热要求
(即 $\theta_{n,max} < t_{w,max}$)时，对广州等十一地区所需隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n,max}$ 出现的时间

表 3.4-7

地区	隔热层 厚度 δ	屋顶总 热阻 R_0	$\bar{t}_{in} - t_n$	$\bar{\theta}_n$	γ_0	δ_0	$A_{1,n}$		$(\varphi_{t_n} + \delta_0)$ $-(\varphi_{t_n} + \delta_n)$	A_{t_n} / γ_0		β	$\theta_{n,max}$	$t_{w,max}$	$\theta_{n,max}$ 出现时间
							γ_0	ν_n		A_{t_n} / γ_0	A_{t_n} / γ_0				
贵阳	130	0.971	1.231	29.63	21.397	8.336	1.37		3.8	1.62	0.88	32.79		21:20	
	140	1.019	1.173	29.57	23.59	8.708	1.243	2.216	4.18	1.78	0.87	32.56	32.7	21:42	
	150	1.066	1.121	29.52	25.953	9.073	1.13		4.54	1.96	0.845	32.35		22:04	
北京	120	0.923	1.364	33.06	19.394	7.96	1.466		3.43	1.62	0.91	36.55		20:58	
	130	0.971	1.297	33.0	21.397	8.336	1.329	2.371	3.8	1.78	0.89	36.29	36.3	21:20	
	140	1.019	1.236	32.94	23.59	8.708	1.205		4.18	1.97	0.87	36.05		21:42	
福州	120	0.923	1.245	33.65	19.394	7.96	1.487		3.43	1.66	0.905	37.22		20:58	
	130	0.971	1.183	33.58	21.397	8.336	1.347	2.474	3.8	1.84	0.89	36.93	37.2	21:20	
	140	1.019	1.129	33.53	23.59	8.708	1.222		4.18	2.03	0.87	36.75		21:42	
广州	160	1.114	0.992	33.59	28.634	9.448	0.945		4.92	1.64	0.81	35.61		22:27	
	170	1.162	0.951	33.55	31.569	9.821	0.857	1.456	5.29	1.8	0.795	35.46	35.6	22:49	
	180	1.209	0.914	33.51	34.731	10.185	0.779		5.66	1.99	0.77	35.3		23:11	
上海	150	1.066	1.079	33.78	25.953	9.073	1.05		4.54	1.67	0.835	36.12		22:04	
	160	1.114	1.033	33.73	28.634	9.448	0.952	1.753	4.92	1.84	0.815	35.93	36.1	22:27	
	170	1.162	0.99	33.69	31.569	9.821	0.863		5.29	2.03	0.79	35.76		22:49	
南京	140	1.019	1.165	34.67	23.59	8.708	1.197		4.18	1.55	0.86	37.3		21:42	
	150	1.066	1.113	34.61	25.953	9.073	1.088	1.856	4.54	1.71	0.835	37.07	37.1	22:04	
	160	1.114	1.065	34.57	28.634	9.448	0.986		4.92	1.86	0.816	36.89		22:27	

地区	隔热层厚度 δ	屋顶总热阻 R_0	$\bar{t}_{ss} - \bar{t}_n$		$\bar{\theta}_n$	ν_0	ξ_0	$A_{t,ss}$		$A_{i,n}$	$(\varphi_{t,ss} + \xi_0)$		$A_{t,n}/\nu_n$		β	$\theta_{n,max}$	$t_{x,max}$	$\theta_{n,max}$	出现时间
			$R_0 a_n$	ν_n				ν_0	ν_n		$(\varphi_{t,n} + \xi_n)$	$A_{t,ss}/\nu_0$							
西安	120	0.923	1.23	1.019	35.03	19.394	7.96	1.43	2.371	3.43	1.66	38.47	0.905	38.47	20:58				
	130	0.971	1.169	0.977	34.97	21.397	8.336	1.296	2.371	3.8	1.83	38.23	0.89	38.23	21:20				
	140	1.019	1.114	0.939	34.91	23.59	8.708	1.176		4.18	2.02	38	0.87	38	21:42				
武汉	160	1.114	1.019	0.977	34.82	28.634	9.448	0.935	1.546	4.92	1.65	36.92	0.805	36.92	22:27				
	170	1.162	0.977	0.939	34.88	31.589	9.821	0.848	1.546	5.29	1.82	36.81	0.806	36.81	22:49				
	180	1.209	0.939	0.939	34.84	34.731	10.185	0.771		5.65	2.01	36.61	0.768	36.61	23:11				
郑州	110	0.876	1.272	1.203	35.27	17.627	7.596	1.558	2.474	3.06	1.59	39.02	0.93	39.02	20:36				
	120	0.923	1.203	1.149	35.21	19.394	7.96	1.416	2.474	3.43	1.75	38.74	0.907	38.74	20:58				
	130	0.971	1.149	1.056	35.15	21.397	8.336	1.284		3.8	1.93	38.49	0.89	38.49	21:20				
长沙	140	1.019	1.155	1.104	35.36	23.59	8.708	1.206	1.907	4.18	1.58	38.04	0.86	38.04	21:42				
	150	1.066	1.104	1.056	35.30	25.953	9.073	1.096	1.907	4.54	1.74	37.81	0.835	37.81	22:04				
	160	1.114	1.056	1.084	35.26	28.634	9.448	0.994		4.92	1.92	37.62	0.815	37.62	22:27				
重庆	130	0.971	1.191	1.134	35.89	21.397	8.336	1.328	2.165	3.8	1.63	38.98	0.884	38.98	21:20				
	140	1.019	1.134	1.084	35.83	23.59	8.708	1.204	2.165	4.18	1.8	38.68	0.845	38.68	21:42				
	150	1.066	1.084	1.084	35.79	25.953	9.073	1.095		4.54	1.98	38.53	0.845	38.53	22:04				

注: 1. 表中各符号的含义: ν_0 ——室外综合温度波幅通过屋顶结构传至其内表面的总衰减倍数; ν_n ——室外气温的波幅传至屋顶内表面时的衰减倍数; ξ_0 ——屋顶内表面温度最大值出现时间对室外综合温度最大值出现时间的延迟(小时); ξ_n ——室内气温的波动传至屋顶内表面时的延迟(小时); $\varphi_{t,n}$ ——室外综合温度最大值出现时间。对水平面通常取13:00, $\varphi_{t,n}$ ——室内气温最大值出现时间(通常取16:00), 其他各符号的含义, 详见3.4.1。

2. 本表计算中考虑了天棚内表面20mm厚的水泥石灰砂浆抹面层。

3. 计算所依据的屋顶夏季隔热计算参数, 见表3.4.2。

4. 表中屋顶的总热阻 R_0 中, 对小型空心板的平均热阻值是按夏季条件(热流自上而下)求得的, 其值为0.117, 比较冬季条件(热流自下而上)求得的平均热阻值0.125小0.008。同样, 小型空心板的平均热惰性指标, 在隔热计算中也是按夏季条件求得的, 其值为0.949, 比较冬季条件(热流自上而下)求得的平均热阻值0.125小0.019。

大型屋面二毡三油屋面水泥膨胀蛭石隔热层厚度,当满足 $\theta_{n,max} < f_{w,max}$ 要求时,对广州等十一地区所需隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n,max}$ 出现的时间 表 3.4-8

地区	隔热层厚度 δ	屋面的总热阻 R_0	$\bar{t}_{sa} - \bar{t}_n$		δ_n	V_0	S_0	$A_{t,sa}$		A_{1n}	$(\varphi_{t,sa} + S_0) - (\varphi_{t,n} + S_n)$	$A_{t,n}/V_n$		β	$\theta_{n,max}$	$f_{w,max}$	$\theta_{n,max}$ 出现时间
			$R_0 a_n$	V_0				V_0	V_n			$A_{t,sa}/V_n$	$A_{t,n}/V_0$				
贵阳	190	1.134	1.054	23.191	29.45	7.966	1.264	2.428	3.58	1.92	0.9	32.77	32.7	20:58			
	200	1.186	1.008	25.532	29.41	8.334	1.148	2.428	3.95	2.12	0.88	32.56	32.7	21:20			
	210	1.229	0.972	28.151	29.37	8.706	1.042	2.428	4.32	2.33	0.87	32.39	32.7	21:42			
北京	180	1.086	1.159	21.04	32.86	7.594	1.351	2.597	3.21	1.92	0.915	36.47	36.3	20:35			
	190	1.134	1.11	23.191	32.91	7.966	1.226	2.597	3.58	2.12	0.9	36.25	36.3	20:57			
	200	1.186	1.062	25.532	32.76	8.334	1.114	2.597	3.95	2.33	0.89	36.06	36.3	21:20			
福州	180	1.086	1.058	21.04	33.46	7.594	1.37	2.71	3.21	1.98	0.92	37.21	37.2	20:36			
	190	1.134	1.013	23.191	33.41	7.966	1.243	2.71	3.58	2.18	0.9	36.97	37.2	21:00			
	200	1.186	0.969	25.532	33.37	8.334	1.129	2.71	3.95	2.4	0.89	36.79	37.2	21:20			
广州	210	1.229	0.9	28.151	33.5	8.706	0.961	1.694	4.32	1.76	0.35	35.76	35.6	21:42			
	220	1.277	0.866	31.036	33.47	9.078	0.872	1.694	4.69	1.94	0.83	35.60	35.6	22:05			
	230	1.324	0.835	34.164	33.44	9.446	0.792	1.694	5.06	2.14	0.81	35.45	35.6	22:27			
上海	200	1.186	0.97	25.532	33.67	8.334	1.067	1.92	3.95	1.8	0.88	36.30	36.1	21:20			
	210	1.229	0.936	28.151	33.64	8.706	0.958	1.92	4.32	1.98	0.85	36.09	36.1	21:42			
	220	1.277	0.9	31.036	33.6	9.078	0.876	1.92	4.69	2.19	0.84	35.95	36.1	22:05			
南京	200	1.186	1.0	25.532	34.5	8.334	1.106	2.033	3.95	1.84	0.88	37.26	37.1	21:20			
	210	1.229	0.965	28.151	34.47	8.706	1.003	2.033	4.32	2.03	0.85	37.05	37.1	21:42			
	220	1.277	0.93	31.036	33.43	9.078	0.91	2.033	-4.69	2.23	0.84	36.90	37.1	22:05			
西安	180	1.086	1.045	21.04	34.85	7.594	1.318	2.597	3.21	1.97	0.92	38.45	38.4	20:36			
	190	1.134	1.001	23.191	34.8	7.966	1.196	2.597	3.58	2.17	0.9	38.21	38.4	20:58			
	200	1.186	0.957	25.532	34.76	8.334	1.086	2.597	3.95	2.39	0.89	38.04	38.4	21:20			
武汉	210	1.229	0.924	28.151	34.82	8.706	0.951	1.694	4.32	1.78	0.85	37.07	36.9	21:42			
	220	1.277	0.889	31.036	34.79	9.078	0.863	1.694	4.69	1.96	0.83	36.91	36.9	22:06			
	230	1.324	0.858	34.164	34.76	9.446	0.784	1.694	5.06	2.16	0.81	36.77	36.9	22:27			
郑州	170	1.039	1.073	19.119	35.07	7.229	1.437	2.71	2.84	1.89	0.93	38.93	38.8	20:14			
	180	1.086	1.026	21.04	35.03	7.594	1.306	2.71	3.21	2.08	0.92	38.72	38.8	20:36			
	190	1.134	0.983	23.191	34.98	7.966	1.185	2.71	3.58	2.29	0.91	38.52	38.8	20:58			
长沙	200	1.186	0.992	25.532	35.19	8.334	1.114	2.089	3.95	1.88	0.885	38.02	37.9	21:20			
	210	1.229	0.957	28.151	35.16	8.706	1.011	2.089	4.32	2.07	0.86	37.83	37.9	21:42			
	220	1.277	0.921	31.036	35.12	9.078	0.917	2.089	4.69	2.28	0.85	37.68	37.9	22:05			
重庆	190	1.134	1.019	23.191	35.72	7.966	1.225	2.372	3.58	1.94	0.905	38.98	38.8	20:58			
	200	1.186	0.975	25.532	35.68	8.334	1.113	2.372	3.95	2.13	0.88	38.75	38.8	21:20			
	210	1.229	0.941	28.151	35.64	8.706	1.009	2.372	4.32	2.35	0.87	38.58	38.8	21:42			

注: 1. 表中各符号的含义见 3.4.1 注。

2. 计算所依据的屋顶夏季隔热计算参数详见表 3.4-1 ~ 表 3.4-4。

表 3.4-9

轻型结构

地区	隔热层厚度 δ	屋顶的总热阻 R_0	$\bar{t}_{sx} - \bar{t}_n$		$\bar{\theta}_n$	v_0	δ_0	$A_{t, \max}$		$(\varphi_{t_n} + \xi_0)$	A_{t_n}/v_n		β	$\theta_{n, \max}$	$f_{w, \max} + 1$	$\theta_{n, \max}$ 出现时间
			$R_0 a_n$	v_0				v_n	A_{t_n}/v_n		A_{t_n}/v_0					
贵阳	140	0.896	1.334	14.287	29.73	6.117	2.052	2.428	1.73	1.18	34.08	0.97	34.08	33.7	19:07	
	150	0.943	1.267	16.633	29.67	6.698	1.763	2.428	2.31	1.38	33.69	0.96	33.69	33.7	19:42	
	160	0.991	1.206	17.342	29.61	6.857	1.891	2.428	2.47	1.44	33.52	0.95	33.52	33.7	19:51	
北京	140	0.896	1.405	14.287	33.11	6.117	1.99	2.597	1.73	1.31	37.57	0.972	37.57	37.3	19:07	
	150	0.943	1.335	16.633	33.04	6.698	1.709	2.597	2.31	1.52	37.17	0.96	37.17	37.3	19:42	
	160	0.991	1.271	17.342	32.97	6.857	1.839	2.597	2.47	1.59	36.99	0.95	36.99	37.3	19:51	
福州	140	0.896	1.282	14.287	33.68	6.117	2.018	2.71	1.73	1.34	38.28	0.973	38.28	38.2	19:07	
	150	0.943	1.219	16.633	33.62	6.698	1.733	2.71	2.31	1.56	37.89	0.96	37.89	38.2	19:42	
	160	0.991	1.159	17.342	33.56	6.857	1.662	2.71	2.47	1.63	37.71	0.95	37.71	38.2	19:51	
广州	160	0.991	1.115	17.342	33.72	6.857	1.56	1.694	2.47	1.09	36.81	0.95	36.81	36.6	19:51	
	170	1.039	1.064	19.119	33.66	7.229	1.415	1.694	2.84	1.2	36.55	0.93	36.55	36.6	20:14	
	180	1.086	1.018	21.04	33.62	7.594	1.286	1.694	3.21	1.32	36.33	0.91	36.33	36.6	20:36	
上海	160	0.991	1.161	17.342	33.86	6.857	1.571	1.92	2.47	1.22	37.16	0.945	37.16	37.1	19:51	
	170	1.039	1.107	19.119	33.81	7.229	1.425	1.92	2.84	1.35	36.89	0.92	36.89	37.1	20:14	
	180	1.086	1.059	21.04	33.76	7.594	1.295	1.92	3.21	1.48	36.69	0.91	36.69	37.1	20:36	
南京	160	0.991	1.198	17.342	34.7	6.857	1.628	2.033	2.47	1.25	38.14	0.94	38.14	38.1	19:51	
	170	1.039	1.142	19.119	34.64	7.229	1.477	2.033	2.84	1.38	37.9	0.93	37.9	38.1	20:14	
	180	1.086	1.093	21.04	34.59	7.594	1.342	2.033	3.21	1.52	37.66	0.91	37.66	38.1	20:36	
西安	140	0.896	1.267	14.287	35.07	6.117	1.942	2.887	1.73	1.34	39.47	0.97	39.47	39.4	19:07	
	150	0.943	1.204	16.633	35	6.698	1.668	2.887	2.31	1.56	39.09	0.96	39.09	39.4	19:42	
	160	0.991	1.146	17.342	34.95	6.857	1.6	2.887	2.47	1.62	38.94	0.95	38.94	39.4	19:51	
武汉	160	0.991	1.146	17.342	35.05	6.857	1.544	1.694	2.47	1.1	38.13	0.95	38.13	37.9	19:51	
	170	1.039	1.093	19.119	34.99	7.229	1.401	1.694	2.84	1.21	37.87	0.93	37.87	37.9	20:14	
	180	1.086	1.045	21.04	34.95	7.594	1.273	1.694	3.21	1.33	37.65	0.91	37.65	37.9	20:36	
郑州	130	0.848	1.314	12.958	35.31	5.745	2.12	2.71	1.36	1.28	40.02	0.976	40.02	39.8	18:45	
	140	0.896	1.244	14.287	35.24	6.117	1.923	2.71	1.73	1.41	39.75	0.973	39.75	39.8	19:07	
	150	0.943	1.182	16.633	35.18	6.698	1.652	2.71	2.31	1.64	39.37	0.96	39.37	39.8	19:42	
长沙	160	0.991	1.187	17.342	35.39	6.857	1.641	2.089	2.47	1.27	38.93	0.95	38.93	38.9	19:51	
	170	1.039	1.132	19.119	35.33	7.229	1.488	2.089	2.84	1.40	38.66	0.93	38.66	38.9	20:14	
	180	1.086	1.083	21.04	35.28	7.594	1.352	2.089	3.21	1.55	38.43	0.915	38.43	38.9	20:36	
重庆	140	0.896	1.29	14.287	35.99	6.117	1.989	2.372	1.73	1.19	40.23	0.973	40.23	39.9	19:07	
	150	0.943	1.226	16.633	35.93	6.698	1.708	2.372	2.31	1.39	39.85	0.96	39.85	39.9	19:42	
	160	0.991	1.166	17.342	35.87	6.857	1.638	2.372	2.47	1.45	39.68	0.95	39.68	39.9	19:51	

注: 1.表中各符号的含义见3.4.1注。

2.计算所依据的屋顶夏季隔热计算参数详见表3.4.1~表3.4.4。

大型屋面板二毡三油加气混凝土隔热屋顶层,当满足夏季隔热要求(即 $\theta_{n,max} < t_{w,max}$)
 时,对广州等十一地区所需隔热厚度 δ 和 $\theta_{n,max}$ 出现的时间(重型结构)

表 3.4-10

地区	隔热层厚度 δ	屋顶层热阻 R_0	$t_{w,max} - t_n$		θ_n	v_0	ξ_0	$A_{1,n}$		$(\varphi_{1,n} + \xi_0)$	$(\varphi_{1,n} + \xi_n)$	$A_{1,n}/v_n$		β	$\theta_{n,max}$	$t_{w,max}$	$\theta_{n,max}$	出现时间
			$R_0 a_n$	v_n				v_0	v_n			$A_{1,n}/v_0$						
贵阳	190	0.896	1.334	29.73	21.173	8.539	1.385	2.282	4.05	1.65	0.87	32.92	21:32					
	200	0.931	1.284	29.68	23.46	8.931	1.25	2.282	4.45	1.83	0.85	32.68	21:56					
	210	0.966	1.237	29.84	25.994	9.522	1.128	2.282	4.84	2.02	0.83	32.47	22:19					
北京	190	0.896	1.405	33.11	21.173	8.539	1.343	2.442	4.05	1.82	0.87	36.4	21:32					
	200	0.931	1.353	33.05	23.46	8.931	1.212	2.442	4.45	2.02	0.85	36.16	21:56					
	210	0.966	1.303	33.0	25.994	9.522	1.094	2.442	4.84	2.23	0.82	35.9	22:18					
福州	180	0.861	1.335	33.74	19.109	8.148	1.509	2.548	3.66	1.69	0.89	37.35	21:09					
	190	0.896	1.282	33.68	21.173	8.539	1.362	2.548	4.05	1.87	0.88	37.12	21:32					
	200	0.931	1.234	33.63	23.46	8.931	1.229	2.548	4.45	2.07	0.85	36.84	21:56					
广州	220	1.001	1.104	33.7	28.801	9.714	0.94	1.592	5.23	1.69	0.79	35.7	22:43					
	230	1.036	1.067	33.67	31.911	10.105	0.848	1.592	5.62	1.88	0.77	35.55	23:06					
	240	1.071	1.032	33.63	35.357	10.487	0.765	1.592	6.01	2.08	0.74	35.37	23:30					
上海	210	0.966	1.191	33.89	25.994	9.322	1.048	1.805	4.84	1.72	0.82	36.23	22:19					
	220	1.001	1.149	33.85	28.801	9.714	0.946	1.805	5.23	1.91	0.8	36.05	22:43					
	230	1.036	1.11	33.81	31.911	10.105	0.854	1.805	5.62	2.11	0.77	35.86	23:06					
南京	210	0.966	1.229	34.73	25.994	9.322	1.086	2.442	4.84	1.76	0.825	37.2	22:19					
	220	1.001	1.185	34.69	28.801	9.714	0.981	2.442	5.23	1.95	0.805	37.02	22:43					
	230	1.036	1.146	34.65	31.911	10.105	0.885	2.442	5.62	2.16	0.78	36.83	23:06					
西安	180	0.861	1.319	35.12	19.109	8.148	1.452	2.442	3.66	1.68	0.9	38.62	21:09					
	190	0.896	1.267	35.07	21.173	8.539	1.31	2.442	4.05	1.86	0.88	38.37	21:32					
	200	0.931	1.22	35.02	23.46	8.931	1.182	2.442	4.45	2.07	0.85	38.1	21:56					
武汉	220	1.001	1.134	33.7	28.801	9.714	0.93	1.592	5.23	1.71	0.8	37.04	22:43					
	230	1.036	1.096	33.67	31.911	10.105	0.889	1.592	5.62	1.9	0.765	36.86	23:06					
	240	1.071	1.06	34.96	35.357	10.497	0.757	1.592	6.01	2.1	0.74	36.7	23:30					
郑州	180	0.861	1.295	35.3	19.109	8.148	1.488	2.548	3.66	1.77	0.9	38.89	21:09					
	190	0.896	1.244	35.24	21.173	8.539	1.297	2.548	4.05	1.97	0.88	38.62	21:32					
	200	0.931	1.197	35.2	23.46	8.931	1.171	2.548	4.45	2.18	0.85	38.56	21:56					
长沙	230	1.036	1.136	35.34	31.911	10.105	0.892	2.527	5.62	2.83	0.815	38.13	23:06					
	240	1.071	1.099	35.3	35.357	10.497	0.805	2.527	6.01	3.14	0.79	37.93	23:30					
	250	1.106	1.062	35.26	39.175	10.888	0.726	2.527	6.4	3.48	0.79	37.82	23:53					
重庆	190	0.896	1.290	35.99	21.173	8.539	1.342	2.229	4.05	1.66	0.87	39.1	21:32					
	200	0.931	1.242	35.94	23.46	8.931	1.211	2.229	4.45	1.84	0.85	38.86	21:56					
	210	0.966	1.197	35.9	25.994	9.522	1.093	2.229	4.84	2.04	0.82	38.62	22:19					

注: 1. 表中各符号的含义见3.4.1注。

2. 计算所依据的屋顶层夏季隔热计算参数详见表3.4-1~表3.4-4。

大型屋面板二毡三油屋面加气混凝土隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n, \max}$ 出现的时间(轻型结构)
要求时, 对广州等十一地区所需隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n, \max}$ 出现的时间(轻型结构)

表 3.4-11

地区	隔热层厚度 δ	屋顶总热阻 R_0	$\bar{t}_{i,n} - \bar{t}_n$		$\bar{\theta}_n$	ν_0	ζ_0	$A_{t,n}$		$(\varphi_{t,n} + \zeta_0)$	$A_{t,n} / \nu_0$	β	$\theta_{n, \max}$	$t_{w, \max} + 1$	$\theta_{n, \max}$ 出现时间
			$R_0 a_n$	$R_0 a_n$				ν_0	ν_n						
贵阳	160	0.79	1.513	1.513	29.91	15.583	7.357	1.888	2.282	2.87	1.21	0.99	33.79	33.7	20:21
	170	0.825	1.448	1.448	29.85	17.199	7.745	1.713		3.26	1.33	0.91	33.49		20:45
	180	0.861	1.383	1.383	29.79	19.109	8.148	1.534		3.66	1.48	0.89	33.19		21:09
北京	150	0.755	1.668	1.668	33.37	14.019	6.965	2.028		2.48	1.2	0.945	37.59		19:58
	160	0.79	1.594	1.594	33.29	15.533	7.357	1.23	2.442	2.87	1.33	0.93	37.26	37.3	20:21
	170	0.825	1.526	1.526	33.23	17.199	7.745	1.653		3.26	1.48	0.9	36.92		20:45
福州	150	0.755	1.522	1.522	33.92	14.019	6.965	2.056		2.48	1.24	0.95	38.29		19:58
	160	0.79	1.454	1.454	33.85	15.533	7.357	1.856	2.548	2.87	1.37	0.94	37.99	38.2	20:21
	170	0.825	1.393	1.393	33.79	17.199	7.745	1.676		3.26	1.52	0.91	37.63		20:45
广州	170	0.825	1.34	1.34	33.94	17.199	7.745	1.573		3.26	1.01	0.9	36.79		20:45
	180	0.861	1.284	1.284	33.88	19.109	8.148	1.416	1.592	3.66	1.12	0.89	36.43	36.6	21:09
	190	0.896	1.234	1.234	33.83	21.173	8.539	1.278		4.05	1.25	0.87	36.33		21:32
上海	170	0.825	1.394	1.394	34.09	17.199	7.745	1.584		3.26	1.14	0.9	37.14		20:45
	180	0.861	1.336	1.336	34.04	19.109	8.148	1.426	1.805	3.66	1.26	0.89	36.92	37.1	21:09
	190	0.896	1.284	1.284	33.98	21.173	8.539	1.287		4.05	1.4	0.87	36.67		21:32
南京	170	0.825	1.439	1.439	34.94	17.199	7.745	1.642		3.26	1.16	0.9	38.14		20:45
	180	0.861	1.379	1.379	34.88	19.109	8.148	1.478	1.91	3.66	1.29	0.89	37.9	38.1	21:09
	190	0.896	1.325	1.325	34.83	21.173	8.539	1.334		4.05	1.43	0.87	37.65		21:32
西安	150	0.755	1.504	1.504	35.3	14.019	6.965	1.979		2.48	1.23	0.95	39.5		19:58
	160	0.79	1.437	1.437	35.24	15.533	7.357	1.786	2.342	2.87	1.37	0.93	39.23	39.4	20:21
	170	0.825	1.376	1.376	35.18	17.199	7.745	1.613		3.26	1.51	0.91	38.87		20:45
武汉	170	0.825	1.376	1.376	35.28	17.199	7.745	1.557		3.26	1.02	0.91	38.15		20:45
	180	0.861	1.319	1.319	35.22	19.109	8.148	1.401	1.592	3.66	1.14	0.89	37.88	37.9	21:09
	190	0.896	1.267	1.267	35.17	21.178	8.539	1.265		4.05	1.26	0.87	37.66	37.9	21:32
郑州	140	0.72	1.548	1.548	35.55	12.654	6.574	2.171		2.48	1.17	0.97	40.13		19:34
	150	0.755	1.476	1.476	35.48	14.019	6.965	1.959	2.548	2.87	1.3	0.95	39.76	39.8	19:58
	160	0.79	1.411	1.411	35.41	15.533	7.357	1.738		3.26	1.44	0.94	39.47		20:21
长沙	190	0.896	1.313	1.313	35.51	21.173	8.539	1.314		4.05	1.88	0.88	38.92		21:32
	200	0.931	1.264	1.264	35.46	23.46	8.931	1.213	2.527	4.45	2.08	0.85	38.64	38.9	21:50
	210	0.966	1.218	1.218	35.42	25.994	9.322	1.094		4.84	2.31	0.835	38.44		22:19
重庆	160	0.79	1.468	1.468	36.16	15.533	7.357	1.829		2.87	1.22	0.94	39.97		20:21
	170	0.825	1.401	1.401	36.1	17.199	7.745	1.652	2.229	3.26	1.35	0.92	39.67	39.9	20:45
	180	0.861	1.343	1.343	36.04	19.109	8.148	1.487		3.66	1.5	0.89	39.35		21:09

注: 1. 表中各符号的含义见3.4.1注。

2. 计算所依据的屋顶夏季隔热计算参数详见表3.4.1~表3.4.4。

在二毡三油防水屋上抹白水泥砂浆的大型屋面板水泥膨胀蛭石隔热层屋顶, 当满足 $\theta_{n, \max} < t_{w, \max}$ 要求时, 对广州等十一地区所需隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n, \max}$ 出现的时间(重型结构)

地区	隔热层厚度 δ	层顶的总热阻 R_0	$\bar{t}_w - \bar{t}_n$		$\bar{\theta}_n$	γ_0	ξ_0	$A_{t,n}$		$(\varphi_{t,n} + \delta_0)$	$(\varphi_{t,n} + \delta_n)$	$A_{t,n}/v_n$		β	$\theta_{n, \max}$	$t_{w, \max}$	$\theta_{n, \max}$ 出现时间
			$R_0 a_n$	v_0				v_n	$A_{t,n}/v_n$			$A_{t,n}/v_0$					
贵阳	120	0.839	0.753	14.917	6.76	1.307	2.428	2.38	1.86	0.96	32.74	32.7	19:46				
	130	0.887	0.712	16.457	7.135	1.184	2.75	2.01	2.05	0.94	32.51	32.7	20:08				
	140	0.935	0.676	18.145	7.508	1.074	3.12	2.38	2.26	0.932	32.34	32.7	20:30				
北京	110	0.792	0.846	13.558	6.395	1.409	2.597	2.01	1.84	0.97	36.44	36.3	19:24				
	120	0.839	0.798	14.917	6.76	1.28	2.38	2.38	2.03	0.95	36.18	36.3	19:46				
	130	0.887	0.755	16.457	7.135	1.161	2.75	2.38	2.24	0.94	35.99	36.3	20:08				
福州	100	0.744	0.814	12.297	6.023	1.579	2.71	1.64	1.72	0.98	37.41	37.2	19:01				
	110	0.792	0.765	13.558	6.395	1.432	2.01	2.01	1.89	0.97	37.19	37.2	19:24				
	120	0.839	0.722	14.917	6.76	1.302	2.38	2.38	2.08	0.96	36.97	37.2	19:46				
广州	140	0.935	0.619	18.145	7.508	0.985	1.694	3.12	1.76	0.93	35.69	35.6	20:30				
	150	0.982	0.59	19.962	7.872	0.877	1.92	3.49	1.93	0.905	35.52	35.6	20:52				
	160	1.03	0.562	22.024	8.248	0.795	2.75	3.86	2.13	0.885	35.36	35.6	21:15				
上海	130	0.887	0.682	16.457	7.135	1.081	1.92	2.75	1.78	0.94	36.2	36.1	20:08				
	140	0.935	0.648	18.145	7.508	0.98	1.92	3.13	1.96	0.93	36.05	36.1	20:30				
	150	0.982	0.617	19.962	7.872	0.891	1.92	3.49	2.16	0.905	35.86	36.1	20:52				
南京	130	0.887	0.707	16.457	7.135	1.12	2.08	2.75	1.81	0.94	37.17	37.1	20:08				
	140	0.935	0.671	18.145	7.508	1.016	2.08	3.12	2.0	0.93	37.0	37.1	20:30				
	150	0.982	0.639	19.962	7.872	0.923	2.08	3.49	2.2	0.905	36.81	37.1	20:52				
西安	100	0.744	0.801	12.297	6.023	1.491	2.597	1.64	1.74	0.98	38.61	38.4	19:01				
	110	0.792	0.753	13.558	6.395	1.352	2.597	2.01	1.92	0.97	38.39	38.4	19:24				
	120	0.839	0.711	14.917	6.76	1.229	2.597	2.38	2.11	0.96	38.18	38.4	19:46				
武汉	140	0.935	0.636	18.145	7.508	0.956	1.694	3.13	1.77	0.93	37	36.9	20:30				
	150	0.982	0.608	19.962	7.872	0.869	1.694	3.49	1.95	0.906	36.83	36.9	20:52				
	160	1.03	0.58	22.024	8.248	0.787	1.694	3.86	2.15	0.885	36.68	36.9	21:15				
郑州	100	0.744	0.786	12.297	6.023	1.497	2.71	1.64	1.81	0.98	38.91	38.8	19:01				
	110	0.792	0.738	13.558	6.395	1.358	2.71	2.01	2.0	0.97	38.69	38.8	19:24				
	120	0.839	0.697	14.917	6.76	1.234	2.71	2.38	2.2	0.97	38.53	38.8	19:46				
长沙	130	0.887	0.701	16.457	7.135	1.13	2.089	2.75	1.85	0.94	37.93	37.9	20:08				
	140	0.935	0.665	18.145	7.508	1.025	2.089	3.13	2.04	0.93	37.77	37.9	20:30				
	150	0.982	0.630	19.932	7.872	0.931	2.089	3.49	2.24	0.906	37.51	37.9	20:52				
重庆	110	0.792	0.789	13.558	6.395	1.393	2.372	3.04	1.72	0.93	38.96	38.9	19:24				
	120	0.839	0.726	14.917	6.76	1.251	2.372	3.4	1.89	0.91	38.73	38.9	19:46				
	130	0.887	0.686	16.457	7.135	1.139	2.372	3.75	2.08	0.84	38.68	38.9	20:08				

注: 1. 表中各符号的含义见3.4.1注。
 2. 白水泥砂浆抹面的太阳辐射吸收系数 $\rho = 0.5$ 。
 3. 计算所依据的屋顶层夏季隔热计算参数详见表3.4-3。

要求时, 对广州等十一地区所需隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n, \max}$ 出现的时间 (轻型结构) 表 3.4-13

地区	隔热层厚度 δ	屋顶的总热阻 R_0	$t_{s, \max} - \bar{t}_n$		$\bar{\theta}_n$	v_0	ζ_0	$A_{t, n}$		$(\varphi_{t, n} + \zeta_0)$	$A_{t, n} / v_n$	β	$\theta_{n, \max}$	$t_{w, \max} + 1$	$\theta_{n, \max}$ 出现时间
			$R_0 \alpha_n$	v_0				v_n	$A_{t, n} / v_0$						
贵阳	70	0.604	1.046	9.118	29.45	4.92	2.138	2.428	0.54	1.14	0.99	33.97	33.7	17:55	
	80	0.649	0.974	10.133	29.37	5.283	1.928	2.428	0.9	1.26	0.99	33.68	33.7	18:17	
	90	0.697	0.907	11.178	29.31	5.658	1.744	2.428	1.27	1.39	0.98	33.4	33.7	18:39	
北京	70	0.604	1.109	9.118	32.81	4.92	2.095	2.597	0.54	1.24	0.99	37.46	37.3	17:56	
	80	0.649	1.032	10.133	32.73	5.283	1.885	2.597	0.9	1.33	0.99	37.17	37.3	18:17	
	90	0.697	0.961	11.178	32.66	5.658	1.709	2.597	1.27	1.52	0.98	36.88	37.3	18:39	
福州	60	0.554	1.093	8.054	33.49	4.554	2.411	2.71	0.17	1.12	0.99	38.56	38.2	17:33	
	70	0.604	1.002	9.118	33.4	4.92	2.13	2.71	0.54	1.27	0.99	38.19	38.2	17:55	
	80	0.649	0.933	10.133	33.33	5.283	1.917	2.71	0.9	1.41	0.99	37.91	38.2	18:17	
广州	90	0.697	0.831	11.178	33.43	5.658	1.566	1.694	1.27	1.08	0.98	36.62	36.6	18:39	
	100	0.744	0.778	12.297	33.38	6.023	1.424	1.694	1.64	1.19	0.974	36.42	36.6	19:01	
	110	0.792	0.731	13.558	33.33	6.395	1.291	1.694	2.01	1.31	0.97	36.23	36.6	19:24	
上海	80	0.649	0.933	10.133	33.63	5.283	1.755	1.92	0.9	1.09	0.98	37.23	37.1	18:17	
	90	0.697	0.869	11.178	33.57	5.658	1.591	1.92	1.27	1.21	0.98	37.08	37.1	18:39	
	100	0.744	0.814	12.297	33.51	6.023	1.446	1.92	1.64	1.33	0.98	36.61	37.1	19:01	
南京	80	0.649	0.967	10.133	34.47	5.283	1.819	2.03	0.9	1.16	0.98	38.24	38.1	18:17	
	90	0.697	0.9	11.178	34.4	5.658	1.649	2.03	1.27	1.23	0.98	38.01	38.1	18:39	
	100	0.744	0.843	12.297	34.34	6.023	1.499	2.03	1.64	1.35	0.973	37.77	38.1	19:01	
西安	60	0.554	1.076	8.054	34.88	4.554	2.276	2.597	0.17	1.14	0.98	39.66	39.4	17:83	
	70	0.604	0.987	9.118	34.79	4.92	2.01	2.597	0.54	1.29	0.98	39.30	39.4	17:55	
	80	0.649	0.919	10.133	34.72	5.283	1.809	2.597	0.9	1.44	0.98	39.04	39.4	18:17	
武汉	90	0.697	0.856	11.178	34.76	5.658	1.551	1.694	1.27	1.09	0.98	37.94	37.9	18:39	
	100	0.744	0.803	12.297	34.7	6.023	1.41	1.694	1.64	1.2	0.975	37.78	37.9	19:01	
	110	0.792	0.754	13.558	34.65	6.395	1.279	1.694	2.01	1.32	0.97	37.53	37.9	19:24	
郑州	60	0.554	1.056	8.054	35.06	4.554	2.286	2.71	0.17	1.19	0.98	39.96	39.8	17:83	
	70	0.604	0.968	9.118	34.97	4.92	2.019	2.71	0.54	1.34	0.98	39.60	39.8	17:55	
	80	0.649	0.901	10.133	34.9	5.283	1.817	2.71	0.9	1.49	0.98	39.34	39.8	18:17	
长沙	80	0.649	0.958	10.133	35.16	5.283	1.835	2.089	0.9	1.14	0.98	39.01	38.9	18:17	
	90	0.697	0.892	11.178	35.09	5.658	1.663	2.089	1.27	1.26	0.98	38.77	38.9	18:39	
	100	0.744	0.835	12.297	35.04	6.023	1.512	2.089	1.64	1.38	0.974	38.55	38.9	19:01	
重庆	70	0.604	1.008	9.118	35.71	4.92	2.056	2.372	1.58	1.15	0.975	40.03	39.9	17:55	
	80	0.649	0.938	10.133	35.64	5.283	1.85	2.372	1.95	1.28	0.97	39.74	39.9	18:17	
	90	0.697	0.874	11.178	35.57	5.658	1.677	2.372	2.31	1.41	0.96	39.46	39.9	18:39	

注: 1. 表中各符号的含义见3.4.1注。

2. 白水泥砂浆抹面的太阳辐射吸收系数 $\rho = 0.5$ 。

3. 计算所依据的屋顶夏季隔热计算参数, 详见表3.4.3。

120高小型空芯板二毡三油屋面，水泥膨胀蛭石隔热层，钢筋混凝土薄板架空层通风屋顶，当满足夏季隔热要求（即

表 3.4-14

$\theta_{n,max} < f_{w,max}$) 时，对广州等十一地区所需隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n,max}$ 出现的时间

地区	隔热层厚度 δ	屋顶的总热阻 R_0	$\bar{t}_{j,z} - \bar{t}_n$		θ_n	v_0	ζ_0	$A_{1,j,z}$		$(\varphi_{1,z} + \zeta_0)$	$A_{1,n} / v_n$		β	$\theta_{n,max}$	$f_{w,max}$	$\theta_{n,max}$ 出现时间
			$R_0 a_n$	v_0				v_n	$A_{1,j,z} / v_0$							
贵阳	30	0.495	0.591	7.127	28.99	4.694	1.657	2.216	0.66	1.34	0.99	32.82	18:12			
	40	0.542	0.54	8.175	28.91	5.038	1.445	2.216	1.01	1.53	0.99	32.56	18:32			
	50	0.59	0.496	9.317	28.9	5.395	1.268	2.371	1.36	1.75	0.987	32.34	18:54			
北京	30	0.495	0.426	7.127	32.13	4.694	1.741	2.371	0.661	1.36	0.99	36.2	18:12			
	40	0.542	0.389	8.175	32.09	5.038	1.518	2.474	1.01	1.56	0.99	35.94	18:32			
福州	30	0.495	0.366	7.127	32.77	4.694	1.764	2.474	0.661	1.4	0.99	36.97	18:12			
	40	0.542	0.334	8.175	32.73	5.038	1.538	2.474	1.01	1.61	0.99	36.7	18:32			
广州	40	0.542	0.209	8.175	32.81	5.038	1.865	2.474	1.01	1.13	0.98	35.56	18:32			
	50	0.59	0.192	9.317	32.79	5.395	1.198	2.474	1.36	1.29	0.984	35.49	18:54			
	60	0.638	0.178	10.563	32.78	5.759	1.057	2.474	1.73	1.46	0.975	35.32	19:16			
上海	30	0.495	0.257	7.127	32.96	4.694	1.614	1.753	0.661	1.09	0.98	36.26	18:12			
	40	0.542	0.235	8.175	32.94	5.038	1.407	1.753	1.01	1.25	0.98	36.04	18:32			
	50	0.59	0.216	9.317	32.92	5.395	1.234	1.753	1.36	1.42	0.984	35.86	18:54			
南京	30	0.495	0.292	7.127	33.79	4.694	1.667	1.856	0.66	1.11	0.98	37.24	18:12			
	40	0.542	0.267	8.175	33.77	5.038	1.453	1.856	1.01	1.28	0.98	37.01	18:32			
	50	0.59	0.245	9.317	33.75	5.395	1.275	1.856	1.36	1.46	0.984	36.83	18:54			

地区	隔热层厚度 δ	屋顶的总热阻 R_0	$\bar{t}_{j,z} - \bar{t}_n$		$\bar{\theta}_n$	v_0	ξ_0	$A_{t,j,z}$		$A_{t,n}$	$(\varphi_{t,j,z} + \xi_0) - (\varphi_{t,n} + \xi_0)$		$A_{t,j,z}/v_n$		β	$\theta_{n,max}$	$t_{w,max}$	$\theta_{n,max}$ 出现时间
			$R_0 a_0$	v_0				v_n	v_0		v_n							
西安	30	0.495	0.222	7.127	34.02	4.694	1.743	2.371	0.66	1.36	0.99	38.1	38.4	18:12				
	40	0.542	0.203	8.175	34	5.038	1.524	1.01	1.56	0.99	37.86	18:32						
武汉	40	0.542	0.152	8.175	34.05	5.038	1.386	1.01	1.12	0.98	36.92	18:32						
	50	0.59	0.14	9.317	34.04	5.395	1.216	1.36	1.27	0.984	36.76	18:54						
	60	0.638	0.129	10.563	34.03	6.750	1.073	1.73	1.44	0.976	36.59	19:16						
郑州	30	0.495	0.206	7.127	34.21	4.094	1.768	2.474	0.66	1.4	0.99	38.41	38.8	18:12				
	40	0.542	0.188	8.175	34.19	5.038	1.541	1.01	1.61	0.99	38.16	18:32						
长沙	30	0.495	0.266	7.127	34.47	4.694	1.692	0.66	1.13	0.98	38.0	18:12						
	40	0.542	0.243	8.175	34.44	5.038	1.475	1.01	1.29	0.99	37.79	18:32						
	50	0.59	0.224	9.317	34.42	5.395	1.294	1.36	1.47	0.985	37.57	18:54						
重庆	30	0.495	0.22	7.127	34.92	4.694	1.74	2.165	0.66	1.34	0.98	38.75	38.9	18:12				
	40	0.542	0.201	8.175	34.9	5.038	1.517	1.01	1.43	0.99	38.55	18:32						

注：1. 表中各符号的含义： v_0 ——通风间层综合温度波幅通过屋顶基层（即通风间层以下的屋顶部分）结构传至屋顶内表面时的总衰减倍数； v_n ——室内气温的波幅传至屋顶基层内表面时的衰减倍数； ξ_0 ——屋顶内表面（即基层内表面）温度最大值出现时间，对通风间层内综合温度最大值出现时间的延迟（小时）； ξ_n ——室内气温的波幅传至屋顶内表面时的时间延迟（小时）； $\varphi_{t,j,z}$ ——通风间层内综合温度最大值出现的时间，取 $\varphi_{t,j,z} = 13:30$ ； $\varphi_{t,n}$ ——室内气温最大值出现时间（通常取16:00）。其他各符号的含义详见3.4.1注。

2. 本表计算中考虑了天棚内表面20mm厚的水泥石灰砂浆抹面层。

3. 计算所依据的通风屋顶夏季隔热计算参数，见表3.4.1~表3.4.4。

大型屋面板二毡三油屋面，水泥膨胀蛭石隔热层，钢筋混凝土薄板架空层通风屋顶，当满足夏季隔热要求

(即 $\theta_{n,max} \leq t_{w,max}$) 时，对广州等十一地区所需隔热层厚度 δ 和 $\theta_{n,max}$ 出现的时间

表 3.4-1B

地区	隔热层厚度 δ	屋顶总热阻 R_0	$t_{i,i} - t_n$		$\bar{\theta}_n$	γ_0	ξ_0	$A_{1,i}$		$A_{1,n}$	$(\varphi_{1,i} + \xi_0)$		$A_{1,i}/\gamma_0$	β	$\theta_{n,max}$	$t_{w,max}$	$\theta_{n,max}$ 出现时间
			R_{0a}	R_{0b}				γ_0	γ_n		$-(\varphi_{1,n} + \xi_n)$	$A_{1,i}/\gamma_n$					
贵阳	40	0.419	0.698	0.504	29.1	4.314	2.46	2.453			-1.43	1.91	0.98	32.76		15:58	
	50	0.467	0.626	0.452	29.03	5.542	2.812	2.131	1.281		-1.07	1.66	0.99	32.41	32.7	16:19	
	60	0.515	0.588	0.41	28.97	6.348	3.171	1.86			-0.71	1.45	0.99	32.08		16:40	
北京	40	0.419	0.504	0.504	32.2	4.814	2.46	2.578			-1.43	1.83	0.98	36.07		15:58	
	50	0.467	0.452	0.452	32.15	5.542	2.812	2.239	1.371		-1.07	1.68	0.99	35.72	36.3	16:19	
	60	0.515	0.41	0.41	32.11	3.348	3.171	1.955			-0.71	1.43	0.99	35.38		16:40	
福州	40	0.419	0.432	0.432	32.38	4.814	2.46	2.611			-1.43	1.83	0.98	36.79		15:58	
	50	0.467	0.388	0.388	32.79	5.542	2.812	2.268	1.43		-1.07	1.59	0.99	36.45	37.2	16:19	
	60	0.515	0.352	0.352	32.75	6.348	3.171	1.98			-0.71	1.38	0.99	36.13		16:40	
广州	50	0.467	0.243	0.243	32.84	5.542	2.812	2.014			-1.07	2.59	0.98	36.92		16:19	
	60	0.515	0.22	0.22	32.32	6.348	3.171	1.758	0.894		-0.71	2.25	0.99	35.72	35.6	16:40	
	70	0.582	0.202	0.202	32.8	7.185	3.523	1.553			-0.36	1.97	0.99	35.45		17:01	
上海	40	0.419	0.304	0.304	33	4.814	2.46	2.388			-1.43	2.66	0.98	36.33		15:58	
	50	0.467	0.273	0.273	32.97	5.542	2.812	2.075	1.013		-1.07	2.05	0.99	36.03	36.1	16:19	
	60	0.515	0.247	0.247	32.95	6.348	3.171	1.812			-0.71	1.79	0.99	35.75		16:40	
南京	40	0.419	0.345	0.345	33.85	4.814	2.46	2.468			-1.43	2.3	0.98	37.32		15:58	
	50	0.467	0.309	0.309	33.81	5.542	2.812	2.144	1.073		-1.07	2.0	0.99	36.99	37.1	16:19	
	60	0.515	0.281	0.281	33.78	6.348	3.171	1.871			-0.71	1.74	0.99	36.69		16:40	

地区	隔热层厚度 δ	屋顶的总热阻 R_0	$\bar{t}_{1,z} - \bar{t}_n$		$\bar{\theta}_n$	v_0	ξ_0	$A_{t_{1,z}}$		$(\varphi_{t_{1,z}} + \xi_0) - (\varphi_{t_n} + \xi_n)$	$A_{t_{1,z}}/v_0$	β	$\theta_{n \cdot \max}$	$t_{w \cdot \max}$	$\theta_{n \cdot \max}$ 出现时间
			$R_0 a_n$	R_0				v_0	v_n						
西安	40	0.419	0.263	34.06	4.814	2.46	2.588	1.89	-1.43	1.89	0.98	37.94		15:58	
	50	0.467	0.236	34.04	5.542	2.812	2.248	1.64	-1.07	1.64	0.99	37.62	38.4	16:19	
	60	0.515	0.214	34.01	6.348	3.171	1.963	1.43	-0.71	1.43	0.99	37.31		16:40	
武汉	50	0.467	0.197	34.1	5.542	2.812	2.044	2.29	-1.07	2.29	0.99	36.99		16:19	
	60	0.515	0.177	34.08	5.348	3.171	1.785	1.99	-0.71	1.99	0.99	36.71	36.9	16:40	
	70	0.562	0.16	34.06	7.185	3.523	1.577	1.26	-0.36	1.26	0.99	36.50		17:01	
郑州	40	0.419	0.244	34.24	4.814	2.46	2.617	1.83	-1.43	1.83	0.98	38.21		15:58	
	50	0.467	0.219	34.22	5.542	2.812	2.274	1.59	-1.07	1.59	0.99	37.89	38.8	16:19	
	60	0.515	0.198	34.20	6.348	3.171	1.965	1.39	-0.71	1.39	0.99	37.58		16:40	
长沙	40	0.419	0.315	34.52	4.814	2.46	2.505	2.27	-1.43	2.27	0.98	38.06		15:58	
	50	0.467	0.282	34.48	5.542	2.812	2.176	1.97	-1.07	1.97	0.99	37.73	37.9	16:19	
	60	0.515	0.256	34.46	6.348	3.171	1.9	1.72	-0.71	1.72	0.99	37.43		16:40	
重庆	40	0.419	0.26	34.96	4.814	2.46	2.576	2.06	-1.43	2.06	0.98	38.71		15:58	
	50	0.467	0.233	34.93	5.542	2.812	2.237	1.79	-1.07	1.79	0.99	38.38	38.9	16:19	
	60	0.515	0.212	34.91	6.348	3.171	1.953	1.56	-0.71	1.56	0.99	38.08		16:40	

注: 1. 表中各符号的含义见3.4.1注。
 2. 表中 $(\varphi_{t_{1,z}} + \xi_0) - (\varphi_{t_n} + \xi_n)$ 为负值表示屋顶内表面温度最大值出现的时间可能在室内气温最大值出现的时间之前。
 3. 计算所依据的通风屋顶夏季隔热计算参数, 详见表3.4.1~表3.4.4。
 4. 表中 $A_{t_{1,z}}/v_0$ 与 A_{t_n}/v_n 的比值, 按规定, 数值较大者为分子, 故在本表中 β 之比值为 $(A_{t_{1,z}}/v_0) : (A_{t_n}/v_n)$ 。

注:

1. 在以上各计算表中, 除给出了最终结果之外, 还给出了有关数据, 对每个地区给出了三组数值, 中间一组作为推荐值。

2. 当屋顶构造与本表不同时, 需另行计算, 但当屋顶各层构造相同, 仅隔热层材料不同, 或者, 同样有钢筋混凝土薄板和架空层的通风屋顶, 但屋面板不是小型空心板而是大型空心板或现浇钢筋混凝土板时, 都可按隔热层热阻相等的原则, 按有关屋顶隔热计算表决定所需隔热层厚度, 只是 D 值不同。如以加气混凝土代水泥膨胀蛭石; 对通风屋顶, 以大型空心板代小型空心板, 其结果更偏于安全。

3. 表中只包括了十一个地区, 如为其他地区时应另行计算。也可根据地理位置和夏季室外气象资料相近的原则, 近似地参照表中某一地区结果进行隔热。

4. 对夏季炎热冬季寒冷的地区, 屋顶保温层的厚度, 应按夏季隔热冬季保温要求计算, 取其厚者。

5. 从表中看出: 通风屋顶的隔热效果最好, 二毡三油防水层上抹白水泥砂浆反射屋顶次之, 仅靠隔热层隔热的屋顶最差。

6. 通风屋顶的隔热效果最好, 但必须保证通风间层内的空气流畅, 因此间层的净高不得小于 200mm, 必须有进风口和排风口, 且风道不宜过长。

3.5 供暖建筑围护结构的防潮设计

防潮设计的主要任务是: 对围护结构内部冷凝受潮情况进行验算, 使供暖期间围护结构中保温材料因内部冷凝受潮而增加的湿度, 不超过表 3.1-22 中所列的允许增量。

验算的方法 根据供暖期保温层内重量湿度允许增量, 计算冷凝界面内侧所需的蒸汽渗透阻。

验算的部位 为不带通风间层 (或阁楼空间), 外侧有卷材或其他防水层的屋顶结构, 以及保温层外侧有密实保护层的多层墙体结构, 当内侧结构层为加气混凝土和砖等多孔材料时, 都要进行验算。

3.5.1 防潮验算方法

1. 根据湿度允许增量冷凝界面内侧所需的蒸汽渗透阻 $H_{0,n}$ [$(m^2 \cdot h \cdot Pa) / g$]

$$H_{0,n} = \frac{P_n - P_{b,r}}{\frac{10 \rho \delta_n [\Delta \omega]}{24 Z} + \frac{P_{b,r} - P_w}{H_{0,w}}} \quad (3.5-1)$$

式中 $H_{0,w}$ —— 冷凝计算界面至围护结构外表面之间的蒸汽渗透阻, $m^2 \cdot h \cdot Pa / g$;

P_n —— 室内空气水蒸汽分压力, Pa, 根据室内温湿度确定, 由表 3.1-23 查取;

P_w —— 室外空气水蒸汽分压力, Pa, 根据表 3.1-3 供暖期室外平均温度和平均相对湿度及表 3.1-23 确定;

$P_{b,r}$ —— 冷凝计算界面处与界面温度 θ_j 对应的饱和水蒸汽分压力, Pa, 冷凝计算界面温度 θ_j ($^{\circ}C$) 按下式计算:

$$\theta_j = t_n - \frac{t_n - t_w}{R_0} (R_n - R_{0,n}) \quad (3.5-2)$$

式中 t_n —— 室内计算温度, $^{\circ}C$;

\bar{t}_w ——供暖期室外平均温度, °C, 见表3.1-3;

R_0, R_n ——分别为围护结构传热阻和内表面换热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;

$R_{0,n}$ ——冷凝计算界面至围护结构内表面之间的热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;

Z ——供暖期天数, 见表3.1-3;

$[\Delta\omega]$ ——供暖期间保温材料重量湿度允许增量, %, 见表3.1-22;

ρ ——保温材料干密度, kg/m^3 ;

δ_n ——保温材料厚度, m。

2. 对不设通风口的阁楼屋顶, 其屋顶部分的蒸汽渗透阻 $H_{0,n}$ 应满足下式要求

$$H_{0,n} \geq 1.2(P_n - P_w) \quad (3.5-3)$$

式中 $H_{0,n}$ ——为顶棚部分蒸汽渗透阻, $m^2 \cdot h \cdot Pa/g$, 单一材料层的蒸汽渗透阻 H ($m^2 \cdot h \cdot Pa/g$);

$$H = \frac{\delta}{\mu} \quad (3.5-4)$$

式中 δ ——材料层厚度, m;

μ ——材料的蒸汽渗透系数, $g/(m \cdot h \cdot Pa)$, 见表3.1-21。

对多层结构的蒸汽渗透阻按各层蒸汽渗透阻之和确定。封闭空气间层, 其蒸汽渗透阻取零。各种薄片材料和涂层的蒸汽渗透阻, 见表3.1-21。

3.5.2 几种常用卷材屋面屋顶的验算

为了使计算结果具有通用性, 将全国供暖区主要城市按室外气象参数相近的原则归纳成20种类型见表3.5-1, 然后再按建筑物类别进行计算。

验算的原则, 根据(3.5-1)式设:

由室内空气渗入到围护结构中的水蒸汽量为 A ,

$$A = \frac{P_n - P_{b,t}}{H_{0,n}} \cdot 24Z \quad (3.5-5)$$

从围护结构中向室外空气渗出的水蒸汽量为 B ,

$$B = \frac{P_{b,t} - P_w}{H_{0,w}} \cdot 24Z \quad (3.5-6)$$

保温材料的允许重量湿度增量为 C ,

$$C = 10 \cdot \rho \cdot \delta_n \cdot [\Delta\omega] \quad (3.5-7)$$

当 $A - B < C$ 时, 则保温材料内部不会受潮。验算结果列于表3.5-2~表3.5-4。

注:

1. 受潮验算是以整个供暖期为周期进行的, 并且假设在供暖期开始前, 保温层的吸附湿度为正常湿度, 即当空气的相对湿度为60%时, 保温层材料的吸附湿度。

2. 对常年使用的浴室, 不符合上述假设, 因此验算表中不包括此类房屋。

3. 保温层在施工过程中受潮严重, 会使湿度大大增加, 允许的湿度增量 $[\Delta\omega]$ 减少, 会出现按计算不会产生内部凝结而实际却出现凝结的情况, 这种情况可能会延续数年, 直到保温层的吸附湿度排除到正常值为止。

4. 各类建筑物室内温度, 都按 $t_n = 18^\circ C$ 考虑。

全国供暖区主要城市供暖期室外气象参数分类表 表 3.6-1

气象资料编号	地 名	供暖室外计算温度 $t_w = t_{st}$	供暖期平均室外气象参数				备 注
			天 数 Z	气 温 \bar{t}_w	相对湿度 ϕ_w	水蒸汽分压力 P_w	
1	哈尔滨、佳木斯、安达、齐齐哈尔	-26	179	-10	0.65	168.986	
2	牡丹江、吉林	-25	175	-9.6	0.65	174.185	
3	长春、四平、通化	-23	170	-8.4	0.65	194.117	
4	乌鲁木齐	-22	162	-8.5	0.75	221.981	
5	抚顺、呼和浩特	-20	160	-6.6	0.60	210.382	
6	沈阳、本溪、鞍山	-19	152	-5.4	0.60	232.78	
7	张家口、张掖、石嘴山	-16	154	-5	0.50	200.65	
8	锦州、银川、承德	-15	146	-4.5	0.52	217.688	
9	西宁	-13	162	-3.3	0.50	231.98	
10	大连、太原	-12	135	-2.4	0.57	264.976	
11	兰州、秦皇岛	-11	135	-2.8	0.60	290.375	
12	唐山	-10	129	-2	0.55	264.509	
13	北京、天津、阳泉、保定	-9	124	-1.6	0.54	288.695	
14	石家庄、淄博	-9	114	-0.5	0.59	346.104	
15	天水、青岛	-7	117	-0.2	0.67	402.859	
16	济南、邯郸、安阳	-7	106	0.5	0.60	379.968	
17	徐州、连云港	-5	93	1	0.63	414.085	
18	西安、新乡	-5	102	1	0.65	427.23	
19	宝鸡、开封	-5	102	1.2	0.63	419.984	
20	郑州、信阳	-5	100	1.5	0.58	395.14	

120高小型空心板二毡三油屋面水泥膨胀珍珠岩保温屋顶层隔汽层验算

表 3.5-2

气象资料编号	房屋类别	屋顶层厚度 δ_n	屋顶层保温总热阻 R_0	$R_n + R_{0,n}$	θ_i	$P_{b,i}$	$H_{0,n}$	$\frac{P_n - P_{b,i}}{H_{0,n}} \times 24Z = A$	$\frac{P_{b,i} - P_w}{H_{0,w}} \times 24Z = B$	$10 \cdot \rho \cdot \delta_n \times [\Delta w] = C$	A-B	隔汽层类别	备注
1	一	230	1.318	1.216	-7.83	313.84	2942.65	1500.28	142.88	5620	1357.4	勿需隔汽层	(1) 屋顶层总热阻 R_0 和冷凝计算界面内侧的蒸汽渗透阻 $H_{0,n}$ 值中均包括了20厚的天棚水泥石灰砂浆抹面层之值 (2) 钢筋混凝土的蒸汽渗透系数是按苏联规范取值的, 其 $\mu = 0.0000158 \text{ g}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$ (3) 小型空心板的蒸汽渗透阻系按板的外廓尺寸不变, 将圆孔化为等断面的方孔后取上下层板厚之和计算的, 即未考虑无孔部分对板的蒸汽渗透阻值的影响, 这是因为蒸汽在渗透中总是按阻力最小的途径进行的, 故无孔部分虽有影响但影响不大, 小型空心板的蒸汽渗透阻为 $0.046 : 0.0000158 = 2911.39 (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}) / \text{g}$ (4) 冷凝计算界面至围护结构外表面之间的蒸汽渗透阻 $H_{0,w} = 4355.12 (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}) / \text{g}$
	二	190	1.152	1.05	-7.52	323.44	2733.23	1437.93	152.35	4560	1285.58	"	
	三	150	0.985	0.885	-7.1	334.64	2523.8	1538.19	163.4	3600	1374.79	"	
	四	200	1.193	1.091	-7.61	320.07	2785.58	1733.02	149.92	4800	1583.1	"	
	五	260	1.443	1.841	-7.53	323.17	3099.72	2844.81	152.09	6240	2692.72	"	
	六	220	1.277	1.175	-7.41	326.64	2890.29	1474.72	147.02	5280	1372.7	"	
2	一	180	1.11	1.008	-7.06	335.7	2680.87	1414.05	155.76	4320	1258.29	"	
	二	140	0.943	0.841	-6.61	350.3	2471.45	1509.06	169.84	3360	1339.22	"	
	三	190	1.152	1.05	-7.16	333.04	2733.23	1708.2	153.19	4560	1555.01	"	
	四	240	1.36	1.258	-7.01	337.04	2995.01	2859.02	157.05	5760	2701.97	"	
	五	210	1.235	1.133	-6.22	361.97	2837.94	1408.22	157.25	5040	1205.97	"	
	六	180	1.11	1.008	-5.97	368.97	2680.87	1323.01	163.8	4320	1159.21	"	
3	一	140	0.943	0.841	-5.54	383.3	2471.45	1411.47	177.23	3360	1234.24	"	
	二	180	1.11	1.008	-5.97	368.97	2680.87	1637.12	163.8	4320	1473.32	"	
	三	240	1.36	1.258	-5.9	371.3	2995.01	2730.67	165.99	5760	2564.68	"	
	四	210	1.235	1.133	-6.31	358.97	2837.94	1346.06	122.3	5040	1223.76	"	
	五	180	1.11	1.008	-6.06	366.37	2680.87	1264.52	128.9	4320	1135.62	"	
	六	240	1.36	1.258	-5.99	368.3	2995.01	2606.06	130.63	5760	2475.43	"	
4	一	200	1.193	1.091	-4.5	418.63	2785.58	1272.19	183.62	4800	1088.57	"	
	二	180	1.11	1.008	-4.34	424.63	2680.87	1165.45	189.91	4320	976.55	"	
	三	130	0.902	0.8	-3.82	444.5	2419.09	1260.04	206.43	3120	1053.61	"	
	四	170	1.068	0.966	-4.52	427.63	2628.51	1485.81	191.55	4080	1294.26	"	
	五	220	1.277	1.175	-4.08	434.1	2890.29	2679.71	197.26	5280	2382.45	"	
	六	180	1.11	1.008	-3.25	465.96	2680.87	1191.38	195.32	4320	996.06	"	
5	一	160	1.027	0.925	-3.08	472.76	2576.16	1084.04	201.02	3840	883.02	"	
	二	120	0.86	0.758	-2.62	383.96	2366.73	1316.83	126.63	2880	1190.2	"	
	三	160	1.027	0.925	-3.08	472.76	2576.16	1376.3	201.02	3840	1175.28	"	
	四	210	1.235	1.133	-2.89	480.36	2837.94	2436.48	207.38	5040	2229.1	"	
	五	180	1.11	1.008	-3.25	465.96	2680.87	1191.38	195.32	4320	996.06	"	
	六	210	1.235	1.133	-2.89	480.36	2837.94	2436.48	207.38	5040	2229.1	"	

表 3.5-3

120高小型空心板二毡三油屋面水泥膨胀蛭石保温层屋顶隔汽层验算

气象资 料编号	房屋 类别	屋顶保温 层厚度 δ_n	屋顶的总 热阻 R_0	$R_n + R_{0,n}$	θ_j	$P_{b,t}$	$H_{0,n}$	$\frac{P_n - P_{b,t}}{H_{0,n}} \times$ $24Z = A$	$\frac{P_{b,t} - P_{w,w}}{H_{0,w}} \times$ $24Z = B$	$10 \cdot \rho \cdot \delta_n \times$ $[A \cdot B] \cdot$ $= C$	A-B	隔汽层 类别	备 注
8	一	140	1.027	0.925	-2.27	506.02	2360.68	1086.92	231.98	2940	854.94	勿需隔汽层	(1) 符号见(3.5-1)式 (2) 水泥膨胀蛭石的蒸 汽渗透系数, 在《规程》、 《规范》中没有, 本表在计算 中, 按有关单位建议, 取水 泥膨胀蛭石的 $\mu = 0.000225g/(m \cdot h \cdot Pa)$ (对 $\rho = 350kg/m^3$ 者)
	二	120	0.931	0.829	-2.03	516.09	2271.79	1113.91	240.08	2520	873.83	"	
	三	80	0.741	0.639	-1.4	543.95	2094.02	1161.86	262.5	1680	899.36	"	
	四	120	0.931	0.829	-2.03	516.09	2271.79	1432.25	240.08	2520	1192.17	"	
	六	170	1.17	1.068	-1.93	520.56	2494.02	2606.54	243.68	3570	2362.86	"	
	三	130	0.979	0.877	-0.27	598.02	2316.24	895.62	232.89	2730	682.73	"	
10	一	100	0.836	0.734	0.09	614.61	2182.9	925.71	245.23	2100	690.48	"	
	三	70	0.693	0.591	0.6	638.61	2049.57	947.89	263.08	1470	684.91	"	
	四	110	0.884	0.782	-0.05	608.28	2227.35	1216.66	240.52	2310	976.14	"	
	六	150	1.074	0.972	0.2	619.95	2405.13	2365.34	249.2	3150	2116.14	"	
	一	130	0.931	0.829	-0.52	585.55	2271.79	930.93	219.59	2520	711.34	"	
	三	100	0.836	0.734	-0.26	598.48	2182.9	949.65	228.21	2100	720.44	"	
11	一	70	0.693	0.591	0.26	622.35	2049.57	973.69	246.97	1470	726.72	"	
	四	100	0.836	0.734	-0.26	598.48	2182.9	1255.98	229.21	2100	1026.77	"	
	六	150	1.074	0.972	-0.16	603.15	2405.13	2387.97	232.69	3150	2155.28	"	
	一	110	0.884	0.782	0.66	641.01	2227.35	798.04	240.75	2310	557.29	"	
	二	90	0.789	0.687	0.93	653.54	2138.46	813.77	249.31	1890	584.46	"	
	三	60	0.646	0.544	1.49	680.74	2005.13	827.51	267.89	1260	559.62	"	
13	一	100	0.836	0.734	0.79	647.41	2182.9	1086.94	245.12	2100	841.82	"	
	六	140	1.027	0.925	1.04	659.88	2360.68	2164.44	252.96	2940	1911.48	"	
	一	100	0.836	0.734	2.02	706.34	2182.9	684.28	195.67	2100	488.61	"	
	二	80	0.741	0.639	2.31	721.27	2094.02	693.3	205.3	1680	488	"	
	三	50	0.598	0.496	2.9	753.27	1960.68	694.62	225.93	1050	468.69	"	
	六	130	0.979	0.877	2.43	721.27	2094.02	970.06	205.3	1680	784.76	"	
15	一	100	0.836	0.734	2.02	706.34	2182.9	684.28	195.67	2100	488.61	"	
	二	80	0.741	0.639	2.31	721.27	2094.02	693.3	205.3	1680	488	"	
	三	50	0.598	0.496	2.9	753.27	1960.68	694.62	225.93	1050	468.69	"	
	四	90	0.741	0.639	2.31	721.27	2094.02	970.06	205.3	1680	784.76	"	
	六	130	0.979	0.877	2.43	728.2	2316.24	1997.4	209.77	2730	1757.63	"	
	17	一	90	0.789	0.687	3.2	769.27	2138.46	489.54	182.03	1890	307.51	"
二		70	0.693	0.591	3.5	785.27	2049.57	493.34	190.23	1470	308.11	"	
三		40	0.55	0.448	4.15	821.93	1916.22	484.97	208.02	840	275.95	"	
四		70	0.693	0.591	3.5	785.27	2049.57	718.1	190.23	1470	527.87	"	
六		110	0.884	0.782	3.77	800.6	2227.35	1578.49	195.09	2310	1380.4	"	

气象资料编号	房屋类别	屋顶保温层厚度 δ_n	屋顶的总热阻 R_0	$R_n + R_{0,n}$	θ_1	$P_{b,t}$	$H_{0,n}$	$\frac{P_n - P_{b,t}}{H_{0,n}} \times 24Z = A$	$\frac{P_{b,t} - P_w}{H_{0,w}} \times 24Z = B$	$10 \cdot \rho \cdot \delta_n \times [\Delta\omega] = C$	A-B	隔汽层类别	备注
18	一	90	0.789	0.687	3.2	769.27	2138.46	536.91	192.26	1890	344.65	无需隔汽层	
	二	70	0.693	0.591	3.5	785.27	2049.57	541.09	201.25	1470	339.84	"	
	三	50	0.598	0.496	3.9	807.93	1960.68	537.32	213.99	1050	323.33	"	
	四	90	0.741	0.639	3.34	776.73	2094.02	780.86	196.45	1680	584.41	"	
	六	120	0.931	0.829	3.63	792.2	2271.79	1706.43	205.15	2520	1561.28	"	
	20	一	90	0.789	0.687	3.63	792.2	2138.46	500.65	218.81	1980	281.84	"
二		70	0.693	0.591	3.93	809.53	2049.57	502.07	228.36	1470	273.71	"	
三		40	0.55	0.448	4.56	845.79	1916.22	491.59	248.34	840	243.25	"	
四		70	0.693	0.591	3.93	809.53	2049.57	743.75	228.36	1470	515.39	"	
六		110	0.884	0.782	4.21	825.26	2227.35	1670.73	237.03	2310	1433.7	"	

四类房屋大型屋面板二毡三油屋面水泥膨胀珍珠岩保温层 (对气象资料编号 1 ~ 6) 和

水泥膨胀蛭石保温层 (对气象资料编号 8 ~ 20) 屋顶隔汽层验算

表 3.5-4

气象资料编号	房屋类别	屋顶保温层厚度 δ_n	屋顶的总热阻 R_0	$R_n + R_{0,n}$	θ_1	$P_{b,t}$	$H_{0,n}$	$\frac{P_n - P_{b,t}}{H_{0,n}} \times 24Z = A$	$\frac{P_{b,t} - P_w}{H_{0,w}} \times 24Z = B$	$10 \cdot \rho \cdot \delta_n \times [\Delta\omega] = C$	A-B	隔汽层类别	备注
1	四	230	1.187	1.085	-7.59	321.57	2844.09	1696.46	159.51	5520	1545.95	无需隔汽层	(1) 符号说明见 (3.5-1) 式 (2) 见 3.5.2 验算的原则 (3) 因为表 3.3-1 中的四类房屋为室内相对湿度较大 ($\phi_n = 70\%$) 的房屋,且大多有腐蚀性介质,故在大型屋面底部考虑了有油漆二道饰面其蒸汽渗透阻为 $639.9(m^2 \cdot h \cdot Pa) / B_n$
2		220	1.146	1.044	-7.143	333.49	2791.78	1671.69	153.63	5280	1518.06	"	
3		220	1.146	1.044	-6.05	366.64	2791.78	1575.48	161.62	5280	1413.86	"	
4		220	1.146	1.044	-6.14	364.24	2791.78	1504.69	127.0	5280	1377.69	"	
5		220	1.146	1.044	-4.41	422.23	2791.78	1406.35	186.79	5280	1219.56	"	
6		190	1.021	0.919	-3.06	473.56	2634.66	1344.63	201.69	4560	1142.94	"	
8		150	0.943	0.841	-2.07	514.49	2306.57	1413.09	238.8	3150	1174.29	"	
10		130	0.848	0.746	0.05	612.61	2217.68	1215.64	243.74	2730	971.9	"	
11		130	0.848	0.746	-0.3	596.62	2217.68	1239.0	227.83	2730	1011.17	"	
13		120	0.8	0.698	0.9	651.94	2173.23	1085.57	248.21	2520	837.36	"	
15		110	0.753	0.651	2.27	719.67	2128.79	956.33	204.27	2310	752.06	"	
17		100	0.705	0.603	3.46	783.13	2084.34	708.42	189.13	2100	519.29	"	
18		100	0.705	0.603	3.46	783.13	2084.34	776.97	200.05	2100	576.92	"	
20		100	0.705	0.603	3.89	807.93	2084.34	733.18	227.48	2100	505.7	"	

第四章 供暖设计

4.1 供暖热负荷计算

4.1.1 民用建筑供暖设计热负荷计算

1. 通过围护物的温差传热量用下式计算

$$Q_j = KF(t_n - t_w)a \quad (4.1-1)$$

式中 Q_j ——通过供暖房间某一面围护物的温差传热量(或称基本耗热量), W;

K ——该面围护物的传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

F ——该面围护物的散热面积, m^2 ;

t_n ——室内空气计算温度, 见表4.1-1, $^\circ C$;

t_w ——室外供暖计算温度, $^\circ C$;

a ——温差修正系数。

当围护物是贴土的非保温地面时, 其温差传热量为 $Q_{j,d}$ (W), 用下式计算:

$$Q_{j,d} = K_{pj,d} F_d (t_n - t_w) \quad (4.1-2)$$

式中 $K_{pj,d}$ ——房间非保温贴土地面的平均传热系数, 见表4.1-2及表4.1-3, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

F_d ——房间地面面积, m^2 。

高层建筑外窗的传热系数随高度的增加而增加, 表4.1-4给出了增加以后的 K_j 值, 将此 K_j 值代入式(4.1-1)计算窗户的温差传热量。

民用建筑供暖室内计算温度

表 4.1-1

序号	房间名称	室内温度 ($^\circ C$)	序号	房间名称	室内温度 ($^\circ C$)
一、居住建筑			三、幼儿建筑		
1	饭店、宾馆的卧室	20	1	儿童活动室	18
2	起居室	20	2	儿童厕所	18
3	住宅、宿舍的卧室	18	3	儿童盥洗室	18
4	起居室	18	4	婴儿室	20
5	厨房	10	5	医务室	20
6	走廊	16	四、学校		
7	厕所	15	1	教室	16
8	浴室	25	2	实验室	16
9	盥洗室	18	3	礼堂	16
二、医疗建筑			4	医务室	18
1	病房(成人)	20	5	图书馆	16
2	病房(儿童)	22	五、影剧院		
3	厕所(病人)	20	1	观众厅	16
4	浴室	25	2	休息厅	16
5	诊室	20	3	放映室	15
6	办公室	18	4	舞台、化妆	18
7	工作人员厕所	16	5	吸烟室	14

续表

序号	房间名称	室内温度 (°C)	序号	房间名称	室内温度 (°C)
6	售票大厅	12	2	厨房加工	16
	六、商业建筑		3	储存 干货	12
1	营业室 百货	15	4	蔬菜	8
2	鱼肉	10	5	酒	12
3	杂活副食	12	6	小冷库	2~4
4	储藏室 鱼肉	5	7	洗碗间	20
5	米面	10		十、洗澡、理发	
6	百货	12	1	更衣	22
	七、体育建筑		2	淋浴、浴池	25
1	比赛厅	16	3	过厅	25
2	休息厅	16	4	蒸汽浴	40
3	练习厅	16	5	理发室	18
4	运动员更衣室	22		十一、交通、通讯建筑	
5	运动员休息室	20	1	火车站候车厅	16
6	游泳馆	26	2	售票厅	16
	八、图书建筑		3	汽车站	16
1	书报资料室	16	4	广播、电视台的演播室	20
2	阅览室	18	5	技术用房	20
3	目录厅	16		十二、其它	
4	出纳厅	16	1	公共建筑的门厅	14
5	胶卷库	15	2	走廊	14
	九、公共饮食建筑		3	公共食堂	16
1	小吃餐厅	16			

当房间仅有一面外墙时的 K_{pj-d} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

表 4.1-2

房间宽度(进深) (m)	3.0~3.6	3.9~4.5	4.8~6.0	6.6~8.4	9
K_{pj-d}	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20

注: 具有两面不相邻外墙的房间, 应将房间分割为两个彼此相等, 各具一面外墙的部分, 使用此 K_{pj-d} 。

当房间具有两面相邻外墙时的 K_{pj-d} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

表 4.1-3

房间长度(开间) (m)	房间宽度(进深) (m)					
	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0
3.0	0.65	0.60	0.57	0.55	0.53	0.52
3.6	0.60	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48
4.2	0.57	0.54	0.52	0.49	0.47	0.46
4.8	0.55	0.52	0.49	0.47	0.45	0.44
5.4	0.53	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41
6.0	0.52	0.48	0.46	0.44	0.41	0.40

注 1. 当房间长或宽度超出6m时, 超出部分可按表4.1-2查 K_{pj-d} ;

2. 当房间有三面外墙时, 需将房间先划分为两个相等的部分, 每部分包含一个冷拐角。然后, 据分割后的长与宽, 使用本表;

3. 当房间有四面外墙时, 需将房间先划分为四个相等的部分, 作法同2。

高层建筑窗户的计算传热系数 K_j ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

表 4.1-4

外窗中心距室外 地坪高度 (m)	单层金属窗 $K = 6.4$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)				双层金属窗 $K = 3.26$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)			
	当地室外风速 (m/s)				当地室外风速 (m/s)			
	3	4	5	6	3	4	5	6
1.5	6.4	6.4	6.4	6.6	3.26	3.3	3.3	3.3
4.5	6.4	6.4	6.7	6.8	3.3	3.3	3.3	3.4
7.5	6.4	6.5	6.8	6.9	3.3	3.3	3.4	3.4
10.5	6.4	6.6	6.8	7.0	3.3	3.3	3.4	3.4
13.5	6.4	6.7	6.8	7.0	3.3	3.3	3.4	3.4
16.5	6.4	6.7	6.9	7.1	3.3	3.3	3.4	3.4
19.5	6.5	6.7	7.0	7.1	3.3	3.4	3.4	3.5
22.5	6.5	6.8	7.0	7.2	3.3	3.4	3.4	3.5
25.5	6.5	6.8	7.0	7.2	3.3	3.4	3.4	3.5
28.5	6.5	6.8	7.0	7.2	3.3	3.4	3.4	3.5
31.5	6.5	6.8	7.0	7.2	3.3	3.4	3.4	3.5
34.5	6.5	6.8	7.0	7.2	3.3	3.4	3.4	3.5
37.5	6.6	6.8	7.1	7.2	3.3	3.4	3.4	3.5
40.5	6.6	6.8	7.1	7.3	3.3	3.4	3.4	3.5
43.5	6.6	6.9	7.1	7.3	3.3	3.4	3.4	3.5
46.5	6.6	6.9	7.1	7.3	3.3	3.4	3.5	3.5
49.5	6.6	6.9	7.2	7.3	3.3	3.4	3.5	3.5
52.5	6.7	6.9	7.2	7.3	3.3	3.4	3.5	3.5
55.5	6.7	6.9	7.2	7.4	3.3	3.4	3.5	3.5
58.5	6.7	7.0	7.2	7.4	3.3	3.4	3.5	3.5

注：当室外风速小于3m/s时， $K_j = K$ 。

2. 附加耗热量

附加耗热量按基本耗热量的百分率计算。考虑了各项附加以后，某面围护物的耗热量 Q_1 (W)：

$$Q_1 = Q_j (1 + \beta_{ch} + \beta_r + \beta_{li} + \beta_m) (1 + \beta_{t.g}) (1 + \beta_j) \tag{4.1-3}$$

式中 β ——附加率（或称修正率），见表4.1-5。

外墙、外窗和屋顶（平）的单位面积传热量 q_1 (W/m^2) 详见表4.1-6。

3. 通过门窗缝隙的冷风渗透耗热量 Q_s (W)

$$Q_s = 0.28 c_p V \rho_w (t_n - t_w) \tag{4.1-4}$$

式中 c_p ——干空气的定压质量比热容， $c_p = 1.0056$ kJ/(kg·°C)；

ρ_w ——室外温度下的空气密度，kg/m³；

V ——渗透空气的体积流量，m³/h；

t_n, t_w ——室内外供暖计算温度，°C。

当 $V = 1$ m³/h时的 Q_s 值见表4.1-7。

(1) V 的确定：

$$V = \Sigma (l L m) \tag{4.1-5}$$

式中 l ——房间某朝向上的门窗缝隙长度，m；

L ——每m门窗缝隙的基准渗风量，m³/h·m；

m ——门窗缝隙的冷风量综合修正系数，详见下述及表4.1-11。

(2) L 的确定：

附加率表 (修正率表)

表 4.1-5

序号	附加(修正)项目	附加率(修正率)(%)	备注
1	朝向修正 β_{ch} 北、东北、西北 东、西 东南、西南 南	0~10 -5 -10~-15 -15~-30	1.当围护物倾斜放置时,取其垂直投影面的朝向和面积 2.选用 β_{ch} 值应考虑当地冬季日照率、辐射照度、建筑物使用和被遮挡等情况 3.冬季日照率 < 35% 时,东南、西南和南向的 β_{ch} 宜为 -10~0%,东、西向可不修正
2	风力修正 β_f	5~10	仅用于高地,海边,海岸,旷野
3	两面外墙修正 β_l	5	仅用于外墙,外门,外窗
4	窗墙面积比过大修正 β_m	10	当窗墙面积比大于1:1时,仅对外窗
5	房高附加 β_{fg}	$0.02(h-4) < 15\%$	h : 房间净高, m; 对外墙,外窗,外门,地面和顶棚均适用,不适用于楼梯间
6	间歇附加 β_j 仅白天供暖 不经常使用	20 30	对外墙,外窗,外门,地面,顶棚均适用

考虑朝向修正后单位面积围护结构传热耗热量 q_1 (W/m^2)

表 4.1-6

城市	围护结构		在 t_n 及 β_{ch} 下							
	名称	传热系数 ($W/m^2 \cdot K$)	$t_n = 18^\circ C$				$t_n = 16^\circ C$			
			E	S	W	N	E	S	W	N
北京、 天津	外墙	1.0	26	19~23	26	27~30	24	18~21	24	25~28
		1.2	31	23~28	31	32~36	29	21~26	29	30~33
		1.4	36	26~32	36	38~42	33	25~30	33	35~39
		1.6	41	30~37	41	43~48	38	28~34	38	40~44
		1.8	46	34~41	46	49~53	43	32~38	43	45~50
	外窗、 阳台门	5.82	149	110~134	149	157~173	138	102~124	138	146~160
		6.40	164	121~147	164	173~190	152	112~136	152	160~176
	屋顶	0.8				21~22				19~20
		0.9				23~24				21~23
		1.0				26~27				24~25
1.1					28~30				26~28	
1.2					31~32				29~30	
太原	外墙	0.8	23	17~20	23	24~26	21	16~19	21	22~25
		1.0	29	21~26	29	30~33	27	20~24	27	28~31
		1.2	34	25~31	34	36~40	32	24~29	32	34~37
		1.4	40	29~36	40	42~46	37	27~33	37	39~43
		1.6	46	34~41	46	48~53	43	31~38	43	45~49
	外窗、 阳台门	5.82	166	122~148	166	175~192	155	114~139	155	163~179
		6.4	182	134~163	182	192~211	170	125~152	170	179~197
		2.68	76	56~68	76	80~88	71	53~64	71	75~83
		3.26	93	68~83	93	98~108	87	64~78	87	91~100

续表

城市	围护结构		在 t_n 及 β_{ch} 下							
	名称	传热系数 (W/m ² ·K)	$t_n = 18^\circ\text{C}$				$t_n = 16^\circ\text{C}$			
			E	S	W	N	E	S	W	N
太原	屋顶	0.7				20~21				19~20
		0.8				23~24				21~22
		0.9				26~27				24~25
		1.0				29~30				27~28
		1.1				31~33				29~31
沈阳、 呼和浩特	外墙	0.8	28	21~25	28	30~33	27	20~24	27	28~31
		1.0	35	26~31	35	37~41	33	25~30	33	35~39
		1.2	42	31~38	42	44~49	40	29~36	40	42~46
		1.4	49	36~44	49	52~57	47	34~42	47	49~54
		1.6	56	41~50	56	59~65	53	39~48	53	56~62
	外窗、 阳台门	2.68	94	69~84	94	99~109	89	66~80	89	94~103
		3.26	115	84~103	115	121~133	108	80~97	108	114~126
	屋顶	0.5				18~19				17~18
		0.6				21~22				20~21
		0.7				25~26				23~25
0.8					28~30				27~28	
0.9					32~33				30~32	
哈尔滨	外墙	0.6	25	18~22	25	26~29	24	18~21	24	25~28
		0.8	33	25~30	33	35~39	32	24~29	32	34~37
		1.0	42	31~37	42	44~48	40	29~36	40	42~46
		1.1	46	34~41	46	48~53	44	32~39	44	46~51
		1.2	50	38~45	50	53~58	48	35~43	48	50~55
	外窗、 阳台门	2.68	112	83~100	112	118~130	107	79~96	107	113~124
		3.26	136	100~122	136	143~158	130	96~116	130	137~150
	屋顶	0.40				18				17
		0.50				22				21
		0.60				26				25
0.70					31				29	
0.80					35				34	
长春	外墙	0.70	27	20~24	27	29~32	26	19~23	26	27~30
		0.80	31	23~28	31	33~36	30	22~27	30	31~34
		0.90	35	26~31	35	37~41	33	25~30	33	35~39
		1.00	39	29~35	39	41~45	37	27~33	37	39~43
		1.10	43	32~38	43	45~50	41	30~36	41	43~47
	外窗、 阳台门	2.68	104	77~93	104	110~121	99	73~89	99	105~115
		3.26	127	94~114	127	134~147	121	89~108	121	127~140
	屋顶	0.5				21				20
		0.6				25				23
		0.7				29				27

续表

城市	围护结构		在 t_n 及 β_{ch} 下							
	名称	传热系数 ($W/m^2 \cdot K$)	$t_n = 18^\circ C$				$t_n = 16^\circ C$			
			E	S	W	N	E	S	W	N
济南	外墙	1.2	29	21~26	29	30~33	26	19~23	26	28~30
		1.4	33	25~30	33	35~39	31	23~27	31	32~35
		1.6	38	28~34	38	40~44	35	26~31	35	37~40
		1.8	43	32~38	43	45~50	39	29~35	39	41~46
		2.0	48	35~43	48	50~55	44	32~39	44	46~51
	外窗、 阳台门	5.82	138	102~124	138	146~160	127	94~114	127	134~147
		6.40	152	112~136	152	160~176	140	103~125	140	147~162
	屋顶	0.8				20				18
		0.9				23				21
		1.0				25				23
1.1					28				25	
1.2					30				28	
郑州、 西安	外墙	1.2	26	19~23	26	28~30	24	18~21	24	25~28
		1.4	31	23~27	31	32~35	28	21~25	28	29~32
		1.6	35	26~31	35	37~40	32	24~29	32	34~37
		1.8	39	29~35	39	41~46	36	26~32	36	38~42
		2.0	44	32~39	44	46~51	40	29~36	40	42~46
	外窗、 阳台门	5.82	127	94~114	127	134~147	116	86~104	116	122~134
		6.40	140	103~125	140	147~162	128	94~114	128	134~148
	屋顶	0.8				17~18				16~17
		0.9				20~21				18~19
		1.0				22~23				20~21
1.1					24~25				22~23	
1.2					27~28				24~25	
兰州	外墙	1.0	28	20~25	28	29~32	26	19~23	26	27~30
		1.1	30	22~27	30	32~35	28	21~25	28	30~33
		1.2	33	24~30	33	35~38	31	23~28	31	32~36
		1.3	36	26~32	36	38~41	33	25~30	33	35~39
		1.4	39	28~35	39	41~45	36	26~32	36	38~42
	外窗、 阳台门	3.26	90	66~80	90	95~104	84	62~75	84	88~97
		6.4	176	130~158	176	186~204	164	121~147	164	173~190
		2.68	74	54~66	74	78~85	69	51~62	69	72~80
		5.82	160	118~143	160	169~186	149	110~134	149	157~173
	屋顶	0.8				22~23				21~22
0.9					25~26				23~24	
1.0					28~29				26~27	
乌鲁木齐	外墙	0.8	30	22~27	30	32~35	29	21~26	29	30~33
		0.9	34	25~31	34	36~40	32	24~29	32	34~38
		1.0	38	28~34	38	40~44	36	27~32	36	38~42
		1.1	42	31~37	42	44~48	40	29~36	40	42~46
		1.2	46	34~41	46	48~53	43	32~39	43	46~50

续表

城市	围护结构		在 t_n 及 β_{ch} 下							
	名称	传热系数 ($W/m^2 \cdot K$)	$t_n = 18^\circ C$				$t_n = 16^\circ C$			
			E	S	W	N	E	S	W	N
乌鲁木齐	外窗、	2.68	102	75~91	102	107~118	97	71~87	97	102~112
	阳台门	3.26	124	91~111	124	130~143	118	87~105	118	124~136
	屋顶	0.6 0.8 1.0				23~24 30~32 38~40				22~23 29~30 37~38

注: β_{ch} 按规范给定范围计算; 对屋顶的 β_{ch} 采用 0% 及 -5%。每 $1m^3$ 渗风量的耗热量 (W/m^3)

表 4.1-7

室外供暖计算温度 t_w ($^\circ C$)	室内计算温度 t_n ($^\circ C$)		室外供暖计算温度 t_w ($^\circ C$)	室内计算温度 t_n ($^\circ C$)	
	+16	+18		+16	+18
2	5.00	5.71	-15	11.79	12.55
0	5.75	6.47	-16	12.22	12.98
-5	7.69	8.42	-17	12.65	13.42
-6	8.09	8.82	-18	13.08	13.85
-7	8.49	9.22	-19	13.52	14.30
-8	8.89	9.63	-20	13.96	14.74
-9	9.29	10.04	-21	14.41	15.19
-10	9.70	10.45	-22	14.86	15.64
-11	10.11	10.86	-23	15.31	16.09
-12	10.53	11.28	-24	15.76	16.55
-13	10.95	11.70	-25	16.22	17.02
-14	11.37	12.12	-26	16.69	17.48

$$L = a \Delta P_{f,10}^b = a \left(C_f \frac{v_{10}^2}{2} \rho_w \right)^b \quad (4.1-6)$$

式中 a, b ——与门窗构造有关的特性常数和指数, 见表 4.1-8; $\Delta P_{f,10}$ ——在基准高度 (距地面 10m) 处, 作用于缝隙两侧的有效风压差, Pa; v_{10} ——气象台站观测的 (在基准高度上) 风速, m/s; C_f ——风压系数, 取迎风面时之值, $C_f = 0.7$ 。每 m 门窗缝隙的基准渗风量 L ($m^3/h \cdot m$)

表 4.1-8

门窗类型	冬季室外平均风速 (m/s)						特性常数、指数	
	1	2	3	4	5	6	a	b
单层木窗	1.0	2.0	3.1	4.3	5.5	6.7	1.63	0.56
双层木窗	0.7	1.4	2.2	3.0	3.9	4.7	1.15	0.56
单层钢窗	0.6	1.5	2.6	3.9	5.2	6.7	1.08	0.67
双层钢窗	0.4	1.1	1.8	2.7	3.6	4.7	0.76	0.67
推拉铝窗	0.2	0.5	1.0	1.6	2.3	2.9	0.36	0.78
平开铝窗	0.0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.8	0.09	0.78

注: 1. 每 m 外门缝隙的 L , 为表中同类型外窗 L 的 2 倍;

2. 当有密封条时, 表中数据可乘以 0.5~0.6 的系数。

各种构造的门窗缝隙的 L 值,应根据当地冬季的平均风速按式(4.1-6)进行计算(或直接查表4.1-8及表4.1-9)。表4.1-9中还列出了部分供暖城市(对应各种窗构造)每m窗缝的基准渗风耗热量。

每m窗缝基准渗风量 L ($m^3/m \cdot h$)及其耗热量(W/m) 表4.1-9

城市	窗 类 型					
	单层木窗	双层木窗	单层钢窗	双层钢窗	推拉铝窗	平开铝窗
北 京	2.88	2.04	2.38	1.66	0.9	0.26
	27 29	19 20	22 24	15 17	8 9	2 3
天 津	3.22	2.28	2.73	1.89	1.06	0.31
	30 32	21 23	25 28	18 19	10 11	3 3
张 家 口	3.82	2.68	3.38	2.34	1.36	0.36
	45 48	32 34	40 42	28 29	16 17	4 5
太 原	2.66	1.88	2.16	1.52	0.8	0.22
	28 30	20 21	23 24	16 17	8 9	2 2
呼 和 浩 特	1.60	1.12	1.14	0.82	0.38	0.06
	22 23	15 17	15 16	11 12	5 5	0.8 0.9
沈 阳	3.22	2.28	2.73	1.89	1.06	0.31
	44 46	31 33	37 39	26 27	14 15	4 4
长 春	4.54	3.18	4.16	2.88	1.74	0.4
	70 73	49 51	64 67	44 46	27 28	7 7
哈 尔 滨	4.06	2.84	3.64	2.52	1.48	0.38
	68 71	47 50	61 64	42 44	25 26	6 7
济 南	3.34	2.36	2.86	1.98	1.12	0.32
	28 31	20 22	24 26	17 18	10 10	3 3
郑 州	3.58	2.52	3.12	2.16	1.24	0.34
	28 30	19 21	24 26	17 18	10 10	3 3
成 都	1.00	0.70	0.60	0.40	0.20	0.00
	5 5	4 4	3 3	2 2	1 1	0 0
西 安	1.80	1.26	1.32	0.96	0.44	0.08
	14 15	10 11	10 11	7 8	3 4	0.60 0.70
兰 州	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1	0.00
	5 5	3 3	3 3	2 2	1 1	0 0
西 宁	1.70	1.19	1.23	0.89	0.41	0.07
	19 20	13 14	13 14	10 10	5 5	1 1
乌 鲁 木 齐	1.70	1.19	1.23	0.89	0.41	0.07
	25 27	18 19	18 19	13 14	6 6	1 1
银 川	1.70	1.19	1.23	0.89	0.41	0.07
	20 21	14 15	15 15	10 11	5 5	0.8 0.9

注:表中数据上行为 L ,下行为每m窗缝基准渗风耗热量。下行左为室内计算温度 $16^{\circ}C$,下行右为 $18^{\circ}C$ 。

(3) m 值的确定

• 多层建筑:

$$m = n \quad (4.1-7)$$

式中 n ——风压单独作用下, 门窗缝隙渗风量的朝向修正系数, 见表4.1-10。

缝隙渗风量的朝向修正系数 n 表 4.1-10

城 市	朝 向							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
北 京	1.00	0.50	0.15	0.10	0.15	0.15	0.40	1.00
天 津	1.00	0.40	0.20	0.10	0.15	0.20	0.10	1.00
张 家 口	1.00	0.40	0.10	0.10	0.10	0.10	0.35	1.00
太 原	0.90	0.40	0.15	0.20	0.30	0.20	0.70	1.00
呼 和 浩 特	0.70	0.25	0.10	0.15	0.20	0.15	0.70	1.00
沈 阳	1.00	0.70	0.30	0.30	0.40	0.35	0.30	0.70
长 春	0.35	0.35	0.15	0.25	0.70	1.00	0.90	0.40
哈 尔 滨	0.30	0.15	0.20	0.70	1.00	0.85	0.70	0.60
济 南	0.45	1.00	1.00	0.40	0.55	0.55	0.25	0.15
郑 州	0.65	0.90	0.65	0.15	0.20	0.40	1.00	1.00
成 都	1.00	1.00	0.45	0.10	0.10	0.10	0.10	0.40
贵 阳	0.70	1.00	0.70	0.15	0.25	0.15	0.10	0.25
西 安	0.70	1.00	0.70	0.25	0.40	0.50	0.35	0.25
兰 州	1.00	1.00	1.00	0.70	0.50	0.20	0.15	0.50
西 宁	0.10	0.10	0.70	1.00	0.70	0.10	0.10	0.10
银 川	1.00	1.00	0.40	0.30	0.25	0.20	0.65	0.95
乌 鲁 木 齐	0.35	0.35	0.55	0.75	1.00	0.70	0.25	0.35

• 高层建筑:

对于迎着最不利风向 (即 $n=1$ 时) 的缝隙:

$$m = m_y = [(1 + C)(0.4h^{0.4})]^b \quad (4.1-8)$$

式中 C ——作用于门窗缝隙两侧的有效热压差与有效风压差之比;

h ——计算门窗的中心线标高, m。

$$C = \frac{\Delta P_r}{\Delta P_f} = 50 \frac{C_r}{C_f} \cdot \frac{(h_z - h)}{v_{10}^2 h^{0.4}} \cdot \frac{(t_n - t_w)}{273 + t_n} \quad (4.1-9)$$

式中 C_r ——热压系数, 对住宅楼, $C_r = 0.2$; 对办公楼, $C_r = 0.5$;

h_z ——热压单独作用下, 建筑物中和界的标高, m。

对于非迎着最不利风向 (即 $n \neq 1$ 时) 的缝隙:

$$m = m_y (1 - (1 - n)\phi_y) \quad (4.1-10)$$

式中 ϕ_y ——风量比。指迎着最不利风向上, 风压差所产生的渗风量占总压差所产生的总渗风量的计算百分比份额。

$$\phi_y = \frac{1}{(1 + C)} \quad (4.1-11)$$

按式(4.1-8), (4.1-9), (4.1-10), (4.1-11)计算得到的几个主要城市的 m 值列于表4.1-11。

4. 外门开启冲入冷风耗热量 Q_3 (W)

按表4.1-12所列方法确定。

门窗缝隙的冷风量综合修正系数

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层数																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
					所在楼层数																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
北京	住宅	8	N	1.00	1.17	1.10	1.04	1.03	1.03	1.01	0.99	10	N	1.00	1.23	1.17	1.10	1.09	1.08	1.04	12	N	1.00	1.29	1.23	1.17	1.16	1.15	1.11	1.08	1.02	14	N	1.00	1.35	1.29	1.23	1.17	1.16	1.13	1.11	1.08	1.03	16	N	1.00	1.41	1.35	1.29	1.23	1.22	1.21	1.19	1.17	1.12	1.09	1.06	1.03	18	N	1.00	1.47	1.41	1.35	1.29	1.28	1.27	1.25	1.23	1.19	1.16	1.13	1.09	1.06	1.02	20	N	1.00	1.53	1.47	1.41	1.35	1.34	1.33	1.32	1.30	1.25	1.22	1.19	1.16	1.13	1.09	1.05	1.02	20	NE	0.50	0.70	0.63	0.54	0.49	0.44	0.38	0.32	NE	0.50	0.85	0.70	0.63	0.57	0.52	0.47	0.41	0.34	0.28	NE	0.50	0.92	0.85	0.78	0.73	0.68	0.63	0.57	0.51	0.45	0.39	0.33	0.26	0.18	NE	0.50	0.99	0.92	0.85	0.80	0.76	0.70	0.65	0.59	0.54	0.47	0.41	0.35	0.28	0.18	NE	0.50	1.05	0.99	0.92	0.85	0.80	0.76	0.70	0.65	0.59	0.54	0.47	0.41	0.35	0.28	0.18	SE	0.10	0.42	0.29	0.20	0.11	0.02	0.00	0.00	SE	0.10	0.54	0.38	0.29	0.21	0.12	0.04	0.00	0.00	SE	0.10	0.62	0.46	0.38	0.30	0.21	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	SE	0.10	0.69	0.53	0.45	0.38	0.30	0.22	0.14	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	SE	0.10	0.76	0.61	0.53	0.47	0.41	0.34	0.25	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W	0.40	0.61	0.53	0.45	0.38	0.32	0.25	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W	0.40	0.76	0.61	0.53	0.47	0.41	0.34	0.28	0.20	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W	0.40	0.83	0.69	0.61	0.55	0.49	0.43	0.36	0.30	0.23	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W	0.40	0.90	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W	0.40	0.97	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W	0.40	1.04	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	W	0.40	1.11	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	W	0.40	1.18	1.04	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	0.02	0.00	0.00	W	0.40	1.25	1.11	1.04	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	0.02	0.00	W	0.40	1.32	1.18	1.11	1.04	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	0.02	W	0.40	1.39	1.25	1.18	1.11	1.04	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	0.10	W	0.40	1.46	1.32	1.25	1.18	1.11	1.04	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	0.17	W	0.40	1.53	1.39	1.32	1.25	1.18	1.11	1.04	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32	0.24	W	0.40	1.60	1.46	1.39	1.32	1.25	1.18	1.11	1.04	0.97	0.90	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.51	0.45	0.38	0.32

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层所在楼层数																					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		8	N NE E,S SE W	1.00 0.50 0.15 0.10 0.40	2.01 1.65 1.40 1.36 1.58	1.74 1.36 1.09 1.05 1.28	1.46 1.04 0.75 0.71 0.96	1.20 0.71 0.36 0.31 0.61	0.83 0.32 0.00 0.00 0.20	0.61 0.00 0.00 0.00 0.00	0.13 0.00 0.00 0.00 0.00															
		10	N NE E,S SE W	1.00 0.50 0.15 0.10 0.40	2.25 1.91 1.67 1.64 1.84	1.99 1.64 1.39 1.35 1.57	1.74 1.36 1.09 1.05 1.28	1.50 1.06 0.75 0.71 0.97	1.27 0.74 0.37 0.32 0.63	1.00 0.36 0.00 0.00 0.23	0.68 0.00 0.00 0.00 0.00	0.25 0.00 0.00 0.00 0.00														
		12	N NE E,S SE W	1.00 0.50 0.15 0.10 0.40	2.47 2.15 1.93 1.90 2.09	2.24 1.90 1.66 1.63 1.83	1.99 1.64 1.39 1.35 1.57	1.77 1.37 1.08 1.04 1.29	1.56 1.08 0.75 0.70 0.99	1.32 0.76 0.37 0.32 0.55	1.06 0.39 0.00 0.00 0.26	0.75 0.00 0.00 0.00 0.00	0.34 0.00 0.00 0.00 0.00													
北京	办公楼	14	N NE E,S SE W	1.00 0.50 0.15 0.10 0.40	2.69 2.38 2.17 2.14 2.32	2.46 2.14 1.92 1.88 2.08	2.24 1.90 1.66 1.63 1.83	2.03 1.65 1.38 1.34 1.57	1.83 1.39 1.08 1.04 1.30	1.61 1.11 0.75 0.70 1.00	1.37 0.79 0.38 0.32 0.67	1.11 0.42 0.00 0.00 0.28	0.80 0.00 0.00 0.00 0.00	0.41 0.00 0.00 0.00 0.00												
		16	N NE E,S SE W	1.00 0.50 0.15 0.10 0.40	2.90 2.61 2.40 2.37 2.55	2.68 2.37 2.16 2.13 2.31	2.46 2.14 1.92 1.88 2.08	2.27 1.91 1.66 1.62 1.84	2.08 1.67 1.38 1.34 1.58	1.88 1.41 1.08 1.03 1.31	1.66 1.12 0.75 0.70 1.02	1.42 0.91 0.38 0.32 0.69	1.16 0.45 0.00 0.00 0.00	0.85 0.00 0.00 0.00 0.00	0.48 0.00 0.00 0.00 0.00											
		18	N NE E,S SE W	1.00 0.50 0.15 0.10 0.40	3.11 2.82 2.62 2.59 2.76	2.89 2.60 2.39 2.36 2.54	2.68 2.37 2.16 2.13 2.31	2.49 2.15 1.91 1.88 2.08	2.32 1.92 1.65 1.61 1.85	2.13 1.68 1.37 1.33 1.59	1.92 1.42 1.08 1.03 1.32	1.70 1.14 0.75 0.69 1.03	1.46 0.83 0.39 0.32 0.70	1.20 0.47 0.00 0.00 0.32	0.90 0.03 0.00 0.00 0.00	0.54 0.00 0.00 0.00 0.00										
		20	N NE E,S SE W	1.00 0.50 0.15 0.10 0.40	3.30 3.02 2.83 2.80 2.97	3.10 2.81 2.61 2.58 2.75	2.89 2.60 2.39 2.36 2.54	2.71 2.38 2.15 2.12 2.32	2.54 2.17 1.90 1.87 2.09	2.36 1.94 1.64 1.60 1.85	2.17 1.70 1.37 1.32 1.60	1.96 1.44 1.07 1.02 1.33	1.74 1.16 0.75 0.69 1.04	1.50 0.85 0.39 0.32 0.72	1.24 0.49 0.00 0.00 0.34	0.94 0.06 0.00 0.00 0.00	0.59 0.00 0.00 0.00 0.00									

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层数																					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		8	N	0.30	0.65	0.56	0.46	0.36	0.27	0.17	0.07	0.00														
			NE	0.15	0.52	0.42	0.32	0.21	0.10	0.00	0.00															
			E	0.20	0.56	0.47	0.36	0.26	0.16	0.05	0.00	0.00														
			W	0.70	1.01	0.93	0.84	0.75	0.70	0.65	0.59	0.53														
			S	1.00	1.28	1.20	1.12	1.04	1.03	1.01	0.98	0.95														
			SW	0.85	1.14	1.06	0.98	0.90	0.86	0.83	0.78	0.74														
			NW	0.60	0.92	0.83	0.74	0.65	0.59	0.53	0.46	0.39														
		10	N	0.30	0.74	0.65	0.56	0.46	0.37	0.28	0.19	0.10	0.00													
			NE	0.15	0.61	0.52	0.42	0.32	0.22	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00												
			E	0.20	0.65	0.56	0.47	0.36	0.27	0.17	0.07	0.00	0.00	0.00												
			W	0.70	1.09	1.01	0.93	0.84	0.79	0.74	0.69	0.63	0.56	0.50												
			S	1.00	1.35	1.28	1.20	1.12	1.11	1.09	1.06	1.03	0.99	0.95												
			SW	0.85	1.22	1.14	1.06	0.98	0.95	0.91	0.87	0.83	0.78	0.72												
			NW	0.60	1.00	0.92	0.83	0.74	0.69	0.63	0.56	0.50	0.42	0.34												
哈	住	12	N	0.30	0.83	0.74	0.65	0.56	0.47	0.39	0.30	0.21	0.11	0.01	0.00											
			NE	0.15	0.70	0.61	0.52	0.42	0.32	0.22	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00											
			E	0.20	0.74	0.65	0.56	0.47	0.37	0.28	0.18	0.08	0.00	0.00	0.00											
			W	0.70	1.16	1.09	1.01	0.93	0.88	0.83	0.78	0.72	0.66	0.60	0.53	0.45										
			S	1.00	1.42	1.35	1.28	1.20	1.18	1.16	1.14	1.11	1.07	1.04	0.99	0.95										
			SW	0.85	1.29	1.22	1.14	1.06	1.03	1.00	0.96	0.92	0.87	0.82	0.76	0.70										
			NW	0.60	1.08	1.00	0.92	0.83	0.78	0.72	0.66	0.59	0.53	0.45	0.37	0.29										
尔		12	N	0.30	0.83	0.74	0.65	0.56	0.47	0.39	0.30	0.21	0.11	0.01	0.00											
			NE	0.15	0.70	0.61	0.52	0.42	0.32	0.22	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00											
			E	0.20	0.74	0.65	0.56	0.47	0.37	0.28	0.18	0.08	0.00	0.00	0.00											
			W	0.70	1.16	1.09	1.01	0.93	0.88	0.83	0.78	0.72	0.66	0.60	0.53	0.45										
			S	1.00	1.42	1.35	1.28	1.20	1.18	1.16	1.14	1.11	1.07	1.04	0.99	0.95										
			SW	0.85	1.29	1.22	1.14	1.06	1.03	1.00	0.96	0.92	0.87	0.82	0.76	0.70										
			NW	0.60	1.08	1.00	0.92	0.83	0.78	0.72	0.66	0.59	0.53	0.45	0.37	0.29										

14	N	0.30	0.91	0.83	0.74	0.65	0.57	0.49	0.40	0.32	0.22	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	NE	0.15	0.78	0.70	0.61	0.52	0.42	0.33	0.23	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	E	0.20	0.83	0.74	0.65	0.56	0.47	0.38	0.29	0.19	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	W	0.70	1.24	1.16	1.08	1.01	0.96	0.92	0.87	0.81	0.75	0.69	0.63	0.56	0.48	0.41	0.00
	S	1.00	1.49	1.42	1.35	1.28	1.26	1.24	1.22	1.19	1.15	1.12	1.08	1.03	0.99	0.94	0.00
	SW	0.85	1.36	1.29	1.22	1.14	1.11	1.08	1.04	1.00	0.95	0.90	0.85	0.79	0.74	0.67	0.00
	NW	0.60	1.16	1.08	1.00	0.92	0.87	0.81	0.75	0.69	0.62	0.55	0.48	0.40	0.32	0.23	0.00
16	N	0.30	0.99	0.91	0.83	0.74	0.66	0.58	0.50	0.42	0.33	0.24	0.14	0.05	0.00	0.00	0.00
	NE	0.15	0.87	0.78	0.70	0.61	0.52	0.43	0.33	0.24	0.14	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	E	0.20	0.91	0.83	0.74	0.65	0.57	0.48	0.39	0.30	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	W	0.70	1.31	1.24	1.16	1.09	1.05	1.00	0.95	0.90	0.84	0.78	0.72	0.66	0.59	0.51	0.35
	S	1.00	1.55	1.49	1.42	1.35	1.33	1.31	1.29	1.26	1.23	1.19	1.15	1.11	1.07	1.02	0.92
	SW	0.85	1.43	1.36	1.29	1.22	1.19	1.16	1.12	1.08	1.04	0.99	0.94	0.88	0.83	0.77	0.64
	NW	0.60	1.23	1.16	1.08	1.00	0.95	0.90	0.84	0.78	0.71	0.65	0.58	0.50	0.43	0.34	0.16
18	N	0.30	1.07	0.99	0.91	0.83	0.75	0.67	0.59	0.51	0.43	0.34	0.25	0.16	0.06	0.00	0.00
	NE	0.15	0.95	0.87	0.78	0.70	0.61	0.52	0.43	0.34	0.24	0.14	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
	E	0.20	0.99	0.91	0.83	0.74	0.66	0.57	0.48	0.40	0.30	0.21	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00
	W	0.70	1.38	1.31	1.24	1.16	1.12	1.08	1.03	0.98	0.93	0.87	0.81	0.75	0.68	0.61	0.46
	S	1.00	1.62	1.55	1.49	1.42	1.40	1.39	1.36	1.33	1.30	1.27	1.23	1.19	1.15	1.10	0.95
	SW	0.85	1.50	1.43	1.36	1.29	1.26	1.23	1.20	1.16	1.12	1.07	1.02	0.97	0.91	0.86	0.73
	NW	0.60	1.30	1.23	1.16	1.08	1.03	0.98	0.92	0.86	0.80	0.74	0.67	0.60	0.53	0.45	0.28
20	N	0.30	1.14	1.07	0.99	0.91	0.83	0.75	0.68	0.60	0.52	0.44	0.35	0.26	0.17	0.07	0.00
	NE	0.15	1.02	0.95	0.87	0.78	0.70	0.61	0.52	0.43	0.34	0.25	0.15	0.05	0.00	0.00	0.00
	E	0.20	1.06	0.99	0.91	0.83	0.74	0.66	0.58	0.49	0.40	0.31	0.22	0.12	0.02	0.00	0.00
	W	0.70	1.45	1.38	1.31	1.24	1.20	1.16	1.11	1.06	1.01	0.95	0.90	0.84	0.77	0.71	0.64
	S	1.00	1.68	1.62	1.55	1.49	1.47	1.46	1.43	1.40	1.37	1.34	1.30	1.26	1.22	1.18	1.08
	SW	0.85	1.57	1.50	1.43	1.36	1.34	1.31	1.27	1.23	1.19	1.15	1.10	1.05	1.00	0.94	0.82
	NW	0.60	1.37	1.30	1.23	1.16	1.11	1.06	1.00	0.95	0.89	0.83	0.76	0.69	0.62	0.55	0.47

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层所在楼层数																										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
		8	N	0.30	1.42	1.14	0.83	0.49	0.10	0.00	0.00																				
			NE	0.15	1.31	1.02	0.71	0.35	0.00	0.00	0.00																				
			E	0.20	1.35	1.06	0.75	0.40	0.00	0.00	0.00																				
			W	0.70	1.71	1.45	1.17	0.89	0.59	0.20	0.00																				
			S	1.00	1.93	1.68	1.42	1.19	0.95	0.67	0.30																				
			SW	0.85	1.82	1.56	1.30	1.04	0.77	0.44	0.00																				
			NW	0.60	1.64	1.37	1.09	0.79	0.46	0.05	0.00																				
		10	N	0.30	1.67	1.41	1.14	0.84	0.51	0.13	0.00	0.00																			
			NE	0.15	1.57	1.30	1.02	0.71	0.35	0.00	0.00	0.00																			
			E	0.20	1.60	1.34	1.06	0.75	0.41	0.00	0.00	0.00																			
			W	0.70	1.95	1.70	1.45	1.20	0.94	0.63	0.26	0.00																			
			S	1.00	2.15	1.92	1.68	1.46	1.25	1.02	0.74	0.39																			
			SW	0.85	2.05	1.81	1.56	1.33	1.09	0.83	0.50	0.04																			
			NW	0.60	1.88	1.63	1.37	1.11	0.83	0.51	0.10	0.00																			
哈	办	12	N	0.30	1.90	1.66	1.41	1.14	0.85	0.53	0.15	0.00	0.00																		
			NE	0.15	1.81	1.56	1.30	1.02	0.71	0.36	0.00	0.00	0.00																		
			E	0.20	1.84	1.59	1.34	1.06	0.75	0.41	0.01	0.00	0.00																		
			W	0.70	2.17	1.94	1.70	1.47	1.24	0.97	0.68	0.31	0.00																		
			S	1.00	2.37	2.14	1.92	1.72	1.52	1.31	1.07	0.80	0.46																		
			SW	0.85	2.27	2.04	1.81	1.59	1.38	1.14	0.88	0.56	0.13																		
			NW	0.60	2.10	1.87	1.63	1.39	1.14	0.86	0.54	0.15	0.00																		
尔	公																														

14	洪 樓	N	0.30	2.13	1.89	1.66	1.41	1.15	0.86	0.54	0.17	0.00	0.00								
		NE	0.15	2.03	1.80	1.56	1.29	1.01	0.71	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00							
		E	0.20	2.06	1.83	1.59	1.33	1.06	0.76	0.42	0.03	0.00	0.00	0.00							
		W	0.70	2.38	2.16	1.94	1.72	1.50	1.27	1.01	0.71	0.36	0.00	0.00							
		S	1.00	2.57	2.36	2.14	1.95	1.77	1.58	1.36	1.12	0.85	0.53	0.00							
		SW	0.85	2.47	2.26	2.04	1.84	1.64	1.42	1.19	0.92	0.61	0.20	0.00							
		NW	0.60	2.32	2.09	1.87	1.64	1.42	1.17	0.89	0.58	0.20	0.00	0.00							
16		N	0.30	2.34	2.12	1.89	1.66	1.42	1.15	0.87	0.55	0.18	0.00	0.00							
		NE	0.15	2.25	2.02	1.80	1.55	1.29	1.01	0.71	0.37	0.00	0.00	0.00							
		E	0.20	2.28	2.05	1.83	1.59	1.33	1.06	0.76	0.43	0.04	0.00	0.00							
		W	0.70	2.58	2.37	2.16	1.95	1.75	1.54	1.30	1.04	0.75	0.40	0.00	0.00						
		S	1.00	2.77	2.56	2.36	2.17	2.01	1.82	1.62	1.41	1.17	0.90	0.59	0.11						
		SW	0.85	2.67	2.47	2.26	2.06	1.88	1.68	1.46	1.22	0.96	0.65	0.26	0.00						
		NW	0.60	2.52	2.31	2.09	1.88	1.67	1.44	1.19	0.92	0.61	0.23	0.00	0.00						
18		N	0.30	2.54	2.33	2.12	1.90	1.67	1.42	1.16	0.88	0.56	0.20	0.00	0.00						
		NE	0.15	2.45	2.24	2.02	1.79	1.55	1.29	1.01	0.71	0.37	0.00	0.00	0.00						
		E	0.20	2.48	2.27	2.05	1.83	1.59	1.33	1.06	0.76	0.43	0.05	0.00	0.00	0.00					
		W	0.70	2.78	2.57	2.37	2.18	1.99	1.78	1.56	1.33	1.07	0.78	0.44	0.00	0.00					
		S	1.00	2.95	2.76	2.56	2.38	2.23	2.05	1.87	1.67	1.45	1.21	0.95	0.64	0.21					
		SW	0.85	2.87	2.66	2.47	2.28	2.11	1.92	1.71	1.50	1.26	1.00	0.69	0.32	0.00					
		NW	0.60	2.72	2.51	2.31	2.11	1.91	1.69	1.46	1.21	0.94	0.63	0.27	0.00	0.00					
20		N	0.30	2.74	2.53	2.33	2.12	1.90	1.67	1.43	1.16	0.88	0.57	0.21	0.00	0.00					
		NE	0.15	2.65	2.44	2.24	2.02	1.78	1.54	1.28	1.01	0.71	0.37	0.00	0.00	0.00					
		E	0.20	2.68	2.47	2.27	2.05	1.82	1.58	1.33	1.06	0.77	0.44	0.07	0.00	0.00	0.00				
		W	0.70	2.97	2.77	2.57	2.39	2.21	2.01	1.81	1.59	1.35	1.09	0.81	0.47	0.04	0.00				
		S	1.00	3.14	2.95	2.76	2.59	2.43	2.27	2.09	1.90	1.70	1.49	1.25	0.99	0.68	0.28				
		SW	0.85	3.05	2.86	2.66	2.49	2.32	2.14	1.95	1.75	1.53	1.29	1.03	0.73	0.36	0.00				
		NW	0.60	2.91	2.71	2.51	2.32	2.13	1.93	1.71	1.48	1.23	0.96	0.66	0.30	0.00	0.00				

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层数																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		8	N	0.35	0.61	0.54	0.47	0.39	0.33	0.28	0.22	0.15																				E	0.15	0.43	0.35	0.28	0.19	0.12	0.04	0.00	0.00																				SE	0.25	0.52	0.45	0.37	0.29	0.23	0.16	0.09	0.02																				S	0.70	0.93	0.87	0.80	0.74	0.71	0.69	0.66	0.62																				SW	1.00	1.21	1.15	1.09	1.03	1.04	1.04	1.03	1.02																				W	0.90	1.12	1.06	1.00	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89																				NW	0.40	0.66	0.59	0.52	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22																			10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13												
			E	0.15	0.43	0.35	0.28	0.19	0.12	0.04	0.00	0.00																				SE	0.25	0.52	0.45	0.37	0.29	0.23	0.16	0.09	0.02																				S	0.70	0.93	0.87	0.80	0.74	0.71	0.69	0.66	0.62																				SW	1.00	1.21	1.15	1.09	1.03	1.04	1.04	1.03	1.02																				W	0.90	1.12	1.06	1.00	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89																				NW	0.40	0.66	0.59	0.52	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22																			10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																									
			SE	0.25	0.52	0.45	0.37	0.29	0.23	0.16	0.09	0.02																				S	0.70	0.93	0.87	0.80	0.74	0.71	0.69	0.66	0.62																				SW	1.00	1.21	1.15	1.09	1.03	1.04	1.04	1.03	1.02																				W	0.90	1.12	1.06	1.00	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89																				NW	0.40	0.66	0.59	0.52	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22																			10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																						
			S	0.70	0.93	0.87	0.80	0.74	0.71	0.69	0.66	0.62																				SW	1.00	1.21	1.15	1.09	1.03	1.04	1.04	1.03	1.02																				W	0.90	1.12	1.06	1.00	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89																				NW	0.40	0.66	0.59	0.52	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22																			10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																			
			SW	1.00	1.21	1.15	1.09	1.03	1.04	1.04	1.03	1.02																				W	0.90	1.12	1.06	1.00	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89																				NW	0.40	0.66	0.59	0.52	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22																			10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																
			W	0.90	1.12	1.06	1.00	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89																				NW	0.40	0.66	0.59	0.52	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22																			10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																													
			NW	0.40	0.66	0.59	0.52	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22																			10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																										
		10	N	0.35	0.68	0.61	0.54	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11																		E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																							
			E	0.15	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00																		SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																				
			SE	0.25	0.59	0.52	0.45	0.37	0.31	0.24	0.17	0.11	0.03	0.00																		S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																	
			S	0.70	0.99	0.93	0.87	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	0.65	0.61																		SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			SW	1.00	1.26	1.21	1.15	1.09	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05																		W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
			W	0.90	1.17	1.12	1.06	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90																		NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
			NW	0.40	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18															长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
长	住	12	N	0.35	0.75	0.68	0.61	0.54	0.49	0.43	0.37	0.32	0.25	0.19	0.12	0.06																E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			E	0.15	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00																SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			SE	0.25	0.66	0.59	0.52	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.12	0.05	0.00	0.00																S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			S	0.70	1.05	0.99	0.93	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60																SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			SW	1.00	1.32	1.26	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07																W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
			W	0.90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94	0.91																NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			NW	0.40	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

卷 宅

14	N	0.35	0.81	0.75	0.68	0.61	0.56	0.50	0.45	0.39	0.33	0.27	0.21	0.14	0.07	0.00			
	E	0.15	0.64	0.57	0.50	0.43	0.36	0.29	0.22	0.14	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	SE	0.25	0.72	0.66	0.59	0.52	0.46	0.40	0.33	0.27	0.20	0.13	0.06	0.00	0.00	0.00			
	S	0.70	1.11	1.05	0.99	0.93	0.91	0.89	0.86	0.82	0.79	0.75	0.71	0.67	0.63	0.58			
	SW	1.00	1.37	1.32	1.26	1.21	1.21	1.21	1.21	1.20	1.18	1.17	1.15	1.13	1.10	1.08			
	W	0.90	1.28	1.23	1.17	1.12	1.11	1.10	1.09	1.07	1.05	1.03	1.00	0.97	0.94	0.91			
	NW	0.40	0.85	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.51	0.45	0.40	0.34	0.28	0.22	0.15	0.09			
16	N	0.35	0.87	0.81	0.75	0.68	0.63	0.58	0.52	0.46	0.41	0.35	0.29	0.22	0.16	0.09	0.02	0.00	
	E	0.15	0.70	0.64	0.57	0.50	0.43	0.36	0.29	0.22	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SE	0.25	0.79	0.72	0.66	0.59	0.53	0.47	0.41	0.34	0.28	0.21	0.14	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	
	S	0.70	1.17	1.11	1.05	0.99	0.97	0.95	0.92	0.89	0.85	0.82	0.78	0.74	0.70	0.65	0.61	0.56	
	SW	1.00	1.42	1.37	1.32	1.26	1.27	1.27	1.26	1.25	1.24	1.22	1.20	1.18	1.16	1.13	1.11	1.08	
	W	0.90	1.34	1.28	1.23	1.17	1.16	1.16	1.15	1.13	1.11	1.09	1.06	1.03	1.01	0.97	0.94	0.91	
	NW	0.40	0.91	0.85	0.79	0.72	0.68	0.63	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.30	0.23	0.17	0.10	0.04	
18	N	0.35	0.93	0.87	0.81	0.75	0.70	0.64	0.59	0.54	0.48	0.42	0.36	0.30	0.24	0.17	0.11	0.04	0.00
	E	0.15	0.77	0.70	0.64	0.57	0.50	0.44	0.37	0.30	0.23	0.16	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SE	0.25	0.85	0.79	0.72	0.66	0.60	0.54	0.48	0.42	0.35	0.29	0.22	0.15	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00
	S	0.70	1.22	1.17	1.11	1.05	1.03	1.01	0.98	0.95	0.92	0.88	0.84	0.81	0.76	0.72	0.68	0.63	0.53
	SW	1.00	1.47	1.42	1.37	1.32	1.32	1.32	1.32	1.31	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.19	1.17	1.14	1.08
	W	0.90	1.39	1.34	1.28	1.23	1.22	1.22	1.20	1.19	1.17	1.15	1.12	1.09	1.07	1.03	1.00	0.97	0.90
	NW	0.40	0.97	0.91	0.85	0.79	0.74	0.70	0.65	0.59	0.54	0.49	0.43	0.37	0.31	0.25	0.19	0.12	0.05
20	N	0.35	0.99	0.93	0.87	0.81	0.76	0.71	0.66	0.60	0.55	0.49	0.43	0.37	0.31	0.25	0.19	0.12	0.05
	E	0.15	0.83	0.77	0.70	0.64	0.57	0.50	0.44	0.37	0.30	0.23	0.16	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	SE	0.25	0.91	0.85	0.79	0.72	0.67	0.61	0.55	0.49	0.43	0.36	0.30	0.23	0.17	0.10	0.03	0.00	0.00
	S	0.70	1.28	1.22	1.17	1.11	1.09	1.07	1.04	1.01	0.98	0.94	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70	0.65
	SW	1.00	1.52	1.47	1.42	1.37	1.37	1.37	1.37	1.36	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25	1.22	1.20	1.14
	W	0.90	1.44	1.39	1.34	1.28	1.28	1.27	1.26	1.24	1.22	1.20	1.18	1.15	1.12	1.09	1.06	1.03	0.96
	NW	0.40	1.03	0.97	0.91	0.85	0.81	0.76	0.71	0.66	0.61	0.56	0.50	0.44	0.39	0.33	0.27	0.20	0.14

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层数所在楼层数																			
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		8	N	0.35	1.23	1.00	0.76	0.50	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			E	0.15	1.08	0.84	0.59	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			SE	0.25	1.16	0.92	0.67	0.40	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			S	0.70	1.50	1.29	1.07	0.85	0.64	0.38	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			SW	1.00	1.73	1.53	1.33	1.15	0.99	0.81	0.59	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			W	0.90	1.65	1.45	1.24	1.05	0.87	0.66	0.41	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			NW	0.40	1.27	1.04	0.81	0.55	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
长	办	10	N	0.35	1.44	1.22	1.00	0.77	0.52	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			E	0.15	1.29	1.07	0.84	0.58	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			SE	0.25	1.36	1.15	0.92	0.68	0.42	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			S	0.70	1.69	1.49	1.29	1.09	0.90	0.68	0.43	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			SW	1.00	1.91	1.72	1.53	1.37	1.22	1.06	0.87	0.66	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			W	0.90	1.84	1.65	1.45	1.28	1.12	0.93	0.72	0.48	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			NW	0.40	1.47	1.26	1.04	0.82	0.58	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
公		12	N	0.35	1.63	1.43	1.22	1.01	0.79	0.54	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			E	0.15	1.49	1.28	1.07	0.84	0.59	0.32	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			SE	0.25	1.56	1.35	1.15	0.92	0.69	0.43	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			S	0.70	1.87	1.68	1.49	1.31	1.13	0.94	0.72	0.48	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			SW	1.00	2.08	1.90	1.72	1.57	1.43	1.28	1.11	0.93	0.72	0.46	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			W	0.90	2.01	1.83	1.65	1.48	1.33	1.17	0.98	0.78	0.54	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			NW	0.40	1.66	1.46	1.26	1.05	0.84	0.60	0.33	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

14	N	0.35	1.81	1.62	1.43	1.23	1.02	0.80	0.56	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	E	0.15	1.67	1.48	1.28	1.07	0.84	0.59	0.32	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SE	0.25	1.74	1.55	1.35	1.15	0.93	0.70	0.44	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.70	2.05	1.86	1.68	1.51	1.35	1.17	0.98	0.76	0.52	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SW	1.00	2.25	2.07	1.90	1.76	1.63	1.49	1.33	1.16	0.98	0.77	0.52	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	W	0.90	2.18	2.00	1.83	1.68	1.54	1.38	1.21	1.03	0.82	0.59	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	NW	0.40	1.84	1.65	1.46	1.27	1.07	0.85	0.62	0.36	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	N	0.35	1.99	1.80	1.62	1.43	1.24	1.03	0.81	0.57	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	E	0.15	1.85	1.67	1.48	1.28	1.06	0.83	0.59	0.33	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SE	0.25	1.92	1.73	1.55	1.35	1.15	0.93	0.70	0.45	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.70	2.21	2.04	1.86	1.70	1.55	1.38	1.20	1.01	0.79	0.55	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SW	1.00	2.41	2.24	2.07	1.94	1.81	1.68	1.53	1.38	1.21	1.02	0.82	0.58	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	W	0.90	2.34	2.17	2.00	1.86	1.73	1.58	1.42	1.25	1.07	0.87	0.63	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	NW	0.40	2.02	1.83	1.65	1.47	1.28	1.08	0.87	0.64	0.38	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	N	0.35	2.15	1.98	1.80	1.62	1.44	1.25	1.04	0.82	0.59	0.32	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	E	0.15	2.02	1.84	1.67	1.47	1.27	1.06	0.83	0.59	0.33	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SE	0.25	2.09	1.91	1.73	1.55	1.36	1.15	0.94	0.71	0.46	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.70	2.37	2.20	2.04	1.88	1.74	1.58	1.41	1.23	1.04	0.82	0.58	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SW	1.00	2.56	2.40	2.24	2.11	1.99	1.86	1.72	1.58	1.42	1.25	1.07	0.86	0.63	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
	W	0.90	2.50	2.33	2.17	2.03	1.91	1.77	1.62	1.46	1.28	1.11	0.91	0.68	0.40	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	NW	0.40	2.18	2.01	1.83	1.66	1.48	1.30	1.10	0.88	0.65	0.39	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	N	0.35	2.31	2.14	1.98	1.81	1.63	1.45	1.26	1.05	0.84	0.60	0.34	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	E	0.15	2.19	2.02	1.84	1.66	1.47	1.27	1.06	0.83	0.59	0.33	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SE	0.25	2.25	2.08	1.91	1.73	1.55	1.36	1.16	0.94	0.71	0.47	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.70	2.53	2.36	2.20	2.06	1.92	1.76	1.61	1.44	1.26	1.06	0.85	0.61	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SW	1.00	2.71	2.55	2.40	2.27	2.16	2.04	1.91	1.77	1.62	1.46	1.29	1.11	0.90	0.67	0.39	0.00	0.00	0.00
	W	0.90	2.65	2.49	2.33	2.20	2.08	1.95	1.81	1.66	1.50	1.33	1.14	0.94	0.72	0.45	0.09	0.00	0.00	0.00
	NW	0.40	2.34	2.17	2.01	1.84	1.67	1.49	1.31	1.11	0.90	0.67	0.41	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层数																					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
沈阳	办公楼	8	N	1.00	2.13	1.83	1.52	1.22	0.91	0.51																
			NE	0.70	1.92	1.61	1.28	0.93	0.53	0.00																
			E, W	0.30	1.64	1.31	0.95	0.54	0.03	0.00																
			S	0.40	1.71	1.38	1.03	0.63	0.16	0.00																
	SW	0.35	1.68	1.34	0.98	0.59	0.10	0.00																		
	10	N	1.00	2.39	2.11	1.83	1.56	1.29	0.97	0.58																
		NE	0.70	2.20	1.91	1.61	1.30	0.97	0.58	0.05																
		E, W	0.30	1.94	1.63	1.31	0.95	0.06	0.00																	
		S	0.40	2.00	1.70	1.38	1.04	0.66	0.19	0.00																
	SW	0.35	1.97	1.66	1.34	1.00	0.61	0.13	0.00																	
	12	N	1.00	2.65	2.38	2.11	1.86	1.62	1.34	1.03	0.66	0.05														
		NE	0.70	2.46	2.18	1.91	1.63	1.34	1.01	0.63	0.12	0.00														
E, W		0.30	2.21	1.92	1.63	1.31	0.96	0.57	0.09	0.00	0.00															
S		0.40	2.27	1.99	1.70	1.39	1.06	0.68	0.22	0.00	0.00															
SW	0.35	2.24	1.96	1.66	1.35	1.01	0.62	0.15	0.00	0.00																
14	N	1.00	2.89	2.63	2.38	2.15	1.87	1.67	1.39	1.08	0.72	0.19														
	NE	0.70	2.71	2.45	2.18	1.93	1.66	1.37	1.04	0.66	0.18	0.00														
	E, W	0.30	2.47	2.20	1.92	1.63	1.32	0.97	0.58	0.11	0.00	0.00														
	S	0.40	2.53	2.26	1.99	1.70	1.40	1.07	0.70	0.25	0.00	0.00														
SW	0.35	2.50	2.23	1.96	1.67	1.36	1.02	0.64	0.18	0.00	0.00															
16	N	1.00	3.12	2.88	2.63	2.41	2.20	1.97	1.71	1.44	1.13	0.77	0.27													
	NE	0.70	2.95	2.70	2.45	2.20	1.96	1.69	1.40	1.07	0.70	0.22	0.00													
	E, W	0.30	2.72	2.46	2.20	1.92	1.63	1.32	0.98	0.59	0.13	0.00	0.00													
	S	0.40	2.77	2.52	2.26	1.99	1.71	1.41	1.08	0.71	0.27	0.00	0.00													
SW	0.35	2.75	2.49	2.23	1.96	1.67	1.37	1.03	0.65	0.20	0.00	0.00														
18	N	1.00	3.34	3.11	2.88	2.66	2.46	2.24	2.01	1.75	1.48	1.17	0.82	0.35												
	NE	0.70	3.18	2.94	2.70	2.46	2.23	1.98	1.72	1.42	1.10	0.73	0.27	0.00												
	E, W	0.30	2.95	2.71	2.46	2.20	1.93	1.64	1.33	0.99	0.60	0.14	0.00	0.00												
	S	0.40	3.01	2.76	2.52	2.27	2.00	1.72	1.42	1.09	0.73	0.29	0.00	0.00												
SW	0.35	2.98	2.73	2.49	2.23	1.97	1.68	1.38	1.03	0.66	0.22	0.00	0.00													
20	N	1.00	3.56	3.33	3.11	2.90	2.71	2.50	2.28	2.05	1.79	1.52	1.21	0.86	0.41											
	NE	0.70	3.40	3.17	2.94	2.71	2.49	2.26	2.01	1.74	1.45	1.13	0.78	0.31	0.00											
	E, W	0.30	3.18	2.94	2.71	2.46	2.20	1.93	1.64	1.33	0.99	0.61	0.16	0.00	0.00											
	S	0.40	3.24	3.00	2.76	2.52	2.27	2.01	1.73	1.43	1.11	0.74	0.31	0.00	0.00											
SW	0.35	3.21	2.97	2.73	2.49	2.24	1.97	1.69	1.38	1.05	0.67	0.23	0.00	0.00												

城市	建筑类型	总层数	朝向	修正系数 n	计算层所在楼屋数																					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
太 住	8	8	N	0.90	1.23	1.14	1.05	0.95	0.91	0.86	0.81	0.75														
			NE	0.40	0.79	0.69	0.58	0.46	0.36	0.26	0.15	0.04														
			E	0.15	0.57	0.46	0.34	0.22	0.09	0.00	0.00	0.00														
			SE	0.20	0.62	0.51	0.39	0.27	0.15	0.02	0.00	0.00														
			S	0.30	0.71	0.60	0.49	0.36	0.26	0.14	0.02	0.00														
			W	0.70	1.06	0.96	0.86	0.76	0.69	0.62	0.55	0.46														
			NW	1.00	1.32	1.23	1.14	1.05	1.02	0.98	0.94	0.89														
			10	10	N	0.90	1.32	1.23	1.14	1.05	0.97	0.91	0.86	0.80	0.73											
	NE	0.40			0.89	0.79	0.69	0.58	0.49	0.39	0.29	0.18	0.06	0.00												
	E	0.15			0.68	0.57	0.46	0.34	0.23	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00												
	SE	0.20			0.72	0.62	0.51	0.39	0.28	0.16	0.04	0.00	0.00	0.00												
	S	0.30			0.81	0.71	0.60	0.49	0.38	0.28	0.16	0.04	0.00	0.00												
	W	0.70			1.15	1.06	0.96	0.86	0.80	0.74	0.66	0.59	0.50	0.41												
	NW	1.00			1.40	1.32	1.23	1.14	1.11	1.08	1.04	0.99	0.94	0.89												
	12	12			N	0.90	1.40	1.32	1.23	1.14	1.10	1.06	1.01	0.96	0.90	0.84	0.77	0.59								
			NE	0.40	0.99	0.89	0.78	0.69	0.60	0.51	0.41	0.31	0.20	0.09	0.00	0.00										
			E	0.15	0.78	0.68	0.57	0.46	0.35	0.23	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00										
			SE	0.20	0.82	0.72	0.62	0.51	0.40	0.29	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00										
			S	0.30	0.90	0.81	0.71	0.60	0.50	0.40	0.29	0.18	0.06	0.00	0.00	0.00										
			W	0.70	1.23	1.15	1.06	0.96	0.90	0.84	0.77	0.70	0.62	0.54	0.45	0.35										
			NW	1.00	1.48	1.40	1.32	1.23	1.20	1.17	1.13	1.09	1.04	0.99	0.93	0.87										

14	N	1.48	1.40	1.32	1.23	1.19	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.87	0.81	0.73	0.65					
	NE	1.08	0.98	0.89	0.78	0.71	0.62	0.53	0.43	0.33	0.22	0.11	0.00	0.00	0.00					
	E	0.88	0.78	0.68	0.57	0.46	0.35	0.24	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
	SE	0.92	0.82	0.72	0.62	0.51	0.41	0.30	0.18	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
	S	1.00	0.90	0.81	0.71	0.61	0.51	0.41	0.31	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00					
	W	1.32	1.23	1.15	1.06	1.00	0.94	0.88	0.81	0.73	0.65	0.57	0.48	0.38	0.28					
	NW	1.56	1.48	1.40	1.32	1.29	1.26	1.22	1.18	1.13	1.08	1.03	0.97	0.91	0.84					
16	N	1.56	1.48	1.40	1.32	1.28	1.24	1.20	1.15	1.09	1.04	0.97	0.91	0.84	0.77	0.69	0.60			
	NE	1.17	1.08	0.99	0.89	0.81	0.73	0.64	0.55	0.45	0.35	0.24	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00			
	E	0.87	0.88	0.78	0.68	0.57	0.47	0.36	0.24	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	SE	1.01	0.92	0.82	0.72	0.62	0.52	0.41	0.30	0.19	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	S	1.09	1.00	0.90	0.81	0.72	0.62	0.53	0.43	0.32	0.21	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	W	1.40	1.32	1.23	1.15	1.09	1.04	0.97	0.91	0.84	0.76	0.68	0.60	0.51	0.41	0.31	0.20			
	NW	1.64	1.56	1.48	1.40	1.38	1.34	1.31	1.27	1.22	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.80			
18	N	1.64	1.56	1.48	1.40	1.37	1.33	1.28	1.24	1.18	1.13	1.07	1.01	0.94	0.87	0.80	0.72	0.64	0.55	
	NE	1.25	1.17	1.08	0.98	0.91	0.83	0.74	0.65	0.56	0.47	0.37	0.26	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
	E	1.06	0.97	0.88	0.78	0.68	0.58	0.47	0.36	0.25	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SE	1.10	1.01	0.92	0.82	0.72	0.63	0.52	0.42	0.31	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	S	1.17	1.08	1.00	0.90	0.82	0.73	0.63	0.54	0.44	0.33	0.22	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	1.48	1.40	1.32	1.23	1.18	1.13	1.07	1.00	0.93	0.86	0.79	0.71	0.62	0.54	0.44	0.34	0.23	0.11	
	NW	1.71	1.64	1.56	1.48	1.45	1.43	1.39	1.35	1.31	1.26	1.21	1.16	1.10	1.04	0.98	0.91	0.84	0.76	
20	N	1.71	1.64	1.56	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.27	1.22	1.16	1.10	1.04	0.97	0.90	0.83	0.75	0.67	0.58
	NE	1.33	1.25	1.17	1.08	1.00	0.92	0.84	0.76	0.67	0.58	0.48	0.38	0.28	0.17	0.06	0.00	0.00	0.00	
	E	1.15	1.06	0.97	0.88	0.78	0.68	0.58	0.47	0.37	0.26	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SE	1.18	1.10	1.01	0.92	0.82	0.73	0.63	0.53	0.43	0.32	0.21	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	S	1.26	1.17	1.09	1.00	0.91	0.82	0.73	0.64	0.55	0.45	0.34	0.24	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	1.56	1.48	1.40	1.32	1.27	1.21	1.16	1.10	1.03	0.96	0.89	0.81	0.73	0.65	0.56	0.47	0.37	0.26	
	NW	1.79	1.71	1.64	1.56	1.54	1.51	1.47	1.43	1.39	1.35	1.30	1.24	1.18	1.13	1.07	1.01	0.94	0.87	

原 宅

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层所在楼层数																				
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		8	N	0.90	2.19	1.85	1.50	1.15	0.75	0.18															
			NE	0.40	1.85	1.49	1.10	0.66	0.11	0.00															
			E	0.15	1.68	1.31	0.90	0.42	0.00	0.00															
			SE	0.20	1.72	1.35	0.94	0.47	0.00	0.00															
			S	0.30	1.79	1.42	1.02	0.57	0.00	0.00															
			W	0.70	2.05	1.71	1.34	0.95	0.49	0.00															
			NW	1.00	2.26	1.93	1.58	1.24	0.87	0.38															
太	办	10	N	0.90	2.49	2.18	1.85	1.54	1.20	0.81	0.27														
			NE	0.40	2.17	1.84	1.49	1.11	0.68	0.15	0.00														
			E	0.15	2.01	1.67	1.31	0.90	0.42	0.00	0.00														
			SE	0.20	2.04	1.70	1.35	0.94	0.48	0.00	0.00														
			S	0.30	2.11	1.77	1.42	1.03	0.58	0.02	0.00														
			W	0.70	2.36	2.04	1.71	1.37	1.00	0.55	0.06														
			NW	1.00	2.55	2.24	1.93	1.62	1.31	0.94	0.47														
公		12	N	0.90	2.77	2.47	2.18	1.88	1.59	1.25	0.86	0.35													
			NE	0.40	2.47	2.16	1.84	1.50	1.13	0.70	0.18	0.00													
			E	0.15	2.32	2.00	1.67	1.31	0.90	0.43	0.00	0.00													
			SE	0.20	2.35	2.03	1.70	1.34	0.94	0.48	0.00	0.00													
			S	0.30	2.41	2.09	1.77	1.42	1.04	0.59	0.04	0.00													
			W	0.70	2.65	2.35	2.04	1.73	1.40	1.03	0.59	0.00													
			NW	1.00	2.83	2.54	2.24	1.96	1.68	1.36	1.00	0.55													

14	N	0.90	3.04	2.76	2.47	2.20	1.93	1.63	1.30	0.91	0.42						
	NE	0.40	2.75	2.45	2.16	1.84	1.51	1.14	0.72	0.21	0.00						
	E	0.15	2.60	2.30	2.00	1.66	1.30	0.90	0.43	0.00	0.00						
	SE	0.20	2.63	2.33	2.03	1.70	1.34	0.95	0.49	0.00	0.00						
	S	0.30	2.69	2.39	2.09	1.77	1.43	1.04	0.61	0.06	0.00						
	W	0.70	2.92	2.64	2.35	2.06	1.76	1.44	1.07	0.63	0.03						
	NW	1.00	3.09	2.82	2.54	2.27	2.01	1.73	1.41	1.05	0.61						
16	N	0.90	3.29	3.02	2.76	2.50	2.25	1.97	1.67	1.34	0.96	0.47					
	NE	0.40	3.02	2.74	2.45	2.16	1.85	1.52	1.15	0.74	0.23	0.00					
	E	0.15	2.88	2.59	2.30	1.99	1.66	1.30	0.90	0.44	0.00	0.00					
	SE	0.20	2.91	2.62	2.33	2.03	1.70	1.34	0.95	0.50	0.00	0.00					
	S	0.30	2.96	2.68	2.39	2.09	1.78	1.43	1.05	0.62	0.08	0.00					
	W	0.70	3.18	2.91	2.64	2.36	2.09	1.79	1.46	1.10	0.67	0.09					
	NW	1.00	3.35	3.08	2.82	2.57	2.32	2.06	1.77	1.46	1.10	0.67					
18	N	0.90	3.54	3.28	3.02	2.78	2.54	2.28	2.01	1.71	1.38	1.00	0.53				
	NE	0.40	3.27	3.00	2.74	2.46	2.17	1.86	1.53	1.17	0.75	0.25	0.00				
	E	0.15	3.14	2.87	2.59	2.30	1.99	1.65	1.29	0.90	0.44	0.00	0.00				
	SE	0.20	3.17	2.89	2.62	2.33	2.02	1.69	1.34	0.95	0.50	0.00	0.00				
	S	0.30	3.22	2.95	2.68	2.39	2.10	1.78	1.44	1.06	0.63	0.10	0.00				
	W	0.70	3.43	3.17	2.91	2.65	2.39	2.11	1.82	1.49	1.13	0.70	0.14				
	NW	1.00	3.59	3.34	3.08	2.84	2.61	2.37	2.10	1.81	1.50	1.15	0.72				
20	N	0.90	3.78	3.53	3.28	3.05	2.82	2.58	2.32	2.04	1.74	1.41	1.03	0.57	0.00		
	NE	0.40	3.52	3.26	3.00	2.74	2.47	2.18	1.87	1.54	1.18	0.76	0.27	0.00	0.00		
	E	0.15	3.39	3.13	2.87	2.59	2.29	1.98	1.65	1.29	0.89	0.44	0.00	0.00	0.00		
	SE	0.20	3.42	3.15	2.89	2.62	2.33	2.02	1.69	1.34	0.95	0.51	0.00	0.00	0.00		
	S	0.30	3.47	3.21	2.95	2.68	2.40	2.10	1.78	1.44	1.06	0.64	0.12	0.00	0.00		
	W	0.70	3.68	3.42	3.17	2.92	2.68	2.42	2.14	1.84	1.51	1.15	0.73	0.18	0.00		
	NW	1.00	3.83	3.58	3.34	3.11	2.89	2.65	2.40	2.14	1.85	1.54	1.19	0.77	0.15		

原 楼

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层数所在楼层数																						
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
		8	N	0.70	1.83	1.55	1.24	0.90	0.53	0.04																	
			NE	0.25	1.51	1.21	0.87	0.48	0.01	0.00																	
			E	0.10	1.40	1.09	0.75	0.34	0.00	0.00																	
			SW	0.15	1.44	1.13	0.79	0.39	0.00	0.00																	
			S	0.20	1.47	1.17	0.83	0.43	0.00	0.00																	
			NW	1.00	2.04	1.77	1.49	1.18	0.88	0.53																	
		10	N	0.70	2.08	1.83	1.55	1.24	0.94	0.58	0.11	0.00															
			NE	0.25	1.78	1.51	1.21	0.87	0.49	0.03	0.00	0.00															
			E	0.10	1.68	1.40	1.09	0.75	0.34	0.00	0.00	0.00															
			SW	0.15	1.72	1.44	1.13	0.79	0.39	0.00	0.00	0.00															
			S	0.20	1.75	1.47	1.17	0.83	0.44	0.00	0.00	0.00															
			NW	1.00	2.28	2.04	1.77	1.49	1.24	0.95	0.60	0.02															
		12	N	0.70	2.33	2.08	1.83	1.55	1.28	0.98	0.62	0.17	0.00														
			NE	0.25	2.04	1.78	1.51	1.21	0.88	0.50	0.05	0.00	0.00														
			E	0.10	1.95	1.68	1.40	1.09	0.74	0.34	0.00	0.00	0.00														
			SW	0.15	1.98	1.72	1.44	1.13	0.79	0.40	0.00	0.00	0.00														
			S	0.20	2.01	1.75	1.47	1.17	0.83	0.45	0.00	0.00	0.00														
			NW	1.00	2.52	2.28	2.04	1.77	1.54	1.29	1.00	0.66	0.17														

呼

和

14	N	0.70	2.56	2.33	2.08	1.83	1.58	1.31	1.01	0.66	0.22	0.00			
	NE	0.25	2.29	2.04	1.78	1.51	1.21	0.88	0.51	0.07	0.00	0.00			
	E	0.10	2.19	1.95	1.68	1.40	1.09	0.74	0.34	0.00	0.00	0.00			
	SW	0.15	2.22	1.98	1.72	1.44	1.13	0.79	0.40	0.00	0.00	0.00			
	S	0.20	2.26	2.01	1.75	1.47	1.17	0.83	0.45	0.00	0.00	0.00			
	NW	1.00	2.74	2.52	2.28	2.04	1.82	1.59	1.34	1.05	0.72	0.26			
16	N	0.70	2.78	2.56	2.33	2.08	1.85	1.61	1.34	1.04	0.69	0.26	0.00		
	NE	0.25	2.52	2.29	2.04	1.78	1.51	1.21	0.89	0.52	0.08	0.00	0.00		
	E	0.10	2.43	2.19	1.95	1.68	1.39	1.08	0.74	0.35	0.00	0.00	0.00		
	SW	0.15	2.46	2.22	1.98	1.72	1.43	1.12	0.79	0.40	0.00	0.00	0.00		
	S	0.20	2.49	2.26	2.01	1.75	1.47	1.17	0.84	0.46	0.01	0.00	0.00		
	NW	1.00	2.96	2.74	2.52	2.28	2.08	1.87	1.64	1.38	1.10	0.77	0.34		
18	N	0.70	3.00	2.78	2.56	2.33	2.11	1.88	1.63	1.36	1.06	0.72	0.30	0.00	
	NE	0.25	2.74	2.52	2.29	2.04	1.78	1.51	1.21	0.89	0.53	0.10	0.00	0.00	
	E	0.10	2.66	2.43	2.19	1.95	1.67	1.38	1.07	0.73	0.35	0.00	0.00	0.00	
	SW	0.15	2.68	2.46	2.22	1.98	1.71	1.43	1.12	0.78	0.41	0.00	0.00	0.00	
	S	0.20	2.71	2.49	2.26	2.01	1.75	1.47	1.17	0.84	0.47	0.03	0.00	0.00	
	NW	1.00	3.17	2.96	2.74	2.52	2.33	2.13	1.91	1.68	1.42	1.14	0.82	0.40	
20	N	0.70	3.20	3.00	2.78	2.56	2.35	2.13	1.90	1.65	1.38	1.09	0.75	0.34	0.00
	NE	0.25	2.96	2.74	2.52	2.29	2.04	1.78	1.51	1.22	0.89	0.53	0.11	0.00	0.00
	E	0.10	2.87	2.66	2.43	2.19	1.94	1.67	1.38	1.07	0.73	0.35	0.00	0.00	0.00
	SW	0.15	2.90	2.68	2.46	2.22	1.97	1.70	1.42	1.12	0.78	0.41	0.00	0.00	0.00
	S	0.20	2.93	2.71	2.49	2.26	2.01	1.74	1.47	1.17	0.84	0.47	0.04	0.00	0.00
	NW	1.00	3.37	3.17	2.96	2.74	2.56	2.37	2.16	1.95	1.71	1.46	1.18	0.86	0.46

清

特老

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层所在楼层数																								
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
		8	N	0.70	4.15	3.33	2.45	1.39																					
					3.93	3.09	2.17	1.01																					
					3.86	3.01	2.07	0.88																					
					3.88	3.04	2.11	0.92																					
					3.90	3.06	2.14	0.96																					
					4.30	3.50	2.64	1.64																					
		10	N	0.70	4.86	4.12	3.33	2.47	1.42	0.00																			
					4.66	3.89	3.09	2.17	1.01	0.00																			
					4.59	3.82	3.01	2.07	0.87	0.00																			
					4.61	3.85	3.04	2.10	0.92	0.00																			
					4.63	3.87	3.06	2.13	0.96	0.00																			
					5.00	4.26	3.50	2.67	1.70	0.16																			
呼	办	12	N	0.70	5.53	4.83	4.12	3.35	2.49	1.45	0.00																		
					5.33	4.63	3.89	3.09	2.17	1.01	0.00																		
					5.27	4.56	3.82	3.00	2.06	0.87	0.00																		
					5.29	4.58	3.85	3.03	2.09	0.92	0.00																		
					5.31	4.60	3.87	3.06	2.13	0.97	0.00																		
					5.65	4.97	4.26	3.52	2.71	1.75	0.29																		
和	公		N	0.70	5.53	4.83	4.12	3.35	2.49	1.45	0.00																		
					5.33	4.63	3.89	3.09	2.17	1.01	0.00																		
					5.27	4.56	3.82	3.00	2.06	0.87	0.00																		
					5.29	4.58	3.85	3.03	2.09	0.92	0.00																		
					5.31	4.60	3.87	3.06	2.13	0.97	0.00																		
					5.65	4.97	4.26	3.52	2.71	1.75	0.29																		

14	N	0.70	6.16	5.50	4.83	4.13	3.37	2.52	1.48	0.00								
	NE	0.25	5.97	5.30	4.63	3.89	3.09	2.17	1.02	0.00								
	E	0.10	5.91	5.24	4.56	3.81	2.99	2.05	0.86	0.00								
	SW	0.15	5.93	5.26	4.58	3.84	3.02	2.09	0.92	0.00								
	S	0.20	5.95	5.28	4.60	3.87	3.05	2.13	0.97	0.00								
	NW	1.00	6.27	5.62	4.97	4.29	3.56	2.75	1.79	0.38								
16	N	0.70	6.75	6.12	5.50	4.84	4.15	3.39	2.54	1.51	0.00							
	NE	0.25	6.57	5.94	5.30	4.62	3.89	3.08	2.17	1.02	0.00							
	E	0.10	6.52	5.88	5.24	4.55	3.80	2.98	2.04	0.86	0.00							
	SW	0.15	6.53	5.90	5.26	4.57	3.83	3.02	2.08	0.91	0.00							
	S	0.20	6.55	5.92	5.28	4.60	3.86	3.05	2.12	0.97	0.00							
	NW	1.00	6.87	6.25	5.62	4.99	4.32	3.60	2.79	1.83	0.45							
18	N	0.70	7.32	6.72	6.12	5.51	4.86	4.17	3.41	2.56	1.53	0.00						
	NE	0.25	7.15	6.55	5.94	5.30	4.62	3.89	3.08	2.17	1.03	0.00						
	E	0.10	7.10	6.49	5.88	5.23	4.54	3.79	2.97	2.03	0.86	0.00						
	SW	0.15	7.11	6.51	5.90	5.26	4.57	3.83	3.01	2.08	0.91	0.00						
	S	0.20	7.13	6.53	5.92	5.28	4.59	3.86	3.05	2.12	0.97	0.00						
	NW	1.00	7.43	6.84	6.25	5.65	5.02	4.35	3.63	2.82	1.87	0.52						
20	N	0.70	7.87	7.29	6.72	6.13	5.53	4.88	4.18	3.43	2.57	1.55	0.00					
	NE	0.25	7.71	7.13	6.55	5.94	5.30	4.62	3.89	3.08	2.16	1.03	0.00					
	E	0.10	7.65	7.07	6.49	5.87	5.22	4.53	3.79	2.97	2.03	0.86	0.00					
	SW	0.15	7.67	7.09	6.51	5.90	5.25	4.56	3.82	3.01	2.07	0.91	0.00					
	S	0.20	7.69	7.11	6.53	5.92	5.27	4.59	3.85	3.04	2.12	0.97	0.00					
	NW	1.00	7.98	7.41	6.84	6.27	5.68	5.05	4.38	3.66	2.85	1.90	0.58					

浩

特
楼

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层数																								
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
		8	N	0.45	0.64	0.59	0.54	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36																	
			E	1.00	1.16	1.11	1.07	1.03	1.05	1.06	1.07	1.08																	
			SE	0.40	0.59	0.54	0.49	0.43	0.40	0.37	0.33	0.29																	
			S	0.55	0.73	0.68	0.63	0.58	0.56	0.54	0.52	0.49																	
			W	0.25	0.43	0.40	0.34	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10																	
			NW	0.15	0.36	0.30	0.24	0.18	0.13	0.08	0.02	0.00																	
		10	N	0.45	0.69	0.64	0.59	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.38	0.35															
			E	1.00	1.20	1.16	1.11	1.07	1.09	1.10	1.11	1.12	1.12	1.12	1.12														
			SE	0.40	0.65	0.59	0.54	0.49	0.46	0.42	0.39	0.35	0.31	0.28															
			S	0.55	0.78	0.73	0.68	0.63	0.61	0.59	0.57	0.54	0.52	0.49															
			W	0.25	0.51	0.45	0.40	0.34	0.30	0.25	0.21	0.16	0.11	0.06															
			NW	0.15	0.42	0.36	0.30	0.24	0.19	0.14	0.09	0.03	0.00	0.00															
济	住	12	N	0.45	0.74	0.69	0.64	0.59	0.56	0.53	0.50	0.47	0.44	0.40	0.37	0.33													
			E	1.00	1.24	1.20	1.16	1.11	1.13	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.15												
			SE	0.40	0.70	0.65	0.59	0.54	0.51	0.48	0.44	0.41	0.37	0.33	0.29	0.25	0.25												
			S	0.55	0.83	0.78	0.73	0.68	0.67	0.65	0.62	0.60	0.57	0.54	0.51	0.48	0.48												
			W	0.25	0.56	0.51	0.45	0.40	0.35	0.31	0.27	0.22	0.17	0.13	0.08	0.03	0.03												
			NW	0.15	0.47	0.42	0.36	0.30	0.25	0.20	0.15	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00												

14	N	0.45	0.79	0.74	0.69	0.64	0.61	0.59	0.56	0.52	0.49	0.46	0.42	0.38	0.35	0.31			
	E	1.00	1.28	1.24	1.16	1.17	1.20	1.19	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.19	1.18	1.17			
	SE	0.40	0.74	0.70	0.59	0.56	0.53	0.50	0.46	0.43	0.39	0.35	0.35	0.31	0.27	0.23			
	S	0.55	0.88	0.83	0.73	0.72	0.67	0.65	0.62	0.59	0.56	0.56	0.56	0.53	0.50	0.46			
	W	0.25	0.61	0.56	0.45	0.41	0.37	0.32	0.28	0.23	0.19	0.14	0.14	0.09	0.04	0.00			
	NW	0.15	0.52	0.47	0.36	0.31	0.26	0.21	0.15	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
16	N	0.45	0.84	0.79	0.69	0.66	0.61	0.58	0.55	0.52	0.48	0.44	0.40	0.37	0.33	0.28	0.32	0.28	
	E	1.00	1.32	1.28	1.20	1.22	1.24	1.23	1.24	1.24	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	1.19	
	SE	0.40	0.79	0.70	0.65	0.61	0.55	0.52	0.48	0.44	0.40	0.40	0.40	0.37	0.33	0.28	0.24	0.20	
	S	0.55	0.92	0.88	0.78	0.77	0.72	0.70	0.67	0.64	0.61	0.61	0.61	0.58	0.55	0.52	0.48	0.45	
	W	0.25	0.66	0.61	0.51	0.46	0.38	0.33	0.29	0.24	0.20	0.20	0.20	0.15	0.10	0.05	0.00	0.00	
	NW	0.15	0.57	0.52	0.42	0.36	0.26	0.21	0.16	0.11	0.06	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	N	0.45	0.88	0.84	0.74	0.71	0.66	0.63	0.59	0.56	0.53	0.53	0.53	0.49	0.45	0.42	0.38	0.34	0.26
	E	1.00	1.36	1.32	1.24	1.26	1.28	1.28	1.28	1.28	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.25	1.23	1.21
	SE	0.40	0.84	0.79	0.70	0.67	0.63	0.60	0.57	0.53	0.50	0.46	0.46	0.42	0.38	0.34	0.30	0.26	0.17
	S	0.55	0.97	0.92	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.72	0.69	0.66	0.66	0.63	0.60	0.57	0.54	0.50	0.43
	W	0.25	0.71	0.66	0.56	0.52	0.43	0.39	0.34	0.30	0.25	0.25	0.25	0.21	0.16	0.11	0.06	0.01	0.00
	NW	0.15	0.62	0.57	0.47	0.42	0.32	0.27	0.22	0.17	0.12	0.12	0.12	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
20	N	0.45	0.93	0.88	0.79	0.76	0.71	0.68	0.68	0.64	0.61	0.58	0.58	0.54	0.51	0.47	0.43	0.39	0.31
	E	1.00	1.40	1.36	1.28	1.30	1.32	1.32	1.32	1.33	1.32	1.32	1.32	1.31	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25
	SE	0.40	0.88	0.84	0.74	0.71	0.65	0.62	0.58	0.55	0.51	0.51	0.51	0.47	0.43	0.39	0.35	0.31	0.23
	S	0.55	1.01	0.97	0.88	0.84	0.82	0.79	0.77	0.74	0.71	0.71	0.71	0.68	0.65	0.62	0.59	0.55	0.48
	W	0.25	0.76	0.71	0.61	0.57	0.48	0.44	0.40	0.35	0.31	0.31	0.31	0.26	0.22	0.17	0.12	0.07	0.00
	NW	0.15	0.67	0.62	0.52	0.47	0.37	0.32	0.27	0.22	0.17	0.17	0.17	0.12	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 η	计算层所在楼层数																																									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																						
		8	N	0.45	1.32	1.09	0.85	0.61	0.34	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00																																
			E	1.00	1.74	1.54	1.33	1.16	0.99	0.80	0.58	0.28																																		
			SE	0.40	1.28	1.05	0.81	0.56	0.28	0.00	0.00	0.00																																		
			S	0.55	1.40	1.17	0.94	0.71	0.45	0.16	0.00	0.00																																		
			W	0.25	1.17	0.93	0.68	0.41	0.10	0.00	0.00	0.00																																		
			NW	0.15	1.09	0.85	0.59	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00																																		
		10	N	0.45	1.52	1.31	1.09	0.87	0.63	0.37	0.05	0.00	0.00																																	
			E	1.00	1.92	1.73	1.54	1.37	1.22	1.06	0.86	0.64	0.37																																	
			SE	0.40	1.49	1.27	1.05	0.82	0.58	0.31	0.00	0.00	0.00																																	
			S	0.55	1.60	1.39	1.17	0.96	0.74	0.49	0.20	0.00	0.00																																	
			W	0.25	1.38	1.16	0.93	0.69	0.42	0.12	0.00	0.00	0.00																																	
			NW	0.15	1.30	1.08	0.85	0.59	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00																																	
济	办	12	N	0.45	1.71	1.51	1.31	1.11	0.89	0.66	0.40	0.09	0.00	0.00																																
			E	1.00	2.10	1.91	1.73	1.58	1.44	1.28	1.11	0.92	0.70	0.44																																
			SE	0.40	1.68	1.48	1.27	1.06	0.84	0.60	0.33	0.01	0.00	0.00																																
	公		S	0.55	1.78	1.59	1.39	1.19	0.99	0.77	0.53	0.24	0.00	0.00																																
			W	0.25	1.57	1.37	1.16	0.93	0.69	0.43	0.14	0.00	0.00	0.00																																
			NW	0.15	1.50	1.29	1.08	0.85	0.59	0.32	0.01	0.00	0.00	0.00																																

14	N E SE S W NW	0.45	1.89	1.70	1.51	1.32	1.12	0.91	0.68	0.42	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		1.00	2.26	2.09	1.91	1.77	1.64	1.49	1.33	1.16	0.97	0.76	0.50	0.14							
		0.40	1.86	1.67	1.48	1.28	1.08	0.86	0.62	0.35	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00						
		0.55	1.96	1.77	1.59	1.40	1.22	1.02	0.80	0.56	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00						
		0.25	1.76	1.57	1.37	1.16	0.94	0.70	0.44	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
		0.15	1.69	1.50	1.29	1.08	0.85	0.60	0.32	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
16	N E SE S W NW	0.45	2.07	1.89	1.70	1.52	1.34	1.14	0.83	0.70	0.44	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		1.00	2.43	2.26	2.09	1.95	1.82	1.69	1.54	1.38	1.21	1.02	0.81	0.56	0.23						
		0.40	2.04	1.85	1.67	1.48	1.29	1.09	0.87	0.64	0.37	0.07	0.00	0.00	0.00						
		0.55	2.13	1.95	1.77	1.60	1.43	1.24	1.04	0.82	0.58	0.31	0.00	0.00	0.00						
		0.25	1.94	1.75	1.57	1.37	1.16	0.94	0.71	0.45	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00						
		0.15	1.87	1.68	1.50	1.29	1.07	0.84	0.60	0.33	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00						
18	N E SE S W NW	0.45	2.24	2.06	1.89	1.71	1.54	1.35	1.16	0.95	0.72	0.46	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		1.00	2.58	2.42	2.26	2.12	2.00	1.87	1.73	1.58	1.42	1.25	1.06	0.85	0.61	0.30					
		0.40	2.20	2.03	1.85	1.68	1.50	1.31	1.10	0.89	0.65	0.39	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.55	2.30	2.13	1.95	1.79	1.62	1.45	1.26	1.06	0.85	0.61	0.34	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.25	2.11	1.93	1.75	1.57	1.37	1.17	0.95	0.71	0.46	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.15	2.05	1.87	1.68	1.49	1.29	1.07	0.84	0.60	0.33	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	N E SE S W NW	0.45	2.40	2.23	2.06	1.89	1.73	1.55	1.37	1.17	0.96	0.73	0.48	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		1.00	2.73	2.57	2.42	2.29	2.17	2.05	1.91	1.77	1.62	1.46	1.29	1.10	0.89	0.66	0.36				
		0.40	2.37	2.20	2.03	1.86	1.69	1.51	1.32	1.12	0.90	0.67	0.41	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.55	2.46	2.29	2.13	1.97	1.81	1.64	1.47	1.28	1.08	0.87	0.63	0.36	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.25	2.27	2.10	1.93	1.75	1.57	1.37	1.17	0.95	0.72	0.47	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.15	2.21	2.04	1.87	1.68	1.49	1.28	1.07	0.84	0.60	0.34	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 η	计算层所在楼层数																				
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		8	N	0.65	0.78	0.75	0.71	0.67	0.67	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67			
			NE	0.90	1.02	0.99	0.95	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99		
			SE	0.15	0.31	0.26	0.22	0.17	0.14	0.10	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
			S	0.20	0.36	0.31	0.27	0.22	0.19	0.16	0.12	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	
			SW	0.40	0.55	0.51	0.46	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
			W	1.00	1.12	1.08	1.05	1.02	1.05	1.08	1.10	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
		10	N	0.65	0.82	0.78	0.75	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71		
			NE	0.90	1.05	1.02	0.99	0.95	0.98	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	
			SE	0.15	0.35	0.31	0.26	0.22	0.18	0.15	0.11	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			S	0.20	0.40	0.36	0.31	0.27	0.24	0.20	0.17	0.14	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
			SW	0.40	0.58	0.55	0.51	0.46	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
			W	1.00	1.15	1.12	1.08	1.05	1.08	1.11	1.13	1.16	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
郑	住	12	N	0.65	0.85	0.82	0.78	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		
			NE	0.90	1.09	1.05	1.02	0.99	1.01	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	
			SE	0.15	0.39	0.35	0.31	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			S	0.20	0.44	0.40	0.36	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.15	0.11	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
			SW	0.40	0.62	0.58	0.55	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.38	0.36	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
			W	1.00	1.18	1.15	1.12	1.08	1.12	1.14	1.16	1.18	1.19	1.20	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21

州 宅

14	N	0.65	0.89	0.85	0.82	0.78	0.79	0.78	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.72	0.71						
	NE	0.90	1.12	1.09	1.05	1.02	1.06	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09						
	SE	0.15	0.43	0.39	0.35	0.31	0.23	0.20	0.16	0.13	0.09	0.05	0.01	0.00	0.00						
	S	0.20	0.48	0.44	0.40	0.36	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.12	0.09	0.05	0.02						
	SW	0.40	0.66	0.62	0.58	0.55	0.51	0.49	0.47	0.45	0.42	0.40	0.38	0.35	0.32						
	W	1.00	1.21	1.18	1.15	1.12	1.17	1.19	1.21	1.22	1.23	1.24	1.24	1.24	1.24						
16	N	0.65	0.92	0.89	0.85	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.78	0.77	0.76	0.74	0.73	0.71				
	NE	0.90	1.15	1.12	1.08	1.05	1.09	1.11	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.11				
	SE	0.15	0.47	0.43	0.39	0.35	0.28	0.24	0.20	0.17	0.13	0.10	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00				
	S	0.20	0.52	0.48	0.44	0.40	0.33	0.30	0.27	0.23	0.20	0.16	0.13	0.10	0.06	0.03	0.00				
	SW	0.40	0.70	0.66	0.62	0.58	0.55	0.53	0.51	0.49	0.46	0.44	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31				
	W	1.00	1.24	1.21	1.18	1.15	1.20	1.22	1.24	1.25	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27				
18	N	0.65	0.96	0.92	0.89	0.85	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.79	0.78	0.76	0.75	0.73	0.71		
	NE	0.90	1.18	1.15	1.12	1.09	1.11	1.13	1.14	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.15	1.14	1.14	1.13		
	SE	0.15	0.51	0.47	0.43	0.39	0.32	0.28	0.25	0.21	0.17	0.14	0.10	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00		
	S	0.20	0.55	0.52	0.48	0.44	0.37	0.34	0.31	0.27	0.24	0.21	0.17	0.14	0.10	0.07	0.03	0.00	0.00		
	SW	0.40	0.73	0.70	0.66	0.62	0.59	0.57	0.55	0.53	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.38	0.35	0.32	0.30		
	W	1.00	1.27	1.24	1.21	1.18	1.23	1.25	1.27	1.28	1.29	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30		
20	N	0.65	0.99	0.96	0.92	0.89	0.89	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.81	0.80	0.78	0.77	0.75	0.73	0.71
	NE	0.90	1.21	1.18	1.15	1.12	1.14	1.17	1.18	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.18	1.17	1.17	1.16	1.15	1.14
	SE	0.15	0.55	0.51	0.47	0.43	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.18	0.14	0.11	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.20	0.59	0.55	0.52	0.48	0.41	0.38	0.35	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.15	0.11	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00
	SW	0.40	0.77	0.73	0.70	0.66	0.63	0.61	0.58	0.56	0.54	0.52	0.49	0.47	0.44	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.28
	W	1.00	1.30	1.27	1.24	1.21	1.26	1.28	1.30	1.31	1.32	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.32

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 η	计算层数所在楼层数																					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		8	N	0.65	1.34	1.15	0.96	0.78	0.60	0.40	0.16	0.00														
			NE	0.90	1.53	1.36	1.19	1.04	0.90	0.74	0.56	0.35														
			SE	0.15	0.94	0.73	0.52	0.28	0.02	0.00	0.00	0.00														
			S	0.20	0.98	0.77	0.56	0.33	0.08	0.00	0.00	0.00														
			SW	0.40	1.14	0.94	0.74	0.53	0.31	0.06	0.00	0.00														
			W	1.00	1.61	1.44	1.27	1.14	1.02	0.88	0.72	0.54														
		10	N	0.65	1.50	1.33	1.15	0.99	0.83	0.65	0.45	0.21	0.00													
			NE	0.90	1.69	1.53	1.36	1.22	1.10	0.96	0.80	0.62	0.41	0.14												
			SE	0.15	1.12	0.93	0.73	0.52	0.29	0.03	0.00	0.00	0.00													
			S	0.20	1.16	0.97	0.77	0.56	0.34	0.09	0.00	0.00	0.00													
			SW	0.40	1.31	1.13	0.94	0.75	0.56	0.34	0.09	0.00	0.00													
			W	1.00	1.77	1.61	1.44	1.32	1.21	1.08	0.94	0.78	0.61	0.39												
		12	N	0.65	1.66	1.49	1.33	1.17	1.03	0.86	0.69	0.49	0.26	0.00	0.00											
			NE	0.90	1.84	1.68	1.53	1.40	1.28	1.15	1.01	0.85	0.67	0.49	0.21	0.00										
			SE	0.15	1.29	1.11	0.93	0.73	0.52	0.29	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00											
			S	0.20	1.33	1.15	0.97	0.78	0.57	0.35	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00											
			SW	0.40	1.48	1.30	1.13	0.95	0.77	0.58	0.36	0.12	0.00	0.00	0.00											
			W	1.00	1.91	1.76	1.61	1.48	1.38	1.26	1.14	1.00	0.84	0.66	0.46	0.18										

14	N	0.65	1.81	1.65	1.49	1.35	1.21	1.06	0.90	0.72	0.52	0.30	0.03	0.00	0.00			
	NE	0.90	1.98	1.83	1.68	1.56	1.45	1.33	1.20	1.05	0.89	0.72	0.52	0.28	0.00			
	SE	0.15	1.46	1.29	1.11	0.93	0.73	0.52	0.30	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	S	0.20	1.49	1.32	1.15	0.97	0.78	0.58	0.36	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	SW	0.40	1.63	1.47	1.30	1.14	0.97	0.79	0.60	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00			
	W	1.00	2.06	1.91	1.76	1.64	1.54	1.44	1.32	1.19	1.04	0.89	0.72	0.51	0.26			
16	N	0.65	1.95	1.80	1.65	1.51	1.38	1.24	1.09	0.93	0.75	0.55	0.33	0.08	0.00	0.00		
	NE	0.90	2.12	1.98	1.83	1.71	1.61	1.50	1.37	1.24	1.09	0.94	0.76	0.57	0.33	0.01		
	SE	-0.15	1.61	1.45	1.29	1.11	0.92	0.73	0.52	0.30	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	S	0.20	1.65	1.48	1.32	1.15	0.97	0.78	0.58	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	SW	0.40	1.78	1.63	1.47	1.31	1.15	0.99	0.81	0.61	0.40	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00		
	W	1.00	2.19	2.05	1.91	1.80	1.70	1.60	1.48	1.36	1.23	1.09	0.93	0.76	0.57	0.33		
18	N	0.65	2.09	1.95	1.80	1.67	1.54	1.41	1.27	1.12	0.95	0.78	0.58	0.37	0.12	0.00	0.00	
	NE	0.90	2.26	2.12	1.98	1.86	1.76	1.65	1.54	1.41	1.27	1.13	0.97	0.80	0.61	0.38	0.08	
	SE	0.15	1.76	1.61	1.45	1.28	1.11	0.92	0.73	0.68	0.31	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	S	0.20	1.79	1.64	1.48	1.32	1.15	0.97	0.78	0.59	0.37	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SW	0.40	1.93	1.78	1.63	1.48	1.33	1.17	1.00	0.82	0.63	0.42	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	1.00	2.33	2.19	2.05	1.94	1.85	1.75	1.64	1.53	1.40	1.27	1.13	0.98	0.81	0.62	0.39	
20	N	0.65	2.23	2.09	1.95	1.82	1.70	1.57	1.44	1.29	1.14	0.98	0.80	0.61	0.40	0.15	0.00	0.00
	NE	0.90	2.39	2.25	2.12	2.01	1.91	1.81	1.69	1.57	1.45	1.31	1.16	1.01	0.84	0.65	0.43	0.15
	SE	0.15	1.91	1.76	1.61	1.45	1.28	1.10	0.92	0.73	0.53	0.31	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.20	1.94	1.79	1.64	1.48	1.32	1.15	0.97	0.79	0.59	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SW	0.40	2.07	1.92	1.78	1.63	1.49	1.34	1.18	1.01	0.83	0.64	0.44	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
	W	1.00	2.45	2.32	2.19	2.08	1.99	1.90	1.80	1.68	1.57	1.44	1.31	1.17	1.01	0.85	0.66	0.44

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层所在楼层数																						
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
		8	N	0.70	1.13	1.02	0.90	0.77	0.68	0.58	0.48	0.36															
			NE	1.00	1.28	1.17	1.06	1.01	0.95	0.88	0.81																
			NW	0.25	0.74	0.62	0.48	0.33	0.19	0.03	0.00																
			S	0.40	0.87	0.75	0.62	0.48	0.35	0.22	0.07	0.00															
			SW	0.50	0.96	0.84	0.71	0.57	0.46	0.34	0.21	0.06															
			W	0.35	0.83	0.70	0.57	0.43	0.30	0.16	0.00																
		10	N	0.70	1.24	1.13	1.02	0.90	0.81	0.72	0.63	0.52	0.40	0.27													
			NE	1.00	1.48	1.39	1.28	1.17	1.07	1.01	0.94	0.86	0.78														
			NW	0.25	0.86	0.74	0.62	0.48	0.34	0.20	0.05	0.00	0.00														
			S	0.40	0.99	0.87	0.75	0.62	0.50	0.38	0.24	0.10	0.00														
			SW	0.50	1.07	0.96	0.84	0.71	0.60	0.49	0.37	0.24	0.10	0.00													
			W	0.35	0.95	0.83	0.70	0.57	0.45	0.32	0.18	0.03	0.00														
西	住	12	N	0.70	1.34	1.24	1.13	1.02	0.94	0.85	0.76	0.66	0.56	0.44	0.31	0.17											
			NE	1.00	1.58	1.48	1.39	1.28	1.23	1.18	1.12	1.06	0.98	0.91	0.82	0.73											
			NW	0.25	0.98	0.86	0.74	0.62	0.49	0.36	0.22	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00											
			S	0.40	1.10	0.99	0.87	0.75	0.64	0.52	0.40	0.27	0.13	0.00	0.00	0.00											
			SW	0.50	1.18	1.07	0.96	0.84	0.74	0.63	0.52	0.40	0.27	0.13	0.00	0.00											
			W	0.35	1.06	0.95	0.83	0.70	0.59	0.47	0.34	0.20	0.05	0.00	0.00	0.00											

14	N	0.70	1.44	1.34	1.24	1.13	1.05	0.97	0.89	0.79	0.69	0.59	0.47	0.35	0.21	0.05				
	NE	1.00	1.67	1.58	1.48	1.39	1.34	1.29	1.23	1.17	1.10	1.03	0.95	0.86	0.77	0.67				
	NW	0.25	1.09	0.98	0.86	0.74	0.62	0.50	0.37	0.23	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
	S	0.40	1.21	1.10	0.99	0.87	0.77	0.66	0.54	0.42	0.29	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00				
	SW	0.50	1.29	1.18	1.07	0.96	0.86	0.76	0.66	0.54	0.42	0.29	0.16	0.00	0.00	0.00				
	W	0.35	1.17	1.06	0.95	0.83	0.72	0.60	0.48	0.36	0.22	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00				
16	N	0.70	1.54	1.44	1.34	1.24	1.16	1.09	1.01	0.92	0.82	0.72	0.62	0.50	0.38	0.24	0.08	0.00		
	NE	1.00	1.77	1.67	1.58	1.48	1.44	1.39	1.34	1.28	1.21	1.14	1.07	0.99	0.90	0.81	0.71	0.61		
	NW	0.25	1.20	1.09	0.98	0.86	0.75	0.63	0.51	0.38	0.24	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	S	0.40	1.31	1.21	1.10	0.99	0.89	0.78	0.67	0.56	0.44	0.31	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00		
	SW	0.50	1.39	1.29	1.18	1.07	0.98	0.88	0.78	0.68	0.57	0.45	0.32	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00		
	W	0.35	1.27	1.17	1.06	0.95	0.84	0.73	0.62	0.50	0.37	0.24	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
18	N	0.70	1.63	1.54	1.44	1.34	1.27	1.20	1.12	1.03	0.95	0.85	0.75	0.65	0.53	0.41	0.28	0.13	0.00	0.00
	NE	1.00	1.85	1.77	1.67	1.58	1.54	1.49	1.44	1.38	1.32	1.25	1.18	1.10	1.02	0.94	0.85	0.75	0.65	0.53
	NW	0.25	1.30	1.20	1.09	0.98	0.87	0.76	0.64	0.52	0.39	0.25	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.40	1.41	1.31	1.21	1.10	1.00	0.90	0.80	0.69	0.57	0.45	0.32	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SW	0.50	1.48	1.39	1.29	1.18	1.09	1.00	0.90	0.80	0.70	0.58	0.47	0.34	0.21	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
	W	0.35	1.37	1.27	1.17	1.06	0.96	0.85	0.74	0.63	0.51	0.39	0.25	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	N	0.70	1.72	1.63	1.54	1.44	1.37	1.30	1.23	1.15	1.06	0.97	0.88	0.78	0.67	0.56	0.44	0.31	0.16	0.00
	NE	1.00	1.94	1.85	1.77	1.67	1.63	1.59	1.54	1.48	1.42	1.36	1.29	1.22	1.14	1.06	0.97	0.88	0.79	0.68
	NW	0.25	1.40	1.30	1.20	1.09	0.98	0.87	0.76	0.64	0.52	0.40	0.26	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.40	1.51	1.41	1.31	1.21	1.11	1.02	0.92	0.81	0.70	0.59	0.47	0.34	0.21	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
	SW	0.50	1.58	1.48	1.39	1.29	1.20	1.11	1.02	0.92	0.82	0.72	0.60	0.49	0.36	0.23	0.08	0.00	0.00	0.00
	W	0.35	1.47	1.37	1.27	1.17	1.07	0.97	0.86	0.76	0.64	0.52	0.40	0.27	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

安

宅

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 μ	计算层所在楼层数																					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		8	N	0.70	2.64	2.16	1.65	1.07	0.30																	
					2.82	2.36	1.87	1.34	0.72																	
					2.37	1.87	1.31	0.65	0.00																	
					2.46	1.96	1.43	0.79	0.00																	
					2.52	2.03	1.50	0.88	0.02																	
					2.43	1.93	1.39	0.74	0.00																	
					3.06	2.62	2.16	1.67	1.11	0.36																
					3.23	2.80	2.36	1.90	1.41	0.79																
西	办	10	N	0.70	2.81	2.35	1.87	1.32	0.66	0.00																
					2.89	2.44	1.96	1.43	0.81	0.00																
					2.95	2.50	2.03	1.51	0.91	0.07																
					2.87	2.41	1.93	1.39	0.76	0.00																
					3.46	3.05	2.62	2.18	1.70	1.14	0.41															
					3.62	3.21	2.80	2.39	1.96	1.46	0.86															
					3.22	2.79	2.35	1.86	1.32	0.66	0.00															
					3.30	2.88	2.44	1.97	1.45	0.82	0.00															
		12	N	0.70	3.35	2.93	2.50	2.04	1.53	0.93	0.12															
					3.27	2.85	2.41	1.93	1.40	0.77	0.00															
					3.46	3.05	2.62	2.18	1.70	1.14	0.41															
					3.62	3.21	2.80	2.39	1.96	1.46	0.86															
					3.22	2.79	2.35	1.86	1.32	0.66	0.00															
					3.30	2.88	2.44	1.97	1.45	0.82	0.00															
					3.46	3.05	2.62	2.18	1.70	1.14	0.41															
					3.62	3.21	2.80	2.39	1.96	1.46	0.86															
		12	N	0.70	3.46	3.05	2.62	2.18	1.70	1.14	0.41															
					3.62	3.21	2.80	2.39	1.96	1.46	0.86															
					3.22	2.79	2.35	1.86	1.32	0.66	0.00															
					3.30	2.88	2.44	1.97	1.45	0.82	0.00															
					3.46	3.05	2.62	2.18	1.70	1.14	0.41															
					3.62	3.21	2.80	2.39	1.96	1.46	0.86															
					3.22	2.79	2.35	1.86	1.32	0.66	0.00															
					3.30	2.88	2.44	1.97	1.45	0.82	0.00															

安 楼

14	N	0.70	3.83	3.44	3.05	2.64	2.21	1.73	1.18	0.46									
	NE	1.00	3.98	3.60	3.21	2.83	2.44	2.00	1.51	0.91									
	NW	0.25	3.60	3.20	2.79	2.35	1.96	1.32	0.67	0.00									
	S	0.40	3.68	3.28	2.88	2.45	1.98	1.46	0.84	0.00									
	SW	0.50	3.73	3.33	2.93	2.51	2.06	1.55	0.95	0.16									
	W	0.35	3.66	3.25	2.85	2.41	1.94	1.41	0.78	0.00									
16	N	0.70	4.19	3.82	3.44	3.06	2.66	2.23	1.76	1.20	0.50								
	NE	1.00	4.34	3.97	3.60	3.24	2.88	2.48	2.05	1.55	0.96								
	NW	0.25	3.97	3.59	3.20	2.79	2.35	1.86	1.32	0.68	0.00								
	S	0.40	4.04	3.66	3.28	2.88	2.45	1.99	1.47	0.85	0.03								
	SW	0.50	4.09	3.72	3.33	2.94	2.52	2.07	1.56	0.97	0.19								
	W	0.35	4.02	3.64	3.25	2.85	2.42	1.95	1.42	0.80	0.00								
18	N	0.70	4.53	4.18	3.82	3.46	3.08	2.69	2.26	1.78	1.23	0.54	0.00						
	NE	1.00	4.67	4.32	3.97	3.63	3.28	2.91	2.52	2.08	1.59	1.01	0.08						
	NW	0.25	4.32	3.96	3.59	3.20	2.79	2.35	1.86	1.32	0.68	0.00	0.00						
	S	0.40	4.39	4.03	3.66	3.29	2.89	2.46	2.00	1.46	0.87	0.06	0.00						
	SW	0.50	4.44	4.08	3.72	3.34	2.95	2.54	2.08	1.58	0.99	0.22	0.00						
	W	0.35	4.37	4.00	3.64	3.26	2.85	2.42	1.95	1.43	0.81	0.09	0.00						
20	N	0.70	4.86	4.52	4.18	3.83	3.48	3.11	2.71	2.28	1.80	1.25	0.57	0.00					
	NE	1.00	5.00	4.66	4.32	3.99	3.67	3.32	2.95	2.55	2.12	1.63	1.05	0.19					
	NW	0.25	4.66	4.31	3.96	3.59	3.20	2.79	2.35	1.86	1.33	0.69	0.00	0.00					
	S	0.40	4.73	4.38	4.03	3.67	3.29	2.89	2.47	2.00	1.48	0.88	0.08	0.00					
	SW	0.50	4.77	4.42	4.08	3.72	3.35	2.96	2.55	2.09	1.59	1.00	0.25	0.00					
	W	0.35	4.71	4.35	4.00	3.64	3.28	2.86	2.43	1.96	1.43	0.82	0.00	0.00					

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层所在楼层数																							
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
		8	N	0.35	1.57	1.28	0.95	0.57	0.12	0.00																		
			E	0.55	1.72	1.43	1.12	0.76	0.36	0.00																		
			SE	0.75	1.86	1.58	1.28	0.94	0.59	0.12																		
			S	1.00	2.03	1.77	1.49	1.18	0.88	0.53																		
			SW	0.70	1.82	1.54	1.24	0.90	0.53	0.04																		
			W	0.25	1.50	1.20	0.87	0.48	0.01	0.00																		
			N	0.35	1.85	1.57	1.26	0.95	0.59	0.15	0.00	0.00																
			E	0.55	1.98	1.72	1.43	1.12	0.79	0.40	0.00	0.00																
		10	SE	0.75	2.11	1.86	1.58	1.28	0.99	0.64	0.19	0.00																
			S	1.00	2.28	2.03	1.77	1.49	1.24	0.95	0.60	0.04																
			SW	0.70	2.08	1.82	1.54	1.24	0.94	0.58	0.11	0.00																
			W	0.25	1.78	1.50	1.20	0.87	0.49	0.03	0.00	0.00																
			N	0.35	2.10	1.85	1.57	1.28	0.96	0.61	0.18	0.00	0.00															
			E	0.55	2.23	1.98	1.72	1.43	1.14	0.82	0.43	0.00	0.00															
			SE	0.75	2.36	2.11	1.86	1.58	1.32	1.03	0.69	0.25	0.00															
			S	1.00	2.52	2.28	2.03	1.77	1.54	1.29	1.01	0.67	0.18															
		12	SW	0.70	2.32	2.08	1.82	1.54	1.27	0.97	0.62	0.17	0.00															
			W	0.25	2.04	1.78	1.50	1.20	0.87	0.50	0.05	0.00																

乌 住

鲁

14	N	0.35	2.34	2.10	1.85	1.57	1.29	0.97	0.62	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	E	0.55	2.46	2.23	1.98	1.72	1.45	1.16	0.84	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	SE	0.75	2.59	2.36	2.11	1.86	1.62	1.35	1.06	0.73	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	S	1.00	2.74	2.52	2.28	2.03	1.82	1.59	1.34	1.05	0.72	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SW	0.70	2.56	2.32	2.08	1.82	1.57	1.31	1.01	0.66	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	0.25	2.28	2.04	1.78	1.50	1.21	0.88	0.51	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
16	N	0.35	2.57	2.34	2.10	1.85	1.58	1.30	0.98	0.63	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	E	0.55	2.69	2.46	2.23	1.98	1.73	1.47	1.18	0.86	0.49	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SE	0.75	2.81	2.59	2.36	2.11	1.89	1.65	1.38	1.09	0.76	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	S	1.00	2.95	2.74	2.52	2.28	2.08	1.87	1.64	1.38	1.10	0.77	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SW	0.70	2.78	2.56	2.32	2.08	1.85	1.60	1.33	1.04	0.69	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	0.25	2.51	2.28	2.04	1.78	1.50	1.21	0.88	0.52	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	N	0.35	2.79	2.57	2.34	2.10	1.85	1.59	1.30	0.99	0.64	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	E	0.55	2.91	2.69	2.46	2.23	2.00	1.75	1.49	1.20	0.88	0.51	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SE	0.75	3.02	2.81	2.59	2.36	2.14	1.92	1.67	1.41	1.12	0.79	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	S	1.00	3.16	2.95	2.74	2.52	2.32	2.12	1.91	1.67	1.42	1.14	0.82	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SW	0.70	2.99	2.78	2.56	2.32	2.11	1.88	1.63	1.36	1.06	0.72	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	0.25	2.73	2.51	2.28	2.04	1.78	1.50	1.21	0.89	0.52	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	N	0.35	3.00	2.79	2.57	2.34	2.11	1.86	1.59	1.31	1.00	0.66	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	E	0.55	3.11	2.91	2.69	2.46	2.24	2.01	1.77	1.51	1.22	0.90	0.54	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SE	0.75	3.23	3.02	2.81	2.59	2.38	2.17	1.94	1.70	1.44	1.15	0.82	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	S	1.00	3.36	3.16	2.95	2.74	2.56	2.37	2.16	1.94	1.71	1.46	1.18	0.86	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SW	0.70	3.20	2.99	2.78	2.56	2.35	2.13	1.90	1.65	1.38	1.09	0.75	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	0.25	2.95	2.73	2.51	2.28	2.04	1.78	1.51	1.21	0.89	0.53	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

木

齐宅

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层所在楼层数																				
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		8	N	0.35	3.88	3.06	2.17	1.07																	
			E	0.55	3.98	3.17	2.30	1.24																	
			SE	0.75	4.07	3.28	2.43	1.41																	
			S	1.00	4.20	3.42	2.58	1.62																	
			SW	0.70	4.05	3.26	2.40	1.36																	
			W	0.25	3.83	3.01	2.11	0.98																	
			N	0.35	4.58	3.84	3.06	2.18	1.08	0.00															
			E	0.55	4.67	3.94	3.17	2.31	1.26	0.00															
乌鲁木齐市	办	10	SE	0.75	4.77	4.04	3.28	2.45	1.45	0.00															
			S	1.00	4.88	4.17	3.42	2.61	1.68	0.23															
			SW	0.70	4.74	4.02	3.26	2.41	1.40	0.00															
			W	0.25	4.54	3.79	3.01	2.11	0.99	0.00															
			N	0.35	5.24	4.55	3.84	3.07	2.18	1.09	0.00														
			E	0.55	5.32	4.64	3.94	3.18	2.33	1.28	0.00														
			SE	0.75	5.41	4.74	4.04	3.30	2.48	1.48	0.00														
			S	1.00	5.52	4.85	4.17	3.45	2.66	1.73	0.34														
乌鲁木齐市	公	12	SW	0.70	5.39	4.71	4.02	3.27	2.44	1.43	0.00														
			W	0.25	5.19	4.50	3.79	3.01	2.11	0.99	0.00														

木	14	N	0.35	5.86	5.21	4.55	3.84	3.07	2.19	1.10	0.00								
		E	0.55	5.94	5.30	4.64	3.95	3.20	2.35	1.30	0.00								
		SE	0.75	6.02	5.38	4.74	4.06	3.33	2.50	1.51	0.00								
		S	1.00	6.12	5.49	4.85	4.19	3.49	2.70	1.77	0.43								
		SW	0.70	6.00	5.36	4.71	4.03	3.29	2.46	1.46	0.00								
		W	0.25	5.81	5.17	4.50	3.78	3.01	2.11	0.99	0.00								
齐	16	N	0.35	6.44	5.83	5.21	4.55	3.85	3.07	2.19	1.11	0.00							
		E	0.55	6.52	5.91	5.30	4.65	3.96	3.21	2.36	1.32	0.00							
		SE	0.75	6.60	5.99	5.39	4.75	4.08	3.35	2.53	1.54	0.00							
		S	1.00	6.70	6.10	5.49	4.87	4.23	3.52	2.74	1.81	0.50							
		SW	0.70	6.58	5.97	5.36	4.72	4.05	3.32	2.49	1.49	0.00							
		W	0.25	6.40	5.79	5.17	4.50	3.79	3.00	2.11	1.00	0.00							
楼	18	N	0.35	7.00	6.42	5.83	5.21	4.55	3.85	3.08	2.20	1.11	0.00						
		E	0.55	7.08	6.50	5.91	5.30	4.66	3.98	3.22	2.37	1.34	0.00						
		SE	0.75	7.16	6.57	5.99	5.40	4.77	4.10	3.37	2.55	1.57	0.03						
		S	1.00	7.25	6.67	6.10	5.51	4.91	4.26	3.55	2.77	1.85	0.58						
		SW	0.70	7.14	6.55	5.97	5.37	4.74	4.07	3.33	2.50	1.51	0.00						
		W	0.25	6.97	6.38	5.79	5.16	4.50	3.79	3.00	2.11	1.00	0.00						
木	20	N	0.35	7.54	6.98	6.42	5.83	5.21	4.56	3.85	3.08	2.20	1.12	0.00					
		E	0.55	7.62	7.06	6.50	5.92	5.31	4.67	3.99	3.23	2.38	1.36	0.00					
		SE	0.75	7.69	7.13	6.57	6.01	5.42	4.79	4.12	3.39	2.57	1.59	0.09					
		S	1.00	7.78	7.23	6.67	6.12	5.54	4.94	4.29	3.58	2.80	1.88	0.62					
		SW	0.70	7.67	7.11	6.55	5.98	5.39	4.76	4.09	3.35	2.52	1.53	0.00					
		W	0.25	7.51	6.94	6.38	5.78	5.16	4.50	3.79	3.00	2.11	1.01	0.00					

城市	建筑类型	总层数	朝向	朝向修正系数 n	计算层所在楼层数																						
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
兰	办	8	N	1.00	16.00	12.67	9.02	4.39																			
			SE	0.70	15.92	12.58	8.91	4.23																			
			S	0.50	15.87	12.53	8.85	4.13																			
		SW	0.20	15.79	12.44	8.74	3.97																				
		W	0.15	15.78	12.42	8.73	3.94																				
		公	10	N	1.00	18.98	15.86	12.67	9.03	4.42																	
	SE			0.70	18.81	15.78	12.58	8.92	4.25																		
	S			0.50	18.77	15.73	12.53	8.85	4.14																		
	SW		0.20	18.70	15.65	12.44	8.74	3.96																			
	W		0.15	18.68	15.64	12.42	8.72	3.94																			
	楼		12	N	1.00	21.57	18.76	15.66	12.68	9.06	4.45																
		SE		0.70	21.50	18.69	15.78	12.59	8.94	4.27																	
S		0.50		21.46	18.64	15.73	12.58	8.86	4.15																		
SW		0.20	21.39	18.57	15.65	12.44	8.74	3.96																			
W		0.15	21.38	18.56	15.64	12.42	8.72	3.93																			
州		14	N	1.00	24.10	21.45	18.76	15.87	12.70	9.08	4.48																
	SE		0.70	24.03	21.38	18.69	15.79	12.60	8.95	4.28																	
	S		0.50	23.99	21.34	18.64	15.73	12.53	8.86	4.15																	
	SW	0.20	23.93	21.27	18.57	15.65	12.43	8.78	3.96																		
	W	0.15	23.92	21.26	18.56	15.64	12.42	8.71	3.92																		
	楼	16	N	1.00	26.50	23.99	21.45	18.77	15.89	12.72	9.10	4.51															
SE			0.70	26.44	23.92	21.38	18.69	15.80	12.61	8.96	4.30																
S			0.50	26.40	23.88	21.34	18.64	15.74	12.54	8.87	4.16																
SW		0.20	26.34	23.82	21.27	18.57	15.65	12.43	8.73	3.95																	
W		0.15	26.33	23.81	21.26	18.56	15.63	12.41	8.71	3.92																	
楼		18	N	1.00	28.80	26.39	23.99	21.46	18.79	15.91	12.74	9.12	4.53														
	SE		0.70	28.75	26.33	23.92	21.39	18.70	15.81	12.62	8.97	4.31															
	S		0.50	28.71	26.29	23.88	21.34	18.65	15.74	12.54	8.87	4.17															
	SW	0.20	28.65	26.23	23.82	21.27	18.56	15.64	12.43	8.73	3.95																
	W	0.15	28.64	26.22	23.81	21.26	18.55	15.63	12.41	8.70	3.91																
	楼	20	N	1.00	31.02	28.70	26.39	24.00	21.48	18.80	15.92	12.75	9.13	4.55													
SE			0.70	30.96	28.64	26.33	23.93	21.40	18.71	15.82	12.63	8.98	4.32														
S			0.50	30.92	28.60	26.29	23.88	21.35	18.65	15.75	12.55	8.88	4.17														
SW		0.20	30.87	28.55	26.23	23.82	21.27	18.56	15.64	12.42	8.72	3.95															
W		0.15	30.86	28.54	26.22	23.80	21.25	18.54	15.62	12.40	8.70	3.91															

注: 1.制表条件: i) 建筑物层高: 住宅为2.80m, 且各层等高, 办公楼为首层3.60m, 其它层3.30m; ii) 室内空气计算温度 t_n : 住宅为+5℃, 办公楼为+18℃; iii) 热压系数 C_p : 住宅为0.20, 办公楼为0.50; iv) 纯热压作用下的中和界取在建筑物总高度的1/2处。
 2.当计算层所在楼层的各个朝向上均为 $m=0$ 时, 表中该层不再写出0字。

外门开启冲入冷风耗热的计算方法

表 4.1-12

序号	外门类型与特征		外门开启冲入冷风耗热量 Q_1 的计算方法	备注
1	多层建筑外门 (短时间开启)	单层门	外门基本耗热量的65N%	N: 外门所在层以上的楼层数
		双层门(有门斗)	80N%	
		三层门(有两个门斗)	60N%	
2	多层建筑外门 (开启时间较长)	同1项	将1项中各对应值乘1.5~2.0	
3	高层建筑外门 (开启不频繁)	大门直接对着室外,且迎着主导风向	按门厅换气次数 $n=3\sim 4$ 计算冲入冷风量,再计算其耗热量	1.也可按1、2项方法; 2.考虑热压作用时,当建筑物总高在30m左右,则将 n 值增大50%
		不迎主导风向	$n=1\sim 2$ 计算冲入冷风量	
4	高层建筑外门 (开启频繁)	一层门(手动)	冲入冷风量取: 4100~4600m ³ /h	1.建筑物高50m; 2.室内外温差为15~25℃; 3.一个门每h出入人数约为250人
		二层门(手动)	冲入冷风量取: 1700~2200m ³ /h	

4.1.2 工业厂房及辅助房屋的供暖设计热负荷计算

1. 房间各面围护物的基本耗热量及其附加耗热量

仍可按式(4.1-1)、(4.1-2)及(4.1-3)计算。其中:

(1) 室内空气计算温度 t_n 的确定

• 工作地带的设计温度 t_g 及辅助房屋的室内空气计算温度按表4.1-13采用。

工业厂房及其辅助用房间室内空气温度(℃)

表 4.1-13

序号	车间性质	室内空气温度(℃)	序号	车间性质	室内空气温度(℃)
1	一、铸造与蜡模精密铸造		2	油漆车间(自然干燥)	18
2	浇注与清理工部	12~15	七、焊接车间		
3	造型工部	14~16	装配焊接工部	12~14	
4	落砂与落芯工部	10~14	八、木工车间		
	蜡模制造工部	16~18	1	机加装配工部	16~18
	二、锻压车间		2	塑料模、菱苦土模工部	18~20
1	锻压工部	8~12	3	木材干燥工部	5
2	机修、酸洗、模修、粗加工工部	14~16	九、中央试验室		
3	备料、清理	12~14	1	各试验室	14~18
4	水压机房、泵房	10	2	贮藏、库房	5~8
	三、热处理车间		十、辅助用房间		
1	热处理工部	14~16	1	厕所、盥洗室	12
2	热处理(中重型时)	12~14	2	食堂	14
	四、金工装配车间		3	办公室、休息室、技术资料室	16~18
	装配、机加工部	14~16	4	存衣室	16
	五、表面处理车间		5	淋浴室	25
1	酸洗、电镀工部	16~18	6	淋浴室的换衣室	23
2	磨光、喷砂工部	14	7	女工卫生室	23
	六、油漆车间		8	哺乳室	20
1	油漆车间(有烘干室)	14~16			

• 室内空气计算温度 t_n 按下述分别情况确定:

当车间高度 $H < 4\text{m}$ 时, $t_n = t_g$;

当车间高度 $H > 4\text{m}$ 时, 对地面—— $t_n = t_g$; 对外墙、外窗和外门—— $t_n = (t_g + t_d)/2$;
对于屋顶—— $t_n = t_d = t_g + \Delta t(H - 2)$ (式中的 Δt 是室内空气在垂直方向上每 m 的温度升高值, 一般, $\Delta t = 0.3 \sim 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$)。

(2) 当 t_n 分别按地面, 外墙及屋顶取不同值时, 房高修正率 $\beta_{r.g} = 0$; 厂房的 β_{ri} 及 β_m 也取值为 0。

2. 厂房的门窗缝隙冷风渗透耗热量可查表 4.1-14 确定

工业建筑冷风渗透耗热占房间围护物耗热的%数

表 4.1-14

窗 类 型	建筑物高度 (m)		
	<4.5	4.5~10.0	>10.0
单层玻璃	25	35	40
单、双层玻璃	20	30	35
双层玻璃	15	25	30

3. 厂房的大门开启冲入冷风耗热量

每班开启时间等于或小于 15min 的大门, 采用附加率法确定其大门冲入冷风耗热。附加在大门的基本耗热量上, 附加率为 200~500%。

每班开启时间大于 15min 的外门, 按下列经验公式确定大门开启冲入冷风量 G (kg/s):

$$G = A + (a + Nv_w)F \quad (4.1-12)$$

式中 G ——冲入冷风量, kg/s;

a, A ——系数, 查表 4.1-15;

N ——常数, 当大门尺寸为 $3 \times 3\text{m}$ 时, $N = 0.25$;

当大门尺寸为 $4 \times 4\text{m}$ 时, $N = 0.2$;

当大门尺寸为 $4.7 \times 5.6\text{m}$ 时, $N = 0.15$;

v_w ——冬季室外平均风速, m/s;

F ——车间上部可能是开启的排气窗或排气孔的面积, m^2 。

用于计算工业建筑大门冲入冷风量的系数 a 及 A 值

表 4.1-15

室外温度 t_w (°C)	a						A					
	房高 6m		房高 11m		房高 15m		大门尺寸 $3 \times 3\text{m}$		大门尺寸 $4 \times 4\text{m}$		大门尺寸 $4.7 \times 5.6\text{m}$	
	$t_n = 5^\circ\text{C}$	$t_n = 15^\circ\text{C}$	$t_n = 5^\circ\text{C}$	$t_n = 15^\circ\text{C}$	$t_n = 5^\circ\text{C}$	$t_n = 15^\circ\text{C}$	$t_n = 5^\circ\text{C}$	$t_n = 15^\circ\text{C}$	$t_n = 5^\circ\text{C}$	$t_n = 15^\circ\text{C}$	$t_n = 5^\circ\text{C}$	$t_n = 15^\circ\text{C}$
0						1.15	3.50	4.60	7.50	9.50	13.00	18.50
-5				1.38	1.17	1.55	4.00	5.10	8.60	10.70	16.00	21.00
-10	0.83	1.05	1.20	1.55	1.46	1.86	4.50	6.00	10.00	11.80	18.90	23.50
-15	0.96	1.20	1.42	1.75	1.75	2.12	5.00	6.80	11.30	13.10	22.00	26.00
-20	1.10	1.34	1.64	1.95	2.05	2.38	6.00	7.50	12.90	14.70	25.00	28.50
-25	1.20	1.44	1.80	2.08	2.25	2.60	7.00	8.20	14.30	16.00	28.00	31.00
-30	1.30	1.52	2.00	2.20	2.48	2.75	7.80	9.00	15.70	17.40	31.00	33.70

4.1.3 建筑物热负荷的估算

建筑物热负荷可按建筑外轮廓体积 V (m^3) 用下式估算:

$$Q_N = a q_{N.v} V (t_{n.p} - t_w) \quad (4.1-13)$$

$$Q_f = a q_{f.v} V (t_{n.p} - t_{w.f}) \quad (4.1-14)$$

式中 $q_{N.v}$ 、 $q_{f.v}$ ——建筑物供暖、通风体积热指标, 见表4.1-16及表4.1-17, $W/(m^3 \cdot ^\circ C)$;

a ——修正系数, 见表4.1-18;

$t_{w.f}$ ——室外通风(冬)计算温度, $^\circ C$;

$t_{n.p}$ ——室内平均计算空气温度, $^\circ C$ 。

民用建筑体积热指标 $q_{n.v}$ 、 $q_{f.v}$ ($W/m^3 \cdot ^\circ C$)

表 4.1-16

建筑名称	V ($10^3 m^3$)	$q_{n.v}$	$q_{f.v}$	$t_{n.p}$ ($^\circ C$)	建筑名称	V ($10^3 m^3$)	$q_{n.v}$	$q_{f.v}$	$t_{n.p}$ ($^\circ C$)
行政建筑、办公楼	≤ 5	0.50	0.10	18	医院	≤ 5	0.42	0.34	20
	5~10	0.44	0.09			5~10	0.42	0.33	
	10~15	0.41	0.08			10~15	0.37	0.30	
	> 15	0.37	0.19			> 15	0.35	0.29	
俱乐部	≤ 5	0.43	0.29	16	浴室	≤ 5	0.33	1.16	25
	5~10	0.38	0.27			5~10	0.29	1.10	
	> 10	0.35	0.23			> 10	0.27	1.05	
电影院	≤ 5	0.42	0.50	14	洗衣房	≤ 5	0.44	0.93	15
	5~10	0.37	0.45			5~10	0.38	0.91	
	> 10	0.35	0.44			> 10	0.36	0.87	
剧院	≤ 10	0.34	0.48	15	公共饮食 餐厅 食品厂	≤ 5	0.41	0.81	16
	10~15	0.31	0.47			5~10	0.38	0.76	
	15~20	0.26	0.44			> 10	0.35	0.70	
	20~30	0.23	0.42		试验室	≤ 5	0.43	1.16	16
	> 30	0.21	0.40			5~10	0.41	1.10	
商店	≤ 5	0.44	—	15	消防车库	≤ 2	0.56	0.16	15
	5~10	0.38	0.09			2~5	0.53	0.10	
	> 10	0.36	0.33			≥ 5	0.52	0.10	
托儿所 幼儿园	≤ 5	0.44	0.13	20	汽车库	≤ 2	0.81	—	10
	> 5	0.40	0.12			2~3	0.70	—	
学校	≤ 5	0.45	0.10	16		3~5	0.64	0.81	
	5~10	0.41	0.09			> 5	0.58	0.76	
	> 10	0.38	0.08						

注: 本表内数值转载时, 作了稍许更动。

工业建筑体积热指标 $q_{n,v}$ 、 $q_{t,v}$ ($W/m^3 \cdot ^\circ C$)

表 4.1-17

建筑名称	V ($10^3 m^3$)	$q_{n,v}$	$q_{t,v}$	$t_{n,p}$ ($^\circ C$)	建筑名称	V ($10^3 m^3$)	$q_{n,v}$	$q_{t,v}$	$t_{n,p}$ ($^\circ C$)
铸铁车间	10~15	0.35~0.29	1.28~1.16	12	金属结构车间	50~100	0.44~0.41	0.62~0.52	13
	50~100	0.29~0.26	1.16~1.05			100~150	0.41~0.35	0.52~0.41	
	100~150	0.26~0.21	1.05~0.93		修理车间	5~10	0.7~0.58	0.23~0.17	15
铸铜车间	5~10	0.47~0.41	2.91~2.32	10~20		0.58~0.52	0.17~0.11		
	10~20	0.41~0.29	2.32~1.74	水泵房	<0.5	1.22	—	10	
	20~30	0.30~0.23	1.74~1.40		0.5~1.0	1.16	—		
热处理车间	<10	0.47~0.35	1.51~1.4		1~2	0.70	—		
	10~30	0.35~0.29	1.4~1.16	2~3	0.58	—			
	30~75	0.29~0.23	1.16~0.7	空压机房	<0.5	2.23~0.81	—	12	
锻造车间	<10	0.47~0.35	0.81~0.7		0.5~1	0.81~0.7	—		
	10~50	0.35~0.29	0.7~0.58		1~2	0.7~0.52	—		
	50~100	0.29~0.17	0.58~0.35		2~5	0.52~0.47	—		
机加车间	5~10	0.64~0.52	0.47~0.29		5~10	0.47~0.41	—		
	10~15	0.52~0.47	0.29~0.17	生活及辅助间	0.5~1	0.7~0.52	—	18	
	50~100	0.47~0.44	0.17~0.14		1~2	0.52~0.47	—		
	100~200	0.44~0.41	0.14~0.09		2~5	0.47~0.38	0.16~0.14		
木工车间	<5	0.7~0.64	0.7~0.58		5~10	0.38~0.35	0.14~0.13		
	5~10	0.64~0.52	0.58~0.52	10~20	0.35~0.29	0.13~0.12			
	10~50	0.52~0.47	0.52~0.47	单身宿舍	5~10	0.44~0.38	—	18	
电镀车间	<2	0.76~0.7	5.82~4.65		10~15	0.38~0.36	—		
	2~5	0.7~0.64	4.65~3.49						
	5~10	0.64~0.52	3.49~2.32						

注：本表内数值转载时作了稍许变动。

修正系数 a 值

表 4.1-18

供暖室外计算温度 ($^\circ C$)	a	供暖室外计算温度 ($^\circ C$)	a
0	2.05	-25	1.08
-5	1.67	-30	1.00
-10	1.45	-35	0.95
-15	1.29	-40	0.90
-20	1.17		

注：4.1.3节的内容取自前苏联资料，由于前苏联建筑的保温性能大都优于我国的现状；因此，引用热指标时，宜增大一定比例，建议乘以1.10~1.20。

4.2 供暖系统选择

4.2.1 热媒的选择

热媒的选择见表4.2-1。

供暖系统热媒的选择

表 4.2-1

建 筑 种 类		适 宜 采 用	允 许 采 用
民 用 及 公 用 建 筑	居住建筑、医院、幼儿园、托儿所等	不超过 95℃ 的热水	• 低压蒸汽 • 不超过 110℃ 的热水
	办公楼、学校、展览馆等	• 不超过 95℃ 的热水 • 低压蒸汽	不超过 110℃ 的热水
	车站、食堂、商业建筑等	• 不超过 110℃ 的热水 • 低压蒸汽	高压蒸汽
	一般俱乐部、影剧院等	• 不超过 110℃ 的热水 • 低压蒸汽	不超过 130℃ 的热水
工 业 建 筑	不散发粉尘或散发非燃烧性和非爆炸性粉尘的生产车间	• 低压蒸汽或高压蒸汽 • 不超过 110℃ 的热水 • 热风	不超过 130℃ 的热水
	散发非燃烧和非爆炸性有机无毒升华粉尘的生产车间	• 低压蒸汽 • 不超过 110℃ 的热水 • 热风	不超过 130℃ 的热水
	散发非燃烧性和非爆炸性的易升华有毒粉尘、气体及蒸汽的生产车间	与卫生部门协商确定	
	散发燃烧性或爆炸性有毒气体、蒸汽及粉尘的生产车间	根据各部及主管部门的专门指示确定	
	任何体积的辅助建筑	• 不超过 110℃ 的热水 • 低压蒸汽	高压蒸汽
	设在单独建筑内的门诊所、药房、托儿所及保健站等	不超过 95℃ 的热水	• 低压蒸汽 • 不超过 110℃ 的热水

注：1. 低压蒸汽系指压力 < 70kPa 的蒸汽。

2. 采用蒸汽为热媒时，必须经技术论证认为合理，并在经济上经分析认为经济时才允许。

4.2.2 供暖系统型式

1. 重力循环热水供暖系统

重力循环热水供暖系统常用几种型式

表 4.2-2

序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
1	单管上供下回式	<p>图 4.2-1</p>	作用半径不超过 50m 的多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 升温慢、作用压力小、管径大、系统简单、不消耗电能 • 水力稳定性好 • 可缩小锅炉中心与散热器中心距离

续表

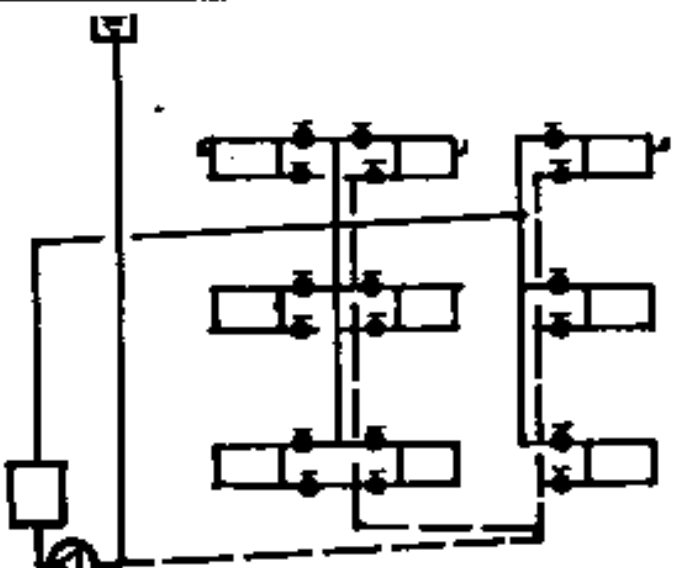
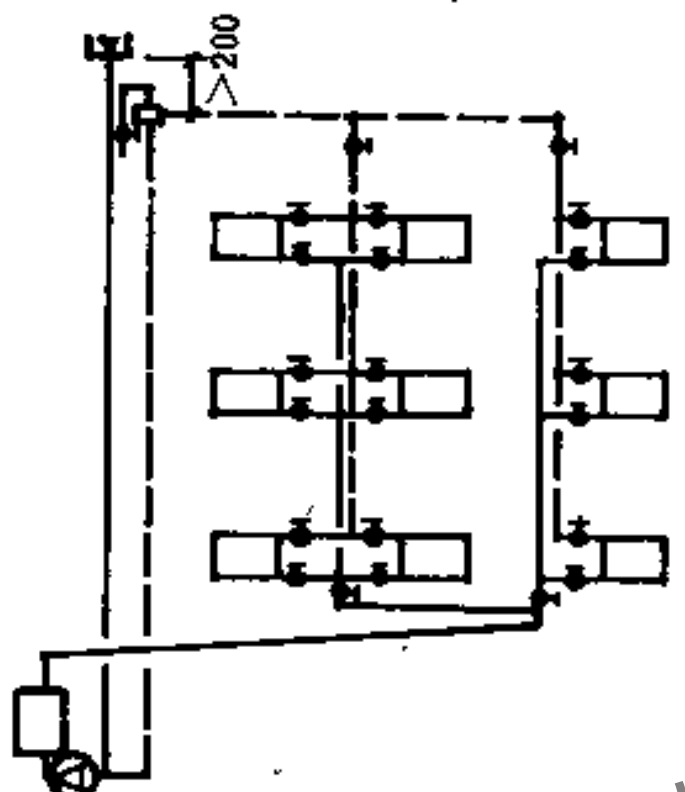
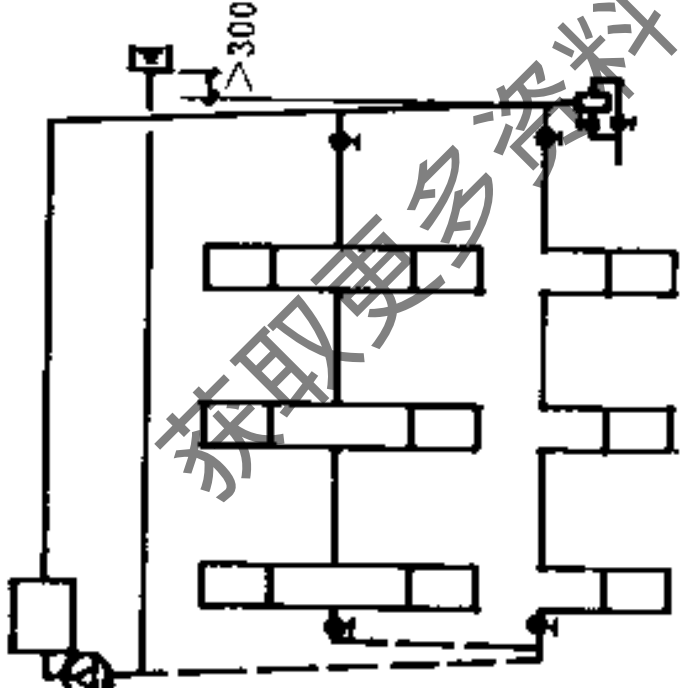
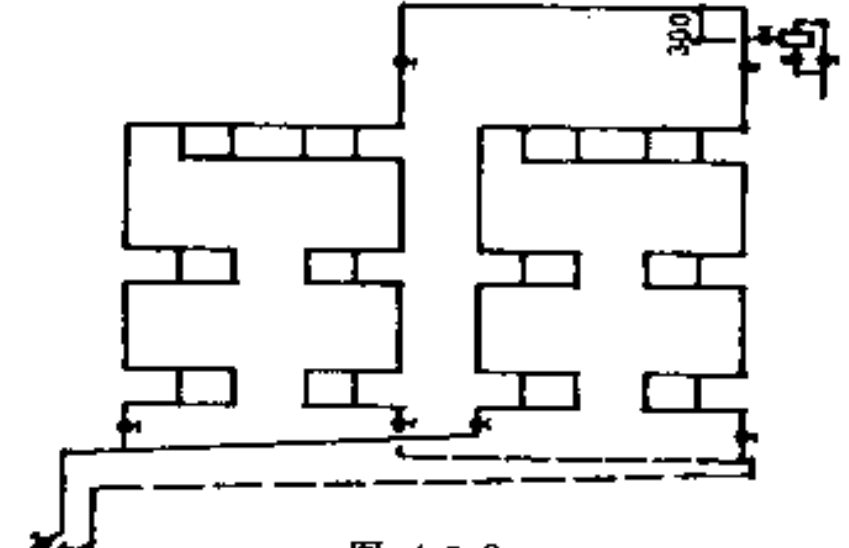
序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
2	双管上供下回式	<p>图 4.2-2</p>	作用半径不超过50m的三层(>10m)以下建筑	<ul style="list-style-type: none"> 升温慢、作用压力小、管径大、系统简单、不消耗电能 易产生垂直失调 室温可调节
3	单户式	<p>图 4.2-3</p>	单户单层建筑	<ul style="list-style-type: none"> 一般锅炉与散热器在同一平面,故散热器安装至少提高到300~400mm高度 尽量缩小配管长度减少阻力

2. 机械循环热水供暖系统

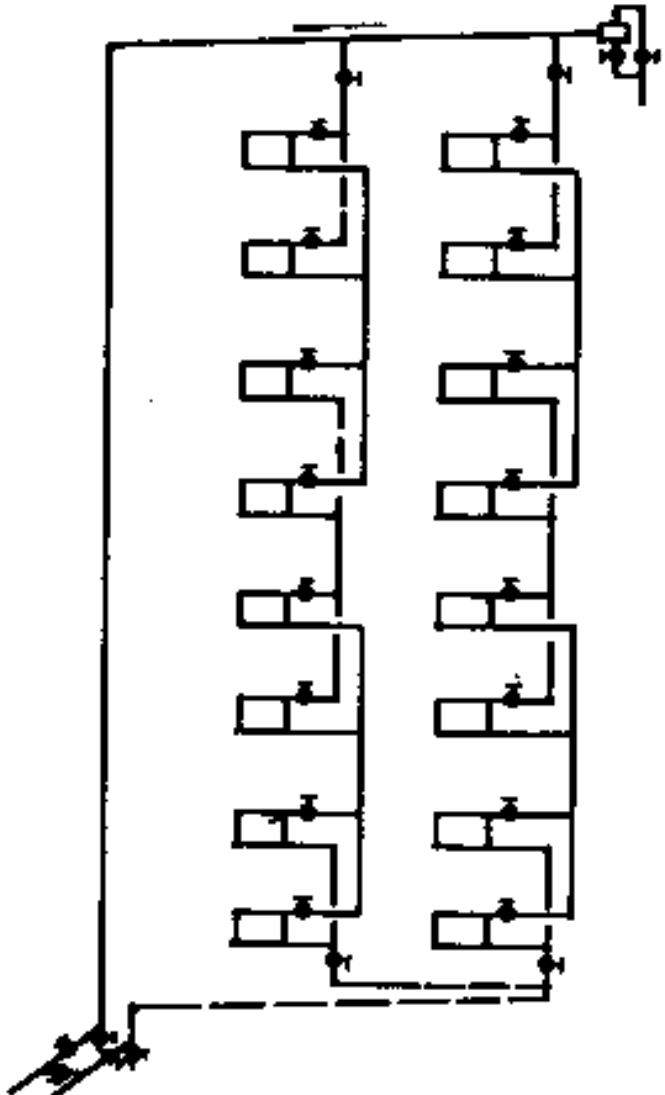
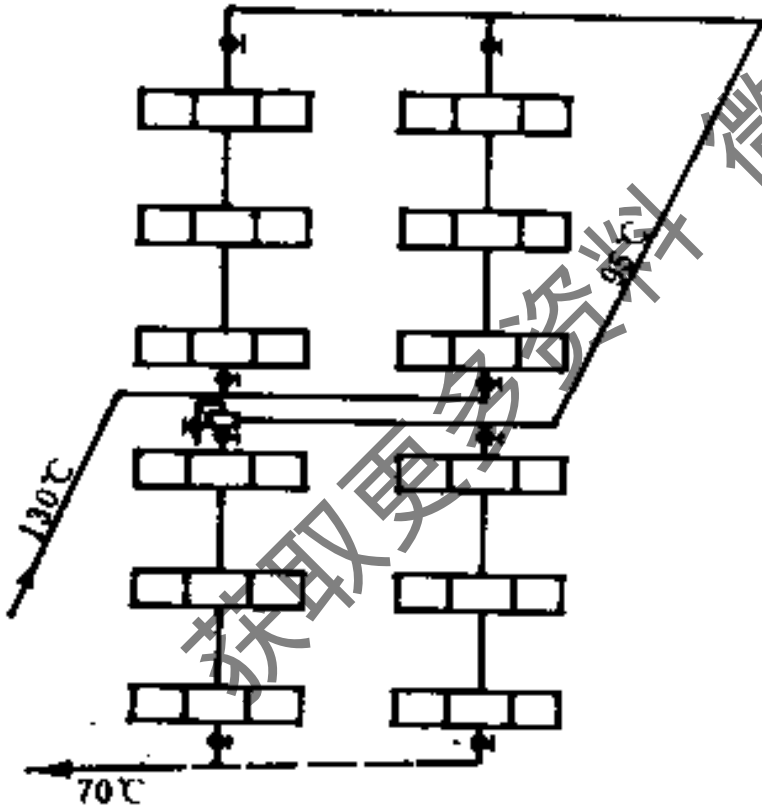
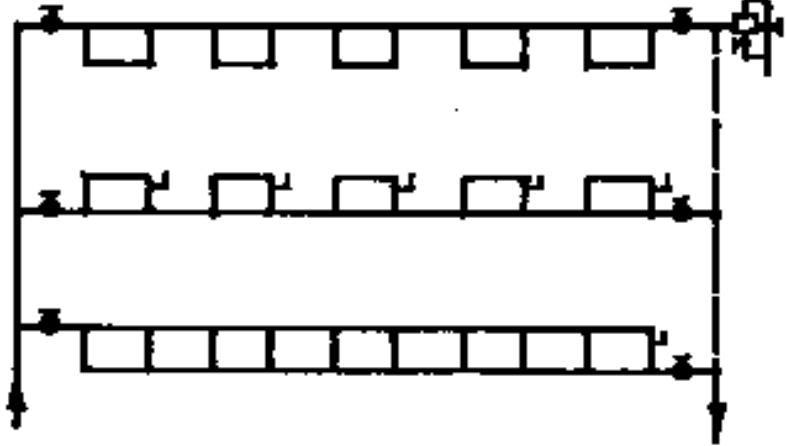
机械循环热水供暖系统常用型式

表 4.2-3

序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
1	双管上供下回式	<p>图 4.2-4</p>	室温有调节要求的四层以下建筑	<ul style="list-style-type: none"> 最常用的双管系统做法 排气方便 室温可调节 易产生垂直失调
2	双管下供下回式	<p>图 4.2-5</p>	室温有调节要求且顶层不能敷设干管时的四层以下建筑	<ul style="list-style-type: none"> 缓和了上供下回式系统的垂直失调现象 安装供、回水干管需设置地沟 室内无供水干管,顶层房间美观 排气不便

序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
3	双管中供式	 <p style="text-align: center;">图 4.2-6</p>	顶层供水干管无法敷设或边施工边使用的建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 可解决一般供水干管挡窗问题 • 解决垂直失调比上供下回有利 • 对楼层、扩建有利 • 排气不利
4	双管下供上回式	 <p style="text-align: center;">图 4.2-7</p>	热媒为高温水、室温有调节要求的四层以下建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 对解决垂直失调有利 • 排气方便 • 能适应高温水热媒，可降低散热器表面温度 • 降低散热器传热系数，浪费散热器
5	垂直单管顺流式	 <p style="text-align: center;">图 4.2-8</p>	一般多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 常用的一般单管系统做法 • 水力稳定性好 • 排气方便 • 安装构造简单
6	垂直单管双线式	 <p style="text-align: center;">图 4.2-9</p>	顶层无法敷设供水干管的多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 当热媒为高温水时可降低散热器表面温度 • 排气阀的安装必须正确

序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
7	垂直单管 下供上回式	<p>图 4.2-10</p>	热源为高温水的 多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> · 可降低散热器的表面温度 · 降低散热器传热量、浪费散热器
8	垂直单管 上供中回式	<p>图 4.2-11</p>	不易设置地沟的 多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> · 节约地沟造价 · 系统泄水不方便 · 影响室内底层房屋美观 · 排气不便 · 检修方便
9	垂直单管 三通阀跨越 式	<p>图 4.2-12</p>	多层建筑和高层 建筑	可解决建筑层数过多垂直失 调问题

序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
10	单双管式	 <p style="text-align: center;">图 4.2-13</p>	八层以上建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 避免垂直失调现象产生 • 可解决散热器立管管径过大的问题 • 克服单管系统不能调节的问题
11	混合式	 <p style="text-align: center;">图 4.2-14</p>	热媒为高温水的 多层建筑	解决高温水热媒直接系统的最佳方法之一
12	水平单管串联式	 <p style="text-align: center;">图 4.2-15</p>	单层建筑或不能 敷设立管的多层建 筑	<ul style="list-style-type: none"> • 常用的水平串联系统, 经济、美观、安装简便 • 散热器接口处易漏水 • 排气不便

序号	型式名称	图式	适用范围	特点
13	水平单管跨越式	<p>图 4.2-16</p>	单层建筑串联散热器组数过多时	<ul style="list-style-type: none"> • 每个环路串联散热器数量不受限制 • 每组散热器可调节 • 排气不便
14	分层式	<p>图 4.2-17</p>	高温水热源	<ul style="list-style-type: none"> • 入口设换热装置造价高
15	双水箱分层式	<p>图 4.2-18</p>	低温水热源	<ul style="list-style-type: none"> • 管理较复杂 • 采用开式水箱, 空气进入系统, 易腐蚀管道

注: • 无论系统大小, 有条件时, 尽量采用同程式, 以便压力平衡。
 • 水平供水干管敷设坡度不应小于0.003, 坡向应与水流方向相反, 以利排气。
 • 回水干管的坡度不应小于0.003, 坡向应与水流方向相同。

3. 低压蒸汽供暖系统

低压蒸汽供暖系统常用的几种型式

表 4.2-4

序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
1	双管上供下回式	<p>图 4.2-19</p>	室温需调节的多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 常用的双管做法 • 易产生上热下冷
2	双管下供下回式	<p>图 4.2-20</p>	室温需调节的多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 可缓和上热下冷现象 • 供汽立管需加大 • 需设地沟 • 室内顶层无供汽干管、美观
3	双管中供式	<p>图 4.2-21</p>	当顶层无法敷设供汽干管的多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 接层方便 • 与上供下回式对比解决上热下冷有利一些
4	单管下供下回式	<p>图 4.2-22</p>	三层以下建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 室内顶层无供汽干管美观 • 供汽立管要加大 • 安装简便、造价低 • 需设地沟
5	单管上供下回式	<p>图 4.2-23</p>	多层建筑	<ul style="list-style-type: none"> • 常用的单管做法 • 安装简便、造价低

注：
 • 蒸汽水平干管汽、水逆向流动时坡度应大于0.005，其他应大于0.003。
 • 水平敷设的蒸汽干管每隔30~40m宜设抬管泄水装置。
 • 回水为重力干式回水方式时，回水干管敷设高度，应高出锅炉供汽压力折算静水压力再加200~300mm安全高度。如系统作用半径较大时，则需采取机械回水。

4. 高压蒸汽供暖系统

高压蒸汽供暖系统常用的几种型式

表 4.2-5

序号	型式名称	图 式	适用范围	特 点
1	上供下回式	<p>图 4.2-24</p>	单层公用建筑或工业厂房	<ul style="list-style-type: none"> 常用的做法，可节约地沟
2	上供上回式	<p>图 4.2-25</p>	工业厂房暖风机供暖系统	<ul style="list-style-type: none"> 除节省地沟外检修方便 系统泄水不便
3	水平串联式	<p>图 4.2-26</p>	单层公用建筑	<ul style="list-style-type: none"> 构造最简单、造价低 散热器接口处易漏水漏汽

注：作用半径较小且锅炉房在低处，凝水能自动流回锅炉房时可采取开式系统，优点是系统简单，造价低，缺点是产生二次蒸汽，污染环境，浪费能源；反之采取闭式系统，二次蒸汽能得到合理利用减少凝水管道腐蚀，不受地形高低的太大限制。

4.3 管道水力计算

4.3.1 水力计算方法和要求

1. 基本计算法

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_i = \frac{\lambda}{d} l \frac{\rho v^2}{2} + \zeta \frac{\rho v^2}{2} = \Delta p_m l + \zeta \frac{\rho v^2}{2} \quad (4.3-1)$$

式中 ΔP ——管段压力损失，Pa；
 ΔP_m ——摩擦压力损失，Pa；
 ΔP_i ——局部压力损失，Pa；
 Δp_m ——单位长度摩擦压力损失，Pa/m；
 λ ——摩擦系数；
 d ——管道直径，m；
 l ——管道长度，m；
 v ——热媒在管道内流速，m/s；


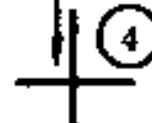
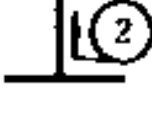
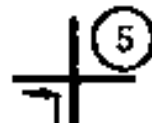
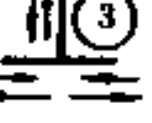

ρ ——热媒的密度, kg/m^3 ;

ζ ——局部阻力系数。

单位长度摩擦压力损失分别见不同热媒的水力计算表, 局部阻力系数见表 4.3-1, 4.3-2, 4.3-3。

热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 ζ 值

表 4.3-1

局部阻力名称	ζ	说 明	局部阻力名称	在下列管径 (DN) mm 时的 ζ 值					
				15	20	25	32	40	>50
散热器	2.0	以热媒在导管中的 流速计算局部阻力	截止阀	16.0	10.0	9.0	9.0	8.0	7.0
铸铁锅炉	2.5		旋塞	4.0	2.0	2.0	2.0		
钢制锅炉	2.0		斜杆截止阀	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
突然扩大	1.0	以其中较大的流速 计算局部阻力	闸 阀	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
突然缩小	0.5		弯 头	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
直流三通(图①)	1.0		90°煨弯及乙字管	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
旁流三通(图②)	1.5	 	括弯(图⑥)	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
合流三通(图③)	3.0		急弯双弯头	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
分流三通(图③)	3.0	 	缓弯双弯头	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
直流四通(图④)	2.0		方形补偿器	2.0					
分流四通(图⑤)	3.0	 	套管补偿器	0.5					
方形补偿器	2.0								
套管补偿器	0.5								

注: 表中三通局部阻力系数, 未考虑流量比, 是一种简化形式。对分流、合流三通误差较大, 可见《供暖通风设计手册》表 10-4。

热水供暖系统局部阻力系数 $\zeta=1$ 的局部损失动压值 $P_d = \rho v^2 / 2$

表 4.3-2

v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)
0.01	0.05	0.13	8.34	0.25	30.44	0.37	67.67	0.49	117.71	0.61	183.42
0.02	0.20	0.14	9.61	0.26	33.34	0.38	70.61	0.50	122.61	0.62	189.3
0.03	0.45	0.15	11.08	0.27	36.29	0.39	74.53	0.51	127.52	0.65	207.88
0.04	0.80	0.16	12.56	0.28	38.25	0.40	78.45	0.52	131.37	0.68	227.48
0.05	1.23	0.17	14.22	0.29	41.19	0.41	82.37	0.53	138.31	0.71	248.07
0.06	1.77	0.18	15.89	0.30	44.13	0.42	86.3	0.54	143.21	0.74	268.67
0.07	2.45	0.19	17.75	0.31	47.08	0.43	91.2	0.55	149.09	0.77	291.23
0.08	3.14	0.20	19.61	0.32	49.99	0.44	95.13	0.56	154	0.8	314.79
0.09	4.02	0.21	21.57	0.33	53.93	0.45	99.08	0.57	159.88	0.85	355
0.10	4.9	0.22	23.53	0.34	56.88	0.46	103.98	0.58	165.77	0.9	398.18
0.11	5.98	0.23	26.48	0.35	59.82	0.47	108.89	0.59	170.67	0.95	443.29
0.12	7.06	0.24	28.44	0.36	63.74	0.48	112.81	0.60	176.55	1	490.3

低压蒸汽供暖系统局部阻力系数 $\zeta=1$ 的局部损失动压值 $P_d = \rho v^2 / 2$

表 4.3-3

v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)	v (m/s)	P_d (Pa)
5.5	9.58	10.5	34.93	15.5	76.12	20.5	133.16
6.0	11.4	11.0	38.34	16.0	81.11	21.0	139.73
6.5	13.39	11.5	41.9	16.5	86.26	21.5	146.46
7.0	15.53	12.0	45.63	17.0	91.57	22.0	153.36
7.5	17.82	12.5	49.5	17.5	97.04	22.5	160.41
8.0	20.28	13.0	53.5	18.0	102.66	23.0	167.61
8.5	22.89	13.5	57.75	18.5	108.44	23.5	174.89
9.0	25.66	14.0	62.1	19.0	114.38	24.0	182.51
9.5	28.6	14.5	66.6	19.5	120.48	24.5	190.19
10.0	31.69	15.0	71.29	20.0	126.74	25.0	198.03

2. 简化计算法

(1) 当量阻力法

将沿管道长度的摩擦损失折合成与之相当的局部阻力系数(称之为当量局部阻力系数)的计算方法。

$$\Delta P = A(\zeta_d + \Sigma \zeta)G^2 \quad (4.3-2)$$

式中 A ——常数(因管径不同而异);

G ——流量, m^3/h ;

ζ_d ——当量局部阻力系数, $\zeta_d = \lambda/dl$, 不同管径的 λ/d 值如下:

d	15	20	25	32	40	50	70	80	100
λ/d	2.6	1.8	1.3	0.9	0.76	0.54	0.4	0.31	0.24

令 $\zeta_{zh} = \lambda/dl + \Sigma \zeta$, 按式(4.3-2)制成水力计算表, 见表4.3-4。

按 $\zeta_{zh} = 1$ 确定热水供暖系统管段阻力损失的管径计算表

表4.3-4

项目	DN (mm)									流速 v (m/s)	ΔP (Pa)
	15	20	25	32	40	50	70	80	100		
水 流 量 G (kg/h)	75	137	220	386	508	849	1398	2033	3023	0.11	5.9
	82	149	240	421	554	926	1525	2218	3298	0.12	7.0
	89	161	260	457	601	1004	1652	2402	3573	0.13	8.2
	95	174	280	492	647	1081	1779	2587	3848	0.14	9.5
	102	186	301	527	693	1158	1906	2772	4122	0.15	10.9
	109	199	321	562	739	1235	2033	2957	4397	0.16	12.5
	116	211	341	597	785	1312	2160	3141	4672	0.17	14
	123	223	361	632	832	1390	2287	3326	4947	0.18	15.8
	130	236	381	667	878	1467	2415	3511	5222	0.19	17.6
	136	248	401	702	947	1583	2605	3788	5634	0.20	19.4
	143	261	421	738	970	1621	2669	3881	5771	0.21	21.4
	150	273	441	773	1016	1698	2796	4065	6046	0.22	23.5
	157	285	461	808	1063	1776	2923	4250	6321	0.23	25.7
	164	298	481	843	1109	1853	3050	4435	6596	0.24	27.9
	170	310	501	878	1155	1930	3177	4620	6871	0.25	30.4
	177	323	521	913	1201	2007	3304	4805	7146	0.26	32.9
	184	335	541	948	1247	2084	3431	4989	7420	0.27	35.4
	191	347	561	983	1294	2162	3558	5174	7695	0.28	38
	198	360	581	1019	1340	2239	3685	5359	7970	0.29	40.9
	205	372	601	1054	1386	2316	3812	5544	8245	0.30	43.7
211	385	621	1089	1432	2393	3939	5729	8520	0.31	46.7	
218	397	641	1124	1478	2470	4067	5913	8794	0.32	49.7	
225	410	661	1159	1525	2548	4194	6098	9069	0.33	53	
232	422	681	1194	1571	2625	4321	6283	9344	0.34	56.2	
237	434	701	1229	1617	2702	4448	6468	9619	0.35	59.5	
245	447	721	1264	1663	2825	4575	6653	9894	0.36	63	
252	459	741	1300	1709	2856	4702	6837	10169	0.37	66.5	
259	472	761	1335	1756	2934	4829	7022	10443	0.38	70.1	

续表

项目	DN (mm)									流速 v (m/s)	ΔP (Pa)
	15	20	25	32	40	50	70	80	100		
水 流 量 G (kg/h)	273	496	801	1405	1848	3088	5083	7392	10993	0.40	77.8
	286	521	841	1475	1940	3242	5337	7761	11543	0.42	85.7
	300	546	882	1545	2033	3397	5592	8131	12092	0.44	94
	314	571	922	1616	2125	3551	5846	8501	12642	0.46	102.8
	327	596	962	1686	2218	3706	6100	8870	13192	0.48	111.9
	341	621	1002	1756	2310	3860	6354	9240	13741	0.50	121.5
	375	683	1102	1932	2541	4246	6989	10164	15115	0.55	147
	409	745	1202	2107	2772	4632	7625	11088	16490	0.60	192.4
	443	807	1302	2283	3003	5018	8260	12012	17864	0.65	205.3
	477	869	1402	2459	3234	5404	8896	12936	19238	0.70	238.1
	511	931	1503	2634	3465	5790	9531	13860	20612	0.75	273.3
			1603	2810	3696	6176	10166	14784	21986	0.80	311
				3161	4158	6948	11437	16631	24734	0.90	393.5
				3512	4620	7720	12708	18479	27483	1.00	485.8
						9264	15250	22175	32979	1.20	699.6
					10808	17791	25871	38476	1.40	952.2	

(2) 当量长度法

将管段的局部阻力损失折算成一定长度的摩擦损失的计算方法。

$$\Delta P = \Delta P_m l + \Delta P_m l_d = \Delta P_m (l + l_d) = \Delta P_m l_{zh} \quad (4.3-3)$$

式中 l_d ——局部损失的当量长度, m;

l_{zh} ——管段的折算长度, m。

局部损失的当量长度分别见表4.3-5, 4.3-6。

高压蒸汽供暖系统局部阻力的当量长度 l_d (m)

表 4.3-5

局部阻力名称	在下列管径 DN (mm) 时的 l_d 值							
	20	25	32	40	50	70	80	100
$\zeta = 1$	0.597	0.83	1.22	1.39	1.82	2.81	4.05	4.95
柱型散热器	0.7	1.2	1.7	2.4	—	—	—	—
钢制锅炉	—	—	2.4	2.8	3.6	5.6	8.1	9.9
突然扩大	0.6	0.8	1.2	1.4	1.8	2.8	4.1	5.0
突然缩小	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.4	2.0	2.5
直流三通	0.6	0.8	1.2	1.4	1.8	2.8	4.1	5.0
旁流三通	0.9	1.2	1.8	2.1	2.7	4.2	6.1	7.4
分(合)流三通	1.8	2.5	3.7	4.2	5.5	8.4	12.2	14.9
直流四通	1.2	1.7	2.4	2.8	3.6	5.6	8.1	9.9
分(合)流四通	1.8	2.5	3.7	4.2	5.5	8.4	12.2	14.9
“门”形补偿器	1.2	1.7	2.4	2.8	3.6	5.6	8.1	9.9
集气罐	0.9	1.2	1.8	2.1	2.7	4.2	6.1	7.4
除污器	6.0	8.3	12.2	13.9	18.2	28.1	40.5	49.5
截止阀	6.0	7.5	11.0	11.1	12.7	19.7	28.4	34.7
闸 阀	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.4	2.0	2.5
弯 头	1.2	1.2	1.8	1.4	1.9	2.8	—	—
90° 煨弯	0.9	0.8	1.2	0.7	0.9	1.4	2.0	2.5
乙字弯	0.9	0.8	1.2	0.7	0.9	1.4	2.0	2.5
括 弯	1.2	1.6	2.4	2.8	3.6	5.6	—	—
急弯双弯头	1.2	1.6	2.4	2.8	3.6	5.6	—	—
缓弯双弯头	0.6	0.8	1.2	1.4	1.8	2.8	4.1	5.0

热水供暖系统局部阻力的当量长度 l_e (m)

表 4.3-6

局部阻力名称	在下列管径 DN (mm) 时的 l_e 值						
	15	20	25	32	40	50	70
$\zeta=1$	0.343	0.516	0.652	0.99	1.265	1.76	2.30
柱型散热器	0.7	1.0	1.3	2.0	—	—	—
铸铁锅炉	—	—	—	2.5	3.2	4.4	5.8
钢制锅炉	—	—	—	2.0	2.5	3.5	4.6
突然扩大	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.8	2.3
突然缩小	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.9	1.2
直流三通	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.8	2.3
旁流三通	0.5	0.8	1.0	1.5	1.9	2.6	3.5
分(合)流三通	1.0	1.6	2.0	3.0	3.8	5.3	6.9
裤叉三通	0.5	0.8	1.0	1.5	1.9	2.6	3.5
直流四通	0.7	1.0	1.3	2.0	2.5	3.5	4.6
分(合)流四通	1.0	1.6	2.0	3.0	3.8	5.3	6.9
“门”形补偿器	0.7	1.0	1.3	2.0	2.5	3.5	4.6
集气罐	0.5	0.8	1.0	1.5	1.9	2.6	3.5
除污器	3.4	5.2	6.5	9.9	12.7	17.6	23.0
截止阀	5.5	5.2	5.9	8.9	10.1	12.3	16.1
闸 阀	0.5	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.2
弯 头	0.7	1.0	1.0	1.5	1.3	1.8	2.3
90° 煨弯	0.5	0.8	0.7	1.0	0.6	0.9	1.2
乙字弯	0.5	0.8	0.7	1.0	0.6	0.9	1.2
括 弯	1.0	1.0	1.3	2.0	2.5	3.5	4.6
急弯双弯头	0.7	1.0	1.3	2.0	2.5	3.5	4.6
缓弯双弯头	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.8	2.3

为了方便计算对垂直单管顺流式热水供暖系统编制了部件当量长度和立管折算长度表, 分别见表4.3-7, 4.3-8。

垂直单管顺流式热水供暖系统立管上组合部件当量长度 l_e (m)

表 4.3-7

型式	组合部件名称及阻力构成	示意图	在下列立管管径时 l_e 值							
			15	20	25	32				
A	2个旁流三通 + 1个乙字弯 + 2个闸阀 或 2个弯头 + 1个乙字弯 + 2个闸阀		2.6 (12.5)	2.9 (12.7)	3.3 (14.3)	5.0 (21.8)				
B	2个旁流三通 + 2个乙字弯 + 2个闸阀 或 2个弯头 + 2个乙字弯 + 2个闸阀		3.1 (13.0)	3.6 (14.0)	3.9 (15.0)	5.9 (23.0)				
C	2个弯头 + 2个乙字弯 + 散热器及 2 × 1.5m 长支管		6.1	7.7	7.6	9.9				
D	2个分流三通 + 2个乙字弯 + 散热器及 2 × 1.5m 长支管		支管管径 DN (mm)							
			15	15	20	15	20	25	20	25
			1.7	8.4	2.2	27.7	7.2	2.5	32.6	11.1

- 注: 1. 所有当量长度都以立管的单位长度沿程阻力损失 R 为准。在双侧连接散热器时, 也都折合为立管管径的当量长度, 即使用时只需以表中数据乘以立管 R 即可;
2. 对A、B型不包括立管长度, 对C、D型已包括支管长度 $2 \times 1.5m$, 即包括了从 a 到 b 的所有阻力;
3. 表中括弧内的数字是将闸阀换成截止阀的数据。
4. D 栏支管管径, 根据双分隔线, 分别对应的立管管径为15、20、25、32mm。

3. 计算要求

(1) 供暖系统各并联环路之间计算压力损失不应超过表4.3-9的规定。

压力损失允许差值

表 4.3-9

系统形式	允许差值 (%)	系统形式	允许差值 (%)
双管同程式	15	单管同程式	10
双管异程式	25	单管异程式	15

(2) 热媒在管道中的流速不应超过表4.3-10的规定。

管道内热媒流动的最大允许流速 (m/s)

表 4.3-10

管径 (mm)	热 水			低 压 蒸 汽				高 压 蒸 汽	
	有特殊安 静要求的 室内管网	一般室内 管 网	生产厂房	蒸汽与凝水同向流动时		蒸汽与凝水逆向流动时		同 向	逆 向
				在水平管内	在立管内	在水平管内	在立管内		
15	0.5	0.8	1.0	14(7.0)	20	4.5	5	25	11
20	0.65	1.0	1.3	18(9.0)	22	5.0	6	40	16
25	0.8	1.2	1.5	22(12)	25	6.0	7	50	20
32	1.0	1.4	1.8	25(16)	30	7.0	9	55	22
40	1.0	1.8	2.0	30(17)	30	7.0	10	60	24
50	1.0	2.0	2.5	30(20)	30	7.5	11	70	28
>50	1.0	2.0	3.0	30(25)	30	7.5	14	80	32

注：低压蒸汽栏括弧内数值用于需要安静的建筑物如剧院、图书馆、住宅等。

(3) 供暖系统的总压力损失可按下列原则确定：

- 热水供暖系统的循环压力，一般宜保持在10~40kPa左右。
- 高压蒸汽供暖系统最不利环路供汽管的压力损失，不应超过起始压力的25%。
- 低压蒸汽室内系统作用半径不宜超过50~60m。锅炉工作压力的确定：当作用半径 $l = 200\text{m}$ 时，锅炉的工作压力 $P = 5\text{kPa}$ ； $l = 200 \sim 300\text{m}$ 时， $P = 15\text{kPa}$ ； $l = 300 \sim 500\text{m}$ 时， $P = 20\text{kPa}$ 。

• 设计机械循环热水双管系统时，必须计算由于水在散热器和管道内冷却而产生的重力作用压力，重力循环压力可按设计水温条件下最大循环压力的2/3计算。对于重力循环热水供暖系统，水在散热器和管道内冷却而产生的附加压力见表4.3-11，该附加压力应全部计算，同时应按表4.3-12对散热器的散热面积进行相应的修正。

在自然循环上供下回双管热水供暖系统中，由于水在管路内冷却而产生的附加压力 (Pa) 表 4.3-11

系统的水平距离 (m)	锅炉到散热器的高度 (m)	自总立管至计算立管之间的水平距离 (m)					
		<10	10~20	20~30	30~50	50~75	75~100
未保温的明装立管 (1) 1层或2层的房屋							
25以下	7以下	100	100	150	—	—	—
25~50	7以下	100	100	150	200	—	—
50~75	7以下	100	100	150	150	200	—
75~100	7以下	100	100	150	150	200	250

续表

系统的水平距离 (m)	锅炉到散热器的高度 (m)	自总立管至计算立管之间的水平距离 (m)					
		<10	10~20	20~30	30~50	50~75	75~100

(2) 3层或4层的房屋

25以下	15以下	250	250	250	—	—	—
25~50	15以下	250	250	300	350	—	—
50~75	15以下	250	250	250	300	350	—
75~100	15以下	250	250	250	300	350	400

(3) 高于4层的房屋

25以下	7以下	450	500	550	—	—	—
25以下	大于7	300	350	450	—	—	—
25~50	7以下	550	600	650	750	—	—
25~50	大于7	400	450	500	550	—	—
50~75	7以下	550	550	600	650	750	—
50~75	大于7	400	400	450	500	550	—
75~100	7以下	550	550	550	600	650	700
75~100	大于7	400	400	400	450	500	650

未保温的暗装立管 (1) 1层或2层的房屋

25以下	7以下	80	100	130	—	—	—
25~50	7以下	80	80	130	150	—	—
50~75	7以下	80	80	100	130	180	—
75~100	7以下	80	80	80	130	180	230

(2) 3层或4层的房屋

25以下	15以下	180	200	280	—	—	—
25~50	15以下	180	200	250	300	—	—
50~75	15以下	150	180	200	250	300	—
75~100	15以下	150	150	180	230	280	330

(3) 高于4层的房屋

25以下	7以下	300	350	380	—	—	—
25以下	大于7	200	250	300	—	—	—
25~50	7以下	350	400	430	530	—	—
25~50	大于7	250	300	330	380	—	—
50~75	7以下	350	350	400	430	530	—
50~75	大于7	250	250	300	330	380	—
75~100	7以下	350	350	380	400	480	530
75~100	大于7	250	260	280	300	350	450

注: 1. 在下供下回系统中, 不计算水在管路中冷却而产生的附加压力值。

2. 在单管式系统中, 附加值采用本表所示的相应值的50%。

考虑管内水的冷却、散热器面积的附加数

表 4.3-12

层数	附 加 的 百 分 数											
	重 力 循 环						机 械 循 环					
	被 计 算 的 层 数						被 计 算 的 层 数					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
下 供 式 (不保温)												
2	10	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—
3	15	5	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—
4	20	10	5	—	—	—	10	5	—	—	—	—
5	20	10	5	—	—	—	10	5	5	—	—	—
6	25	15	10	5	—	—	10	5	5	—	—	—
上 供 式 (不保温)												
2	—	10	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—
3	—	5	15	—	—	—	—	—	5	—	—	—
4	—	5	10	20	—	—	—	—	5	10	—	—
5	—	—	5	10	20	—	—	—	5	5	10	—
6	—	—	5	10	15	25	—	—	—	5	5	10
下 供 式 (保温)												
2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	5	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	5	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	7	4	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	8	5	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—
上 供 式 (保温)												
2	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	2	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	2	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	2	4	7	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	2	3	5	8	—	—	—	—	—	—

注: 1. 沟内不保温的竖管其附加值按裸竖管数值的50%。

2. 层数高于4层, 也可按进入散热器内水的有效温度决定散热器面积, 而不进行附加。

• 在计算蒸汽供暖系统时, 应考虑沿途凝水和空气的排除, 为此, 低压蒸汽系统, 始端管径大于 $DN50\text{mm}$ 时, 末端不应小于 32mm ; 始端小于 $DN50\text{mm}$ 时, 末端不应小于 $DN25\text{mm}$; 凝水干管始端不应小于 $DN25\text{mm}$ 。高压蒸汽系统, 蒸汽干管末端和凝水干管始端管径不应小于 $DN20\text{mm}$ 。

4.3.2 热水供暖系统的水力计算

不同热媒的水力计算分别见表4.3-13、4.3-14, 常用的水力计算方法有等温降法、变温降法和等压降法三种。

热水供暖系统管道水力计算表 ($t_g = 95^\circ\text{C}$, $t_h = 70^\circ\text{C}$, $K = 0.2\text{mm}$) 表 4.3-13

公称直径		10.00		15.00		20.00		25.00	
内径(mm)		9.50		15.75		21.25		27.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
10.0	290.7	6.65	0.04						
15.0	436.0	9.98	0.06						
20.0	581.4	13.30	0.08						
24.0	697.7	15.96	0.10	2.11	0.03				
28.0	814.0	40.57	0.11	2.47	0.04				
32.0	930.2	51.79	0.13	2.82	0.05				
36.0	1046.5	64.34	0.14	3.17	0.05				
40.0	1162.8	78.20	0.16	3.52	0.06				
44.0	1279.1	93.37	0.18	7.36	0.06				
48.0	1395.4	109.86	0.19	8.60	0.07				
52.0	1511.6	127.65	0.21	9.92	0.08	1.38	0.04		
56.0	1627.9	146.75	0.22	11.34	0.08	1.49	0.04		
60.0	1744.2	167.15	0.24	12.84	0.09	2.93	0.05		
64.0	1860.5	188.87	0.26	14.43	0.09	3.29	0.05		
68.0	1976.8	211.88	0.27	16.11	0.10	3.66	0.05		
72.0	2093.0	236.21	0.29	17.88	0.10	4.05	0.06		
76.0	2209.3	261.84	0.30	19.74	0.11	4.46	0.06		
80.0	2325.6	288.77	0.32	21.68	0.12	4.88	0.06		
84.0	2441.9	317.00	0.33	23.71	0.12	5.33	0.07		
88.0	2558.2	346.54	0.35	25.83	0.13	5.79	0.07		
95.0	2761.6	401.37	0.38	29.75	0.14	6.65	0.08		
105.0	3052.3	486.62	0.42	35.82	0.15	7.96	0.08	2.45	0.05
115.0	3343.1	580.01	0.46	42.42	0.17	9.39	0.09	2.88	0.06
125.0	3633.7	681.54	0.50	49.57	0.18	10.93	0.10	3.34	0.06
135.0	3924.4	791.21	0.54	57.27	0.20	12.58	0.11	3.83	0.07
145.0	4215.1	909.02	0.58	65.50	0.21	13.34	0.12	4.35	0.07
155.0	4505.8	1034.97	0.62	74.28	0.22	16.22	0.12	4.91	0.08
165.0	4796.5	1169.05	0.66	83.60	0.24	18.20	0.13	5.50	0.08
175.0	5087.2	1311.27	0.70	93.46	0.25	20.29	0.14	6.12	0.09
185.0	5377.9	1461.62	0.74	103.86	0.27	22.50	0.15	6.77	0.09
195.0	5668.6	1620.11	0.78	114.80	0.28	24.81	0.16	7.45	0.10
210.0	6104.7	1873.10	0.84	132.23	0.30	28.49	0.17	8.53	0.10
230.0	6686.1	2238.90	0.92	157.35	0.33	33.77	0.18	10.08	0.11
250.0	7267.5	2637.23	1.00	184.64	0.36	39.50	0.20	11.75	0.12
270.0	7848.9	3068.10	1.08	214.08	0.39	45.66	0.22	13.55	0.13
290.0	8430.3	3531.51	1.16	245.68	0.42	52.26	0.23	15.47	0.14
310.0	9011.7	4027.46	1.24	279.44	0.45	59.30	0.25	17.51	0.15
330.0	9593.1	4555.95	1.32	315.36	0.48	66.77	0.26	19.68	0.16
350.0	10174.5	5116.97	1.40	353.44	0.51	74.68	0.28	21.97	0.17
370.0	10755.9	5710.54	1.47	393.67	0.54	83.03	0.29	24.38	0.18
390.0	11337.3	6336.63	1.55	436.06	0.57	91.81	0.31	26.91	0.19
410.0	11918.7	6995.27	1.63	480.61	0.59	101.03	0.33	29.57	0.20

续表

公称直径		10.00		15.00		20.00		25.00	
内径 (mm)		9.50		15.75		21.25		27.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
430.0	12500.1	7686.44	1.71	527.31	0.62	110.69	0.34	32.35	0.21
450.0	13081.5	8410.15	1.79	576.18	0.65	120.78	0.36	35.25	0.22
470.0	13662.9	9166.38	1.87	627.19	0.68	131.30	0.37	38.27	0.23
490.0	14244.2	9955.17	1.95	680.37	0.71	142.27	0.39	41.42	0.24
520.0	15116.4	11195.35	2.07	764.17	0.75	159.53	0.41	46.36	0.26
560.0	16279.2	12972.13	2.23	883.46	0.81	184.07	0.45	53.38	0.28
600.0	17442.0	14875.05	2.39	1011.37	0.87	210.35	0.48	60.89	0.30
640.0	18604.8			1147.90	0.93	238.37	0.51	68.89	0.32
660.0	19186.2			1219.41	0.96	253.04	0.53	73.07	0.33
700.0	20349.0			1368.88	1.02	283.67	0.56	81.79	0.35
740.0	21511.8			1526.97	1.07	316.05	0.59	91.01	0.37
780.0	22674.6			1693.70	1.13	350.17	0.62	100.71	0.38
820.0	23837.4			1869.04	1.19	386.03	0.65	110.89	0.40
860.0	25000.2			2053.01	1.25	423.63	0.69	121.56	0.42
900.0	26163.0			2245.60	1.31	462.97	0.72	132.72	0.44
1000.0	29070.0			2764.81	1.45	568.94	0.80	162.75	0.49
1100.0	31977.0			3337.92	1.60	685.79	0.88	195.81	0.54
1200.0	34884.0			3964.92	1.74	813.52	0.96	231.92	0.59
1300.0	37791.0			4645.82	1.89	952.13	1.04	271.06	0.64
1400.0	40698.0					1101.62	1.12	313.24	0.69
1500.0	43605.0					1261.98	1.19	358.46	0.74
1600.0	46512.0					1433.23	1.27	406.71	0.79
1700.0	49419.0					1615.35	1.35	458.01	0.84
1800.0	52326.0					1808.35	1.43	512.34	0.89
1900.0	55233.0					2012.23	1.51	569.70	0.94
2000.0	58140.0					2226.98	1.59	630.11	0.99
2200.0	63954.0					2689.13	1.75	760.03	1.09
2400.0	69768.0					3194.78	1.91	902.09	1.18
2600.0	75582.0							1056.31	1.28
2800.0	81396.0							1222.67	1.38
3000.0	87210.0							1401.18	1.48
3200.0	93024.0							1591.84	1.58
3400.0	98838.0							1794.64	1.68
3600.0	104652.0							2009.59	1.78
3800.0	110466.0							2236.68	1.88
4000.0	116280.0							2475.93	1.97
4200.0	122094.0							2727.32	2.07
4400.0	127908.0							2990.86	2.17
4600.0	133722.0							3266.54	2.27
4800.0	139536.0							3554.37	2.37
5000.0	145350.0							3854.34	2.47

续表

公称直径		32.00		40.00		50.00		70.00	
内径 (mm)		35.75		41.00		53.00		68.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
140.0	4069.8	1.04	0.04						
150.0	4360.5	1.17	0.04						
160.0	4651.2	1.31	0.05						
170.0	4941.9	1.46	0.05						
180.0	5232.6	1.61	0.05						
190.0	5523.3	1.78	0.05						
200.0	5814.0	1.95	0.06						
220.0	6395.4	2.31	0.06						
240.0	6976.8	2.70	0.07						
260.0	7558.2	3.12	0.07						
280.0	8139.6	3.57	0.08	1.82	0.06				
300.0	8721.0	4.05	0.08	2.06	0.06				
320.0	9302.4	4.55	0.09	2.31	0.07				
340.0	9883.8	5.08	0.10	2.58	0.07				
360.0	10465.2	5.64	0.10	2.86	0.08				
380.0	11046.6	6.23	0.11	3.15	0.08				
400.0	11628.0	6.85	0.11	3.46	0.09				
420.0	12209.4	7.49	0.12	3.78	0.09				
440.0	12790.8	8.17	0.12	4.12	0.09				
460.0	13372.2	8.87	0.13	4.47	0.10				
480.0	13953.6	9.59	0.14	4.83	0.10				
500.0	14535.0	10.35	0.14	5.21	0.11				
540.0	15697.8	11.94	0.15	6.00	0.12	1.68	0.07		
580.0	16860.6	13.65	0.16	6.85	0.12	1.91	0.07		
620.0	18023.4	15.46	0.17	7.75	0.13	2.16	0.08		
660.0	19186.2	17.39	0.19	8.71	0.14	2.42	0.08		
700.0	20349.0	19.13	0.20	9.71	0.15	2.69	0.09		
740.0	21511.8	21.57	0.21	10.78	0.16	2.98	0.09		
780.0	22674.6	23.83	0.22	11.89	0.17	3.28	0.10		
820.0	23837.4	26.19	0.23	13.06	0.18	3.60	0.11		
860.0	25000.2	28.67	0.24	14.28	0.18	3.93	0.11		
900.0	26163.0	31.25	0.25	15.56	0.19	4.27	0.12	1.24	0.07
1000.0	29070.0	38.20	0.28	18.98	0.21	5.19	0.13	1.50	0.08
1100.0	31977.0	45.83	0.31	22.73	0.24	6.20	0.14	1.79	0.09
1200.0	34884.0	54.14	0.34	26.81	0.26	7.29	0.15	2.10	0.09
1300.0	37791.0	63.14	0.37	31.23	0.28	8.47	0.17	2.43	0.10
1400.0	40698.0	72.82	0.39	35.98	0.30	9.74	0.18	2.79	0.11
1500.0	43605.0	83.19	0.42	41.06	0.32	11.09	0.19	3.17	0.12
1600.0	46512.0	94.24	0.45	46.47	0.34	12.52	0.20	3.57	0.12
1700.0	49419.0	105.98	0.48	52.21	0.36	14.04	0.22	4.00	0.13
1800.0	52326.0	118.39	0.51	58.28	0.39	15.65	0.23	4.44	0.14
1900.0	55233.0	131.50	0.53	64.68	0.41	17.34	0.24	4.92	0.15

续表

公称直径		32.00		40.00		50.00		70.00	
内径 (mm)		35.75		41.00		53.00		68.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
2000.0	58140.0	145.28	0.56	71.42	0.43	19.12	0.26	5.41	0.16
2200.0	63954.0	174.91	0.62	85.88	0.47	22.92	0.28	6.47	0.17
2400.0	69768.0	207.26	0.68	101.66	0.51	27.07	0.31	7.62	0.19
2600.0	75582.0	242.35	0.73	118.76	0.56	31.56	0.33	8.86	0.20
2800.0	81396.0	280.18	0.79	137.19	0.60	36.39	0.36	10.20	0.22
3000.0	87210.0	320.73	0.84	156.93	0.64	41.56	0.38	11.62	0.23
3200.0	93024.0	364.02	0.90	178.00	0.68	47.07	0.41	13.14	0.25
3400.0	98838.0	410.04	0.96	200.39	0.73	52.92	0.44	14.74	0.26
3600.0	104652.0	458.80	1.01	224.10	0.77	59.11	0.46	16.44	0.28
3800.0	110466.0	510.29	1.07	249.13	0.81	65.64	0.49	18.23	0.30
4000.0	116280.0	564.51	1.13	275.49	0.86	72.50	0.51	20.12	0.31
4200.0	122094.0	621.46	1.18	303.16	0.90	79.71	0.54	22.09	0.33
4400.0	127908.0	681.15	1.24	332.16	0.94	87.26	0.56	24.15	0.34
4600.0	133722.0	743.57	1.29	362.48	0.98	95.14	0.59	26.31	0.36
4800.0	139536.0	808.72	1.35	394.12	1.03	103.37	0.61	28.55	0.37
5000.0	145350.0	876.60	1.41	427.08	1.07	111.93	0.64	30.89	0.39
5400.0	156978.0	1020.57	1.52	496.96	1.16	130.08	0.69	35.84	0.42
5800.0	168606.0	1175.46	1.63	572.13	1.24	149.59	0.74	41.15	0.45
6200.0	180234.0	1341.29	1.75	652.58	1.33	170.45	0.79	46.82	0.48
6600.0	191862.0	1518.04	1.86	738.31	1.41	192.67	0.85	52.86	0.51
7000.0	203490.0	1705.73	1.97	829.33	1.50	216.25	0.90	59.27	0.54
7400.0	215118.0	1904.34	2.08	925.64	1.58	241.18	0.95	66.03	0.58
7800.0	226746.0	2113.88	2.20	1027.23	1.67	267.47	1.00	73.16	0.61
8200.0	238374.0			1134.10	1.75	295.12	1.05	80.66	0.64
8600.0	250002.0			1246.25	1.84	324.13	1.10	88.52	0.67
9000.0	261630.0			1363.69	1.93	354.49	1.15	96.74	0.70
10000.0	290700.0			1680.41	2.14	438.33	1.28	118.88	0.78
11000.0	319770.0			2030.15	2.35	526.65	1.41	143.30	0.86
12000.0	348840.0			2412.91	2.57	625.46	1.54	169.99	0.93
13000.0	377910.0			2828.70	2.78	732.74	1.66	198.95	1.01
14000.0	406980.0			3277.51	3.00	848.50	1.79	230.19	1.09
15000.0	436050.0			3759.34	3.21	972.75	1.92	263.69	1.17
16000.0	465120.0					1105.47	2.05	299.47	1.24
17000.0	494190.0					1246.68	2.18	337.53	1.32
18000.0	537795.0					1396.36	2.31	377.85	1.40
19000.0	552330.0					1554.52	2.43	420.44	1.48
20000.0	581400.0					1721.17	2.58	465.31	1.56
22000.0	639540.0					2079.90	2.82	561.86	1.71
24000.0	697680.0					2472.55	3.07	667.50	1.87
26000.0	755820.0							782.23	2.02
28000.0	813959.9							906.04	2.18
30000.0	872100.0							1038.94	2.33

续表

公称直径		80.00		100.00		125.00		150.00	
内径 (mm)		80.50		106.00		131.00		156.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
1850.0	53779.5	2.01	0.10						
1950.0	56686.5	2.22	0.11						
2100.0	61047.0	2.55	0.12						
2300.0	66861.0	3.01	0.13						
2500.0	72675.0	3.52	0.14						
2700.0	78489.0	4.06	0.15						
2900.0	84303.0	4.64	0.16						
3100.0	90117.0	5.26	0.17						
3300.0	95931.0	5.92	0.18	1.49	0.11				
3500.0	101745.0	6.62	0.19	1.66	0.11				
3700.0	107559.0	7.35	0.21	1.85	0.12				
3900.0	113373.0	8.12	0.22	2.03	0.12				
4100.0	119187.0	8.93	0.23	2.23	0.13				
4300.0	125001.0	9.77	0.24	2.44	0.14				
4500.0	130815.0	10.65	0.25	2.66	0.14				
4700.0	136629.0	11.57	0.26	2.88	0.15				
4900.0	142443.0	12.53	0.27	3.12	0.16				
5200.0	151164.0	14.04	0.29	3.48	0.17				
5600.0	162792.0	16.18	0.31	4.01	0.18	1.39	0.12	0.58	0.08
6000.0	17442.0	18.47	0.33	4.56	0.19	1.58	0.13	0.66	0.09
6400.0	186048.0	20.91	0.36	5.15	0.20	1.78	0.13	0.75	0.09
6800.0	197676.0	23.50	0.38	5.78	0.22	1.99	0.14	0.83	0.10
7200.0	209304.0	26.24	0.40	6.44	0.23	2.22	0.15	0.93	0.11
7600.0	220932.0	29.12	0.42	7.14	0.24	2.45	0.16	1.03	0.11
8000.0	232560.0	32.16	0.44	7.88	0.26	2.70	0.17	1.13	0.12
8400.0	244188.0	35.35	0.47	8.64	0.27	2.96	0.18	1.24	0.12
8800.0	255816.0	38.68	0.49	9.45	0.28	3.23	0.18	1.35	0.13
9500.0	276165.0	44.88	0.53	10.94	0.30	3.74	0.20	1.55	0.14
10500.0	305235.0	54.53	0.58	12.35	0.34	4.52	0.22	1.88	0.16
11500.0	334305.0	65.11	0.64	15.79	0.37	5.37	0.24	2.23	0.17
12500.0	363375.0	76.62	0.69	18.54	0.40	6.29	0.26	2.60	0.18
13500.0	392445.0	89.07	0.75	21.52	0.43	7.29	0.28	3.01	0.20
14500.0	421515.0	102.45	0.80	24.71	0.46	8.36	0.30	3.45	0.21
15500.0	450585.0	116.76	0.86	28.12	0.50	9.50	0.32	3.91	0.23
16500.0	479655.0	132.00	0.92	31.75	0.53	10.72	0.35	4.41	0.24
17500.0	508725.0	148.18	0.97	35.60	0.56	12.00	0.37	4.93	0.26
18500.0	537795.0	165.29	1.03	39.67	0.59	13.36	0.39	5.48	0.27
19500.0	566865.0	183.33	1.08	43.96	0.62	14.79	0.41	6.07	0.29
21000.0	610470.0	212.15	1.17	50.80	0.67	17.07	0.44	6.99	0.31
23000.0	668609.0	253.83	1.28	60.69	0.74	20.36	0.48	8.33	0.34
25000.0	726749.9	299.24	1.39	71.46	0.80	23.94	0.52	9.78	0.37
27000.0	784890.0	348.38	1.50	83.10	0.86	27.80	0.57	11.34	0.40

续表

公称直径		80.00		100.0		125.00		150.00	
内径 (mm)		80.50		106.00		131.00		156.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
28000.0	843030.0	401.26	1.61	95.61	0.93	31.96	0.61	13.02	0.43
32000.0	930239.9	487.56	1.78	116.03	1.02	38.73	0.67	15.76	0.47
36000.0	1046519.9	615.69	2.00	146.31	1.15	48.76	0.75	19.81	0.53
40000.0	1162800.0	758.74	2.22	180.10	1.28	59.94	0.84	24.32	0.59
44000.0	1279080.0	916.71	2.44	217.38	1.41	72.27	0.92	29.29	0.65
48000.0	1395360.0	1089.60	2.66	258.17	1.54	85.75	1.01	34.72	0.71
52000.0	1511640.0			302.46	1.66	100.38	1.09	40.60	0.77
56000.0	1627919.0			350.24	1.79	116.16	1.17	46.95	0.83
60000.0	1744200.0			401.53	1.92	133.09	1.26	53.76	0.89
64000.0	1860479.9			456.32	2.05	151.17	1.34	61.02	0.95
68000.0	1976760.0			514.61	2.18	170.40	1.43	68.75	1.01
75000.0	2180250.0			625.05	2.40	206.81	1.67	83.37	1.11
85000.0	2470950.0							106.70	1.26

注: 1. 本表是根据供水温度为95℃, 回水温度为70℃ (平均水温按 $t \sim 60^\circ\text{C}$, 相应的密度为983.248kg/m³) 管子的绝对粗糙度 $K = 0.2\text{mm}$ 的条件编制的。

2. 摩擦系数 λ 值按下式确定:

$$\text{层流区中 } \lambda = \frac{64}{\text{Re}}, \text{ 紊流区中 } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{K}{3.7d} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{\lambda}} \right)$$

3. 表中符号: G ——管段热媒流量, kg/h;
 Q ——管段热负荷, W;
 Δp_m ——单位长度摩擦压力损失, Pa/m;
 v ——热媒流速, m/s。

热水供暖系统管道水力计算表 ($t_g = 110^\circ\text{C}$, $t_h = 70^\circ\text{C}$, $K = 0.2\text{mm}$)

表 4.3-14

公称直径		10.00		15.00		20.00		25.00	
内径 (mm)		9.50		15.75		21.25		27.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
10.0	465.1	4.53	0.04						
20.0	930.2	20.84	0.08						
24.0	1116.3	29.14	0.10	1.44	0.04				
28.0	1302.3	38.77	0.11	1.68	0.04				
32.0	1488.4	49.74	0.13	3.89	0.05				
36.0	1674.4	62.05	0.15	4.81	0.05				
40.0	1860.5	75.69	0.16	5.82	0.06				
44.0	2046.5	90.66	0.18	6.91	0.06				
48.0	2232.6	106.95	0.19	8.10	0.07	1.83	0.04		
52.0	2418.6	124.58	0.21	9.37	0.08	2.11	0.04		
56.0	2604.7	143.53	0.23	10.74	0.08	2.41	0.05		
60.0	2790.7	163.81	0.24	12.19	0.09	2.73	0.05		
64.0	2976.8	185.42	0.26	13.74	0.09	3.07	0.05		
68.0	3162.8	208.36	0.28	15.37	0.10	3.42	0.06		
72.0	3348.9	232.62	0.29	17.09	0.11	3.79	0.06		
76.0	3534.9	258.21	0.31	18.90	0.11	4.19	0.06		
80.0	3721.0	285.13	0.32	20.80	0.12	4.60	0.06		
84.0	3907.0	313.37	0.34	22.79	0.12	5.02	0.07		
88.0	4093.1	342.94	0.36	24.86	0.13	5.47	0.07		
95.0	4418.6	397.87	0.39	28.70	0.14	6.29	0.08		
105.0	4883.8	483.40	0.43	34.67	0.16	7.56	0.09	2.29	0.05
115.0	5348.9	577.22	0.47	41.18	0.17	8.95	0.09	2.70	0.06
125.0	5814.0	679.32	0.51	48.24	0.18	10.44	0.10	3.14	0.06
135.0	6279.1	789.71	0.55	55.86	0.20	12.05	0.11	3.61	0.07

续表

公称直径		10.00		15.00		20.00		25.00	
内径 (mm)		9.50		15.75		21.25		27.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
145.0	6744.2	908.38	0.59	64.02	0.21	13.77	0.12	4.12	0.07
155.0	7209.4	1035.34	0.63	72.74	0.23	15.61	0.13	4.66	0.08
165.0	7674.5	1170.59	0.67	82.00	0.24	17.55	0.13	5.23	0.08
175.0	8139.6	1314.12	0.71	91.81	0.26	19.61	0.14	5.82	0.09
185.0	8604.7	1465.93	0.75	102.18	0.27	21.77	0.15	6.46	0.09
195.0	9069.8	1626.04	0.79	113.09	0.29	24.05	0.16	7.12	0.10
210.0	9767.5	1881.73	0.85	130.49	0.31	27.68	0.17	8.17	0.11
230.0	10697.8	2251.64	0.93	155.62	0.34	32.90	0.19	9.68	0.12
250.0	11628.0	2654.70	1.01	182.94	0.37	38.57	0.20	11.32	0.13
270.0	12558.2	3090.90	1.10	212.46	0.40	44.68	0.22	13.08	0.14
290.0	13488.5	3560.24	1.18	244.17	0.43	51.24	0.24	14.97	0.15
310.0	14418.7	4062.71	1.26	278.09	0.46	58.24	0.25	16.98	0.16
330.0	15349.0	4598.33	1.34	314.20	0.49	65.48	0.27	19.12	0.17
350.0	16279.2	5167.09	1.42	352.50	0.52	73.57	0.28	21.38	0.18
370.0	17209.4	5768.99	1.50	393.00	0.55	81.91	0.30	23.76	0.19
390.0	18139.7	6404.02	1.58	453.70	0.58	90.68	0.32	26.27	0.20
410.0	19069.9	7072.19	1.66	480.60	0.61	99.90	0.33	28.90	0.21
430.0	20000.2	7773.51	1.75	527.68	0.64	109.56	0.35	31.66	0.22
450.0	20930.4	8507.96	1.83	576.97	0.66	119.67	0.37	35.54	0.23
470.0	21860.6	9275.56	1.91	628.45	0.69	130.22	0.38	37.54	0.24
490.0	22790.9	10076.29	1.99	682.13	0.72	141.21	0.40	40.67	0.25
520.0	24186.2	11339.53	2.11	766.77	0.77	158.54	0.42	45.50	0.26
560.0	26046.7	13139.83	2.27	887.30	0.83	183.18	0.45	52.60	0.28
600.0	27907.2	15072.69	2.44	1016.62	0.89	209.60	0.49	60.09	0.30
640.0	29767.7			1154.71	0.95	237.80	0.52	68.08	0.32
680.0	31628.2			1301.60	1.00	267.76	0.55	76.57	0.34
720.0	33488.6			1457.27	1.06	299.50	0.58	85.55	0.36
760.0	35349.1			1621.72	1.12	333.01	0.62	95.03	0.38
800.0	37209.6			1794.95	1.18	368.30	0.65	105.00	0.40
840.0	39070.1			1976.97	1.24	405.36	0.68	115.47	0.42
880.0	40930.6			2167.76	1.30	444.16	0.71	126.43	0.44
950.0	44186.4			2522.80	1.40	516.41	0.77	146.80	0.48
1050.0	48837.6			3076.65	1.55	629.00	0.85	178.54	0.53
1150.0	53488.8			3685.40	1.70	752.67	0.93	213.37	0.58
1250.0	58140.0			4349.05	1.85	887.42	1.01	251.33	0.63
1350.0	62791.2					1033.25	1.10	292.31	0.68
1450.0	67442.4					1190.16	1.18	336.43	0.73
1550.0	72093.6					1358.15	1.26	383.63	0.78
1650.0	76744.8					1537.21	1.34	433.93	0.83
1750.0	81396.0					1727.36	1.42	487.32	0.88
1850.0	86047.2					1928.59	1.50	543.80	0.93
1950.0	90698.4					2140.89	1.58	603.38	0.98
2100.0	97675.2					2480.12	1.70	698.55	1.06
2300.0	106977.6					2971.21	1.87	836.26	1.16
2500.0	116280.0							986.34	1.23
2700.0	125582.4							1148.80	1.36
2900.0	134884.8							1323.63	1.46
3100.0	144187.2							1510.83	1.56
3300.0	153487.6							1710.40	1.66
3500.0	162792.0							1922.35	1.76
3700.0	172094.4							2146.66	1.86
3900.0	181396.8							2383.35	1.96
4100.0	190699.2							2632.41	2.06
4300.0	200001.6							2893.84	2.16
4500.0	209304.0							3167.65	2.26
4700.0	218606.0							3453.82	2.36
4900.0	227908.8							3752.37	2.46

续表

公称直径		32.00		40.00		50.00		70.00	
内径 (mm)		35.75		41.00		53.00		68.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
195.0	9069.8	1.75	0.06						
210.0	9767.5	2.00	0.06						
230.0	10697.8	2.36	0.07						
250.0	11628.0	2.75	0.07						
270.0	12558.2	3.17	0.08						
290.0	13488.5	3.62	0.08	1.83	0.06				
310.0	14418.7	4.10	0.09	2.06	0.07				
330.0	15349.0	4.60	0.09	2.32	0.07				
350.0	16279.2	5.13	0.10	2.58	0.08				
370.0	17209.4	5.69	0.11	2.86	0.08				
390.0	18139.7	6.28	0.11	3.15	0.09				
410.0	19069.9	6.90	0.12	3.46	0.09				
430.0	20000.2	7.54	0.12	3.78	0.09				
450.0	20930.4	8.21	0.13	4.11	0.10				
470.0	21860.6	8.91	0.13	4.46	0.10				
490.0	22790.9	9.64	0.14	4.82	0.11				
520.0	24186.2	10.79	0.15	5.38	0.11	1.49	0.07		
560.0	26046.7	12.41	0.16	6.19	0.12	1.70	0.07		
600.0	27907.2	14.15	0.17	7.04	0.13	1.94	0.08		
640.0	29767.7	16.00	0.18	7.95	0.14	2.18	0.08		
680.0	31628.2	17.96	0.19	8.92	0.15	2.44	0.09		
720.0	33488.6	20.03	0.21	9.94	0.16	2.71	0.09		
760.0	35349.1	22.22	0.22	11.01	0.17	3.00	0.10		
800.0	37209.6	24.51	0.23	12.14	0.17	3.30	0.10		
840.0	39070.1	26.92	0.24	13.32	0.18	3.62	0.11		
880.0	40930.6	29.44	0.25	14.56	0.19	3.95	0.11		
950.0	44186.4	34.12	0.27	16.85	0.21	4.56	0.12	1.30	0.08
1050.0	48837.6	41.39	0.30	20.41	0.23	5.50	0.14	1.57	0.08
1150.0	53488.8	49.36	0.33	24.31	0.25	6.54	0.15	1.86	0.09
1250.0	58140.0	58.02	0.36	28.55	0.27	7.66	0.16	2.17	0.10
1350.0	62791.2	67.38	0.39	33.12	0.29	8.86	0.18	2.51	0.11
1450.0	67442.4	77.44	0.42	38.03	0.32	10.16	0.19	2.87	0.11
1550.0	72093.6	88.20	0.44	43.28	0.34	11.54	0.20	3.25	0.12
1650.0	76744.8	99.65	0.47	48.86	0.36	13.00	0.22	3.66	0.13
1750.0	81396.0	111.79	0.50	54.78	0.38	14.56	0.23	4.09	0.14
1850.0	86047.2	124.64	0.53	61.03	0.40	16.20	0.24	4.54	0.15
1950.0	90698.4	138.17	0.56	67.63	0.43	17.92	0.25	5.01	0.15
2100.0	97675.2	159.79	0.60	78.15	0.46	20.67	0.27	5.77	0.17
2300.0	106977.6	191.04	0.66	93.35	0.50	24.65	0.30	6.86	0.18
2500.0	116280.0	225.07	0.72	109.90	0.54	28.96	0.33	8.05	0.20
2700.0	125582.4	261.89	0.77	127.80	0.59	33.63	0.35	9.33	0.21
2900.0	134884.8	301.49	0.83	147.04	0.63	38.64	0.38	10.70	0.23
3100.0	144187.2	343.88	0.89	167.63	0.68	43.99	0.40	12.16	0.25
3300.0	153489.6	389.05	0.95	189.56	0.72	49.69	0.43	13.72	0.26
3500.0	162792.0	437.00	1.00	212.84	0.76	55.74	0.46	15.37	0.28
3700.0	172094.4	487.74	1.06	237.46	0.81	62.13	0.48	17.11	0.29
3900.0	181396.8	541.25	1.12	263.43	0.85	68.87	0.51	18.94	0.31
4100.0	190699.2	597.56	1.18	290.75	0.89	75.95	0.53	20.87	0.32
4300.0	200001.2	656.64	1.23	319.41	0.94	83.38	0.56	22.89	0.34
4500.0	209304.0	718.51	1.29	349.42	0.98	91.16	0.59	25.00	0.36
4700.0	218606.4	783.16	1.35	380.77	1.02	99.28	0.61	27.21	0.37
4900.0	227908.8	850.59	1.40	413.46	1.07	107.74	0.64	29.50	0.39
5200.0	241862.4	956.96	1.49	465.03	1.13	121.09	0.68	33.12	0.41

续表

公称直径		32.00		40.00		50.00		70.00	
内径 (mm)		35.75		41.00		53.00		68.00	
G	Q	Δp_m	ν	Δp_m	ν	Δp_m	ν	Δp_m	ν
5600.0	260467.2	1108.53	1.61	538.50	1.22	140.10	0.73	38.27	0.44
6000.0	279072.0	1271.23	1.72	617.35	1.31	160.48	0.78	43.80	0.48
6400.0	297676.8	1445.06	1.83	701.58	1.39	182.25	0.83	49.69	0.51
6800.0	316281.6	1630.02	1.95	791.20	1.48	206.40	0.89	55.95	0.54
7200.0	334886.4	1826.12	2.06	886.19	1.57	229.94	0.94	62.58	0.57
7600.0	353491.2	2033.35	2.18	986.57	1.66	255.85	0.99	69.59	0.60
8000.0	372096.0	2251.71	2.29	1092.33	1.74	283.15	1.04	76.96	0.63
8400.0	390700.8			1203.47	1.83	311.83	1.10	84.70	0.67
8800.0	409305.6			1319.99	1.92	341.89	1.15	92.82	0.70
9500.0	441864.0			1536.85	2.07	397.82	1.24	107.91	0.75
10500.0	488376.0			1875.25	2.29	485.07	1.37	131.43	0.83
11500.0	534888.0			2247.28	2.51	580.95	1.50	157.27	0.91
12500.0	581399.9			2652.95	2.72	685.48	1.63	185.42	0.99
13500.0	627912.0			3092.25	2.94	798.63	1.76	215.89	1.07
14500.0	674424.0			3565.19	3.16	920.43	1.89	248.67	1.15
15500.0	720935.9					1050.86	2.02	283.77	1.23
16500.0	767448.0					1189.94	2.15	321.18	1.31
17500.0	813960.0					1337.64	2.28	360.90	1.39
18500.0	860471.9					1493.99	2.41	402.94	1.47
19500.0	906984.0					1658.97	2.54	447.29	1.55
21000.0	976751.9					1922.64	2.74	518.15	1.66
23000.0	1069776.0					2304.43	3.00	620.74	1.82
25000.0	1162799.9					2720.77	3.26	732.58	1.98
27000.0	1255824.0							853.68	2.14
29000.0	1348848.0							984.04	2.30

公称直径		80.00		100.00		125.00		150.00	
内径 (mm)		80.50		106.00		131.00		156.00	
G	Q	Δp_m	ν	Δp_m	ν	Δp_m	ν	Δp_m	ν
1850.0	86047.2	1.94	0.10						
1950.0	90698.4	2.14	0.11						
2100.0	97675.2	2.46	0.12						
2300.0	106977.6	2.92	0.13						
2500.0	116280.0	3.41	0.14						
2700.0	125582.4	3.95	0.15						
2900.0	134884.8	4.52	0.16						
3100.0	144187.2	5.14	0.18						
3300.0	153489.6	5.79	0.19	1.44	0.11				
3500.0	162792.0	6.47	0.20	1.61	0.11				
3700.0	172094.4	7.20	0.21	1.78	0.12				
3900.0	181396.8	7.97	0.22	1.97	0.13				
4100.0	190699.2	8.77	0.23	2.16	0.13				
4300.0	200001.6	9.61	0.24	2.37	0.14				
4500.0	209304.0	10.49	0.25	2.58	0.15				
4700.0	218606.4	11.41	0.27	2.80	0.15				
4900.0	227908.8	12.36	0.28	3.03	0.16				
5200.0	241862.4	13.86	0.29	3.40	0.17				
5600.0	260467.2	16.00	0.32	3.91	0.18	1.34	0.12	0.56	0.08
6000.0	279072.0	18.29	0.34	4.47	0.20	1.53	0.13	0.64	0.09
6400.0	297676.8	20.74	0.36	5.05	0.21	1.73	0.14	0.72	0.10

续表

公称直径		80.00		100.00		125.00		150.00	
内径 (mm)		80.50		106.00		131.00		156.00	
G	Q	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
6800.0	316281.6	23.33	0.38	5.68	0.22	1.94	0.15	0.80	0.10
7200.0	334886.4	26.08	0.41	6.33	0.23	2.16	0.15	0.90	0.11
7600.0	353491.2	28.98	0.43	7.03	0.25	2.39	0.16	0.99	0.11
8000.0	372096.0	32.03	0.45	7.76	0.26	2.64	0.17	1.09	0.12
8400.0	390700.8	35.23	0.47	8.53	0.27	2.89	0.18	1.20	0.13
8800.0	409305.6	38.59	0.50	9.33	0.29	3.16	0.19	1.31	0.13
9500.0	441864.0	44.83	0.54	10.82	0.31	3.66	0.20	1.51	0.14
10500.0	488376.0	54.55	0.59	13.13	0.34	4.44	0.22	1.83	0.16
11500.0	534888.0	65.21	0.65	15.67	0.38	5.29	0.25	2.17	0.17
12500.0	581399.9	76.83	0.71	18.44	0.41	6.21	0.27	2.55	0.19
13500.0	627912.0	89.40	0.76	21.42	0.44	7.20	0.29	2.95	0.20
14500.0	674424.0	102.92	0.82	24.63	0.47	8.27	0.31	3.39	0.22
15500.0	720935.9	117.39	0.88	28.06	0.51	9.41	0.33	3.85	0.23
16500.0	767448.0	132.81	0.93	31.72	0.54	10.63	0.35	4.34	0.25
17500.0	813960.0	149.18	0.99	35.60	0.57	11.92	0.37	4.86	0.26
18500.0	860471.9	166.49	1.05	39.70	0.60	13.28	0.39	5.41	0.28
19500.0	906984.0	184.76	1.10	44.02	0.64	14.71	0.42	5.99	0.29
21000.0	976751.9	213.95	1.19	50.93	0.68	17.00	0.45	6.92	0.32
23000.0	1069776.0	256.18	1.30	60.91	0.75	20.31	0.49	8.26	0.35
25000.0	1162799.9	302.22	1.41	71.79	0.82	23.91	0.53	9.71	0.38
27000.0	1255824.0	352.05	1.53	83.56	0.88	27.81	0.58	11.28	0.41
29000.0	1348848.0	405.69	1.64	96.21	0.95	31.99	0.62	12.97	0.44
32000.0	1488383.9	493.26	1.81	116.88	1.04	38.82	0.68	15.72	0.48
36000.0	1674431.9	623.33	2.04	147.54	1.17	48.95	0.77	19.79	0.54
40000.0	1860480.0	768.59	2.26	181.78	1.30	60.25	0.85	24.34	0.60
44000.0	2046528.0	929.05	2.49	219.58	1.43	72.72	0.94	29.35	0.66
48000.0	2332576.0	1104.70	2.71	260.94	1.57	86.36	1.02	34.83	0.72
52000.0	2418624.0			305.87	1.70	101.18	1.11	40.78	0.78
56000.0	2604672.0			354.37	1.83	117.16	1.20	47.19	0.84
60000.0	2883743.7			433.79	2.02	143.33	1.32	57.69	0.93
64000.0	2976767.7			462.05	2.09	152.64	1.37	61.42	0.96
68000.0	3162816.0			521.25	2.22	172.13	1.45	69.24	1.02
75000.0	3488400.0			633.41	2.45	209.07	1.60	84.05	1.13
85000.0	3953520.0							107.68	1.28
90000.0	4186079.7							120.60	1.35

注: 1. 本表是根据供水温度为110℃, 回水温度为70℃ (平均水温按 $t \approx 90^\circ\text{C}$, 相应的密度为 $965.3\text{kg}/\text{m}^3$), 管子绝对粗糙度 $K = 0.2\text{mm}$ 的条件编制的。

2. 摩擦系数 λ 确定原则及表中符号同表4.3-13。

1. 等温降法

(1) 计算原理

等温降计算法的特点是预先规定每根立管 (对双管系统是每个散热器) 的水温降, 系统中各立管的供、回水温度都取相同的数值, 在这个前提下计算流量。这种计算法的任务: 一种是已知各管段的流量, 给定最不利各管段的管径, 确定系统所必须的循环压力; 另一种是根据给定的压力损失, 选择流过给定流量所需要的管径。

(2) 计算方法

按表4.3-15的步骤进行。

表 4.3-15

步骤	计算内容	计 算 方 法
1	流 量	<p>根据已知热负荷Q和规定的供回水温差Δt, 计算出每根管道的流量G, 即</p> $G = \frac{0.86Q}{\Delta t}$ <p>式中 G —— 流量, kg/h; Q —— 热负荷, W; Δt —— 供回水温差, $^{\circ}\text{C}$。 当热媒为$110 \sim 70^{\circ}\text{C}$时, $\Delta t = 40^{\circ}\text{C}$; $95 \sim 70^{\circ}\text{C}$时, $\Delta t = 25^{\circ}\text{C}$</p>
2	管 径	<p>• 根据已算出的流量在允许流速范围内, 选择最不利环路中各管段的管径。 • 当系统压力损失有限制时 (尤其是自然循环时) 应先算出平均的单位长度摩擦损失后再选取管径。</p> $\Delta p_m = \frac{\alpha \Delta P}{\sum l}$ <p>式中 Δp_m —— 平均单位长度摩擦损失, Pa/m; α —— 摩擦损失占总压力损失的百分数, 热水系统为0.5; ΔP —— 系统允许的总压力损失, Pa; $\sum l$ —— 最不利环路的总长度, m</p>
3	压力损失	<p>根据流量和选择好的管径, 可计算出各管段的压力损失ΔP, 即,</p> $\Delta P = \left(\frac{\lambda}{d} l + \sum \zeta \right) \frac{\rho v^2}{2}$
4	环路压力平衡	<p>按已算出的各管段压力损失, 进行各并联环路间的压力平衡计算, 如不能满足平衡要求, 再调整管径, 使之达到平衡为止, 即,</p> $\text{不平衡率} = \frac{\sum \Delta P_1 - \sum \Delta P_2}{\sum \Delta P_1} \times 100\% < \text{规定值}$ <p>式中 $\sum P_1$ —— 第一环路总压力损失, Pa; $\sum P_2$ —— 第二环路总压力损失, Pa</p>

2. 变温降法

(1) 计算原理

在各立管温降不相等的前提下进行计算。首先选定管径, 根据平衡要求的压力损失去计算立管的流量, 根据流量来计算立管的实际温降, 最后确定散热器的数量, 本计算方法最适用于异程式垂直单管系统。

(2) 计算方法

- 求最不利环路的 Δp_m 值, 作查表参考用;
- 假设最远立管的温降, 一般按设计温降增加 $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$;
- 根据假设温降, 在推荐的流速范围内, 并参照已求得的 Δp_m 值, 查表求得最远立管的计算流量 G_i 和压力损失;
- 根据立管环路之间压力平衡原理, 依次由远至近计算出其他立管的计算流量、温降、及压力损失;
- 已求得各立管计算流量之和 $\sum G_i$ 与要求温降 Δt 所求得的实际流量 ΣG_i 不一致, 需进行调整对各立管乘以调整系数, 最后得出立管实际流量、温降和压力损失。各种调整

系数为:

$$\text{温降调整系数 } a = \frac{\Sigma G_j}{\Sigma G_i};$$

$$\text{流量调整系数 } b = \frac{\Sigma G_i}{\Sigma G_j};$$

$$\text{压力调整系数 } c = \left(\frac{\Sigma G_i}{\Sigma G_j} \right)^2.$$

3. 等压降法

(1) 计算原理

按各立管压降相等作为假设前提进行水力计算。假设压降相等,但并不知压降的具体数值,在选定管径后,压降及流量仍为未知数,为此应先给立管一假定压降值,并确定在该压降值下各种类型立管的对应流量(称计算流量)。将计算流量和对应压降值乘以相应的调整系数,即可求出实际的流量和压降。本计算方法适用于同程式垂直单管系统。

(2) 计算方法

- 根据负荷、散热器连接形式选择各支立管的管径;
- 根据已选定的管径按表4.3-16查出各立管的计算流量 G' ;如不符合表4.3-16的给定条件可查表4.3-17计算;
- 对得出的计算流量 $\Sigma G'$ 进行调整,并相应调整其压降,求出实际流量和压降,

$$\text{流量调整系数 } a = \frac{0.86 \Sigma Q}{\Sigma G' \Delta t},$$

$$\text{压降调整系数 } b = a^2;$$

- 依据实际流量,计算出实际温降,计算散热器;
- 供、回水干管按一般计算方法选用管径,只要两立管之间的供、回水干管压差不超过10%就可满足要求。

垂直单管同程式管压降2kPa(层高3m)时流量(kg/h) 表 4.3-16

层数	单侧连接立管管径 (mm)				双侧连接立管管径 (mm)											
					15				20				25			
					散热器支管管径 (mm)											
	15	20	25	32	15	15	20	15	20	25	20	25				
1	257.5	527.2	954.3	1776	308.6	459.3	642.0	521.4	855.9	1126	1003	1578				
2	195.2	397.8	727.5	1365	241.8	341.1	498.4	376.7	641.8	884.3	727.5	1144				
3	163.8	332.1	609.0	1150	205.8	283.3	423.6	309.8	535.4	749.6	599.4	954.1				
4	143.7	291.1	535.4	1010	181.9	247.4	374.3	269.3	468.8	664.0	521.2	836.1				
5	129.6	262.3	482.8	914.6	164.7	222.4	338.6	241.4	422.1	600.3	467.3	752.9				
6	118.9	240.0	443.6	841.8	151.8	201.9	312.1	220.7	387.3	554.7	427.4	690.6				
7	110.5	223.6	412.4	782.6	141.5	189.2	290.5	204.5	359.7	516.8	397.2	641.4				
8	103.7	209.6	387.1	734.8	133.0	177.3	272.9	191.5	337.4	486.0	371.9	601.6				
9	98.0	198.2	365.8	694.8	125.8	167.5	258.1	180.6	318.6	459.9	350.9	568.8				
10	95.3	188.3	347.8	660.4	119.8	159.1	245.8	171.4	302.6	437.1	332.9	540.0				
11	89.0	179.7	332.1	631.4	114.5	151.8	234.9	163.5	389.0	418.5	317.8	515.5				
12	85.3	172.4	318.5	605.2	109.8	145.2	225.3	156.6	277.0	401.7	304.4	494.1				

按 $S_{z,h}$ 确定单管同程式热水供暖系统立管流量表
(立管压降 $\Delta P=2\text{kPa}$, $t=80^\circ\text{C}$, $K=0.2\text{mm}$)

表 4.3-17

$S_{z,h}$	立管管径 (mm)				$S_{z,h}$	立管管径 (mm)			
	15	20	25	32		15	20	25	32
	G (kg/h)					G (kg/h)			
20	308.6	562.5	905.4	1597	102	136.7	249.1	400.9	707.3
22	294.2	536.4	863.2	1528	104	135.3	246.7	397.0	700.4
24	281.7	513.5	826.5	1458	106	134.1	244.4	393.3	693.8
26	270.7	493.4	794.1	1401	108	132.8	242.1	389.6	687.3
28	260.8	475.4	765.2	1350	110	131.6	239.9	386.1	681.0
30	252.0	459.3	739.2	1304	114	129.3	235.7	379.7	669.0
32	244.0	444.7	715.8	1263	118	127.1	231.6	372.7	657.6
34	236.7	431.5	694.4	1225	122	125.0	227.8	366.6	646.7
36	230.0	419.3	674.8	1190	126	123.0	224.1	360.7	636.3
38	223.9	408.1	656.8	1159	130	121.1	220.7	355.1	626.5
40	218.2	397.8	640.2	1129	134	119.2	217.3	349.8	617.1
42	213.0	388.2	624.8	1107	138	117.5	214.2	344.7	608.0
44	208.1	379.3	610.4	1076	142	115.8	211.2	339.8	599.4
46	203.5	370.9	597.0	1053	146	114.2	208.2	335.1	591.4
48	199.2	363.1	584.4	1031	150	112.7	205.4	330.6	583.2
50	195.2	355.8	572.6	1010	156	110.5	201.4	324.2	571.9
52	191.4	348.9	561.5	990.5	162	108.4	197.7	318.1	561.2
54	187.8	342.4	551.0	972.0	168	106.5	194.1	312.4	551.1
56	184.4	336.2	541.1	954.6	174	104.6	190.7	306.9	541.5
58	181.2	330.3	531.6	937.9	178	103.5	188.6	303.5	535.4
60	178.2	324.8	522.7	922.1	184	101.7	185.5	298.5	526.6
62	175.3	319.5	514.2	907.1	190	100.1	182.5	293.7	518.2
64	172.5	314.5	506.1	897.9	196	98.58	179.7	289.2	510.7
66	169.9	309.7	498.4	879.3	202	97.11	177.0	284.9	502.6
68	167.4	305.1	491.0	866.2	208	95.69	174.4	280.7	495.3
70	165.0	300.7	483.9	853.7	214	94.34	171.9	276.8	488.8
72	162.7	296.5	477.2	841.9	220	93.05	169.6	272.9	481.6
74	160.4	292.5	470.7	830.3	226	91.80	167.4	269.3	475.1
76	158.3	288.6	464.4	819.3	232	90.61	165.2	265.8	469.0
78	156.3	284.9	458.5	808.8	238	89.46	163.0	262.5	463.0
80	154.3	281.3	452.7	798.6	244	88.35	161.1	259.2	457.3
82	152.4	277.8	447.1	788.8	250	87.29	159.1	256.1	451.8
84	150.6	274.5	441.8	779.4	256	86.26	157.2	253.1	446.4
86	148.8	271.3	436.6	770.2	262	85.26	155.4	250.1	441.3
88	147.1	268.2	431.6	761.4	268	84.30	153.7	247.3	436.3
90	145.5	265.2	426.8	752.9	274	83.38	152.0	244.6	431.5
92	143.9	262.3	422.1	744.7	280	82.48	150.4	242.0	426.9
94	142.4	259.5	417.6	736.7	286	81.61	148.8	239.4	422.4
96	140.9	256.8	413.2	729.0	292	80.77	147.2	236.9	418.0
98	139.4	254.1	409.1	721.5	298	79.95	145.7	234.6	413.8
100	138.0	251.6	404.9	714.8	300	79.68	145.3	233.8	412.4

为了简化计算局部阻力系数,表4.3-18编制了常用的垂直单管顺流式系统的立管阻力系数表。

4. 计算例题

【例 1】 同程式垂直单管机械循环供暖系统,如图4.3-1,供、回水温度为 $95\sim 70^\circ\text{C}$,建筑层高 3m ,试确定管径和计算压力损失,按等温降方法计算。

垂直单管顺流式立管的阻力系数表 (层高3m)

表 4.3-18

层数	单侧连接立管管径 (mm)				双侧连接立管管径 (mm)							
					15		20		25		32	
					散热器支管管径 (mm)							
	15	20	25	32	15	15	20	15	20	25	20	25
1	28.7	22.8	18.1	16.2	20.0	30.0	15.4	60.3	22.4	13.1	50.7	22.0
2	49.9	40.1	31.1	27.4	32.6	54.4	25.4	115.6	39.8	21.1	96.4	39.0
3	71.1	57.4	44.2	38.6	45.1	78.9	35.3	170.8	57.2	29.2	142.1	56.0
4	92.3	74.7	57.2	49.8	57.6	103.4	45.2	226.1	74.6	37.2	187.8	73.0
5	113.5	92.0	70.3	61.0	70.2	127.9	55.2	281.4	92.0	45.5	233.6	90.0
6	134.7	109.3	83.3	72.1	82.7	152.3	65.1	336.4	109.3	53.3	279.3	107.0
7	155.9	126.6	96.4	83.3	95.2	176.8	75.0	392.0	126.7	61.4	325.0	124.0
8	177.1	143.9	109.4	94.5	107.7	201.3	84.9	447.2	144.7	69.4	370.7	141.0
9	198.3	161.2	122.5	105.7	120.3	225.7	94.9	502.5	161.5	77.5	416.4	158.0
10	219.5	178.5	135.5	116.9	132.8	250.2	104.8	557.8	178.9	85.5	462.7	175.0
11	240.7	195.8	148.6	128.1	145.3	274.7	114.7	613.1	196.3	93.6	507.8	192.0
12	261.9	213.1	161.6	139.3	157.9	299.1	124.7	668.4	213.7	101.6	553.8	209.0

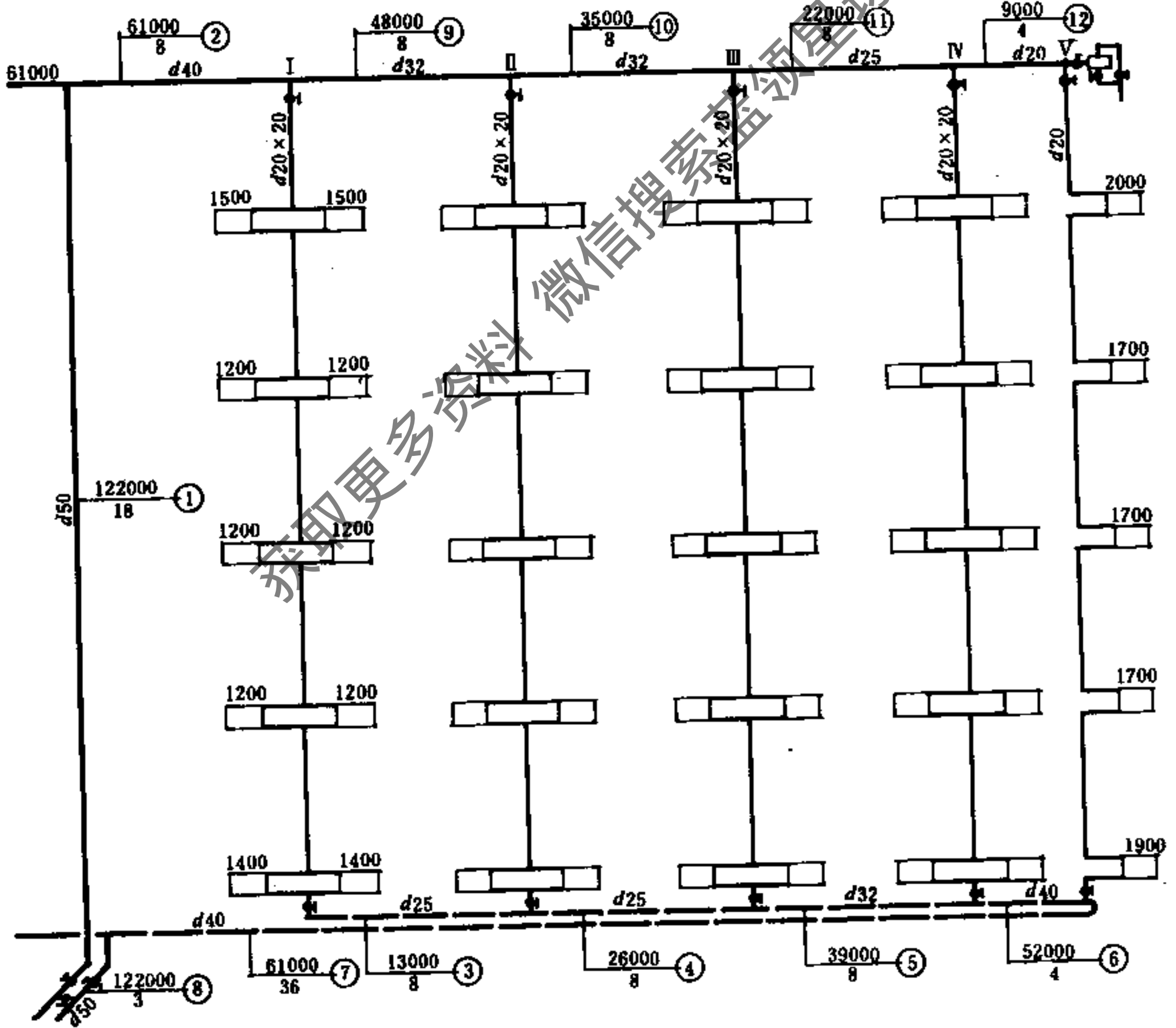


图 4.3-1 例 1 的管路计算图

【解】 计算方法和步骤如下:

1. 进行各管段编号、图中所示圆圈内为管段号, 分子为管段热负荷, 分母为管段长度, 罗马字为立管编号。

2. 由立管 I 环路开始计算, 分别将已知的热负荷和管段长度填入表 4.3-19 中的 1、2 项中。

水力计算表

表 4.3-19

管段编号	热负荷 Q (W)	管长 L (m)	管径 d (mm)	流速 v (m/s)	压降 Δp_m (Pa, m)	当量长度 L_d (m)	$L + L_d$ (m)	压力损失 ΔP (Pa)
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	122000	18	50	0.54	79.71	闸阀 0.9, 90° 煨弯 0.9, 旁流三通 2.6 $0.9 + 0.9 + 2.6 = 4.4$	22.4	1785.5
2	61000	8	40	0.45	78.48	旁流三通 1.9	9.9	776.9
立 I	13000	—	20 × 20	0.36	120.78	26.4	26.4	3188.5
3	13000	8	25	0.22	35.25	直流三通 0.7	8.7	306.7
4	26000	8	25	0.44	132.72	直流三通 0.7	8.7	1154.6
5	39000	8	32	0.38	67.89	直流三通 1.0	9	611
6	52000	4	40	0.39	58.28	急弯双弯头 2.5	6.5	378.8
7	61000	36	40	0.45	78.48	合流三通 3.8	39.8	3123.5
8	122000	3	50	0.54	79.71	90° 煨弯 0.9, 闸阀 0.9 $0.9 + 0.9 = 1.8$	4.8	382.6
$\Sigma \Delta P = 11708.1$								
9	48000	8	32	0.46	100.02	直流三通 1.0	9	900.2
10	35000	8	32	0.34	54.14	直流三通 1.0	9	487.3
11	22000	8	25	0.38	95.79	直流三通 0.7	8.7	833.4
12	9000	4	20	0.25	59.30	旁流三通 0.8	4.8	284.6
立 V	9000	—	20	0.25	59.30	53.9	53.9	3196.3
$\Sigma \Delta P = 5701.8$								
立 II、III、IV	13000	—	20 × 20	0.36	120.78	26.4	26.4	3188.5

立管 I 环路与立管 V 环路间平衡计算:

$$\Delta P_{立 I} + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 = 3188.5 + 306.7 + 1154.6 + 611 + 378.8 = 5639.6$$

$$\Delta P_9 + \Delta P_{10} + \Delta P_{11} + \Delta P_{12} + \Delta P_{立 V} = 900.2 + 487.3 + 833.4 + 284.6 + 3196.3 = 5701.8$$

$$\text{不平衡率} = \frac{5639.6 - 5701.8}{5639.6} \times 100\% = -1.1\% < 10\% \text{合格}$$

立管 I 环路与立管 IV 环路间平衡计算

$$\Delta P_{立 I} + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 = 3188.5 + 306.7 + 1154.6 + 611 = 5260.8$$

$$\Delta P_9 + \Delta P_{10} + \Delta P_{11} + \Delta P_{立 IV} = 900.2 + 487.3 + 833.4 + 3188.5 = 5409.4$$

$$\text{不平衡率} = \frac{5260.8 - 5409.4}{5260.8} \times 100\% = -2.8\% < 10\% \text{合格}$$

立管 I 环路与立管 III 环路间平衡计算

$$\Delta P_{立 I} + \Delta P_3 + \Delta P_4 = 3188.5 + 306.7 + 1154.6 = 4649.8$$

$$\Delta P_9 + \Delta P_{10} + \Delta P_{立 III} = 900.2 + 487.3 + 3188.5 = 4576$$

$$\text{不平衡率} = \frac{4649.8 - 4576}{4649.8} \times 100\% = 1.58\% < 10\% \text{合格}$$

立管 I 环路与立管 II 环路间平衡计算

$$\Delta P_{立 I} + \Delta P_3 = 3188.5 + 306.7 = 3495.2$$

$$\Delta P_9 + \Delta P_{立 II} = 900.2 + 3188.5 = 4088.7$$

$$\text{不平衡率} = \frac{3495.2 - 4088.7}{3495.2} \times 100\% = -16.9\% > 10\% \text{不合格}$$

立管 I 环路与立管 II 环路间不平衡, 需进行调整计算, 调整方法是将立管 II 立管管径局部管段放大 $d = 25$, 需放大的管段长度达到平衡为止。

3. 确定管径和计算管段压力损失, 因本系统入口压力未规定, 故按经济比压降确定管径, 查表4.3-13得出管径、压力损失、流速分别填入表4.3-19中的3、4、5项中。

4. 各管段的局部阻力按当量长度法计算, 查表4.3-6得出。

5. 立管计算, 为了简化计算可直接查表4.3-8得出整根立管当量长度值。

6. 各立管环路计算后, 进行各立管环路间的压力平衡计算, 其平衡率应满足规定值为合格, 否则需调整计算, 直到平衡率达到规定值为止。

【例 2】 异程式垂直单管机械循环供暖系统, 如图4.3-2, 供、回水温度为95~75℃, 建筑层高为3m, 试计算系统管径和压力损失, 按不等温降方法计算。

【解】 计算方法和步骤如下:

1. 本系统入口压力未规定, 按经济比压降选择管径。

2. 假设立管V水温降 $\Delta t = 30^\circ\text{C}$, 则立管流量 $G_v = \frac{0.86 \times 9000}{30} = 258\text{kg/h}$ 。根据 G_v 、参

照经济比压降 Δp_m 、选定立支管径为20。查表4.3-18直接得到整根立管总阻力系数 $S_{zh} = 92$, 根据 $G_j = 258\text{kg/h}$, $d = 20\text{mm}$, 查表4.3-4, 当 $S_{zh} = 1$ 时, $\Delta P = 21.4\text{Pa}$, 则立管V的压力

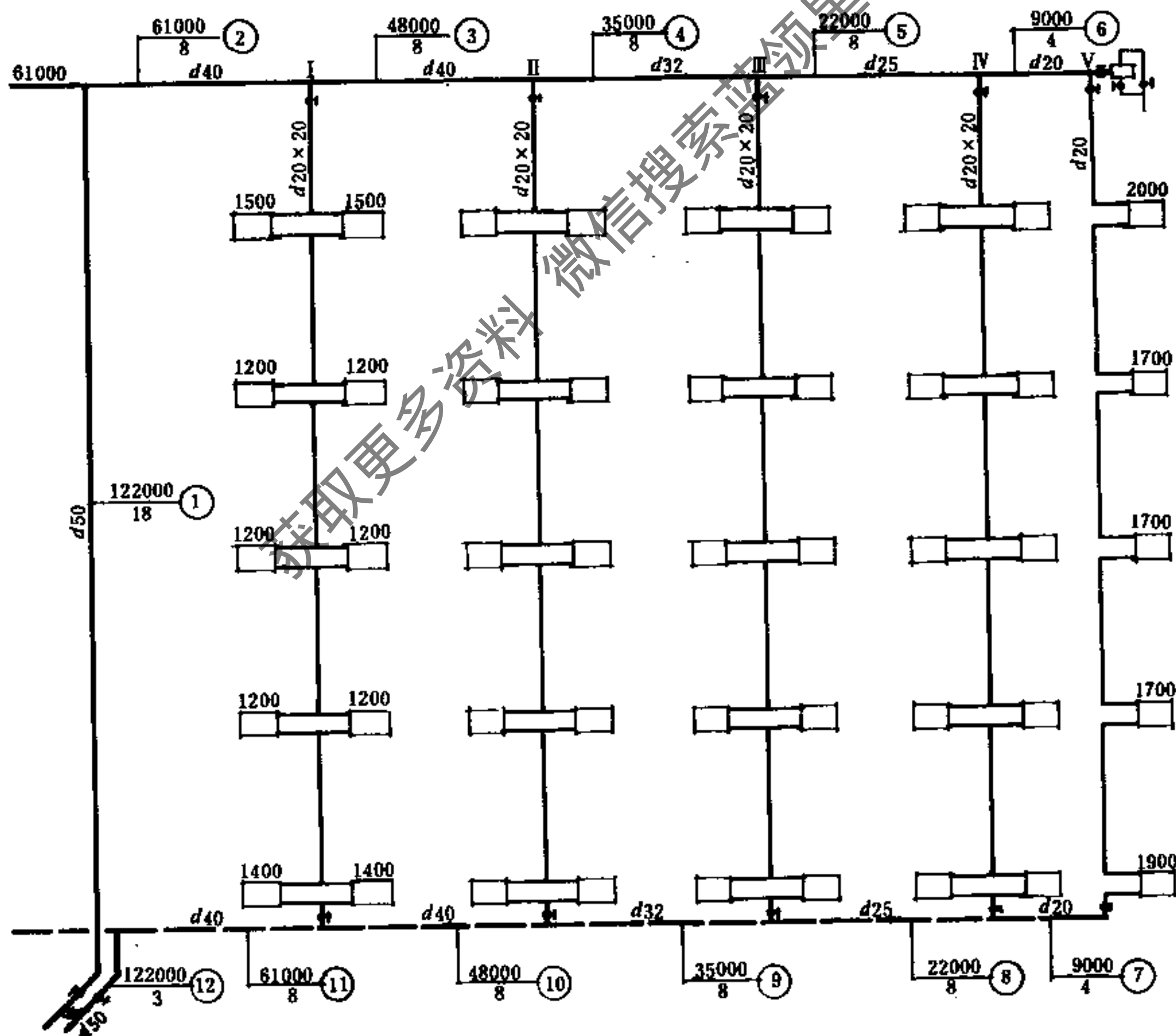


图 4.3-2 例 2 的管路计算图

损失为 $\Delta P_V = 21.4 \times 92 = 1968.8 \text{ Pa}$ 。

3. 管段 6 和 7: $G_6 = G_7 = G_V = 258 \text{ kg/h}$ 。选定管径为 20mm, 查表 $\frac{\lambda}{d} l = 1.8 \times 8 = 14$, 两个直流三通局部阻力系数为 $\Sigma \zeta = 1 \times 2 = 2$, 故 $\zeta_{zh} = 14 + 2 = 16$ 。按 G_j, d 查表 4.3-4, 当 $\zeta_{zh} = 1$ 时, $\Delta P = 21.4 \text{ Pa}$, 故管段 6 和 7 总压力损失为: $21.4 \times 16 = 342.4 \text{ Pa}$ 。

4. 立管 IV: 立管 IV 与环路 6-V-7 并联, 因此, 资用压力 $\Delta P = \Delta P_V + \Delta P_{6+7} = 1968.8 + 342.4 = 2311.2 \text{ Pa}$ 。而 $\zeta_{zh} = 55.2$ 。根据 $\zeta_{zh} = 1$ 时, $\Delta P = \frac{2311.2}{55.2} = 41.8 \text{ Pa}$ 和 $d = 20 \text{ mm}$, 查

表 4.3-4 得 $G_j = 360 \text{ kg/h}$ 。这时温降 $\Delta t_j = \frac{0.86 \times 13000}{360} = 31^\circ \text{C}$ 。

按照上述方法, 由远至近, 对其他立管和水平的供、回水干管进行计算, 结果见表 4.3-20。

5. 调整温降、流量和压降。见表 4.3-20。

水力计算表

表 4.3-20

管段号	热负荷 Q (W)	管径 d (mm)	管长 l (m)	$\frac{\lambda}{d} l$	$\Sigma \zeta$	总阻力 系数 ζ_{zh}	计算压 力损失 ΔP (Pa)	计算 流量 G_j (kg/h)	计算 温降 Δt_j ($^\circ\text{C}$)	调整 流量 G_i (kg/h)	调整 温降 Δt_i ($^\circ\text{C}$)
V	9000	20	—	—	—	92	1968.8	258	30	260.5	29.4
6+7	9000	20	8	14	2	16	342.4	258	30	260.5	
IV	13000	20×20	—	—	—	55.2	2311.2	360	31	363.6	30.4
5+8	22000	25	16	20.8	2	22.8	1064.7	618	30.6	624.2	
III	13000	20×20	—	—	—	55.2	3375.9	434	25.7	438.3	25.2
4+9	35000	32	16	14.4	2	16.4	716.7	1052	28.6	1062.5	
II	13000	20×20	—	—	—	55.2	4092.6	496	22.5	500.9	22.1
3+10	48000	40	16	12.2	2	14.2	752.6	1548	26.6	1563.4	
I	13000	20×20	—	—	—	55.2	4845.2	521	21.5	526.2	21.1
2+11	61000	40	16	12.2	2	14.2	1334.8	2069	25.3	2089.6	

$$\Delta P_{2-11} = 6180 \text{ Pa}$$

$$\text{温降调整系数 } \frac{\Sigma G_j}{\Sigma G_i} = \frac{2069}{2098.4} = 0.98 \quad \Sigma G_i = \frac{0.86 \Sigma Q}{\Delta t} = \frac{0.86 \times 61000}{25} = 2098.4 \text{ (kg/h)}$$

$$\text{流量调整系数 } \frac{\Sigma G_i}{\Sigma G_j} = \frac{2098.4}{2069} = 1.01$$

$$\text{压力调整系数 } \left(\frac{\Sigma G_i}{\Sigma G_j} \right)^2 = 1.02$$

$$\text{分支环路 } \Delta P_{2-11} = 1.02 \times 6180 = 6303.6 \text{ Pa}$$

注: 查表时, 数据的选取未用差比法, 接近似值采用, 有一定误差, 做实际工程可用差比法选取。

4.3.3 蒸汽供暖系统的水力计算

1. 低压蒸汽系统

(1) 供汽管道计算

一般按单位长度摩擦压力损失方法计算, 即根据热负荷和推荐的流速按表 4.3-21 选用管径。但当供汽压力有限制时, 可按预先计算出的单位长度压力损失 Δp_m 值为依据选用管径, 计算式为:

$$\Delta p_m = \frac{(P - 2000)a}{l} \quad (4.3-4)$$

式中 Δp_m ——单位长度摩擦压力损失, Pa/m;

P ——起始压力, Pa;

l ——供汽管道最大长度, m;

2000——管道末端为克服散热器阻力而保留的剩余压力, Pa;

a ——摩擦压力损失占压力损失的百分数, $a = 0.6$ 。

局部阻力计算与热水相同, 其动压头值查表4.3-3。

低压蒸汽供暖系统管路水力计算表 ($P = 5 \sim 20 \text{ kPa}$, $K = 0.2 \text{ mm}$)

表 4.3-21

比摩阻 R (Pa/m)	上行: 通过热量 Q (W); 下行: 蒸汽流速 v (m/s)						
	15	20	25	32	40	50	70
5	790 2.92	1510 2.92	2380 2.92	5260 3.67	8010 4.23	15760 5.1	30050 5.75
10	918 3.43	2066 3.89	3541 4.34	7727 5.4	11457 6.05	23015 7.43	43200 8.35
15	1090 4.07	2490 4.68	4395 5.45	10000 6.65	14260 7.64	28500 9.31	53400 10.35
20	1239 4.55	2920 5.65	5240 6.41	11120 7.8	16720 8.83	33050 10.85	61900 12.1
30	1500 5.55	3615 7.61	6340 7.77	13700 9.6	20750 10.95	40800 13.2	76600 14.95
40	1759 6.51	4220 8.2	7330 8.98	16180 11.30	24190 12.7	47800 15.3	89400 17.35
60	2219 8.17	5130 9.94	9310 11.4	20500 14	29550 15.6	58900 19.03	110700 21.4
80	2510 9.55	5970 11.6	10630 13.15	23100 16.3	34400 18.4	67900 22.1	127600 24.8
100	2900 10.7	6820 13.2	11900 14.6	25655 17.9	38400 20.35	76000 24.6	142900 27.6
150	3520 13	8323 16.1	14678 18	31707 22.15	47358 25	93495 30.2	168200 33.4
200	4052 15	9703 18.8	16975 20.9	36545 25.5	55568 29.4	108210 35	202800 38.9
300	5049 18.7	11939 23.2	20778 25.6	45140 31.6	68360 35.6	132870 42.8	250000 48.2

(2) 凝水管道的确定

低压蒸汽的凝水为重力回水, 分干式和湿式两种回水方式, 直接查表4.3-22。

2. 高压蒸汽系统

(1) 蒸汽管道计算

一般采用当量长度法计算, 蒸汽管道的管径可根据平均单位长度摩擦损失 Δp_m , 由表4.3-23、表4.3-24、表4.3-25查得。管内最大流速不得超过表4.3-10的规定。 Δp_m 按下式求出:

$$\Delta p_m = \frac{0.5aP}{l} \quad (4.3-5)$$

式中符号同前。

蒸汽管道总压力损失 ΔP 按下式计算:

$$\Delta P = \Sigma [\Delta p_m(l + l_a)] \quad (4.3-6)$$

式中 l_a ——当量长度, 查表4.3-5。

低压蒸汽供暖系统干式和湿式自流凝结水管管径计算表

表 4.3-22

凝水管径 (mm)	形成凝水时, 由蒸汽放出的热 (kW)				
	干式凝水管		湿式凝水管 (垂直或水平的)		
			计算管段的长度 (m)		
	水平管段	垂直管段	50以下	50~100	100以上
15	14.7	7	33	21	9.3
20	17.5	26	82	53	29
25	33	49	145	93	47
32	79	116	310	200	100
40	120	180	440	290	135
50	250	370	760	550	250
76×3	580	875	1750	1220	580
89×3.5	870	1300	2620	1750	875
102×4	1280	2000	3605	2320	1280
114×4	1630	2440	4540	3000	1600

室内高压蒸汽供暖系统管径计算表 (P=200kPa, K=0.2m m)

表 4.3-23

公称直径		10	15	20	25	32	40						
内径(mm)		12.50	15.75	21.25	27	35.75	41						
外径(mm)		17	21.25	26.75	33.50	42.25	48						
Q	G	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
2000	3	72	6	22	3.8								
3000	5	192	10	59	6.3	13	3.5						
4000	7	369	14	113	8.8	24	4.9	7	3				
5000	8	479	16	146	10.1	32	5.5	9	3.4				
6000	10	742	20	225	12.6	48	6.9	14	4.3				
7000	11	894	22.1	271	13.9	58	7.6	17	4.7				
8000	13			376	16.4	80	9	24	5.6	5	3.2		
9000	15			497	18.9	106	10.4	31	6.4	7	3.7		
10000	16			564	20.2	120	11.1	35	6.9	8	3.9		
12000	20					186	13.9	54	8.6	13	4.9	6	3.7
14000	23					244	16	71	9.8	17	5.6	8	4.3
16000	26					310	18	90	11.2	21	6.4	10	4.8
18000	29					384	20.1	112	12.5	26	7.1	13	5.4
20000	33					496	22.9	144	14.2	34	8.1	17	6.1
24000	39					688	27.1	199	16.8	47	9.6	23	7.3
28000	46					953	31.9	275	19.8	65	11.3	32	8.6
32000	52					1215	36.1	350	22.3	82	12.7	40	9.7
36000	59							449	25.4	105	14.5	52	11
40000	65							543	27.9	127	15.9	62	12.1
44000	72							665	30.9	155	17.6	76	13.4
48000	78							779	33.5	181	19.1	89	14.5
55000	90							1033	38.7	240	22.1	118	16.8
65000	106							1428	45.6	332	26	163	19.8
75000	123									445	30.1	218	22.9
85000	139									566	34.1	278	25.9
95000	155									702	38	344	28.9
110000	180									944	44.1	462	33.5
130000	213									1318	52.2	645	39.7
150000	245											851	45.7
170000	278											1093	51.8
190000	311											1366	58

续表

公称直径		50		70		89×4		108×4		133×4		159×4	
内径(mm)		53		68		81		100		125		151	
外径(mm)		60		75.50		89		108		133		159	
Q	G	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
17000	28	3	3.1										
19000	31	4	3.5										
22000	36	5	4										
26000	43	7	4.8										
30000	49	9	5.5	2	3.3								
34000	56	12	6.2	3	3.8								
38000	62	15	6.9	4	4.2								
42000	69	19	7.7	5	4.7	2	3.4						
46000	75	22	8.3	6	5.1	2	3.6						
50000	82	26	9.1	7	5.6	3	3.9						
60000	98	37	10.9	10	6.6	4	4.7	1	3.1				
70000	114	50	12.7	14	7.7	5	5.4	2	3.6				
80000	131	65	14.6	18	8.8	7	6.3	2	4.1				
90000	147	82	16.4	22	10	9	7	3	4.6				
100000	163	100	18.2	27	11	11	7.8	3	5.1	1	3.3		
120000	196	144	21.9	39	13.3	16	9.3	5	6.1	1	3.9		
140000	229	196	25.5	54	15.5	22	10.9	7	7.2	2	4.6	0	3.2
160000	262	255	29.2	70	17.7	28	12.5	9	8.2	3	5.3	1	3.6
180000	294	321	32.8	88	19.9	35	14	12	9.2	3	5.9	1	4.1
200000	327	396	36.5	108	22.2	44	15.6	14	19.2	4	6.6	1	4.6
240000	392	566	43.7	155	26.6	62	18.7	21	12.3	5	7.9	2	5.5
280000	458	771	51.1	210	31	85	21.9	28	14.3	9	9.2	3	6.4
320000	523	1003	58.3	273	35.4	110	25	37	16.4	11	10.5	4	7.3
360000	589	1271	65.7	346	39.9	139	28.1	46	18.5	14	11.8	5	8.2
400000	654			426	44.3	171	31.2	57	20.5	18	13.1	7	9.1
440000	719			514	48.7	206	34.3	69	22.5	21	14.4	8	10
480000	785			612	53.2	246	37.5	82	24.6	26	15.7	10	10.9
550000	899			801	60.9	321	42.9	107	28.2	33	18	13	12.5
650000	1063			1117	72	448	50.8	149	33.3	47	21.3	18	14.8
750000	1226					595	58.5	198	38.4	62	24.6	24	17.1
850000	1390					763	66.4	254	43.5	79	27.9	31	19.4
950000	1553					951	74.2	316	48.7	99	31.1	38	21.6
1100000	1798							423	56.3	132	36	51	25
1300000	2125							590	66.6	184	42.6	71	29.6
1500000	2452							784	76.8	244	49.2	94	34.1
1700000	2779									313	55.7	121	38.7
1900000	3106									391	62.3	151	43.2
2200000	3597									523	72.1	202	50.1
2600000	4251											281	59.2
3000000	4905											374	68.3

注: 1. 制表时假定蒸汽运动粘度为 $11.4 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, 汽化潜热为 $2202 \text{kJ}/\text{kg}$, 密度为 $1.129 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. λ 按下式计算:

$$\text{层流区 } \lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$\text{阻力平方区 } \lambda = 0.11 \left(\frac{K}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.25}$$

3. 表中符号

Q——管段热负荷, W;

G——管段蒸汽流量, kg/h;

Δp_m ——单位长度摩擦压力损失, Pa/m;

v——流速, m/s。

4. 中国建筑工业出版社1987年版《供暖通风设计手册》中表10-30、31、32室内高压蒸汽供暖系统管径计算表, 由于计算机出错, 表中 Δp_m 值均错, 应以本手册表4.3-23、24、25为准。如嫌热量定距过粗, 可查中国建筑工业出版社1991年版《简明建筑设计手册》第三章附录3-9(一)、(二)、(三)表。

室内高压蒸汽供暖系统管径计算表 (P = 300kPa, K = 0.2mm)

表 4.3-24

公称直径		10		15		20		25		32		40	
内径(mm)		12.50		15.75		21.25		27		35.75		41	
外径(mm)		17		21.25		26.75		33.50		42.25		48	
Q	G	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
2000	3	49	4.1										
3000	5	132	6.9	40	4.3								
4000	7	253	9.6	77	6	17	3.3						
5000	8	328	11	100	6.9	22	3.8						
6000	10	508	13.7	154	8.6	33	4.7						
7000	12	727	16.5	220	10.4	47	5.7	14	3.5				
8000	13	851	17.8	257	11.2	55	6.2	16	3.8				
9000	15	1128	20.6	340	13	73	7.1	21	4.4				
10000	17	1443	23.3	435	14.7	93	8.1	27	5				
12000	20			599	17.3	127	9.5	37	5.9	9	3.4		
14000	23			789	19.9	167	10.9	49	6.8	11	3.9		
16000	26			1004	22.5	213	12.3	62	7.6	14	4.4	7	3.3
18000	30					281	14.2	82	8.8	19	5	9	3.8
20000	33					339	15.7	98	9.7	23	5.5	11	4.2
24000	40					495	19	143	11.8	34	6.7	16	5.1
28000	46					653	21.8	188	13.5	44	7.7	22	5.9
32000	53					863	25.1	249	15.6	58	8.8	29	6.8
36000	60					1103	28.5	318	17.6	74	10.1	36	7.6
40000	66					1332	31.3	383	19.4	89	11.1	44	8.3
44000	73					1627	34.6	468	21.5	109	12.2	54	9.3
48000	79					1903	37.5	547	23.2	127	13.2	63	10.1
55000	91							723	26.7	168	15.3	83	11.6
65000	108							1014	31.7	235	18.1	116	13.8
75000	124							1334	36.4	309	20.8	152	15.8
85000	141							1721	41.4	398	23.6	195	18
95000	157							2131	46.1	493	26.3	242	20
110000	182									660	30.5	323	23.2
130000	215									919	36	450	27.4
150000	248									1219	41.6	597	31.6
170000	282									1574	47.3	770	35.9
190000	315									1961	52.8	959	40.1
220000	364											1277	46.4
260000	431											1787	54.9

续表

公称直径		50		70		89×4		108×4		133×4		159×4	
内径(mm)		53		68		● 81		100		125		151	
外径(mm)		60		75.50		89		108		133		155	
Q	G	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
24000	40	4	3.1										
28000	46	6	3.5										
32000	53	7	4										
36000	60	10	4.6										
40000	66	12	5	3	3.1								
44000	73	14	5.6	4	3.4								
48000	79	16	6	4	3.7								
55000	91	22	6.9	6	4.2								
65000	108	30	8.2	8	5	3	3.5						
75000	124	40	9.5	11	5.7	4	4						
85000	141	52	10.8	14	6.5	5	4.6	2	3				
95000	157	64	12	17	7.3	7	5.1	2	3.4				
110000	182	85	13.9	23	8.3	9	5.9	3	3.9				
120000	199	102	15.2	28	9.2	11	6.5	3	4.3				
140000	232	137	17.7	38	10.7	15	7.6	5	5	1	3.2		
160000	265	179	20.2	49	12.3	20	8.7	6	5.7	2	3.6		
180000	298	225	22.7	62	13.8	25	9.7	8	6.4	2	4.1		
200000	331	277	25.2	76	15.3	30	10.8	10	7.1	3	4.5	1	3.2
240000	397	397	30.3	108	18.4	44	13	14	8.5	4	5.4	1	3.8
280000	464	541	35.4	148	21.5	59	15.1	20	9.8	6	6.4	2	4.4
320000	530	705	40.4	192	24.6	77	17.3	26	11.4	8	7.3	3	5
360000	596	890	45.5	242	27.6	97	19.5	32	12.8	10	8.2	4	5.7
400000	662	1096	50.5	298	30.7	120	21.6	40	14.2	12	9.1	5	6.3
440000	729	1328	55.6	361	33.8	145	23.8	48	15.6	15	10	6	6.9
480000	795	1578	60.6	429	36.8	172	26	57	17	18	10.9	7	7.6
550000	911	2069	69.5	562	42.2	226	29.7	75	19.5	23	12.5	9	8.7
650000	1076			783	49.8	314	35.1	104	23.1	33	14.8	12	10.2
750000	1242			1041	57.5	417	40.6	139	26.6	43	17	17	11.8
850000	1408			1337	65.2	535	46	178	30.2	55	19.3	21	13.4
950000	1573			1667	72.9	667	51.4	222	33.7	69	21.6	27	15
1100000	1822					894	59.5	297	39	93	25	36	17.3
1300000	2153					1246	70.3	414	46.1	129	29.5	50	20.5
1500000	2484							550	53.2	171	34.1	66	23.6
1700000	2815							706	60.3	220	38.6	85	26.8
1900000	3147							881	67.4	274	43.1	106	30
2200000	3643							1179	78	367	49.9	141	34.7
2600000	4306									512	59	197	41
3000000	4968									680	68.1	262	47.3
3400000	5631									873	77.2	336	53.6
3800000	6293											420	59.9

注: 1. 制表时假定蒸汽运动粘度为 $8.21 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, 汽化潜热为 2164 kJ/kg , 密度为 1.651 kg/m^3 。

2. λ 值的确定同表4.3-23。

3. 表中符号同表4.3-23。

室内高压蒸汽供暖系统管径计算表 ($P = 400\text{kPa}, K = 0.2\text{mm}$)

表 4.3-25

公称直径		10		15		20		25		32		40	
内径(mm)		12.50		15.75		21.25		27		35.75		41	
外径(mm)		17		21.25		26.75		33.50		42.25		48	
Q	G	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
2000	3	38	3.1										
3000	5	101	5.2	31	3.3								
4000	7	193	7.3	59	4.6								
5000	8	251	8.3	76	5.3								
6000	10	388	10.5	118	6.6	25	3.6						
7000	12	555	12.6	168	7.9	36	4.3						
8000	14	752	14.7	227	9.2	49	5.1	14	3.1				
9000	15	861	15.7	260	9.8	55	5.4	16	3.4				
10000	17	1102	17.8	332	11.2	71	6.2	21	3.8				
12000	20	1519	20.9	457	13.2	97	7.2	28	4.5				
14000	24			655	15.8	139	8.7	40	5.4	9	3.1		
16000	27			826	17.8	175	9.8	51	6.1	12	3.5		
18000	30			1017	19.8	215	10.9	62	6.7	15	3.8		
20000	34			1303	22.4	275	12.3	80	7.6	19	4.3	9	3.3
24000	41					397	14.8	115	9.2	27	5.2	13	4
28000	47					520	17	150	10.5	35	6	17	4.6
32000	54					684	19.6	197	12.1	46	6.9	23	5.3
36000	61					871	22.1	251	13.7	58	7.8	29	5.9
40000	68					1079	24.6	310	15.3	72	8.7	36	6.6
44000	74					1276	26.8	367	16.6	85	9.5	42	7.2
48000	81					1527	29.3	438	18.2	102	10.4	50	7.9
55000	93					2008	33.7	576	20.9	134	11.9	66	9
65000	110					2803	39.8	803	24.7	186	14.1	91	10.7
75000	127							1068	28.5	247	16.2	121	12.4
85000	144							1370	32.3	317	18.4	155	14
95000	160							1689	35.9	391	20.5	191	15.6
110000	186							2278	41.7	526	23.8	258	18.1
130000	220							3181	49.3	734	28.1	359	21.4
150000	253									969	32.4	474	24.6
170000	287									1244	36.7	608	27.9
190000	321									1554	41.1	760	31.2
220000	372									2084	47.6	1018	36.2
260000	439											1115	42.7
300000	507											1885	49.3
340000	574											2413	55.8

续表

公称直径		50		70		89×4		108×4		133×4		159×4	
内径(mm)		53		68		81		100		125		151	
外径(mm)		60		75.5		89		108		133		159	
Q	G	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v	Δp_m	v
32000	54	6	3.1										
36000	61	7	3.6										
40000	68	8	3.7										
44000	74	11	4.3										
48000	81	13	4.7										
55000	93	17	5.4	5	3.3								
65000	110	24	6.4	6	3.9								
75000	127	32	7.4	9	4.5	3	3.2						
85000	144	41	8.3	11	5.1	4	3.6						
95000	160	50	9.3	14	5.7	5	3.8						
110000	186	68	10.8	18	6.6	7	4.6	2	3				
130000	220	94	12.8	26	7.8	10	5.5	3	3.6				
150000	253	124	14.7	34	8.8	14	6.3	4	4.1				
170000	287	160	16.7	44	10.1	17	7.2	6	4.7	1	3		
190000	321	199	18.7	54	11.4	22	8	7	5.2	2	3.4		
220000	372	267	21.7	73	13.2	29	9.3	10	6.1	3	3.9		
260000	439	370	25.6	101	15.5	41	10.9	13	7.2	4	4.6	1	3.2
300000	507	493	29.5	134	17.9	54	12.6	18	8.3	5	5.3	2	3.7
340000	574	630	33.4	172	20.3	69	14.3	23	9.3	7	6	2	4.2
380000	642	788	37.4	214	22.7	86	16	29	10.5	9	6.7	3	4.7
420000	709	959	41.3	261	25.1	105	17.7	35	11.6	11	7.4	4	5.2
460000	777	1151	45.2	313	27.5	126	19.4	42	12.7	13	8.1	5	5.6
500000	844	1357	49.1	369	29.8	148	21	49	13.8	15	8.8	6	6.1
600000	1013	1952	59	530	35.8	213	25.2	71	16.6	22	10.6	8	7.4
700000	1182	2654	68.8	720	41.8	289	29.5	96	19.3	30	12.4	11	8.6
800000	1351			940	47.8	377	33.7	125	22.1	39	14.1	15	9.8
900000	1520			1188	53.7	476	37.9	158	24.9	49	15.9	19	11
1000000	1689			1466	59.7	587	42.1	195	27.6	61	17.7	23	12.3
1200000	2026			2106	71.6	843	50.5	280	33.1	87	21.2	34	14.7
1400000	2364					1146	58.9	381	38.7	118	24.7	46	17.2
1600000	2702					1496	67.3	497	44.2	155	28.3	59	19.6
1800000	3040					1892	75.8	628	49.7	195	31.8	75	22.1
2000000	3377							774	55.2	241	35.3	93	24.5
2400000	4053							1113	66.3	346	42.4	133	29.5
2800000	4728							1514	77.3	471	49.5	181	34.4
3200000	5404									614	56.6	236	39.3
3600000	6079									776	63.6	299	44.2
4000000	6755									958	70.7	369	49.1

注: 1. 制表时假定蒸汽运动粘度为 $6.41 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, 汽化潜热为 $2133 \text{kJ}/\text{kg}$, 密度为 $2.163 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. λ 值的确定同表4.3-23。

3. 表中符号同表4.3-23。

(2) 凝水管道计算

• 由散热器至疏水器间的管径按表4.3-26选用。

• 疏水器后的管径分开式和闭式两种，其管径根据凝水量的平均单位长度压力损失 Δp_m 和计算负荷确定。开式回水查表4.3-27、4.3-28、4.3-29；闭式回水查表4.3-30、4.3-31、4.3-32。

由散热器至疏水器间不同管径通过的负荷

表 4.3-26

管径 (mm)	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150
热量 (kW)	9.3	30.2	46.5	98.8	128	246	583	860	1340	2190	4950

开式高压凝水管径计算表 ($P = 200\text{kPa}$)

表 4.3-27

ΔP (Pa/m)	在下列管径时通过的热量 (kW)											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	219×6
20	3.76	8.34	15.5	31.8	45.2	98.6	174	287	541	714	1570	3070
40	5.28	11.7	21.9	45.6	65	140	245	405	764	1010	2231	4310
60	6.46	14.4	26.8	55.7	78.7	171	299	496	939	1230	2712	5260
80	7.52	16.7	31	63.6	90.4	197	348	573	1080	1430	3150	6130
100	8.46	18.6	34.8	71.8	101	220	389	637	1200	1590	3470	6820
120	9.16	20.2	37.9	78.5	111	243	425	704	1330	1750	3830	7430
150	10.1	22.8	42.5	88.1	124	271	476	786	1480	1960	4290	8340
200	11.7	26.2	49	101	137	312	552	902	1700	2250	4920	9630
250	13.2	29.3	54.7	106	153	351	617	1010	1910	2540	5530	10800
300	14.4	32.2	59.9	124	169	382	672	1100	2090	2760	6010	11700
350	15.5	34.6	65	134	182	415	720	1200	2280	2980	6530	12700
400	16.6	37.2	69.5	143	195	444	777	1280	2420	3220	7020	13700
450	17.6	39.2	74	153	207	469	824	1360	2570	3410	7400	14500
500	20.2	41.3	77.5	160	218	493	869	1430	2710	3570	7810	15000

注：漏汽加二次蒸汽按10%计算， $K = 0.5\text{mm}$ ， $\rho_p = 5.8\text{kg/m}^3$ 。

开式高压凝水管径计算表 ($P = 300\text{kPa}$)

表 4.3-28

ΔP (Pa/m)	在下列管径时通过的热量 (kW)											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	219×6
20	3.05	6.81	12.6	25.8	36.5	81	141	235	440	580	1268	2490
40	4.35	9.51	18.4	37	52.4	114	200	328	622	829	1820	3523
60	5.28	11.6	21.7	45.1	64	140	242	401	763	854	2200	4270
80	6.10	13.4	25	52	73.4	160	284	470	904	1170	2540	4980
100	6.81	15	28	58.7	82.2	180	317	521	987	1310	2830	5500
120	7.52	16.4	30.8	64.6	90.4	196	346	572	1080	1430	3110	6110
150	8.22	18.3	34.5	72	101	218	388	640	1200	1585	3500	6850
200	9.40	21.1	39.9	83.4	117	252	446	740	1370	1820	4020	7830
250	10.6	23.7	44.6	92.8	130	283	505	822	1540	2060	4510	8830
300	11.5	25.9	49	101	142	309	552	904	1689	2230	4930	9680
350	12.4	28.2	52.8	109	153	335	599	975	1836	2410	5320	10500
400	13.4	30.3	56.4	117	164	362	638	1050	1960	2580	5730	11200
450	14.1	32.1	60.5	123	174	384	674	1100	2110	2760	5990	11900
500	14.9	33.7	63.4	129	182	399	711	1160	2230	2900	6400	12400

注：漏汽加二次蒸汽按15%计算， $K = 0.5\text{mm}$ ， $\rho_p = 3.85\text{kg/m}^3$ 。

开式高压凝水管道计算表 ($P = 400\text{kPa}$)

表 4.3-29

ΔP (Pa/m)	在下列管径时通过的热量 (kW)											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	219 × 6
20	2.70	5.87	11.0	22.5	31.9	69.9	124	203	383	506	1113	2170
40	3.76	8.34	15.6	32.3	45.7	98.7	174	287	543	716	1570	3050
60	4.58	10.2	19.0	39.6	55.7	121	211	350	666	870	1910	3720
80	5.40	11.7	22.1	45.1	63.9	140	247	406	766	1012	2220	4350
100	5.99	13.3	24.7	51	71.6	156	277	452	853	1130	2470	4820
120	6.46	14.2	26.9	55.7	78.9	173	303	497	940	1233	2700	5260
150	7.16	16.1	30.1	62.5	88.1	193	337	557	1050	1390	3040	5900
200	8.34	18.6	34.6	72.3	102	221	390	636	1210	1600	3490	6810
250	9.28	20.9	38.8	80.4	114	248	438	716	1350	1800	3910	7630
300	10.2	22.8	42.3	88.0	124	271	476	785	1480	1880	4270	8340
350	11.0	24.4	46.0	94.7	135	295	517	846	1600	2110	4620	8900
400	11.7	26.4	49.2	102	144	314	552	904	1710	2280	4970	9640
450	12.4	27.8	52.3	107	153	334	585	963	1830	2410	5260	10200
500	13.2	29.1	55.6	113	161	349	613	1012	1910	2520	5570	10700

注: 漏汽加二次蒸汽量按20%计算, $K = 0.5\text{mm}$, $\rho_{rj} = 2.9\text{kg/m}^3$ 。闭式高压凝水管道计算表 ($P = 200\text{kPa}$)

表 4.3-30

ΔP (Pa/m)	在下列管径时通过的热量 (kW)											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	219 × 6
20	4.35	9.63	17.9	37.0	52.3	115	202	332	628	880	1810	3550
40	6.11	13.6	25.5	52.8	74.9	162	285	470	890	1170	2580	5000
60	7.52	16.6	31.1	64.6	91.1	198	348	575	1090	1430	3140	6690
80	8.69	19.1	35.9	74.0	105	229	404	640	1260	1660	3630	7080
100	9.75	21.6	40.3	83.4	117	256	451	740	1460	1840	4030	7870
120	10.6	23.5	44.0	91.0	129	281	493	813	1540	2030	4440	8660
150	11.7	26.3	49.3	102	144	315	552	910	1720	2280	4980	9690
200	13.6	30.1	56.7	117	167	362	637	1045	1970	2610	5710	11100
250	15.2	34.1	63.4	132	187	406	716	1174	2220	2940	6420	12500
300	16.7	37.1	69.5	144	204	444	780	1280	2420	3190	7000	13600
350	18.0	40.2	75.2	155	221	482	846	1386	2630	3460	7560	14800
400	19.3	43.1	80.7	167	236	513	904	1480	2810	3720	8120	15900
450	20.4	45.6	85.7	176	250	546	957	1570	2980	3950	8660	16800
500	21.5	47.9	90.0	186	263	573	1010	1660	3140	4130	9070	17600

注: 漏汽加二次蒸汽量按10%计算, $K = 0.5\text{mm}$, $\rho_{rj} = 7.88\text{kg/m}^3$ 。闭式高压凝水管道计算表 ($P = 300\text{kPa}$)

表 4.3-31

ΔP (Pa/m)	在下列管径时通过的热量 (kW)											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	219 × 6
20	3.64	7.99	15.0	30.5	43.6	95	168	275	521	691	1510	2940
40	5.05	11.3	23.3	43.5	60.7	135	238	390	738	974	2140	4130
60	6.22	13.9	26.1	53.3	74.6	164	291	477	904	1160	2810	5070
80	7.16	15.0	30.1	61.0	86.9	189	336	552	1040	1370	3030	6070
100	7.99	17.9	33.7	68.4	97.2	213	376	613	1160	1540	3380	6550
120	8.81	19.5	36.4	75.2	106	233	409	669	1270	1680	3700	7140
150	9.87	21.8	39.9	83.4	119	260	458	752	1410	1880	4130	7970
200	11.4	25.2	47.2	96.5	137	301	528	866	1640	2170	4770	9210
250	12.8	28.4	53.0	108	153	337	595	975	1840	2430	5270	10300
300	14.0	30.8	57.8	117	169	366	646	1060	2020	2650	5840	11300
350	15.0	33.5	62.5	128	182	397	701	1140	2180	2870	6350	12200
400	16.1	35.6	66.9	136	195	426	752	1230	2330	3080	6790	13500
450	17.0	38.1	71.2	146	207	451	792	1310	2470	3250	7180	13800
500	19.3	40.0	74.9	152	218	474	834	1370	2610	3430	7530	14600

注: 漏汽加二次蒸汽量按15%计算, $K = 0.5\text{mm}$, $\rho_{rj} = 5.26\text{kg/m}^3$ 。

闭式高压凝水管道计算表 (P = 400kPa)

表 4.3-32

ΔP (Pa/m)	在下列管径时通过的热量 (kW)											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	219 × 6
20	3.05	6.81	12.7	26.2	36.9	81	143	235	444	585	1280	2510
40	4.35	9.63	18.1	37.3	52.8	115	202	332	626	834	1830	3520
60	5.28	11.7	22.0	45.6	65.0	140	245	406	767	1010	2220	4310
80	6.11	13.6	25.4	52.4	73.8	162	287	470	911	1170	2560	5030
100	6.93	15.4	28.4	59.1	83.4	182	321	526	998	1310	2870	5610
120	7.52	16.6	31.2	64.6	91.8	200	350	577	1090	1440	3150	6190
150	8.34	18.8	35.0	72.6	102	223	392	646	1220	1620	3530	6880
200	9.63	21.5	40.1	83.4	119	257	452	742	1400	1830	4060	7880
250	10.8	24.2	45.1	93.6	133	289	509	834	1570	2090	4560	8910
300	11.7	26.4	49.4	102	146	315	554	908	1710	2280	4970	9720
350	12.7	28.5	53.6	110	157	342	600	986	1870	2470	5380	10500
400	13.6	30.6	57.1	119	168	365	644	1060	2000	2650	5770	11300
450	14.4	32.4	60.8	126	177	386	681	1120	2130	2800	6110	11900
500	15.1	34.1	63.9	132	186	406	716	1170	2250	2940	6460	12500

注：漏汽加二次蒸汽量按20%计算， $K = 0.5\text{mm}$ ， $\rho_{Pj} = 3.95\text{kg/m}^3$ 。

4.4 常用供暖设备选择计算

4.4.1 散热器

1. 散热面积 F (m^2)

$$F = \frac{Q}{K(t_{Pj} - t_n)} \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad (4.4-1)$$

- 式中 Q ——散热器的散热量，W；
 t_{Pj} ——散热器内热媒平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 t_n ——室内供暖计算温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 K ——散热器的传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；
 β_1 ——散热器组装片数修正系数，见表4.4-1；
 β_2 ——散热器连接形式修正系数，见表4.4-2；
 β_3 ——散热器安装形式修正系数，见表4.4-3。

散热器组装片数修正系数 β_1

表 4.4 1

每组片数	< 6	6 ~ 10	11 ~ 20	> 20
β_1	0.95	1.00	1.05	1.10

注：上表仅适用于各种柱式散热器、方翼型和圆翼型散热器不修正，其它类型散热器需要修正时，见产品说明。

散热器连接形式修正系数 β_2

表 4.4-2

连接形式	同侧 上进下出	异侧 上进下出	异侧 下进下出	异侧 下进上出	同侧 下进上出	备注
四柱813型	1.0	1.004	1.239	1.422	1.426	1.本表数据由哈尔滨建筑工程学院提供,该值是在标准工况测得的。 2.其它散热器可近似套用。
M-132型	1.0	1.009	1.251	1.386	1.396	
方翼型(大60)	1.0	1.009	1.225	1.331	1.369	

散热器安装形式修正系数 β_3

表 4.4-3

安 装 形 式	β_3
装在墙的内槽内(半暗装)散热器上部距墙距离为100mm	1.06
明装但在散热器上部有窗台板覆盖,散热器距窗台板高度为150mm	1.02
装在罩内,上部敞开,下部距地150mm	0.95
装在罩内,上部、下部开口,开口高度均为150mm	1.04

散热器内热媒平均温度 t_{pj} 的计算:

• 热水供暖系统:

$$t_{pj} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

式中 t_1 ——散热器进水温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 ——散热器出水温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

当供暖系统为单管时:

$$t_1 = t_3 - \frac{Q_1(t_3 - t_4)}{Q_2}$$

式中 t_3 ——立管进水温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_4 ——立管出水温度, $^{\circ}\text{C}$;

Q_1 ——进入该层散热器前面各层散热器的散热量总和, W;

Q_2 ——该立管所有散热器的散热量, W。

从散热器排出的水温 t_2 按下式计算:

$$t_2 = t_1 - \frac{Q}{W \cdot C_p}$$

式中 Q ——该组散热器的散热量, kW;

W ——通过该组散热器的水量, kg/s;

C_p ——水的比热容, kJ/kg $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

• 蒸汽供暖系统:

t_{pj} 等于进散热器的蒸汽压力相应的饱和蒸汽温度。

2. 散热器构造性能

各种铸铁散热器构造和综合性能分别见图4.4-1和表4.4-4。各种钢制散热器构造和综合性能分别见图4.4-2和表4.4-5。

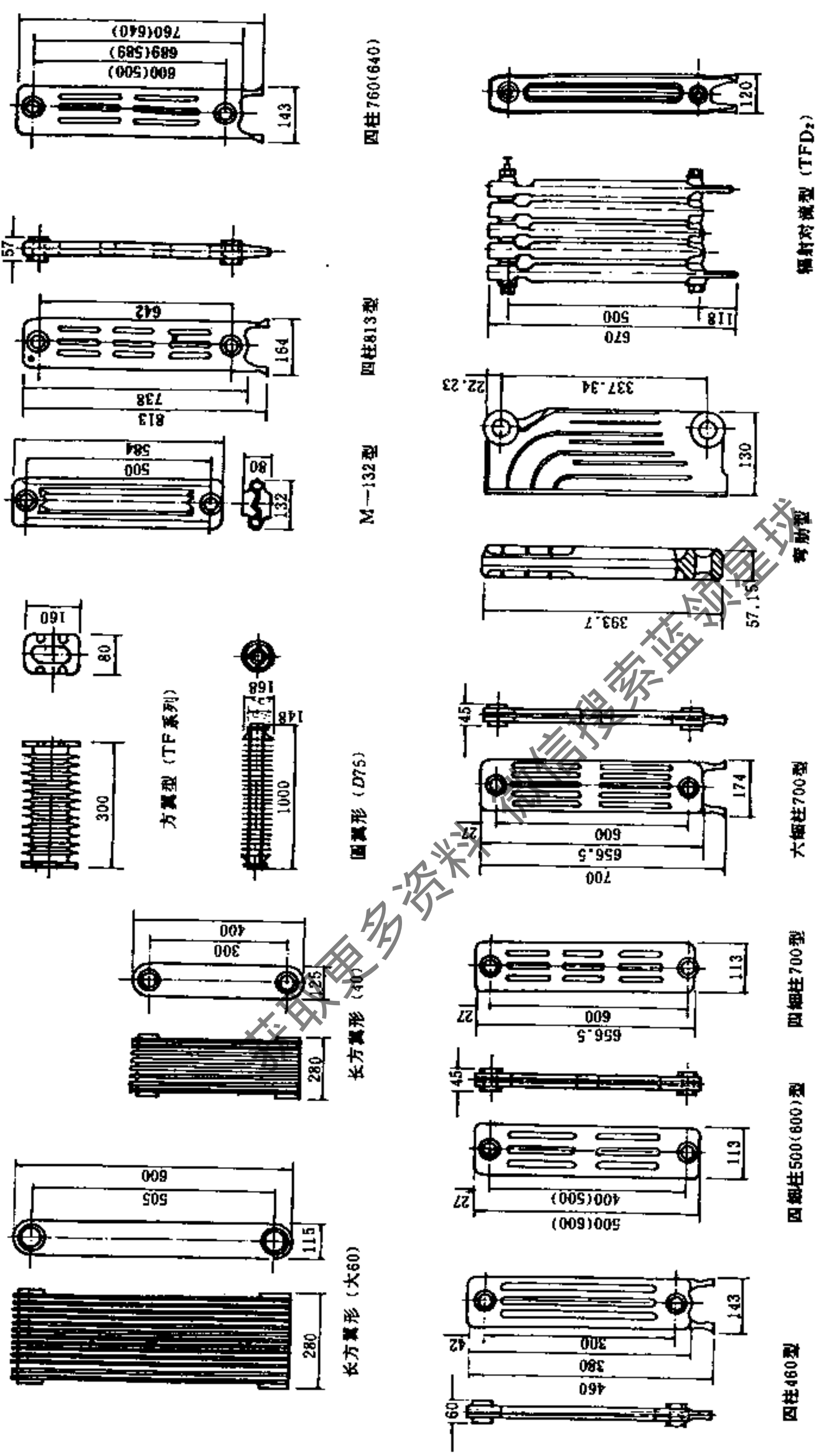


图 4.4 - 1 各种铸铁散热器构造尺寸

铸铁散热器综合性能表

表 4.4-4

序号	类型	散热面积 (m ² /片)	水容量 (L/片)	重量 (kg/片)	工作压力 (MPa)	散 热 量	
						(W/片)	计 算 式
1	长翼型 (大60)	1.16	8	26	0.4 0.6	480	$Q = 5.307 \Delta T^{1.343}$ (3片)
2	长翼型 (40型)	0.88	5.7	16	0.4	376	$Q = 5.333 \Delta T^{1.285}$ (3片)
3	方翼型 (TF系列)	0.56	0.78	7	0.6	196	$Q = 3.233 \Delta T^{1.249}$ (3片)
4	圆翼型 (D75)	1.592	4.42	30	0.5	582	$Q = 6.161 \Delta T^{1.258}$ (2片)
5	M-132型	0.24	1.32	7	0.5 0.8	139	$Q = 6.538 \Delta T^{1.286}$ (10片)
6	四柱813型	0.28	1.4	8	0.5 0.8	159	$Q = 6.887 \Delta T^{1.304}$ (10片)
7	四柱760型	0.237	1.16	6.6	0.5 0.8	139	$Q = 6.495 \Delta T^{1.287}$ (10片)
8	四柱640型	0.205	1.03	5.7	0.5 0.8	123	$Q = 5.006 \Delta T^{1.321}$ (10片)
9	四柱460型	0.128	0.72	3.5	0.5 0.8	81	$Q = 4.582 \Delta T^{1.244}$ (10片)
10	四细柱500型	0.126	0.4	3.08	0.5 0.8	79	$Q = 3.922 \Delta T^{1.272}$ (10片)
11	四细柱600型	0.155	0.48	3.62	0.5 0.8	92	$Q = 4.744 \Delta T^{1.265}$ (10片)
12	四细柱700型	0.183	0.57	4.37	0.5 0.8	109	$Q = 5.304 \Delta T^{1.279}$ (10片)
13	六细柱700型	0.273	0.8	6.53	0.5 0.8	153	$Q = 6.750 \Delta T^{1.302}$ (10片)
14	弯肋型	0.24	0.64	6.0	0.5 0.8	91	$Q = 6.254 \Delta T^{1.196}$ (10片)
15	辐射对流型 (TFD ₂)	0.34	0.75	6.5	0.5 0.8	162	$Q = 7.902 \Delta T^{1.277}$ (10片)

注：表中散热量公式除10~14为“国家建筑工程质量监督检验测试中心”提供外，其余均为清华大学散热器实验室提供。

3. 选用散热器注意要点

· 表中给出的各种散热量均为ISO实验台数据，现给出哈建院热工实验室测得的在实际房间内散热器比ISO实验台测试散热量增加的%数，供设计者选用时参考。

型 式	四柱760	M-132	长方翼(大60)	钢 柱	板 式	钢串片
%	13.5	10.6	7.0	10.6	6.8	8.4

其它型式散热器可近似套用。

· 选用钢制柱式、扁管、板式散热器时，要求水的含氧量不大于0.05mg/L；选用钢串片时要考虑叶片松动和积灰时影响散热的因素。

· 散热器已制定部标，中心距皆为整数系列，各生产厂家将逐步按标准生产，现给出

的还有原来的产品构造尺寸, 选用时注意厂家样本。

· 表中给出的散热器工作压力皆指95~70℃热水而言, 对高温水要降低0.1MPa使用; 对蒸汽热媒不应大于0.2MPa。

· 为了简化散热器计算, 编制了上供下回垂直单管顺序式95~70℃热水供暖系统散热器散热量表(见表4.4-6)和水平单管串联系统95~70℃热水供暖散热器的散热量表(见表4.4-7)。

钢制散热器综合性能表

表 4.4-5

序号	类 型	散热面积 (m ² /片)	水容量 (L/片)	重 量 (kg/片)	工作压力 (MPa)	散 热 量	
						(W/片)	计 算 式
折边钢单片							
1	400×90×1000	7.44	2.5	30.5	1.0	1427	$Q=13.987\Delta T^{1.11}$ (1片)
2	600×120×1000	10.6	5.5	48	1.0	2244	$Q=21.73\Delta T^{1.11}$ (1片)
钢 柱							
3	NGZ 3×620	0.19	1.15	2.1	0.8	79	$Q=4.896\Delta T^{1.22}$ (10片)
4	TGZ3-1.2/15-8	0.494	3.4	5.24	0.8	230	$Q=11.538\Delta T^{1.27}$ (10片)
扁管(单板对流片)							
5	416×1000	3.62	3.76	17.5	0.8	786	$Q=4.380\Delta T^{1.2455}$ (1片)
6	520×1000	4.56	4.71	23.0	0.8	990	$Q=5.518\Delta T^{1.2455}$ (1片)
7	624×1000	5.54	5.49	27.4	0.8	1200	$Q=6.703\Delta T^{1.2455}$ (1片)
板式(单板对流片)							
8	600×600	1.58	2.8	9.6	0.8	690	$Q=3.95\Delta T^{1.239}$ (1片)
9	600×1000	2.75	4.6	15.4	0.8	1200	$Q=6.875\Delta T^{1.239}$ (1片)
10	600×1400	3.93	6.4	21.2	0.8	1715	$Q=9.825\Delta T^{1.239}$ (1片)
11	600×1800	5.11	8.4	27.3	0.8	2230	$Q=12.775\Delta T^{1.239}$ (1片)

注: 各种钢制散热器品种规格繁多, 不能一一列出, 选用时以厂家样本为准。

上供下回垂直单管顺序式95~70℃热水供暖系统散热器散热量表(W/片)

表 4.4-6

楼层数	散热器 型 式	第一层	第二层	第三层	第四层						散热器 型 式	楼层数
一 层	1	480	565	622	556	496	465	413	367	267	1	八 层
	2	376	438	484	433	388	364	325	290	212	2	
	3	139	162	179	160	143	135	120	107	78	3	
	4	159	186	205	183	164	154	137	122	89	4	
	5	139	162	178	160	143	134	120	107	78	5	
	6	123	144	159	142	127	119	106	94	69	6	
	7	81	94	104	93	84	79	70	63	46	7	
	8	79	91	101	90	81	76	68	61	44	8	
	9	92	107	118	106	95	89	80	71	52	9	
	10	109	127	141	126	113	106	95	84	62	10	
	11	153	179	198	177	158	148	132	118	86	11	
	12	162	188	208	186	167	157	140	125	91	12	

续表

楼层数	散热器型式	第一层	第二层	第三层	第四层						散热器型式	楼层数
二 层	1	399	573	563	615	544	480	424	373	269	1	七 层
	2	314	446	436	478	424	376	333	294	213	2	
	3	116	165	161	177	157	139	123	109	79	3	
	4	133	189	185	203	180	159	141	124	90	4	
	5	116	164	161	176	156	139	123	108	78	5	
	6	102	146	144	157	139	123	109	96	69	6	
	7	68	96	94	103	92	81	72	64	46	7	
	8	66	93	91	100	89	79	70	61	45	8	
	9	77	109	107	117	104	92	82	72	52	9	
	10	91	130	127	139	123	109	97	86	62	10	
	11	128	182	178	195	173	153	136	120	88	11	
	12	135	191	187	205	182	162	143	126	92	12	
三 层	1	307	480	492	534	573	501	460	399	281	1	六 层
	2	242	376	382	414	446	392	360	314	222	2	
	3	89	139	141	153	165	145	133	116	82	3	
	4	102	159	162	176	189	166	152	133	94	4	
	5	89	139	141	153	164	144	133	116	82	5	
	6	79	123	126	136	146	128	118	102	72	6	
	7	53	81	82	89	96	85	78	68	48	7	
	8	51	79	80	86	93	82	75	66	46	8	
	9	60	92	94	101	109	96	88	77	55	9	
	10	70	109	111	120	130	114	105	91	65	10	
	11	98	153	156	169	182	160	147	128	90	11	
	12	104	162	164	178	191	168	155	135	96	12	
四 层	1	299	449	512	501	530	559	480	410	284	1	五 层
	2	236	353	400	389	411	436	376	323	224	2	
	3	87	130	148	144	152	161	139	119	83	3	
	4	100	149	169	165	175	185	159	136	95	4	
	5	87	130	148	144	152	161	139	119	83	5	
	6	77	115	131	128	135	143	123	105	73	6	
	7	51	76	86	84	88	94	81	70	49	7	
	8	49	74	83	81	86	91	79	67	47	8	
	9	58	87	98	95	101	107	92	79	55	9	
	10	69	103	116	113	120	127	109	94	65	10	
	11	96	144	163	159	168	178	153	131	91	11	
	12	102	152	172	167	177	187	162	139	97	12	
楼层数	散热器型式		第八层	第七层	第六层	第五层	第四层	第三层	第二层	第一层	散热器型式	楼层数

注: 1. 一至四层建筑由上往下查、五至八层建筑由下往上查。

2. 由于钢制散热器规格甚繁故未输入表中。

3. 表中散热器编号:

1—长翼型(大60) 2—长翼型(40型) 3—M-132型

4—四柱813型 5—四柱760型 6—四柱640型

7—四柱460型 8—四细柱500型 9—四细柱600型

10—四细柱700型 11—六细柱700型 12—辐射对流型(TFD₂)

4. 散热器散热量已考虑了热压作用下冷风渗透的影响, 中和面下附加; 中和面上附减, 见下表(%)。

设计 层数	总层数						
	八	七	六	五	四	三	二
八	1.05						
七	0.90	1.05					
六	0.95	0.90	1.10				
五	1.0	0.95	0.95	1.10			
四	1.0	1.0	1.0	0.95	1.15		
三	1.05	1.05	1.0	1.0	1.0	1.15	
二	1.10	1.10	1.05	1.05	1.0	1.0	0.95
	1.40	1.40	1.35	1.35	1.30	1.30	1.05

水平单管串联系统95~70℃热水供暖散热器的散热量表 (W/片)

表 4.4-7

串联组数	散热器编号												散热器编号	串联组数										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
一	400	304	314	324	334	344	354	364	374	385	395	406	416	427	437	448	459	470	480	491	502	1	二十	
	313	241	249	256	264	271	279	286	294	302	309	317	325	333	341	349	357	365	373	381	389	2		
	116	89	92	95	97	100	103	106	109	111	114	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144	3		
	133	102	105	108	111	114	118	121	124	128	131	134	138	141	144	148	151	155	158	162	165	4		
	116	89	92	94	97	100	103	106	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144	5		
	103	78	81	83	86	88	91	93	96	99	101	104	107	109	112	115	117	120	123	126	128	6		
	68	53	54	56	57	59	60	62	64	65	67	69	70	72	74	75	77	79	80	82	84	7		
	65	51	52	54	55	57	58	60	61	63	65	66	68	68	71	73	74	76	78	79	81	8		
	77	59	61	63	65	67	68	70	72	74	76	78	80	80	82	84	85	87	89	91	93	95		9
	91	70	72	75	77	79	81	83	85	88	90	92	95	97	99	101	104	106	108	111	113	115		10
	128	98	101	104	107	110	113	117	120	123	126	130	133	136	140	143	146	150	153	156	159	162		11
	135	104	107	110	113	117	120	123	126	130	133	136	140	143	146	150	153	157	160	164	167	170		12
二	453	349	305	315	325	336	346	357	368	379	389	400	411	422	434	445	456	468	479	491	502	1	十九	
	353	275	241	249	257	265	273	281	289	297	305	313	322	330	338	347	355	363	372	381	389	2		
	130	102	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131	134	137	141	144	3		
	150	116	102	105	108	112	115	119	122	126	129	133	136	140	143	147	150	154	158	161	165	4		
	130	101	89	92	95	98	101	104	106	109	112	116	119	122	125	128	131	134	137	140	143	5		

十 九

6	116	90	78	81	84	86	89	92	94	97	100	103	105	108	111	114	117	119	122	125	128	6
7	76	60	53	54	56	58	59	61	63	64	66	68	69	71	73	75	76	78	80	82	84	7
8	74	57	51	52	54	55	57	59	60	62	64	65	67	69	71	72	74	76	78	79	81	8
9	86	68	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95	9
10	103	80	70	73	75	77	79	82	84	86	89	91	93	96	98	101	103	106	108	111	113	10
11	144	112	98	101	104	108	111	114	118	121	124	128	131	135	138	141	145	148	152	155	159	11
12	152	118	104	107	111	114	117	121	124	128	131	135	138	142	145	149	152	156	160	163	167	12

十 八

1	471	400	332	305	316	327	338	349	360	372	383	395	406	418	430	441	453	465	477	490	502	1
2	366	313	262	242	250	258	266	275	283	292	300	309	318	326	335	344	353	362	371	380	389	2
3	135	116	97	89	92	95	98	102	105	108	111	114	117	121	124	127	130	134	137	140	144	3
4	155	133	111	102	105	109	112	116	120	123	127	131	134	138	142	146	150	153	157	161	165	4
5	135	116	97	89	92	95	98	101	104	108	111	114	117	120	124	127	130	133	137	140	143	5
6	120	103	85	79	81	84	87	90	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	6
7	79	68	57	53	54	56	58	60	61	63	65	67	69	70	72	74	76	78	80	82	83	7
8	76	65	55	51	52	54	56	57	59	61	63	65	66	68	70	72	74	75	77	79	81	8
9	90	77	65	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	89	91	93	95	9
10	106	91	76	70	73	75	78	80	82	85	87	90	92	95	97	100	103	105	108	110	113	10
11	150	128	107	98	102	105	108	112	115	119	122	126	129	133	137	140	144	148	151	155	159	11
12	157	135	113	104	108	111	115	118	122	125	129	133	137	140	144	148	152	155	159	163	167	12

串联数	散热器 编号													散热器 编号	串联数																		
四	1	480	427	374	324	305	317	328	340	352	364	376	388	400	413	425	438	450	463	476	489	502	十七										
	2	373	333	294	256	242	251	259	268	277	286	295	304	313	323	332	341	351	360	369	379	389		十六									
	3	138	123	109	95	89	93	96	99	102	106	109	112	116	119	123	126	129	133	136	140	144											
	4	158	141	124	108	102	106	109	113	117	121	125	129	133	136	140	144	149	153	157	161	165											
	5	138	123	108	94	89	92	96	99	102	105	109	112	116	119	122	126	129	133	130	140	143											
	6	123	109	96	83	79	82	84	87	90	93	96	100	103	106	109	112	115	118	122	125	128											
	7	80	72	64	56	53	55	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	77	79	81	83											
	8	78	70	61	54	51	52	54	56	58	60	62	64	65	67	69	71	73	75	77	79	81											
	9	91	82	72	63	60	62	64	66	68	70	72	75	77	79	81	84	86	88	90	93	95											
	10	108	97	85	75	70	73	75	78	81	83	86	88	91	94	96	99	102	105	107	110	113											
	11	152	136	120	104	98	102	105	109	113	116	120	124	128	131	135	139	143	147	151	155	159											
	12	160	143	126	110	104	108	112	115	119	123	127	131	135	139	143	147	151	155	159	163	167											
五	1	486	443	400	359	319	306	318	330	343	355	368	381	394	407	420	433	447	460	474	487	501											
	2	377	345	313	282	252	242	251	261	270	280	289	298	308	318	328	338	348	358	368	378	388											
	3	139	127	116	104	93	89	93	96	100	103	107	110	114	118	121	125	129	132	136	140	143											
	4	160	146	133	119	106	102	106	110	114	118	122	126	130	135	139	143	147	152	156	160	165											
	5	139	127	116	104	93	89	93	96	100	103	107	110	114	117	121	125	128	132	136	139	143											
	6	124	113	103	92	82	79	82	85	88	91	94	98	101	104	108	111	114	118	121	124	128											
	7	81	74	68	61	55	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83											
	8	79	72	65	59	53	51	53	55	57	58	60	62	64	66	68	71	73	75	77	79	81											
	9	92	84	77	69	62	60	62	64	66	69	71	73	76	78	80	83	85	88	90	92	95											
	10	110	100	91	82	73	70	73	76	79	81	84	87	90	93	95	98	101	104	107	110	113											

串 联 组 数	散热器 编 号	散热器 编 号	串 联 组 数
八	1	494	1
	2	383	2
	3	142	3
	4	163	4
	5	141	5
	6	126	6
	7	82	7
	8	80	8
	9	94	9
	10	111	10
	11	157	11
	12	164	12
九	1	496	1
	2	384	2
	3	142	3
	4	163	4
	5	142	5
	6	127	6
	7	83	7
	8	80	8
	1	499	1
	2	387	2
	3	143	3
	4	164	4
5	143	5	
6	127	6	
7	83	7	
8	81	8	
9	95	9	
10	112	10	
11	158	11	
12	166	12	
1	499	1	
2	387	2	
3	143	3	
4	164	4	
5	143	5	
6	127	6	
7	83	7	
8	81	8	
9	95	9	
10	112	10	
11	158	11	
12	166	12	
1	499	1	
2	387	2	
3	143	3	
4	164	4	
5	143	5	
6	127	6	
7	83	7	
8	81	8	
9	95	9	
10	112	10	
11	158	11	
12	166	12	

串联数	散热器编号	9	94	90	85	81	77	73	69	65	61	60	63	66	68	72	75	78	82	85	88	91	95	散热器编号	串联数
九		9	94	90	85	81	77	73	69	65	61	60	63	66	68	72	75	78	82	85	88	91	95	1	12
		10	112	106	101	96	91	86	81	76	72	70	75	78	82	85	89	93	97	101	104	108	112	2	10
		11	157	150	142	135	128	121	114	107	100	99	104	109	114	120	125	130	136	141	147	152	158	3	11
		12	165	157	150	142	135	127	120	113	106	105	110	116	121	126	132	137	143	149	154	160	166	4	12
		1	497	475	453	432	411	390	369	349	329	309	308	326	344	363	381	400	419	439	458	478	498	5	1
		2	385	369	353	337	321	306	290	275	260	245	244	258	271	285	299	313	328	342	357	371	386	6	2
		3	142	136	130	124	119	113	107	102	96	90	90	95	100	105	111	116	121	126	132	137	143	7	3
		4	163	156	150	143	136	129	123	116	110	103	103	109	115	120	126	133	139	145	151	157	164	8	4
		5	142	136	130	124	118	113	107	101	96	90	90	95	100	105	110	116	121	126	131	137	142	9	5
		6	127	121	116	111	105	100	95	90	85	80	79	84	89	93	98	103	107	112	117	122	127	10	6
		7	83	79	76	73	69	66	63	60	57	53	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	11	7
		8	80	77	74	70	67	64	61	57	54	51	51	54	57	60	63	65	68	71	74	77	80	12	8
		9	94	90	86	83	79	75	71	68	64	60	60	63	67	70	73	77	80	84	87	91	94	13	9
		10	112	107	103	98	93	89	84	80	76	71	71	75	79	83	87	91	95	99	104	108	112	14	10
		11	157	151	144	137	131	124	118	112	106	99	99	105	110	116	122	128	134	140	146	152	158	15	11
		12	165	158	152	145	138	131	125	118	112	105	105	111	117	123	129	135	141	147	153	159	166	16	12

注：①表中散热器传热系数考虑了修正值。

②散热器编号：

1—长翼型（大60） 2—长翼型（40型） 3—M-132型 4—四柱813型 5—四柱760型 6—四柱640型 7—四柱460型 8—四柱500型

9—四柱600型 10—四柱700型 11—六柱700型 12—辐射对流型（TFD₁）

③由于钢制散热器规格繁多未编入表中。

④查表方法：一组至十组自上而下在折线左边查取，十一组至十二组自上而下在折线右边查取。

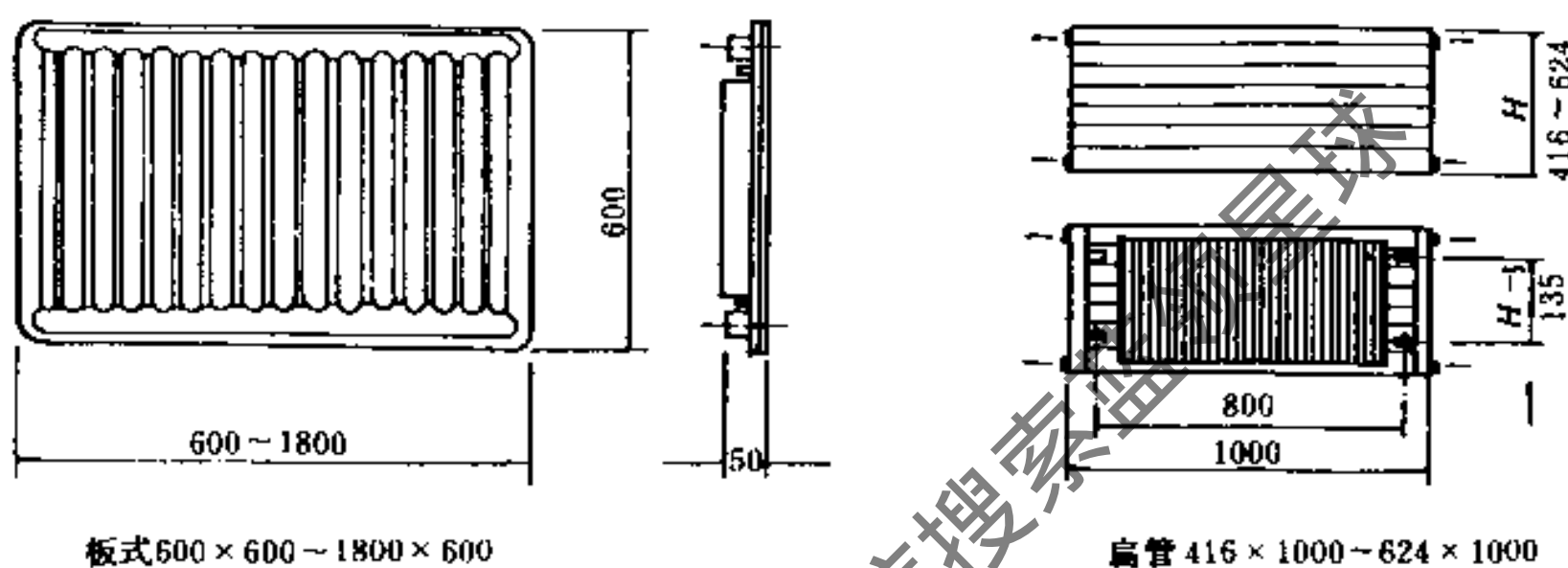
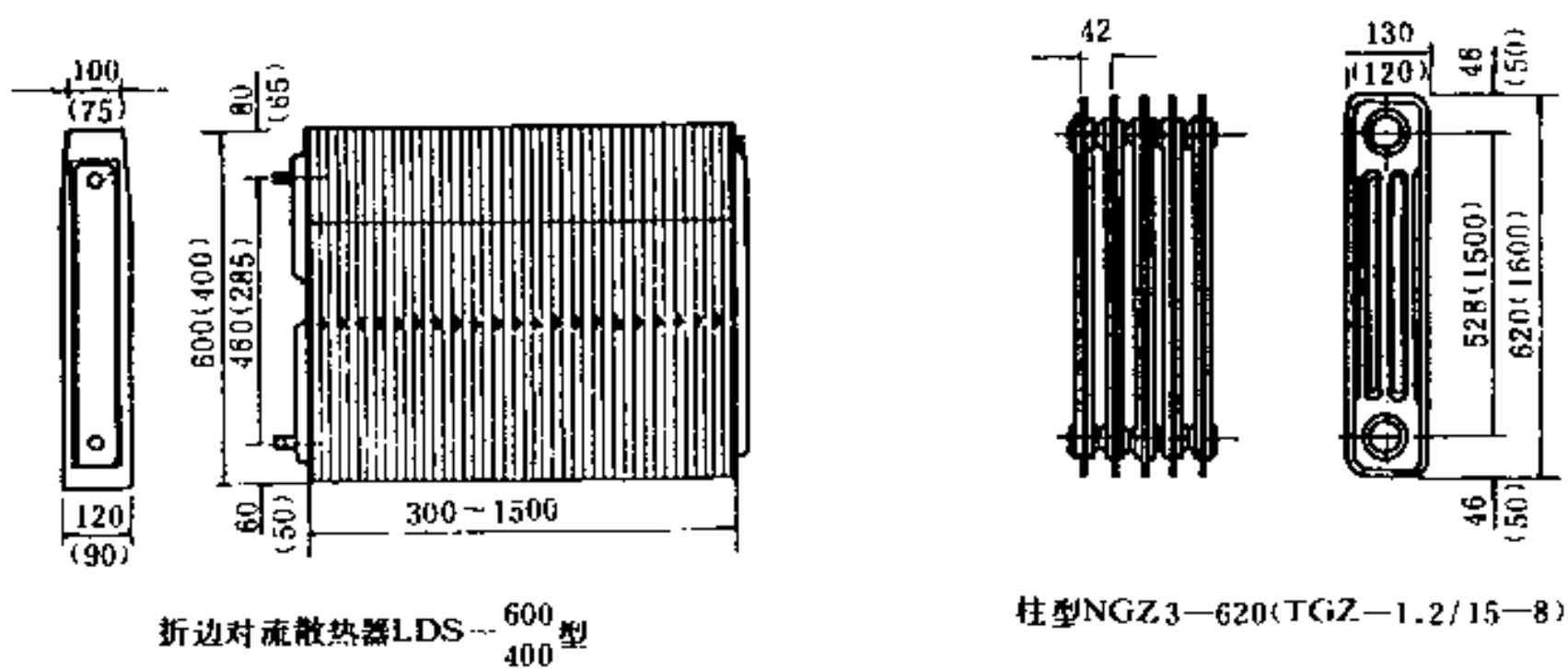


图 4.4-2 各种钢制散热器构造尺寸

4.4.2 减压阀、安全阀

1. 常用的各类减压阀综合性能 (表 4.4-8 所示)

各类减压阀综合性能及适用范围表

表 4.4-8

性能 \ 类型	活塞式 Y43H-10型	活塞式 Y43H-16型	波纹管式 Y44T-10型	供水减压阀 Y116型
公称压力(MPa)	1	1.6	1	1
压力调节范围 (MPa)	阀前 $P_1 < 1.0$ 阀后 $P_2 = 0 \sim 0.85$ 压差 ≥ 0.15	阀前 $P_1 = 0.2 \sim 1.6$ 阀后 $P_2 = 0.1 \sim 1.0$ 压差 ≥ 0.15	阀前 $P_1 = 0.1 \sim 1.0$ 阀后 $P_2 = 0.05 \sim 0.4$ 压差 $\geq 0.6 < 0.05$	阀前 $P_1 < 1.0$ 阀后 $P_2 = 0.1 \sim 0.5$ 压差 ≥ 0.1
适用范围	用于工作温度 $< 300^\circ\text{C}$ 蒸汽管路上	用于工作温度 $< 300^\circ\text{C}$ 蒸汽管路上	用于工作温度 $< 200^\circ\text{C}$ 的蒸汽管路上和低压蒸 汽系统上	适用于高层建筑冷、热水 管路上
特点	工作可靠, 维修量小, 减压范围大	工作可靠, 维修量小, 减压范围大	调节范围大	体积小, 性能稳定, 调节 方便

2. 各类减压阀选用表, (见表4.4-9、4.4-10、4.4-11和图4.4-3)

(1) Y43H-10型活塞式减压阀

Y43H-10型活塞式减压阀选用表

表 4.4-9

阀前压力 P_1 (MPa)	阀后压力 P_2 (MPa)	公称直径 DN (mm)		阀前压力 P_1 (MPa)	阀后压力 P_2 (MPa)	公称直径 DN (mm)	
		40	50			40	50
0.3	0~0.15	460	562	0.8	0.60	865	1058
					0.65	786	961
0.4	0~0.2	566	692	0.9	0.50	1073	1312
	0.25	552	674		0.55	1041	1272
0.5	0~0.3	705	812		0.60	1018	1245
	0.35	623	762		0.65	972	1188
0.6	0~0.35	766	938		0.70	902	1102
	0.4	740	905		0.75	813	994
	0.45	683	832				
0.7	0~0.40	870	1064		0~0.55	1147	1402
	0.45	848	1036		0.60	1136	1390
	0.50	802	982		0.65	1112	1358
	0.55	738	902	0.70	1071	1310	
0.8	0~0.45	968	1184	0.75	1018	1243	
	0.50	950	1160	0.80	939	1148	
	0.55	916	1120	0.85	814	994	

注: 表中所列流量为饱和蒸汽量 (kg/h) 已考虑20%的余量。

(2) Y43H-16型活塞式减压阀

Y43H-16型活塞式减压阀选用表

表 4.4-10

阀前压力 P_1 (MPa)	阀后压力 P_2 (MPa)	不同直径下减压阀通过的热量(kW)								
		25	32	40	50	70	80	100	125	150
0.8	<0.47	95.3	172	385	502	604	1070	1670	2628	3730
0.7	<0.40	85.4	154	346	451	542	959	1500	2360	3370
0.6	<0.35	77.3	140	314	409	492	866	1360	2140	3040
0.5	<0.30	66.5	119	268	352	422	749	1170	1840	2620
0.4	<0.235	58.1	105	236	308	368	654	1024	1610	2280
0.3	<0.20	36.4	65.7	147	191	231	409	639	1009	1430
0.2	<0.18	45.6	82.5	185	240	288	512	800	1260	1800

(3) Y44T-10型波纹管式减压阀

Y 44T-10型波纹管式减压阀

表 4.4-11

阀前压力 P_1 (MPa)	阀后压力 P_2 (MPa)	压力差 (MPa)	不同直径下减压阀通过的热量 (kW)				
			20	25	32	40	50
0.8	0.6	0.2	154	269	455	521	709
	0.5	0.3	170	304	503	589	808
	<0.4	>0.4	173	319	510	593	819
0.7	0.5	0.2	141	255	407	487	676
	0.4	0.3	151	279	441	530	738
	<0.3	>0.4	157	285	453	544	756
0.6	0.4	0.2	125	225	369	429	583
	<0.3	>0.3	130	253	383	467	657
0.5	0.3	0.2	108	203	320	387	540
	<0.2	>0.3	116	215	329	404	569
0.4	0.2	0.2	80	174	236	315	465
	<0.1	>0.3	83	180	246	326	479
0.3	0.2	0.1	62	116	184	220	308
	<0.1	>0.2	65	145	191	259	386

注：压力差>0.6MPa时，需进行二次减压。

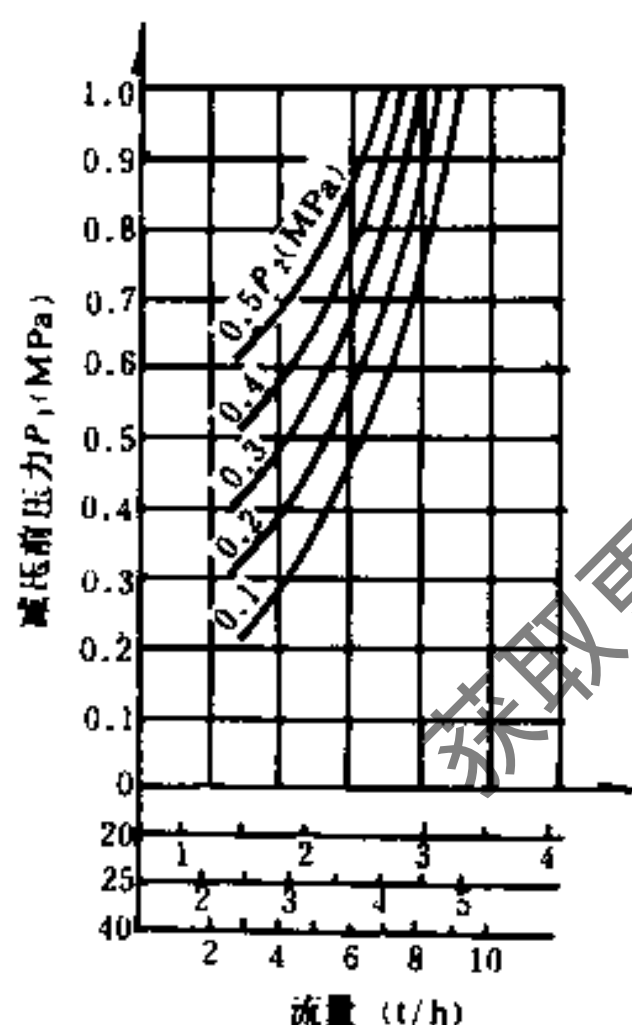


图 4.4-3 Y 110型供水减压
阀流量选用图

(4) Y 110型供水减压阀

(5) 减压阀设计选用要点

• 活塞式减压阀减压后的压力，不应小于0.1 MPa，如需减至0.07MPa以下，应再设波纹管式减压阀或用截止阀进行二次减压。当减压阀前后压力比>5~7时，应串联装两个；如阀后蒸汽压力 P_2 较小，通常宜采用两级减压，以使减压阀工作时噪声和振动小，而且安全可靠。在热负荷波动频繁而剧烈时，为使第一级减压阀工作稳定，一、二级减压阀之间的距离应尽量拉开一些。

• 设计时除对型号、规格进行选择外，还应说明减压阀前后压差值和安全阀的开启压力，以便生产厂家合理配备弹簧。

• 减压阀前后压差 ΔP 的选择范围：

Y 44T-10型波纹管式减压阀 $0.05 < \Delta P < 0.6$ MPa；

Y 43H-10型活塞式减压阀 $0.15 < \Delta P < 0.45$ MPa；

Y 43H-16型活塞式减压阀 $0.15 < \Delta P < 0.45$ MPa。

• 当压力差为0.1~0.2MPa时，可以串联安装两只截止阀进行减压。

• 减压阀有方向性，安装时应注意不要把方向装反，并应使它垂直地安装在水平管道上，对于带有均压管的减压阀，均压管应连接在低压管道一边。

• 减压阀安装见国标图N108。

3. 常用各类安全阀

(1) 安全阀选用见表4.4-12、表4.4-13。

弹簧式安全阀通过的热量 (W)

表 4.4-12

安全阀直径 DN (mm)	工作压力 (kPa)					通路面积
	200	300	400	500	600	mm ²
15	20400	29000	37400	45200	53500	177
20	36000	51600	66300	81000	94700	314
25	54000	80000	103000	125000	148000	490
32	97300	137000	176000	217000	225000	805
40	144000	205000	264000	318000	379000	1255
50	226000	321000	409000	501000	600000	1960
70	324000	459000	593000	724000	851000	2820
80	580000	878000	1054000	1290000	1510000	5020
100	781000	1280000	1328000	2030000	2380000	7850

注：适用于压力和温度较低的系统 ($P < 600\text{kPa}$)。

重锤式安全阀通过的热量

表 4.4-13

安全阀直径 DN (mm)	工作压力 (kPa)					通路面积
	200	300	400	500	600	mm ²
15	24500	34900	44900	54200	64000	177
20	43200	61900	79500	97700	113000	314
25	64900	96300	123000	150000	178000	490
32	117000	165000	212000	260000	307000	805
40	173000	245000	316000	382000	450000	1255
50	271000	385000	491000	600000	725000	1960
70	389000	551000	712000	869000	1020000	2820
80	696000	1050000	1265000	1500000	1810000	5020
100	937000	1530000	1590000	2400000	2860000	7850

注：一般多用于温度和压力较高系统。

(2) 安全阀设计选用要点

- 各种安全阀的进出口公称直径均相同。
- 法兰连接的单弹簧或单杠杆安全阀座的内径，一般比公称通径小一号，例如DN100的阀座内径为 $\phi 80$ ；双弹簧或双杠杆的则为小二号的两倍，例如DN100的为 2×65 。
- 设计时应注明使用压力范围。
- 安全阀的蒸汽进口接管直径不应小于其内径。
- 安全阀通至室外的排气管直径不应小于安全阀的内径，且不得小于4cm。
- 系统工作压力为 P 时，安全阀的开启压力应为 $P + 30\text{kPa}$ 。

4. 减压装置快速选用表 (见表4.4-14)

减压装置快速选用表

表 4.4-14

热 量 (kW)	减 压 阀 DN (mm)	安 全 阀 DN (mm)	旁 通 管 (mm)	放 气 管 (mm)	泄 水 管 (mm)
67~773	25	25	25	25	15
120~140	32	25~32	32	25~32	15
271~314	40	40~50	40	40~50	15
354~409	50	50	50	50	15
409~502	65	65	65	65	15
650~866	80	80	80	80	15
1170~1360	100	100	100	80	20

注: 1. 表中减压阀按Y43H-16型活塞式, 安全阀按弹簧式选择。

2. 表中减压装置按蒸汽压力由600kPa减压至300kPa~400kPa选择, 减压后压力为300kPa用上限值, 400kPa用下限值。

3. 压力表的规格, 应比工作压力大一倍。

4.4.3 疏 水 器

1. 各类疏水器排水量 (见表4.4-15)

各类疏水器在不同压差下的排水量G (kg/h)

表 4.4-15

类 型	规格 DN	$P_1 - P_2$ (kPa)						备 注
		200	400	600	800	1000	1200	
CS15H-16钟形浮子式, $\Delta P < 1600$ kPa, 用于高压蒸汽管路上	15	155	202	242	278	308	328	排水量为阀座 $S_{1.6} \sim 103 \sim 503$, 最大工作压力差为1200kPa。还有压力差为350、850、1600kPa共四种规格
	20	160	232	280	320	358	382	
	25	700	960	1200	1400	1520	1620	
	40	1760	2730	3300	3850	4220	4500	
	50	3000	4210	5100	5800	6300	6880	
BS19H-16热动力式, $\Delta P < 1600$ kPa, 用于高压蒸汽管路上	15	320	520	620	720	800	840	当排水量大时可多台并联使用
	20	500	710	900	1000	1070	1200	
	25	720	950	1120	1320	1500	1630	
S47H-16双金属片式, $\Delta P < 1600$ kPa, 用于高压蒸汽管路上	15	150	230	300	320	350	360	当排水量大时可多台并联使用。本阀可水平、垂直或倾斜安装。使用时可调节阀芯螺杆, 使出口处只排水不排汽
	20	170	265	350	400	430	450	
	25	220	330	430	480	520	550	
S18H-25脉冲式, $\Delta P < 2500$ kPa, 用于压力较高工艺设备	15	319	418	471	531	605	进口压力不应小于60kPa	
	20	660	840	960	1080	1260		
	25	1260	1380	1560	1680	1860		
	40	1730	2400	2580	2760	3060		
	50	2280	2940	3420	3720	4200		
ZF80S调温式, $\Delta P < 1600$ kPa, 用于高压蒸汽管路上	15	125	170	200	230	250	280	压差范围分0.5~5, 5~16两种四个型号
	20	280	370	450	520	580	630	
	25	570	730	840	930	990	1200	
	40	950	1400	1800	2000	2200	2400	
	50	2000	2600	3100	3500	3800	4200	

续表

类型	规格 D_s	$P_1 - P_2$ (kPa)						备注
		200	400	600	800	1000	1200	
LF-16 热胀式, $\Delta P < 1000 \text{ kPa}$, 用于高压蒸汽管路上	15	407	515	570	625	690	750	可水平、垂直或倾斜安装, DN50 以上为法兰接口
	20	525	660	730	780	810	886	
	25	740	925	1060	1150	1230	1299	
	32	885	1105	1260	1360	1430	1571	
	40	1750	2200	2470	2640	2740	2895	
	50	2160	2740	3140	3500	3750	3981	
	65	2390	3005	3846	4210	4500	4700	
	80	3181	3825	4188	4582	4980	5066	
	100	4582	5508	6032	6598	7172	7295	
S41H-16 浮球式, $\Delta P < 1600 \text{ kPa}$, 用于高压蒸汽管路上	15, 20	1055	950	810	735	660	605	本型号还有 S41H-40, $\Delta P < 4000 \text{ kPa}$
	25							
	25, 40	5495	4700	3590	3390	3190	2965	
	50							
50, 80	18750	17000	14300	13085	11870	10525		
80, 100	26350	22700	18200	17400	16600	14750		
恒温式, $\Delta P < 70 \text{ kPa}$, 用于低压蒸汽系统散热器	15 20 25							S14T 为直角式, S17T 为直通式, 按接管选用, 不计排水量。

注: 疏水器的设计排水量应大于理论排水量, 即

$$G_{sh} = KG$$

式中 G_{sh} ——疏水器设计排水量, kg/h;

G ——理论排水量, kg/h;

K ——选择疏水器的倍率, 为安全计一般最大取4。

按求得的 G_{sh} 值选用疏水器规格。

2. 需要疏水器提供的最大背压

为了凝结水回收, 需要部分余压把凝结水提升到一定高度, 即

$$h_z = \frac{P_2 - P_3 - P_z}{0.001\rho g} \quad (4.4-2)$$

式中 P_1 ——疏水器前压力, kPa;

暖风机, $P_1 = 0.95P$;

散热器集中回水时, $P_1 = 0.7P$;

末端泄水, $P_1 = 0.7P$;

分汽缸和蒸汽管道中途泄水, $P_1 = P$;

P ——供暖系统入口压力, kPa;

P_2 ——疏水器后压力, kPa;

因各种疏水器型号不同, 一般可取 $P_2 = 0.5P_1$;

P_3 ——回水箱内的压力, kPa;

P_z ——疏水器后凝结水的提升高度, m;

ρ ——凝结水的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 。

为保证疏水器的正常工作，必须保证疏水器后的背压以及疏水器正常动作所需要的小压力 ΔP_{\min} 。

$$P_{2\max} < P_1 - \Delta P_{\min}$$

式中 $P_{2\max}$ ——疏水器后最大压力，kPa。

4.4.4 膨胀水箱

1. 水箱容积计算

当95~70℃供暖系统

$$V = 0.034V_c \quad (4.4-3)$$

当110~70℃供暖系统

$$V = 0.038V_c \quad (4.4-4)$$

当130~70℃供暖系统

$$V = 0.043V_c \quad (4.4-5)$$

式中 V ——膨胀水箱的有效容积（即相当于检查管到溢流管之间高度的容积），L；

V_c ——系统内的水容量，L，见表4.4-16。

供给每1kW热量所需设备的水容量 V_c 值（L） 表 4.4-16

供暖系统设备和附件	V_c	供暖系统设备和附件	V_c
锅炉设备		KZG1.3-8	4.1
KZG1-8	4.7	KZG-8	3.7
SHZ2-13A	4.0	-13	
KZL4-13	3.0	KZFH2-8 1	4.0
SZP6.5-13	2.0	KZZ4 13	3.0
SZP10-13	1.6	SZP10 13	2.0
RSG120 8/130	1.4	RSG60-8; 130-1	1.4
散热器		长翼型（小60）	17.2
长翼型（大60）	16.6	方翼型（TF系列）	3.97
长翼型（40型）	15.1	M-132型	9.49
圆翼型（D75）	7.39	四柱760型	8.3
四柱813型	8.8	四柱460型	8.88
四柱640型	8.37	四细柱600型	5.2
四细柱500型	5.1	六细柱700型	5.2
四细柱700型	5.2	辐射对流型（TFD ₂ ）	5.24
弯肋型	7.03	钢柱	14.5
钢串片	3.6	板式	4.1
扁管	4.8		
管道系统		室内自然循环管路	15.6
室内机械循环管路	7.8	室外机械循环管路	5.9

2. 膨胀水箱选用

(1) 开式高位膨胀水箱

适用于中小型低温水供暖系统，膨胀水箱规格见表4.4-17，构造见国标图。

膨胀水箱设计安装要点：

• 膨胀水箱安装位置，应考虑防止水箱内水的冻结。若水箱安装在非供暖房间内时，应考虑保温。

• 膨胀管在重力循环系统时接在供水总立管的顶端；在机械循环系统时接至系统定压点，一般接至水泵入口前。循环管接至系统定压点前的水平回水干管上，该点与定压点之间应保持不小于1.5~3m的距离。

膨胀水箱规格表

表 4.4-17

型号	方 形					圆 形			
	公称容积 (m ³)	有效容积 (m ³)	外形尺寸 (mm)			公称容积 (m ³)	有效容积 (m ³)	筒体 (mm)	
			长	宽	高			内 径	高 度
1	0.5	0.61	900	900	900	0.3	0.35	900	700
2	0.5	0.63	1200	700	900	0.3	0.33	800	800
3	1.0	1.15	1100	1100	1100	0.5	0.54	900	1000
4	1.0	1.20	1400	900	1100	0.5	0.59	1000	900
5	2.0	2.27	1800	1200	1200	0.8	0.83	1000	1200
6	2.0	2.06	1400	1400	1200	0.8	0.81	1100	1000
7	3.0	3.50	2000	1400	1400	1.0	1.1	1100	1300
8	3.0	3.20	1600	1600	1400	1.0	1.2	1200	1200
9	4.0	4.32	2000	1600	1500	2.0	2.1	1400	1500
10	4.0	4.37	1800	1800	1500	2.0	2.0	1500	1300
11	5.0	5.18	2400	1600	1500	3.0	3.3	1600	1800
12	5.0	5.35	2200	1800	1500	3.0	3.4	1800	1500
13						4.0	4.2	1800	1800
14						4.0	4.6	2000	1600
15						5.0	5.2	1800	2200
16						5.0	5.2	2000	1800

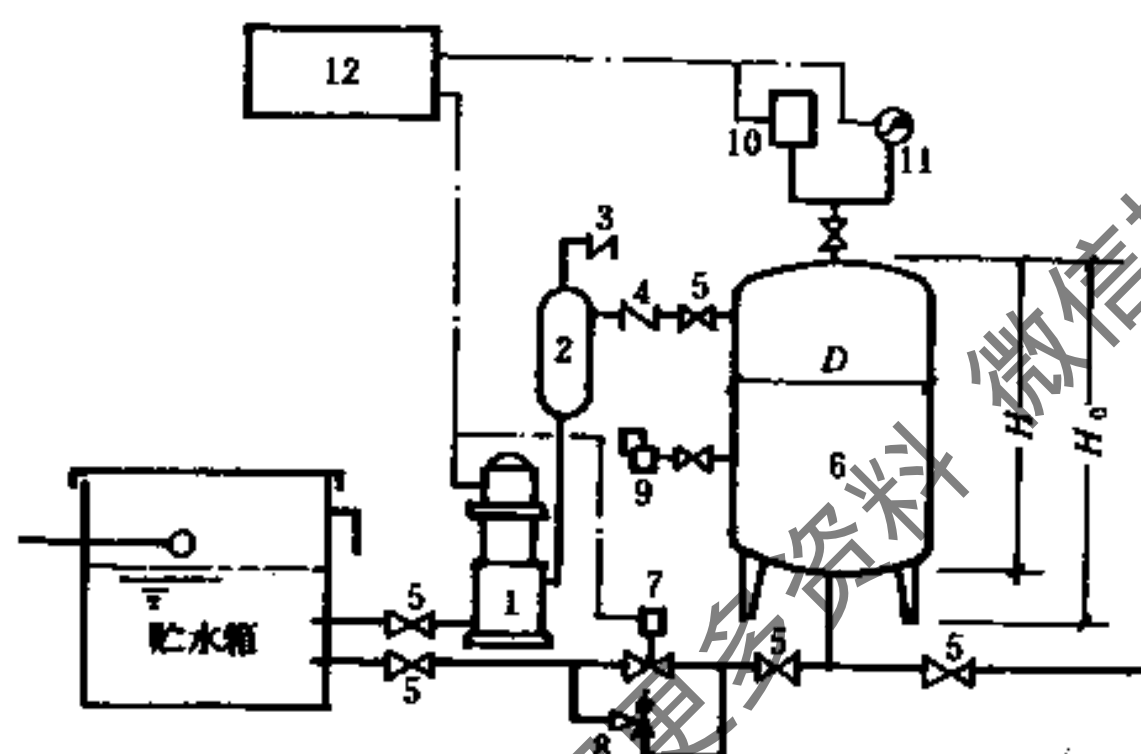


图 4.4-4 气压罐工作原理图

- 1—补给水泵；2—补气罐；3—吸气阀；4—止回阀；5—闸阀；6—气压罐；7—泄水电磁阀；8—安全阀；9—自动排气阀；10—压力控制器；11—电接点压力表；12—电控箱

工作原理

• 自动补水 按锅炉系统循环稳压要求，在压力控制器10内设定气压罐6的上限压力 P_2 和下限压力 P_1 ，一般 $P_1 = P_2 - (0.03 \sim 0.05) \text{MPa}$ 。当需给热水锅炉补水时，气压罐6的气枕压力 P 随水位下降，当 P 下降到下限压力 P_1 时接通电机，启动水泵，把贮水箱内的水压入补气罐2，使罐内的水位和压力上升，压力上升到上限压力 P_2 时，切断水泵电源，停止补水。此时补气罐2内的水位下降吸开吸气阀3，使外界空气进入补气罐2。在如此循环工作中，不断给锅炉补充所需的水量。

• 自动排气 由于水泵每工作一次，给气压罐补气一次，罐内的气枕容积逐步扩

• 膨胀管、溢水管和循环管上严禁安装阀门，而排水管和信号管上应设置阀门。

• 设在非供暖房间内的膨胀管、循环管、信号管均应保温。

• 一般开式膨胀水箱内的水温不应超过 95°C 。

(2) 闭式低位膨胀水箱

当建筑物顶部安装高位开式膨胀水箱有困难时，可采用气压罐方式。采用这种方式时，不但能解决系统中水的膨胀问题，而且可与锅炉自动补水和系统稳压结合起来。气压罐安装在锅炉房内，工作原理图见图4.4-4。

大，水位亦逐步下降，当下降到自动排气阀 9 限定的水位时，排出多余的气体，恢复正常水位。

• 自动泄水 当锅炉系统的热水膨胀，使热水倒流到气压罐 6 内，其水位上升时，罐内压力 P 亦上升。当压力超过静压 $0.01 \sim 0.02 \text{MPa}$ ，即达到电接点压力表 11 所设定上限压力 P_4 时，接通并打开泄水电磁阀 7，把气压罐内的水泄回到贮水箱。泄水到电接点压力表 11 所设定下限压力 P_3 ，一般取 $P_3 = P_4 - (0.02 \sim 0.04) \text{MPa}$ 。

• 自动过压保护 当气压罐内的压力超过电接点压力表 11 所设定上限压力 P_4 时，自动打开安全阀 8，和电磁阀 7 一同快速泄水，迅速降低气压罐压力，达到保护系统的目的，安全阀 8 的设定压力 P_5 ，一般 $P_5 = P_4 + (0.01 \sim 0.02) \text{MPa}$ 。

气压罐选用 用气压罐方式代替高位膨胀水箱时，气压罐的选用应以系统补水量为主要参数选取，一般系统的补水量可取总容水量的 4% 计算，与锅炉的容量配套选用。

气压罐的性能规格见表 4.4-18。

GQS 系列气压供水设备性能表

表 4.4-18

序号	规格	补水量 (m^3/h)	气压罐安装尺寸			锅炉容量 (t/h)
			D	H	H_0	
1	GQS 1.0	1.0	800	2000	2400	2
2	GQS-1.5	1.5	1000	2000	2400	3
3	GQS 2.0	2.0	1200	2000	2400	4
4	GQS-3.0	3.0	1400	2400	2800	6
5	GQS-4.0	4.0	1600	2100	2800	8
6	GQS-5.0	5.0	1600	2800	3200	10
7	GQS-6.5	6.5	2000	2400	2900	14
8	GQS-7.5	7.5	2000	2700	3200	18
9	GQS-10	10	2000	3500	4000	20

4.4.5 除污器

1. 各种除污器（或过滤器）规格见表 4.4-19

除污器（或过滤器）规格表

表 4.4-19

类型	规格 D_s (mm)	备注
立式直通除污器	40 ~ 200	构造见国标图，工作压力为 $600 \sim 1200 \text{kPa}$ 。
卧式直通除污器	150 ~ 450	构造见国标图，工作压力为 $600 \sim 1200 \text{kPa}$ 。
卧式角通除污器	150 ~ 450	构造见国标图，工作压力为 $600 \sim 1200 \text{kPa}$ 。
QG 型汽过滤器（丝扣接口） SG 型水	15 ~ 50	体积小，工作压力为 1600kPa 。
QG 型汽过滤器（法兰接口） SG 型水	15 ~ 450	体积小，工作压力为 1600kPa 。

注：除污器局部阻力系数 $\zeta = 4 \sim 6$ ；过滤器局部阻力系数 $\zeta = 2.2$ 。

2. 设计要点

- 除污器安装位置 供暖系统的入口调压装置前；锅炉房循环水泵的吸入口和热交换设备前；其他小孔口阀也应装设除污器或过滤器。
- 除污器或过滤器接管直径可取与干管的直径相同。
- 除污器或过滤器横断面中水的流速宜取0.05m/s。

4.4.6 调压板

调压板用于调整各建筑物入口处供水干管上的压力。调压板孔径按下式计算：

$$d = \sqrt{GD^2/f} \quad (4.4-6)$$

$$f = 23.21 \times 10^{-4} D^2 \sqrt{\rho H} + 0.812G \quad (4.4-7)$$

式中 d ——调压板孔径，mm；
 D ——管道内径，mm；
 H ——消耗压头，Pa；
 G ——热水流量，kg/h；
 ρ ——热水密度，kg/m³。

【例】 供暖热水量 $G = 3500\text{kg/h}$ ，供水管内径 $d_{\text{内}} = 53\text{mm}$ ，经水力计算需要消耗压头 $H = 50000\text{Pa}$ ， $\rho = 958\text{kg/m}^3$ （热水温度 $t = 95^\circ\text{C}$ ），求调压板管径 d 。

【解】 $f = 23.21 \times 10^{-4} \times 53^2 \sqrt{958 \times 50000} + 0.812 \times 3500 = 47958$
则 $d = \sqrt{3500 \times 53^2 / 47958} = 14.3\text{mm}$

4.4.7 集气罐和自动排气阀

1. 集气罐

集气罐直径 D 的确定 集气罐有效容积应为膨胀水箱容积的1%。它的直径 D 应大于或等于干管直径的1.5~2倍，使水在其中的流速不超过0.05m/s。集气罐按安装形式分立式和横式两种，规格尺寸见表4.4-20。

集气罐规格尺寸表

表 4.4-20

规格	型 号				备 注
	1	2	3	4	
直径 D (mm)	100	150	200	250	国 标 图
高度 (长度) $H(L)$ (mm)	300	300	320	430	

设计注意要点：

- 集气罐一般应设于系统的末端最高处，并使干管逆坡有利于排气。
- 集气罐上引出的排气管一般取 $DN = 15$ ，并应安装阀门。

2. 自动排气阀

管理简便、节约能源、外形美观体积小，各类自动排气阀综合性能见表4.4-21。

设计使用注意要点：

- 排气口可接管也可不接管，一般情况不需接管。接管可用钢管也可用橡胶管，在排

气管道上, 不应装设阀门。

各种自动排气阀性能

表 4.4-21

类 型	接管规格 DN (mm)	使用范围	外形尺寸 L×B×H (mm)
WZ85- $\frac{2}{3}$ 型	15、20、25	2型用于末端, 3型用于中央或中间部位的排气 $P < 0 \sim 800 \text{ kPa}$, $Q < 2100 \text{ kg/h}$; $t < 150 \text{ }^\circ\text{C}$ 的冷热水系统	155×155×185
ZP-I、II型	15、20、25	I型 $< 110 \text{ }^\circ\text{C}$; $P < 700 \text{ kPa}$ II型 $< 130 \text{ }^\circ\text{C}$; $P < 1200 \text{ kPa}$ 冷热水系统	158×90×125
PQ-R-S型	15	$P < 400 \text{ kPa}$; $t < 110 \text{ }^\circ\text{C}$ 冷热水系统	$\phi 70 \times 115$
B23-T型	15、20、25	用于 $P < 100 \text{ kPa}$ 的蒸汽设备或管道上	$\phi 62 \times 76$

• 为便于检修, 应在连接管上设一闸阀, 系统运行时应开启。同时为了确保排气阀的正常工作, 建议在排气阀前加设Y型过滤器。

• 自动排气阀应设于系统的最高处, 对热水供暖系统最好设于末端最高处。

4.4.8 换 热 器

1. 换热器计算

(1) 换热器传热面积 F (m^2):

$$F = \frac{Q}{K \cdot B \cdot \Delta t_{pj}} \quad (4.4-8)$$

式中 Q ——换热量, W ;

K ——传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$;

B ——考虑水垢的系数;

当汽—水换热器时, $B = 0.9 \sim 0.85$;

水—水换热器时, $B = 0.8 \sim 0.7$;

Δt_{pj} ——对数平均温度差, $^\circ\text{C}$ 。

(2) 对数平均温度差 Δt_{pj} ($^\circ\text{C}$):

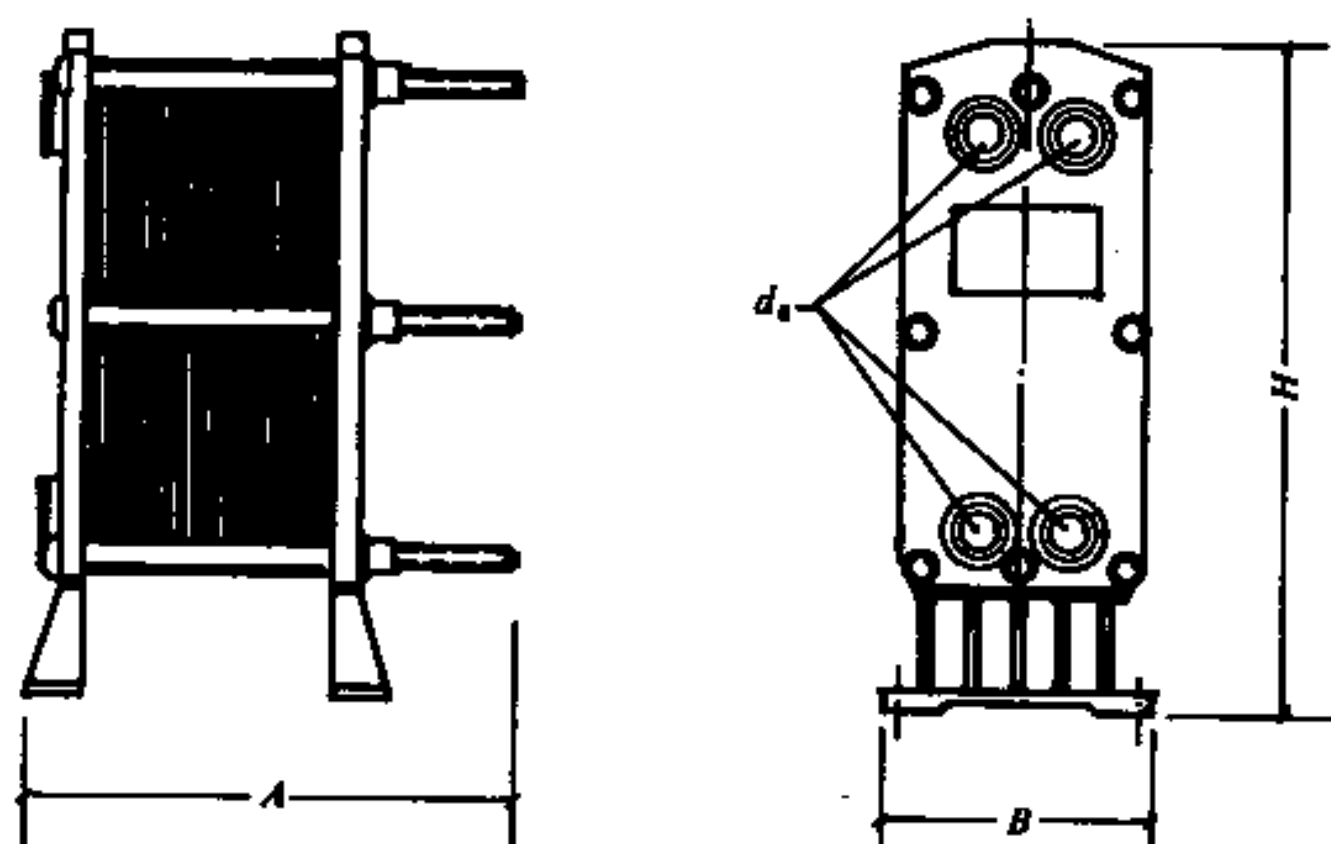
$$\Delta t_{pj} = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}} \quad (4.4-9)$$

式中 $\Delta t_a, \Delta t_b$ ——热媒入口及出口处的最大、最小温差值, $^\circ\text{C}$ 。

2. 板式换热器

具有传热效率高、压力损失小、结构紧凑, 拆装方便、操作灵活等特点。用于供暖、空调系统, 工作温度 $t < 150 \text{ }^\circ\text{C}$, 工作压力 $P < 0.1 \text{ MPa}$ 。

BR型板式换热器性能见表4.4-22, 外形尺寸见图4.4-5, 其传热及流阻特性曲线见图4.4-6, 4.4-7, 4.4-8, 4.4-9, 4.4-10, 4.4-11, 4.4-12, 4.4-13。



构造尺寸 (mm)

型号	A (不同传热面积组成时)					B	H	DN
	0.5~1.0m ²	1.5~2.0m ²	2.5~3.0m ²	3.5~4.0m ²	4.5~5.0m ²			
BR05	203	293	383	473	563	270	660	40
	1~3m ²	4~6m ²	7~9m ²	10~12m ²				
BR12	665	815	965	1115		320	1073	68
	10~20m ²	21~30m ²	31~40m ²	41~50m ²				
BR35	830	1030	1230	1430		520	1538	90
	40~60m ²	61~80m ²	81~100m ²	101~120m ²	121~140m ²			
BR70	1280	1430	1580	1730	1880	750	1710	175
					2030			

图 4.4-5 BR 型板式换热器

BR 型各规格板式换热器主要数据表

表 4.4-22

数 据	规 格			
	BR05	BR12	BR35	BR70
换热面积 (m ²)	0.5~5	1~12	10~50	40~160
板片总数 (件)	11~101	27~99	31~145	57~225
通过水量 (m ³ /h)	<15	<40	<80	<400
单片换热面积 (m ² /片)	0.05	0.12	0.35	0.72
通道截面积 (m ²)	0.363 × 10 ⁻³	0.72 × 10 ⁻³	1.313 × 10 ⁻³	1.962 × 10 ⁻³

【例 1】 系统供暖负荷 $Q = 3490\text{kW}$ ，拟用 $95 \sim 70^\circ\text{C}$ 热水供暖，而外网供给的热媒为 $130 \sim 80^\circ\text{C}$ 的高温热水，试选用板式换热器。

【解】

• 求对数平均温差 Δt_{pj}

$$\Delta t_{pj} = \frac{(130 - 95) - (80 - 70)}{\ln \frac{130 - 95}{80 - 70}} = 20^\circ\text{C}$$

• 确定传热系数K

假定冷水侧水流速 $v_c = 0.25\text{m/s}$ ，则热水侧 $v_h = 0.5\text{m/s}$ ($0.25 \times 2.0 = 0.5$ ，2.0为热水侧与冷水侧温差的比值，冷水侧 $\Delta t = 25^\circ\text{C}$ ，热水侧 $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ ，则 $\frac{50}{25} = 2$)。

注：一般推荐水流速为 $0.1 \sim 0.5\text{m/s}$ 。

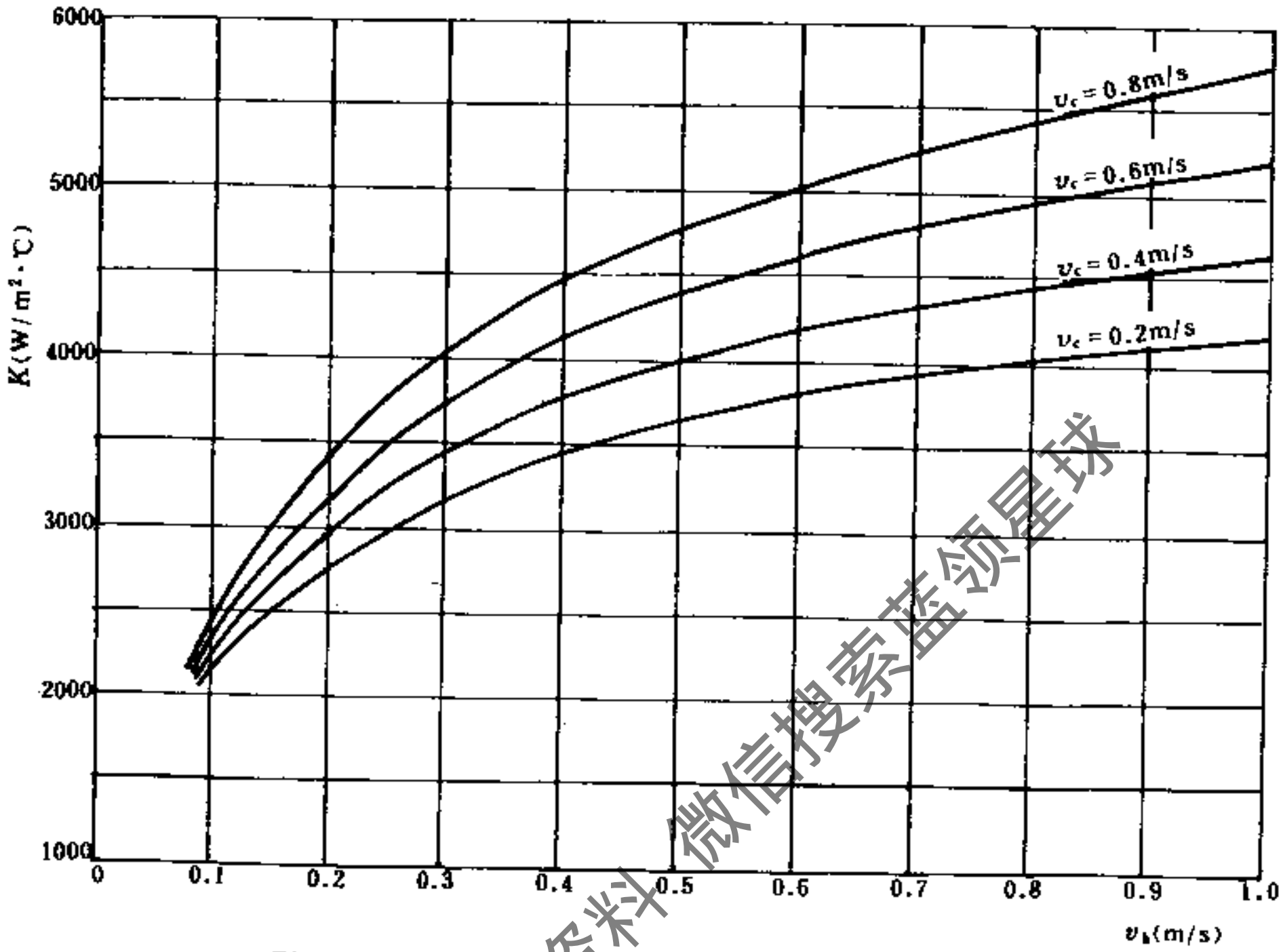


图 4.4-6 BR05型传热特性曲线 (介质为水-水)

v_h —热水流速; v_c —冷水流速

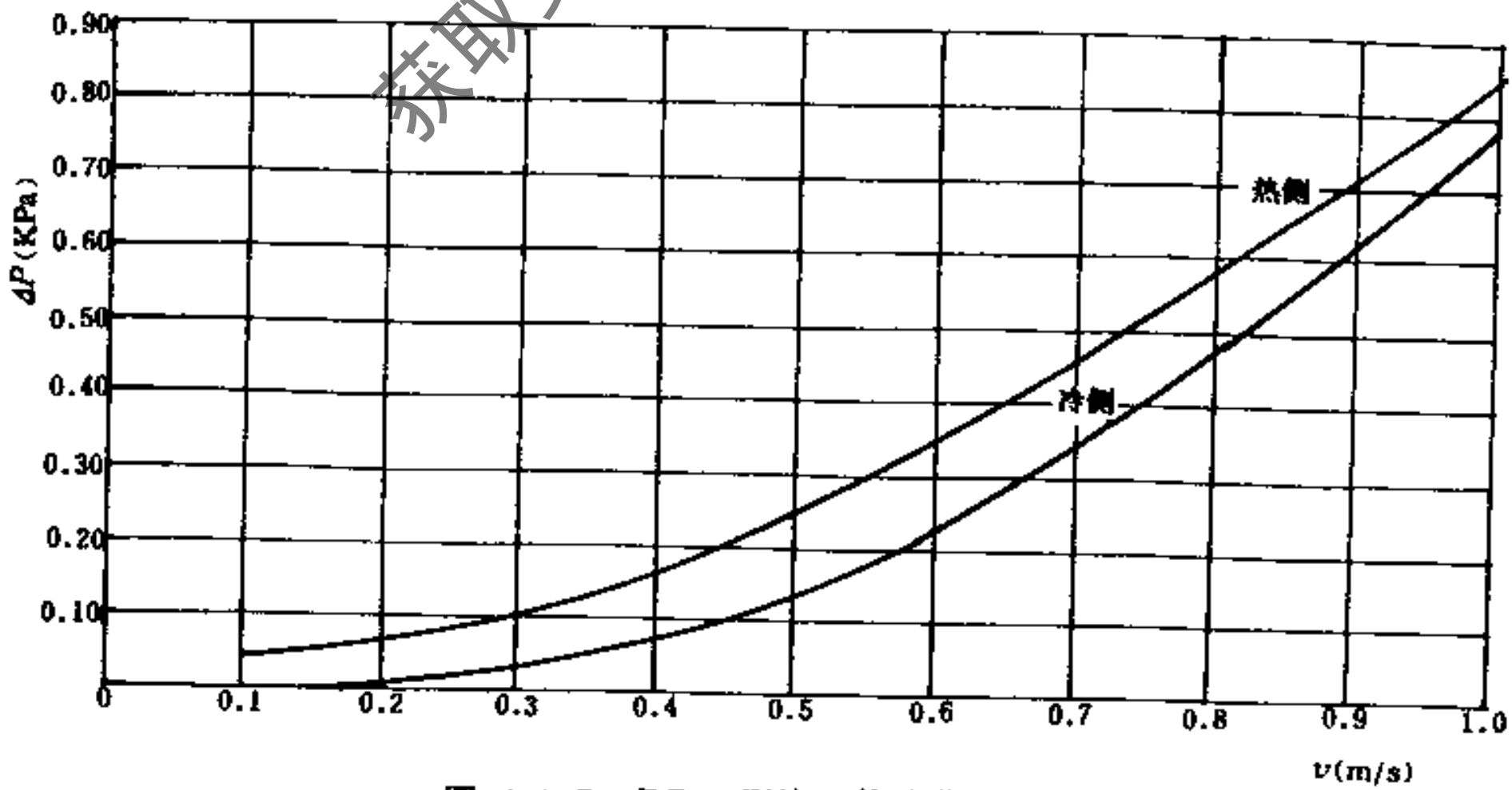


图 4.4-7 BR05型流阻特性曲线

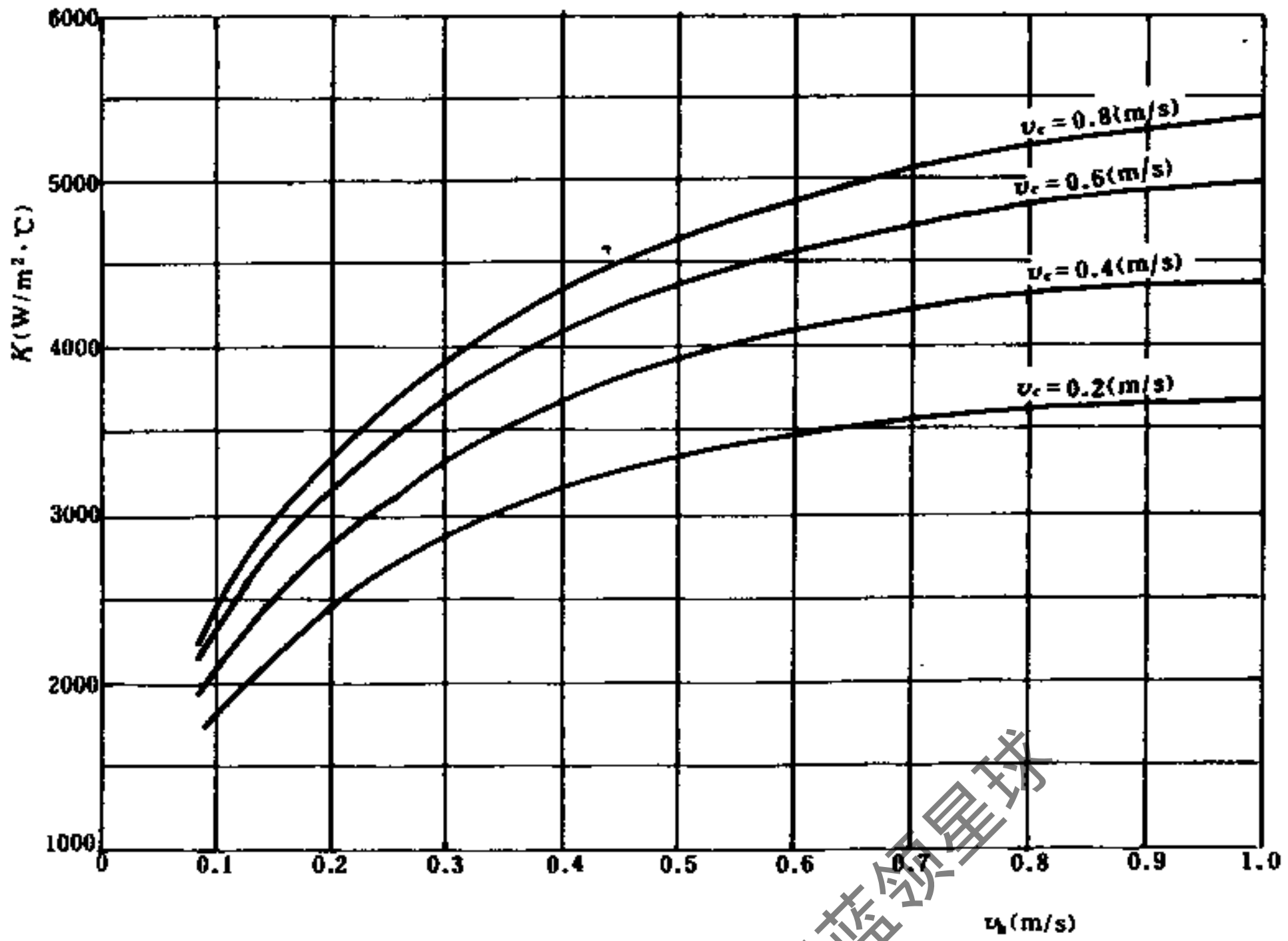


图 4.4-8 BR 12型传热特性曲线 (介质为水-水)

v_h —热水流速; v_c —冷水流速

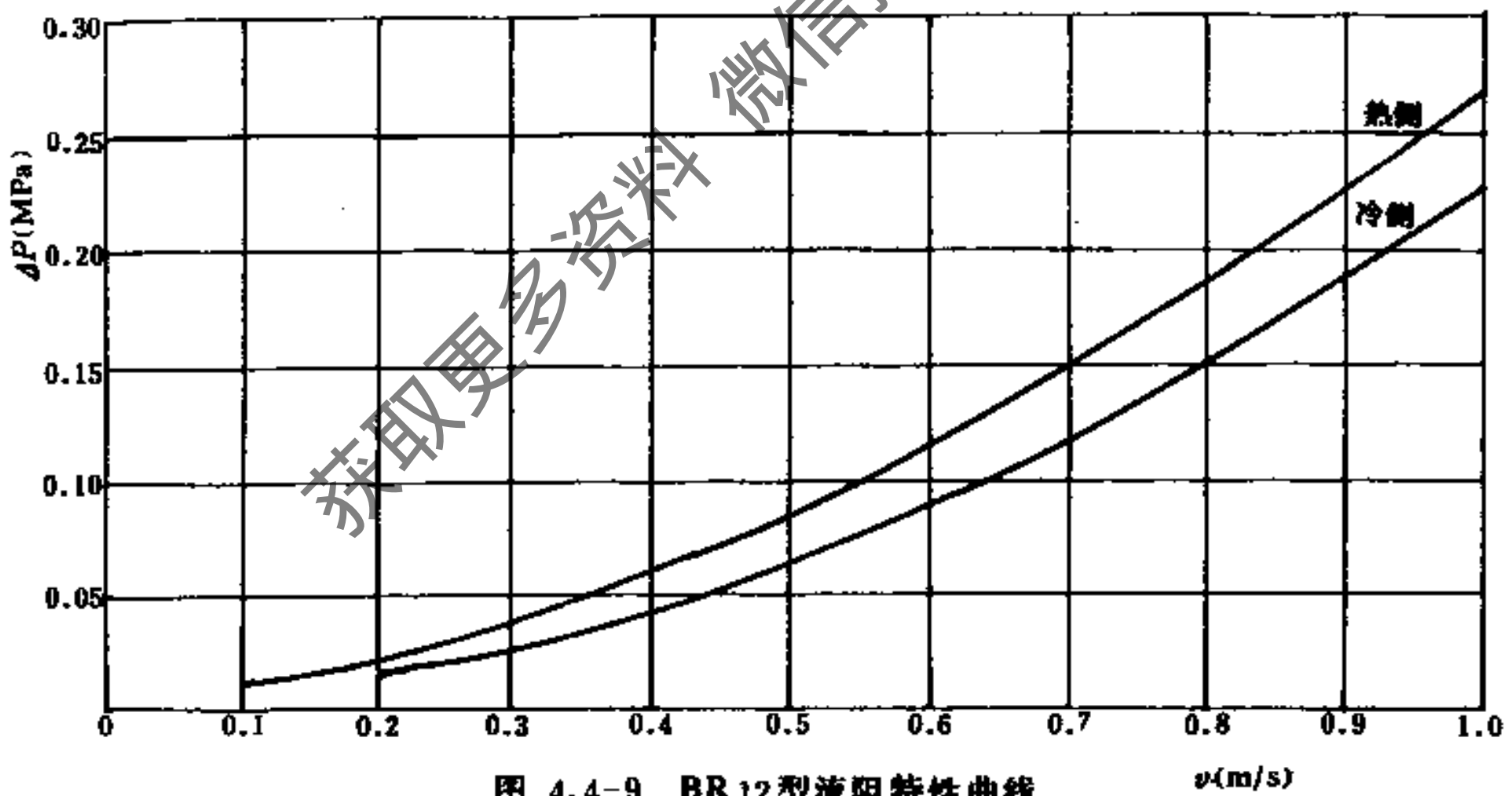


图 4.4-9 BR 12型流阻特性曲线

• 所需换热面积

$$F = \frac{3490000}{20 \times 3900} = 44.74 \text{ m}^2,$$

传热系数 K 由图 4.4-10 中 $v_c = 0.25 \text{ m/s}$ 和 $v_h = 0.5 \text{ m/s}$ 查得 $K = 3900 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

污垢系数 B 板式换热器可不考虑, $B = 1$ 。

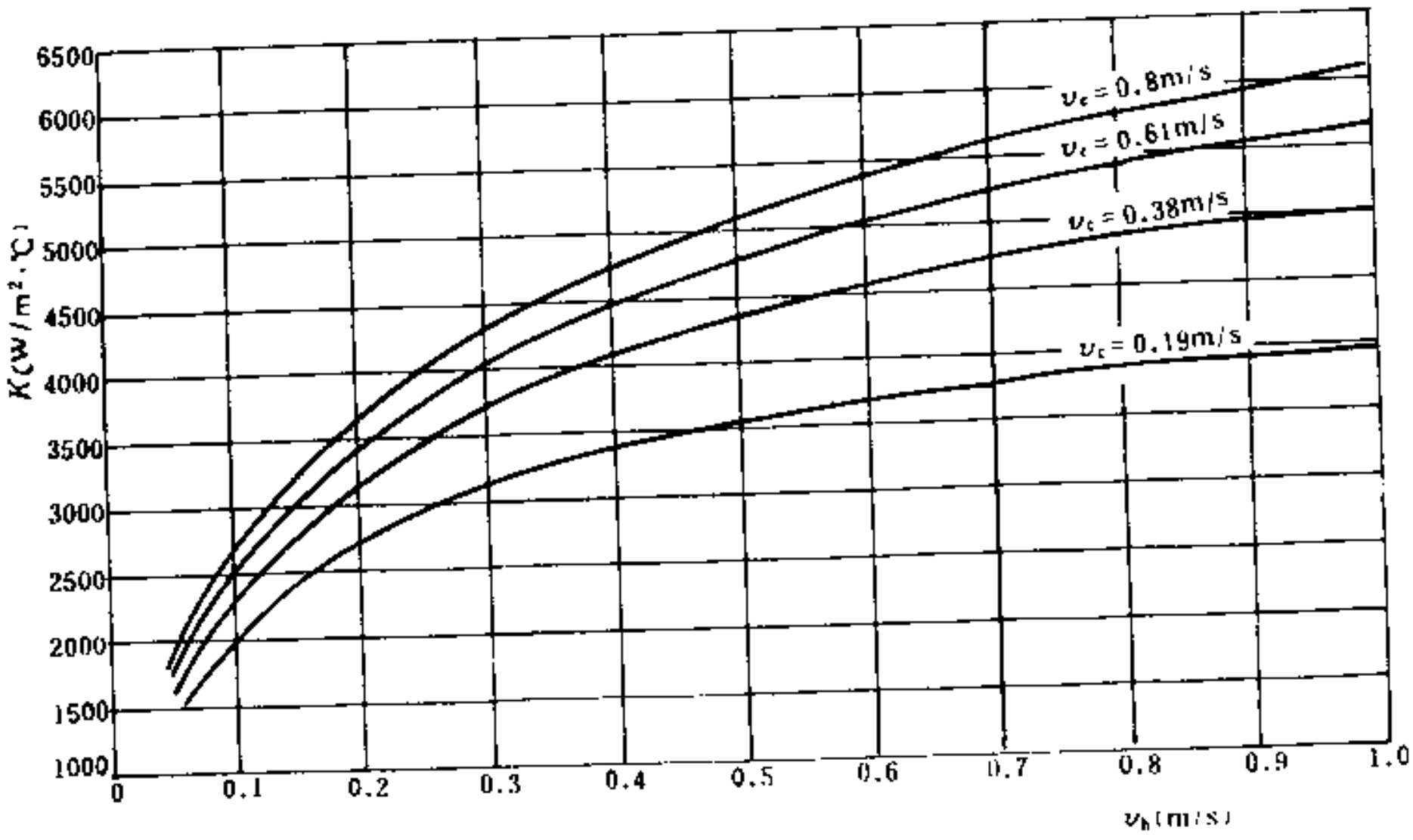


图 4.4-10 BR 35型传热特性曲线 (介质为水-水)

v_h —热水流速, v_c —冷水流速

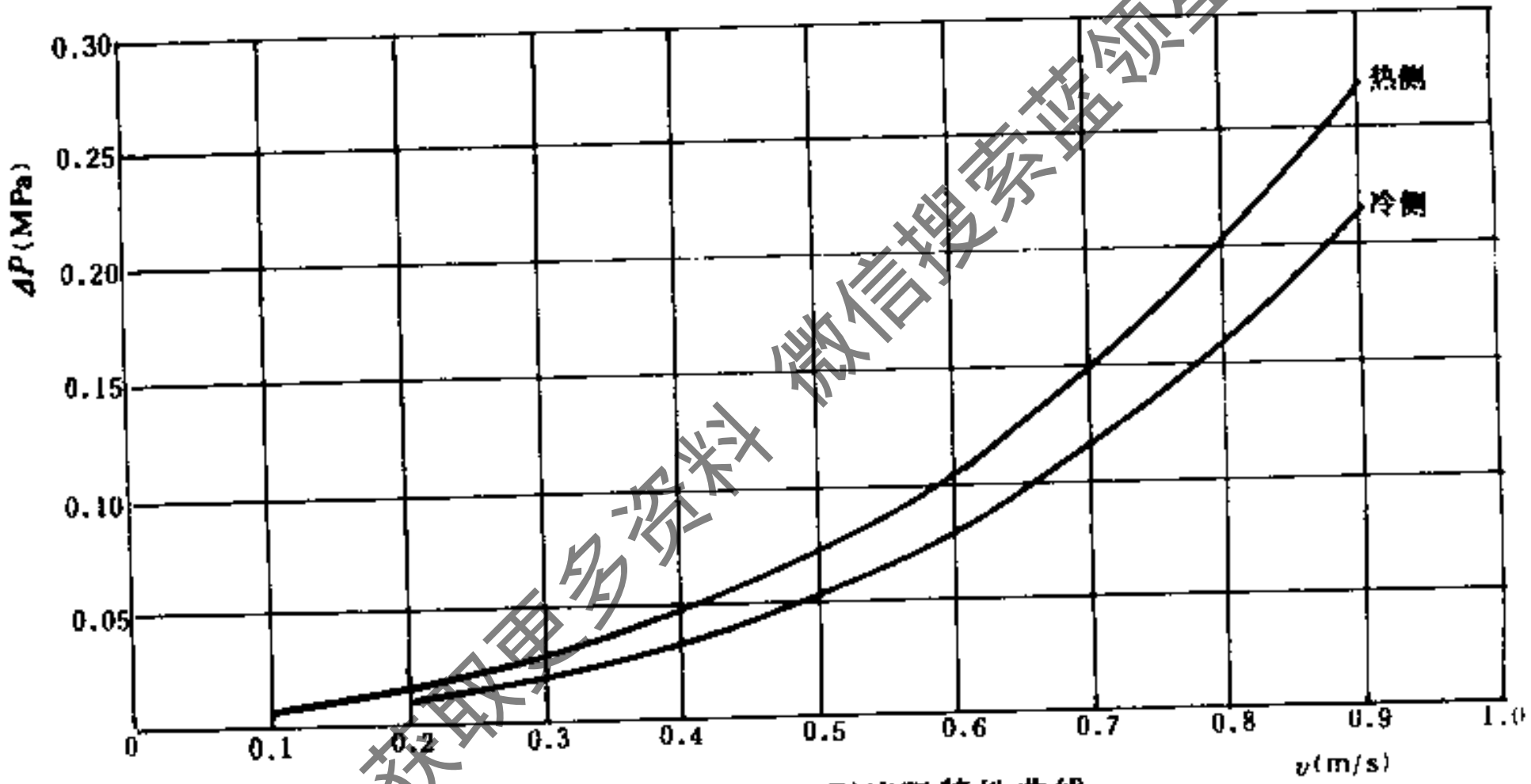


图 4.4-11 BR 35型流阻特性曲线

• 选用BR 35型, 单片传热面积为 0.35m^2 , 则需要: $n = \frac{44.74}{0.35} = 128$ 片。

• 验算传热系数K

通道截面积 0.001313m^2 , 通过流量 $\frac{3490000}{25} = 139600\text{kg/h}$, 串联片数 $n = \frac{128}{2} = 64$ 片。

则实际流速为:

$$v_c = \frac{139600}{0.001313 \times 3600 \times 64 \times 1000} = 0.46\text{m/s}$$

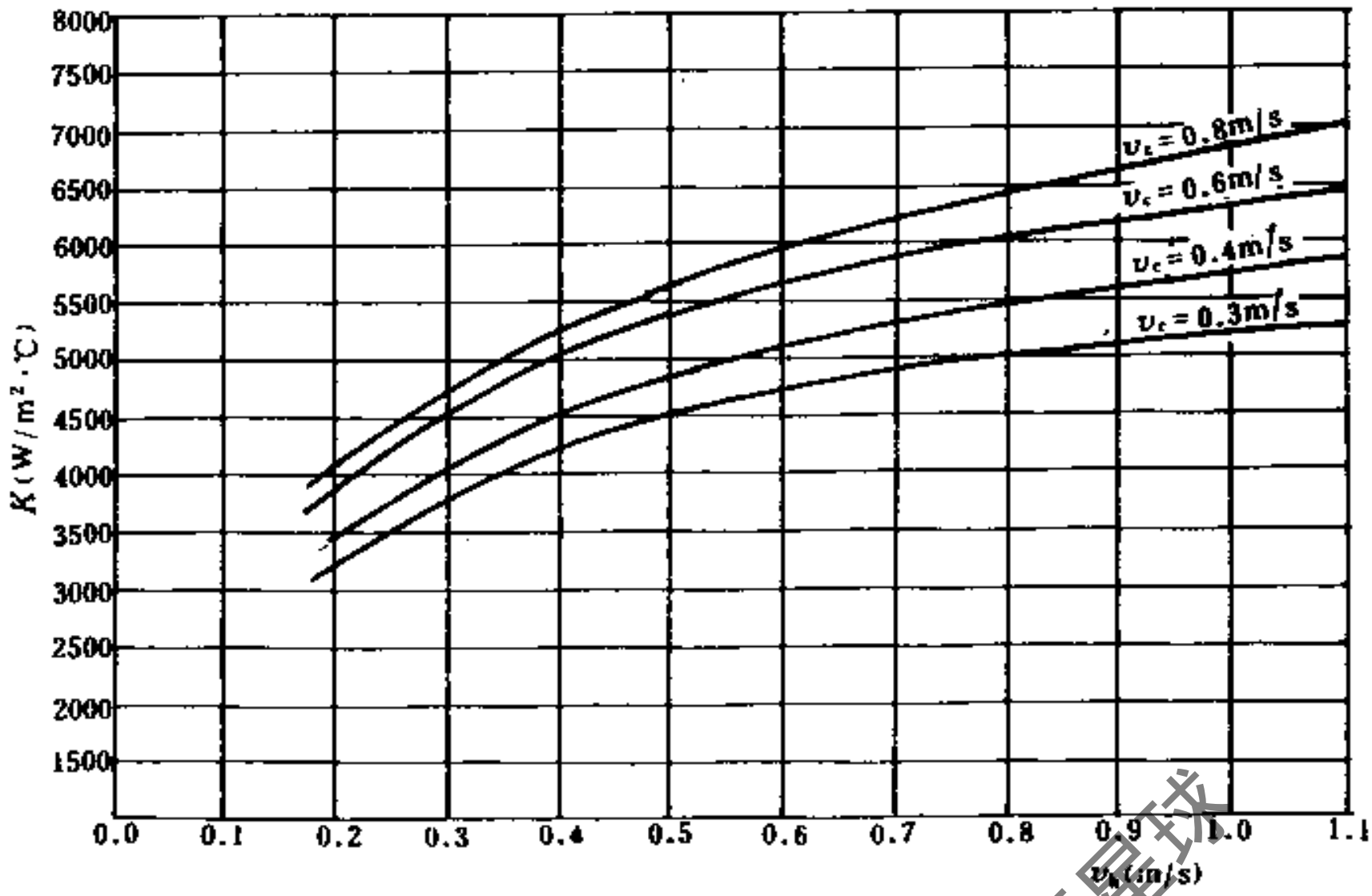


图 4.4-12 BR70型传热特性曲线 (介质为水-水)

v_h —热水流速; v_c —冷水流速

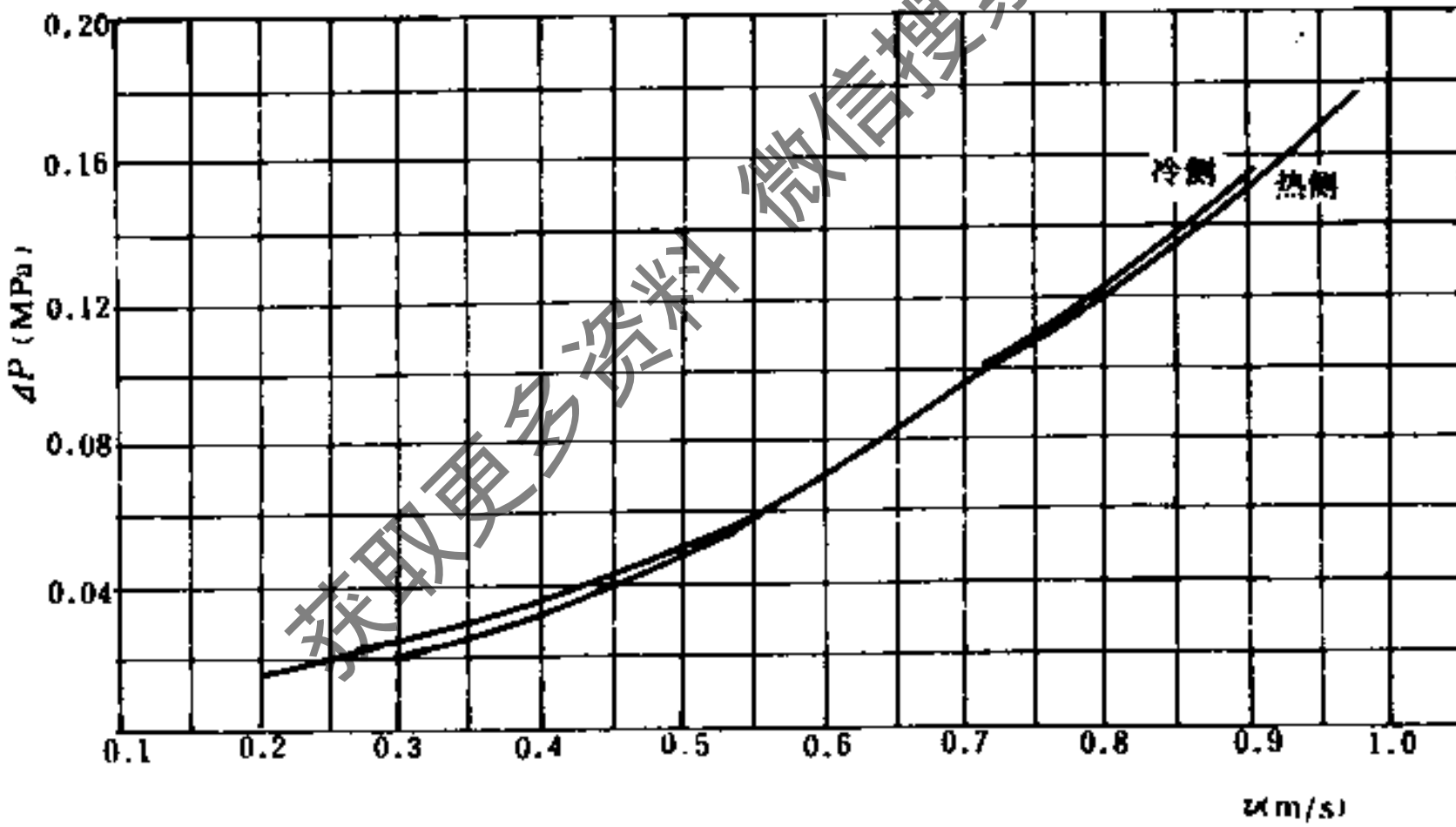


图 4.4-13 BR70型流阻特性曲线

与假定的 $v_h = 0.5\text{m/s}$ 基本符合。最后按厂家给出的BR-35型组合片数选用: 总传热面积 45m^2 , 总片数128片。

• 计算流阻

热水侧阻力: 查图4.4-11得 0.025MPa ,

冷水侧阻力: 查图4.4-11得 0.035MPa 。

【例 2】 空调冷水系统, 冷负荷为 500kW , 一次水温差为 $7\sim 12^\circ\text{C}$, 变换成二次水温

差为9~14℃, 试选用板式换热器。

【解】

• 求算术平均温差 Δt_{pj}

$$\Delta t_{pj} = \frac{(14 - 12) + (9 - 7)}{2} = 2^\circ\text{C}$$

• 确定传热系数 K

假定一次水侧流速 $v_h = 0.3\text{m/s}$, 因温差相等故 $v_c = 0.3\text{m/s}$ 。查图4.4-12得 $K = 3750\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$

• 所需换热面积

$$F = \frac{500000}{2 \times 3750} = 66.64\text{m}^2$$

• 选用BR-70型, 单片传热面积为 0.72m^2 , 则需要: $n = \frac{66.64}{0.72} = 92.6$ 片

• 验算传热系数 K

通道截面积 0.0019m^2 , 通过流量 $\frac{500000}{5} = 100000\text{kg/h}$, 串联片数 $n = \frac{92.6}{2} = 46.3 \approx$

47片, 则实际流速为:

$$v_c = \frac{100000}{0.0019 \times 3600 \times 47 \times 1000} = 0.31\text{m/s}$$

与假定基本符合, 最后按厂家给出的BR-70型组合片数选用: 总传热面积 70m^2 , 总片数98片。

• 计算流阻

热水侧(二次水)阻力: 查图4.4-13得 0.023MPa ,

冷水侧(一次水)阻力: 查图4.4-13得 0.02MPa 。

3. 螺旋板式换热器

(1) SS型螺旋板式水-水换热器

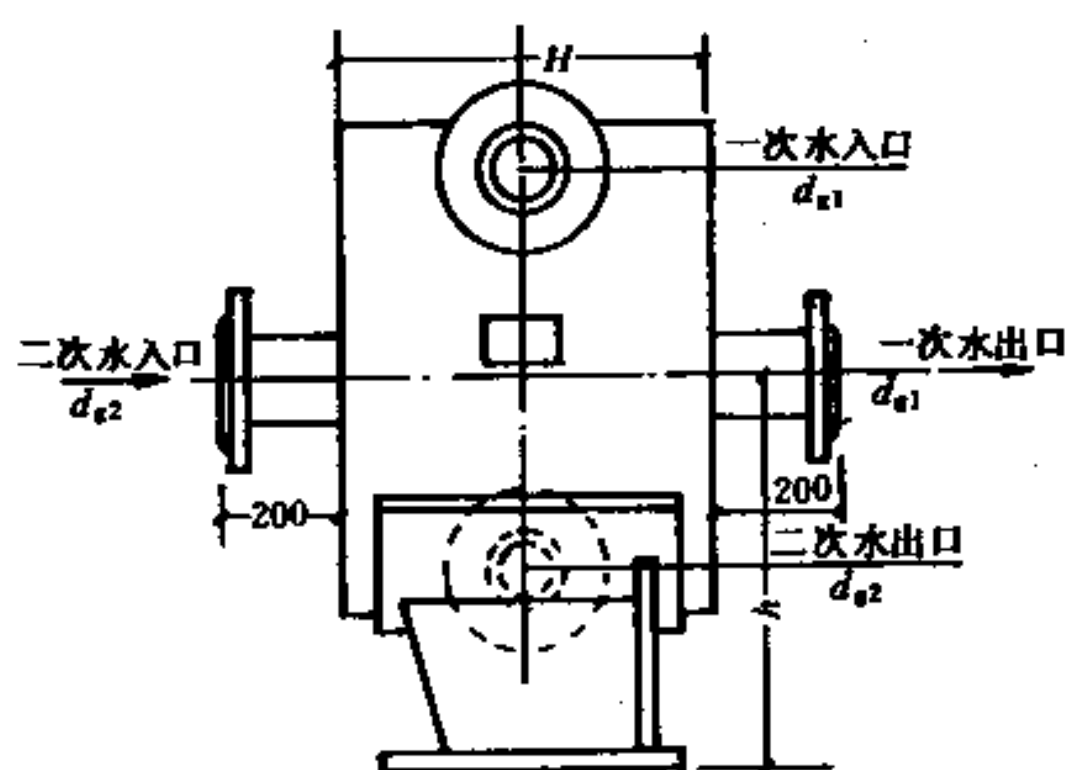
SS型螺旋板式换热器性能见表4.4-23, 其构造尺寸见图4.4-14。

SS型螺旋板式水-水换热器性能表

表 4.4-23

型 号	换热面积 F (m^2)	换 热 量 Q (kW)	工作压力 P (MPa)	一次水 (130℃~80℃)		二次水 (95℃~70℃)	
				流 量 V_1 (m^3/h)	压力降 ΔP_1 (kPa)	流 量 V_2 (m^3/h)	压力降 ΔP_2 (kPa)
SS50-10 15	11.3	580	1.0 1.5	10.4	20	20.6	30
SS100-10 15	24.5	1160	1.0 1.5	20.8	20	41.2	35
SS150-10 15	36.6	1740	1.0 1.5	31.0	30	62.0	45
SS200-10 15	50.4	2320	1.0 1.5	41.5	35	82.0	55
SS250-10 15	61.1	2900	1.0 1.5	52.0	40	103	65

注: 对数平均温差按 20°C 设计, 如温度条件改变, 则应该核实对数平均温差, 大于 20°C 时流量变化不大, 可按原型号选用, 小于 20°C 则应按比例增加换热面积。



构造尺寸 (mm)

型号	换热器直径 \$D_s\$	宽度 \$H\$	中心高度 \$h\$	一次水进出口接管 \$d_{e1}\$	二次水进出口接管 \$d_{e2}\$
SS50-10 15	900	400	700	65	80
SS100-10 15	900	800	700	80	100
SS150-10 15	1000	1000	800	80	100
SS200-10 15	1300	1000	1000	100	125
SS250-10 15	1300	1200	1000	12.5	150

图 4.4-14 SS型螺旋板式水-水换热器

【例 1】 供暖系统热负荷 $Q = 1745\text{kW}$ ，拟用 $95 \sim 70^\circ\text{C}$ 热水供暖，外网热媒为 $130 \sim 80^\circ\text{C}$ 高温热水，试选用螺旋板式换热器。

【解】 按 $Q = 1745\text{kW}$ 直接查表 4.4-23，选用 SS150-10 型，换热面积为 36.6m^2 ；一次水阻力为 30kPa ，二次水阻力为 45kPa 。

【例 2】 将上例中的一次水改为 $110 \sim 80^\circ\text{C}$ ，其他条件不变，试选用螺旋板式换热器。

【解】

• 求对数平均温差

$$\Delta t_{pj} = \frac{(110 - 95) - (80 - 70)}{\ln \frac{(110 - 95)}{(80 - 70)}} = 12.5^\circ\text{C}$$

• 求换热面积

$$F = \frac{36.6 \times 20}{12.5} = 58.5\text{m}^2$$

则选用 SS250-10，换热面积为 61.1m^2 ，一次水阻力为 40kPa ，二次水阻力为 65kPa 。

(2) LLI 型螺旋板式汽-水换热器

LLI 型螺旋板式换热器性能见表 4.4-24，其构造尺寸见图 4.4-15。

LLI 型螺旋板式汽-水换热器性能表

表 4.4-24

型号	换热面积 \$F\$ (m ²)	循环水温差 \$\Delta t\$ (°C)	蒸汽压力 \$P\$ (MPa)	蒸汽量 \$W_1\$ (t/h)	换热量 \$Q\$ (kW)	循环水量 \$W_2\$ (t/h)	汽侧阻力降 \$\Delta P_1\$ (kPa)	水侧阻力降 \$\Delta P_2\$ (kPa)
LLI-2.5-6	5.5	70°C (95°C)	0.1 < P < 0.25	0.5	305	10.5	18	13
LLI-2.5-10	10.7			1.0	611	21.0	19	13
LLI-2.5-20	20			2.0	1224	42.0	25	16
LLI-2.5-40	40.5			4.0	2448	84.0	32	19
LLI-2.5-60	62.2			6.0	3672	126.0	65	39
LLI-6-3	3.3	0.25 < P < 0.6		0.5	298	10.3	4	9
LLI-6-6	6.8			1.0	596	20.5	8	10
LLI-6-12	13.0			2.0	1194	41.0	11	12
LLI-6-25	26.7			4.0	2388	82.0	13	15
LLI-6-40	44.0			6.0	3582	123.0	29	32

续表

型 号	换 热 面 积 F (m^2)	循 环 水 温 差 Δt ($^{\circ}C$)	蒸 汽 压 力 P (MPa)	蒸 汽 量 W_1 (t/h)	换 热 量 Q (kW)	循 环 水 量 W_2 (t/h)	汽 侧 阻 力 降 ΔP_1 (kPa)	水 侧 阻 力 降 ΔP_2 (kPa)
LLI-10-3	3.3	70 $^{\circ}C$? 95 $^{\circ}C$	0.6 $<P<1.0$	0.5	287	9.9	4	9
LLI-10-6	6.7			1.0	574	19.7	4	11
LLI-10-10	11.9			2.0	1149	39.4	5	12
LLI-10-20	18.8			4.0	2296	78.8	5	12
LLI-10-25	26.3			6.0	3445	118.5	9	24
LLI-15-15	15.0	70 $^{\circ}C$? 110 $^{\circ}C$	1.0 $<P<1.6$	4.0	2223	47.6	8	12
LLI-15-25	24.5		1.0 $<P<1.6$	6.0	3336	71.7	9	12
LLI-15-30	30.7		0.6 $<P<1.0$	6.0	3445	74.1	16	18
			1.0 $<P<1.6$	8.0	4448	95.6	14	29
LLI-15-40	40.8		0.6 $<P<1.0$	8.0	4593	98.9	23	27
			1.0 $<P<1.6$	10.0	5560	119.5	23	39
LLI-15-50	49.0		0.6 $<P<1.0$	10.0	5742	123.5	41	48

(3) KH型螺旋板式水-水换热器

KH型螺旋板式水-水换热器性能见表4.4-25, 构造见图4.4-16。

KH型螺旋板式水-水换热器性能表

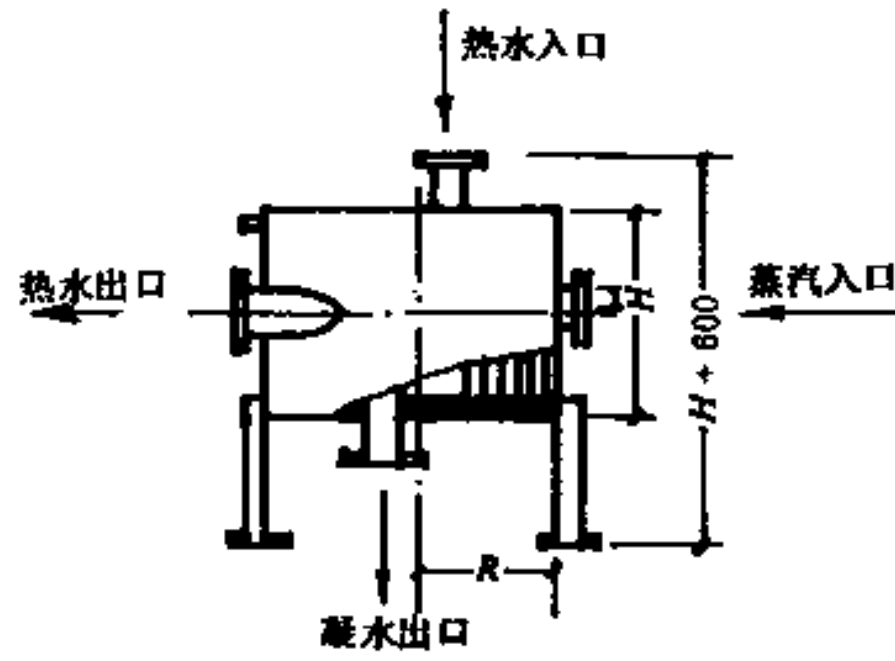
表 4.4-25

型 号	换 热 量 Q (kW)	换 热 面 积 F (m^2)	工 作 压 力 P (MPa)	一 次 水 (95 $^{\circ}C$ ~70 $^{\circ}C$)		二 次 水 (50 $^{\circ}C$ ~60 $^{\circ}C$)	
				流 量 W_1 (m^3/h)	阻 力 降 ΔP_1 (kPa)	流 量 W_2 (m^3/h)	阻 力 降 ΔP_2 (kPa)
KH50-10-15	580	13	1.0	20	15	50	35
			1.5				
KH100-10-15	1160	26	1.0	40	25	100	45
			1.5				

4. 汽水混合加热器

汽水混合加热器是利用蒸汽直接加热水的设备。主要由喷管、壳体、网板、垫圈、填料等部分组成, 被加热水沿轴向通过喷管时, 蒸汽沿垂直于轴向的进口进入加热器, 从喷管外侧经管壁上倾斜小孔喷入喷管与被加热水混合, 并将汽化热传给被加热水, 蒸汽凝结水与被加热水混合流出加热器。

蒸汽用量 D_0 (t/h):



构造尺寸 (mm)

型号	换热器直径 DN	换热器高度 H	支座螺孔中心距 R	接管管径 DN
LLI-2.5-6	400	500	190	50
LLI-2.5-10	600	600	290	65
LLI-2.5-20	800	800	380	100
LLI-2.5-40	1000	1200	490	100
LLI-2.5-60	1400	1200	670	150
LLI-6-3	350	500	150	50
LLI-6-6	500	600	235	65
LLI-6-12	700	800	315	100
LLI-6-25	900	1200	410	100
LLI-6-40	1200	1200	560	150
LLI-10-3	350	500	150	50
LLI-10-6	500	600	235	65
LLI-10-10	700	800	325	100
LLI-10-20	800	1200	380	100
LLI-10-25	1000	1200	470	150
LLI-15-15	700	1000	320	100
LLI-15-25	900	1200	420	150
LLI-15-30	1000	1200	470	150
LLI-15-40	1200	1200	580	150
LLI-15-50	1300	1200	630	150

图 4.4-15 LLI型螺旋板式汽-水换热器

构造尺寸 (mm)

型号	换热器直径 D_s	换热器高度 H	支座螺孔中心距 R	一次水进出接管 d_{s1}	空调水进出接管 d_{s2}
KH50-10-15	650	1000	330	80	100
KH100-10-15	800	1200	400	110	150

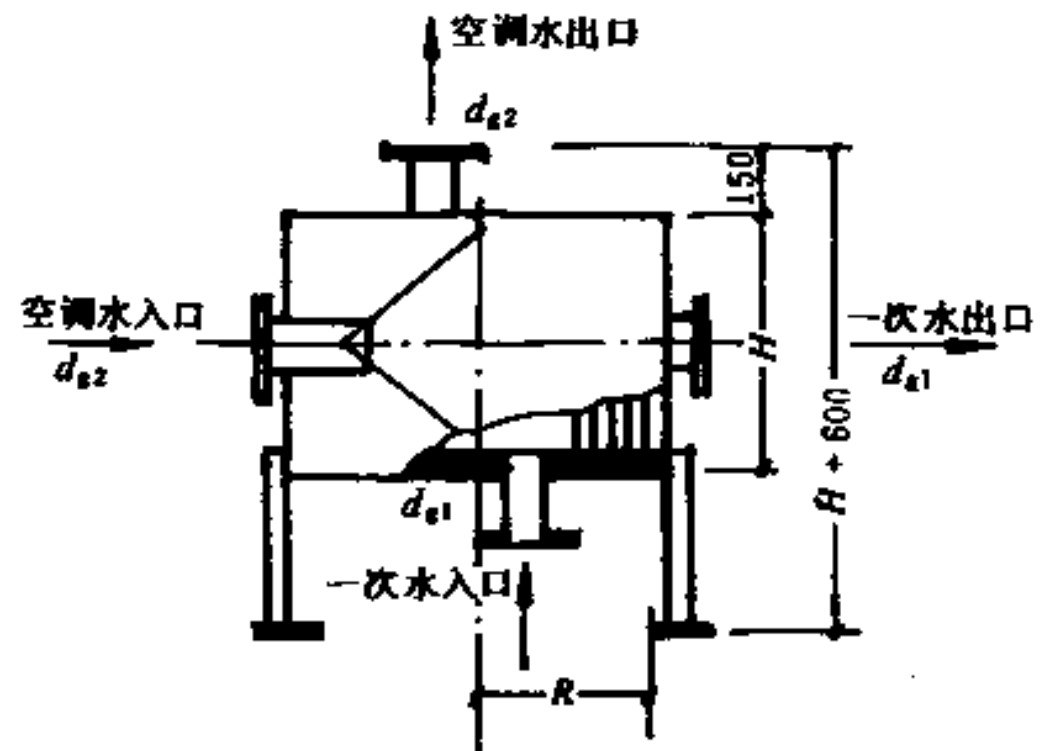


图 4.4-16 KH型螺旋板式水-水换热器

$$D_0 = \frac{c(t_2 - t_1)D_1}{i_0 - ct_2} \quad (4.4-10)$$

式中 c ——水的比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

t_1 ——进入加热器的水温, $^\circ\text{C}$;

t_2 ——加热后的水温, $^\circ\text{C}$;

D_1 ——供暖系统循环水量, t/h ;

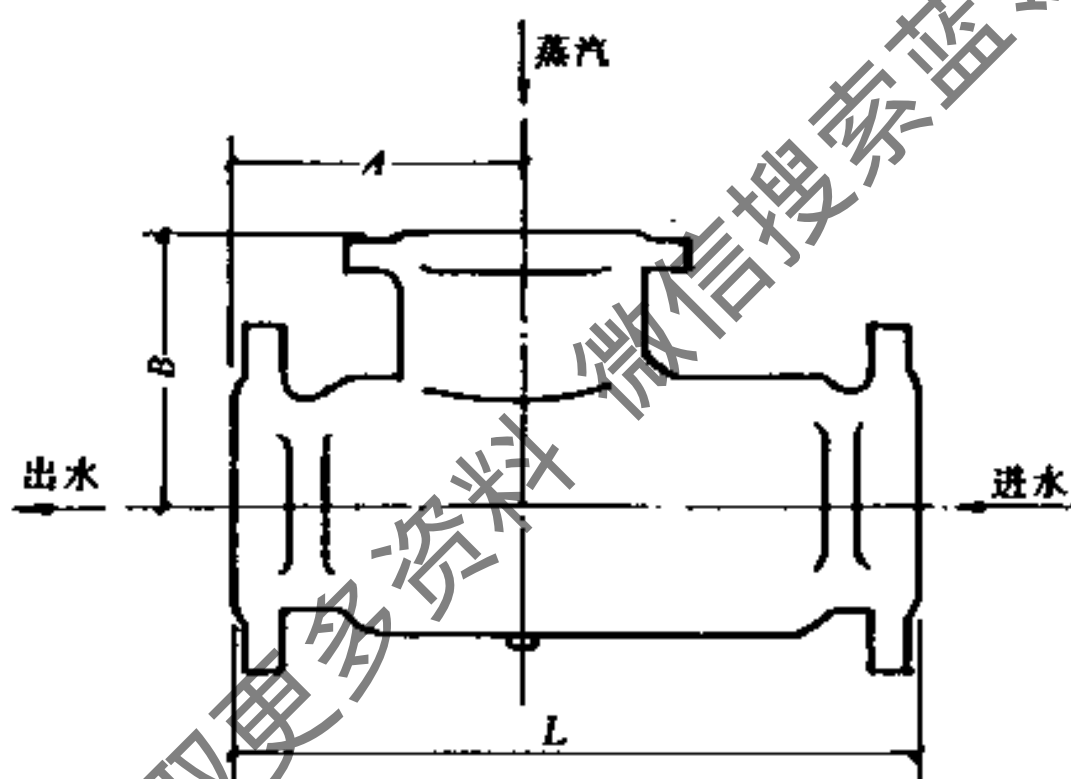
i_0 ——在压力为 P_0 时进入加热器饱和蒸汽的热焓, kJ/kg 。

QSH型汽水混合加热器所需蒸汽消耗量表见表4.4-26, 其构造尺寸见图4.4-17。

QSH型汽水混合加热器蒸汽消耗量表(t/h) 表 4.4-26

QSH-	4	6	8	10	12	16	20	24	32	40	48	64
循环水量 D_1 (m^3/h)	1.2	2.5	4.5	7.0	10	16	25	35	60	105	165	260
70~95 $^\circ\text{C}$	0.054	0.112	0.201	0.312	0.446	0.714	1.116	1.562	2.678	4.687	7.366	11.607
70~110 $^\circ\text{C}$	0.088	0.183	0.330	0.514	0.734	1.174	1.830	2.569	4.404	7.706	12.110	19.083
70~130 $^\circ\text{C}$	0.137	0.286	0.454	0.800	1.143	1.829	2.857	4.000	6.857	12.000	18.857	29.714

注: 上表蒸汽耗量是按供汽压力 $P = 0.4\text{MPa}$ 计算的。



构造尺寸 (mm)

型号		QSH-4,6	QSH-8,10,12	QSH 16, 20, 24	QSH-32, 40, 48	QSH 64
接管管径 DN	汽侧	40	65	125	250	400
	水侧	30	50	100	200	300
安装尺寸	A	105	130	220	450	550
	B	105	130	170	300	400
	L	240	360	660	1200	1800

图 4.4-17 QSH型汽水混合加热器

设计时注意事项:

- 在接近加热器的蒸汽管道上应装设止回阀。
- 在低温水供暖系统中加热器装在水泵进水侧, 高温水供暖系统中加热器装在水泵出水侧。

- 加热器出口最高水温为加热水等压的饱和蒸汽温度低10℃。
- 蒸汽压力应高于水压0.05MPa以上。
- 为防止突然停电，循环水泵停止运转，应在加热器蒸汽管道上装设高温电磁阀，及时关断蒸汽阀门。

5. 浮头式换热器

(1) 浮头式水-水换热器

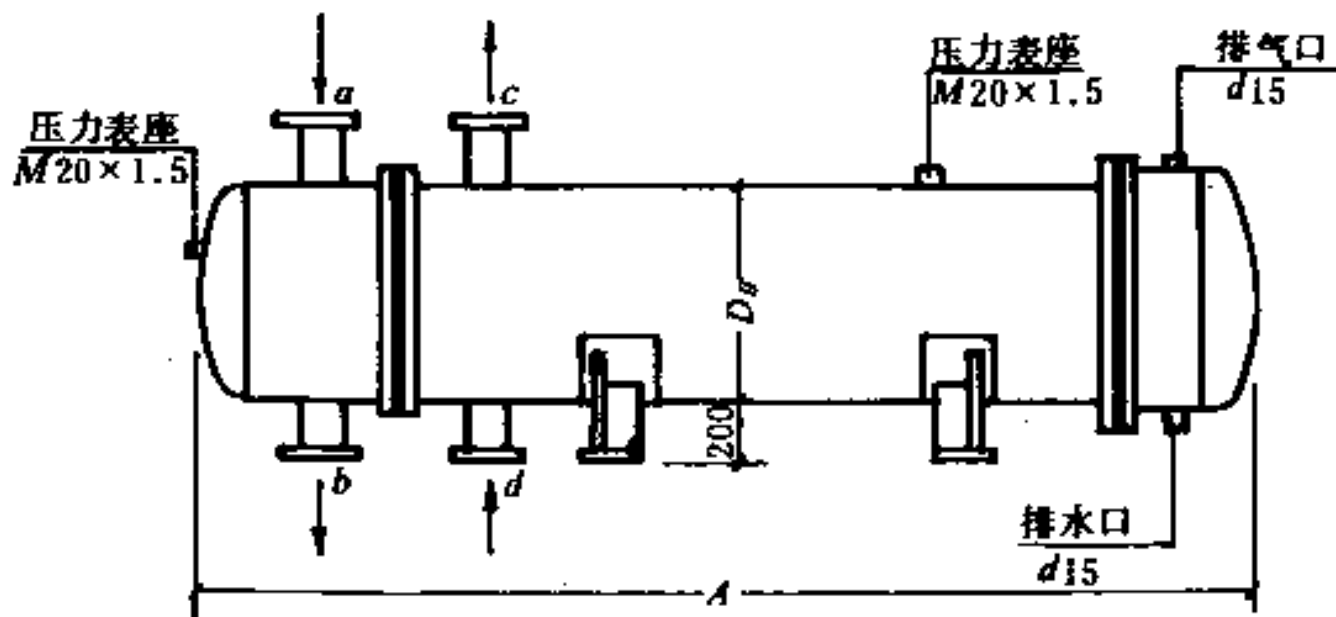
浮头式水-水换热器性能表见表4.4-27，其构造见图4.4-18。

浮头式水-水换热器性能表

表 4.4-27

传热面积 (m ²)	热水 (管程)			被加热水 (壳程)			传热系数 (W/m ² ·℃)	传热量 (kW)	管程压降 (kPa)	壳程压降 (kPa)
	进口温度 (℃)	出口温度 (℃)	流量 (t/h)	进口温度 (℃)	出口温度 (℃)	流量 (t/h)				
DN500 水-水式换热器										
34.5	150	100	18.1	70	95	36.3	741	1050	0.29	0.78
	110	70	20.4	40	60	40.8	701	947	0.39	0.98
	95	70	27.4	40	60	34.3	712	796	0.78	0.78
51.8	150	100	40	70	95	80	1091	2326	1.96	4.22
	110	70	46	40	60	92	1054	2139	2.75	5.88
	95	70	61.3	40	60	76.6	1062	1781	4.81	3.92
DN600 水-水式换热器										
50.1	150	100	26.7	70	95	58.4	753	1552	0.39	0.78
	110	70	30.9	40	60	61.8	805	1436	0.49	1.18
	95	70	41.3	40	60	51.6	740	1200	0.88	0.78
75.2	150	100	58.6	70	95	117.2	1100	3408	2.06	4.71
	110	70	68.5	40	60	136.9	1080	3185	2.94	6.18
	95	70	91.1	40	60	113.9	1087	2649	5.10	4.32
100.2	150	100	93.4	70	95	186.8	1315	5430	8.33	19.9
	150	80	27.8	70	95	77.8	855	2260	0.78	3.53
	110	70	109.6	40	60	219.2	1298	5097	11.9	28.1
	95	70	145.7	40	60	182.1	1305	4236	21.0	22.0
DN800 水-水式换热器										
102	150	100	73.4	70	95	146.7	1015	4267	0.59	5.30
	110	70	86.2	40	60	172.3	1003	4008	0.88	7.36
	95	70	118.6	40	60	148.2	1043	3447	1.77	5.39
153	150	100	143.8	70	95	287.7	1327	8364	3.04	24.3
	150	80	38.3	70	95	107.3	722	3119	0.20	3.43
	130	80	36.5	70	95	73.1	694	2124	0.20	1.56
	110	70	154.8	40	60	309.5	1200	7198	3.53	28.2
	95	70	210.2	40	60	262.7	1233	6111	6.57	20.7
204	150	100	218.2	70	95	437	1512	12711	11.3	92.5
	150	80	67.6	70	95	189.1	1021	5499	1.08	17.6
	130	80	66.4	70	95	132.8	947	3862	1.08	8.53
	110	70	258	40	60	516.2	1501	12002	15.6	131
	95	70	347.7	40	60	434.6	1529	10108	29.5	93.2

注：表中仅摘录部分规格，不合适时请详见样本。



构造尺寸 (mm)

换热器直径 D_s		500	600	800
接管管径	高温水进出 a, b	125	150	250
	低温水进出 d, c	150	175	250
换热器总长 A 在不同管长 L 时	$L = 2000$	2850	2950	3100
	$L = 2500$	3350	3450	3600
	$L = 3000$	3850	3950	4100
	$L = 3500$	4350	4450	4600
	$L = 4500$	5350	5450	5600
	$L = 6000$	6850	6950	7100

图 4.4-18 浮头式水-水换热器

(2) 浮头式汽-水换热器

浮头式汽-水换热器性能见表 4.4-28, 其构造见图 4.4-19。

汽-水换热器性能表

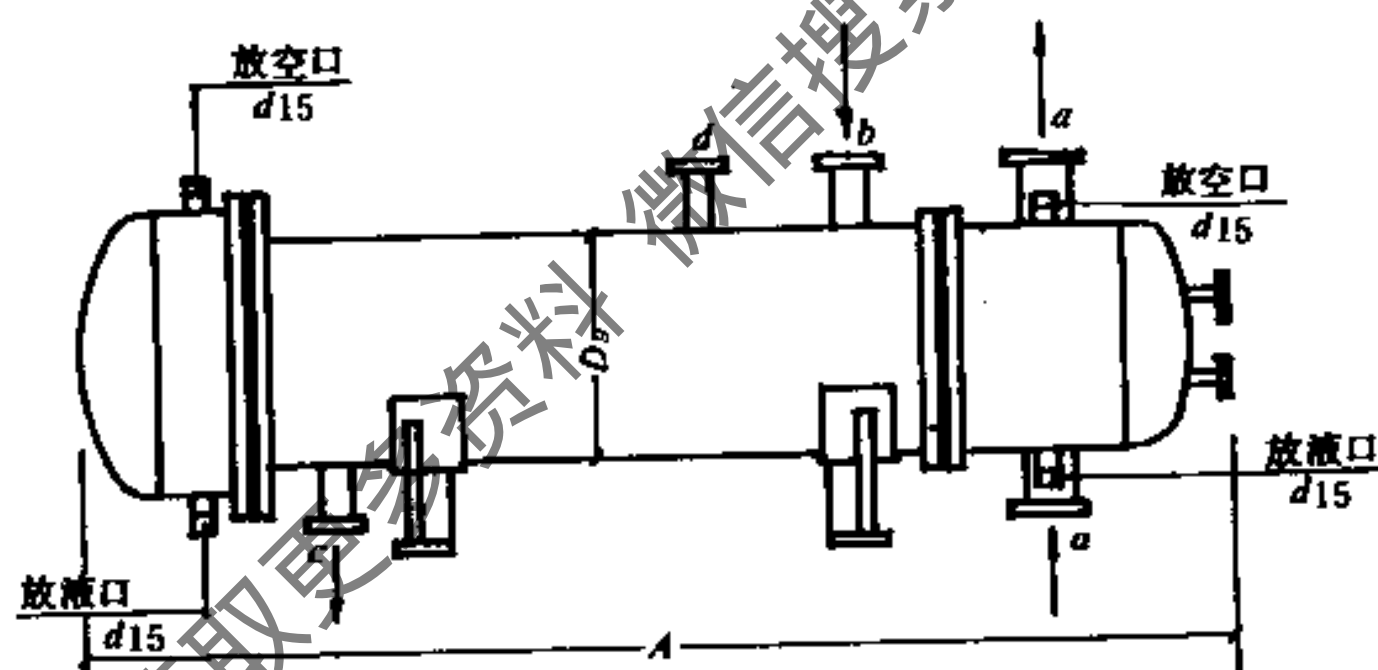
表 4.4-28

型号	被加热水			加热蒸汽		传热量 (kW)	管程压降 (kPa)
	进口温度 ($^{\circ}\text{C}$)	出口温度 ($^{\circ}\text{C}$)	流量 (t/h)	流量 (t/h)	工作压力 (MPa)		
DN300 $F = 9\text{m}^2$	70	95	34.33	1.729	0.539	997	11.4
	70	110	20.70	1.704	0.785	935	4
	70	130	13.75	1.748	1.177	959	2
	100	150	13.02	1.397	1.373	757	2
DN500 $F = 23\text{m}^2$	70	95	81.01	4.079	0.539	2355	5
	70	110	50.37	4.147	0.785	2343	2
DN500 $F = 35\text{m}^2$	70	95	138.2	6.958	0.539	4017	17
	70	110	82.16	6.765	0.785	3821	7
	70	130	47.29	5.852	0.932	3299	2
	100	150	45.78	4.827	1.177	2650	2
DN700 $F = 53\text{m}^2$	70	95	75.26	2.24	0.686	1381	21
	70	110	121.9	9.823	0.539	5671	43
	70	130	72.71	8.981	0.785	5074	15
	100	150	78.59	8.323	1.177	4570	16
DN700 $F = 80\text{m}^2$	70	95	117.21	5.53	0.686	3407	34
	70	110	124.1	9.732	0.294	5771	34
	70	130	84.51	10.21	0.539	5897	15
	100	150	97.46	10.05	0.932	5667	17
DN700 $F = 100\text{m}^2$	70	95	117.2	5.53	0.686	3407	34
	70	110	177.49	13.92	0.294	8256	81
	70	130	160.2	19.79	0.785	11178	57
	100	150	136.3	14.05	0.932	7923	39

续表

型号	被加热水			加热蒸汽		传热量 (kW)	管程压降 (kPa)
	进口温度 (°C)	出口温度 (°C)	流量 (t/h)	流量 (t/h)	工作压力 (MPa)		
DN800 $F = 145\text{m}^2$	70	110	256.2	20.09	0.294	11920	80
	70	130	231.3	28.57	0.785	16142	56
	100	150	196.9	20.30	0.932	11449	38
DN800 $F = 200\text{m}^2$	70	110	468.8	37.76	0.539	21806	43
	70	130	279.7	34.54	0.785	19515	15
	100	150	242.5	25	0.932	14095	11
DN1000 $F = 300\text{m}^2$	70	110	712.3	57.39	0.539	27318	43
	70	130	479	59.27	0.932	33424	18
	100	150	368.5	37.99	0.932	21422	11
DN1100 $F = 400\text{m}^2$	70	110	917.7	73.93	0.539	42693	43
	70	130	617.5	76.40	0.932	43089	18
	100	150	592	62.70	1.177	34420	15
DN1300 $F = 500\text{m}^2$	70	110	1192.4	96.07	0.539	55475	43
	70	130	712	87.94	0.785	49683	15
	100	150	769.4	81.49	1.177	44740	15

注：表中仅摘录部分规格，不合适时详见样本。



构造尺寸 (mm)

型号	进出水管接管 a	进汽管接管 b	疏水管接管 c	安全阀接管 d	换热器总长 A
DN300-9	65	65	50	50	3100
DN500-23	100	100	65	50	2783
DN500-35	125	125	65	50	3820
DN700-53	150	150	65	50	3967
DN700-80	200	200	80	50	4527
DN700-100	200	200	80	50	5527
DN800-145	200	250	100	100	5570
DN800-200	250	300	100	100	7120
DN1000-300	350	400	125	125	7418
DN1100-400	400	450	150	150	7548
DN1300-500	450	450	150	150	7698

图 4.4-19 浮头式汽-水换热器

6. 强化传热式节能型换热器

该换热器结构与管壳式基本相同，不同的是换热管采用了强化换热元件($d = 32\text{mm}$ 不锈钢薄壁管)，与管壳式相比传热系数提高3~5倍，而且不易堵、不易漏和耐腐蚀，阻力小节约能源。

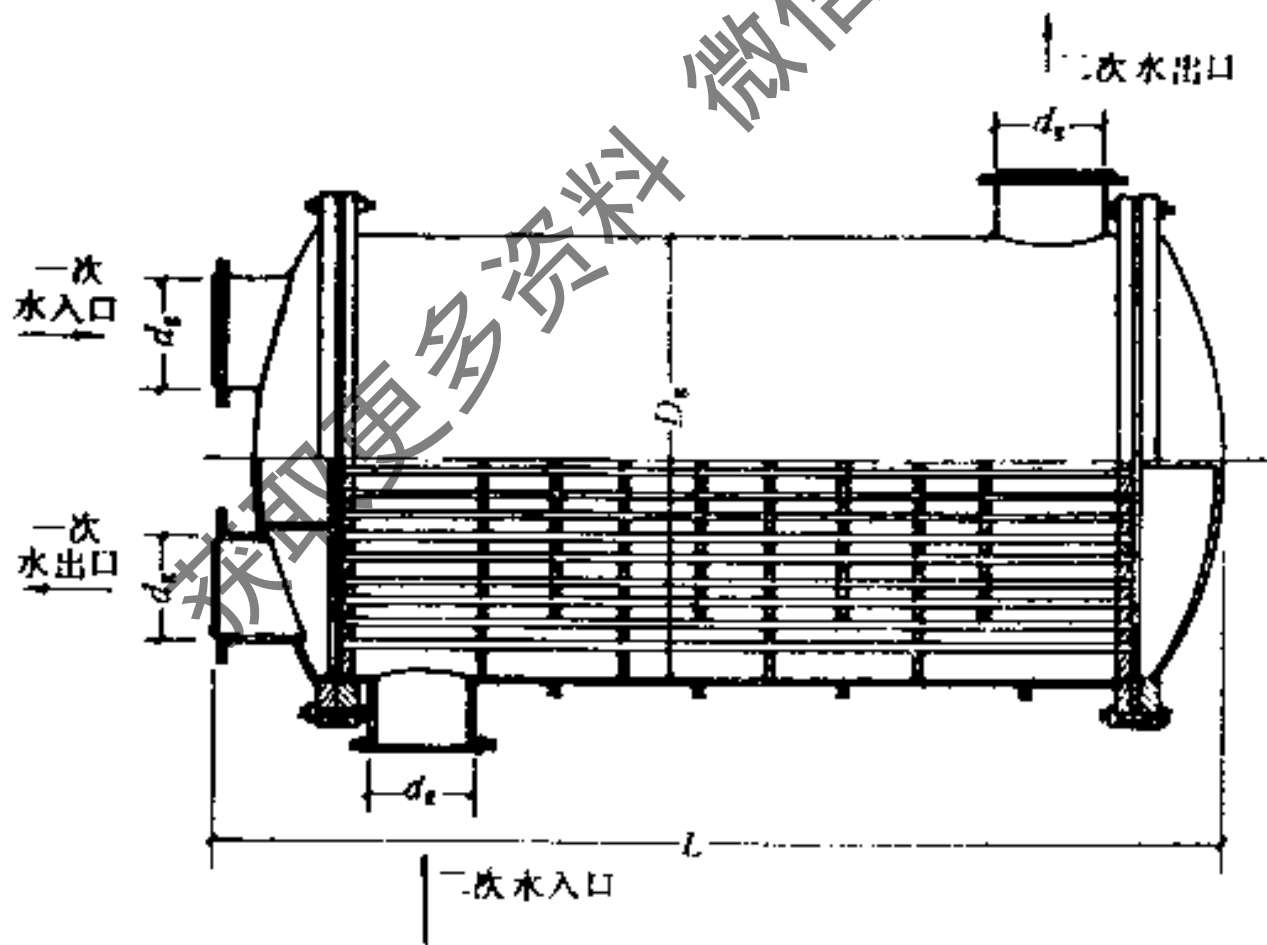
换热器性能、构造及传热系数分别见表4.4-29、图4.4-20、图4.4-21。

QCJ-SS 换热器性能参数表
QCJ-QS

表 4.4-29

参数 型号	换热量 Q (kW)	工作压力 P (MPa)	循环水量 G_w (t/h)	蒸汽量 G_s (t/h)	换 热 面 积		蒸汽侧 阻力 ΔP_s (kPa)	一次水 侧流阻 ΔP_1 (kPa)	二次水 侧流阻 ΔP_2 (kPa)
					F_{QS} (m^2)	F_{SS} (m^2)			
1	348	1.0	10	0.62	7	8	10	6	6
2	697	1.0	20	1.24	14	16	10	8	7
3	1395	1.0	40	2.48	28	32	10	8	8
4	2791	1.0	80	4.96	56	64	10	9	9
5	4186	1.0	120	7.36	84	96	12	10	11
6	6970	1.0	200	12.27	140	160	12	11	13
7	10467	1.0	300	18.40	210	240	12	12	15
8	13956	1.5	400	24.54	280	320	13	13	16
9	20934	1.5	600	36.80	420	480	15	15	20
10	27912	1.5	800	49.10	560	640	15	18	21

注：1. 表中蒸汽压力为0.8MPa；循环水温差（二次水）是按30℃计算的。
2. 本产品为机电部沈阳仪器仪表工艺研究所生产。



构造尺寸

型号	L (m)	D_s (m)	d_s (mm)	型号	L (m)	D_s (m)	d_s (mm)
1	1.5	0.4	76	6	3.1	1.2	149
2	1.7	0.5	76	7	4.0	1.4	149
3	2.1	0.6	76	8	4.4	1.6	219
4	2.1	0.9	104	9	4.9	1.8	250
5	2.9	1.0	104	10	5.6	2.0	250

图 4.4-20 QCJ-SS 换热器
QCJ-QS

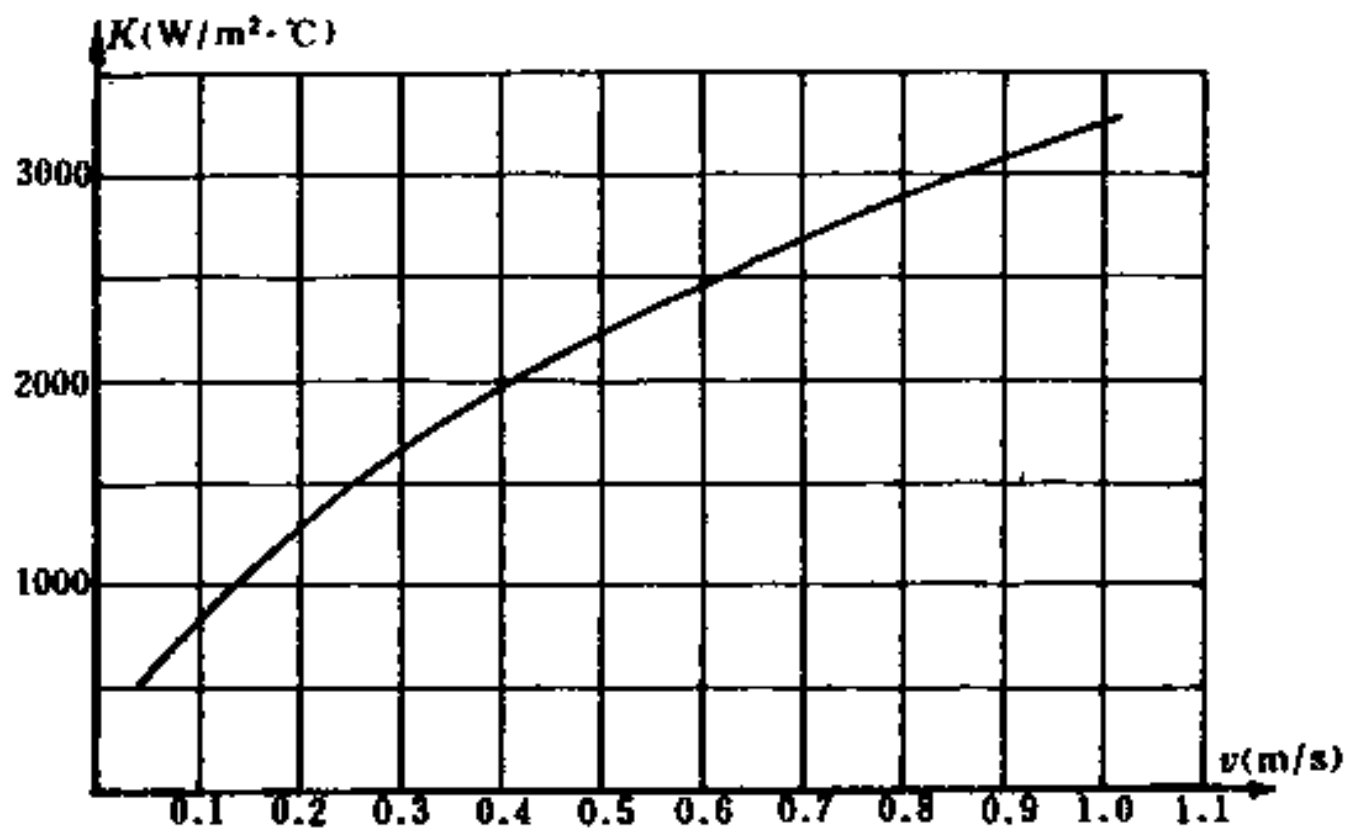


图 4.4-21 QCJ-SS 换热器传热系数 K 值
QCJ-QS

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第五章 热力网设计

5.1 供热管网热负荷

供热管网热负荷量的确定原则：

1. 用户支管：生产、工艺、供暖及通风按最大热负荷计算；生活热水用户设有贮水箱时，按供暖季生活热水平均负荷计算；无贮水箱时，按最大热负荷计算。
2. 主干管：生产、供暖及通风应按热源（包括热电站、集中锅炉房等）最大额定设计能力（热负荷）计算（不计入备用锅炉负荷）；预留发展用户的供热量，宜结合总体规划在技术经济合理和可能的条件下给予考虑。
3. 在供热管网的热负荷计算中，热损耗系数，一般可按下表选取。

管网损耗及漏损系数， K 。

表 5.1-1

管道类别	敷设方式	管网损耗及漏损系数， K 。	
		架 空	地 沟
蒸 汽 管 道		1.1~1.15	1.08~1.12
热 水 管 道		1.08~1.12	1.05~1.08

5.2 供热介质及其参数的选择

1. 供热介质

(1) 供应居住与公共建筑物的供暖、通风及生活热水热量的城市或区域供热系统，一般宜采用热水作为热介质。

供热介质为水（包括在用户转换为蒸汽）能够满足生产工艺要求，且技术经济合理时，宜采用热水作为生产供热介质。

(2) 同时供应生产与供暖、通风及生活热水热量的城市或区域供热系统，一般宜采用蒸汽作热介质。

当供暖、通风和生活热水为主要热负荷，同时生产工艺必须采用蒸汽供热时，可采用水和蒸汽两个独立的供热系统。

2. 热介质参数

(1) 热电厂为热源：设计供水温度可取 $110\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，回水温度约 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。采用一级加热供水温度取较小值；采用二级加热（包括串联尖峰锅炉）取较大值。

(2) 区域锅炉房为热源：供热规模较小时，采用 $95\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水温；供热规模较大时，应采用较高供水温度。

(3) 生活热水负荷的管网，供水温度一般不应低于下列规定：

- ①闭式系统： $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；②开式系统： $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.3 热力管道敷设

1. 管网布置

(1) 城市道路上的热力网管道一般应平行于道路中心线, 并应尽量敷设在车行道以外的地方, 一般情况下同一条管道应只沿街道的一侧敷设。

(2) 穿过厂区的城市热力网管道, 应敷设在易于检修和维护的位置。

(3) 通过非建筑区的热力网管道, 应沿公路敷设。

(4) 热力网管道选线时, 应尽量避免开土质松软地区、地震断裂带、滑坡危险地带以及地下水位高等不利地段。

(5) 管径等于或小于300mm的热力网管道, 可以穿过建筑物的地下室或自建筑物下专门敷设的通行管沟内穿过。

(6) 热力网管道可以和给水管道、电压10kV以下的电力电缆、通信电缆、压缩空气管道、压力排水管道和重油管道一起敷设在综合管沟内。但热力管道应高于给水管道和重油管道, 并且给水管道应做绝缘层和防水层。

(7) 地上敷设的城市热力网管道, 可以和其他管道敷设在一起, 但应便于检修, 且不得架设在腐蚀性介质管道的下方。

2. 管道敷设方式

一般分为地上和地下两种方式, 适用条件见表5.3-1。

管道敷设方式 表 5.3-1

序号	敷设方式	适用条件	选用要点
1	地上敷设	1. 多雨地区、地下水位高、采用有效防水措施经济上又不合理时; 2. 湿陷性大孔土或具有较强腐蚀性地段; 3. 地形复杂、标高差较大、土石方工程量大或地下障碍很多且管道种类较多时; 4. $P > 2.2\text{MPa}$ 、 $t > 350^\circ\text{C}$ 的蒸汽管道	1. 高支架 $H > 4\text{m}$ 2. 中支架 $H = 2 \sim 4\text{m}$ 3. 低支架 $H = 0.3 \sim 1\text{m}$
2	地下敷设	1. 在寒冷地区且间断运行, 因散热损失量大, 难以确保介质参数要求时; 2. 在城区对环境美观要求, 不允许地上敷设时; 3. 城市规划不允许地上敷设且不经济时	1. 通行地沟 2. 半通行地沟 3. 不通行地沟 4. 无沟直埋

地上敷设时应注意:

• 管道跨越水面、低谷地段和道路时, 可在永久性的路桥上架设。但不得在铁路桥下敷设供热管道。

• 在条件许可时, 宜沿建、构筑物敷设。

• 在不影响交通和行人的地段, 可采用低支架敷设。

• 人行交通不频繁的地方, 可采用中支架敷设。

• 当管道跨越主要干道、行人或通行车辆频繁的地区或跨越铁路和公路时, 可采用高支架敷设。

• 与铁路、公路、河流等交叉时, 应尽量垂直交叉, 特殊情况时与铁路交叉角不得小于 60° ; 与河流、公路交叉角不得小于 45° 。

- 跨越不通航的河流时，管道保温层表面与最高水位的垂直净距不应小于1.0m。
- 在架空的输电线下面通过时，管道上方应安装防护网，网的边缘应超出导线最大风偏的范围。

地下敷设时，应注意：

(1) 通行地沟

• 当供热管道沿不允许开挖的路面或供热管道较多、管径较大、管道垂直排列高度等于或大于1.5m时，宜采用通行地沟。

• 地沟内空气温度，不宜超过45℃。一般应设计自然通风或机械通风。自然通风塔可直接设在地沟上或沿建筑物设置。排风塔和进风塔必须沿地沟长度方向交替设置，其横截面积可根据换气2~3次/h和风速不大于2m/s确定。

• 每隔100~150m(不得超过200m)应设置出入口(检查孔)；当地沟为整体捣制时，在转弯处和直线段每隔200m，应设一个尺寸不小于5×0.8m安装孔。

• 地沟内应设置永久性照明，电压不应大于36V。

• 地沟沟底应有坡度，坡向宜与主要管道的坡向一致，并坡向集水坑。

• 地沟尺寸及示意图见表5.3-2、图5.3-1。

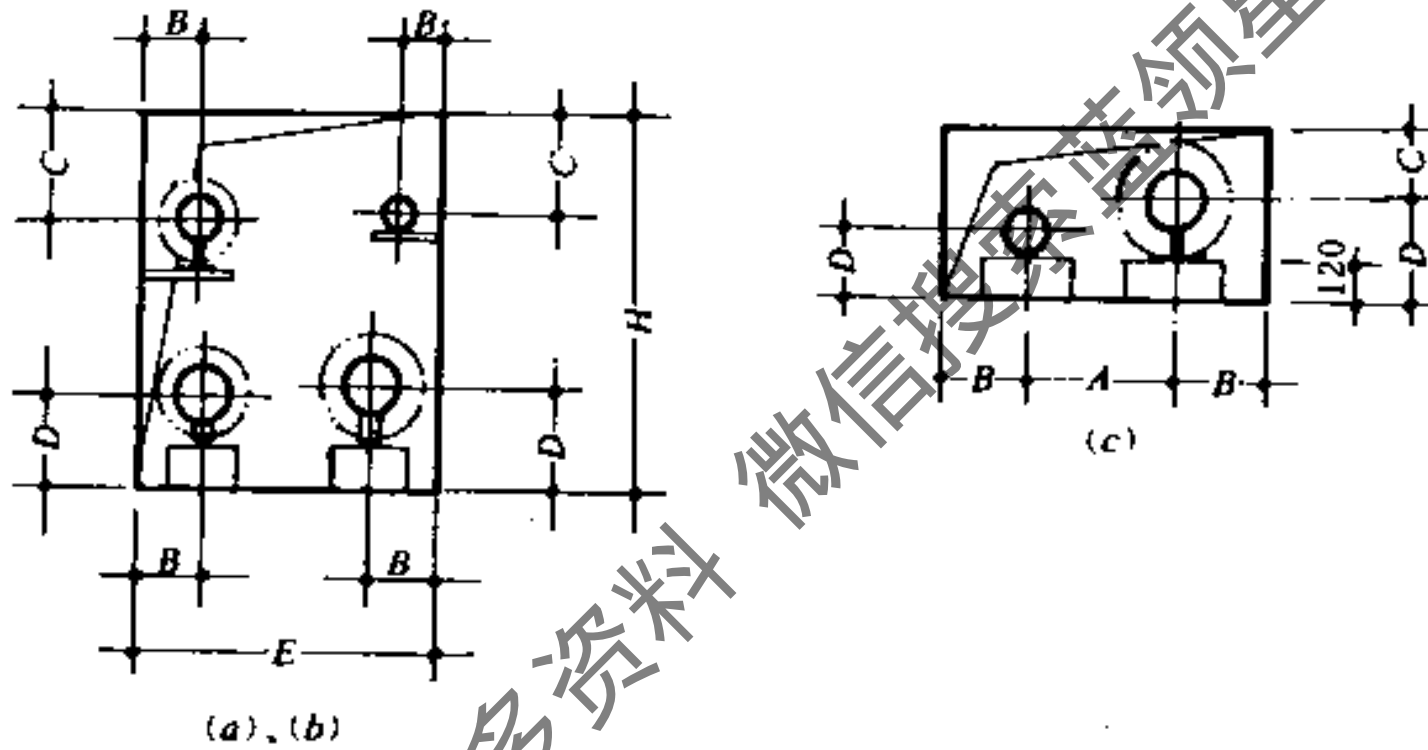


图 5.3-1 地沟尺寸示意图

(a) 通行地沟；(b) 半通行地沟；(c) 不通行地沟

(2) 半通行和不通行地沟

• 当管道根数较多、采用单排水平布置沟宽受限制，且需作一般检修工作时，宜采用半通行地沟敷设。

• 地沟内管道尽量沿沟壁一侧上下单排布置，地沟最小断面应为0.7×1.4(宽×高)m。

• 不通行地沟宽不宜超过1.5m，超过时宜用双槽；沟内管道一般应为单排水平布置。

• 地沟尺寸及示意图见表5.3-2、图5.3-1。

(3) 无沟直埋

• 对于 $D_g \leq 500\text{mm}$ 的热力管道宜采用直埋敷设，当敷设于地下水位以下时，直埋管道必须有可靠的防水层。

• 保温层应采用憎水性硬质或半硬质保温材料，并做成连续整体结构。

当具有下列情况之一时，不宜采用直埋敷设：

• 土壤的下沉性属于二级及二级以上地区；

- 回填土区；
- 等于或高于 8 度地震区；
- 原土层强弱明显不一，管道基础又不易处理时；
- 矿产开采区。

3. 无沟直埋敷设

(1) 直埋敷设类型

- 直埋有补偿——补偿器处设局部地沟
- 直埋无补偿
 - 预热
 - 不预热
- 直埋一次性补偿
 - E 膨胀带（波纹管式）
 - YTB-A 型（套管式）

(2) 直埋一次性补偿器技术参数见表 5.3-3。

(3) 直埋一次性补偿器基本计算见表 5.3-4。

(4) 管道安装预热温度差见表 5.3-5。

(5) 埋地管道沟槽尺寸，见表 5.3-6 及图 5.3-2。

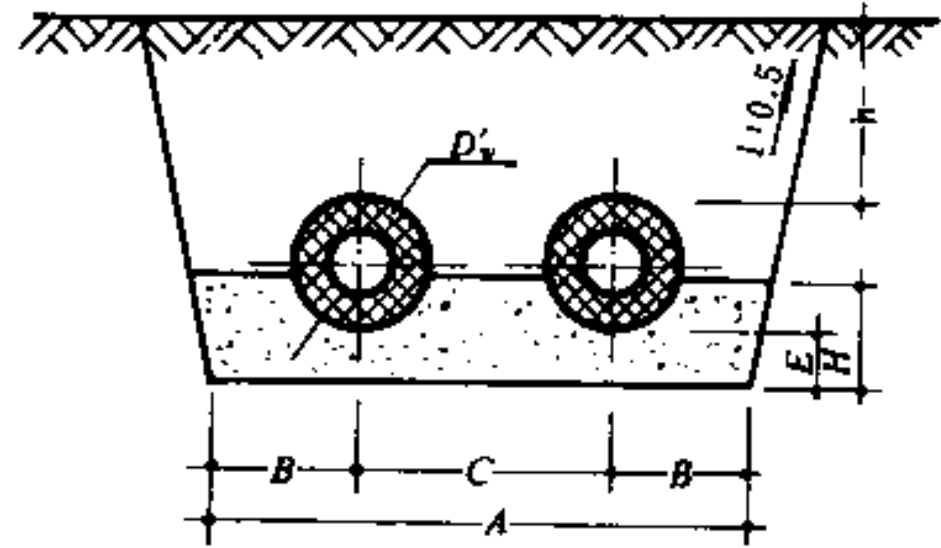


图 5.3-2 埋地管道沟槽尺寸

图中保温管底部为砂垫层，砂的最大粒度 $\geq 2.0\text{mm}$ 。

上面用砂质粘土分层夯实。

保温管套顶至地面的深度为一般干管 800~1200mm，接向用户的支管覆土深度 $\leq 400\text{mm}$

直埋一次性补偿器技术参数表

表 5.3-3

公称直径 D_n (mm)	波纹管式		套管式	
	最大补偿量 Δ (mm)	两个补偿器间 最大安装距离 L (m)	最大补偿量 Δ (mm)	两个补偿器间 最大安装距离 L (m)
25			-60+80=140	24
32	40	30	-60+80=140	30
40	45	36	-60+80=140	36
50	50	36	-60+80=140	36
65	65	48	80+100=180	48
80	70	56	-80+100=180	56
100	80	56	-80+100=180	56
125	95	72	-80+100=180	72
150	105	72	-80+100=180	72
200	120	108	-100+140=240	108
250	125	120	-100+140=240	120
300	135	144	-140+160=300	144
350			-140+160=300	144
400			-140+160=300	144
450			-140+160=300	144
500			-140+180=320	168
600			-140+200=340	192

注：上述两个补偿器间最大安装距离均为补偿器安装在固定支架管段中间的浮动式布置方式。

直埋一次性补偿器基本计算表

表 5.3-4

序号	名称	计算公式	备注
I	1. 供水温度 t_1 (°C)	$t_1 = 115.95$	
	2. 回水温度 t_2 (°C)	$t_2 = 70$	
II	一次性补偿预热温度		
	3. 预热温度 t_y (°C)	$t_y = t_1 - \frac{98(\sigma_t + \mu\sigma_{tan})}{Ea}$	
	4. 有压时允许最低温度 t_{min} (°C)	$t_{min} = t_y - \frac{98(\sigma_t - \mu\sigma_{tan})}{Ea}$	
	5. 无压时允许最低温度 t'_{min} (°C)	$t'_{min} = t_y - \frac{98 \cdot \sigma_t}{Ea}$	
	6. 环向应力 σ_{tan} (MPa)	$\sigma_{tan} = \frac{P_0 \cdot D_n}{2 \cdot s}$	
	7. 泊桑应力 $\mu\sigma_{tan}$ (MPa)	$\mu\sigma_{tan} = 0.3\sigma_{tan}$	
	III	补偿器安装距离 (距固定支架距离):	
8. 最大安装距离 L (m)		$L = \frac{98(\sigma_t + \mu\sigma_{tan})f - P_c}{P_1^{max}}$	
9. 最大土壤摩擦力 P_1^{max} (N/m)		$P_1^{max} = 387.8 \times D'_w$	
IV	覆土深度: 防止垂直失稳的最小覆土深度 h (cm)	$h = \frac{(1.5 \sim 2)q - G}{D'_w \rho_B}$	一般保温顶部覆土深度 $h = 800 \sim 1200$ cm

表中公式符号:

σ_t ——热胀二次应力, (热胀当量应力), MPa;

$$\sigma_t < 1.2[\sigma]^{II} + 0.2[\sigma] = 1.2 \times 126.7 + 0.2 \times 126.7, \sigma_t < 177.38 \text{MPa};$$

E ——钢材的弹性模数, MPa;

a ——钢材的线膨胀系数, $m/(m \cdot ^\circ C)$;

μ ——泊桑系数, $\mu = 0.3$;

P_0 ——供热系统工作压力, MPa;

D_n ——管子内径, mm(cm);

s ——管壁厚度, mm(cm);

f ——管壁断面积, cm^2 ;

P_c ——套管式补偿器的摩擦力或波纹管式补偿器的弹性力, N;

D'_w ——管道保温层外径, mm, cm;

q ——管道自重 (包括管材、介质及保温) 及管上部土重之和, kg/cm ;

G ——管道自重 (包括管材、介质及保温在内), kg/cm ;

ρ_B ——土壤密度 (按松土取 0.0015), kg/cm^3 。

管道安装预热温度差 (°C)

表 5.3-5

公称直径 DN(mm)	$t_1 - t_2$ (°C)										$t_2 - t_{min}$ (°C)										$t_2 - t_{min,2}$ (°C)	
	P_0 0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3 (MPa)	P_0 0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3 (MPa)		
25																						
32																						
40																						
50																						
65																						
80																						
100																						
125																						57.54
150																						
200																						
250																						
300																						
350																						
400																						
500																						
600																						

注：• 表中预热温度差，设计波动范围为 0.25°C。

• $t_2 - t_1 = (t_1 - t_2) + 0.25^\circ\text{C}$ 、 $t_{min} = t_2 - (t_2 - t_{min}) + 0.25^\circ\text{C}$ 、 $t_{min,2} = t_2 - (t_2 - t_{min,2})^\circ\text{C}$ 。

• 制表时取 $\sigma = 145\text{MPa}$ 。

埋地管道沟槽尺寸

表 5.3-6

公称直径DN(mm)	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
保温管外径D _w (mm)	96	110	110	140	140	160	200	225	250	315	365	420	500	550	630	655	760	
沟槽尺寸 (mm)	A	800	800	800	800	800	1000	1000	1000	1240	1240	1320	1500	1500	1870	1870	2000	
	B	250	250	250	250	250	300	300	300	360	360	360	400	400	520	520	550	
	C	300	300	300	300	300	300	400	400	400	520	520	600	700	700	830	830	900
	E	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150	150
	H	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	300	300	300	300	300	300

5.4 供热系统

5.4.1 供热系统的选择

1. 考虑远近结合，以近期为主。应有与城市或区域供热管网相联结的可能。

2. 供热管道的输送距离（即供热半径）：蒸汽管网一般不大于4km；热水管网一般不宜超过10km。

3. 对不允许中断供热的用户，应考虑由两个热源供应，热网干线间宜连通，有条件时，热网干线可连成环状管网。

4. 热水供暖热网设计，应与热源及用户系统统一考虑，一般宜采用供水温度不小于110℃高温水系统。

5. 热水供暖管网回水温度，应通过技术经济比较后确定。同时，应注意计算循环水泵吸入侧的最低允许压力，如表5.4-9所示。

5.4.2 供热调节

1. 热源对热水供暖供热系统进行调节的方法（如表5.4-1所列）

表 5.4-1

序号	名称	计算公式	调节方法和特点
1	量调节	$\bar{G} = \frac{t'_g - t'_h}{t_g - t_h} \bar{Q}$ $t_g = \text{定值}$ $t_h = 2t_n + (t'_g + t'_h - 2t_n) \times \bar{Q}^{\frac{1}{1+B}} - t'_g$	1. 供水温度不变，改变水流量； 2. 节省电耗，但由于室外温度的改变而改变热网流量，将会使热用户系统水力失调
2	质调节	$G = G' = \text{定值}$ $t_g = t_n + \Delta t'_g \cdot \bar{Q}^{\frac{1}{1+B}} + 0.5 \Delta t'_g \bar{Q}$ $t_h = t_n + \Delta t'_g \bar{Q}^{\frac{1}{1+B}} - 0.5 \Delta t'_g \bar{Q}$	1. 循环水量不变，仅改变供回水温度； 2. 网路水力稳定性好，运行管理方便，由于水量不变，增加电耗；当水温过低时，对暖风机系统和热水供应系统均不利
3	阶式质-量综合调节	$t_g = t_n + \Delta t'_g \cdot \bar{Q}^{\frac{1}{1+B}} + 0.5 \frac{\Delta t'_g}{\phi} \bar{Q}$ $t_h = t_n + \Delta t'_g \bar{Q}^{\frac{1}{1+B}} - 0.5 \frac{\Delta t'_g}{\phi} \bar{Q}$ $G = \phi \cdot G' \text{ 在每一区段保持定值}$	1. 供水温度变化的同时，热网水流量也发生阶段变化（介于质调与量调之间）； 2. 具有上两种方式的优点，可以满足最佳工况要求
4	间歇调节	$n = 24 \frac{t_n + t_w}{t_n - t_w}$	1. 在供暖初期或末期，不改变热网水流量和供水温度，而改变每天的供热时数来调节供热量； 2. 建筑物（用户）应有较好的蓄热能力

上表公式中符号：

t_g, t_h ——网路供、回水温度，℃；

t_n, t_w ——供暖室内、外温度，℃；

\bar{Q} ——相对热量比， $\bar{Q} = \frac{t_n - t_w}{t_n - t'_w}$ ；

\bar{G} ——相对流量比， $\bar{G} = \frac{G}{G'}$ ；

ϕ ——相对流量比， $\phi = \bar{G}$ ，每一区保持不变；

G ——网路循环水量，t/h；

B ——由实验确定的散热器系数， $B = 0.14 \sim 0.37$ ；

$\Delta t'_g$ ——用户散热器的设计平均计算温差，℃， $\Delta t'_g = 0.5(t'_g + t'_h - 2t_n)$ ；

$\Delta t'_h$ ——用户设计供、回水温差，℃， $\Delta t'_h = t'_g - t'_h$ ；

n ——每天工作总时数，h/d。

符号右上角带（'）的是指设计工况下的参数，带（ $\bar{}$ ）的是指采用间歇调节时的参数。

2. 供热调节水温曲线图（图5.4-1~4）

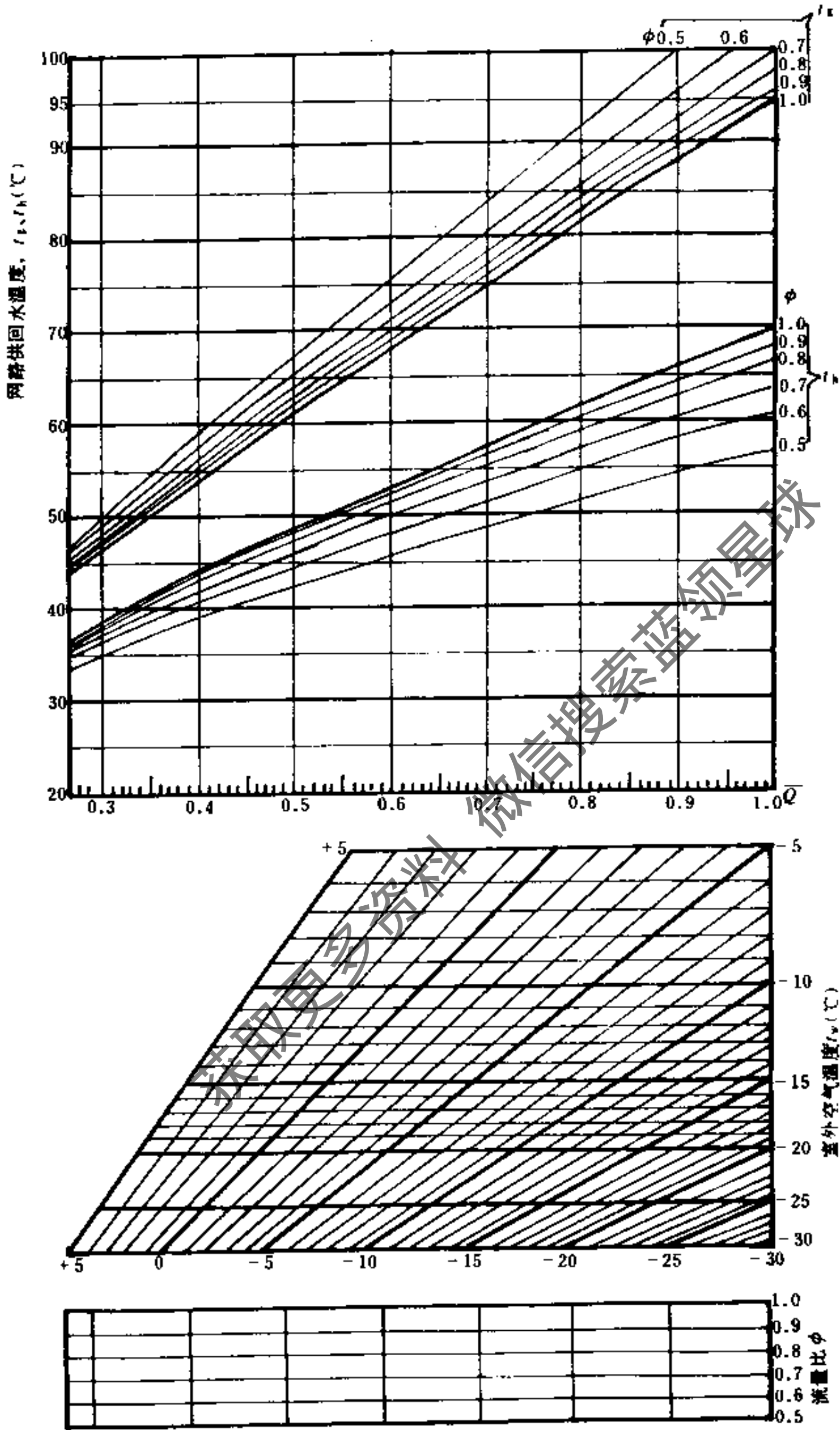


图 5.4 1 95/70°C 质调节、阶式质量综合调节曲线图

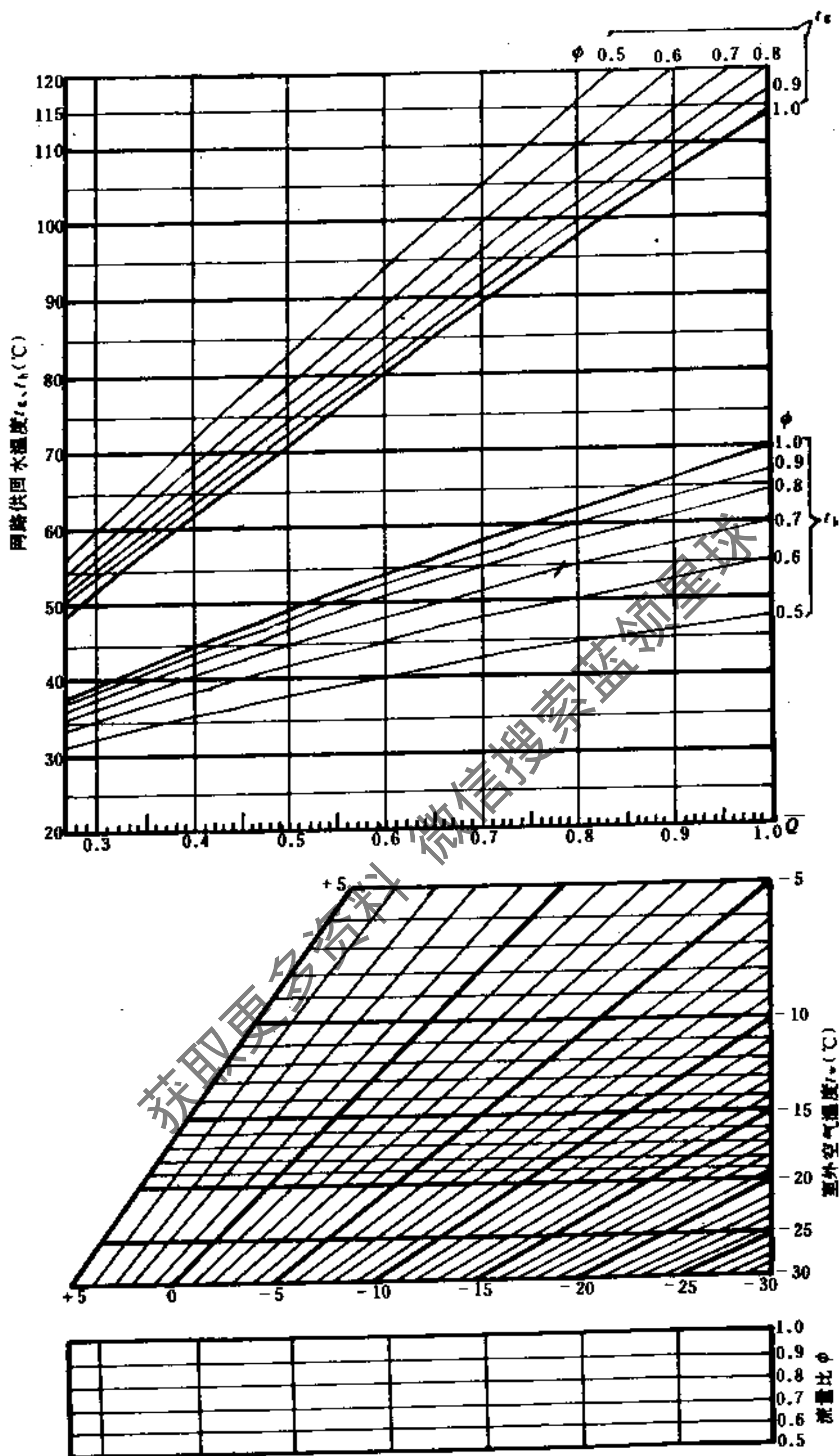


图 5.4-2 115/70°C 质调节、阶式质-量综合调节曲线图

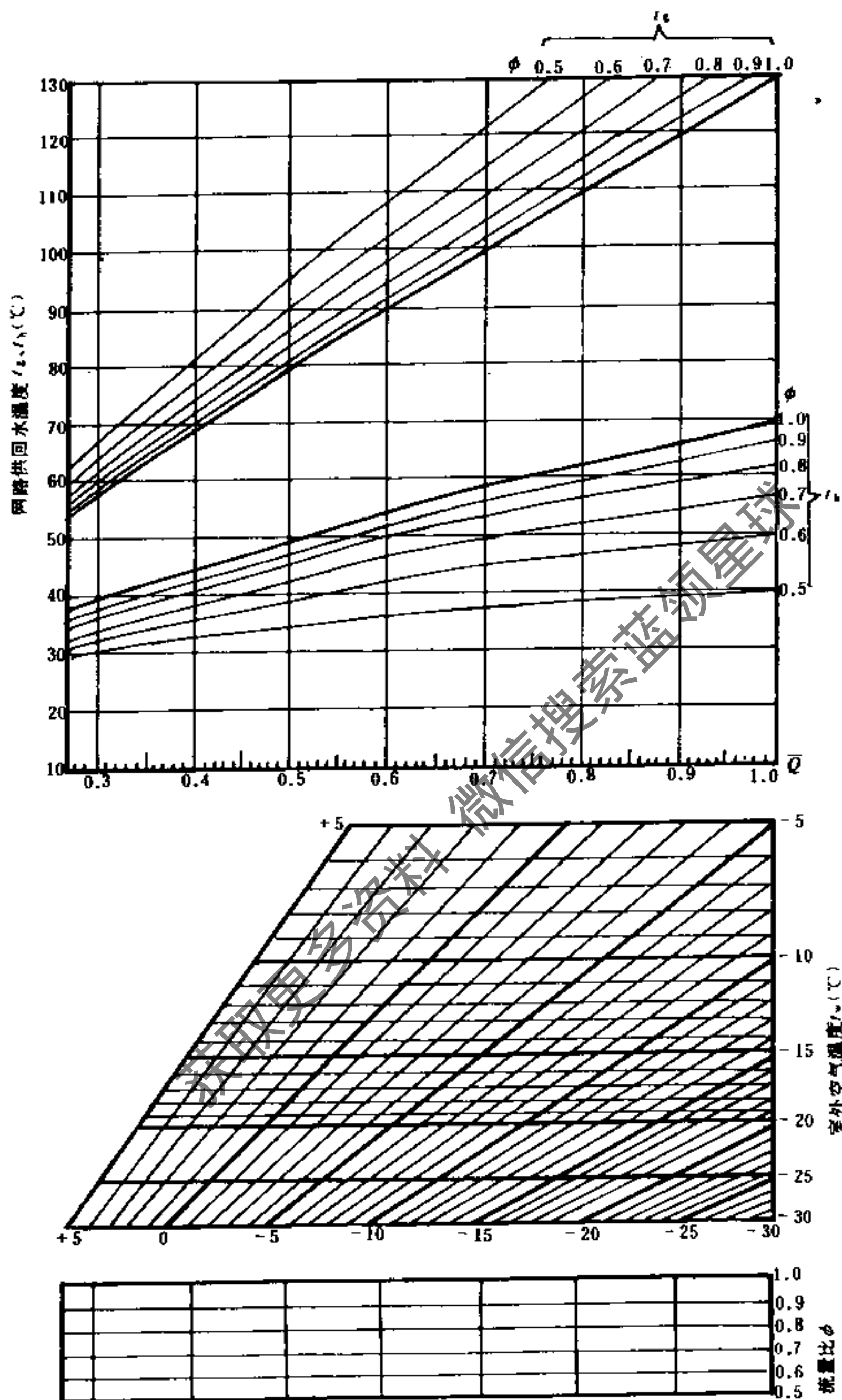


图 5.4-3 130/70°C 质调节、阶式质-量综合调节曲线图

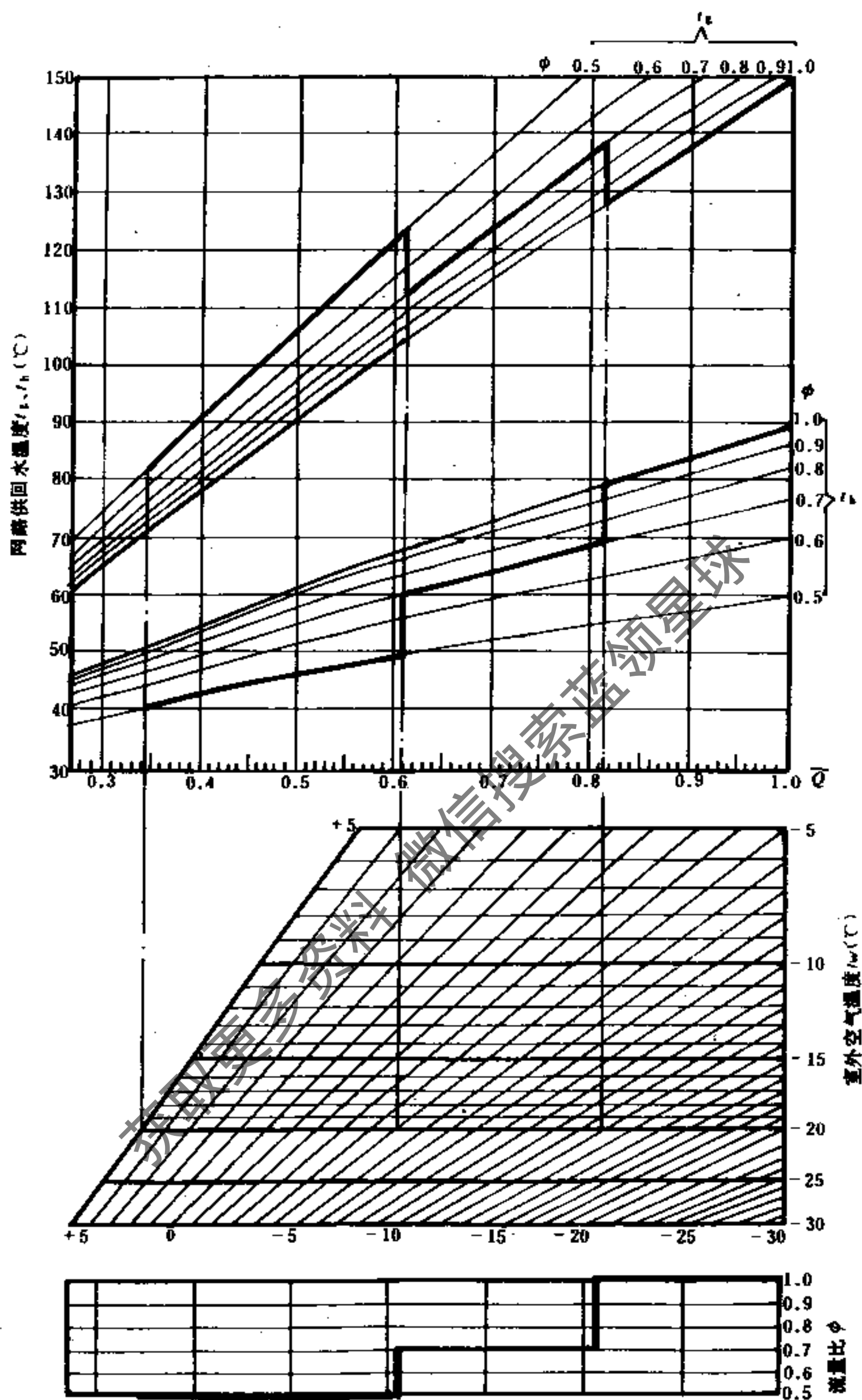


图 5.4-4 150/90°C 质调节、阶式质-量综合调节曲线图

注：编制条件：

$t_s/t_h = 95/70、115/70、130/70、150/90^{\circ}\text{C}$ ；

$B = 0.25$ ；

$\phi = 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0$ ；

$t_w = -5 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 。

3.图解法与计算法比较示例

某地冬季采暖室外计算温度 $t_w = -20^\circ\text{C}$ ，网络供回水温度为 $t_g = 150^\circ\text{C}$ ， $t_h = 90^\circ\text{C}$ 。采用三阶段阶式质量综合调节方案，分阶的室外气温为 -12.5°C 及 -5°C ，三阶段的流量比 ϕ 取1.0、0.7、0.5(示例见图5.4-4)。

图解法和计算法的有关数值比较表

表 5.4-2

室外气温 t_w ($^\circ\text{C}$)	+5 $^\circ\text{C}$		5 $^\circ\text{C}$				-12.5 $^\circ\text{C}$				-20 $^\circ\text{C}$
	图解	计算	图解	计算	图解	计算	图解	计算	图解	计算	—
流量比 ϕ	0.5		0.5		0.7		0.7		1		1
供水温度 t_g ($^\circ\text{C}$)	81.5	81.77	123	122.56	112.5	112.18	138	137.98	128	127.66	150
回水温度 t_h ($^\circ\text{C}$)	40.5	40.73	50	49.92	60.50	60.30	70	69.18	80	79.50	90
相对热量比	0.342	0.342	0.606	0.6053	—	—	0.80	0.8026	—	—	1.0

由上表数值比较看采用图解法有足够的精度。

5.4.3 蒸汽供热系统

蒸汽供热系统，一般采用合管输送系统。根据用汽参数要求，分别在热力入口处设置减压装置(见图5.4-5)或减温减压装置(见图5.4-6)。

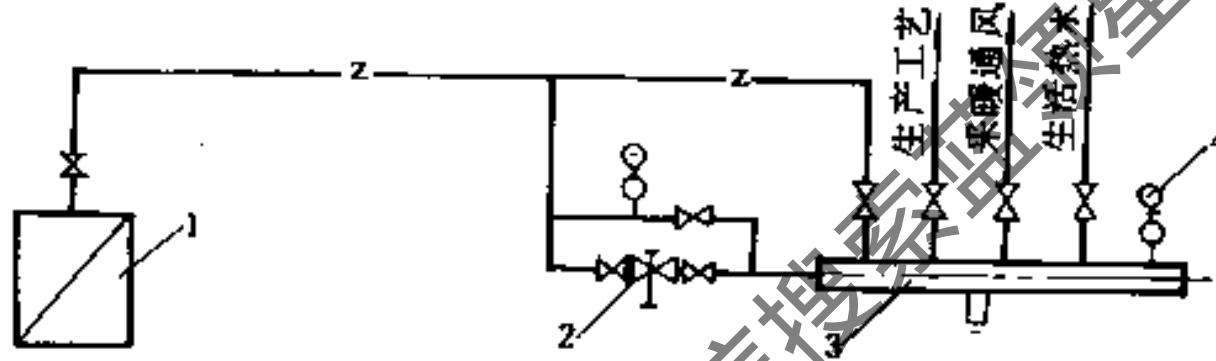


图 5.4 5 蒸汽供热系统

1—锅炉；2—减压装置；3—分汽缸；4—压力表

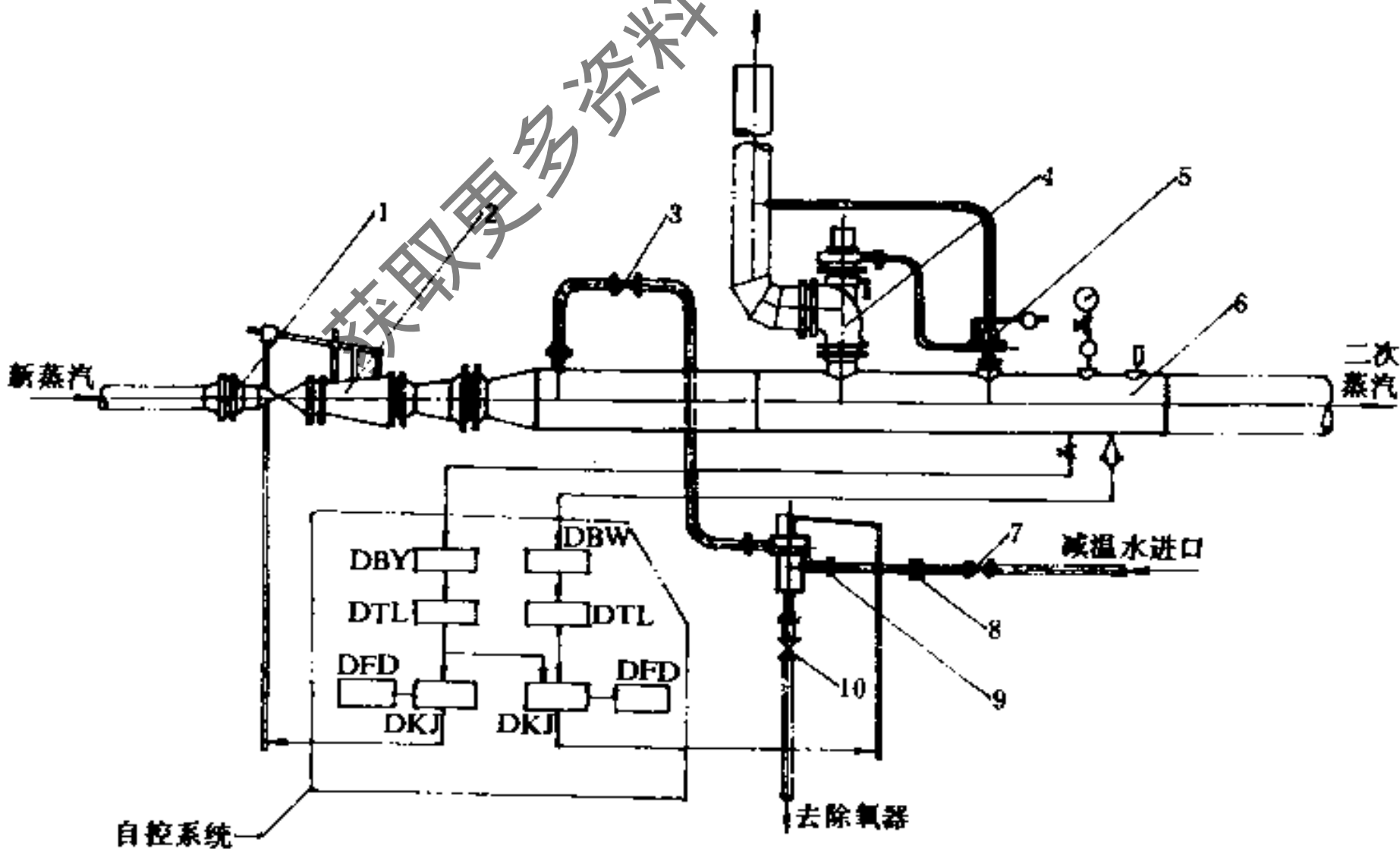


图 5.4 6 减温减压装置系统

1—孔板；2—减压阀；3—止回阀；4—主安全阀；5—冲量安全阀；6—蒸汽混合管；7—截止阀；8—节流孔板；9—给水分配阀；10—节流阀

蒸汽供热系统辅助装置:

1. 减温减压装置 (见图5.4-6与表5.4-3)

减温减压装置系列表

表 5.4-3

流量 (t/h)	二次蒸汽参数及主要装置					新蒸汽参数及主要装置 p_1 (MPa), t_1 (°C)									
						p_1	t_1	p_1	t_1	p_1	t_1	p_1	t_1	p_1	t_1
						1.3	300	1.6	350	2.5	375	3.2	400	3.9	450
压力 (MPa)	温度 (°C)	管径 DN	安全阀		减压阀 DN	分配阀 DN	减压阀 DN	分配阀 DN	减压阀 DN	分配阀 DN	减压阀 DN	分配阀 DN	减压阀 DN	分配阀 DN	
			规格 DN	数量											
5	0.02~0.1	130	250	150	1	80	20	80	20	80	20				
	0.2	160	200	150	1	80	20	80	20	80	20				
	0.4	180	150	50×2	1	80	20	80	20	80	20				
	0.7	190	150	50×2	1	80	20	80	20	80	20				
10	0.02~0.1	130	350	200	1	150	20	100	20	100	20	80	20	80	20
	0.2	160	250	200	1	150	20	100	20	100	20	80	20	80	20
	0.4	180	200	150	1	150	20	100	20	100	20	80	20	80	20
	0.7	190	200	150	1	150	20	100	20	100	20	80	20	80	20
	1.0	250	150	50×2	1			100	20	100	20	80	20	80	20
15	0.02~0.1	130	500	250	1	150	20	150	20	100	20	100	20	100	20
	0.2	160	300	200	1	150	20	150	20	100	20	100	20	100	20
	0.4	180	250	200	1	150	20	150	20	100	20	100	20	100	20
	0.7	190	200	150	1	150	20	150	20	100	20	100	20	100	20
	1.0	250	200	150	1			150	20	100	20	100	20	100	20
	1.3	300	200	150	1					100	20	100	20	100	20
20	0.02~0.1	130	500	250	1	150	20	150	20	150	20	150	20	100	20
	0.2	160	350	250	1	150	20	150	20	150	20	150	20	100	32
	0.4	180	300	200	1	150	20	150	20	150	20	150	20	100	32
	0.7	190	250	150	1	150	20	150	20	150	20	150	20	100	32
	1.0	250	200	150	1			150	20	150	20	150	20	100	20
	1.3	300	200	150	1							150	20	100	20
	1.5	370	200	150	1							150	20	100	20
30	0.02~0.1	130	600	250	2	200	32	200	32	150	32	150	32	150	32
	0.2	160	400	250	1	200	20	200	32	150	32	150	32	150	32
	0.4	180	350	250	1	200	20	200	32	150	32	150	32	150	32
	0.7	190	300	200	1	200	20	200	32	150	32	150	32	150	32
	1.0	250	250	200	1			200	20	150	20	150	32	150	32
	1.3	300	250	150	1					150	20	150	20	150	20
	1.5	370	250	150	1							150	20	150	20

续表

流 量 (t/h)	二次蒸汽参数及主要装置					新蒸汽参数及主要装置 p_1 (MPa), t_1 (°C)									
						p_1	t_1	p_1	t_1	p_1	t_1	p_1	t_1	p_1	t_1
	压 力 (MPa)	温 度 (°C)	管 径 DN	安 全 阀 规格 DN	数 量	减 压 阀 DN	分 配 阀 DN	减 压 阀 DN	分 配 阀 DN	减 压 阀 DN	分 配 阀 DN	减 压 阀 DN	分 配 阀 DN	减 压 阀 DN	分 配 阀 DN
40	0.02~0.1	130	700	250	2	250	32	200	32	200	32	150	50	150	50
	0.2	160	500	250	2	250	32	200	32	200	32	150	50	150	50
	0.4	180	400	250	1	250	32	200	32	200	32	150	32	150	50
	0.7	190	300	200	1	250	32	200	32	200	32	150	32	150	50
	1.0	250	300	200	1			200	20	200	32	150	32	150	32
	1.3	300	300	200	1					200	20	150	20	150	32
	1.5	370	300	200	1							150	20	150	20
60	0.02~0.1	130	800	250	3					200	50	200	50	200	50
	0.2	160	600	250	2					200	50	200	50	200	50
	0.4	180	500	250	2					200	50	200	50	200	50
	0.7	190	400	250	1					200	50	200	50	200	50
	1.0	250	350	250	1					200	32	200	50	200	50
	1.3	300	350	200	1					200	20	200	32	200	32
	1.5	370	350	200	1							200	20	200	20
80	0.02~0.1	130	1000	250	4					250	80	250	80	200	80
	0.2	160	700	250	3					250	50	250	80	200	80
	0.4	180	600	250	2					250	50	250	80	200	80
	0.7	190	500	250	1					250	50	250	80	200	80
	1.0	250	400	250	1					250	50	250	50	200	50
	1.3	300	400	250	1					250	32	250	32	200	50
	1.5	370	400	250	1							250	20	200	32
120	0.02~0.1	130	1200	250	5									250	80
	0.2	160	800	250	4									250	80
	0.4	180	700	250	3									250	80
	0.7	190	600	250	2									250	80
	1.0	250	500	250	2									250	80
	1.3	300	500	250	1									250	50
	1.5	370	500	250	1									250	32

(1) 减温减压装置计算公式见表5.4-4。

(2) 选用和安装减温减压装置时, 应注意如下各点:

减温减压装置计算公式表

表 5.4-4

序号	项 目	计 算 公 式	备 注
1	蒸汽量	$D_1 = D \left(\frac{i_2'' - i_B}{i_1'' - i_B} \right)$	
2	减温耗水量	$G \approx D - D_1$	
3	减压阀通道截面	当 $p_2/p_1 < 0.546$ 时, $f = \frac{D_1}{0.0752\mu \sqrt{\frac{10p_1}{V_1}}}$ 当 $p_2/p_1 > 0.546$ 时: $f = \frac{D_1}{0.256 \sqrt{\frac{10p_1}{V_1} \left[\left(\frac{10p_2}{V_1} \right)^{1.54} - \left(\frac{10p_2}{V_1} \right)^{0.71} \right]}}$	所需减压阀直径也可查图5.4-7。
4	减温减压后二次蒸汽管道断面	$F_2 = \frac{D \cdot V_2}{3.6W_2}$	
5	减温水管道断面	$F_3 = \frac{1.1G}{3600 \rho_w W_w}$	
6	安全阀通道面积	$F_s = \frac{D}{0.0572\mu \sqrt{\frac{10p_1}{V_1}}}$	也可用图5.4-8查得所需安全阀直径; μ —系数,一般取0.85

上表式中符号:

D ——减温减压装置出力,即减温减压后的二次蒸汽量, t/h;

D_1 ——新蒸汽量,即送入减温减压装置的一次蒸汽量, t/h;

G ——减温水消耗量, t/h;

i_1'' 、 i_2'' ——减温减压装置前、后的蒸汽热焓, kJ/kg;

i_B ——减温水热焓, kJ/kg;

f ——减压阀通道断面, cm^2 ;

p_1 、 p_2 ——减压阀前、后的蒸汽压力, MPa;

V_1 ——减压阀前新蒸汽的比容, m^3/kg ;

μ ——流量系数,小流量时 $\mu=0.7$;大流量时 $\mu=0.9$,平均为 $\mu=0.8$;

F_2 ——减温减压后二次蒸汽管道断面, m^2 ;

V_2 ——减温减压后的二次蒸汽比容, m^3/kg ;

W_2 ——蒸汽流速,一般取30~50m/s;

F_3 ——减温水管道断面, m^2 ;

ρ_w ——减温水密度,如减温水温为104℃时, $\rho_w=0.958\text{t}/\text{m}^3$;

W_w ——减温水流速,宜采用 $W_w=1.5\sim 2\text{m}/\text{s}$;

F_s ——安全阀通道断面, cm^2 。

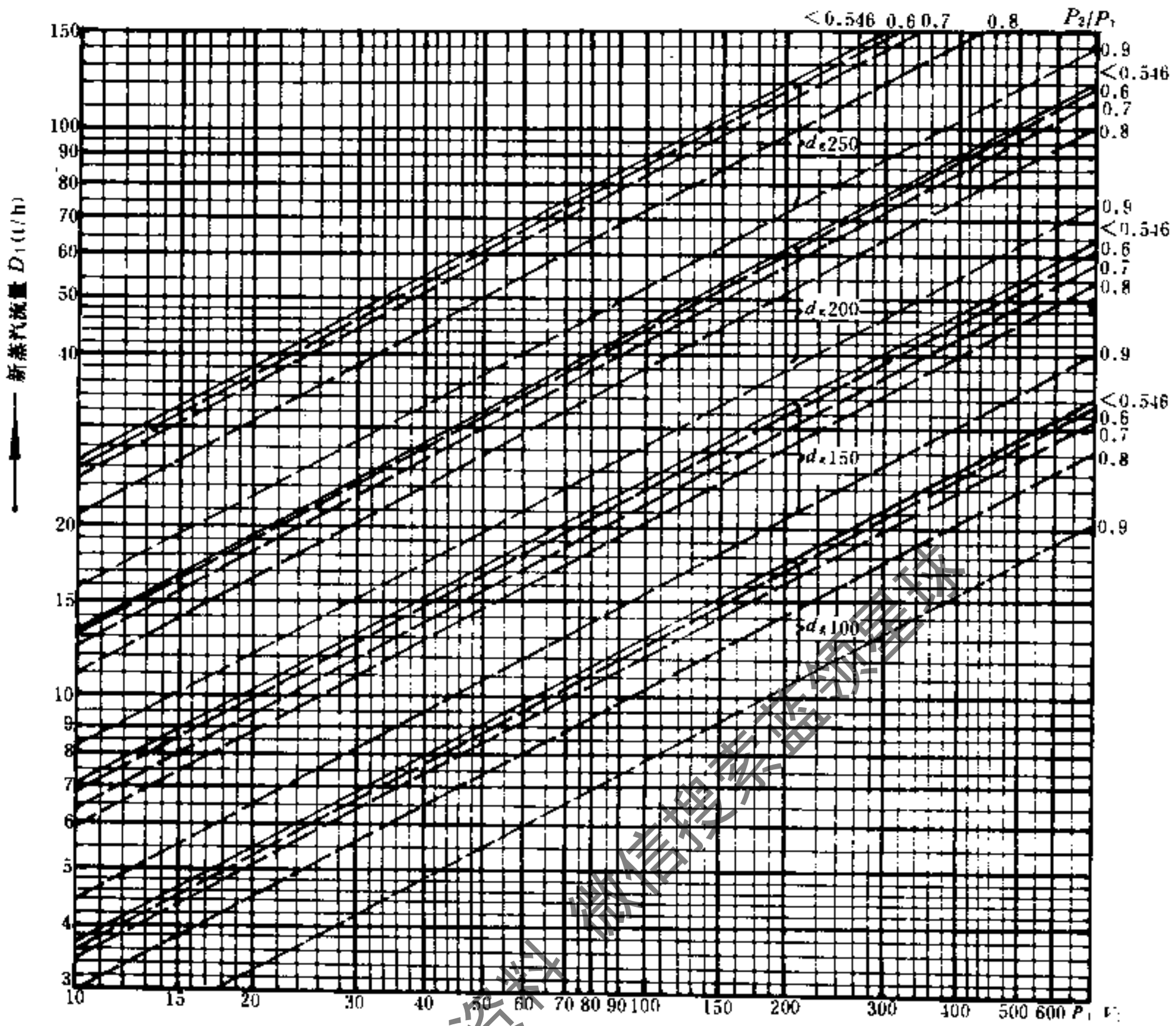


图 5.4.7 减压阀选择图

当 $p_2/p_1 < 0.546$ 时，用实线；当 $p_2/p_1 > 0.546$ 时，用虚线

- 最低允许负荷应为额定出力（流量）的50%；
- 二次蒸汽温度最小应有30℃以上的过热度；
- 减温水的进口温度最好为104℃；
- 减温水进口压力比二次蒸汽压力高1.5MPa；
- 减温减压装置安全阀的下面应装设一个固定支架，在减压阀和二次蒸汽管的末端应分别装设滑动支架；
- 一次蒸汽管和本装置最低处，应装设疏水装置，蒸汽入口和本装置连接处应装设补偿器。

2. 分汽缸

(1) 分汽缸筒身直径 d_f (m)：

$$d_f = 0.595 \sqrt{\frac{D_2}{W_2 \cdot \rho_2}} \quad (5.4-1)$$

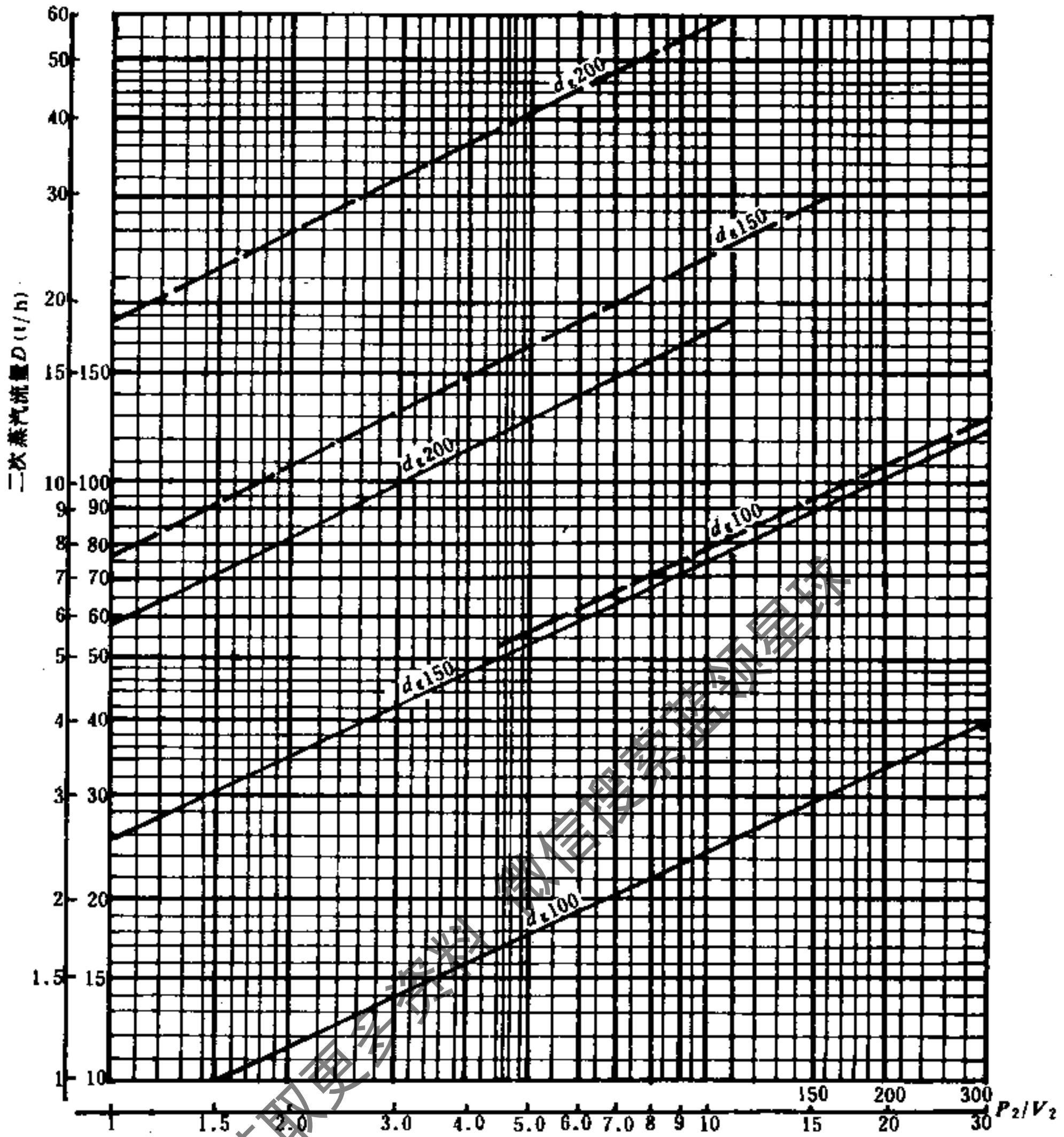


图 5.4-8 安全阀选择图

当 $P_2/V_2 > 10$ 时, 采用实线; 当 $P_2/V_2 < 10$ 时, 采用虚线

式中 D_2 ——通过分汽缸的蒸汽总流量, t/h;

W_z ——筒身蒸汽流速, m/s, 一般可取 10~15 m/s;

ρ_z ——蒸汽密度, kg/m³。

0.6 MPa 以下的蒸汽分汽缸筒身直径, 也可参照表 5.4-5 估算选用。

(2) 进汽管蒸汽流速, 一般取 30~40 m/s。

(3) 分汽缸尺寸可参照表 5.4-6 和图 5.4-9 选取。

(4) 当设计接管直径和数量与图 5.4-9 不符时分汽缸应根据表 5.4-7 另行设计。

3. 蒸汽管道的放水和排气

(1) 在蒸汽管网中, 需设置固定的放水管, 以排除管网中的凝结水; 在水压试验时, 为了放出管网中的空气而装临时放气管。

分汽缸估算表

表 5.4-5

分汽缸 直径 ($\phi \times \delta$)	蒸汽压力 (MPa)						
	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
	蒸汽量, D_2 (kg/h)						
$\phi 219 \times 6$	960	1260	1830	2400	2980	3550	4050
$\phi 273 \times 7$	1500	1960	2850	3750	4650	5500	6300
$\phi 325 \times 8$	2170	2840	4130	5430	6700	8000	9100
$\phi 426 \times 9$	3850	5050	7300	9700	12000	14200	16200
$\phi 478 \times 9$	4850	6350	9200	12200	15000	17800	20400

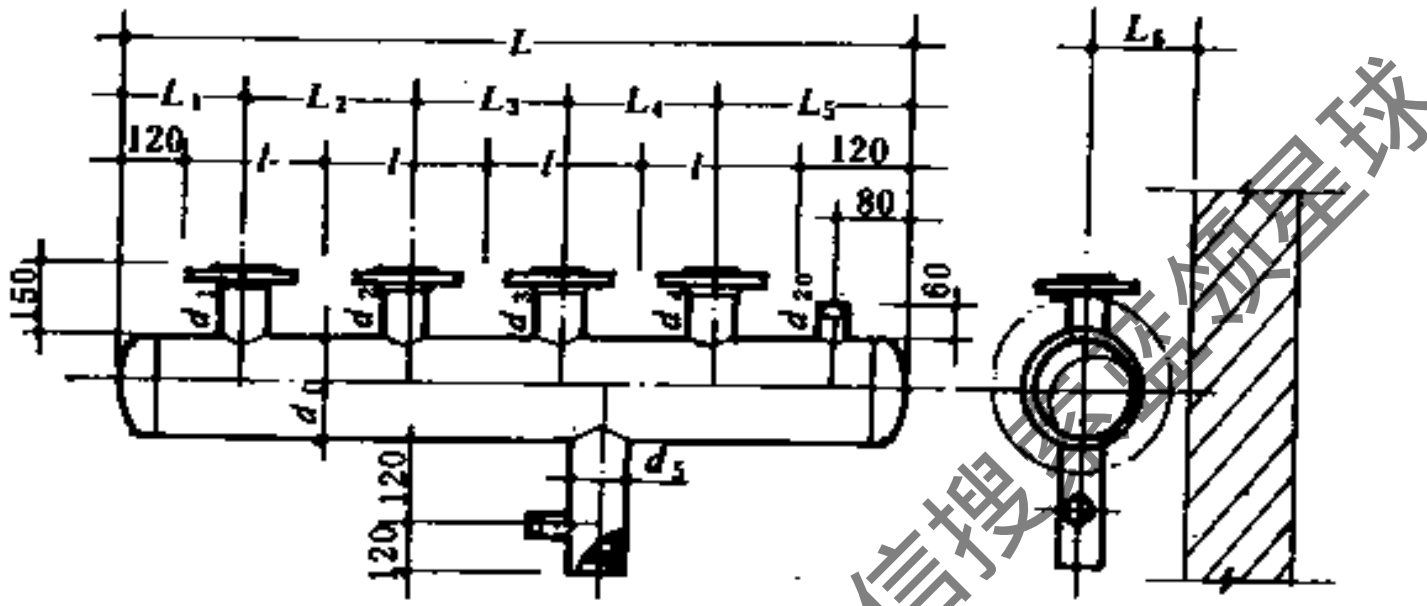


图 5.4-9 分汽缸尺寸图

分汽缸尺寸表 (一)

表 5.4-6

编号	规格		接管直径				尺寸 (mm)					
	d_1 ($\phi \times \delta$)	L	d_1	d_2	d_3	d_4	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
1	$\phi 219 \times 6$	1385	50	50	40	25	250	260	255	250	250	250
2		1435	65	65	50	32	260	280	270	255	250	250
3		1495	80	80	50	40	275	310	285	255	250	250
4		1560	100	100	65	40	285	330	305	265	255	250
5		1655	125	125	80	40	300	360	335	280	260	250
6	$\phi 273 \times 7$	1780	150	150	100	50	315	390	360	295	270	300
7	$\phi 325 \times 8$	1970	200	200	125	50	350	460	410	310	280	320
8	$\phi 426 \times 9$	2180	250	250	150	50	385	530	460	325	300	360
9	$\phi 478 \times 9$	2470	300	300	200	65	420	600	530	370	350	400

注: d_5 见表 5.4-7。

分汽缸尺寸表(二)

表 5.4-7

d_{1-4}	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	
d_t	$\phi 219 \times 6$								$\phi 273 \times 7$	$\phi 325 \times 8$	$\phi 426 \times 9$	$\phi 478 \times 9$	
l	250		260	280	310	330	360	390	460	530	600		
L	$L = \sum l + 240$												
d_s	$\phi 108 \times 4$								$\phi 133 \times 4$	$\phi 159 \times 4.5$	$\phi 219 \times 6$	$\phi 219 \times 6$	

(2) 在蒸汽管网中的最高点应安装放气管; 在最低点、垂直上升管前、直线蒸汽管顺坡时每400~500m处, 逆坡时每200~300m处, 以及阀门前都应装放水阀, 如图5.4-10所示。

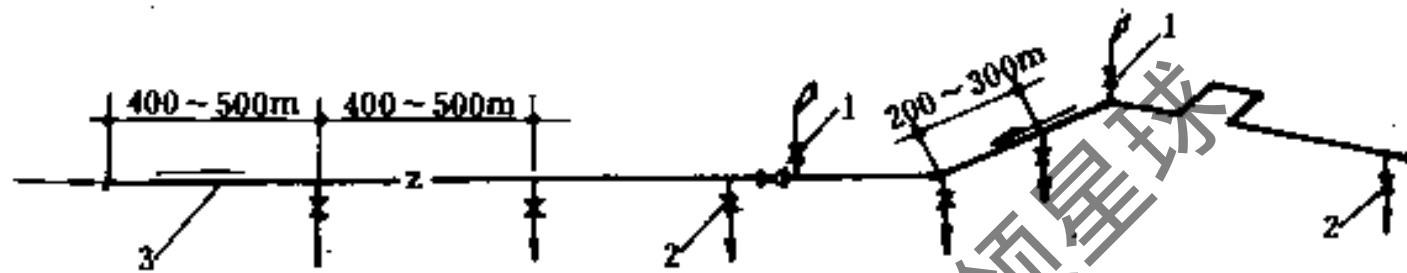


图 5.4-10 蒸汽管网的放水、放气

1—放气阀; 2—放水阀; 3—蒸汽管网

5.4.4 热水供热系统

1. 供、回水温度的确定

热水供热系统的供、回水温度按国内经验, 一般采用130~70℃、115~70℃和95~70℃。热水系统中最高点的过热水应保证不汽化。水温与汽化压力的关系, 见表5.4-8。

水在不同温度下汽化压力

表 5.4-8

水 温 (°C)	95	110	120	130	140	150	180
汽化压力(kPa)	0	46	103	176	269	386	923

2. 热水供热系统的定压

(1) 高位膨胀水箱定压系统

该系统(见图5.4-11)简单, 水力工况稳定, 适于小型系统。采用此系统时, 应注意: 膨胀水箱应设在高出系统管网最高点2~3m处。膨胀水箱的容积, 一般按系统总容积的热膨胀容积确定。

(2) 补给水泵补水、定压系统

此系统(见图5.4-12)简单、可靠、水力工况稳定, 便于操作, 适于较大型热水系统。设计时, 应注意:

- 补给水泵出水管, 应装在“*A*”点(循环水泵吸入侧), “*A*”点为定压点。
- 补给水泵扬程, 应考虑循环水泵停止运行时, 能使系统不倒空及过热水在系统中任

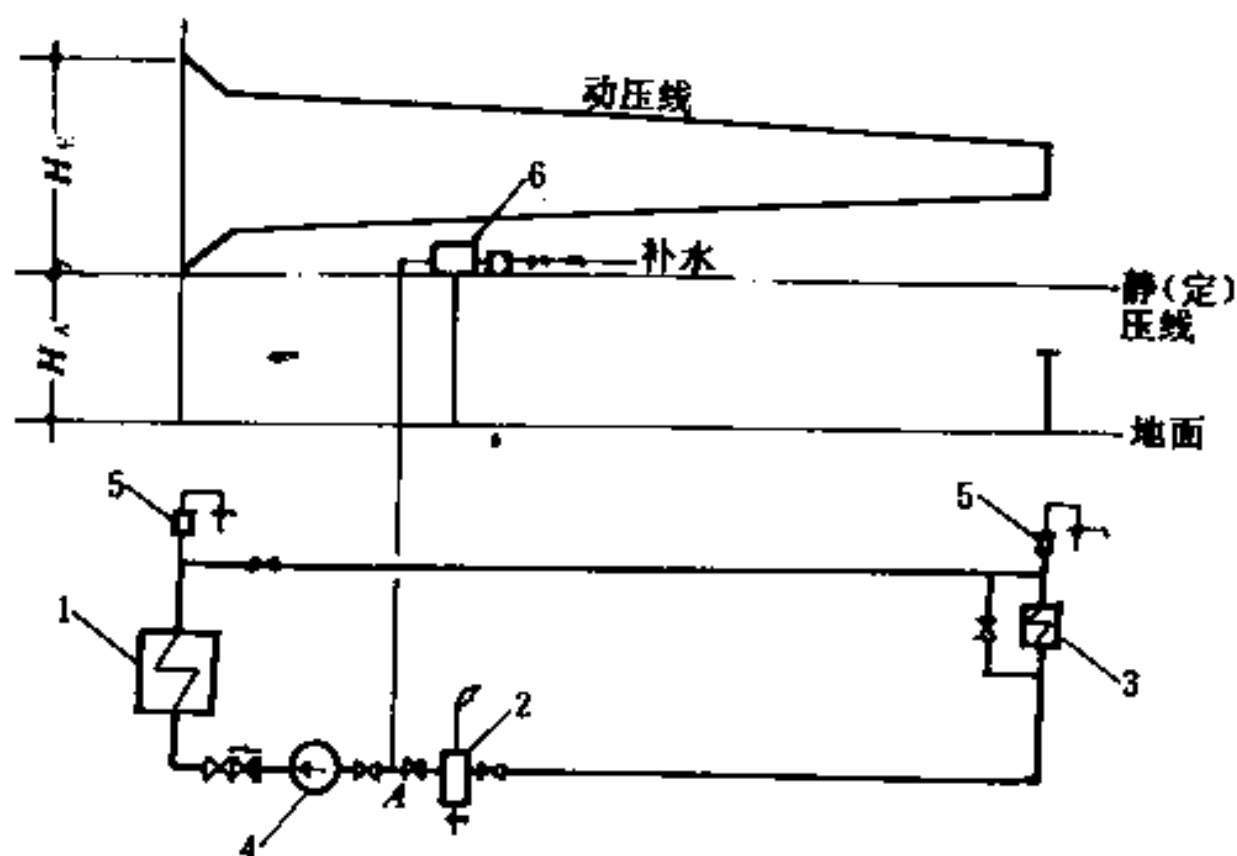


图 5.4-11 高位膨胀水箱补水、定压系统

1—热水锅炉（或汽—水换热器）；2—除污器；3—热用户；
4—循环水泵；5—自动放气阀；6—膨胀水箱

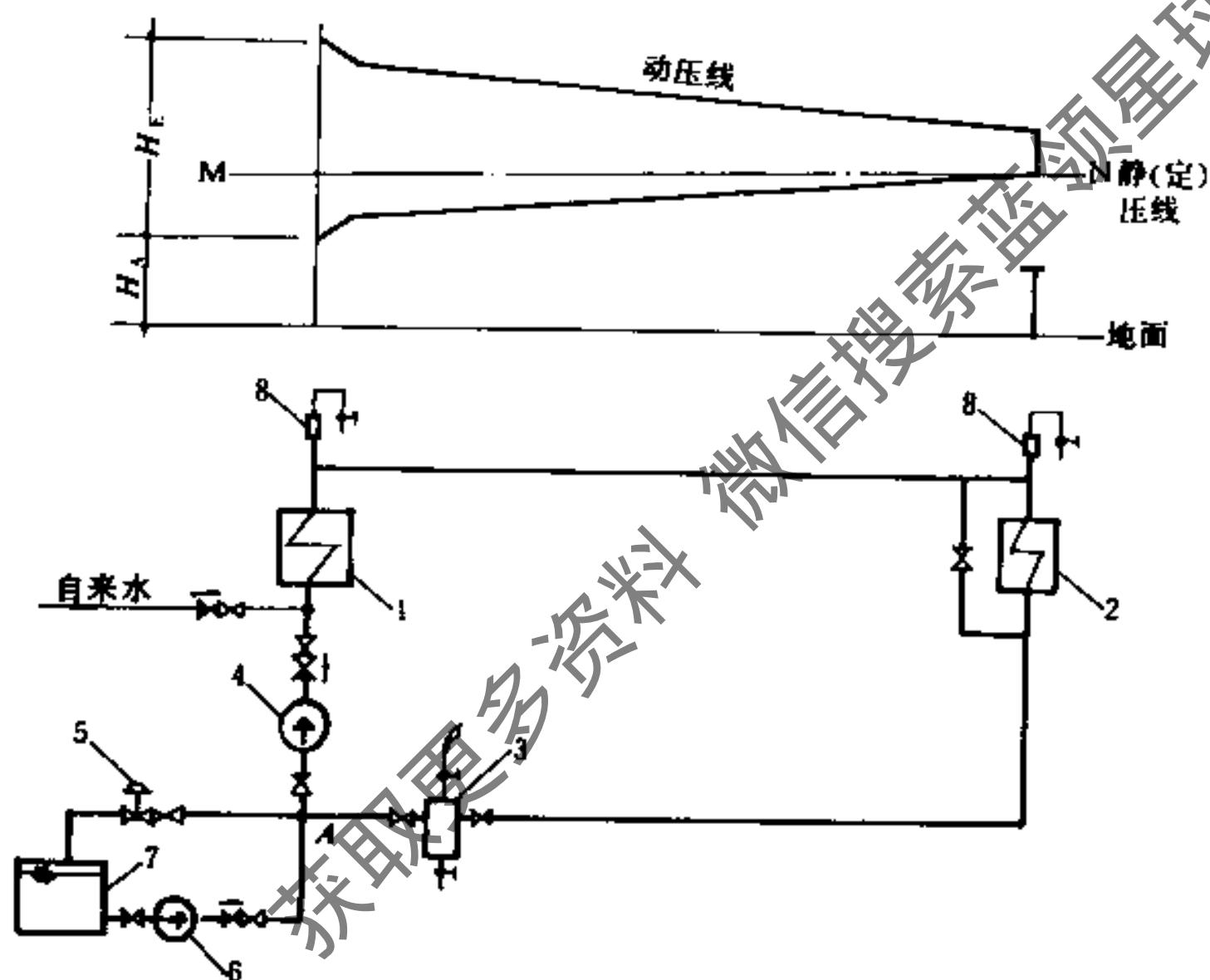


图 5.4-12 补给水泵补水、定压系统

1—热水锅炉（或汽—水换热器）；2—热用户；3—除污器；4—循环水泵；
5—压力调节阀；6—补给水泵；7—补给水箱；8—自动放气阀

何一点都不产生汽化。

- 在补给水泵吸入侧与压出侧的旁通管上装设压力调节阀，用以调节补给水泵出口压力。

- 补给水泵压出管上，也可装设带电触点的压力表或压力控制器，自动控制补给水泵的启、停。

(3) 补给水箱连续补水，并利用自来水压力维持定压系统

本系统（见图5.4-13）简单、可靠、节电、降低维护费用，但要求自来水压力稳定。

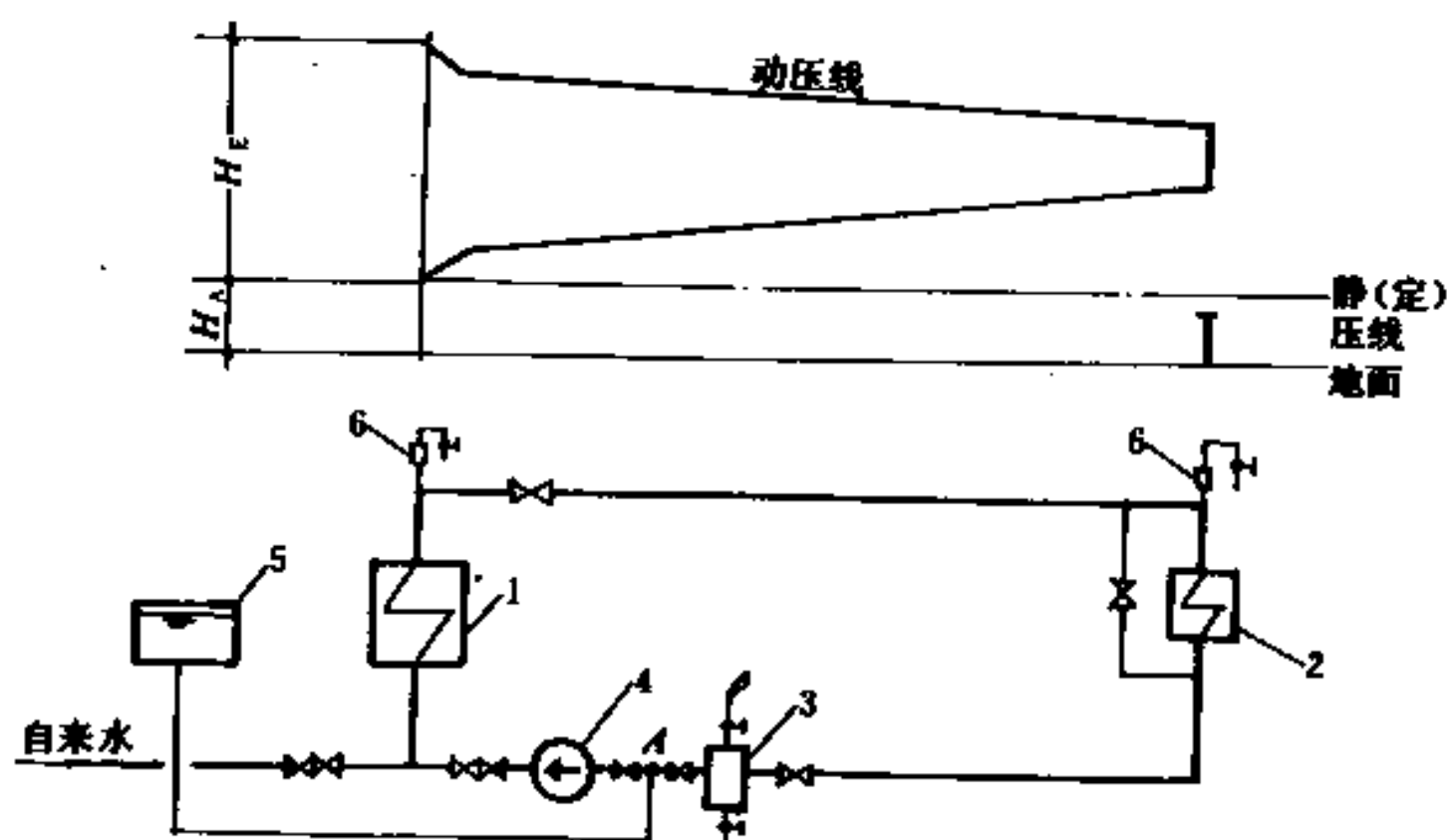


图 5.4-13 补给水箱补水、自来水定压系统
 1—热水锅炉（或汽—水换热器）；2—热用户；3—除污器；
 4—循环水泵；5—补给水箱；6—自动放气阀

采用本系统时，应注意：

- 补给水箱安装高度，不能低于循环水泵吸入侧的最低允许压力（见表5.4-9）。

循环水泵吸入侧最低允许压力

表 5.4-9

最低允许压力	计算回水温度 (°C)				
	50	70	80	90	100
吸入侧最低允许压力 (kPa)	0.072	0.092	0.12	0.13	0.16
吸入侧最低静压高度 (m)			2.0	3.0	6.0

- 可利用除氧水箱做补给水箱，也可单独设水箱。
- 在锅炉进水管上接自来水管，以便突然停电停泵或循环水泵出口压力低于自来水压力时，自动向系统内补水。

(4) 利用补给水箱和补给水泵补水以及利用气压罐维持定压系统（图5.4-14）适用于较大型热水系统。运行可靠，经济省电。

由于设置气压罐，当发生突然停电事故时，系统降低压力较慢，过热水不致发生汽化。

3. 热水供热系统事故的产生和预防

(1) 热水供热系统在突然停电、停泵时，可能会发生如下问题：

- 易于使锅炉炉水发生汽化；
- 在网路中产生水击现象；
- 最高用户系统，上部将产生过热水汽化现象。

(2) 锅炉炉水汽化的预防

当突然发生停电、停泵时，应同时关闭系统总供、回水管阀门，再缓慢开启锅炉集气罐上的放气阀，防止锅炉内的压力迅速下降。

(3) 网路中水击破坏现象的预防

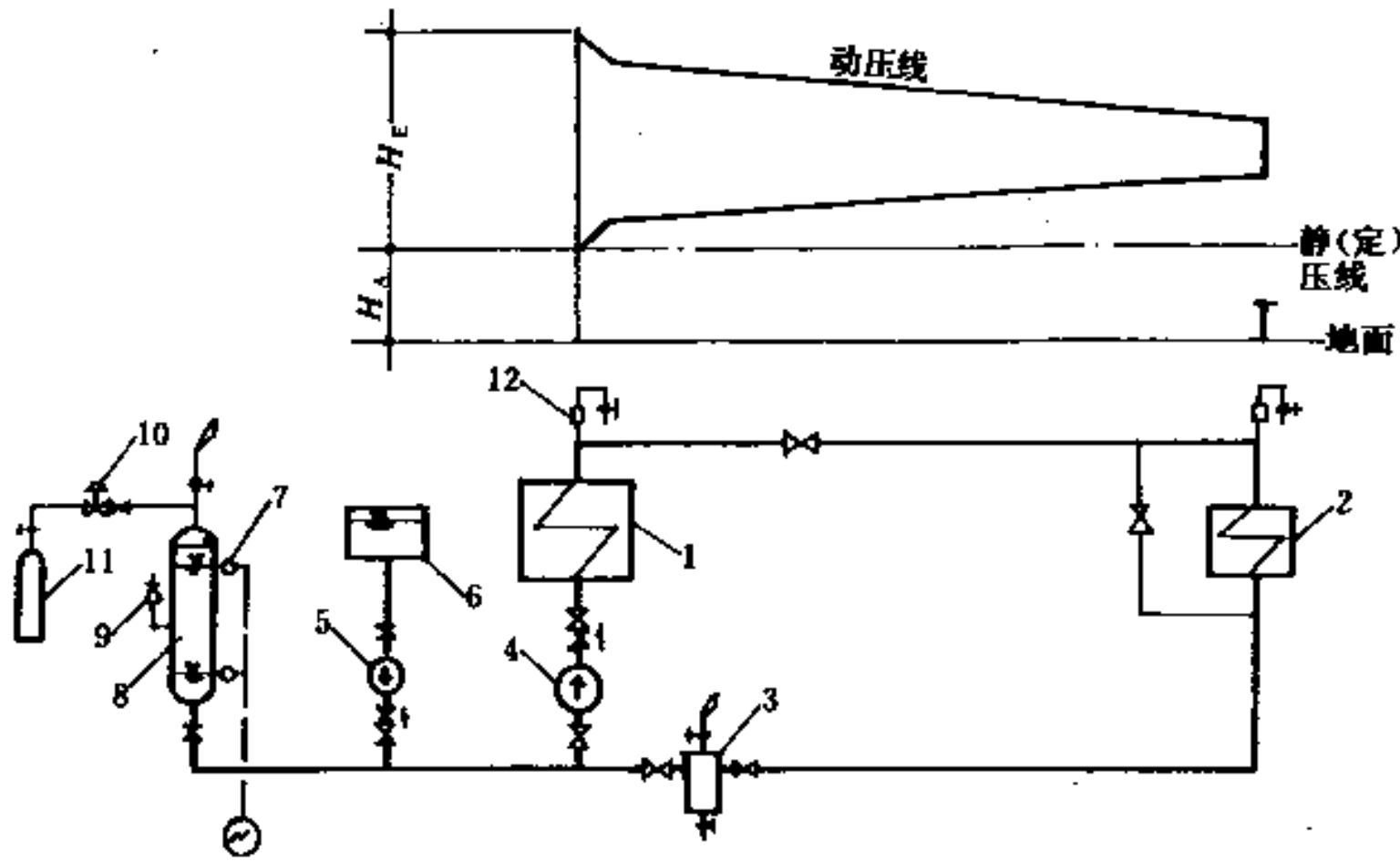


图 5.4-14 用补水箱、补水泵补水, 用气压罐定压系统

1—热水锅炉(或汽—水热交换器); 2—热用户; 3—除污器; 4—循环水泵; 5—补给水泵; 6—补给水箱; 7—液位控制器; 8—气压罐; 9—泄水安全阀; 10—自动调节阀; 11—氮气罐; 12—自动放气阀

在循环水泵进出水管间连接一根带有止回阀的旁通泄压管, 其管径可与水泵吸水管相同或小一号(图5.4-15)。

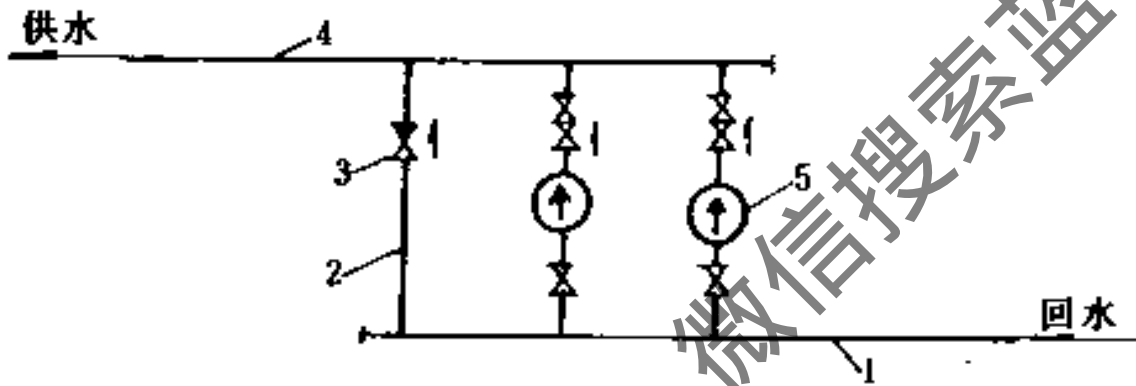


图 5.4-15 循环水泵及旁通系统

1—循环水泵的吸水管路; 2—旁通管; 3—止回阀;
4—循环水泵的压水管路; 5—循环水泵

4. 蒸汽喷射热水供暖系统

蒸汽喷射热水供暖系统, 有一级喷射和二级喷射两种系统。

(1) 一级蒸汽喷射热水供暖系统 如图5.4-16所示, 系统加热水的温差小(一般 $\Delta t = 10 \sim 20^\circ\text{C}$), 仅适于供水温度 95°C 以下、热负荷较小的热水供暖。

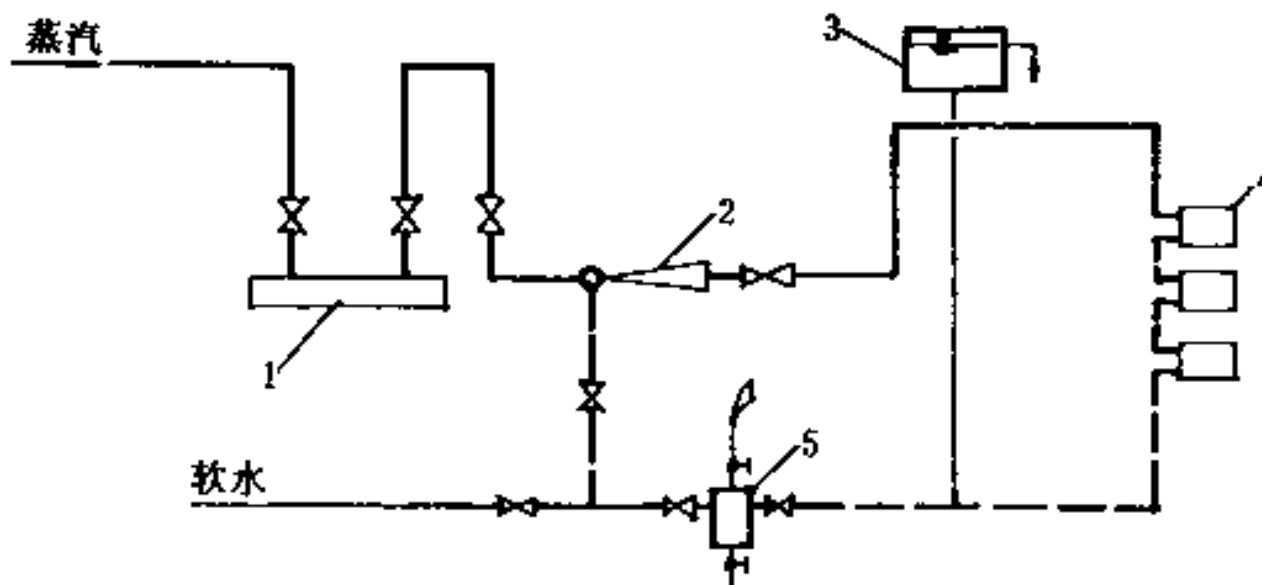


图 5.4-16 一级蒸汽喷射热水供暖系统

1—分汽缸; 2—蒸汽喷射器; 3—膨胀水箱; 4—热用户; 5—除污器

(2) 二级蒸汽喷射热水供暖系统 如图5.4-17所示, 第一级喷射主要起推动系统水循环的动力作用; 第二级喷射器起加热作用。

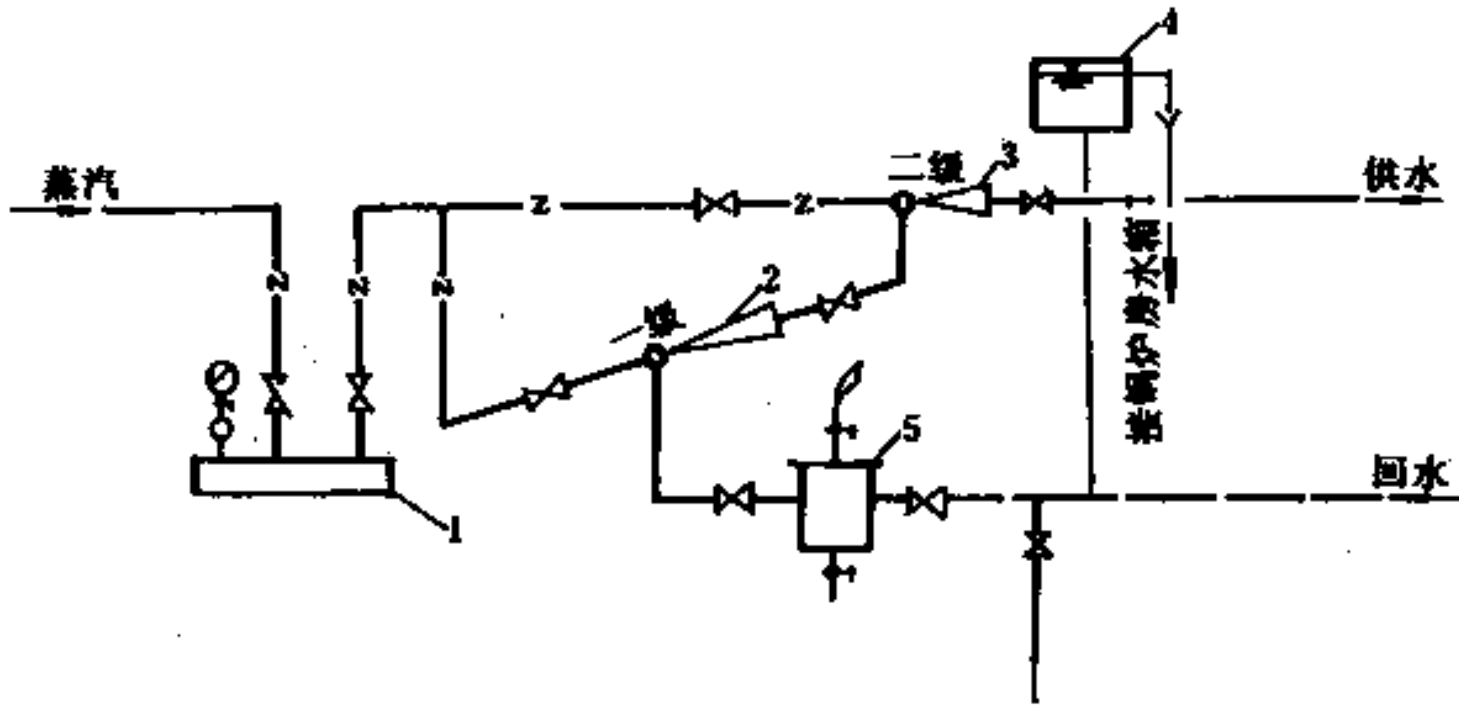


图 5.4-17 二级蒸汽喷射热水供暖系统

1—分汽缸; 2—一级蒸汽喷射器; 3—二级蒸汽喷射器; 4—膨胀水箱; 5—除污器

因系统循环水量较稳定, 便于进行质调节。但第二级喷射器由于结构形式还不够完善, 易产生较大噪声。

一般用于供水温度高于110℃、热负荷较大的系统。

5. 循环水泵的选择

网路循环水泵的计算流量和扬程的计算公式见表5.4-10。

水泵流量和扬程计算公式表

表 5.4-10

序号	项 目	计 算 公 式	备 注
1	计算流量	$G' = 2.78 \times 10^4 \frac{Q'}{c(t_g - t_h)}$	纯质或量调节及间歇调节时
2	各段计算流量	$G = G' \cdot \phi$	阶式质-量综合调节的各段计算流量
3	扬 程	$H = H_i + H_y + H_w$	循环水泵所需压力

上表公式中符号为:

G ——网路计算流量, t/h;

Q ——供暖、通风总计算热负荷, kW;

t_g, t_h ——网路计算供、回水温度, ℃;

c ——水的比热, kJ/(kg·℃);

G' ——各调节阶段网路计算流量, t/h;

ϕ ——相对流量比 (按图5.4-1~4选取);

H_i ——热源内部压力损失, 一般取100~150kPa;

H_y ——最远用户内部系统压力损失:

直接连接: 不设混水器为20~50kPa;

设混水器为100~150kPa;

间接连接: 设热交换器时为30~50kPa

H_w ——网路供、回水干管压力损失, 估算时取0.6~0.8kPa/m。

采用阶式质-量调节时,应按各阶段网路供、回水流量分别计算 H_r 、 H_y 和 H_w ,并根据此计算选用循环水泵和确定台数。

选用网路循环水泵时应注意:

- 水泵的 $G-H$ 特性曲线应比较平坦;
- 水泵的工作点应位于或接近于最高效率点。
- 循环水泵的台数,应按热水供暖系统规模和调节方式确定:

纯质调节(或间歇调节):一般不少于两台(一台备用);

阶式质-量综合调节,根据各阶段网路流量和总压力损失确定水泵台数,一般宜采用三台,并联工作泵的型号、特性曲线要相同。

6. 补给水泵的选择

补给水泵压力 H (kPa)不应小于最高补水点压力加30~50kPa。

$$H = H_b + H_{xs} + H_{ys} + h + (30 \sim 50)$$

式中 H_b ——系统补水点压力, kPa;

H_{xs} ——补给水泵吸水管路中的压力损失, kPa;

H_{ys} ——补给水泵出水管路中的压力损失, kPa;

h ——补给水箱最低水位高出系统补水点的高度, kPa ($1mH_2O = 10kPa$)。

补给水泵的流量一般可按循环水量的3~5%计算。

补给水泵一般宜采用两台(一台备用)。

7. 蒸汽喷射器

蒸汽喷射器主要由引水室、喷嘴、圆筒形混合室、扩压管以及调距套管组成,其外形与连接尺寸如图5.4-18及表5.4-11所示。

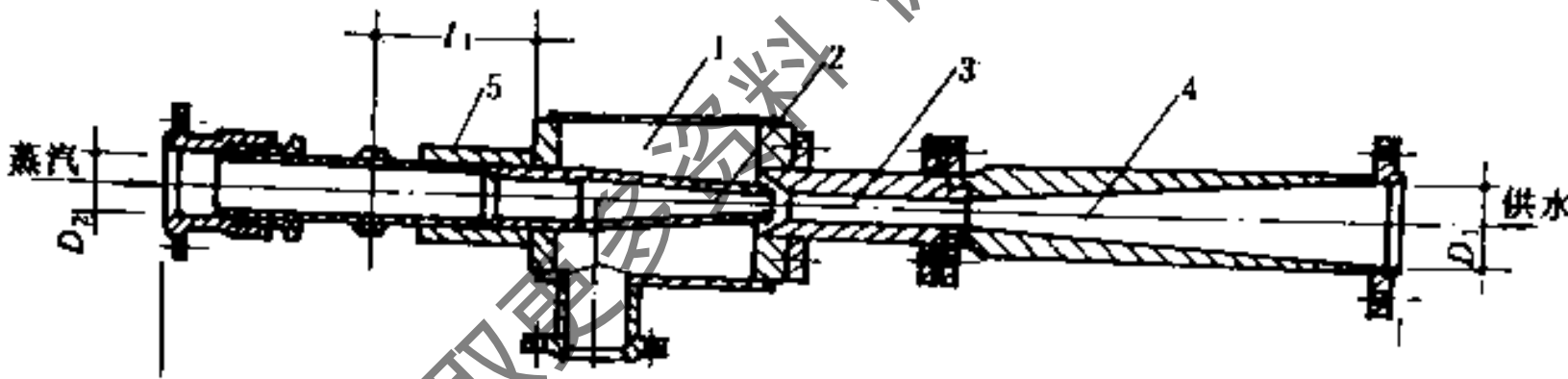


图 5.4-18 蒸汽喷射器外形图

1—引水室; 2—喷嘴; 3—混合室; 4—扩压管; 5—调距套管

蒸汽喷射器尺寸表

表 5.4-11

型号	2.5	5.0	7.5	10.0
尺寸 (mm)				
D_1	65	80	100	125
D_2	50	65	80	80
L	1445	1555	1675	1815
l_1	300	306	312	317

蒸汽喷射器主要性能和规格,见表5.4-12。

蒸汽喷射器性能表

表 5.4-12

型号	汽压 P_p (MPa) 引水室压力 P_H (MPa) 流量、压力 热量 温差 ($^{\circ}\text{C}$)		0.25		0.3		0.4		0.5		0.6	
			0.05~0.1		0.05~0.13		0.07~0.18		0.11~0.24		0.14~0.3	
			G (t/h)	H (kPa)	G (t/h)	H (kPa)	G (t/h)	H (kPa)	G (t/h)	H (kPa)	G (t/h)	H (kPa)
2.5	Q	kW	203.5		232.6		290.8		348.9		407.5	
	A	$\Delta t = 25$	7.0	107~87	8.0	135~97	10.0	180~117	12.0	200~129	14.0	220~133
		$\Delta t = 40$	4.4	116~100	5.0	153~113	6.3	207~143	7.5	227~166	8.7	285~190
	B	$\Delta t = 25$	7.0	60~52	8.0	80~59	10.0	108~73	12.0	117~85	14.0	136~96
		$\Delta t = 40$	4.4	64~56	5.0	82~64	6.3	115~81	7.5	128~96	8.7	151~110
	5.0	Q	kW	407.05		465.2		581.5		697.8		814.1
A		$\Delta t = 25$	14.0	113~89	16.0	140~98	20.0	182~110	24.0	200~129	28.0	229~140
		$\Delta t = 40$	8.8	130~105	10.0	160~117	12.5	212~146	15.0	249~172	17.5	292~199
B		$\Delta t = 25$	14.0	82~66	16.0	100~74	20.0	135~90	24.0	154~104	28.0	178~118
		$\Delta t = 40$	8.8	90~73	10.0	110~82	12.5	148~104	15.0	176~123	17.5	207~144
7.5		Q	kW	610.6		697.8		872.25		1046.7		1221.15
	A	$\Delta t = 25$	21.0	117~92	24.0	142~102	30.0	192~123	36.0	213~135	42.0	332~144
		$\Delta t = 40$	13.1	131~107	15.0	162~121	18.7	221~153	22.5	256~179	26.2	294~203
	B	$\Delta t = 25$	21.0	82~66	24.0	100~74	30.0	137~91	36.0	155~104	42.0	175~116
		$\Delta t = 40$	13.1	80~73	15.0	110~82	18.7	151~105	22.5	176~124	26.2	203~142
	10.0	Q	kW	814.1		930.4		1163.0		1395.6		1628.2
A		$\Delta t = 25$	28.0	100~78	32.0	130~93	40.0	175~113	48.0	195~132	56.0	219~138
		$\Delta t = 40$	17.5	115~96	20.0	150~109	25.0	199~137	30.0	230~161	35.0	256~185
B		$\Delta t = 25$	28.0	82~61	32.0	110~79	40.0	146~96	48.0	165~116	56.0	187~122
		$\Delta t = 40$	17.5	95~78	20.0	119~89	25.0	161~112	30.0	187~133	35.0	217~153

5.4.5 凝结水回收和利用系统

1. 一般原则

(1) 凡是用蒸汽间接加热产生的凝结水, 除被加热介质为有毒或有强烈腐蚀性的溶液外, 均应加以回收, 不能回收的凝结水, 也要考虑回收其热量。

(2) 蒸汽供暖的凝结水回收率，一般不得低于60~80%。回收确有困难又不经济时，允许暂不回收，但必须就地加以利用。

(3) 在凝结水回收系统中，应充分利用凝结水的显热和二次蒸汽的热量。
当用汽点较远、用汽量又较少时，凝结水可就地引入水箱。

(4) 对于所有可能被污染的凝结水，应设置水质监测装置。符合锅炉水质标准，可直接作为锅炉给水。不合标准时，应经处理合格后方可利用，经技术经济分析确无回收价值时，亦应回收其热量。

(5) 选用凝结水回收方式时，应尽量采用闭式系统。

(6) 供暖通风和生产用高、低压蒸汽凝结水管，压差小于0.3MPa时，可合管输送，如压差大于0.3MPa时，为避免高低压干扰，可按图5.4-19所示安装连接。

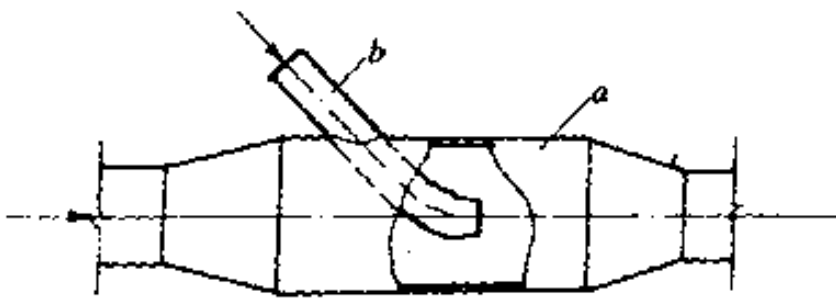


图 5.4-19 高、低压回水接管图
a—低压凝结水管；b—高压凝结水管

2. 凝结水回收系统

(1) 蒸汽供热系统的凝结水回收和利用可采用如下各种方式：

① 闭式满管回水系统；

② 重力自流回水系统；

③ 余压回水系统；

④ 开式回水箱自流回水或泵压回水系统。

(2) 低压 (<0.1MPa) 供暖或生产用蒸汽的凝结水，宜采用如图5.4-20a开式水箱重力自流回水系统，但地形条件应能满足顺坡回水的要求。

供汽压力高于0.2MPa的生产、供暖用蒸汽的凝结水，宜采用如图5.4-20b所示的开式水箱余压回水系统。但有条件时，应尽量采用如图5.4-21所示的闭式水箱的余压回水系统。

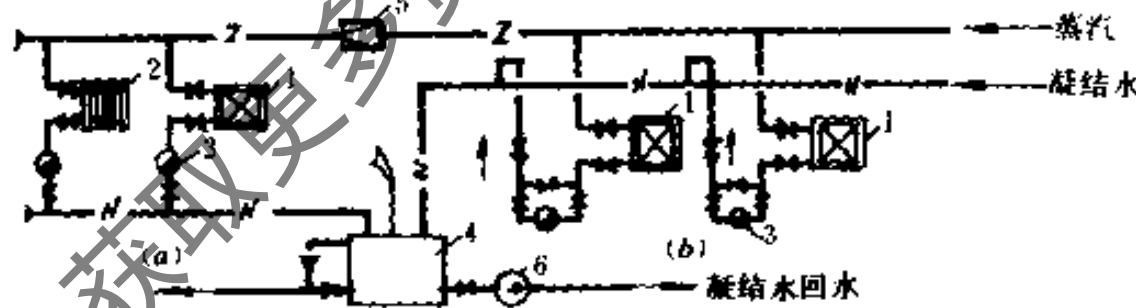


图 5.4-20 开式水箱凝结水系统

1—热交换器；2—暖气片；3—疏水阀；4—凝结水箱；5—减压阀；6—回水泵

闭式水箱余压回水系统的特点：

① 系统不会产生倒空，不进入空气，减少管路腐蚀，可避免二次蒸汽的散失。

② 宜用于蒸汽点分散、凝结水量不多的场合。

③ 由于系统凝结水中含有二次蒸汽，所以水温高，要求凝结水箱和水泵的安装高差大。

(3) 供汽用户范围大而多，地形复杂且用汽压力不同时，宜考虑以大用户为中心，分区设置凝结水回收点（热力站），采用泵压或汽压式输送。

3. 凝结水及其热量的利用

(1) 采用余压回水系统时，宜在凝结水管道中，增设热交换装置（如图5.4-21a所

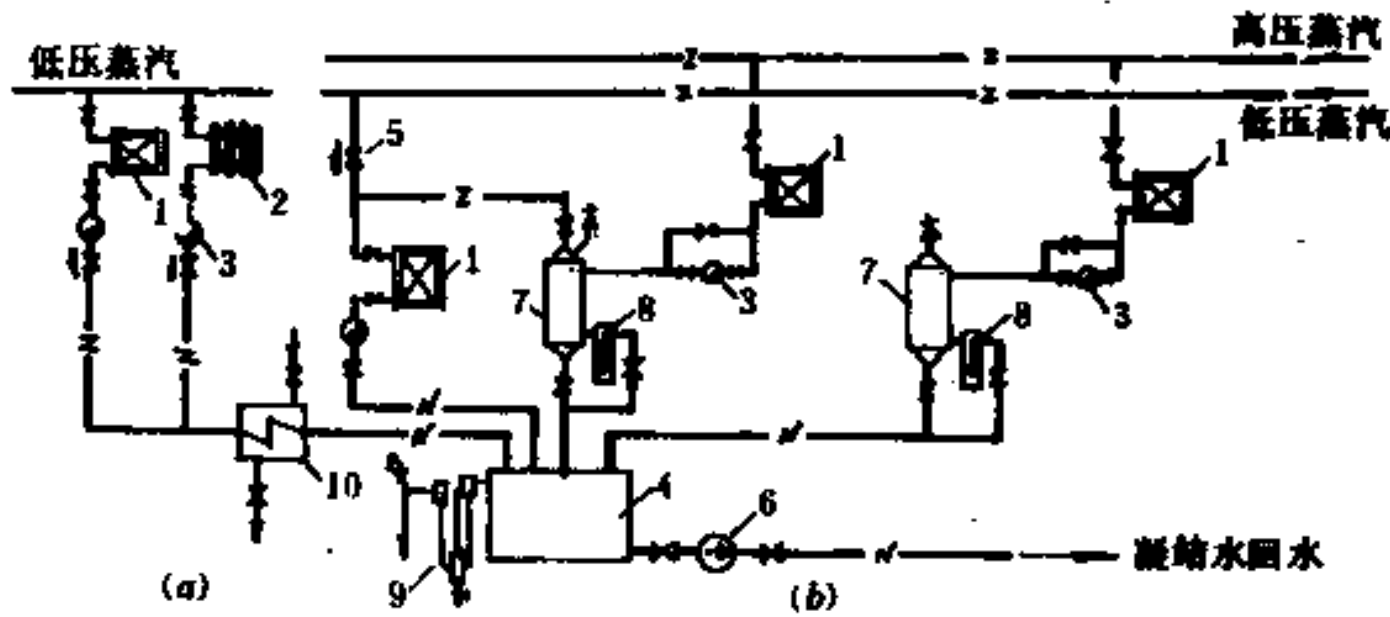


图 5.4-21 闭式水箱凝结水系统

1—热交换器；2—暖气片；3—疏水阀；4—凝结水箱；5—止回阀；6—回水泵；
7—二次蒸发器；8—水封管；9—安全水封；10—水-水热交换器

示) 回收热量。

(2) 在凝结水箱上设置二次蒸汽冷却器(如图5.4-22中的填料冷却器18)，利用锅炉给水(软化水)冷却二次蒸汽。

(3) 用汽车间如装有高、中、低三种或中、低两种压力蒸汽管道时，回收和利用凝结水分离出来的二次蒸汽(如图5.4-22所示)，宜采用如下三种方式：

- ①将二次蒸汽直接引入低压蒸汽管道。
- ②利用高压蒸汽，通过喷射加压器将二次蒸汽加压后送入中压管道。
- ③将分离出来的二次蒸汽，直接接入汽-水热交换器或暖气片，供热水加热或采暖用。

4. 凝结水回收和利用系统示例

如图5.4-22所示，为凝结水回收和利用的系统示例。

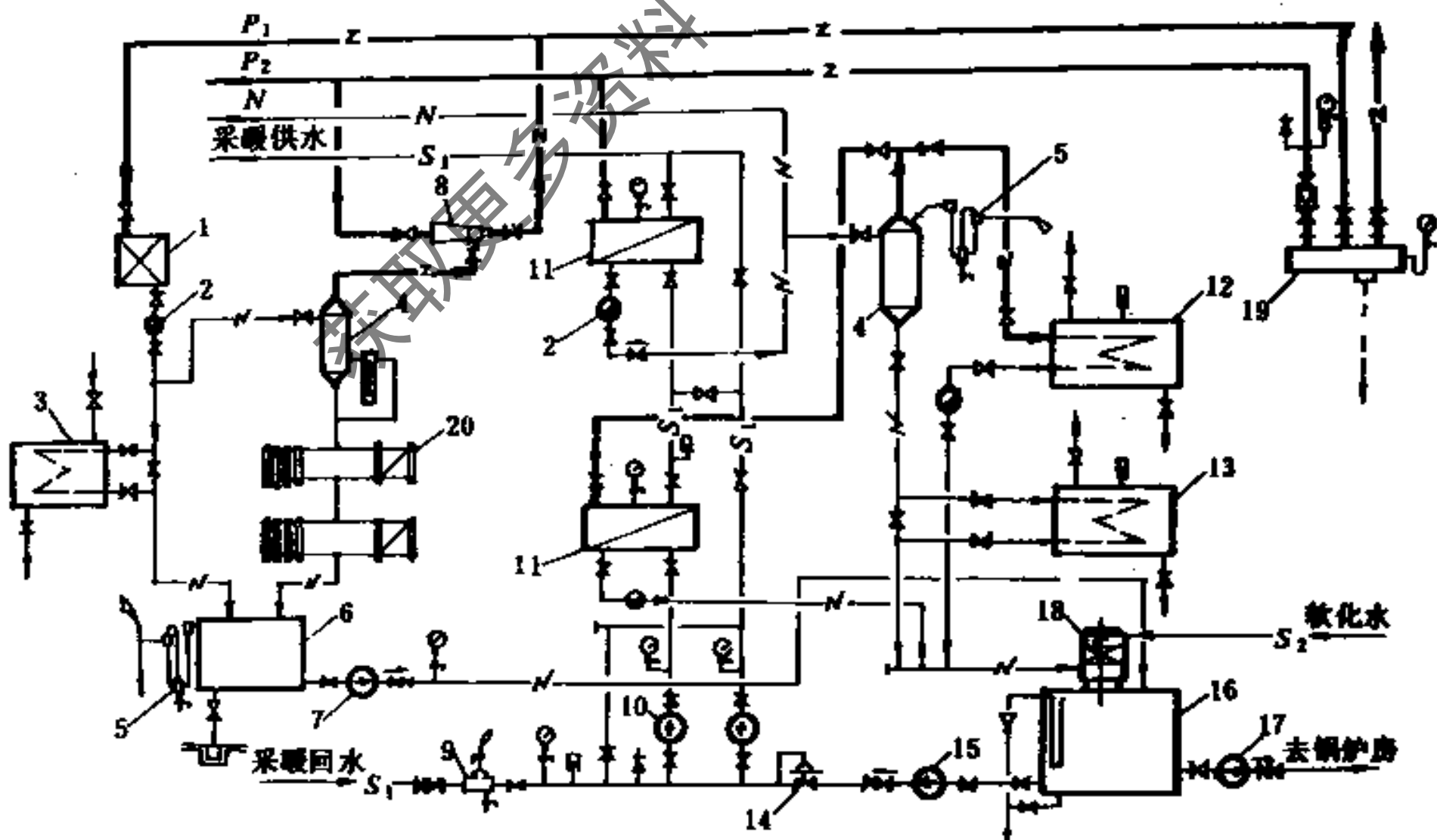


图 5.4-22 凝结水回收和利用的综合系统示例

1—热交换器；2—疏水阀；3—水-水热交换器；4—二次蒸发器；5—安全水封；6—凝结水箱；7—回水泵；
8—喷射加压器；9—除污器；10—循环水泵；11—汽-水热交换器；12—汽-水热交换器；13—水-水热交换器；
14—调压阀；15—补给水泵；16—回水箱；17—回水泵；18—填料冷却器；19—分汽缸；20—暖气片

5. 凝结水回收和利用系统中的辅助装置 (或设备)

(1) 凝结水泵 凝结水泵的设置应符合下列要求:

- 多台凝结水泵时, 应设备用泵, 当任何一台泵停止运行时, 其余水泵的总容量不应小于凝结水回收总量的120%。

- 凝结水泵站的水泵, 通常宜采用间断工作制。水泵容量应根据小时综合最大凝结水回收总量和水箱水位上下限之间的有效容积进行计算。

- 当热源内设有凝结水回水箱, 有大量补给水进入水箱时, 凝结水泵可按连续工作制考虑。

- 凝结水泵的安装台数和容量, 可参考表5.4-13确定。

凝结水泵台数、容量选用表

表 5.4-13

凝结水泵台数	凝结水泵容量 (m ³ /h)			
	间 断 工 作		连 续 工 作	
	每台容量	全部容量	每台容量	全部容量
2	2.0D _m	4.0D _m	1.2D _m	2.4D _m
3	1.0D _m	3.0D _m	0.8D _m	1.8D _m
4	0.7D _m	2.8D _m	0.4D _m	1.6D _m

注: D_m—进入凝结水箱的总水容量, m³/h。

凝结水泵的扬程H (kPa):

$$H = P + H_1 + H_2 + H_3$$

式中 P——热源回水箱内工作压力, 闭式水箱 P = 20 ~ 40kPa; 开式水箱, P = 0;

H₁——管路系统总压力损失, kPa;

H₂——凝结水箱最低水位与热源回水箱进口管顶部之间的标高差, kPa (1m H₂O = 10kPa);

H₃——附加水头, 一般取 H₃ = 50kPa。

由于凝结水温较高, 为了避免水泵产生汽蚀现象, 破坏水泵的正常运行, 离心式水泵的灌注正水头H_z, 应符合下列要求:

- 开式水箱: $H_z > P_{BH} - P_g + h_\lambda + h_1$, kPa;

- 闭式水箱: $H_z > h_\lambda + h_f + \Delta P_g$, kPa。

式中 P_{BH}——水泵进口的饱和压力, kPa;

P_g——水箱内汽层压力, kPa;

h_λ——吸水管道的压力损失, kPa;

h₁——附加压力损失, 一般取 h₁ = 30 ~ 50kPa;

h_f——水泵的汽蚀余量, kPa;

ΔP_g——考虑水箱压力瞬变的余量, ΔP_g = 30 ~ 50kPa。

离心式水泵正水头与允许吸水高度和水温的关系见表5.4-14。

在设计并联水泵或并联水泵站时, 应考虑下列各点:

离心式水泵正水头与允许吸水高度和水温关系表

表 5.4-14

水泵输送的凝结水温 (°C)	0	10	20	30	40	50	60	75	80	90	100	110	120
最大吸水高度 (m)	6.4	6.2	5.9	5.4	4.7	3.7	2.3						
最小允许正水头 (kPa)								0	20	30	60	110	175

注: $1\text{mH}_2\text{O} = 10\text{kPa}$

- 并联水泵或并联水泵站的凝结水总母管的压力损失, 宜控制在 $50\text{Pa}/\text{m}$ 左右。
- 凝结水泵的输水量和扬程的附加系数可取1.15左右。
- 几个并联的凝结水泵站的许多水泵, 宜选用同一特性的水泵, 并应绘制水压图, 以确定水泵的具体规格。

(2) 凝结水箱, 选用凝结水箱时应考虑如下各点:

- 凝结水箱的容积, 应根据凝结水最大小时流入量 D_m 的50~200%确定, 可参见表5.4-15。

凝结水箱容积的确定参考表

表 5.4-15

序号	确定条件	容积 (V_N)
1	纯为采暖通风负荷时	$V_N = 50\%D_m$
2	纯为生产负荷时	$V_N = 100\%D_m$
3	当凝结水量很小 (如 $D_m < 1\text{t}/\text{h}$) 时	$V_N = 150\%D_m$
4	当凝结水泵采用自控时	$V_N = 50\%D_m$
5	凝结水箱的有效容积, V_j	$V_j = 80\%V$

注: V 为凝结水箱的总容积

- 凝结水箱宜采用闭式水箱, 用安全水封控制箱内压力, 一般宜控制在 $10 \sim 30\text{kPa}$ 。闭式水箱宜采用带封头式圆柱形卧式水箱。
- 凝结水泵站内宜设置两个凝结水箱, 也可将一个水箱中间用隔板分隔为二。两个水箱应有连通管, 用阀门隔开。
- 采用闭式水箱时, 两水箱还应设置汽空间连通管。
- 中小型锅炉房, 可将凝结水箱与锅炉给水箱合一, 可减少凝结水的二次蒸汽损失, 提高给水温度。
- 凝结水箱的放水管直径应大于 50mm ; 溢流管直径宜比凝结水泵入口管径大1~2号;
- 安装凝结水箱时, 底部要设置支座, 支座间距 L_s (cm), 一般要小于 500mm , 也可按下式计算:

$$L_s = \frac{\sigma(\delta - C)}{0.1\sqrt{H_s}} \quad (5.4-2)$$

式中 σ —— 钢板许用应力, N/cm^2 ;
 δ —— 箱底板厚度, cm ;
 C —— 腐蚀余量, 一般取 $C = 0.1\text{cm}$;
 H_s —— 箱内最高水位高度, cm 。

• 凝结水箱的安装高度，与凝结水温有关，见表5.4-14。

• 钢板制凝结水箱，内外表面应做防腐处理，一般情况下，凝结水箱应进行保温隔热，以减少热损失。

(3) 二次蒸发器及安全水封

• 二次蒸发器所需容积 $v_m(m^3)$ ：

$$v_m = 0.5v \cdot x \cdot G_N \quad m^3$$

式中 G_N ——进入二次蒸发器的凝结水量，kg；

v ——二次蒸发汽比容， m^3/kg ；

x ——在二次蒸发器内分离出来的二次蒸汽量，kg(汽)/kg(凝结水)。

二次蒸发器的容积，也可按图5.4-23选择。

• 安全水封的构造尺寸，可按表5.4-16中所列公式计算（参照图5.4-24）。

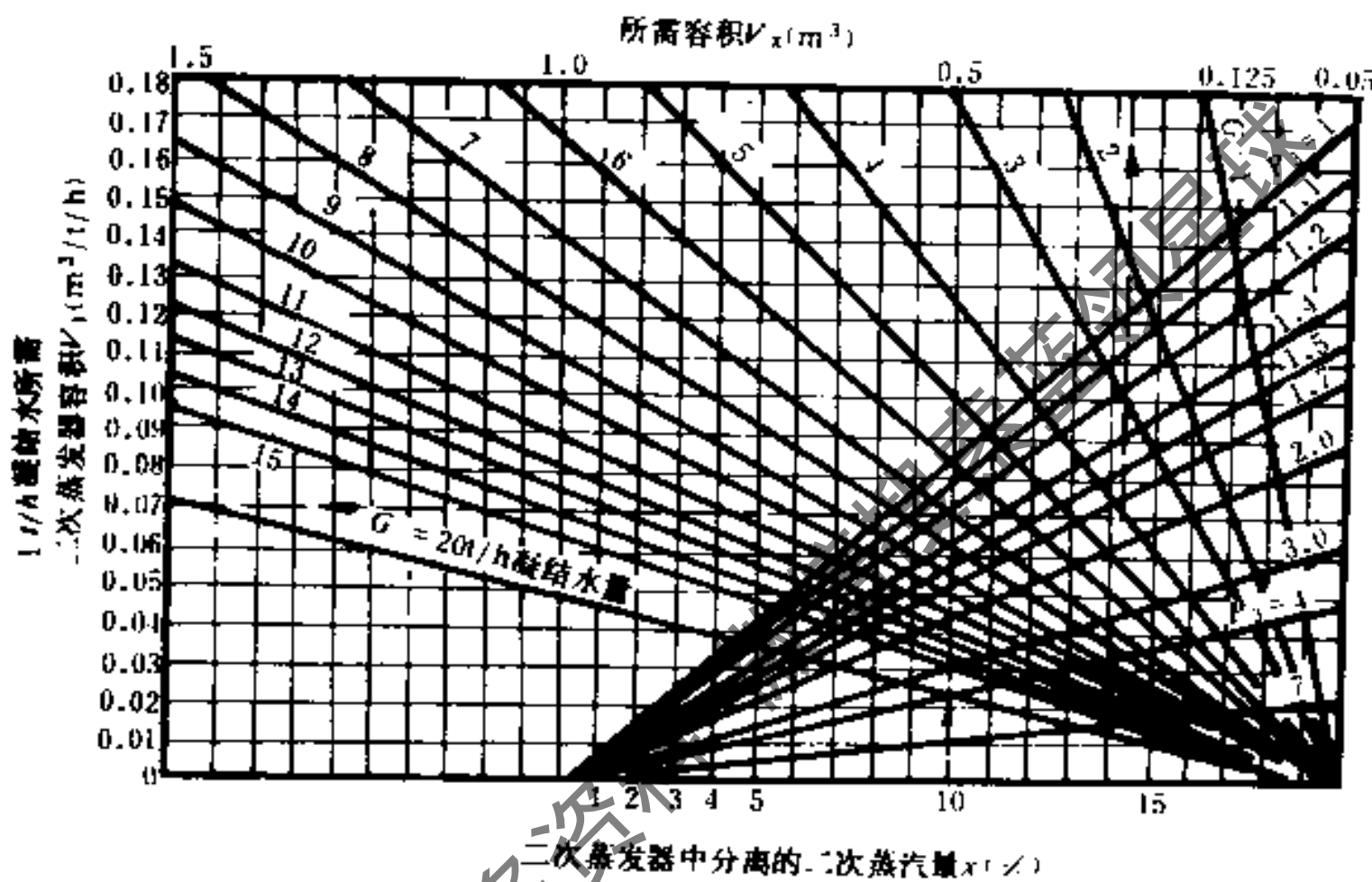


图 5.4-23 二次蒸发器选择图

• 多级水封如图5.4-25所示，由一级或多级水封管串联组合而成，水封管尺寸可按如下确定。

a) 水封管直径 $d(mm)$

$$d = 1.3G^{0.35} \left(\frac{L}{0.1\Delta h} \right)^{0.3} \quad (5.4-3)$$

式中 G ——凝结水量，kg/h；

L ——管子长度，m；

Δh ——管子中的压降，Pa。

b) 外套管直径 D ：一般取 $D = 2d(mm)$ 。

c) 水封高度 h ，一般取 $h = 1.5P$ ，m，当水箱内压力 P 较高时，可采用多级水封。

$$h = 1.5 \frac{P}{n}, \quad m \quad (n \text{—水封管级数})。$$

多级水封有关尺寸，可按表5.4-17选取。

安全水封构造尺寸计算公式 表 5.4-16

序号	项 目	计 算 公 式	备 注
1	水封管直径	$d = 0.04\sqrt{G_m}$	
2	水封贮水罐	$D = \sqrt[3]{0.3H_1 \cdot d^2}$	
3	真空贮水罐	$D_1 = 1.15D$	
4	水封上升高度	$h = \frac{0.1d^2}{D^2 - d^2} \cdot H_1$	启动后(正常时) 水封贮水罐内水位 上升高度 h
5	真空贮水罐水位 高度	$h_1 = \frac{d^2(3H_1 - H_2)}{D_1}$	启动后(负压时) 水位上升高度

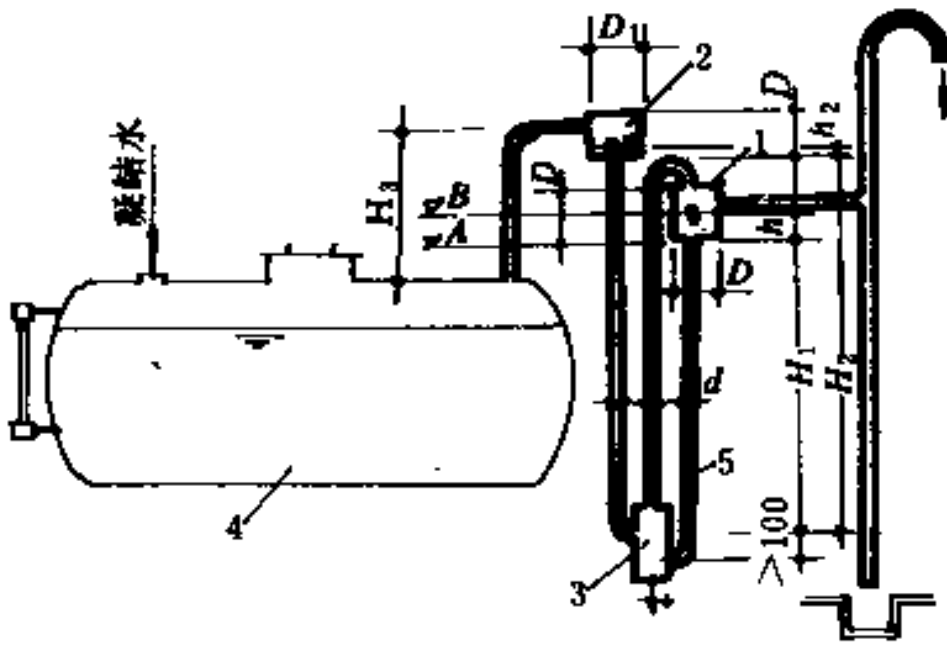


图 5.4-24 安全水封装置图

1—水封贮水罐；2—真空贮水罐；
3—中间罐；4—凝结水箱；
5—水封管
A—冷态，安全水封注满水时的水位
B—水箱内有压力（ P_1 ）时的水位

上表公式中符号：

d ——水封管直径，m；
 G_m ——凝结水的最大流量，kg/h；
 D ——水封贮水罐直径和高度，m；
 D_1 ——真空贮水罐直径和高度，m；
 h ——水封贮水罐内水位上升高度，m；
 H_1 ——水封工作压力，kPa（ $1\text{mH}_2\text{O} = 10\text{kPa}$ ）；
 H_2 ——水封最大真空度，kPa（ $1\text{mH}_2\text{O} = 10\text{kPa}$ ），由水箱内
负压 P_1 来确定。

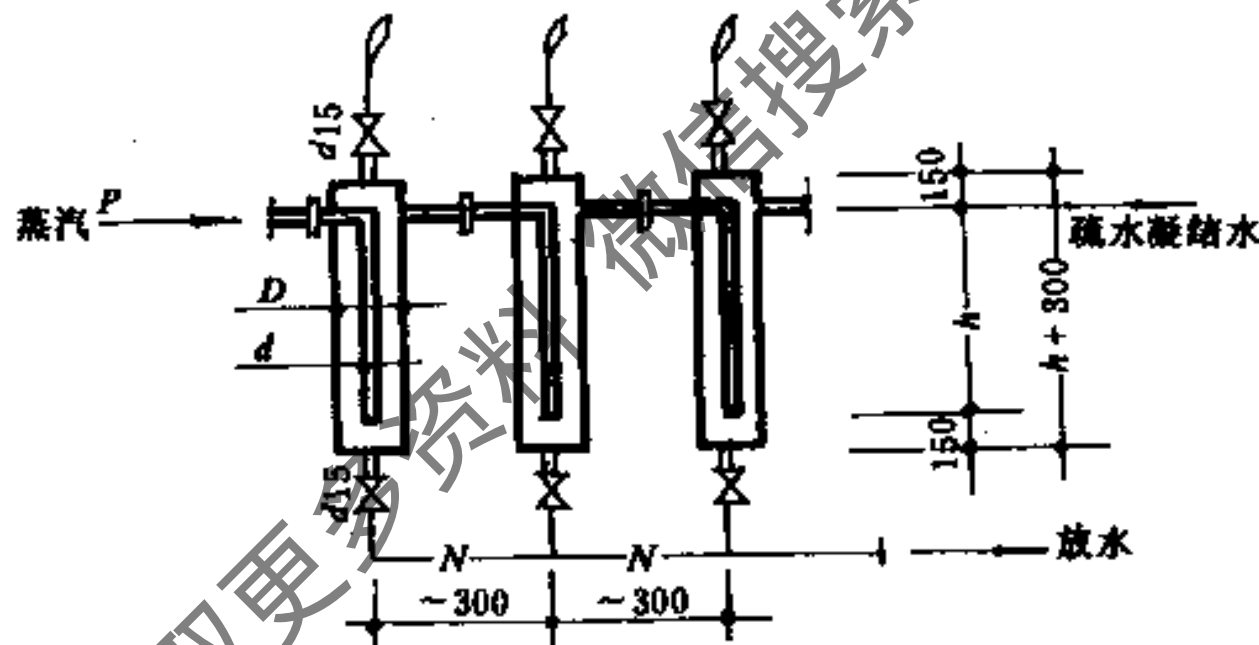


图 5.4-25 多级水封尺寸图

多级水封尺寸表

表 5.4-17

水封管型号	I	II	III	IV
凝结水流量 (t/h)	<1.0	1.0~5.0	5.0~15.0	15.0~25.0
水封管直径 d (mm)	DN25	DN50	DN80	DN100
外套管直径 D (mm)	DN50	DN100	DN150	DN200
总重量 (kg)	58.9	116.2	204.7	327.1

注：表中总重量系指 $h=2.0\text{m}$ 三级水封的总重量。

d) 溢流水封，如图5.4-26所示。装在水箱内。

(4) 填料喷淋冷却器

填料喷淋冷却器的构造尺寸，可按表5.4-18中公式计算（参照图5.4-27）。

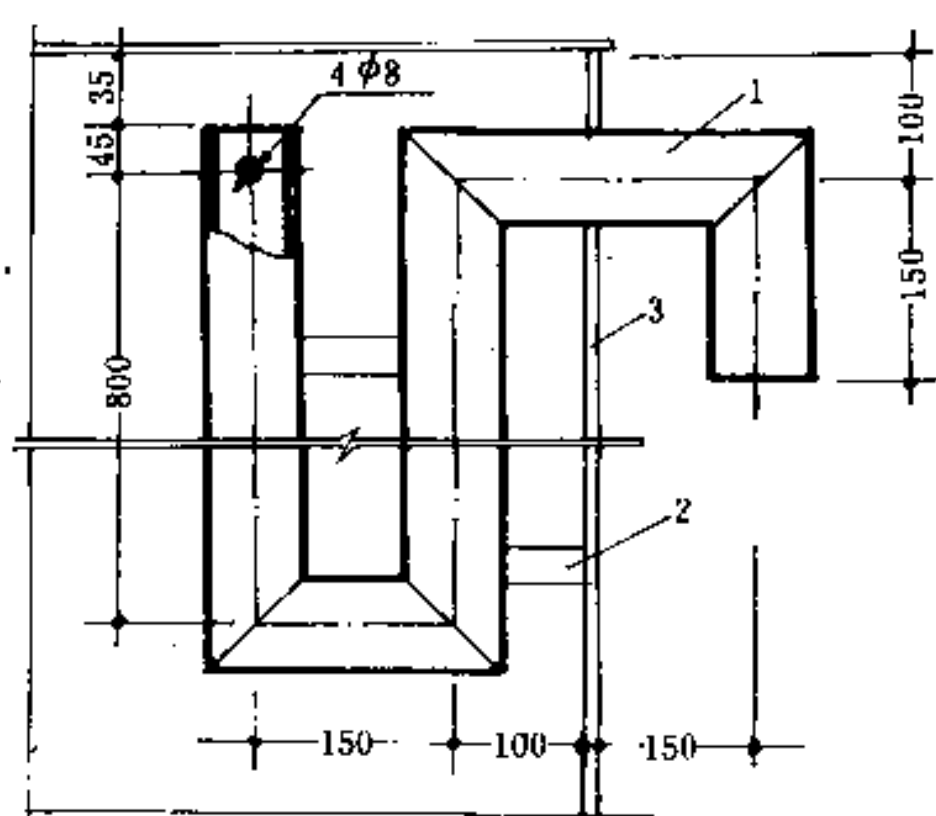


图 5.4-26 溢流水封

1—水封溢流管；2—托架；3—水箱壁

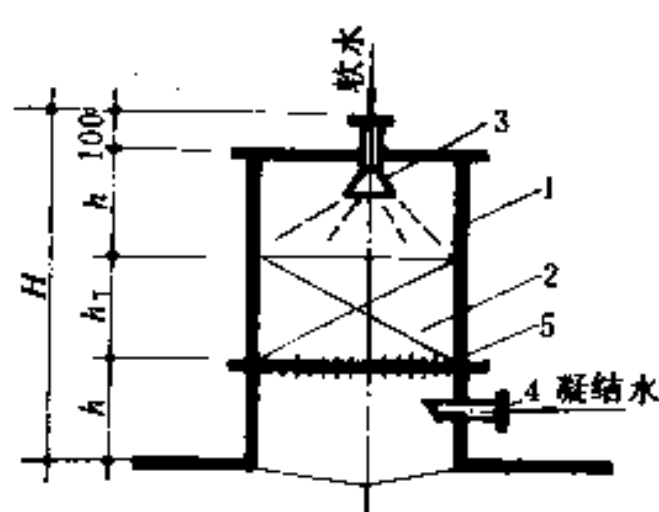


图 5.4-27 填料喷淋冷却器

1—壳体；2—填料层；3—喷淋头；
4—凝结水管接头；5—花板

填料喷淋冷却器构造尺寸计算公式表

表 5.4-18

序号	项 目	计 算 公 式	备 注
1	冷却用软水需要量 G_L (kg/h)	$G_L = 9.345G_z$	
2	传 热 量 Q (W)	$Q = G_z (h_z'' - h_c') \times 0.28$	
3	冷却器所需总传热面积 Σf (m ²)	$\Sigma f = \frac{1.2Q}{\Delta t_m \cdot k_a}$	1.2为附加系数
4	填料体积 v_T (m ³)	$v_T = \frac{\Sigma f}{f}$	
5	冷却器直径 D_T (m)	$D_T = \sqrt{\frac{v_T}{0.785 \cdot h_T}}$	

式中 G_z ——二次蒸汽量, kg/h, $G_z = xG_N$;

G_N ——凝结水量, t/h;

x ——每kg凝结水所产生的二次蒸汽量, kg/kg;

h_z'' ——二次蒸汽的热焓, kJ/kg;

h_c' ——二次蒸汽与软水混合后的热焓, kJ/kg;

Δt_m ——对数温差, $\Delta t_m = \frac{t_c - t_n}{\ln \frac{t_z - t_n}{t_z - t_c}}$, °C;

t_c ——二次蒸汽和软化水混合温度, °C;

t_n ——软化水温度, °C;

t_z ——二次蒸汽温度, °C;

k_a ——传热系数, 一般取 $k_a = 1280 \sim 1628 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$;

f ——填料的比表面积 (见表5.4-19), m²/m³;

h_T ——填料层高度, m, 一般取 $h_T = 0.4 \text{ m}$ 。

填料物比表面积 $f(\text{m}^2/\text{m}^3)$

表 5.4-19

填料名称	规格 (mm)	个数 (个/ m^3)	空隙 (m^3/m^3)	f比表面积 (m^2/m^3)	当量直径 (mm)
拉西环	25×25×3	53200	0.78	204	0.0145
拉西环	50×50×3	6000	0.785	87.5	0.036

5.5 热力管网的水力计算

5.5.1 基本原则

1. 管网干管管径，不应小于50mm，通往各单体建筑物（热用户）的管径，一般不宜小于下列尺寸：

蒸汽管道：25mm；

热水管道：32mm。

2. 在供热管网设计中，有的点出现静压值超过允许极限值时，一般宜分开设置独立的供热系统。

5.5.2 热网水力计算

1. 基础数据的确定

(1) 热力网管道内壁当量粗糙度可采用下列数值：

蒸汽管道：0.0002m；

热水管道：0.0005m；

凝结水及生活热水管道：0.001m。

(2) 确定热水热力网主干线管径时，宜采用经济比摩阻。

主干线设计比摩阻一般可取40~80Pa/m。

(3) 热水热力网支干线、支线应按允许压力降确定管径，但供热介质流速不应大于3.5m/s。

(4) 蒸汽热力网热介质的最大允许设计流速一般规定如下：

过热蒸汽管道

公称直径大于200mm的管道：80m/s；

公称直径小于或等于200mm的管道：50m/s；

饱和蒸汽管道

公称直径大于200mm的管道：60m/s；

公称直径小于或等于200mm的管道：35m/s。

(5) 蒸汽热力网应根据管道起点压力和用户需要压力确定的允许压力降，选用管道直径。

(6) 以热电厂为热源的蒸汽热力网, 管网起点压力应采用经技术经济计算确定的汽轮机最佳抽(排)汽压力。

(7) 以区域锅炉房为热源的蒸汽热力网, 在技术条件允许的情况下, 热力网主干线起点压力宜采用较高值。

(8) 蒸汽热力网凝结水管道设计比摩阻可采用100Pa/m。

(9) 热力管道局部阻力与沿程阻力的比值, 可按表5.5-1推荐的数值取用。

2. 水力计算表

(1) 蒸汽管道水力计算表见表5.5-2。

(2) 热水管道及泵压凝结水管道水力计算表见表5.5-3。

(3) 余压凝结水管水力计算表见表5.5-4。

蒸汽管道水

DN (mm)	W (m/s)	P(MPa)		0.07		0.1		0.2		0.3		0.4		0.5	
		G(kg/h)	R(Pa/m)	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R
15	10	6.7	114	7.8	134	11.3	193	14.9	256	18.4	317	21.8	374		
	15	10	256	11.7	300	17.0	437	22.4	577	27.6	663	32.4	825		
	20	13.4	446	15	535	22.7	780	29.8	1020	30.8	1260	43.7	1500		
20	10	12.2	78	14.1	80	20.7	184	27.1	174	33.5	216	39.8	256		
	15	18.2	175	21.1	202	31.1	302	38.6	353	50.3	486	57.7	538		
	20	24.3	310	28.2	36.9	41.4	535	54.2	695	67	862	79.6	1024		
25	15	29.4	131	34.4	153.5	50.2	325	65.8	294	81.2	362	96.2	439		
	20	39.2	230	45.8	274	66.7	401	87.8	523	108	655	128	762		
	25	49	356	57.3	426	83.3	616	110	817	136	1020	161	1190		
32	15	51.6	92	60.2	108	88	158	115	206	142	248	169	270		
	20	67.7	153	80.2	191	117	271	154	367	190	447	226	548		
	25	85.6	250	100	295	147	443	193	574	238	597	282	832		
	30	103	358	120	430	176	633	230	823	284	1030	338	1210		
40	20	90.6	138	105	150	154	233	202	308	249	359	263	415		
	25	113	214	132	252	104	368	258	484	311	592	354	647		
	30	138	312	158	361	252	530	306	680	374	855	444	1020		
	35	157	415	185	495	269	715	354	941	437	1170	521	1400		
50	20	134	107	157	128	229	185	301	242	371	300	443	358		
	25	168	169	197	197	287	287	377	370	465	470	554	561		
	30	202	241	236	286	344	414	452	538	558	676	664	805		
	35	234	327	270	390	400	565	530	939	650	930	716	1100		
65	20	257	71	299	85	437	123	572	162	706	196	838	236		
	25	317	110	514	131	542	189	715	251	880	306	1052	370		
	30	380	157	448	168	650	274	658	360	1060	446	1262	532		
	35	445	215	525	258	762	374	1005	495	1240	607	1478	730		
80	25	454	91	528	106	773	155	1012	204	1297	270	1480	296		
	30	556	135	630	152	926	223	1213	291	1498	360	1776	425		
	35	634	177	738	206	1082	304	1415	396	1749	490	2074	580		
	40	725	232	844	270	1237	398	1620	520	1978	640	2370	757		
100	25	673	70	784	82	1149	121	1502	157	1856	195	2201	231		
	30	808	102	940	118	1377	174	1801	226	2220	280	2640	331		
	35	944	139	1099	161	1608	237	2108	310	2600	382	3083	452		
	40	1034	166	1250	208	1832	307	2396	400	2980	500	3514	587		
125	25	1034	52	1205	60	1762	89	2310	117	2852	143	3380	169		
	30	1241	75	1447	87	2118	128	2770	166	3420	206	4063	244		
	35	1450	102	1690	119	2477	175	3200	228	4000	281	4740	333		
	40	1600	133	1930	155	2826	228	3700	296	4560	366	5420	435		

管道局部阻力与沿程阻力比值

表 5.5-1

补偿器类型	公称直径(mm)	局部阻力与沿程阻力比	
		蒸汽管道	热水及凝结水管道
输送干线			
套筒或波纹管补偿器 (带内衬筒) 方型补偿器 方型补偿器 方型补偿器	<1200	0.2	0.2
	200~250	0.7	0.5
	400~500	0.9	0.7
	600~1200	1.2	1.0
输配管线			
套筒或波纹管补偿器 (带内衬筒) 套筒或波纹管补偿器 (带内衬筒) 方型补偿器 方型补偿器 方型补偿器 方型补偿器	<100	0.4	0.3
	450~1200	0.5	0.4
	150~250	0.8	0.6
	300~350	1.0	0.8
	400~500	1.0	0.9
	600~1200	1.2	1.0

力 计 算 表

表 5.5-2

0.6		0.7		0.8		0.9		1.0		1.1		1.2		1.3	
G	R	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R
25.3	435	28.7	492	32	548	35.4	605	39.0	671	42.2	724	45.6	781	48.8	835
37.6	958	43	1110	48	1230	53.2	1370	54.8	1510	63.3	1630	68.4	1760	73	1870
50.5	1730	57.4	1970	63.8	2180	71	2410	78.0	2580	84.4	2890	91.2	3120	97.2	3310
46	295	52.2	335	58.2	384	64.5	415	70.5	450	76.6	482	83	534	89.4	576
69	665	78.4	753	87.5	844	96.7	934	106	1020	115	1110	124	1190	134	1300
92	1180	104	1340	116	1450	129	1660	141	1800	153	1970	166	2130	179	2300
111	497	127	564	141	639	156	684	172	767	181	784	199	880	216	965
149	882	169	1000	188	1120	208	1230	229	1350	242	1400	253	1420	296	1690
186	1380	211	1570	235	1740	250	1780	286	2130	302	2180	316	2220	358	2656
195	357	222	396	253	462	274	489	303	546	326	580	350	620	388	710
260	617	296	706	338	822	367	897	404	997	435	1040	456	1100	517	1260
325	964	370	1110	422	1280	457	1360	505	1520	543	1610	582	1720	645	1980
390	1380	444	1590	506	1850	548	1955	606	2190	652	2330	599	2480	756	2710
343	524	389	594	435	665	480	737	527	805	573	875	613	930	663	1010
478	816	430	968	533	997	600	1140	658	1260	710	1380	767	1460	830	1580
514	1180	584	1340	652	1500	720	1650	770	1820	858	1960	920	2090	995	2280
584	1570	666	1740	754	2000	840	2240	926	2480	997	2650	1075	2850	1150	3040
508	405	578	466	646	520	713	573	782	628	850	683	912	728	985	790
636	637	724	730	805	806	892	896	979	985	1065	1070	1140	1140	1233	1240
764	920	868	1050	970	1170	1070	1290	1174	1420	1276	1540	1370	1640	1480	1780
895	1240	1010	1440	1130	1590	1249	1750	1380	1950	1487	2090	1605	2260	1714	2400
970	271	1101	305	1230	344	1360	376	1490	398	1619	453	1748	490	1878	526
1200	415	1345	460	1530	534	1900	595	1970	656	2015	702	2170	755	2320	802
1440	547	1610	660	1830	763	2040	855	2240	940	2450	1010	2600	1080	2780	1150
1685	816	1885	903	2145	1050	2380	1170	2625	1300	2830	1400	3050	1500	3258	1580
1713	342	1947	390	2176	428	2400	479	2636	529	2860	572	3084	615	3318	665
2053	484	2333	559	2676	659	2880	690	3159	757	3430	822	3700	885	3980	955
2400	671	2723	761	3041	850	3360	980	3682	1080	4005	1140	4323	1210	4650	1290
2740	865	3110	994	3480	1120	3840	1230	4216	1350	4576	1470	4940	1580	5306	1700
2547	267	2888	302	3231	339	3565	375	3916	411	4250	435	4583	499	4930	516
3058	384	3470	437	3879	487	4280	515	4690	589	5100	631	5510	692	5915	743
3568	524	4050	594	4530	615	5000	737	5480	804	5960	875	6424	940	6905	1020
4030	667	4610	710	5118	848	5896	958	6240	1040	6780	1130	7276	1210	7872	1320
3910	196	4440	222	4963	248	5482	294	6020	302	6530	327	7050	352	7570	379
4690	282	5334	321	5960	358	6578	395	7217	434	7840	430	8450	506	9080	544
5485	389	6235	438	6960	488	7700	542	8438	593	9160	642	9880	692	10560	737
6264	490	7118	570	7950	687	8776	719	9628	721	10460	840	11280	902	12120	970

余压凝结水管

DN ₁ (mm)	R (Pa/m)		20		50		80		100		150	
	G (t/h)	W (m/s)	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W
10	0.047	0.10	0.076	0.16	0.095	0.22	0.11	0.28	0.14	0.36		
15	0.070	0.11	0.11	0.17	0.15	0.27	0.165	0.32	0.20	0.40		
20	0.175	0.14	0.26	0.23	0.34	0.30	0.39	0.33	0.45	0.44		
25	0.30	0.15	0.48	0.24	0.62	0.32	0.70	0.35	0.85	0.45		
32	0.48	0.17	0.76	0.27	0.95	0.34	1.10	0.40	1.30	0.47		
40	0.80	0.19	1.30	0.31	1.64	0.40	1.85	0.45	2.22	0.53		
50	1.60	0.24	2.50	0.37	3.15	0.47	3.60	0.53	4.40	0.65		
65	3.70	0.29	5.80	0.45	7.00	0.54	8.00	0.62	10.00	0.78		
80	5.60	0.31	9.00	0.51	11.20	0.63	13.00	0.73	15.50	0.88		
100	10.00	0.37	15.60	0.59	20.00	0.74	22.00	0.81	27.00	1.00		
125	18.00	0.42	28.50	0.67	36.00	0.85	41.00	0.97	49.00	1.16		
150	28.00	0.48	44.00	0.75	58.00	0.95	65.00	1.07	80.00	1.31		
200	64.00	0.57	100.00	0.90	130.00	1.16	145.00	1.30	177.00	1.59		

余压凝结水管

0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
2.30	2.34 2.25	2.38 2.30 2.23	2.41 2.33 2.26 2.18	2.43 2.35 2.30 2.20 2.15	2.46 2.38 2.32 2.25 2.19	2.50 2.40 2.34 2.29 2.23	2.52 2.42 2.36 2.31 2.25	2.55 2.45 2.39 2.32 2.26	2.57 2.47 2.41 2.35 2.29	2.58 2.48 2.43 2.38 2.32	2.60 2.50 2.45 2.40 2.34	2.61 2.52 2.46 2.41 2.35	2.62 2.54 2.47 2.42 2.37
	P ₁				2.13	2.17	2.19	2.20	2.24	2.26	2.28	2.30	2.32
	↓				2.10	2.12	2.15	2.18	2.20	2.22	2.24	2.26	2.28
	μ		P ₂			2.04	2.09	2.12	2.14	2.16	2.18	2.20	2.22
							2.03	2.05	2.09	2.12	2.14	2.16	2.18
								2.02	2.04	2.07	2.10	2.12	2.14
									2.00	2.03	2.06	2.08	2.08
										1.98	2.02	2.04	2.04
											1.97	1.97	1.97
												1.96	1.96
10	2.16	2.86	3.28										
15	1.72	2.27	2.60	3.23									
20		1.68	1.93	2.40	3.16								
25			1.52	1.89	2.48	3.04							
32				1.43	1.87	2.30	2.80						
										DN ₁	→	μ	
40					1.64	2.00	2.44	3.04					
50						1.60	1.96	2.45	3.00				
65							1.49	1.87	2.44	3.09			
88								1.52	1.83	2.52	3.16		
100									1.50	2.07	2.59	3.09	
DN ₁	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	
DN ₂													

注：1. 符号 DN₁——热水管径，mm；DN₂——汽水混合物管径，mm；P₁——起点压力，MPa；P₂——终点压力，MPa。

2. 当实际采用的管径 DN₂ 与计算的管径 DN₂' 不同时，实际压降应按下列式校正 $R' = R \left(\frac{DN_2}{DN_2'} \right)^{5.25} = R_1 \left(\frac{\mu}{\mu'} \right)^{5.25}$ 。

3. 本表已考虑了由于压降而导致的二次蒸发汽和疏水阀的漏汽。

水力计算表(一)

表 5.5-4

200		250		300		350		400		450		500	
G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W
0.17	0.42	0.18	0.44	0.20	0.45	0.21	0.47	0.23	0.49	0.24	0.51	0.25	0.53
0.23	0.43	0.25	0.45	0.28	0.48	0.30	0.49	0.32	0.52	0.34	0.54	0.36	0.56
0.54	0.47	0.60	0.50	0.66	0.55	0.70	0.59	0.77	0.64	0.83	0.68	0.89	0.72
0.95	0.48	1.07	0.54	1.17	0.59	1.27	0.64	1.35	0.68	1.40	0.72	1.52	0.76
1.50	0.54	1.7	0.61	1.85	0.66	2.0	0.72	2.15	0.77	2.30	0.83	2.4	0.86
2.60	0.63	2.9	0.70	3.15	0.76	3.4	0.82	3.6	0.87	3.85	0.93	4.1	0.99
5.00	0.74	5.6	0.83	6.1	0.91	6.6	0.97	7.0	1.03	7.5	1.11	7.8	1.17
11.50	0.89	13.0	1.01	14.0	1.09	15.0	1.16	16.0	1.24	17.5	1.36	18.2	1.42
18.00	1.01	20.0	1.12	22.0	1.24	23.8	1.34	25.5	1.43	27.0	1.62	28.5	1.60
31.00	1.15	35.0	1.29	38.0	1.40	41.5	1.53	44.5	1.62	47.0	1.74	53.0	1.80
58.00	1.37	64.0	1.51	70.0	1.65	75.0	1.78	80.0	1.89	85.0	2.01	90.0	2.13
90.00	1.48	103.0	1.68	112.0	1.85	123.0	2.00	130.0	2.13	138.0	2.34	145.0	2.38
205.00	1.84	228.0	2.06	250.0	2.24	270.0	2.42	290.0	2.60	307.0	2.75	324.0	2.90

水力计算表(二)

0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	P_1 (MPa)	P_2 (MPa)
2.63	2.65	2.67	2.68	2.69	2.70	2.76	2.86	2.90	2.95	2.97	3.00	0	
2.56	2.57	2.58	2.59	2.60	2.61	2.71	2.77	2.82	2.88	2.90	2.95	0.01	
2.49	2.58	2.51	2.52	2.54	2.55	2.65	2.72	2.77	2.80	2.84	2.87	0.02	
2.44	2.45	2.46	2.48	2.49	2.50	2.61	2.68	2.72	2.76	2.80	2.83	0.03	
2.38	2.40	2.41	2.43	2.44	2.45	2.57	2.63	2.67	2.72	2.75	2.78	0.04	
2.33	2.35	2.36	2.38	2.39	2.48	2.53	2.58	2.62	2.68	2.70	2.73	0.05	
2.28	2.30	2.31	2.32	2.34	2.35	2.47	2.52	2.57	2.61	2.64	2.69	0.06	
2.23	2.24	2.25	2.26	2.28	2.30	2.40	2.45	2.52	2.55	2.59	2.62	0.07	
2.18	2.19	2.20	2.22	2.24	2.25	2.37	2.42	2.49	2.52	2.56	2.58	0.08	
2.14	2.15	2.16	2.18	2.20	2.21	2.33	2.38	2.45	2.49	2.52	2.55	0.09	
2.10	2.11	2.12	2.14	2.16	2.17	2.29	2.35	2.42	2.46	2.48	2.52	0.10	
2.08	2.08	2.09	2.10	2.13	2.15	2.27	2.33	2.40	2.46	2.47	2.50	0.11	
1.98	2.05	2.06	2.07	2.09	2.12	2.25	2.31	2.38	2.42	2.44	2.47	0.12	
1.97	2.02	2.03	2.04	2.06	2.09	2.23	2.28	2.35	2.40	2.42	2.45	0.13	
1.95	1.98	2.00	2.01	2.03	2.06	2.20	2.25	2.32	2.37	2.40	2.42	0.14	
	1.94	1.97	1.98	2.00	2.03	2.17	2.23	2.30	2.35	2.38	2.48	0.15	
		1.93	1.94	1.96	1.99	2.14	2.20	2.27	2.32	2.35	2.38	0.16	
			1.90	1.92	1.95	2.10	2.17	2.24	2.29	2.32	2.35	0.17	
				1.88	1.91	2.06	2.14	2.21	2.26	2.29	2.33	0.18	
					1.87	2.02	2.10	2.17	2.22	2.26	2.30	0.19	
						1.98	2.07	2.14	2.19	2.23	2.28	0.20	
						1.87	1.96	2.03	2.07	2.13	2.17	0.25	
							1.87	1.95	2.00	2.05	2.09	0.30	
							1.80	1.85	1.92	1.96	2.00	0.35	
								1.80	1.85	1.90	1.95	0.40	
									1.75	1.80	1.85	0.45	

5.6 热力网管道的热补偿和管道强度计算

5.6.1 管道热补偿

热力网管道的热补偿设计,应考虑如下各点:

1. 充分利用管道的转角等进行自然补偿。
2. 采用弯管补偿器或轴向波纹管补偿器时,应考虑安装时的冷紧。
3. 采用套筒补偿器时,应计算各种安装温度下的安装长度,保证管道在可能出现的最高和最低温度下,补偿器留有不小于20mm的补偿余量。
4. 采用波纹管轴向补偿器时,管道上应安装防止波纹管失稳的导向支座,当采用套筒补偿器、球形补偿器、铰接波纹管补偿器,补偿管段过长时,亦应在适当地点设导向支座。
5. 采用球形补偿器、铰接波纹管补偿器,且补偿管段较长时,宜采取减小管道摩擦力的措施。
6. 当一条管道直接敷设于另一条管道上时,应考虑两管道在最不利运行状态下热位移不同的影响。
7. 直埋敷设管道,宜采用无补偿敷设方式。

5.6.2 管道机械强度计算

1. 进行管道机械强度计算时,供热介质计算参数按下列规定取用

- 蒸汽管道取用锅炉、汽轮机抽(排)汽口、减温减压装置的最大工作压力和温度;
- 热水热力网供、回水管道的计算压力均取用循环水泵最高出口压力加上循环水泵与管道最低点地形高差产生的静压,计算温度取室外供暖设计温度下的热力网设计温度;
- 凝结水管道计算压力取用户凝结水泵最高出水压力加上地形高差产生的静压,计算温度取用户凝结水箱最高水温;
- 管道工作循环最低温度,对于全年运行的管道,地下敷设时取 30°C ,地上敷设时取 15°C ,对于只在供暖期运行的管道,地下敷设时取 10°C ,地上敷设时取 5°C 。

2. 下列各项计算均采用现行的《火力发电厂汽水管道应力计算技术规定》(SDGJ6)的计算方法进行

- 热力网管道的许用应力、管子壁厚计算;
- 地上敷设和地下管沟敷设以及直埋敷设热力网管道的补偿值、作用力和力矩以及应力验算。

3. 直埋敷设热力网管道的补偿值作用力和力矩计算必须考虑土壤约束作用的影响

无补偿直埋敷设管道锚固段的轴向温度应力,应考虑由于管道少量横向位移和管壁波纹效应引起的实际应力降低现象,计算时应乘以0.8的土壤约束系数。

4. 管道作用于固定支座的水平荷载应考虑最不利运行状态,按下列规定计算

- 固定支座的水平荷载,应包括管道由于活动支座摩擦力产生的轴向力、内压力不平衡力(当安装套筒补偿器、波纹管补偿器时,应考虑产生此项荷载的可能)、补偿器反力等;
- 计算固定支座轴向推力时,应考虑固定支座两侧管道水平荷载的抵消作用,考虑固

水和蒸汽管道的热伸长量 ΔL (mm) 表 5.6-1

饱和蒸汽压力 P (MPa) (表压)		t_2 热介质温度 (°C)																							
		0.05	0.1	0.18	0.27	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5							
管段长 L																									
(m)		40	60	70	80	90	95	100	110	120	130	140	143	151	158	164	170	173	179	183	191	197	203	214	225
5	3	4	4	4	5	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11	10	12	12	12	13	13.15	14
10	6	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	18	19	20	21	21	22	22	23	24	24	25	26	28
15	8	11	11	13	15	17	18	19	21	23	24	26	27	28	30	31	32	33	33	34	35	37	38	39	41
20	11	15	15	18	20	23	24	25	28	30	33	35	36	38	40	41	43	44	45	46	47	49	50	52	55
25	14	19	19	22	25	28	30	31	34	38	41	44	45	47	50	51	53	55	56	57	59	61	63	66	68
30	17	23	23	26	30	34	36	38	41	45	49	53	54	57	60	62	64	66	67	69	71	73	75	79	82
35	19	26	26	31	35	40	42	44	48	53	57	61	63	66	70	72	74	77	79	80	83	85	88	92	97
40	22	30	30	35	40	45	48	50	55	60	65	70	72	76	80	82	85	88	90	92	94	97	100	101	110
45	25	34	34	40	45	51	54	56	62	68	73	79	81	85	90	92	96	99	101	103	106	109	112	118	124
50	27	38	38	44	50	57	60	63	69	75	81	88	89	95	99	103	106	110	112	114	118	121	125	131	138
55	30	41	41	48	55	62	66	69	76	83	89	96	99	104	109	113	117	120	123	126	129	134	137	145	152
60	33	45	45	53	60	68	71	75	83	90	98	105	107	114	119	123	128	131	134	137	141	146	150	158	165
65	35	49	49	57	65	74	77	81	89	98	106	114	116	123	129	133	138	142	145	148	153	158	162	171	179
70	38	53	53	62	70	79	83	88	96	105	113	123	125	132	138	144	149	154	157	160	165	170	175	184	193
75	41	56	56	66	75	85	89	94	103	113	122	131	134	142	148	154	159	164	168	172	176	182	187	197	203
80	44	60	60	70	80	90	95	100	110	120	130	140	143	152	158	164	170	175	180	183	188	194	200	210	220
85	46	64	64	75	85	96	101	100	117	128	138	149	152	161	168	174	180	186	190	194	200	206	212	224	234
90	49	68	68	79	90	102	107	113	124	135	146	157	161	171	178	185	191	197	200	205	212	218	225	236	248
95	52	71	71	83	95	107	113	119	130	143	154	166	170	180	188	195	202	208	212	217	223	230	237	250	262
100	54	75	75	88	100	113	119	125	137	150	163	175	179	190	198	205	212	219	224	229	235	243	250	263	276
105	57	79	79	92	105	119	123	131	144	158	170	184	188	199	208	215	223	230	235	240	247	255	262	276	290
110	60	83	83	96	110	124	131	138	151	165	180	194	197	208	218	226	234	240	246	252	259	267	274	290	304

本表按公式: $\Delta L = 0.012 (t_2 - t_1) \cdot L$ mm, 安装温度为: $t_1 = -5^\circ\text{C}$ 。

定支座两侧管道由支座摩擦力、补偿器反力引起的水平荷载抵消时，水平荷载较小一侧荷载数值应乘以0.7的系数；

• 当固定支座承受分支管引起的侧向水平荷载时，侧向水平荷载按表5.7-10中二计算，当有双向分支管时，只考虑荷载较大一侧支管的水平荷载。

5.6.3 热力网管道补偿器选用与计算

1. 管道的热伸长 ΔL (mm)

$$\Delta L = a \cdot L (t_2 - t_1) \times 1000 \quad (5.6-1)$$

式中 a ——管材的线膨胀系数， $m/m \cdot ^\circ C$ ，可查表5.6-2。

L ——管道的计算长度， m ；

t_2 ——输送介质温度， $^\circ C$ ；

t_1 ——管道安装时温度， $^\circ C$ 。

水和蒸汽管道的热伸长量 ΔL 也可由表5.6-1查得。

2. L型补偿器

(1) L型补偿器的选择

已知管径、长臂热伸长量，可按图5.6-1查得短臂长度。

(2) L型补偿器的弹性力计算 (参照图5.6-2)

①短臂固定点的弹性力：

$$P_x = A \frac{a \cdot E \cdot J}{10^7} \cdot \frac{\Delta t}{L_1^2} = \frac{A}{L_1^2} \cdot \frac{a \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7} \text{ N} \quad (5.6-2)$$

$$P_y = B \frac{a \cdot E \cdot J}{10^7} \cdot \frac{\Delta t}{L_1^2} = \frac{B}{L_1^2} \cdot \frac{a \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7} \text{ N} \quad (5.6-3)$$

②长臂固定点的弹性力：

$$P'_x = A' \frac{a \cdot E \cdot J}{10^7} \cdot \frac{\Delta t}{L_1^2} = \frac{A'}{L_1^2} \cdot \frac{a \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7} \text{ N} \quad (5.6-4)$$

$$P'_y = B' \frac{a \cdot E \cdot J}{10^7} \cdot \frac{\Delta t}{L_1^2} = \frac{B'}{L_1^2} \cdot \frac{a \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7} \text{ N} \quad (5.6-5)$$

式中 A 、 B ——L型补偿器短臂弹性力系数，据 $n = \frac{L_2}{L_1}$ 及 φ 可由图5.6-3查得；

A' 、 B' ——L型补偿器长臂弹性力系数，据 $n = \frac{L_2}{L_1}$ 及 φ 可由图5.6-4查得；

φ ——补偿器长臂与水平夹角，见图5.6-2；

L_1 、 L_2 ——短臂、长臂长度， m 。

$\frac{a \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7}$ ——辅助数值，可查表5.6-4；

E ——弹性模数， MPa ，见表5.6-3；

J ——管子断面惯性矩， cm^4 ，见表5.6-7；

Δt ——安装温差， $^\circ C$ ，根据计算，一般常用的温度差取：

① $\Delta t < 100^\circ C$ ，为 $100^\circ C$ 以下的热力管道；

- ② $\Delta t = 135^\circ\text{C}$, 为 $135-70^\circ\text{C}$ 热水管道;
- ③ $\Delta t = 155^\circ\text{C}$, 为 $150-70^\circ\text{C}$ 热水管道;
- ④ $\Delta t = 200^\circ\text{C}$, 为 1.0MPa 以下的蒸汽管。

$\frac{A}{L_1^2} \cdot \frac{B}{L_1^2}$ 及 $\frac{A'}{L_1^2} \cdot \frac{B'}{L_1^2}$ —— 查图 5.6-5。

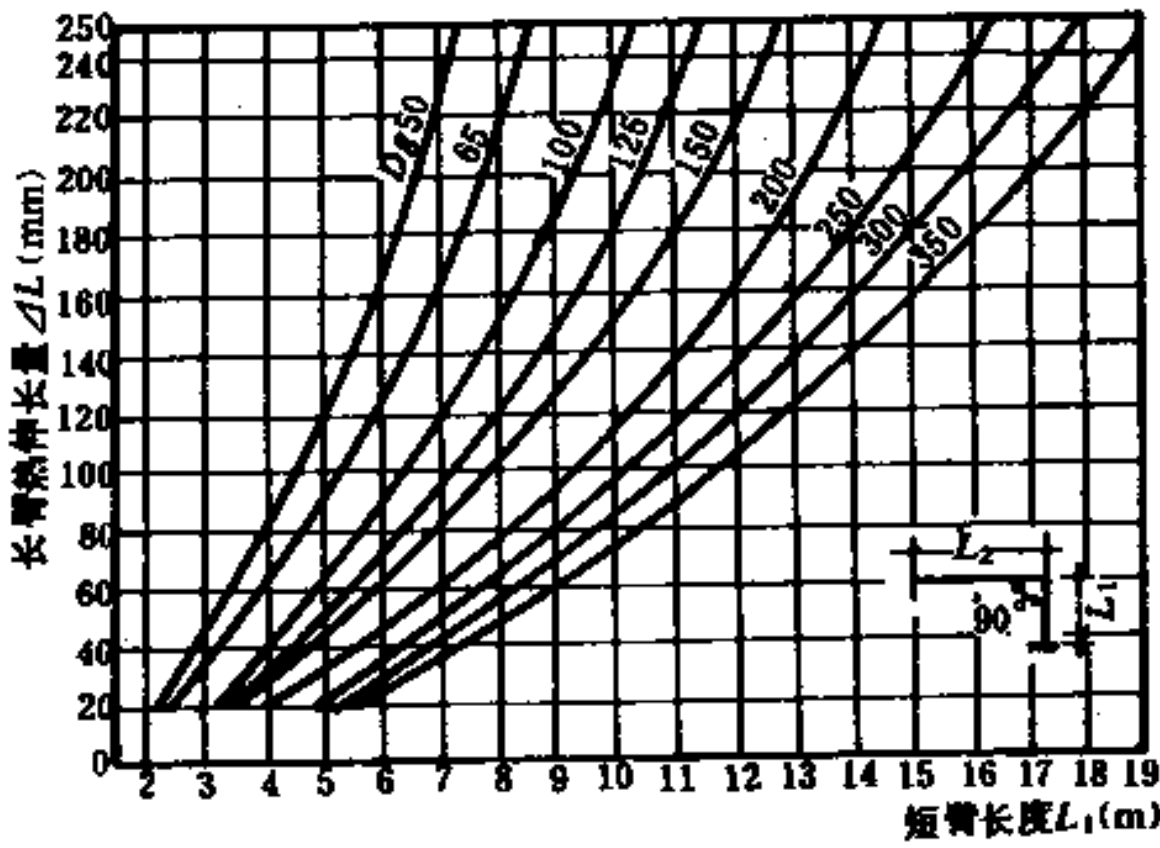


图 5.6-1 L型自然转弯补偿器线算图

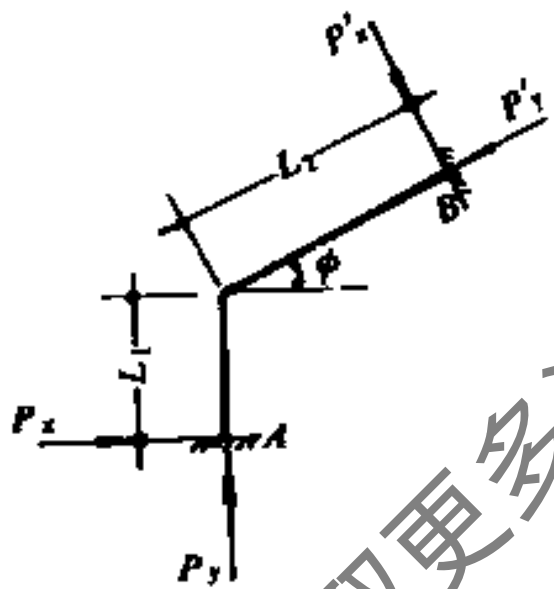


图 5.6-2 L型补偿器计算图

各种管材的线膨胀系数α值 表 5.6-2

管 材	α (m/m·°C)
普通钢	12×10^{-6}
低碳钢	11.7×10^{-6}
镍钢	13.1×10^{-6}
镍铬钢	11.7×10^{-6}
不锈钢	10.3×10^{-6}
青铜	18.5×10^{-6}
黄铜	18.4×10^{-6}
紫铜	16.4×10^{-6}
铸铁	10.4×10^{-6}
聚乙烯	70×10^{-6}
玻璃	5×10^{-6}
聚乙烯	10×10^{-6}

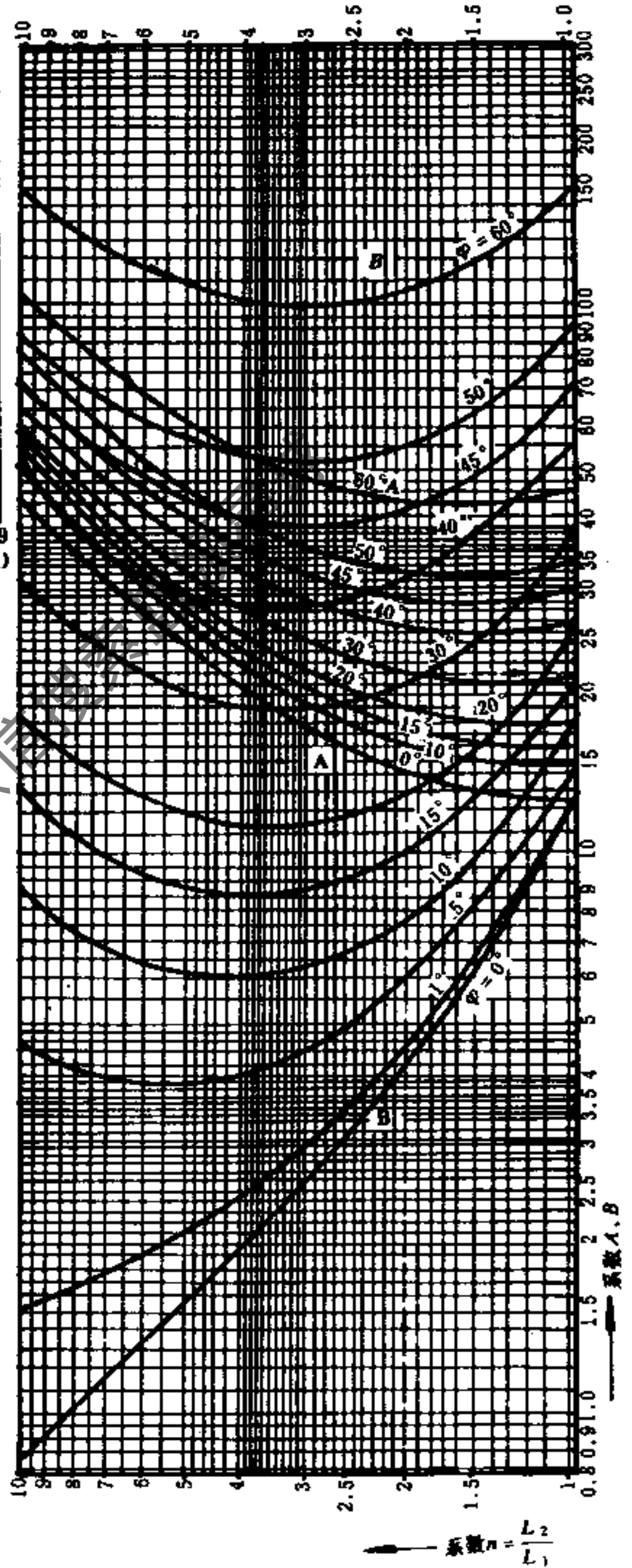


图 5.6-3 L型补偿器短臂弹性力系数 A、B 线算图

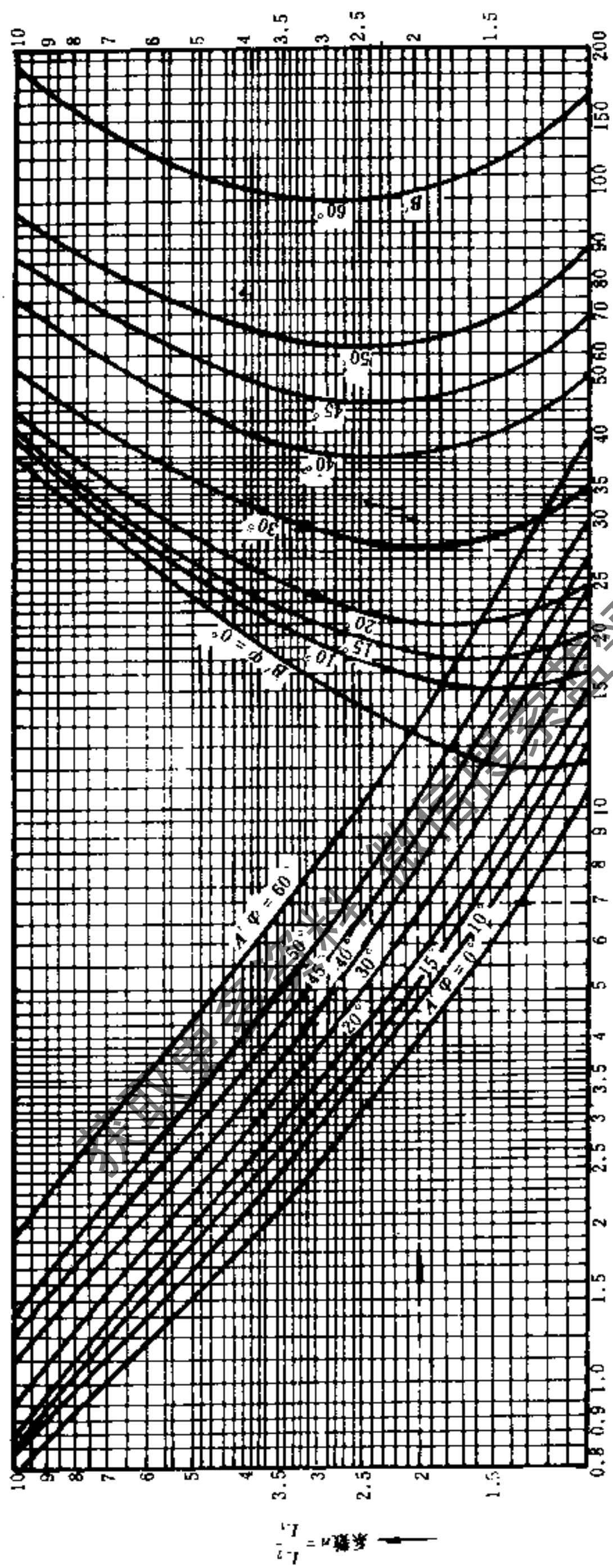


图 5.6-4 L 型补偿器长臂弹性力系数 A' 、 B' 线算图

碳素钢弹性模数及线膨胀系数

表 5.6-3

管壁温 (°C)	弹性模数E (MPa)	线膨胀系数α (mm/m·°C)	E·α (N/cm ² ·°C)
20	2.05×10 ⁵	1.18×10 ⁻²	2.42×10 ²
75	1.99×10 ⁵	1.20×10 ⁻²	2.39×10 ²
100	1.975×10 ⁵	1.22×10 ⁻²	2.41×10 ²
125	1.95×10 ⁵	1.24×10 ⁻²	2.42×10 ²
150	1.93×10 ⁵	1.25×10 ⁻²	2.41×10 ²
175	1.915×10 ⁵	1.27×10 ⁻²	2.43×10 ²
200	1.875×10 ⁵	1.28×10 ⁻²	2.40×10 ²
225	1.847×10 ⁵	1.30×10 ⁻²	2.40×10 ²
250	1.82×10 ⁵	1.31×10 ⁻²	2.38×10 ²
275	1.79×10 ⁵	1.32×10 ⁻²	2.36×10 ²
300	1.755×10 ⁵	1.34×10 ⁻²	2.35×10 ²
325	1.727×10 ⁵	1.35×10 ⁻²	2.33×10 ²
350	1.695×10 ⁵	1.36×10 ⁻²	2.31×10 ²
375	1.665×10 ⁵	1.37×10 ⁻²	2.28×10 ²
400	1.63×10 ⁵	1.38×10 ⁻²	2.25×10 ²
425	1.6×10 ⁵	1.40×10 ⁻²	2.24×10 ²
450	1.57×10 ⁵	1.41×10 ⁻²	2.21×10 ²

计算P_x、P_y用的 $\frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7}$ 值表

表 5.6-4

公称直径 (DN)	外径×壁厚 D ₁ ×s (mm)	$\frac{\alpha \cdot E \cdot J}{10^7}$ (N·m ² /°C)	当Δt为下列值时的 $\frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7}$ (N·m ²)			
			Δt = 100°C	Δt = 135°C	Δt = 155°C	Δt = 200°C
15	18×3	0.010	1.00	1.35	1.55	2.00
20	25×3	0.031	3.10	4.19	4.81	6.20
25	32×3	0.070	7.00	9.45	10.85	14.00
32	38×3	0.122	12.20	16.47	18.91	24.40
40	48×3.5	0.283	29.30	39.56	45.40	58.60
50	57×3.5	0.506	50.60	68.31	78.43	101.20
65	73×3.5	1.11	111.0	149.85	172.05	222.00
80	89×4	2.321	232.1	313.34	359.76	464.20
100	108×4	4.248	424.8	573.48	658.44	849.60
125	133×4	8.102	810.2	1093.77	1255.81	1620.40
150	159×4.5	15.658	1565.8	2113.83	2426.99	3131.60
200	219×6	54.696	5469.6	7383.96	8477.88	10939.2
250	273×7	124.30	12429.6	16779.96	19265.88	24859.2
300	325×8	240.384	24038.4	32451.84	37259.52	48076.8
350	377×9	423.096	42309.6	57117.96	65579.88	84619.2
400	426×9	615.504	61550.4	83093.04	95403.12	123100.8
500	529×9	1193.352	119335.2	161102.52	184969.56	238670.4

3. Z型补偿器

(1) Z型补偿器的选择

已知管径、ΔL (为L₁ + L₂的热伸长量) 及 $n = \frac{L_1 + L_2}{L_1}$, 可由图5.6-6查得Z型补

偿器伸出部分L₃之长度。

(2) Z型补偿器的弹性力计算

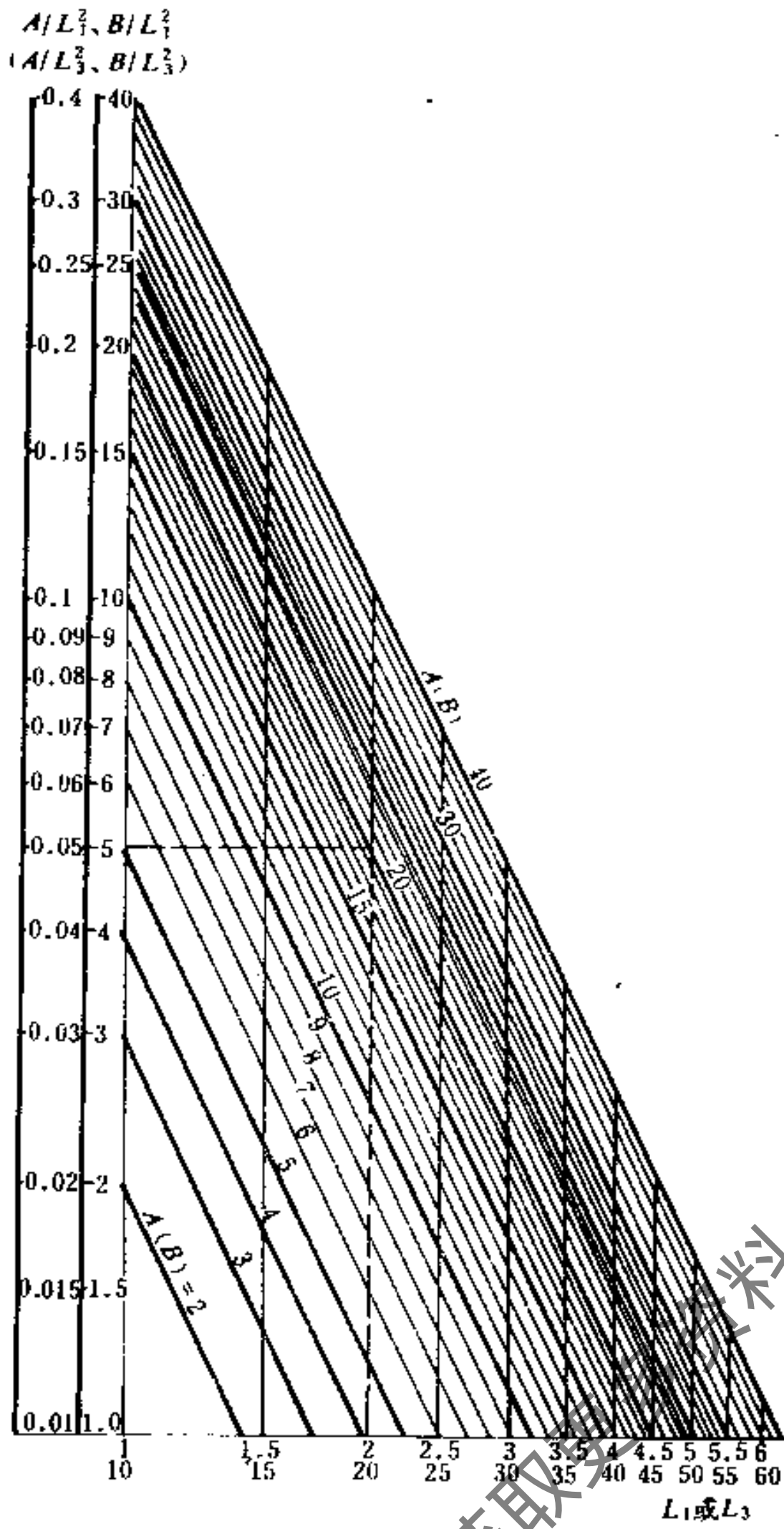


图 5.6-5 $\frac{A}{L_1^2}$ 、 $\frac{B}{L_1^2}$ 线算图

图表用法说明:

1. $\frac{A}{L_1^2}$ 、 $\frac{B}{L_1^2}$ 用于 L 型, Z 型自然转弯管段;
2. L_1 单位为 m, 个位内查得的 $\frac{A}{L_1^2}$ 、 $\frac{B}{L_1^2}$ 值为右行数值; 十位数的 L_1 , 查得的 $\frac{A}{L_1^2}$ 、 $\frac{B}{L_1^2}$ 值为左行数值。

例:

1. L 型自然转弯管段之 $L_1 = 2$ m, $A = 20$ (查 A 图得), 求 $\frac{A}{L_1^2}$ 值;

解: 由图中 $L_1 = 2$ 处沿虚线引至 $A = 20$ 处, 转折到 5, 则所求之 $\frac{A}{L_1^2} = 5$ 。

2. 同上, $A = 20$, $L_1 = 20$ m, 求 $\frac{A}{L_1^2}$ 值。查法同上, 因 $L_1 = 20$

则 $\frac{A}{L_1^2}$ 值是左行值, 应为 $\frac{A}{L_1^2} = 0.05$ 。

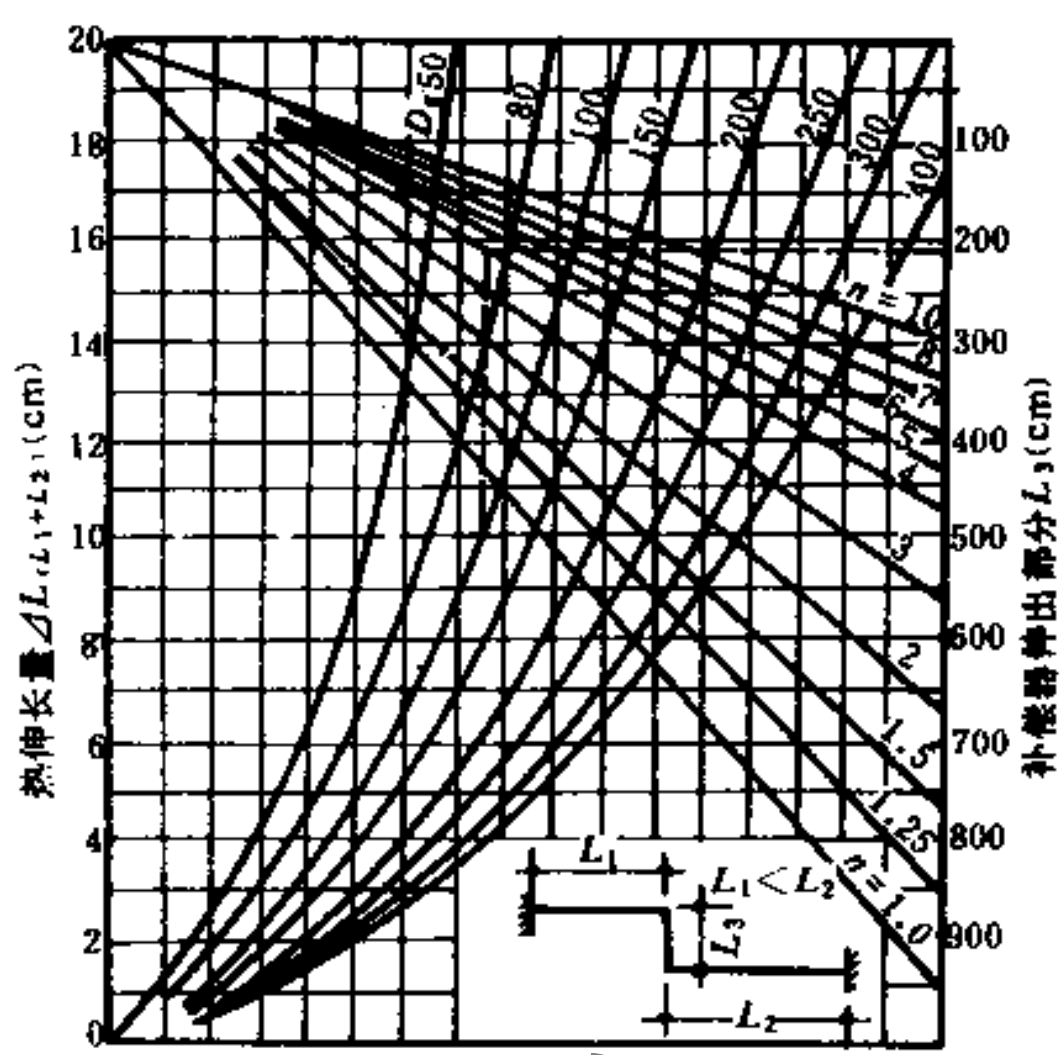


图 5.6-6 Z 型补偿器线算图

固定点 A、B 点上的弹性力 (参照图 5.6-7):

$$P_x = A \cdot \frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7 \cdot L_3^2} = \frac{A}{L_3^2} \cdot \frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7} \quad (5.6-6)$$

$$P_y = B \cdot \frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7 \cdot L_3^2} = \frac{B}{L_3^2} \cdot \frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7} \quad (5.6-7)$$

式中 A、B —— Z 型补偿器弹性力系数, 可根据 P 及 n 值由图 5.6-8 查得;

$\frac{A}{L_3^2}$ 、 $\frac{B}{L_3^2}$ —— 查图 5.6-5;

$\frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7}$ —— 查表 5.6-4。

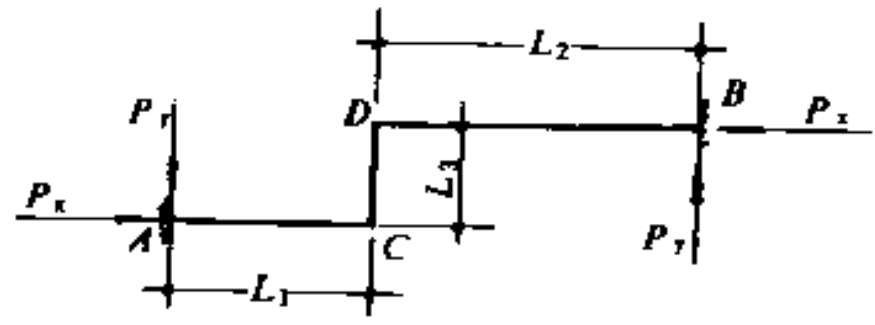


图 5.6-7 Z 型补偿器计算图

$$L_2 > L_1, P = \frac{L_1 + L_2}{L_3}, n = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

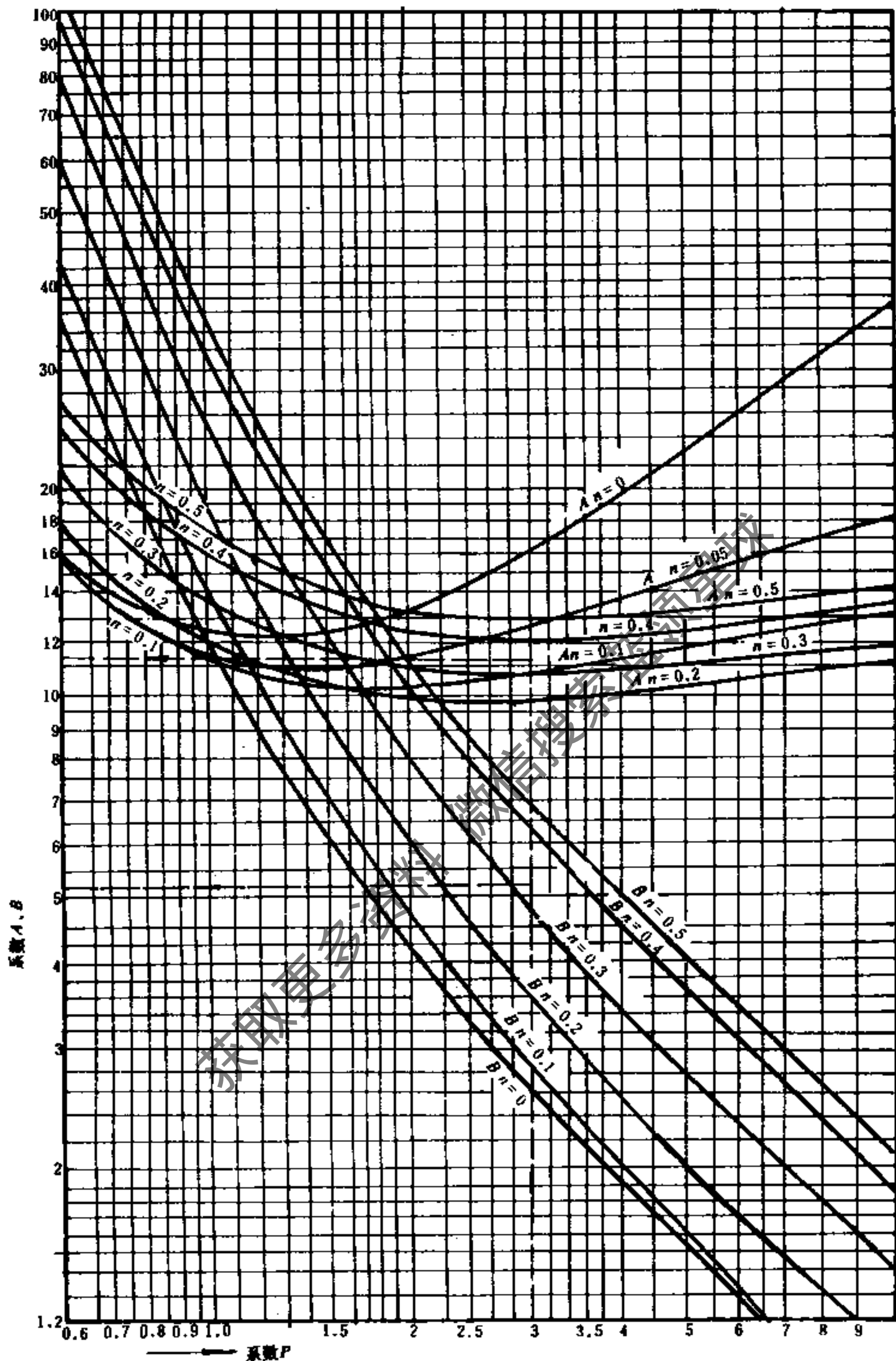


图 5.6-8 Z型补偿器弹性力系数 A 、 B 线算图

4. 方型补偿器

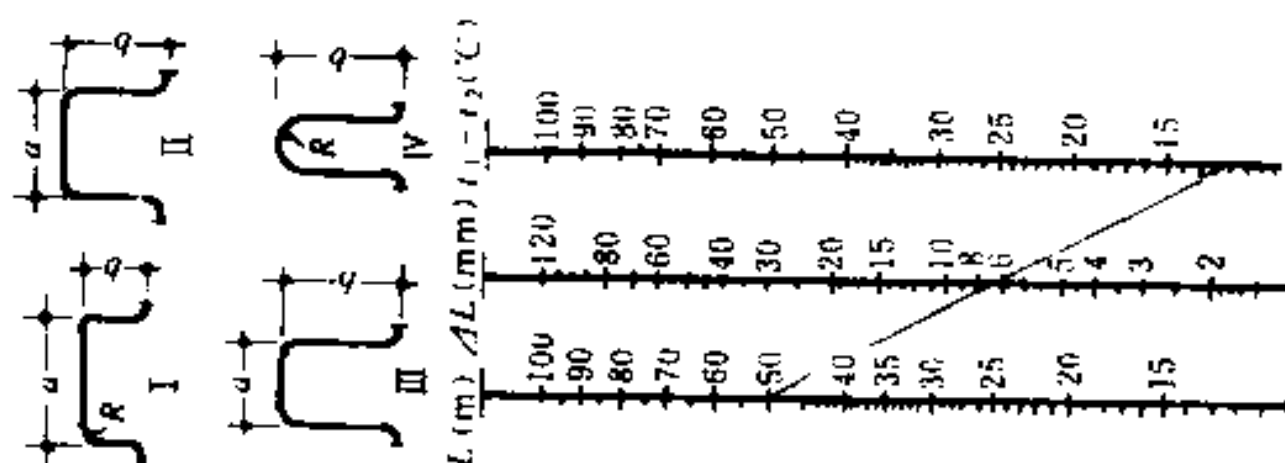
(1) 方型补偿器的选择

方型补偿器选用尺寸表见表5.6-5。

方型补偿器选用尺寸表

表 5.8-5

管径	DN25		DN32		DN40		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200		DN250		
	R = 134	R = 169	R = 192	R = 240	R = 304	R = 356	R = 432	R = 532	R = 636	R = 876	R = 1090												
AL 型号	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
25	I	780	520	850	580	860	620	820	650	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	II	600	600	650	680	680	700	700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	III	470	660	530	720	570	740	620	750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	IV	—	800	—	820	—	830	—	840	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
50	I	1200	720	1300	800	1280	830	1280	880	1250	930	1290	1000	1400	1130	1550	1300	1550	1400	—	—	—	
	II	840	840	920	920	970	970	980	980	1000	1000	1050	1050	1200	1200	1300	1300	1400	1400	—	—	—	
	III	650	980	700	1000	720	1050	780	1080	860	1100	930	1150	1060	1250	1300	1350	1400	—	—	—	—	
	IV	—	1250	—	1250	—	1280	—	1300	—	1120	—	1200	—	1300	—	1400	—	—	—	—	—	
75	I	1500	880	1600	950	1660	1020	1720	1100	1700	1150	1730	1220	1800	1350	2050	1550	2080	1680	2450	2100	2250	2200
	II	1050	1050	1150	1150	1200	1200	1300	1300	1300	1300	1350	1350	1450	1450	1600	1600	1750	1750	2100	2100	2208	2200
	III	750	1250	820	1320	890	1380	970	1450	1030	1450	1110	1500	1260	1650	1410	1750	1550	1800	1950	2100	2200	2200
	IV	—	1550	—	1650	—	1700	—	1750	—	1500	—	1600	—	1700	—	1800	—	1900	—	2100	—	2200
100	I	1750	1000	1900	1100	1920	1150	2020	1250	2000	1300	2130	1420	2350	1600	2450	1750	2550	1950	2850	2300	3020	2600
	II	1200	1200	1320	1320	1400	1400	1600	1600	1500	1500	1600	1600	1700	1700	1900	1900	2050	2050	2380	2380	2600	2600
	III	860	1400	950	1550	1010	1630	1070	1654	1180	1700	1280	1850	1460	2050	1600	2100	1750	2200	2080	2400	2390	2600
	IV	—	—	—	1954	—	2000	—	2050	—	1850	—	1950	—	2100	—	2150	—	2300	—	2550	—	2900
150	I	2150	1200	2320	1320	2420	1400	2520	1500	2600	1600	2790	1750	2950	1900	3250	2150	3550	2400	3750	2750	—	—
	II	1500	1500	1640	1640	1730	1730	1800	1800	1850	1850	2000	2000	2150	2150	2450	2450	2600	2600	2950	2950	3100	3100
	III	—	—	—	1150	1920	1210	2030	1290	2100	2300	1580	2450	1760	2650	1950	2800	2080	2880	2480	3200	2840	3500
	IV	—	—	—	—	—	—	—	2650	—	2400	—	2550	—	2750	—	2850	—	3000	—	3250	—	3600
200	I	—	—	2730	1530	2860	1620	3020	1750	3100	1850	3390	2050	3550	2200	3950	2500	4350	2800	4500	3150	—	—
	II	—	—	1900	1900	2000	2000	2100	2100	2200	2200	2350	2350	2550	2550	2800	2800	3050	3050	3500	3500	3700	3700
	III	—	—	—	—	1350	2300	1480	2400	1680	2750	1860	3000	2060	3250	2200	3300	2400	3500	2850	3900	3090	4000
	IV	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2950	—	3100	—	3300	—	3450	—	3600	—	4000	—	4300
250	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	IV	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



(2) 方型补偿器弹性力 P_s 估算表, 见表 5.6-6, 本表只做估算用。

表 5.6-6 方型补偿器弹性力 P_s (N) 估算表

序号	DN (mm)		25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
	H (mm)	$D_w \times s$ (mm)	32×2.5		45×2.5	57×3.5	73×3.5	89×3.5	108×4	133×4	159×4.5	219×6	273×7	325×8	377×9	426×9	529×9	630×9
1	250		660	1020	1480	3270												
2	500		330	510	740	1630	3040	4250	7250	11200	18100	46000	83500					
3	750		220	340	500	1090	2020	2830	4800									
4	1000		170	260	370	820	1520	2120	3600	5600	9030	22900	41700	67700	103000			
5	1250				500	650	1220	1700	2900									
6	1500				250	550	1020	1420	2400	3740	6000	1530	28000	45250	68500			
7	1750				210	470	870	1220	2100									
8	2000				190	410	760	1060	1800	2800	4500	11500	20800	33900	51500	66300	103500	148000
9	2250				170	360	680	950	1600									
10	2500				150	330	610	850	1450	2240	3600	9150	16300	27000	41200	53000	82800	118500
11	2750				140	300	550	780	1320									
12	3000				130	270	510	710	1200	1870	3000	7650	14000	22600	34300	44000	69000	98700
13	3250						470	660	1100									
14	3500						440	610	1030	1600	2600	6550	12000	19350	29400	37800	59000	84500
15	3750						410	570	970									
16	4000						380	530	910	1400	2260	5750	10500	16950	25700	33100	51750	74000
17	4250						360	500	850									
18	4500						340	470	800	1250	2000	5100	9250	15000	22900	29400	46000	66500
19	4750						320	450	760									
20	5000						310	430	730	1120	1800	4600	8350	13600	20600	26500	41300	59000
21	5250							410	690									
22	5500							390	660	1020	1650	4200	7600	12300	18700	24000	37600	53700
23	5750							370	630									
24	6000							360	600									
25	6500									940	1500	3800	6950	11300	17200	22000	34500	49200
26	7000									860	1400	3500	6400	10400	15800	20400	31800	45500
27	7500									800	1300	3270	5950	9700	14700	18900	29600	42000
28	8000									750	1200	3050	5550	9050	13700	17700	27600	39400
29	8500									700	1130	2860	5200	8500	12900	16600	25800	36900
30	9000											2700	4900	8000	12100	15600	24300	34700
31	9500											2540	4650	7500	11450	14700	23000	32800
32	10000											2410	4400	7150	10850	13900	21800	31000
												2300	4200	6800	10300	13200	20700	29500

注 1. 本表弹性力按 $P_s = \frac{\sigma \cdot W}{b}$, N, 计算;

2. 其中 $\sigma = 110 \text{ MPa}$; b — 方型补偿器外伸臂长, m ; W — 管子断面抗弯矩, cm^3 (见表 5.6-7)。

常用管子计算数值见表5.6-7。表5.6-8及表5.6-9供计算管道强度时使用。

常用管子计算数值表

表 5.6-7

公称直径 D_s (mm)	外径 D_w (mm)	壁厚 s (mm)	内径 d (mm)	管内断面积 F (cm^2)	管壁断面积 f (cm^2)	管子断面 惯性矩 J (cm^4)	管子断面 抗弯矩 W (cm^3)	管子刚度 ($E \cdot J$)	
								$\times 10^7$ ($\text{N} \cdot \text{cm}^2$)	
								200°C	350°C
25	32	2.5	27	5.73	2.32	2.54	1.58	4.763	4.305
32	38	2.5	33	8.55	2.79	4.41	2.32	8.269	7.475
40	45	2.5	40	12.57	3.30	7.55	3.36	14.156	12.797
50	57	3.5	50	19.63	5.88	21.11	7.40	39.581	35.781
65	73	3.5	66	34.2	7.64	46.3	12.4	86.813	78.479
80	89	3.5	82	52.81	9.41	86	19.3	161.25	145.71
100	108	4	100	78.54	13.1	177	32.8	331.88	300.02
125	133	4	125	122.7	16.2	337	50.8	631.88	571.22
150	159	4.5	150	176.7	21.9	652	82	1222.5	1105.14
200	219	4	211	349.5	27.0	1559	142	2923.13	2642.51
		6	207	336.5	40.2	2279	208	4273.13	3862.91
250	273	4	265	551	33.8	3053	219	5724.38	5174.84
		7	259	526.9	58.4	5177	379	9706.88	8775.02
300	325	4	317	788.8	40.3	5428	334	10177.5	9200.46
		5	315	778.9	50.2	6424	395	12045	10888.61
		8	309	749.9	79.7	10010	616	18768.75	16966.95
350	377	4	369	1069	46.9	8138	432	15258.75	13793.91
		5	367	1057	58.4	10092	535	18922.5	17105.91
		9	359	1012	104	17620	935	33037.5	29865.90
400	426	4	418	1372	53	11785	553	22096.88	19975.58
		6	414	1346	79	17460	820	32737.5	29594.7
		9	408	1307	118	25600	1204	48000	43392.0

注：1. 计算数值均按管壁额定厚度计算；

2. 刚度计算按 $E = 1.875 \times 10^5$ ($t = 200^\circ\text{C}$) 及 1.695×10^5 ($t = 350^\circ\text{C}$) MPa；

3. 表中计算公式： $J = \frac{\pi(D_w^4 - d^4)}{64} = 0.049(D_w^4 - d^4)$ ；

$$W = \frac{\pi(D_w^4 - d^4)}{32D_w} = 0.098 \times \frac{D_w^4 - d^4}{D_w}$$

$$f = 0.785(D_w^2 - d^2)$$

圆弧弯管特性系数表

表 5.6-8

公称直径 DN (mm)	外径×壁厚 $D_w \times s$ (mm)	弯管半径 R (mm)	平均半径 r_p (mm)	弯管尺寸 系数 λ	弯管 减刚系数 K	弯管 应力系数 m
25	32×2.5	150	14.75	1.72	0.803	1
32	38×2.5	150	17.75	1.19	0.667	1
40	45×2.5	200	21.25	1.11	0.637	1
50	57×3.5	200	26.75	0.978	0.581	1
65	73×3.5	300	34.75	0.869	0.528	1
80	89×3.5	350	42.75	0.670	0.407	1.175
100	108×4	500	52	0.74	0.448	1.1
125	133×4	500	64.5	0.481	0.291	1.466
150	159×4.5	600	77.25	0.452	0.274	1.525
200	219×6	850	106.5	0.45	0.273	1.533
250	273×7	1000	133	0.396	0.24	1.67
300	325×8	1200	158.5	0.382	0.232	1.71
350	377×9	1500	184	0.4	0.242	1.66
400	426×9	1700	208.5	0.352	0.213	1.8

注 表中数据计算公式如下:

$$\text{平均半径: } r_p = \frac{D_w - s}{2}$$

$$\text{弯管尺寸系数: } \lambda = \frac{R \cdot s}{r_p^2}$$

弯管应力系数: 当 $\lambda < 0.854$ 时,

$$m = \frac{0.9}{\lambda^{\frac{1}{3}}}$$

当 $\lambda > 0.854$ 时,

$$m = 1$$

弯管减刚系数: 当 $\lambda < 0.854$ 时,

$$K = \frac{\lambda}{1.65}$$

当 $\lambda > 0.854$ 时,

$$K = \frac{1 + 12\lambda^2}{10 + 12\lambda^2}$$

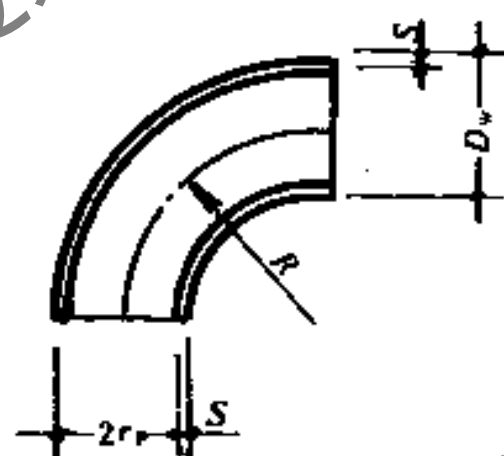


图 5.6-9 圆弧弯管简图

5. 套管补偿器

(1) 根据管道最大热伸长量 ΔL , 选用单向套管补偿器。套管补偿器适用于以下范围 (见表5.6-10)。

套管补偿器摩擦力计算见表5.6-11。

(2) 套管补偿器选用原则:

- 一般用于管径大于 $d100$ 的管道, 安装在安装位置受限制的热力管道上。工作压力: 铸铁制为 $P_s < 1.3 \text{ MPa}$; 钢制为 $P_s = 1.6 \text{ MPa}$ 。

- 单向套管补偿器应安装在固定支架近旁的平直管段上, 在其活动侧设导向支架。双向套管补偿器应设在两固定支架的中间, 套管需固定。

焊接弯管特性系数表

公称直径 DN (mm)	外径 D _w (mm)	壁厚 s (mm)	平均半径 r _p (mm)	弯管半径 R (mm)		弯管尺寸系数 λ		弯管减刚系数 K		弯管应力系数 m	
				R = D _w + 50	R = 1.5D _w	R = D _w + 50	R = 1.5D _w	R = D _w + 50	R = 1.5D _w	R = D _w + 50	R = 1.5D _w
200	219	4	107.5	269	328.5	0.093	0.112	0.092	0.107	4.36	3.88
		6	106.5			0.142	0.170	0.130	0.150	3.3	2.94
250	273	4	134.5	323	409.5	0.072	0.09	0.074	0.076	5.24	5.05
		7	133			0.128	0.159	0.118	0.142	3.55	3.07
300	325	4	160.5			0.058	0.075	0.062	0.076	5.96	5.06
		5	160	375	487.5	0.073	0.094	0.075	0.092	5.11	4.35
350	377	8	158.5			0.119	0.152	0.112	0.137	3.71	3.16
		4	186.5			0.049	0.065	0.053	0.067	6.72	5.6
400	426	5	186	427	565.5	0.062	0.081	0.065	0.082	5.76	4.79
		9	184			0.114	0.147	0.107	0.133	3.84	3.23
400	426	4	211			0.043	0.057	0.048	0.061	7.38	6.08
		6	210	476		0.065	0.086	0.067	0.086	5.59	4.61
		9	208.5			0.099	0.130	0.096	0.120	4.22	3.50

注：表中数值的计算公式为：

$$\text{平均半径: } r_p = \frac{D_w - s}{2}$$

弯管尺寸系数 λ:

$$\frac{B}{r_p} - \tan\phi < 1 \text{ 时, } \lambda = \frac{\cot\phi \cdot Bs}{r_p^2}$$

$$\frac{B}{r_p} - \tan\phi > 1 \text{ 时, } \lambda = \frac{1 + \cot\phi \cdot s}{2 r_p}$$

$$B = 2R \tan\phi$$

$$\text{弯管减刚系数 } K = \frac{\lambda^{0.853}}{1.52}$$

弯管应力系数 m:

$$\lambda < 0.854 \text{ 时, } m = \frac{0.9}{\lambda^1}$$

$$\lambda > 0.854 \text{ 时, } m = 1$$

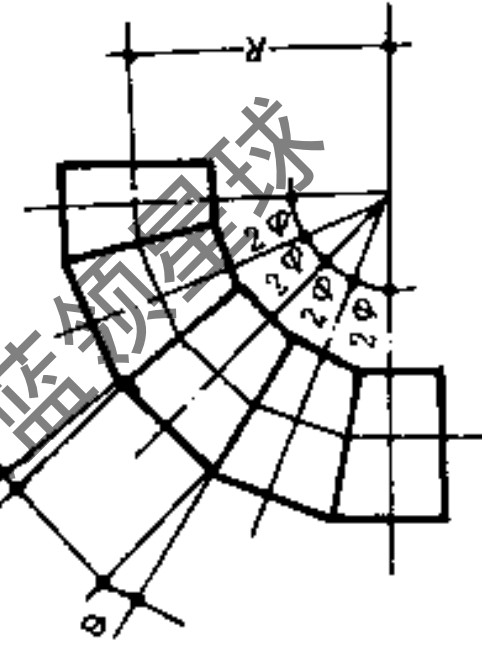


图 5.6-10 焊接弯管简图

套管补偿器适用范围

表 5.6-10

公称直径 (DN) (mm)	最大热伸长量 ΔL (mm)	介质参数	备注
100~150	250	$P_s < 1.6 \text{ MPa}$ $t < 300^\circ\text{C}$	
200~250	300		
300~350	350		
400~700	400		

套管补偿器摩擦力计算公式

表 5.6-11

序号	项 目	计 算 公 式	备注
1	由内压力产生的摩擦力: 1. 当 $DN=150\sim 400\text{mm}$ 时 2. 当 $DN=400\sim 800\text{mm}$ 时	$P_c = 20\pi \cdot D \cdot P \cdot \mu \cdot B$ $P_c = 17.5\pi \cdot D \cdot P \cdot \mu \cdot B$	
2	由于拉紧螺钉产生的摩擦力	$P_c = \frac{400\pi}{f} \cdot n \cdot D \cdot \mu \cdot B$	

上表公式中符号为:

D ——套管补偿器套管外径, cm;

P ——管内介质工作压力, MPa;

μ ——填料与管道的摩擦系数,

橡胶填料: $\mu = 0.15$;

浸油和涂石墨的石棉圈: $\mu = 0.1$;

B ——填料的长度, cm;

f ——填料的横断面积, cm^2 ;

n ——螺钉数。

(3) 套管补偿器尺寸及摩擦力数值表 (见表5.6-12)。

套管补偿器尺寸及摩擦力数值表

表 5.6-12

公称直径 D_s	D	D_1	D_2	D_3	L	ΔL	重量 (kg)	摩擦力 P_c (10^4 N)	
	(mm)							由拉紧螺钉产生的	当介质工作压力 $P = 0.1 \text{ MPa}$ 产生的
100	108	190	133	100	830	250	18.66	0.985	0.059
125	133	215	159	125	840	250	23.82	0.990	0.080
150	159	250	194	150	905	250	34.78	1.320	0.122
200	219	345	273	205	1170	300	79.87	1.300	0.284
250	273	395	325	259	1170	300	101.24	1.990	0.336
300	325	450	377	311	1275	350	142.26	2.030	0.360
350	377	500	426	363	1285	350	163.00	2.060	0.367
400	426	560	478	412	1360	400	206.35	2.760	0.450
450	478	610	529	464	1360	400	231.68	2.780	0.465
500	529	675	594	515	1370	400	309.08	3.680	0.730
600	630	780	704	614	1375	400	380.00	4.400	0.880
700	720	875	794	704	1380	400	454.33	5.000	1.000

注: 1. D, D_1, D_2, D_3 ——套管补偿器的进口管、法兰、本体、出口管等的直径, mm;

2. L ——套管补偿器的最大伸长量时的最大长度, m。

6. 波形补偿器

由于波形补偿器的强度较弱,补偿能力小,轴向推力大。一般在管径较大 ($>300\text{mm}$)、压力较低 ($P_g < 0.6\text{MPa}$) 时才采用。

(1) 波形补偿器选用原则:

- 一般宜用钢制 (钢板厚度 $\delta = 3 \sim 4\text{mm}$ 为宜);
- 波纹数以 3~6 个为宜;
- 安装波形补偿器时,应预先冷紧,冷紧值为热伸长量的一半。

(2) 波形补偿器的计算参见表 5.6-13。

波形补偿器计算公式表

表 5.6-13

序号	项 目	计 算 公 式	备 注
1	单级波允许补偿值 $\Delta L'$ (mm)	$\Delta L' = \frac{3\sigma_s \cdot d^2}{4E \cdot K \cdot \delta} a_1$	
2	单级波形补偿器在预拉伸的情况下,其允许补偿值 $\Delta L''$ (mm)	$\Delta L'' = 2\Delta L' - \left(a_3 - \frac{a_2}{K}\right) \frac{P \cdot d^4}{E \cdot \delta^2}$	因公式中“-”号后项很小一般计算中略去 $\therefore \Delta L'' = 2\Delta L'$
3	波形补偿器的波数 n (个)	$n > \frac{\Delta L}{\Delta L''}$	
4	波形补偿器的最小壁厚 δ (cm)	$\delta = \lambda \cdot d \sqrt{\frac{K \cdot P_s}{\sigma_s}}$	式中取 $K = 1.1$
5	波形补偿器对固定支架的推力		
	1. 波形内壁上承受的内压力 P_n (N)	$P_n = \frac{100 P \cdot d^2}{K}$	
	2. 一级波在拉伸或压缩时产生的弹性力 P_r (N)	$P_r = \frac{125\pi}{(1-\beta)} \cdot \frac{\delta^2 \cdot \sigma_s}{K}$	
	3. 当管段上无堵头或阀门时,固定支架上的最大推力 P_k' (N)	$P_k' = P_n + P_r$	
4. 当管段上有堵头或阀门时,固定支架上的最大推力 P_k'' (N)	$P_k'' = P_k' + 25\pi d^2 P$		

上表中公式符号为:

E ——钢材的弹性模数, MPa, 见表 5.6-3;

σ_s ——补偿器所用钢材的屈服极限, MPa;

d ——管子内径, cm;

δ ——补偿器壁厚, cm;

K ——安全系数:

当 $P < 0.25\text{MPa}$ 时, $K = 1.2$;

当 $0.25 < P < 0.6\text{MPa}$ 时, $K = 1.3$;

a_1, a_2, a_3 ——系数, 根据 $\beta = \frac{d}{D}$ 值查表 5.6-14;

D ——波形补偿器的外径, cm;

P ——管内介质工作压力, MPa;

n ——补偿器波数, 个;

P_s ——水压试验压力, MPa;

λ, φ ——系数, 根据 $\beta = \frac{d}{D}$ 值, 查表 5.6-14。

波形补偿器计算用系数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 λ 、 φ

表 5.6-14

序号	$\beta = \frac{d}{D}$	a_1	a_2	a_3	λ	φ
1	0.36	20.68	4.565	4.106	0.400	2.224
2	0.38	17.28	3.35	2.970	0.369	1.978
3	0.40	14.36	2.42	2.158	0.34	1.767
4	0.42	12.03	1.758	1.573	0.315	1.584
5	0.44	10.14	1.282	1.156	0.291	1.424
6	0.46	8.51	0.935	0.847	0.27	1.283
7	0.48	7.167	0.684	0.625	0.25	1.158
8	0.50	6.033	0.501	0.459	0.231	1.047
9	0.52	5.074	0.366	0.335	0.214	0.946
10	0.54	4.28	0.268	0.247	0.199	0.859
11	0.56	3.603	0.196	0.181	0.184	0.779
12	0.58	3.016	0.141	0.133	0.17	0.706
13	0.60	2.524	0.102	0.096	0.157	0.640
14	0.62	2.112	0.0737	0.0689	0.145	0.580
15	0.64	1.762	0.0527	0.049	0.134	0.525
16	0.66	1.465	0.0374	0.0346	0.123	0.474
17	0.68	1.203	0.0261	0.025	0.112	0.428
18	0.70	0.987	0.0181	0.0173	0.103	0.385
19	0.72	0.807	0.0123	0.0118	0.094	0.345
20	0.74	0.6515	0.00827	0.00800	0.0847	0.308
21	0.76	0.512	0.00534	0.00539	0.0764	0.274
22	0.78	0.404	0.00340	0.00352	0.0684	0.242
23	0.80	0.311	0.00209	0.00222	0.0608	0.213
24	0.82	0.234	0.001334	0.001400	0.0536	0.185
25	0.84	0.1725	0.000694	0.000884	0.0466	0.159
26	0.86	0.1188	0.000340	0.000578	0.0400	0.135
27	0.88	0.0742	0.000159	0.000380	0.0336	0.112
28	0.90	0.0476	0.000069	0.000246	0.0273	0.091

注: $a_1 = \frac{0.9}{1-\beta} \left(\frac{1-\beta^2}{\beta^2} - \frac{4lg^2\beta}{1-\beta^2} \right)$;

$$a_2 = 0.286 \frac{(1+\beta)(1+2\beta)}{\beta^2} \left(\frac{1-\beta^2}{\beta^2} - \frac{4lg^2\beta}{1-\beta^2} \right);$$

$$a_3 = 0.85 \left[0.75 - \frac{1}{\beta^2} + \frac{0.25}{\beta^4} + lg\beta \left(\frac{1}{\beta^2} + \frac{4lg^2\beta}{1-\beta^2} \right) \right];$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{(1-\beta)(1-\beta^2)}{8\beta^2(3+\beta)}};$$

$$\varphi = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{(1-\beta)(1+2\beta)}{\beta^2}.$$

(3) 波形补偿器的构造安装尺寸及补偿能力, 可参照图5.6-11及表5.6-15、16选用。

波形补偿器构造尺寸及在固定点上的作用力

表 5.6-15

波形尺寸 (mm)				工作压力 P_g (MPa)	下列波数时, 胀或缩 1 mm 所需的力 (N)						作用在固定 点上的力 (N)
DN	D	b	s		1	2	3	4	5	6	
200	460	50	2.5	0.3	820	550	410	320	280	240	8550
250	525	56	3	0.3	1310	880	650	520	440	380	11760
300	575	56	3	0.3	1400	940	710	560	480	410	15000
350	625	60	3	0.3	1750	1160	880	700	580	500	18630
400	675	60	3	0.3	1840	1240	930	740	620	530	22650
450	725	60	3	0.3	1970	1320	990	790	660	510	27060
500	800	70	3	0.3	1760	1180	890	710	590	510	33180
600	900	70	3	0.3	1940	1280	970	770	600	550	44180

注: 1. 作用在固定支架的力系压力为 0.1 MPa 时, 由内压力产生的。

2. s 系补偿器壁厚。

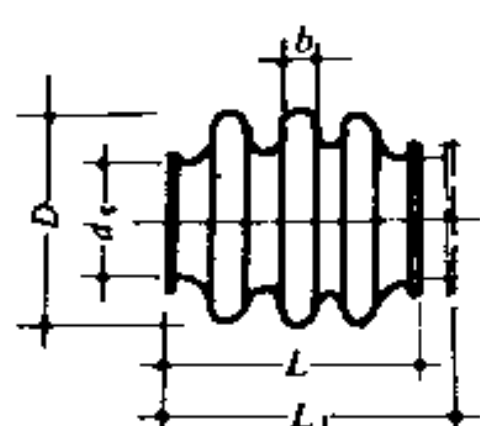


图 5.6-11 波形补偿器构造示意图

$$L_1 = L + \frac{\Delta L}{2}, \text{ m};$$

L ——波形补偿器构造长度, m;

L_1 ——波形补偿器的安装长度, m

波形补偿器补偿能力表

表 5.6-16

波数	1	2	3	4
ΔL (mm)	10	25	45	60

7. 球形补偿器

球形补偿器是利用补偿器球体的角折屈来吸收管道的热膨胀量。球补需成对配组进行工作, 其补偿能力大 (比方形补偿器大 5 ~ 10 倍), 占地面积小, 可大幅度降低制作补偿器的钢耗量。

(1) 球形补偿器技术参数

公称直径: $DN40 \sim 1000$ mm;

最大工作压力: 一般 $P_g < 1.6$ MPa, 特殊制造 $P_g = 2.5$ MPa;

最高工作温度: 一般 $< 280^\circ\text{C}$, 特殊制造可达 400°C ;

最大折屈角 θ : $\pm 15^\circ$ 。

(2) 每组球补的补偿量 Δ (mm)

$$\Delta = 2 \cdot l \sin \frac{\theta}{2} \quad (5.6-8)$$

式中 l ——球补组的中心距, mm;

θ ——设计取用折屈角 ($< 30^\circ$)。

球补在全折屈角 θ° 时的补偿量 Δ (mm) 见表 5.6-17。

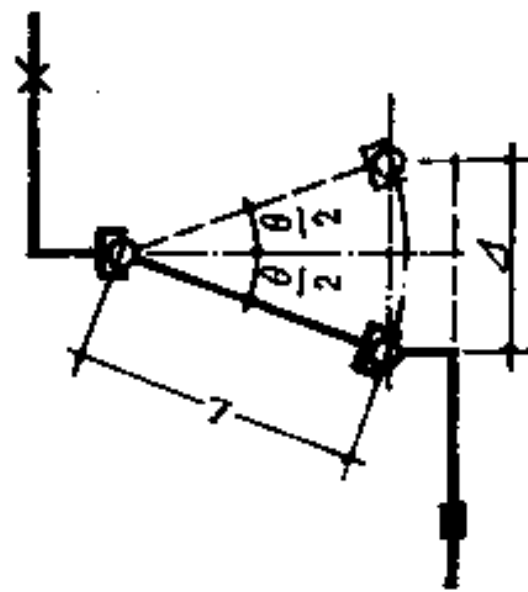
(3) 球补转动摩擦力矩 M (N·m), 见表 5.6-18。

(4) 球补的基本安装形式

表 5.6-17

球补组在全折屈角 θ° 时的补偿量 Δ (mm)

Δ (mm)	f (mm)	θ	DN40 ~ DN350												DN400 ~ DN600												DN700 ~ DN1000											
			16°	18°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	16°	18°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°							
			500	139	156	173	182	190	199	207	216	225	233	2228	2503	2778	2915	3052	3189	3326	3463	3599	3735	209	244	279	313	348	383	418	452	487						
1000	278	312	347	364	381	398	415	432	449	466	2783	3128	3472	3644	3816	3987	4158	4328	4499	4668	262	305	349	392	435	479	523	566	609									
1500	417	468	520	546	571	597	622	648	674	699	3340	3754	4167	4373	4579	4784	4989	5194	5398	5602	314	366	418	470	522	575	627	679	731									
2000	556	625	694	728	763	797	831	865	899	933	4175	4693	5209	5467	5724	5981	6237	6493	6748	7003	418	488	558	627	697	766	836	905	975									
2500	695	782	868	911	954	996	1039	1082	1124	1167	数值与DN40 ~ DN350球补相同												523	610	697	784	871	958	1045	1132	1218							
3000	835	938	1041	1093	1144	1196	1247	1298	1349	1400	2228	2503	2778	2915	3052	3189	3326	3463	3599	3735	628	732	837	941	1045	1150	1254	1358	1462									
4000	1113	1251	1389	1457	1526	1594	1663	1731	1799	1867	2783	3128	3472	3644	3816	3987	4158	4328	4499	4668	837	976	1116	1255	1394	1533	1672	1811	1949									
5000	1391	1564	1736	1822	1908	1993	2079	2164	2249	2334	3340	3754	4167	4373	4579	4784	4989	5194	5398	5602	1046	1221	1395	1569	1743	1916	2090	2264	2437									
6000	1670	1877	2083	2186	2289	2392	2494	2597	2699	2801	4175	4693	5209	5467	5724	5981	6237	6493	6748	7003	1256	1465	1674	1883	2091	2300	2508	2716	2924									
8000											2228	2503	2778	2915	3052	3189	3326	3463	3599	3735	1570	1831	2092	2353	2614	2875	3135	3396	3656									
10000											2783	3128	3472	3644	3816	3987	4158	4328	4499	4668	1884	2197	2511	2824	3137	3450	3763	4075	4387									
12000											3340	3754	4167	4373	4579	4784	4989	5194	5398	5602	2094	2441	2790	3138	3486	3833	4181	4528	4874									
15000											4175	4693	5209	5467	5724	5981	6237	6493	6748	7003																		
18000																																						
20000																																						



球补组的工作简图

球补转动摩擦力矩 M (N·m)

表 5.6-18

球补公称直径 DN (mm)	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
转动摩擦力矩 M (N·m)	200	250	500	570	1020	1800	2480	5370	9440	16020	24240	25680	52940	66450	115240	210000

注：1. 编表时介质工作压力为1.6MPa。

2. 力矩值是根据新的球补测定，工程设计时应乘以安全系数1.30~1.50。

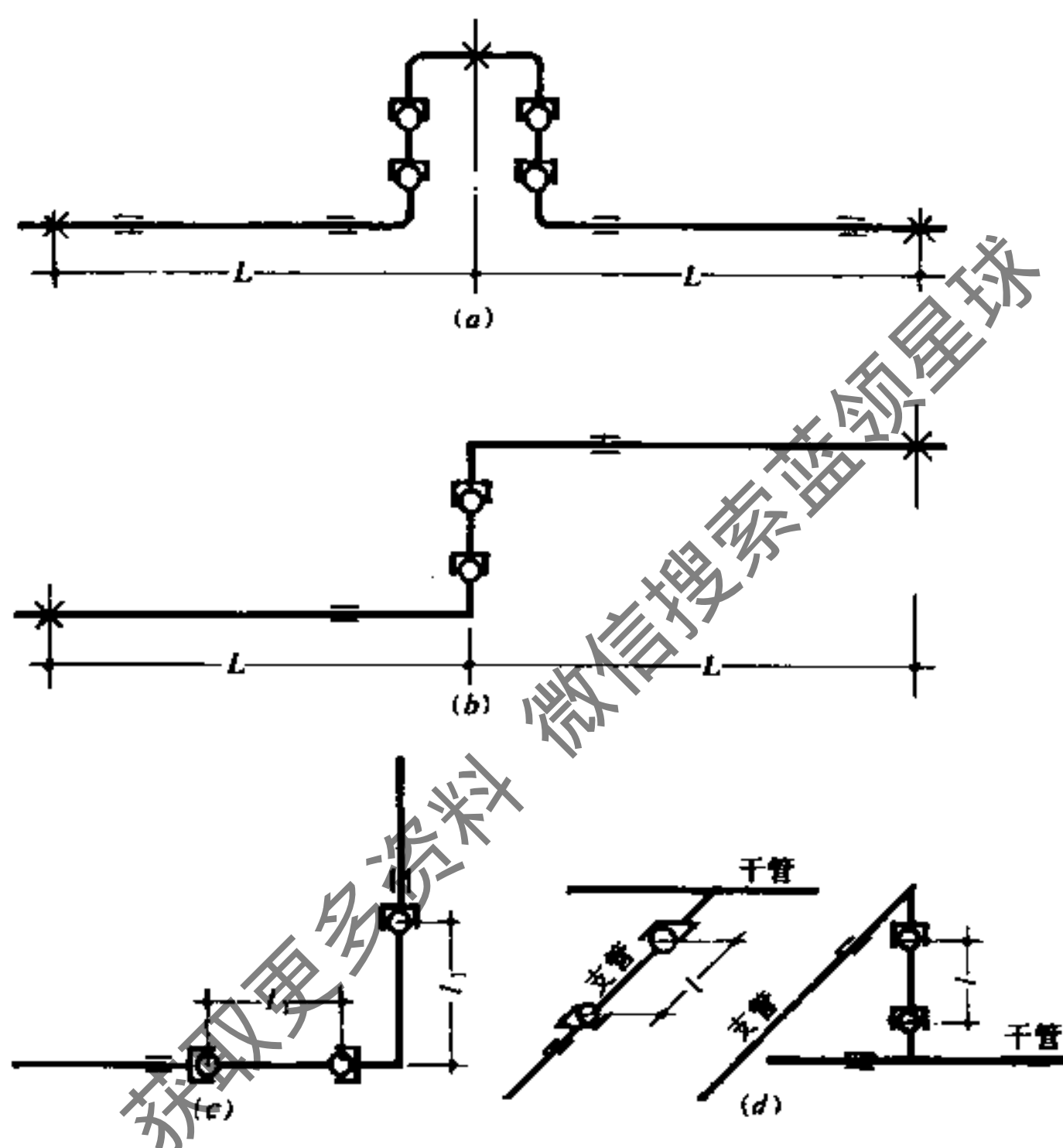


图 5.6-12 球补的基本安装形式

(a) 直管段；(b) Z形管段；(c) L形管段；(d) 远离干管固定支架的支管连接

5.7 热力管道支架

5.7.1 管道支吊架形式

一般管道支吊架分类见表5.7-1所列内容。

管道支吊架分类

表 5.7-1

序号	支吊架分类	数设条件	
1	固定支架	用于管道上不允许有任何位移的部位	
2	活动支架用于承受管道垂直荷载并允许有水平位移	刚性吊架	用于管道上无垂直位移或垂直位移很小的部位
		滑动支架	用于当水平摩擦力无严格限制时
		滚动支架	用于当要减少管道水平摩擦作用力时
		滚柱支架	用于当要减少管道轴向摩擦作用力时
3	导向支架用于只允许有轴向位移的部位	滑动导向支架	用于当水平摩擦力无严格限制时
		滚珠导向支架	用于当要减小管道水平摩擦作用力时
		滚柱导向支架	用于当要减少管道轴向摩擦作用力时
4	弹簧吊架	用于当管道上具有垂直位移的地方	

5.7.2 管道活动、固定支架跨距的计算

管道的允许跨度应按强度及刚度两个条件确定, 取其最小值作为最大允许跨距。

1. 按强度条件确定管道活动支架的跨距 l (cm)

对于连续敷设的水平直管跨距 (见图5.7-1) 宜按下式计算或从表5.7-3~6中查得。

$$l = \sqrt{\frac{1.5(\sigma_w) \cdot W \cdot \varphi}{q}} \quad (5.7-1)$$

式中 (σ_w) ——许用外载综合应力, MPa;

W ——管子断面抗弯矩, cm^3 , 见表5.6-7;

φ ——管子强度焊缝系数, 见表5.7-2;

q ——管子单位长度计算重量, N/cm, 见表5.7-3。

管子强度焊缝系数 φ

表 5.7-2

横向焊缝系数		纵向焊缝系数	
焊接情况	φ	焊接情况	φ
手工电弧焊	0.7	手工电弧焊	0.7
有垫环对焊	0.9	直缝焊接钢管	0.8
手工双面加强焊	0.95	螺旋焊接钢管	0.6
自动双面焊	1.0		
自动单面焊	0.8		
无垫环对焊	0.7		

2. 按刚度条件确定管道的活动支架跨距

根据对管道挠度的限制所确定的管道允许跨距, 即按刚度条件确定的管道活动支架跨距。

根据管道输送介质的情况, 合理地确定最大允许挠度 (图5.7-2的 Δ_{\max}), 以适当扩大管道的允许跨距。

按 $\Delta_{\max} = 0.1DN$ 的条件确定管道允许跨距, 可用下式计算或从表5.7-3~6查得。

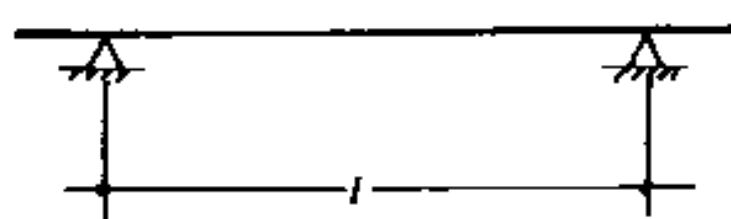


图 5.7-1 活动支架跨距计算图
(按强度条件)

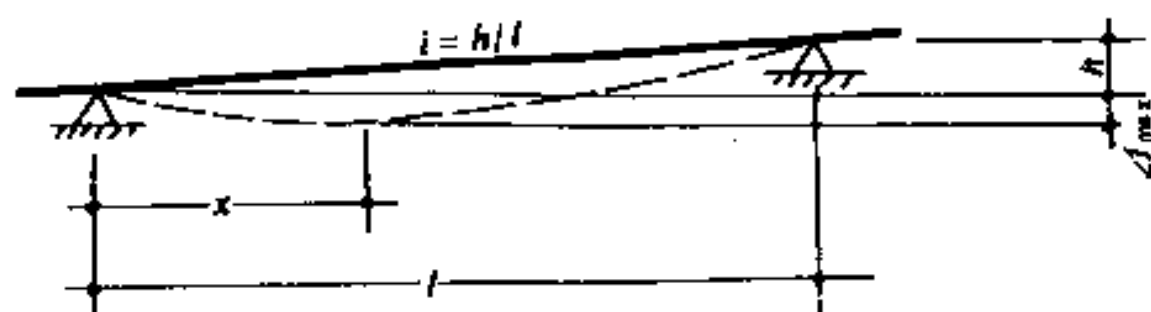


图 5.7-2 活动支架跨距计算图
(按刚度条件)

对于连续敷设的水平直管:

$$l = l_1 = \frac{x^4 + \frac{24E \cdot J}{q} \cdot \frac{ix}{2} + \frac{24E \cdot J}{q} \cdot \frac{D_s}{10}}{x^3} \quad (5.7-2)$$

$$l = l_1 = 2x + \sqrt{x^2 - \frac{1}{x^2} \cdot \frac{24E \cdot J}{q} \cdot \frac{D_s}{10}}$$

式中 l 、 l_1 、 l_2 ——活动支架跨距, cm;

x ——管道支座到管子最大挠曲面的距离, cm;

$E \cdot J$ ——管子刚度, $N \cdot cm^2$, 见表5.6-7;

q ——管子单位长度计算重量, N/cm , 见表5.7-3;

D_s ——管子公称直径, cm;

i ——管子坡度。

3. 各种活动支架跨距选查表 (见表5.7-3~7)

管子单位长度计算重量表

表 5.7-3

公称直径	外径×厚度	管子重 q_1	凝结水重 q_2	充满水重 q_3	不保温管计算重量		保温管道计算重量		
					汽体管 q_4	液体管 q_5	200℃ 汽体管 q_6	200℃ 液体管 q_7	350℃ 汽体管 q_8
(mm)	(mm)	(N/m)	(N/m)	(N/m)	(N/m)	(N/m)	(N/m)	(N/m)	(N/m)
25	32×2.5	17.6	1.1	5.7	22.4	26.8	22.4+1.2g	26.8+1.2g	17.6+1.2g
32	38×2.5	21.9	1.7	8.6	28.3	34.9	28.3+1.2g	34.9+1.2g	21.9+1.2g
40	45×2.5	26.2	2.5	12.6	34.4	44.0	34.4+1.2g	44.0+1.2g	26.2+1.2g
50	57×3.5	46.2	3.9	19.6	60.1	75.0	60.1+1.2g	75.0+1.2g	46.2+1.2g
65	73×3.5	60.0	6.8	34.2	80.2	106.2	80.2+1.2g	106.2+1.2g	60.0+1.2g
80	89×3.5	73.8	10.5	52.8	101.7	141.4	101.7+1.2g	141.4+1.2g	73.8+1.2g
100	108×4	102.6	11.8	78.5	137.3	201.6	137.3+1.2g	201.6+1.2g	102.6+1.2g
125	133×4	127.3	18.4	122.7	174.8	275.5	174.8+1.2g	275.5+1.2g	127.3+1.2g
150	159×4.5	171.5	26.5	176.7	237.6	382.5	237.6+1.2g	382.5+1.2g	171.5+1.2g
200	219×6	315.2	50.5	336.5	438.8	714.7	438.8+1.2g	714.7+1.2g	315.2+1.2g
250	273×7	459.2	79.0	527	645.8	1078.0	645.8+1.2g	1078.0+1.2g	459.2+1.2g
300	325×8	625.4	112.5	750	885.5	1499.4	885.5+1.2g	1499.4+1.2g	625.4+1.2g
350	377×9	816.8	152	1012	1162.6	1992.2	1162.6+1.2g	1992.2+1.2g	816.8+1.2g
400	426×9	925.5	196	1307	1346.4	2417.6	1346.4+1.2g	2417.6+1.2g	925.5+1.2g

注: 表中g是单位长度保温结构重量, N/m, 按不同的保温材料不同的介质温度, 查国家保温管道标准图。

不保温管道最大跨距表

表 5.7-4

公称直径 (mm)	外径×壁厚 (mm)	最大跨距					
		汽 体 管			液 体 管		
		单位重量 (N/m)	按强度的跨距 (m)	按刚度的跨距 (m)	单位重量 (N/m)	按强度的跨距 (m)	按刚度的跨距 (m)
25	32×2.5	22.4	9.19	4.86	26.8	8.40	4.61
32	38×2.5	28.3	9.90	5.49	34.9	8.92	5.17
40	45×2.5	34.4	10.80	6.24	44	9.55	5.81
50	57×3.5	60.1	12.04	7.36	75	10.86	6.90
65	73×3.5	80.2	13.57	8.80	106.2	11.80	8.21
80	89×3.5	101.7	15.01	10.11	141.4	12.73	9.20
100	108×4	137.3	16.83	11.77	201.6	13.89	10.55
125	133×4	174.8	18.49	13.63	275.5	14.73	11.98
150	159×4.5	237.6	20.13	15.48	382.5	15.86	13.53
200	219×6	438.8	23.57	19.37	714.7	18.47	16.89
250	273×7	645.8	26.17	22.65	1078	20.26	19.63
300	325×8	885.5	28.45	25.68	1499.4	21.87	22.17
350	377×9	1162.6	31.37	28.57	1992.2	23.96	24.60
400	426×9	1346.4	32.07	30.94	2417.6	23.94	26.31

 $P = 1.3 \text{ MPa}$ $t = 200^\circ\text{C}$

各种保温管道最大允许跨距表

表 5.7-5

序号	管子规格 $D_w \times S$ (mm)	项 目	管子单位长度计算重量的分类											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	32×2.5	管子计算重量 (N/m)	70	100	130	160	190	220	250	280	310	340	370	400
		按强度计算跨距 (m)	5.20	4.39	3.81	3.43	3.15	2.93	2.75	2.59	2.46	2.35	2.26	2.17
		按刚度计算跨距 (m)	3.49	3.15	2.92	2.75	2.63	2.52	2.43	2.35	2.28	2.22	2.17	2.13
2	38×2.5	管子计算重量 (N/m)	80	115	150	185	220	255	290	325	360	395	430	465
		按强度计算跨距 (m)	5.89	4.91	4.30	3.87	3.55	3.30	3.09	2.92	2.77	2.66	2.54	2.44
		按刚度计算跨距 (m)	4.07	3.67	3.40	3.21	3.05	2.93	2.82	2.74	2.66	2.59	2.53	2.48
3	45×2.5	管子计算重量 (N/m)	90	125	160	195	230	265	300	335	370	405	440	475
		按强度计算跨距 (m)	6.68	5.66	5.00	4.53	4.17	3.89	3.65	3.46	3.29	3.14	3.02	2.91
		按刚度计算跨距 (m)	4.74	4.32	4.03	3.81	3.63	3.49	3.37	3.27	3.18	3.10	3.03	2.97
4	57×3.5	管子计算重量 (N/m)	125	170	215	260	305	350	395	440	485	530	575	620
		按强度计算跨距 (m)	8.41	7.21	6.41	5.83	5.38	5.02	4.73	4.48	4.26	4.08	3.92	3.78
		按刚度计算跨距 (m)	5.98	5.48	5.12	4.86	4.64	4.47	4.32	4.19	4.08	3.98	3.89	3.81
5	73×3.5	管子计算重量 (N/m)	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
		按强度计算跨距 (m)	9.92	8.59	7.69	7.02	6.50	6.08	5.73	5.43	5.18	4.96	4.77	4.59
		按刚度计算跨距 (m)	7.38	6.80	6.38	6.06	5.80	5.59	5.41	5.25	5.11	4.99	4.88	4.78
6	89×3.5	管子计算重量 (N/m)	190	250	310	370	430	490	550	610	670	730	790	850
		按强度计算跨距 (m)	10.98	9.56	8.59	7.86	7.30	6.83	6.45	6.13	5.85	5.59	5.38	5.18
		按刚度计算跨距 (m)	8.48	7.85	7.38	7.03	6.74	6.49	6.29	6.11	5.95	5.81	5.69	5.57

续表

序号	管子规格 $D_w \times S$ (mm)	项 目	管子单位长度计算重量的分类											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	108×4	管子计算重量 (N/m)	245	320	395	470	545	620	695	770	845	920	995	1070
		按强度计算跨距 (m)	12.60	11.02	9.92	9.09	8.45	7.92	7.48	7.10	6.78	6.50	6.25	6.03
		按刚度计算跨距 (m)	10.01	9.29	8.75	8.34	8.00	7.72	7.47	7.26	7.08	6.92	6.77	6.63
8	133×4	管子计算重量 (N/m)	300	390	480	570	660	750	840	930	1020	1110	1200	1290
		按强度计算跨距 (m)	14.11	12.38	11.16	10.24	9.52	8.93	8.44	8.02	7.66	7.34	7.06	6.81
		按刚度计算跨距 (m)	11.74	10.90	10.29	9.80	9.41	9.08	8.80	8.56	8.34	8.15	7.98	7.82
9	159×4.5	管子计算重量 (N/m)	370	485	600	715	830	945	1060	1175	1290	1405	1520	1635
		按强度计算跨距 (m)	16.13	14.09	12.66	11.60	10.77	10.09	9.53	9.05	8.64	8.28	7.96	7.67
		按刚度计算跨距 (m)	13.71	12.70	11.97	11.40	10.94	10.55	10.22	9.93	9.68	9.46	9.26	9.07
10	219×6	管子计算重量 (N/m)	620	770	920	1070	1220	1370	1520	1670	1820	1970	2120	2270
		按强度计算跨距 (m)	19.69	17.66	16.16	14.99	14.04	13.24	12.57	11.99	11.49	11.04	10.65	10.29
		按刚度计算跨距 (m)	17.63	16.59	15.79	15.14	14.60	14.14	13.74	13.38	13.07	12.79	12.53	12.30
11	273×7	管子计算重量 (N/m)	880	1060	1240	1420	1600	1780	1960	2140	2320	2500	2680	2860
		按强度计算跨距 (m)	22.23	20.25	18.72	17.50	16.49	15.63	14.89	14.26	13.69	13.19	12.74	12.33
		按刚度计算跨距 (m)	20.85	19.79	18.94	18.24	17.65	17.14	16.69	16.29	15.93	15.61	15.31	15.04
12	325×8	管子计算重量 (N/m)	1150	1370	1590	1810	2030	2250	2470	2690	2910	3130	3350	3570
		按强度计算跨距 (m)	24.75	22.67	21.04	19.73	18.63	17.69	16.88	16.18	15.56	15.00	14.50	14.05
		按刚度计算跨距 (m)	23.95	22.82	21.89	21.12	20.46	19.89	19.38	18.93	18.53	18.16	17.83	17.52
13	377×9	管子计算重量 (N/m)	1470	1740	2010	2280	2550	2820	3090	3360	3630	3900	4170	4440
		按强度计算跨距 (m)	27.62	25.39	23.62	22.18	20.97	19.95	19.05	18.27	17.58	16.96	16.40	15.90
		按刚度计算跨距 (m)	26.86	25.63	24.63	23.78	23.06	22.43	21.87	21.38	20.93	20.52	20.15	19.80
14	426×9	管子计算重量 (N/m)	1690	2010	2330	2650	2970	3290	3610	3930	4250	4570	4890	5210
		按强度计算跨距 (m)	28.27	25.92	24.08	22.58	21.33	20.26	19.34	18.54	17.83	17.19	16.62	16.10
		按刚度计算跨距 (m)	29.15	27.78	26.67	25.74	24.95	24.26	23.65	23.11	22.62	22.17	21.77	21.39

 $P = 1.3 \text{ MPa}$
 $t = 350 \text{ }^\circ\text{C}$

各种保温管道最大允许跨距表

表 5.7-6

序号	管子规格 $D_w \times S$ (mm)	项 目	管子单位长度计算重量的分类											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	32×2.5	管子计算重量 (N/m)	80	125	170	215	260	305	350	395	440	485	530	575
		按强度计算跨距 (m)	3.96	3.17	2.71	2.41	2.20	2.03	1.89	1.78	1.69	1.60	1.5	1.48
		按刚度计算跨距 (m)	3.26	2.87	2.63	2.46	2.33	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.91	1.87
2	38×2.5	管子计算重量 (N/m)	100	155	210	265	320	375	430	485	540	595	650	705
		按强度计算跨距 (m)	4.29	3.44	2.96	2.63	2.39	2.21	2.07	1.94	1.84	1.76	1.68	1.61
		按刚度计算跨距 (m)	3.71	3.28	3.01	2.82	2.67	2.56	2.46	2.38	2.31	2.25	2.19	2.14
3	45×2.5	管子计算重量 (N/m)	110	165	220	275	330	385	440	495	550	605	660	715
		按强度计算跨距 (m)	4.91	4.01	3.48	3.10	2.83	2.63	2.45	2.32	2.20	2.10	2.01	1.93
		按刚度计算跨距 (m)	4.35	3.88	3.58	3.36	3.19	3.06	2.95	2.85	2.77	2.70	2.63	2.58

续表

序号	管子规格 $D_w \times S$ (mm)	项 目	管子单位长度计算重量的分类											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	57×3.5	管子计算重量 (N/m)	150	215	280	345	410	475	540	605	670	735	800	865
		按强度计算跨距 (m)	6.25	5.22	4.58	4.12	3.78	3.51	3.29	3.11	2.96	2.8	2.71	2.60
		按刚度计算跨距 (m)	5.52	4.98	4.62	4.36	4.15	3.98	3.84	3.73	3.62	3.53	3.45	3.37
5	73×3.5	管子计算重量 (N/m)	190	270	350	430	510	590	670	750	830	910	990	1070
		按强度计算跨距 (m)	7.16	6.01	5.28	4.76	4.37	4.06	3.81	3.60	3.42	3.27	3.13	3.02
		按刚度计算跨距 (m)	6.70	6.07	5.64	5.33	5.08	4.88	4.71	4.56	4.44	4.32	4.22	4.14
6	89×3.5	管子计算重量 (N/m)	220	315	410	505	600	695	790	885	980	1075	1170	1265
		按强度计算跨距 (m)	8.27	6.91	6.05	5.45	5.01	4.65	4.36	4.12	3.91	3.74	3.58	3.44
		按刚度计算跨距 (m)	7.91	7.15	6.64	6.26	5.97	5.73	5.53	5.36	5.21	5.08	4.96	4.86
7	108×4.0	管子计算重量 (N/m)	270	380	490	600	710	820	930	1040	1150	1260	1370	1480
		按强度计算跨距 (m)	9.71	8.18	7.21	6.51	5.99	5.57	5.23	4.94	4.70	4.49	4.31	4.15
		按刚度计算跨距 (m)	9.47	8.60	8.01	7.57	7.23	6.94	6.71	6.50	6.32	6.17	6.03	5.90
8	133×4.0	管子计算重量 (N/m)	350	485	620	755	890	1025	1160	1295	1430	1565	1700	1835
		按强度计算跨距 (m)	10.53	8.95	7.91	7.17	6.60	6.15	5.78	5.47	5.21	4.98	4.78	4.60
		按刚度计算跨距 (m)	10.92	9.97	9.31	8.82	8.43	8.10	7.83	7.60	7.39	7.21	7.05	6.91
9	159×4.5	管子计算重量 (N/m)	420	575	730	885	1040	1195	1350	1505	1660	1815	1970	2125
		按强度计算跨距 (m)	12.17	10.40	9.23	8.38	7.73	7.21	6.78	6.42	6.12	5.85	5.62	5.41
		按刚度计算跨距 (m)	12.86	11.78	11.02	10.45	9.99	9.62	9.30	9.03	8.79	8.58	8.39	8.21
10	219×6	管子计算重量 (N/m)	700	900	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900
		按强度计算跨距 (m)	14.73	12.99	11.75	10.81	10.06	9.45	8.94	8.50	8.12	7.80	7.50	7.24
		按刚度计算跨距 (m)	16.57	15.45	14.61	13.95	13.41	12.95	12.56	12.22	11.92	11.65	11.41	11.19
11	273×7	管子计算重量 (N/m)	940	1190	1440	1690	1940	2190	2440	2690	2940	3190	3440	3690
		按强度计算跨距 (m)	17.03	15.13	13.75	12.70	11.85	11.15	10.57	10.06	9.62	9.24	8.90	8.60
		按刚度计算跨距 (m)	19.90	18.63	17.67	16.91	16.28	15.74	15.28	14.88	14.55	14.20	13.91	13.65
12	325×8	管子计算重量 (N/m)	1210	1480	1750	2020	2290	2560	2830	3100	3370	3640	3910	4180
		按强度计算跨距 (m)	19.03	17.21	15.83	14.73	13.84	13.09	12.44	11.89	11.40	10.97	10.59	10.24
		按刚度计算跨距 (m)	22.96	21.71	20.73	19.92	19.25	18.67	18.16	17.71	17.31	16.95	16.62	16.32
13	377×9	管子计算重量 (N/m)	1580	1890	2200	2510	2820	3130	3440	3750	4060	4370	4680	4990
		按强度计算跨距 (m)	20.44	18.68	17.31	16.21	15.30	14.52	13.84	13.26	12.74	12.28	11.87	11.50
		按刚度计算跨距 (m)	25.60	24.36	23.36	22.53	21.82	21.20	20.66	20.18	19.74	19.35	18.99	18.66
14	426×9	管子计算重量 (N/m)	1800	2140	2480	2820	3160	3500	3840	4180	4520	4860	5200	5540
		按强度计算跨距 (m)	21.28	19.51	18.13	17.00	16.06	15.26	14.57	13.96	13.42	12.95	12.52	12.13
		按刚度计算跨距 (m)	27.86	26.56	25.50	24.61	23.86	23.20	22.62	22.10	21.63	21.21	20.82	20.47

不通行地沟内管道活动支架最大允许跨距

表 5.7-7

公称直径 (DN)	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
蒸汽、热水管跨距 (m)	1.7	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.5	7.5	8.0	8.5	9.5
不保温凝结水管跨距 (m)	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0	6.0	7.0	7.5	8.0	9.5	10.5	11.5	11.5	13.0

各种活动支架允许跨距表 (表5.7-4~6) 的使用条件如下:

(1) 允许跨距表 (表5.7-5、6) 所采用的参数 (见表5.7-8);

允许跨距表所采用的参数

表 5.7-8

序号	项 目	表5.7-5	表5.7-6
1	介 质 参 数	$P = 1.3\text{MPa}, t = 200^\circ\text{C}$	$P = 1.3\text{MPa}, t = 350^\circ\text{C}$
2	钢材额定许用应力 $[\sigma]$	120MPa	80MPa

(2) 横向焊缝系数取用手工电弧焊, $\phi = 0.7$;

(3) 管子坡度 $i = 0.002$; 管道允许反坡 $\Delta_{\max} = 0.1DN$;

(4) 表中所列最大跨距是按连续敷设的水平直管公式计算的。

对尽头直管的跨距, 可以近似地等于表中最后选定的水平直管跨距的0.8倍。

对水平弯管的跨距, 可近似取表中最后选定的水平直管跨距的0.65倍。

4. 管道固定支架间距的确定

选用固定支架间距时, 不应使管道产生纵向弯曲。一般可按表5.7-9确定。

热力管道固定支架最大允许跨距表

表 5.7-9

公称直径 DN (mm)		25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
方型补偿器	地沟或架空敷 设 (m)	30	35	45	50	55	60	65	70	80	90	100	115	130	145	160	180	200	
	无沟埋设 (m)			45	50	55	60	65	70	80	90	90	110	110	100	125	125	125	
套管补偿器	通行地沟或架空 敷 设 (m)			25	25	35	40	40	50	55	60	70	80	90	100	120	120	140	
	无沟埋设 ^① (m)	24	30	36	36	48	56	56	72	72	108	120	144	144	144	144	168	192	
波纹管补偿器	地沟或架空敷 设 (m)						8	10	12	12	18	18	18	25	25	30	30	30	
	无沟埋设 ^① (m)		30	36	36	48	56	56	72	72	108	120	144						
球形补偿	地沟或架空敷 设 (m)	100~500 (一般400~500)																	
L形补偿器	地沟 架空	长边 (m)	≥15	18	20	24	24	30	30	30	30								
		短边 (m)	≤2	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	6.0								
	无沟 埋设	长边 (m)	≥6	11.5	12	12	13	13	14	15	15	16.5	16.5	17	17	18	18	20.5	21
		短边 (m)	≤2	2.5	3	3	3.5	4	4	5	5	6.5	7.5	8.5	9	10	10.5	11.5	13

① 套管及波纹管补偿器无沟埋设的固定支架最大允许跨距为直埋一次性补偿, 并采用浮动式布置方式时的数值。

5.7.3 管道支架荷载及推力计算

1. 管道支架荷载及推力的计算公式 (见表5.7-10)

管道支架荷载及推力计算公式表

表 5.7-10

荷载种类	计算公式	备注或简图
一、垂直荷载		
1. 汽体管道	$Q = \Sigma 1.2(q_z + q_w + q_L)l$	
2. 液体管道	$Q = \Sigma 1.2(q_z + q_w)l + \Sigma q_L \cdot l$	
二、水平荷载		
1. 轴向荷载		
(1) 固定支架轴向荷载		
① 方型或拐弯补偿器的弹性力	表5.6-6	
② 套管补偿器的摩擦力	表5.6-11、12	
③ 球补转动摩擦力矩折算的轴向力	表5.6-18 $F_j = \frac{2M}{l}$	根据球补布置尺寸折算
④ 由活动支座传来的摩擦力	$F_m = \mu \cdot q \cdot L_1$ (或 L_2)	
⑤ 由介质压力作用在闸门、拐弯处的水平内压力	$F_n = 0.785d_n^2 \cdot P$	采用套管或波形补偿器时, 才有此项力
(2) 刚性活动支架轴向荷载		
① 对直管道支架	$F_m = \mu \cdot q \cdot l$	
② 对拐弯管道支架轴向摩擦力	$F_m = q \cdot \mu \cdot l \cdot \cos\alpha$ (轴向)	
③ 吊架水平推力	$F_m = q \cdot \mu \cdot l$	
2. 侧向水平荷载		
(1) 由拐弯补偿器或支架传来的弹性力	图5.6-2、7	

续表

荷 载 种 类	计 算 公 式	备 注 或 简 图
(2) 管道横向位移产生的摩擦力	$F_{mf} = q \cdot \mu \cdot l \cdot \sin \alpha$ (侧向)	见附图
(3) 作用在管道上的风荷载	$F_r = 13K \cdot K_z \cdot W_c \cdot D_w \cdot l$	

上表中公式符号为:

 Q ——汽体或液体管道垂直荷载, N; q_z, q_w ——管道自重、保温层重量, N/m; q_r ——按满管截面计算的液体重量, N/m, 当输送过热蒸汽时考虑水压试验, 亦为满管; q_L ——管道内输送汽体时的凝结水重量, N/m,当 $DN < 100$ 时, 占管子截面的 20%; $DN = 150 \sim 500$ 时, 占管子截面的 15%; $DN > 500$ 时, 占管子截面的 10%。 l ——管道支架间距, m, 当两侧间距不等时, 取平均值; μ ——活动支架的摩擦系数, 见表 5.7-11; F_m ——轴向水平推力, N; μ_i ——吊架摩擦系数,

$$\mu_i = \frac{\Delta i}{h_i}$$

 Δi ——在第 i 个吊架处管道可能出现的最大位移量, mm; h_i ——第 i 个吊架的吊杆长度, m;当吊杆长度 h_i 未定时, 可取 $\mu_i = 0.1$; F_{mf} ——管道横向位移产生的摩擦力, N; q ——管道单位长度重量,蒸汽管道: $q = q_z + q_w + q_L$, N/m;热水或满管凝结水管道: $q = q_r$; F_r ——管道径向 (侧向) 风荷载, N; K ——风载体型系数 (见表 5.7-12); K_z ——风压高度变化系数 (见表 5.7-13); W_c ——基本风压值, N/m², 一般可取 500 N/m²; D_w ——管道直径, m, 保温管道取保温层外径, 多管平排敷设时, 取最大管的直径。


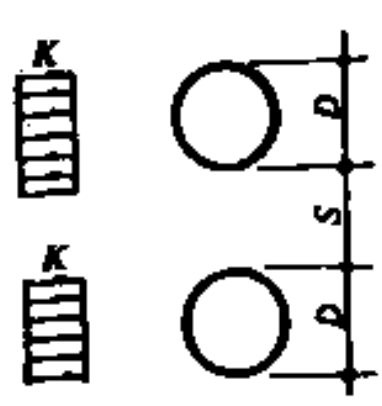
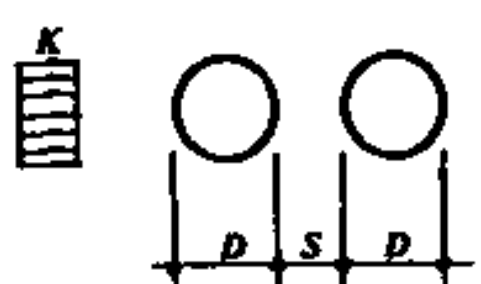

摩 擦 系 数

表 5.7-11

接 触 情 况		μ
滑 动 支 座	钢与钢接触	0.3
	钢与混凝土接触	0.6
	钢与木接触	0.28~0.4
滚 柱 支 座	钢与钢接触	0.15
	沿滚柱轴向移动时	0.3
	沿滚柱径向移动时	0.1
滚 珠 支 座	钢与钢接触	0.1
管道与墙		0.6
管道与保温材料		0.6
管道与橡胶填料		0.15
管道与浸油和涂石墨粉的石棉垫		0.1

架空管道风载体型系数K

表 5.7-12

序号	简图	K 值							
		$W_z D^2 > 2.0$		$W_z D^2 < 0.3$		$0.3 < W_z D^2 < 2.0$			
1		+0.6		+1.2		在+0.6~+1.2之间 按插入法求得 $K_{总}$			
2	<p>上下双管</p> 					$\gamma = \frac{K_{总}}{+0.6}$			
		S	K	S	K	S	K		
		$< \frac{D}{4}$	+1.2	$< \frac{D}{4}$	+2.40	$< \frac{D}{4}$	+1.20 γ		
		$\frac{D}{2}$	+0.9	$\frac{D}{2}$	+1.80	$\frac{D}{2}$	+0.90 γ		
		$\frac{3D}{4}$	+0.75	$\frac{3D}{4}$	+1.50	$\frac{3D}{4}$	+0.75 γ		
		D	+0.70	D	+1.40	D	+0.70 γ		
	1.5D	+0.65	1.5D	+1.30	1.5D	+0.65 γ			
	2.0D	+0.63	2.0D	+1.26	2.0D	+0.63 γ			
	>3D	+0.60	>3D	+1.20	>3D	+0.60 γ			
		$S > 3D$ 按单管取用		$S > 3D$ 按单管取用		$S > 3D$ 按单管取用			
3	<p>前后双管 (K为总值)</p> 	$< \frac{D}{2}$	+0.68	$< \frac{D}{2}$	+1.36	$< \frac{D}{2}$	+0.68 γ		
		D	+0.86	D	+1.72	D	+0.86 γ		
		1.5D	+0.94	1.5D	+1.88	1.5D	+0.94 γ		
		2D	+0.99	2D	+1.98	2D	+0.99 γ		
		4D	+1.08	4D	+2.16	4D	+1.08 γ		
		6D	+1.11	6D	+2.22	6D	+1.11 γ		
		8D	+1.14	8D	+2.28	8D	+1.14 γ		
		>10D	+1.20	>10D	+2.40	>10D	+1.20 γ		
				由表可见, $S > 10D$ 即各按单管取用		由表可见, $S > 10D$ 即各按单管取用		由表可见, $S > 10D$ 即各按单管取用	
		4	<p>密排多管 (K为总值)</p> 	+1.4		+2.8		$\gamma = \frac{K_{总}}{+0.6}$	
						$K = +1.4\gamma$			

注: W_z 为相应计算高度的风压值 $W_z = K_z \cdot W_0$

风压高度变化系数 K_z

表 5.7-13

离地面高度 (m)	K_z	备 注
< 5	0.8	中间值可用插入法求取
10	1.0	
20	1.26	
30	1.42	
40	1.54	

2. 牵制系数的确定

对于支承多根管道的管道支架，在计算支架推力 F_m 时，要乘以牵制系数。管道布置的牵制系数值，详见表5.7-14。

管道布置牵制系数

表 5.7-14

支架层数	管道根数	$\alpha = \frac{\text{主要热管重量}}{\text{全部管线重量}}$	牵制系数 K_q	
			对管架柱	计算横梁水平弯矩
单层	1~2		1	
	3	< 0.5 $0.5 < \alpha < 0.7$ > 0.7	0.5 0.57~0.67 1	
	> 4	0.15~0.8	按图5.7-3选取	
双层	上下共2		1	
	上下共3		同单层3根管	1
	上下共4	0.15~0.8	查图5.7-3	1~2根管: 1; 3根管: 同单层; >4根管: 查图5.7-3。

注: 1. 所谓主要热管就是支架上温度高、直径大(荷重大)、布置位置最不利的一根管;

2. 以牵制系数乘以多根管道轴向水平推力 ΣF_m , 即得活动支架的计算水平推力。

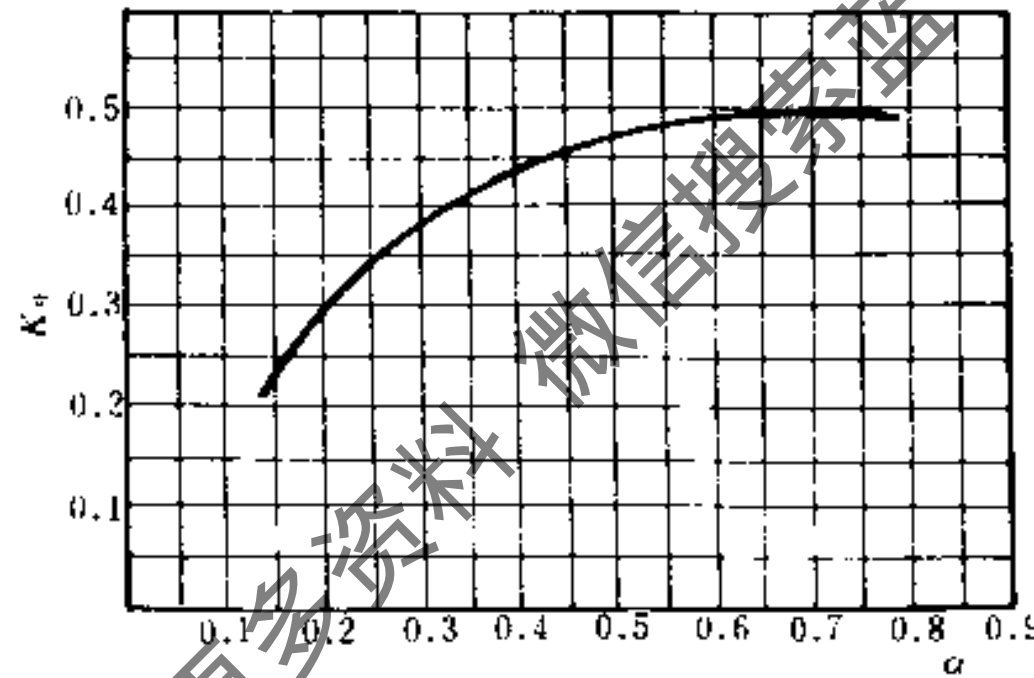


图 5.7-3 管道布置牵制系数线算图

3. 复合管段固定支架的推力计算公式

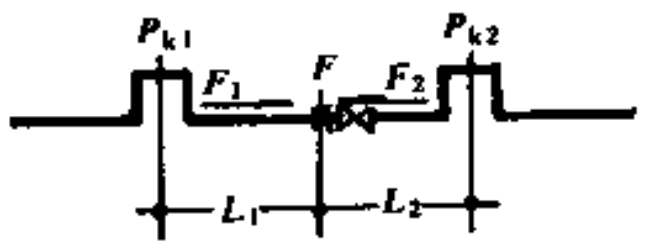
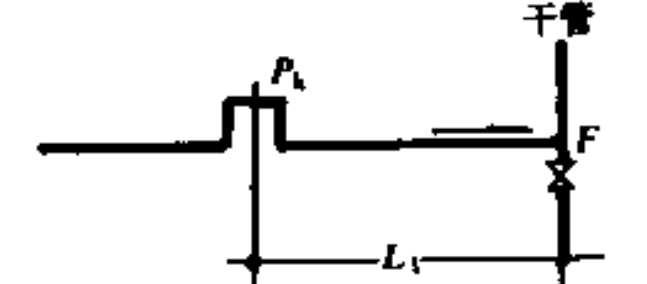
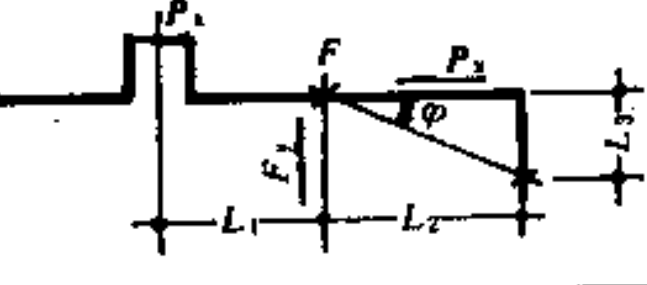
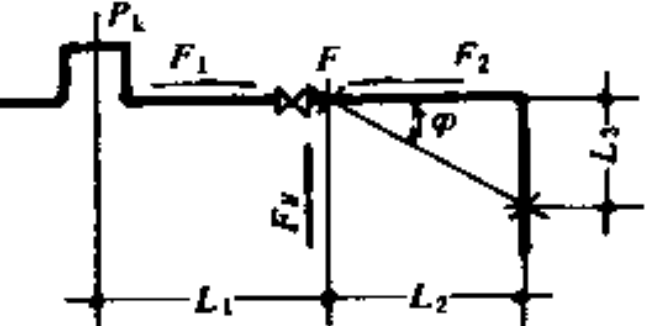
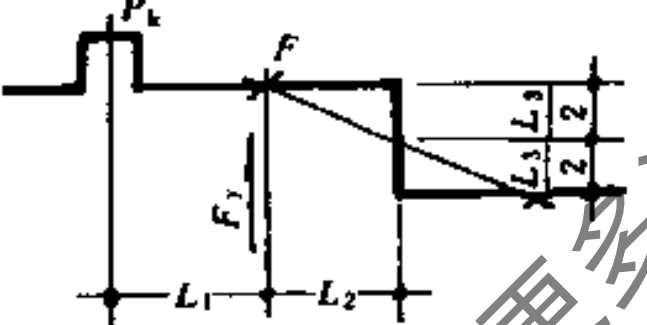
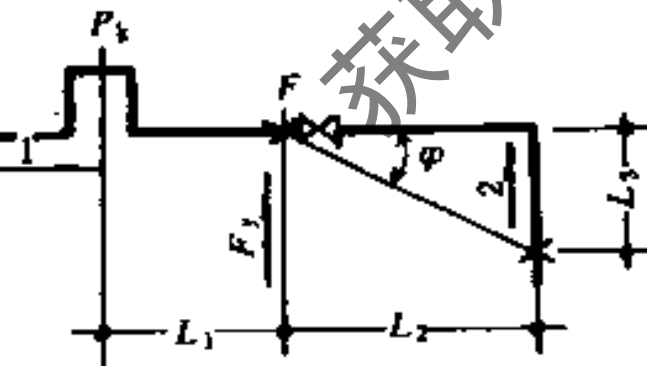
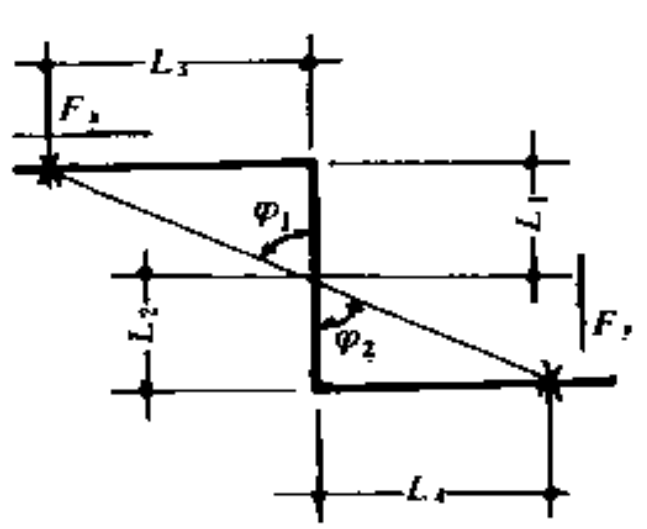
(1) 带方型补偿器及弹性自然转弯补偿管段的计算公式及简图见表5.7-15。

带方型补偿器及弹性自然转弯补偿管段计算公式表

表 5.7-15

序号	计算简图	计算公式	备注
1		滑动支架垂直荷载: $Q = q \cdot l$ 轴向摩擦推力: $F_m = \mu \cdot q \cdot l$	计算活动支架受力
2		$F = P_{k1} + \mu \cdot q_1 \cdot L_1 - 0.8(P_{k2} + \mu \cdot q_2 \cdot L_2)$	计算固定支架受力

续表

序号	计算简图	计算公式	备注
3		$F_1 = P_{k1} + \mu \cdot q_1 \cdot L_1$ $F_2 = P_{k2} + \mu \cdot q_2 \cdot L_2$ $F = F_1 - 0.8F_2$	计算固定支架受力
4		$F = P_k + \mu \cdot q_1 \cdot L_1$	作用在干管固定支架的侧向推力
5		$F = P_k + \mu \cdot q_1 \cdot L_1 - 0.8 \left[P_y + \mu \cdot q_2 \cdot \cos\phi \left(L_2 + \frac{L_3}{2} \right) \right]$ $F_y = P_y + \mu \cdot q_2 \cdot \sin\phi \left(L_2 + \frac{L_3}{2} \right)$	
6		$F_1 = P_k + \mu \cdot q_1 \cdot L_1$ $F_2 = P_y + \mu \cdot q_2 \cdot \cos\phi \left(L_2 + \frac{L_3}{2} \right)$ $F_y = P_y + \mu \cdot q_2 \cdot \sin\phi \left(L_2 + \frac{L_3}{2} \right)$	
7		$F = P_k + \mu \cdot q_1 \cdot L_1 - 0.8 \left[P_y + \mu \cdot q_2 \cdot \cos\phi \left(L_2 + \frac{L_3}{4} \right) \right]$ $F_y = P_y + \mu \cdot q_2 \cdot \sin\phi \left(L_2 + \frac{L_3}{4} \right)$	不利条件在热胀临终阶段
8		$F_1 = P_k + \mu \cdot q_1 \cdot L_1 - 0.8P_y$ <p>或 $F_1 = P_k + P_y + \mu \cdot q \left[\cos\phi \left(\frac{L_3}{2} + L_2 \right) \right]$</p>	介质流向 ² 当自然补偿管段受热后开启阀门阶段
		$F_2 = P_k + \mu \cdot q \cdot L_1$	关闭阀门
		$F_y = P_y + \mu \cdot q \cdot \sin\phi \left(L_1 + \frac{L_3}{2} \right)$	F 应由二式中取大者, 介质流向由 ¹ 阀门关闭
9		$F_x = P_{k1} + \mu \cdot q_1 \cdot \cos\phi_1 \left(L_1 + \frac{L_3}{2} \right) - 0.8 \left[P_{k2} + \mu \cdot q_2 \cdot \cos\phi_2 \left(L_2 + \frac{L_4}{2} \right) \right]$ $F_y = P_{y1} + \mu \cdot q_1 \cdot \sin\phi_1 \left(L_1 + \frac{L_3}{2} \right) - 0.8 \left[P_{y2} + \mu \cdot q_2 \cdot \sin\phi_2 \left(L_2 + \frac{L_4}{2} \right) \right]$	

续表

序号	计算简图	计算公式	备注
10		$F = P_{x1} + \mu \cdot q \left[\cos \varphi_1 \left(L_1 + \frac{L_3}{2} \right) \right]$ $- 0.8 \left[P_{x2} + \mu \cdot q \cdot \cos \varphi_2 \left(L_2 + \frac{L_4}{2} \right) \right]$ $F_y = P_{y1} + \mu \cdot q \cdot \sin \varphi_1 \left(L_1 + \frac{L_3}{2} \right)$ $- 0.8 \left[P_{y2} + \mu \cdot q \cdot \sin \varphi_2 \left(L_2 + \frac{L_4}{2} \right) \right]$	
11		$F_x = P_{x1} + \mu \cdot q_1 \cdot \cos \varphi_1 \left(L_1 + \frac{L_3}{2} \right)$ $- 0.8 \left[P_{x2} + \mu \cdot q_2 \cdot \cos \varphi_2 \left(L_2 + \frac{L_4}{4} \right) \right]$ $F_y = P_{y1} + \mu \cdot q_1 \cdot \sin \varphi_1 \left(L_1 + \frac{L_3}{2} \right)$ $+ P_{y2} + \mu \cdot q_2 \cdot \sin \varphi_2 \left(L_2 + \frac{L_4}{4} \right)$	
12		<p>弹性力计算 (见本章5.6.3)</p> $P_x = A \frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7 \cdot L_1^2}$ $P_y = B \frac{\alpha \cdot E \cdot J \cdot \Delta t}{10^7 \cdot L_1^2}$	<p>对于 $\varphi = 0$ 即 90° 直角 L 型补偿器的最大推力为:</p> $P_x = \frac{3 \Delta L_1 E J}{L_1^3} (K + 1)$ $K = L_2 / L_1$
13		$P_x = A \frac{\alpha E J \Delta t}{10^7 L_2^2}$ $P_y = B \frac{\alpha E J \Delta t}{10^7 L_2^2}$	

上表公式中符号为:

F, F_x ——固定支架所承受的轴向推力, N;

F_1, F_2 ——介质从不同方向流动时, 作用在固定支架上的轴向推力, N;

F_y ——固定支架承受的侧向推力, N;

P_x, P_y ——自然转弯管段在 x, y 轴方向的弹性力, N;

P_k ——方型补偿器的弹性力, N;

L_1, L_2, L_3, L_4 ——管段长度, cm;

μ ——摩擦系数, 见表5.7-11;

q_1, q_2 ——管道单位长度重量, N/m;

φ ——管道拐弯处的夹角, 度;

α ——管材线膨胀系数, 见表5.6-2, 计算时, 取 $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ m/m} \cdot \text{C}$;

Δt ——计算温度差, C;

J ——管道断面惯性矩, cm^4 , 见表5.6-7;

E ——管道材料的弹性模数, 计算时取:

$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$;

A, B ——系数, 见图5.6-3、8。

(2) 带套管及波形补偿器的管段计算公式及简图见表5.7-16。

一、带套管补偿器管段计算公式表

表 5.7-16

序号	计算简图	计算公式	备注
1		$N_o = P_{t1} + \mu \cdot q_1 L_1 + 100P(F_{1w1} - F_{1w2}) - 0.8(P_{t2} + \mu \cdot q_2 L_2)$ $N_o = P_{t2} + \mu \cdot q_2 L_2 + 100P(F_{1w1} - F_{1w2}) - 0.8(P_{t1} + \mu q_1 L_1)$ $N_o = 0.2(P_1 + \mu q L)$ $N_o = P_{t1} + \mu q_1 L_1 + 100PF_{1w1}$ $N_o = P_{t2} + \mu q_2 L_2 + 100PF_{1w2}$ $N_o = P_{t1} + P_{t2} + \mu q_1 L_1 + \mu q_2 L_2 + 100PF_{1w1}$	加热 } $D_1 > D_2$ } 全开 冷却 } $D_1 > D_2$ } $D_1 = D_2, L_1 = L_2 = L$ 流向→ } 全闭 (单路) 流向← } 全闭 (环路)
2		$N_o = P_{t1} - 0.8P_{t2} + \mu q_1 L + 100P(F_{1w1} - F_{1w2})$ $N_o = 0.2P_t + \mu q L$ $N_o = P_{t1} + \mu q_1 L + 100P \cdot F_{1w1}$ $N_o = P_{t1} + 100PF_{1w2}$ $N_o = P_{t1} + P_{t2} + \mu q_1 L + 100PF_{1w1}$	加热 $D_1 > D_2$ } 全开 $D_1 = D_2, L_1 = L_2 = L$ 流向→ } 全闭 (单路) 流向← } 全闭 (环路)
3		$N_o = P_t + 100PF_{1w}$	
4		$N_o = P_t + 100PF_{1w} + \mu q L$	
5		$N_h = P_t + 100PF_{1w}$	全开、全闭
6		$N_h = P_t + 100PF_{1w} + \mu q L$	全开、全闭
7		$N_h = P_{t1} + \mu q_1 L_1 + 100PF_{1w1}$ $N_h = P_{t2} + 100PF_{1w2}$	流向→ } 全开、全闭 流向← }
8		$N_o = P_{t1} - 0.8P_{t2} + 100P(F_{1w1} - F_{1w2})$ $N_o = 0.2P_t$ $N_o = P_{t1} + 100PF_{1w1}$ $N_o = P_{t2} + 100PF_{1w2}$ $N_o = P_{t1} + P_{t2} + 100PF_{1w1}$	加热 $D_1 > D_2$ } 全开 $D_1 = D_2$ } 流向→ } 全闭 (单路) 流向← } 全闭 (环路)

续表

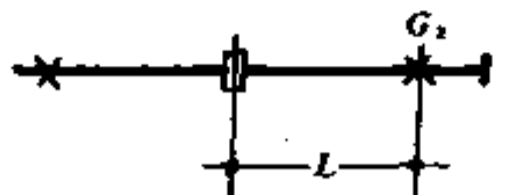
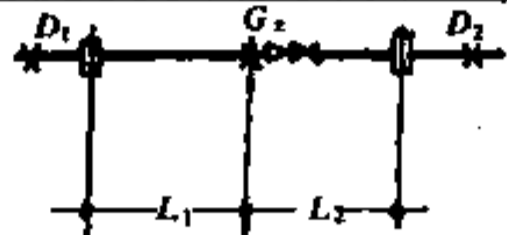
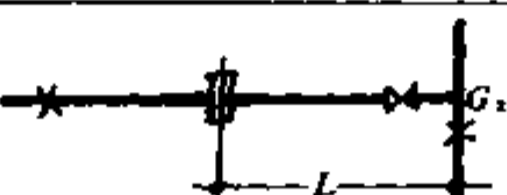
序号	计算简图	计算公式	备注
9		$N_o = 100PF_{1w} + P_i - 0.8\mu q_2 L$ $N_o = 100PF_{1w} + \mu q_2 L - 0.8P_i$ $N_o = P_i + 100PF_{1w}$ $N_o = P_x + \mu q_2 L$ $N_o = P_i + 100PF_{1w} + \mu q_2 L + P_x$ $N_h = P_y$	热始 } $D_1 > D_2$ 全开 冷终 } 流向→ } 全闭(单路) 流向← } 全闭(环路)
10		$N_o = 100PF_{1w} + \mu q_1 L_1 - 0.8(P_i + \mu q_2 L_2)$ $N_o = 100PF_{1w} + \mu q_2 L_2 - 0.8(P_i + \mu q_1 L_1)$ $N_o = P_i + 100PF_{1w} + \mu q_1 L_1$ $N_o = P_x + \mu q_2 L_2$ $N_o = P_i + 100PF_{1w} + \mu q_1 L_1 + P_x + \mu q_2 L_2$ $N_h = P_y$	热始 } $D_1 > D_2$ 全开 冷终 } 流向→ } 全闭(单路) 流向← } 全闭(环路)
11		$N_o = P_{x1} + \mu q_1 L_1 - 0.8(P_{x2} + \mu q_2 L_2)$ $N_o = P_{x2} + \mu q_2 L_2 - 0.8(P_{x1} + \mu q_1 L_1)$ $N_o = P_{x1} + \mu q_2 L_2 - 0.8(P_{x2} + \mu q_1 L_1)$ $N_o = P_{x2} + \mu q_1 L_1 - 0.8(P_{x1} + \mu q_2 L_2)$ 图(a): $N_h = P_{y1} - 0.8P_{y2}$ 或 $N_h = P_{x2} - 0.8P_{y1}$ 图(b): $N_h = P_{y1} + P_{y2}$ $N_o = P_{x1} + \mu q_1 L_1$ $N_h = P_{y1}$ $N_o = P_{x2} + \mu q_2 L_2$ $N_h = P_{y2}$ $N_o = P_{x1} + P_{x2} + \mu q_1 L_1 + \mu q_2 L_2$ $N_h = P_{y1} + P_{y2}$	} 热终 } } 冷始 } 全开 } } 流向→ } 全闭(单路) } 流向← } } 全闭(环路)

二、带波形补偿器管段计算公式表

续表

序号	计算简图	计算公式	备注
12		$N_o = P_b + P_{bn} + \mu q_1 L_1 - 0.8\mu q_2 L_2$ $N_o = P_b + P_{bn} + \mu q_2 L_2 - 0.8\mu q_1 L_1$ $N_o = P_b + P_{bn} + \mu q_1 L_1$ $N_o = P_x + \mu q_2 L_2$ $N_o = P_b + P_{bn} + \mu q_1 L_1 + \mu q_2 L_2$ $N_h = P_y$	热始 } 全开 冷终 } 流向→ } 全闭(单路) 流向← } 全闭(环路)

续表

序号	计算简图	计算公式	备注
13		$N_o = P_b + P_{ba} + \mu qL$	
14		$N_o = P_{b1} + P_{ba1} + \mu q_1 L_1 - 0.8(P_{b2} + P_{ba2} + \mu q_2 L_2)$ $N_o = P_{b2} + P_{ba2} + \mu q_2 L_2 - 0.8(P_{b1} + P_{ba1} + \mu q_1 L_1)$ $N_o = 0.20(P_b + P_{ba})$ $N_o = P_{b1} + P_{ba1} + \mu q_1 L_1$ $N_o = P_{b2} + P_{ba2} + \mu q_2 L_2$ $N_o = P_{b1} + P_{ba1} + \mu q_1 L_1 + \mu q_2 L_2$	加热 } $D_1 > D_2$ } 全开 冷却 } $D_1 = D_2, L_1 = L_2$ } 流向→ } 全闭 (单路) 流向← } 全闭 (环路)
15		$N_h = P_b + P_{ba} + \mu qL$	

上表中公式符号为:

- P_f ——套管补偿器的摩擦力, N;
- P_b, P_{ba} ——波形补偿器的弹性力和内压力, N;
- P ——介质的工作压力, MPa;
- P_x, P_y ——自然转弯补偿管段在 x 、 y 方向的弹性力, N;
- F_{cw} ——套管补偿器的套管外径面积, cm^2 ;
- μ ——套管补偿器套管与填料的摩擦系数, 见表5.6-11;
- q ——单位长度管道荷载, N/m;
- L ——计算活动支架摩擦力的管道计算长度, m;
- N_o, N_h ——固定支架的水平轴向和纵向荷载, N;
- D ——管径, 脚码 1、2 用以区别固定支架两侧管段的管径。

(3) 带球形补偿器的管段计算公式见表5.7-17。

带球形补偿器的管段固定支架推力计算公式

表 5.7-17

序号	推力名称	计算公式	备注
1	滑动支架轴向摩擦推力 (N)	$F_m = \mu \cdot q \cdot L$	
2	球补转动力矩的反作用力 (N)	$F_j = \frac{2M}{l}$	
3	固定支架轴向推力 (N)	$F = (F_{m1} + F_{j1}) - 0.8(F_{m2} + F_{j2})$	

上表中公式符号为:

- M ——球补转动摩擦力矩, N·m (见表5.6-18);
- l ——球补组的中心距, m。

附注:

(1) 当一种示意图有几个计算公式时, 应结合实际情况按所列有关公式进行计算, 以所得最大数值作为固定支架的水平荷载。

(2) 对于装有阀门的管段, 按阀门开启和关闭的不同条件进行计算, 以所得最大数值作为固定支架的水平荷载。

(3) “热始”、“热终”、“冷始”、“冷终”是指管段“开始加热”、“加热终了”、“开始冷却”、“冷却终了”四种边界工况。“加热”是介于“热始”和“热终”之间的中间过程; “冷却”是介于“冷始”和“冷终”之间的中间过程。

(4) “全开”是管段上无阀门或阀门全开，两侧管段工况相同，“全闭”是指阀门完全关闭，两侧管段工况不同。

(5) “单路”是指辐射（枝状布置）式热网，由一侧供热；“环路”是指环形热网，由两侧供热。“全闭（单路）”一侧为冷态，不计摩擦力；“全闭（环路）”一侧可能趋于冷却，管段在收缩，应计入摩擦力。

5.7.4 管道支座

1. 管道支座（是指管道支架与管道之间支承管道的支座），通常分为固定支座、活动支座、导向支座以及弹簧支座等形式

管道支座简图见图5.7-4~7。

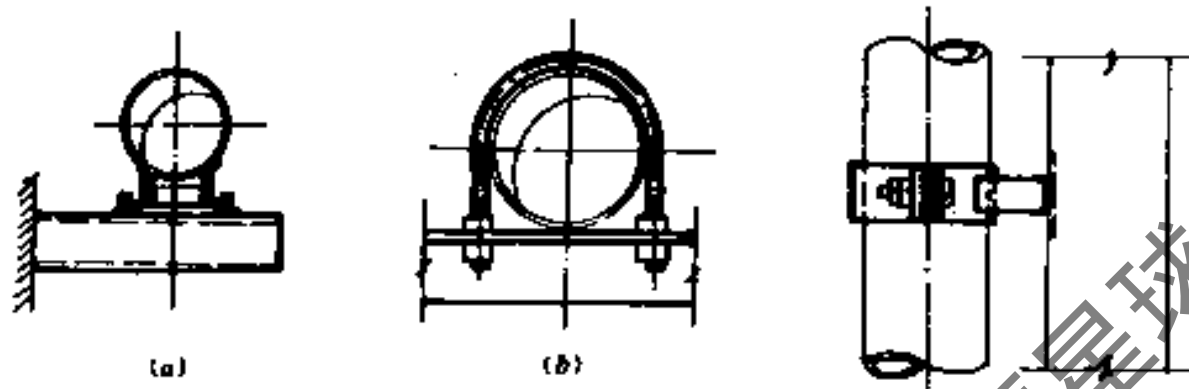


图 5.7-4 导向支座

(a) 挡条导向；(b) 卡箍导向；(c) 立管卡箍导向

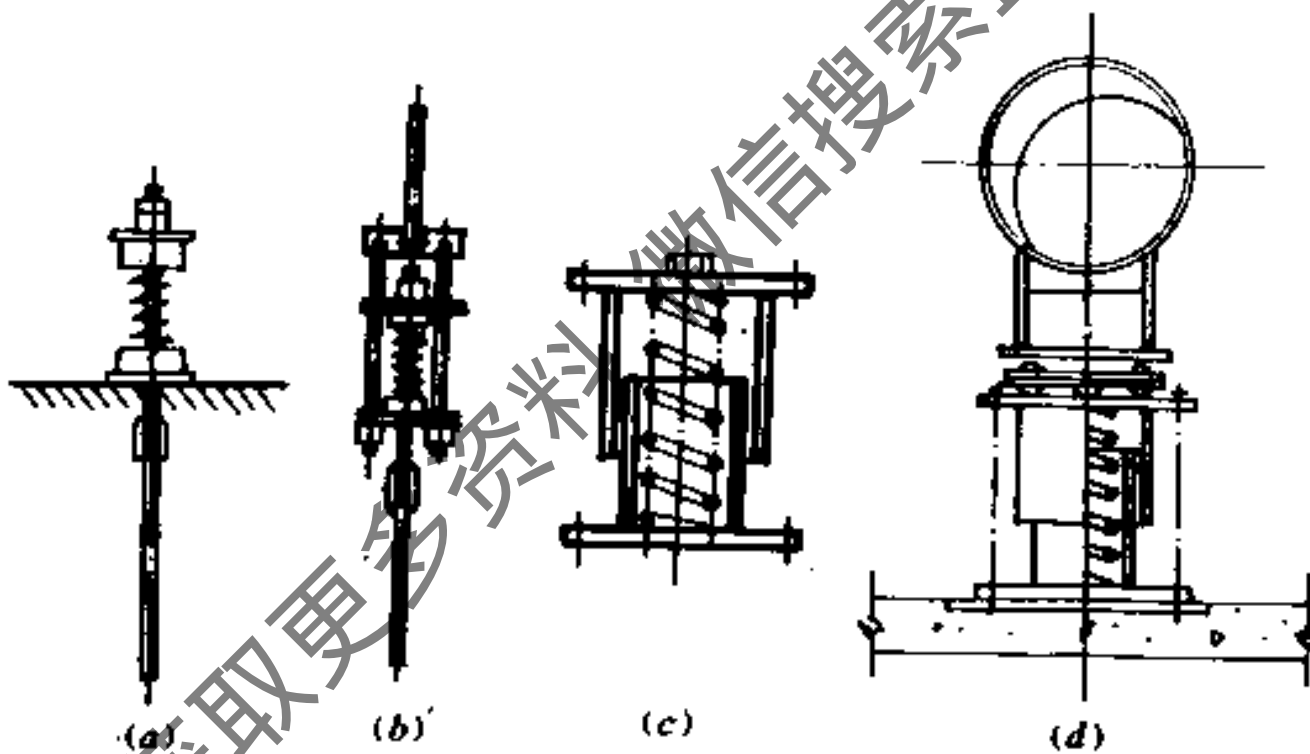


图 5.7-5 弹簧支座

(a) 装于拉杆顶端（或底端）；(b) 装于拉杆中部；(c) 装于支座下；(d) 滚珠弹簧支座

2. 支座型式

(1) 热力管网管道支座（动力国标图集R系列）适用范围如表5.7-18所列数值。

R 支座适用范围表

表 5.7-18

介质参数：热水、蒸汽，温度 $<350^{\circ}\text{C}$		公称直径：DN20~400
支座名称	应用范围	
滑动支座	$\Delta l(\text{mm})=100、150、250、350$ ； $H(\text{mm})=2、3、50、100、150$	
固定支座	推力(kN)=50、100、200、300、450、600	
背管结构	$H(\text{mm})=100、150$	

注：H为各种类型的支座高。

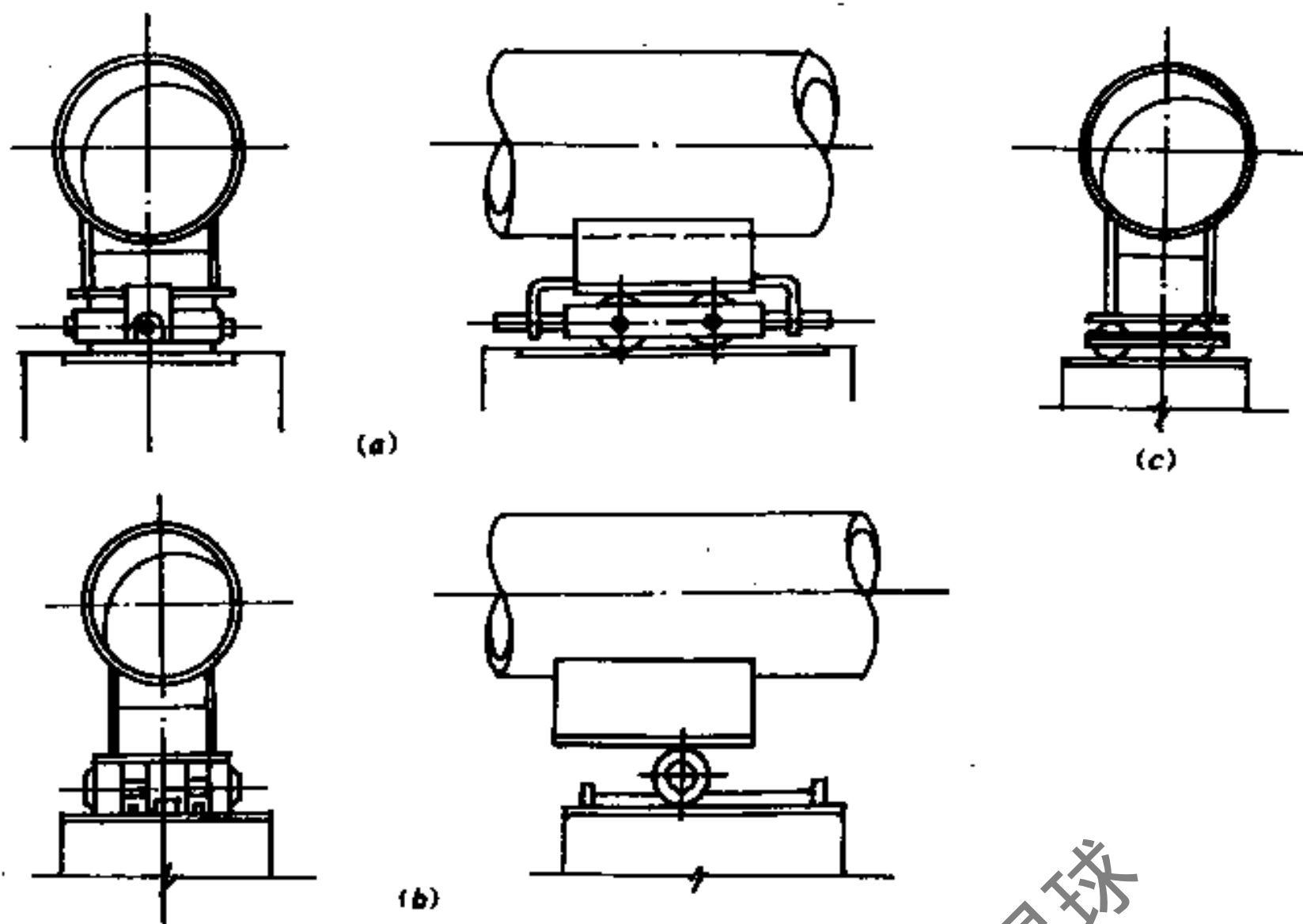


图 5.7-6 滚柱支座

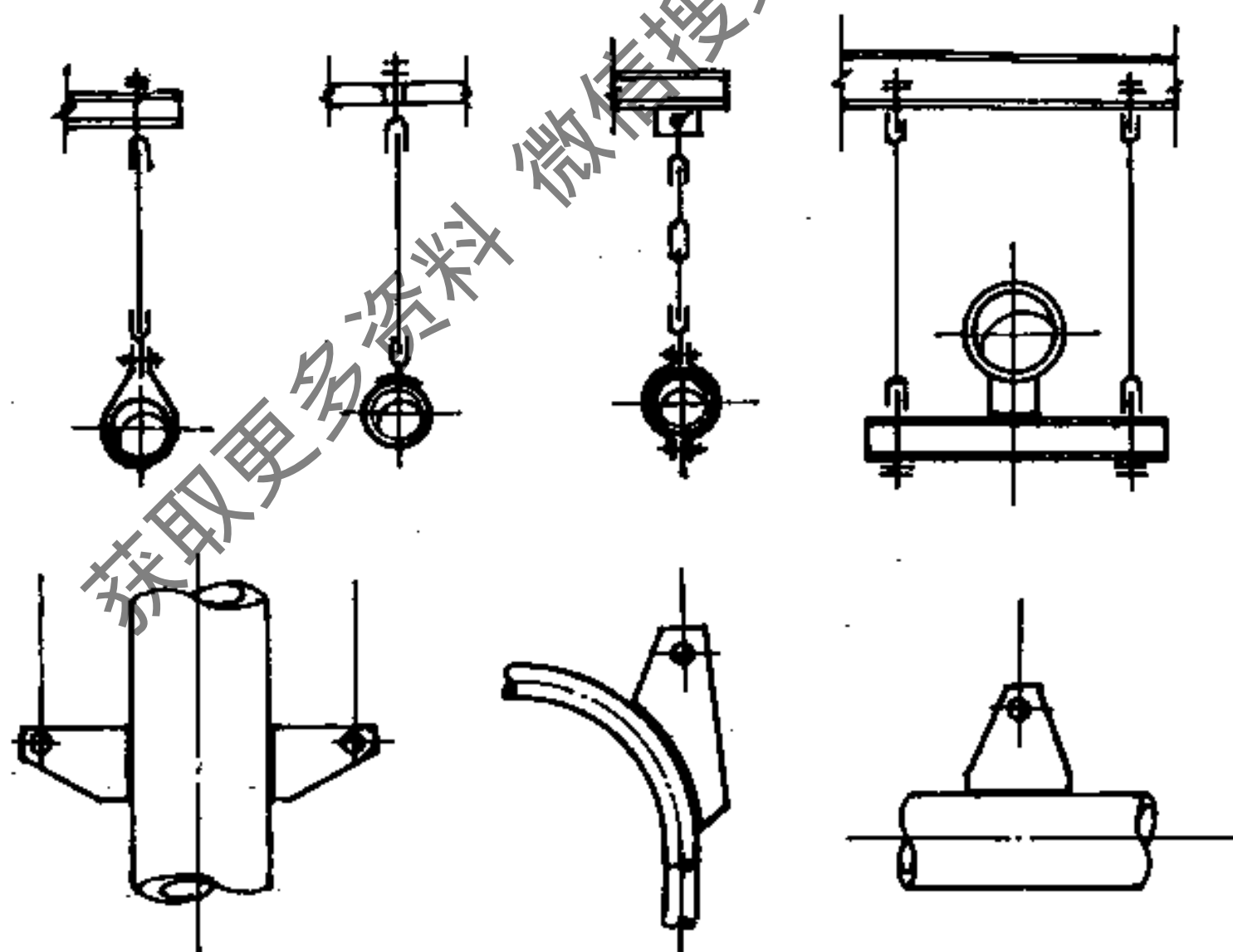


图 5.7-7 刚性吊架

(2) R 国标图集索引, 见表 5.7-19。

(3) 常用托座见表 5.7-20。

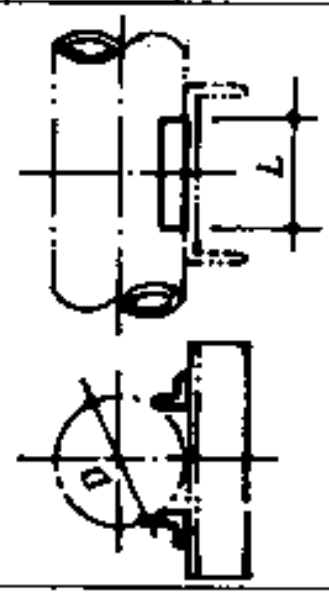
序号	简图	尺寸	表																					
一、DN20~400 弧型板滑动支座																								
1		管子外径 D_w (mm)	25	32	38	45	57	73	89	108	133													
		尺寸 (mm)	\widehat{B}_1	27	33	38	43	53	65	78	93	112												
		H	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3												
		管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426																
		尺寸 (mm)	\widehat{B}_1	140	180	200	250	270	330															
		H	3	3	3	3	3	3	3															
二、DN150~400 曲面槽滑动支座 (L=200, H=50)																								
2		管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426																
		尺寸 (mm)	\widehat{B}_1	140	180	200	250	270	330															
		H	3	3	3	3	3	3	3															
		管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426																
		尺寸 (mm)	\widehat{B}_1	140	180	200	250	270	330															
		H	3	3	3	3	3	3	3															
		δ_2	4	4	4	6	6	6	6															
三、DN150~400 曲面槽滑动支座 (L=200, H=100)																								
3		管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426																
		尺寸 (mm)	\widehat{B}_1	140	180	200	250	270	330															
		H	3	3	3	3	3	3	3															
		管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426																
		尺寸 (mm)	\widehat{B}_1	140	180	200	250	270	330															
		H	3	3	3	3	3	3	3															
		δ_1	4	4	4	4	4	4	4															
		δ_2	4	4	4	6	6	6	6															

序号	简图	尺寸表											
四、DN150~400 曲面槽滑动支座 (L = 300, H = 150)													
4		管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426					
		\widehat{B}	140	180	200	250	270	330					
		B_3	112	132	156	196	206	236					
		$L_1 \times \delta_1$ (mm)	50×4	50×4	60×4	60×4	80×4	80×4					
		$\delta_2 = \delta_3$	6	6	8	8	8	8					
五、DN20~150 煨弯槽板式滑动支座 (L = 150, H = 50, 100)													
5		管子外径 D_w (mm)	25	32	38	45	57	73	89	108	133	159	
		尺寸 (mm)	B_1	30	40	40	50	50	70	80	90	100	110
		H_1	$H = 50$	55	55	60	60	65	65	70	70	75	80
		H_2	$H = 100$	105	105	110	110	115	115	120	120	125	130
		$H = 50$	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
		$H = 100$	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	

尺寸表

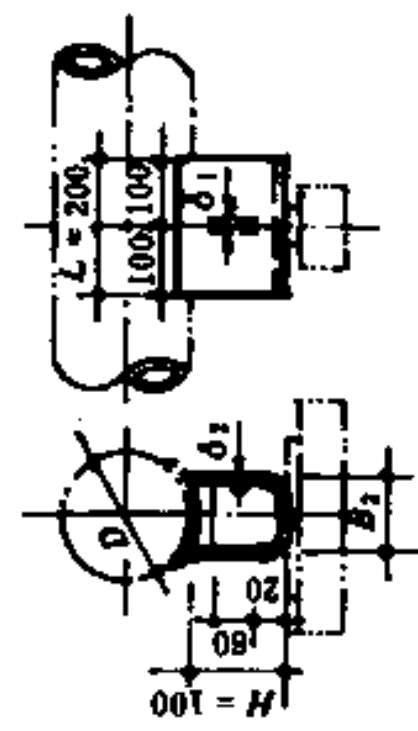
六、DN20~400 焊接角钢固定支座

管子外径 D_w (mm)	25	32	38	45	57	73	89	108	133	159	219	273	273	325	325	377	377	426	426
	22.40	28.00	36.00	44.70	50.40	56.00	112.00	56.00	112.00	112.00	134.40	67.20	134.40	67.20	134.40	67.20	134.40	67.20	134.40
推力(kN)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	200	200	100	200	100	200	100	200
L (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	200	200	100	200	100	200	100	200
角钢(A ₃ F)	L20×4	L36×4	L36×4	L36×4	L36×4	L36×4	L36×4	L36×4	L36×4	L50×32×4	L70×50×5	L100×63×6	L100×63×6	L100×63×6	L100×63×6	L125×80×7	L125×80×7	L125×80×7	L125×80×7



七、DN150~400 曲面槽面固定支座 (L = 200, H = 100)

管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426
推力(kN)	17.00	17.00	25.00	25.00	25.00	25.00
B_2	108	128	152	192	202	232
δ_1	4	4	6	6	6	6
δ_2	4	4	6	6	6	6



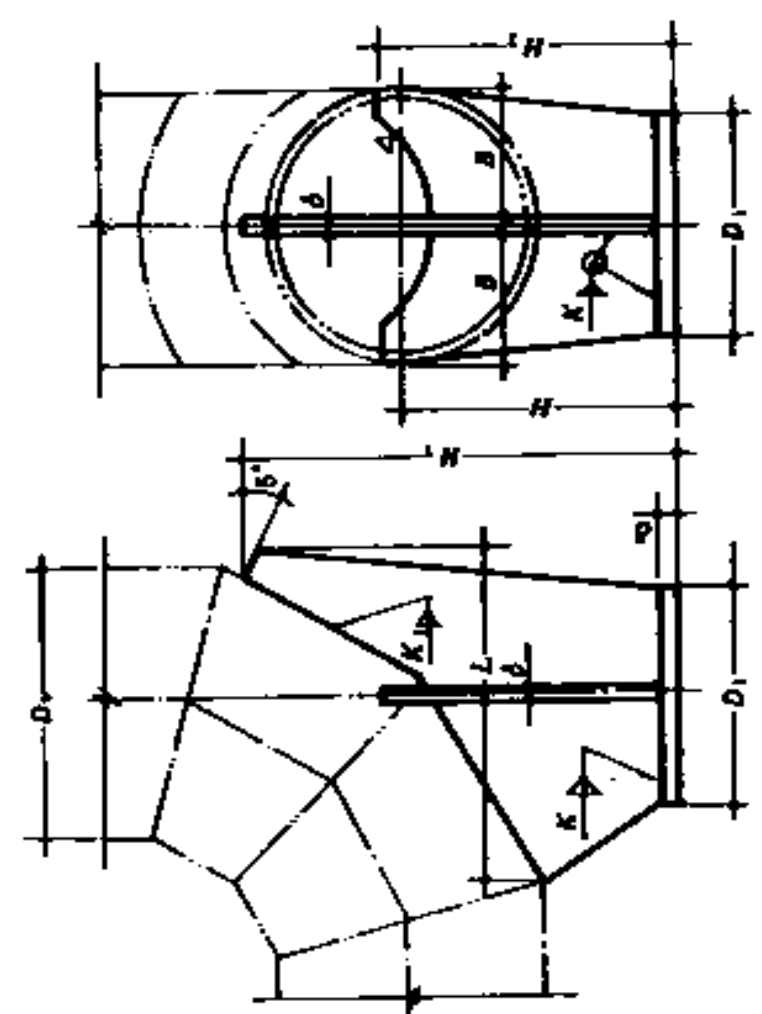
序号	筒图	尺寸表											
八、DN150~400单面挡板固定支座 (推力<5t)													
8		管子外径 D_w (mm)	159	219	273	325	377	426					
		A_1	80	100	100	100	120	120	120				
		挡板(碳钢)(mm)	180×10	180×10	180×10	180×10	180×10	180×10	180×10				
		肋板(碳钢)(mm)	150×16	150×16	150×16	150×16	150×16	150×16					

表 5.7-20

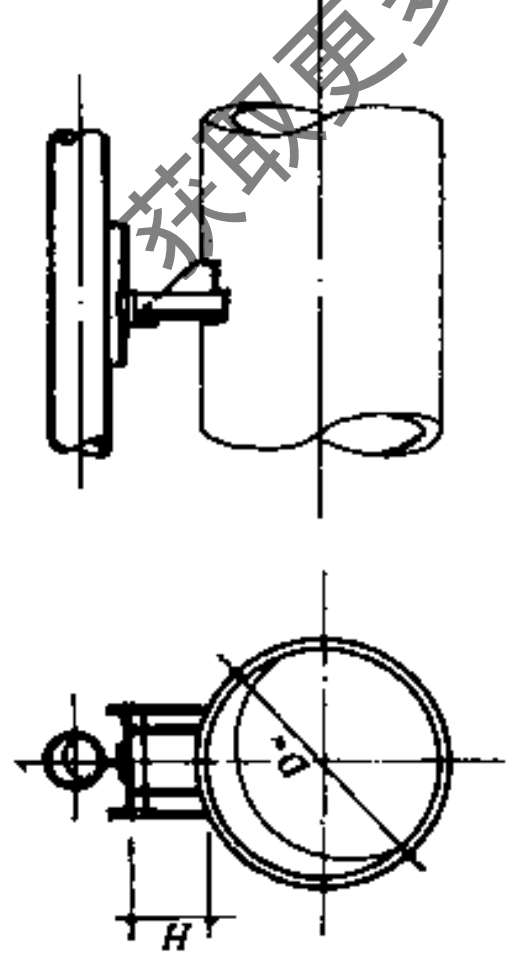
常用托座筒图及其尺寸表

一、弯管托座 (mm)

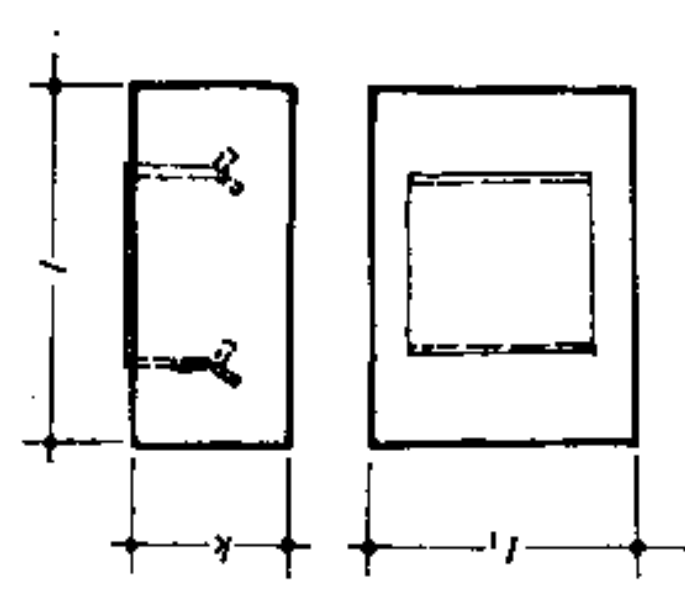
DN	D_w	H	H ₁	H ₂	D_1	L	B	δ	K	K_1	重量 (kg)
100	108	145	236	180	$\phi 100$	150	56	5	4	4	1.74
125	133	160	260	205	$\phi 125$	180	68	5	4	4	2.39
150	159	170	282	208	$\phi 150$	205	80	8	6	4	4.55
200	219	200	340	230	$\phi 200$	265	110	10	6	6	8.77
250	273	240	400	284	$\phi 250$	320	135	12	8	6	15.54
300	325	270	460	330	$\phi 250$	400	156	12	8	8	17.74
350	377	300	496	378	$\phi 300$	430	185	16	10	8	31.28
400	426	328	564	421	$\phi 300$	490	210	16	10	8	36.86



二、大管背小管支座

	D_w (mm)	219	273	325	377	426	478	529	630
	支柱 (角钢)	L50×5 L=158	L50×5 L=138	L50×5 L=130	L50×5 L=122	L50×5 L=120	L50×5 L=118	L50×5 L=115	L50×5 L=111
	横梁 (角钢)	L50×5 L=280	L50×5 L=280	L50×5 L=280	L50×5 L=280	L50×5 L=280	L50×5 L=280	L50×5 L=280	L50×5 L=280
	肋板 (扁钢)	-80×6 $\delta=6$	-80×6 $\delta=6$	-80×6 $\delta=6$	-80×6 $\delta=6$	-80×6 $\delta=6$	-80×6 $\delta=6$	-80×6 $\delta=6$	-80×6 $\delta=6$

三、混凝土支座

	公称直径 D_N (mm)	25~100	125~200	250~300	350~400	450~500	600
	l	200	300	400	500	650	750
	l_1	200	300	400	450	600	650
	k	100	100	100	150	150	150
	重量 (kg)	0.54	1.07	2.47	4.24	5.93	10.08

5.7.5 支吊架弹簧的选择

支吊架弹簧是根据所承受的最大荷重和管道的垂直位移来选择的。

1. 弹簧所承受的荷重

(1) 当热位移向上时,因安装荷重大于工作荷重,应以安装荷重作为选择弹簧的依据。

$$P'_{gz} = P_{gz} \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{max} - \Delta Z} \quad \text{N} \quad (5.7-3)$$

式中 P'_{gz} ——计算的安装荷重, N;

P_{gz} ——工作荷重,是指管道在正常工作状态下,弹簧承受的荷重。对于水平管道等于支、吊架所承的基本荷重;对于蒸汽管道,其数值为基本荷重减去水重;

λ_{max} ——弹簧的最大压缩值, mm, 见表5.7-24;

ΔZ ——管道垂直热位移, mm。

(2) 当热位移向下时,因工作荷重大于安装荷重,应以工作荷重作为选择弹簧的依据。

2. 管道的热位移

(1) 任何一个水平管段的转角点(即弯头处)热位移的计算通式:

$$\delta_z = \frac{\Delta Z}{L_1^3 + L_2^3 + \dots + L_n^3} \cdot L_{j,n}^3 \quad \text{mm} \quad (5.7-4)$$

式中 δ_z ——水平管段转角点的热位移值, mm;

L_1, L_2, \dots, L_n ——任一方向的水平管段长度, m;

$L_{j,n}$ ——所要计算的管段长度, m;

ΔZ ——管系在Z方向(即垂直方向)的总热位移值, m;

$$\Delta Z = h \cdot a_t \cdot \Delta t \quad \text{mm}$$

h ——两固定点间的垂直距离, m;

a_t ——材料的线胀系数, m/m·°C, 见表5.6-2;

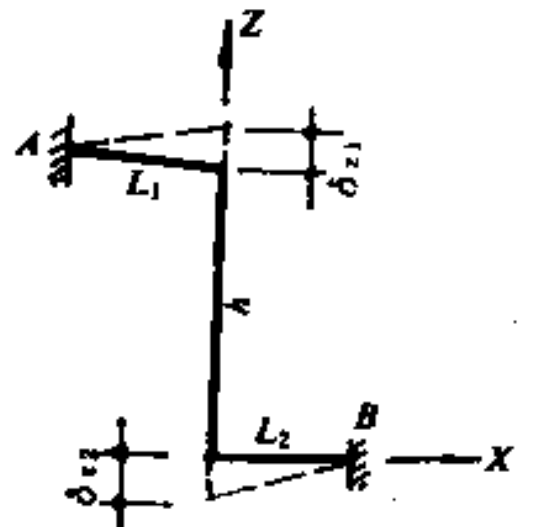
Δt ——热态和冷态温差, °C。

(2) 计算示例

计算简图及计算公式见表5.7-21。

计算简图及计算公式表

表 5.7-21

计算简图	计算公式	备注
	$\delta_{z1} = \frac{\Delta Z \cdot L_1^3}{L_1^3 + L_2^3}$	
	$\delta_{z2} = \frac{\Delta Z \cdot L_2^3}{L_1^3 + L_2^3}$	
	$\Delta Z = h \cdot a_t \cdot \Delta t$	

3. 弹簧选择方法

(1) 按弹簧位移的大小确定弹簧的类别。当热位移值小于25mm时，选用第Ⅱ类弹簧。当热位移大于25mm而又小于50mm时，选用第Ⅰ类弹簧。

(2) 按热位移的方向确定弹簧所承受的最大荷重。用图5.7-8、9选择弹簧。

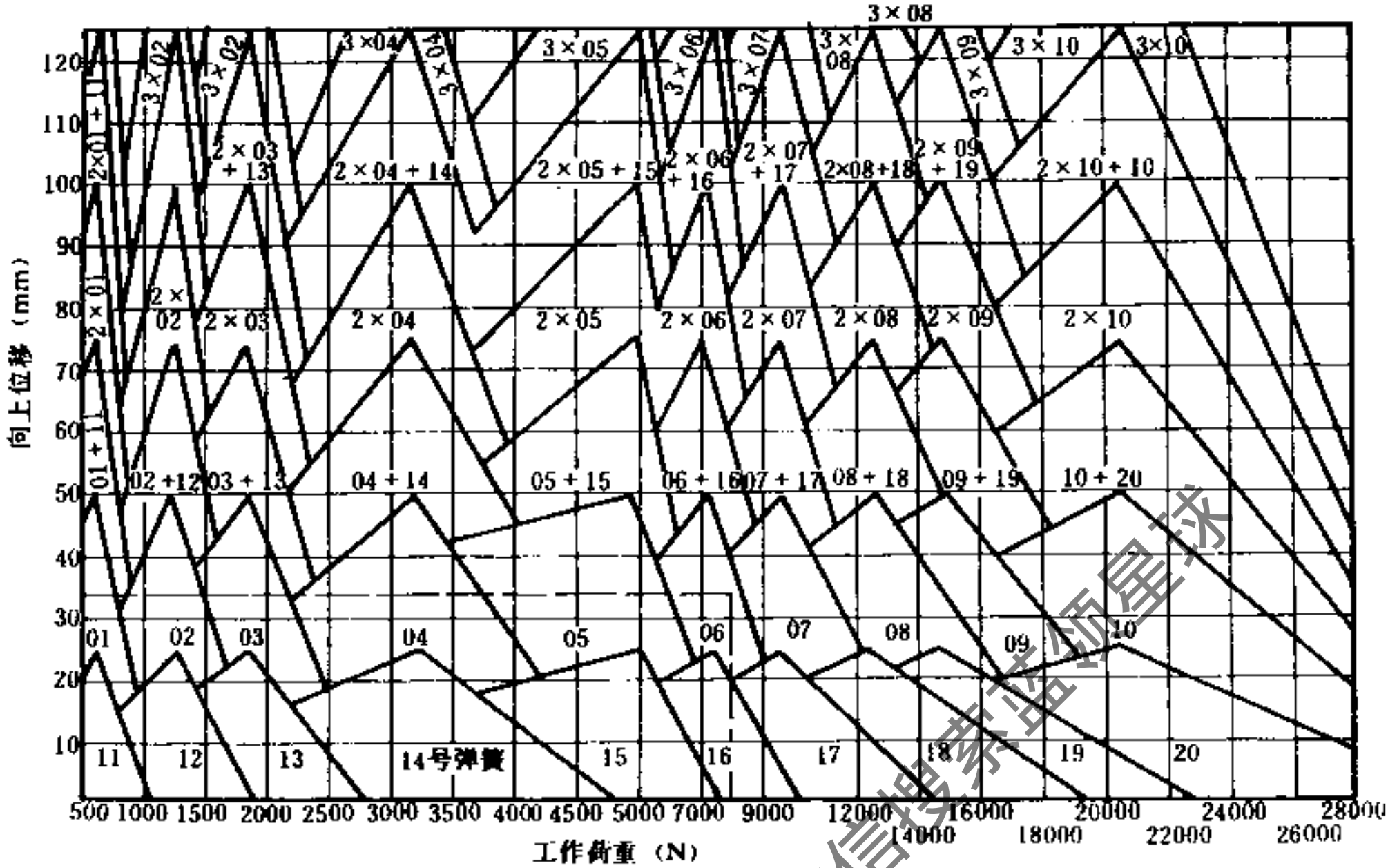


图 5.7-8 位移向上弹簧选择曲线

【例】 向上位移：34mm，工作荷重：8000N。查图后选用DG3256-06弹簧一只

弹簧的工作高度、安装高度和安装荷重，可按表5.7-22所列公式计算：

弹簧工作高度、安装高度及安装荷重计算公式表

表 5.7-22

计算简图	项 目	计 算 公 式	备 注
	工作高度	$H_{s2} = H_{s1} - K \cdot P_{sz}$	
	安装高度	$H_{sz} = H_{s2} \pm \Delta Z$	热位移向下时用“-”号，向上时用“+”号
	安装荷重	$P_{sz} = P_{sz} \pm \frac{1}{K} \Delta Z$	热位移向下时用“-”号向上时用“+”号

上表式中 H_{s2} ——弹簧工作高度，mm；

ΔZ ——管子热位移，mm；

H_{s1} ——弹簧的自由高度，mm，见表5.7-24； P_{sz} ——弹簧安装荷重，N；

P_{sz} ——弹簧工作荷重，N；

K ——弹簧系数，mm/N，见表5.7-23。

H_{sz} ——弹簧安装高度，mm；

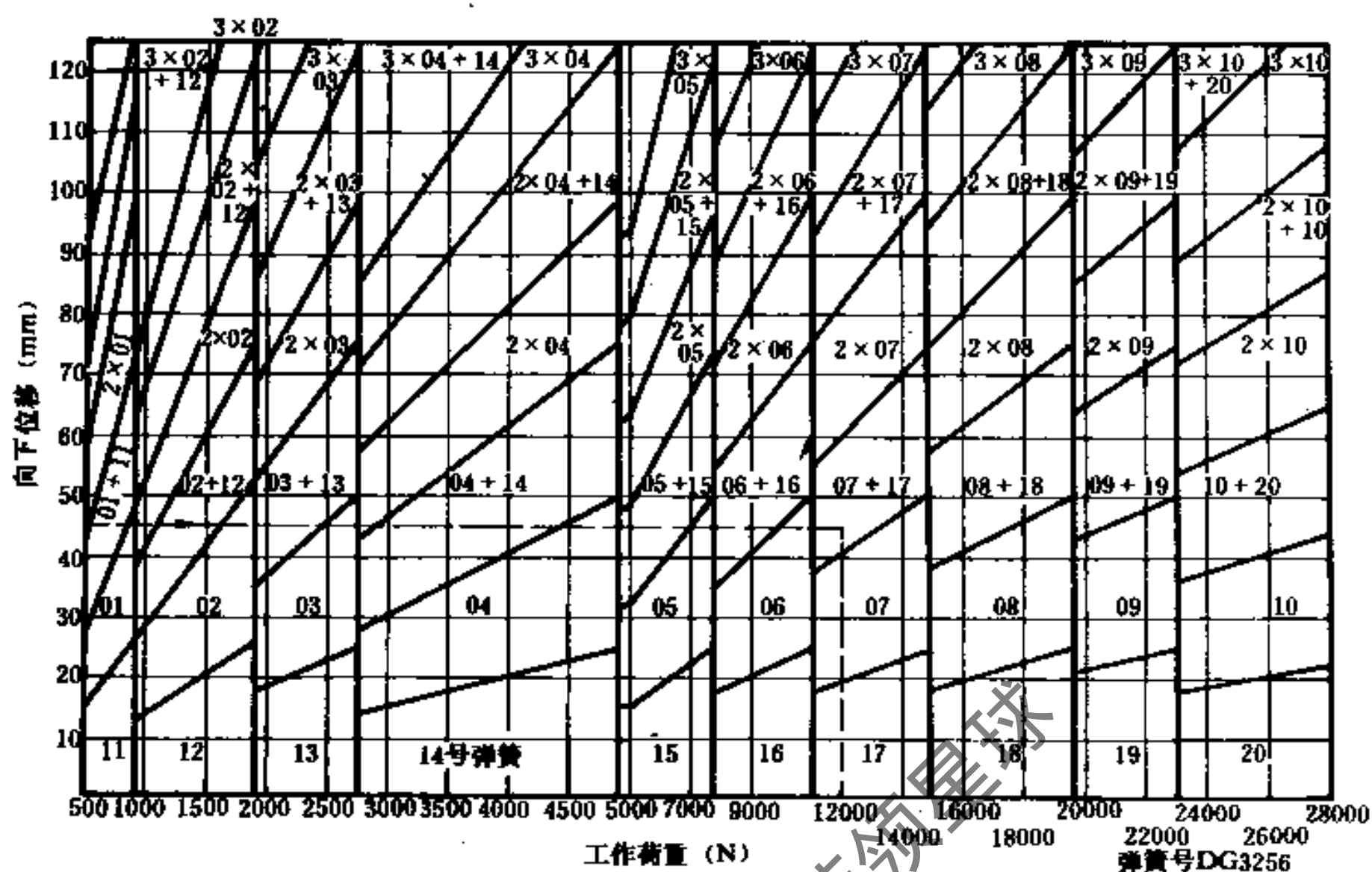


图 5.7-9 位移向下弹簧选择曲线

【例】 向下位移：45mm；工作荷重：12000N

查图后选用DG3256-17+DG3256-07二只弹簧串联。

标准弹簧的特性数据表

表 5.7-23

弹簧类别	编号	P_{max} (N)	$K = \frac{\lambda_{max}}{P_{max}}$ (mm/N)	$\frac{1}{K}$ (N/mm)	H_z (mm)
第 I 类 $\lambda_{max} = 140 \text{ mm}$	01	970	0.1443	6.93	242
	02	1970	0.0711	14.07	303
	03	2920	0.0479	21.21	322
	04	5140	0.0272	36.71	394
	05	8150	0.0172	58.21	345
	06	11550	0.0121	82.5	405
	07	15620	0.00896	111.6	373
	08	20500	0.00683	144.6	413
	09	24200	0.00579	172.9	497
	10	33600	0.00417	240.0	507
第 II 类 $\lambda_{max} = 70 \text{ mm}$	11	970	0.0772	13.86	126
	12	1970	0.0355	28.14	158
	13	2920	0.0240	42.42	168
	14	5140	0.0136	73.42	206
	15	8150	0.00859	116.4	184
	16	11550	0.00606	165.0	216
	17	15620	0.00448	223.2	203
	18	20500	0.00342	292.8	225
	19	24200	0.00289	345.8	268
	20	33600	0.00208	480.0	276

图5.7-10、11是弹簧荷重和高度的关系曲线。根据所选弹簧的型号，可查荷重与弹簧高度的关系。

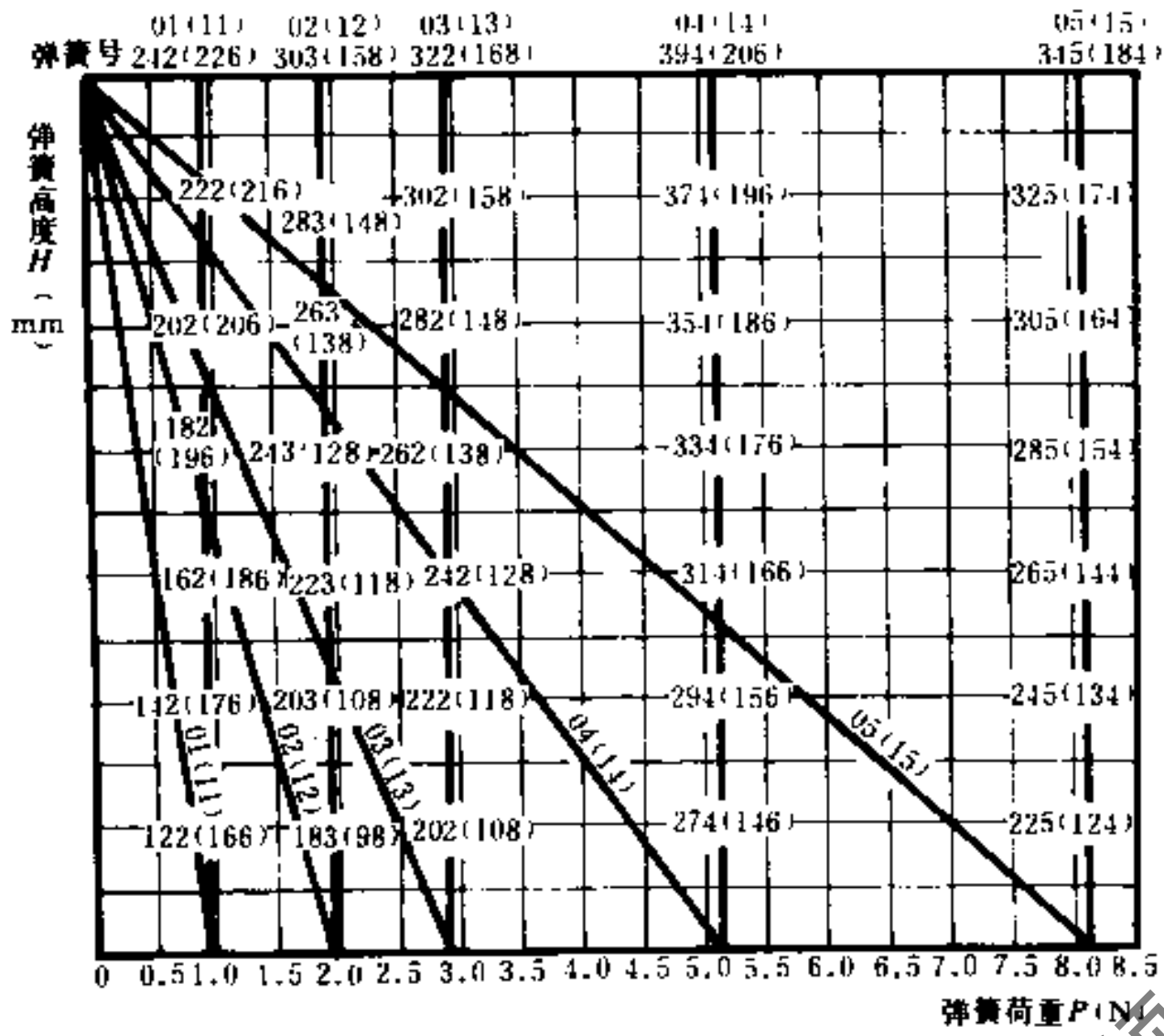


图 5.7-10 弹簧荷重与高度关系曲线(I)

注：图中带括号者 $\lambda_{max} = 140\text{mm}$ ，
不带括号者 $\lambda_{max} = 70\text{mm}$

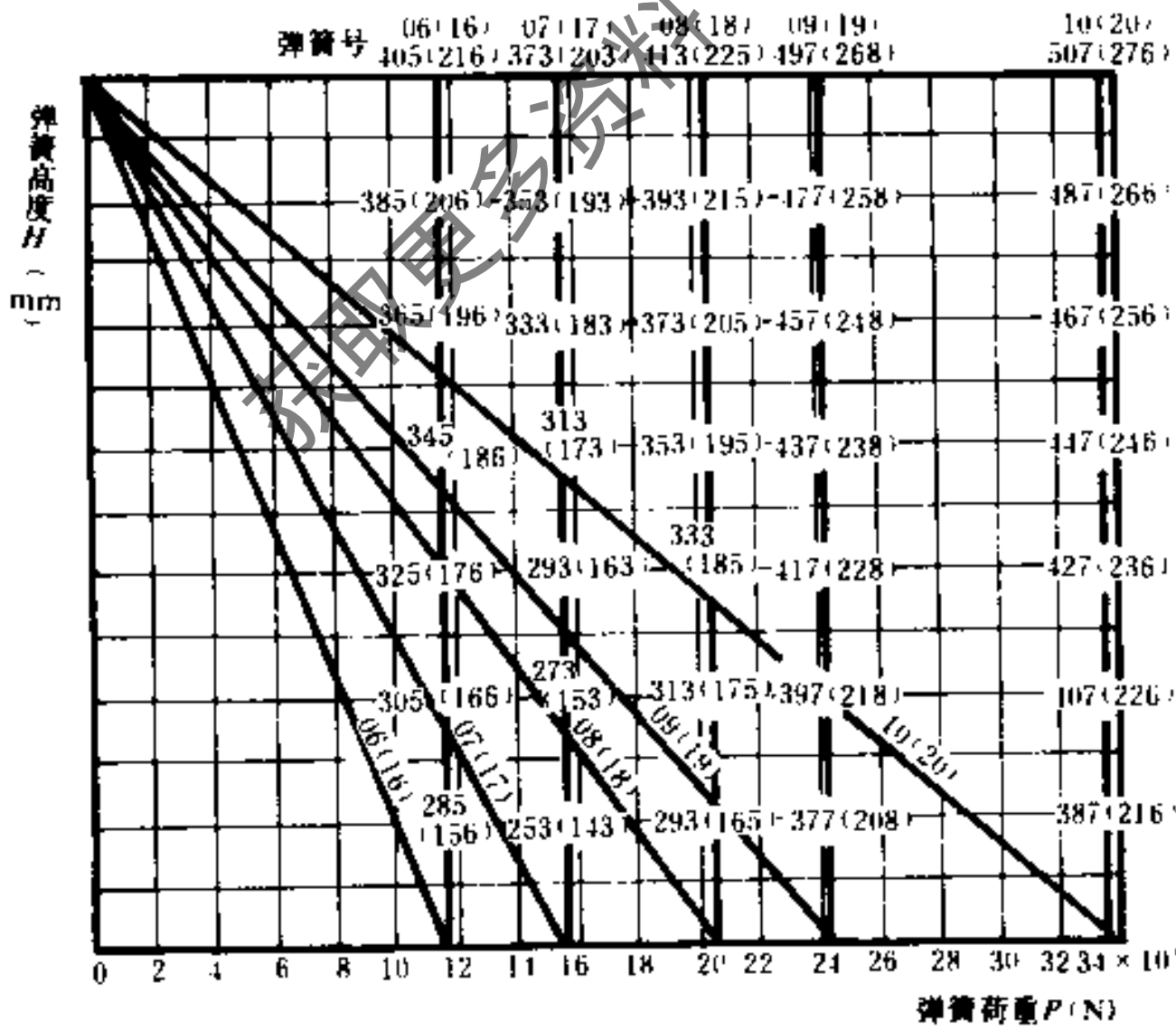


图 5.7-11 弹簧荷重与高度关系曲线(II)

注：图中带括号者 $\lambda_{max} = 140\text{mm}$ ；不带括号者 $\lambda_{max} = 70\text{mm}$

弹簧规格表

表 5.7-24

标号 No	最大允许荷重 P_{max} (N)	与 P_{max} 相应的最大压缩值 λ_{max} (mm)	弹簧钢丝直径 d_1		弹簧外径 D		圈数		节距 t	自由高度 H_{zi}		展开长度	重量 (kg)
			额定值	允许偏差	额定值	允许偏差	工作圈数	总圈数		额定值	允许偏差		
			(mm)				n	n_1		(mm)			
1	970	140	7	+0.1	80	±1.2	9	11	25.7	242	+7 -2.5	2540	0.763
2	1970		9	-0.3			13	15	22.2	303	+9 -3	3360	1.68
3	2920		10	+0.2			14	16	21.9	322	+9.5 -3	3540	2.18
4	5140		12				18	20	20.9	394	+12 -4	4290	3.82
5	8150		16	-0.3	120	±1.8	10	12	32.1	345	+10 -3.5	3950	6.23
6	11550		18	12			14	31.5	405	+12 -4	4500	8.99	
7	15620		22	+0.2	160	±2.4	8	10	42.5	373	+11 -4	4360	13.0
8	20500		24	-0.4			9	11	41.9	413	+12 -4	4730	16.8
9	24200		26	+0.2			11	13	41.6	497	+15 -5	5510	23.0
10	33600		30	-0.6			10	12	46.2	507	+15 -5	5690	31.6
11	970	70	7	+0.1	80	±1.2	4.5	6.5	25.7	126	+3.5 -1	1500	0.453
12	1970		9	-0.3			6.5	8.5	22.2	158	+4.5 -1.5	1910	0.954
13	2920		10	+0.2			7	9	21.9	168	+5 -1.5	1990	1.22
14	5140		12				9	11	20.9	206	+6 -2	2360	2.09
15	8150		16	-0.3	120	±1.8	5	7	32.1	184	+5.5 -2	2320	3.66
16	11550		18	6			8	31.5	216	+6 -2	2570	5.13	
17	15620		22	+0.2	160	±2.4	4	6	42.5	203	+6 -2	2620	7.82
18	20500		24	-0.4			4.5	6.5	41.9	225	+6.5 -2	2800	9.95
19	24200		26	+0.2			5.5	7.5	41.6	268	+8 -2.5	3180	13.2
20	33600		30	-0.6			5	7	46.2	276	+8 -3	3320	18.0

5.7.6 常用支吊架生根结构构件强度计算公式和曲线图

1. 支吊架结构所用钢材规格

- (1) 受剪螺杆用 A_5 或 A_4 ;
- (2) 螺杆用 A_4 , 螺母用 A_3 ;

(3) 需进行强度计算的部件用 A_3 或 A_4 , 不需计算的部件用 A_0 、 A_1 、 B_0 或 B_1 。

2. 钢材的许用应力(参照表5.7-25)

常用钢材许用应力表

表 5.7-25

钢 号	A_0 或 A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
许用拉压应力 σ_{xu} (MPa)	105	120	133	144	155
许用剪切应力 τ_{xu} (MPa)	63	73	80	86	93

生根结构梁按强度条件计算时, 对于挠度的要求如下:

对于固定支架: $f < 0.002L$ mm;

对于活动支架: $f < 0.004L$ mm。

式中 f ——梁的最大挠度, mm;

L ——梁的长度, mm。

3. 常用的支吊架生根结构构件的强度计算公式(见表5.7-26)

常用支吊架生根结构构件强度计算公式表

表 5.7-26

序号	计 算 简 图	计 算 公 式
1		<p>构件1: 梁(槽钢立放)</p> $\sigma_{hc} = \frac{L}{100} \left(\frac{P_{1Bz}}{W_x} + \frac{P_{1Bx}}{W_y} \right) < \sigma_{xu}$ $f_{hc} = \frac{L^3}{300E} \sqrt{\left(\frac{P_{1Bz}}{J_x} \right)^2 + \left(\frac{P_{1Bx}}{J_y} \right)^2} < f_{xu}$ <p>构件2: 螺杆</p> $d > \frac{1.5}{10} \sqrt{\frac{1}{\sigma_{xu}} \left(1 + \frac{L}{B} \right) (P_{1Bz} + 2P_{1Bx})}$ <p>构件3: 扁钢</p> <p>扁钢宽度 $> 2d$</p> <p>扁钢厚度 $> 0.42d$</p>
2		<p>构件1: 梁(槽钢立放)</p> <p>梁抗拉应力:</p> $\sigma_{hc} = \frac{L \cdot P_{1Bz}}{100W_x} < \sigma_{xu}$ <p>梁的挠度:</p> $f_{hc} = \frac{L^3 \cdot P_{1Bz}}{300EJ_x} < f_{xu}$ <p>构件2: 螺杆: 其直径为:</p> $d > \frac{1.5}{10} \sqrt{\frac{1}{\sigma_{xu}} \left(1 + \frac{L}{B} \right) \cdot P_{1Bz}}$ <p>构件3: 扁钢</p> <p>扁钢宽度: $b > 2d$</p> <p>扁钢厚度: $\delta > 0.42d$</p>

序号	计算简图	计算公式
3		<p>构件1: 梁(槽钢立放)</p> $\sigma_{bc} = \frac{1}{100F_1} (1.5P_{1xz} \cdot \operatorname{tg} \alpha + P_{1yz})$ $+ \frac{P_{1xz} \cdot L \cdot J_{z1}}{100W_{z1} (J_{x1} + J_{z2} \sin^2 \alpha)} < \sigma_{su}$ <p>构件2: 斜撑(槽钢立放)</p> $\sigma_{bc} = \frac{1.5}{100} \frac{P_{1xz}}{\varphi F_2 \cos \alpha}$ $+ \frac{P_{1xz} \cdot L \cdot J_{z2}}{100W_{z2} \left(\frac{1}{\sin^2 \alpha} J_{x1} + J_{z1} \sin \alpha \right)} < \sigma_{su}$
4		<p>构件1: 梁 取下列二强度条件计算结果的较小值:</p> <p>(1) $\sigma_{bc} = \frac{P_{1xz}}{100F_1} \cdot f(T) < \sigma_{su}$</p> $f(T) = \sqrt{[f(u) + f(y)]^2 + f(W)}$ $f(u) = 1.5 \left(1 + \frac{3A}{2L} \right) \operatorname{tg} \alpha + 0.1$ $f(y) = AF_1 \left[\frac{1}{W_{x1}} + \frac{0.1}{W_{z1}} \right]$ $f(W) = 60 \left(\frac{A}{L} \right)^2$ <p>(2) $\sigma_{bc} = \frac{P_{1xz}}{100F_1} \cdot f(T) < \sigma_{su}$</p> $f(T) = \sqrt{[f(u) + f(x) + f(y)]^2 + f(W)}$ $f(u) = 1.5 \left(1 + \frac{3A}{2L} \right) \operatorname{tg} \alpha + 0.1$ $f(x) = A \frac{F_1}{2W_{z1}}$ $f(y) = 0.1 \frac{F_1}{W_{z1}} \left(A + \frac{L}{1 + \sin^2 \alpha} \right)$ $f(W) = 60 \left(\frac{A}{L} \right)^2$ <p>注: 上式考虑了: $P_{1yz} = P_{1xy} = 0.1 P_{1xz}$</p> <p>构件2: 斜撑</p> $\sigma_{bc} = \frac{1.5 P_{1xz}}{100 \varphi F_2 \cdot \cos \alpha} + \frac{0.1 P_{1xz}}{100 W_{z2}}$ $\times \left[A + \frac{L + A}{\frac{1}{\sin^2 \alpha} + \sin \alpha} \right] < \sigma_{su}$ <p>注: 上式考虑了: $P_{1yz} = 0.1 P_{1xz}$</p>

上表公式中符号为:

- σ_{su} ——许用拉、压应力, MPa;
- E ——钢材的弹性模数, MPa, 见表5.6-3;
- $f(T)$ 、 $f(u)$ ——梁的综合、计算许用挠度, cm;
- $f(x)$ 、 $f(y)$ 、 $f(w)$ ——梁的 x 、 y 、 z 轴力所产生的挠度, cm;
- f_{su} ——梁的许用挠度, cm;
- J_x 、 J_y 、 J_z ——对 x 、 y 、 z 轴的断面惯性矩, cm^4 ;

- W_x 、 W_z ——对 x 、 z 轴的断面抗弯矩, cm^3 ;
- σ_{bc} ——梁抗拉应力, MPa;
- f_{bc} ——梁的挠度, cm;
- d ——螺杆直径, cm;
- F ——梁的断面积, cm^2 ;
- φ ——压杆的纵向挠曲系数;
- P_{1xz} 、 P_{1yz} 、 P_{1xy} —— x 、 y 、 z 方向的荷重, N。

4. 常用的支吊架生根结构构件的强度计算曲线图(见图5.7-12~18)

作图条件:

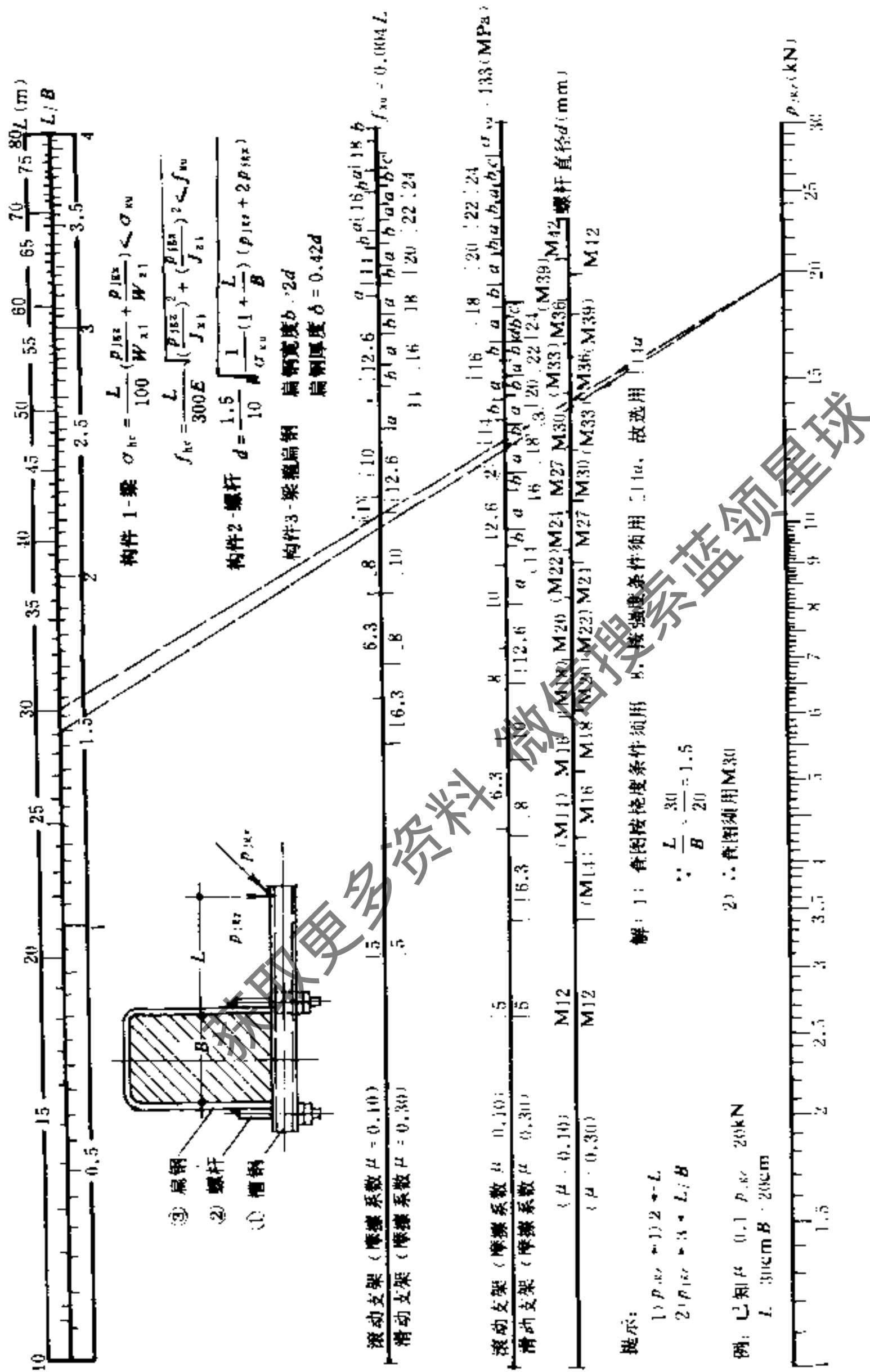


图 5.7-12 支架生根结构构件强度线算图(1)
(计算表 5.7 26 中序号 1 构件 1、2、3)

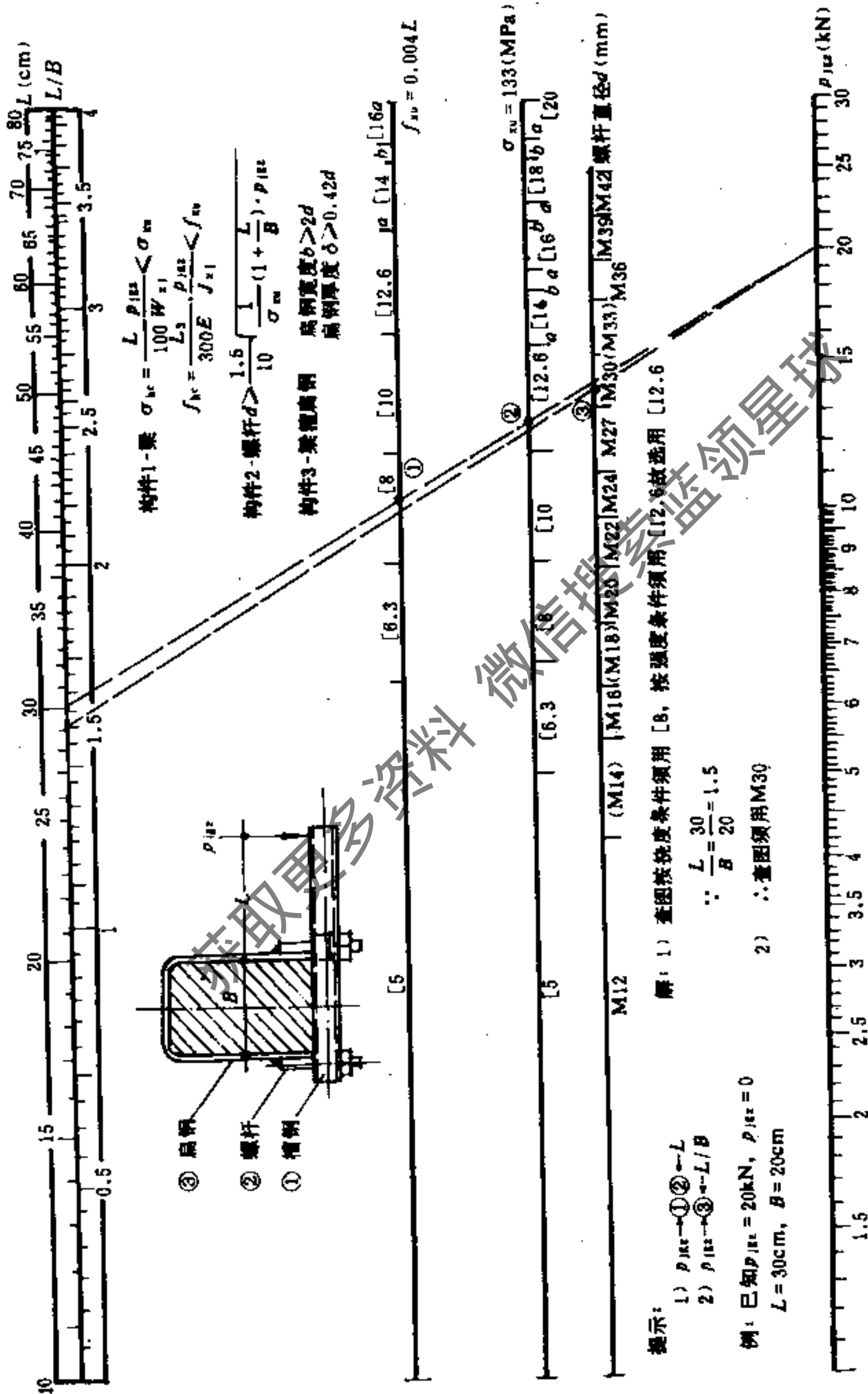


图 5.7-13 支架生根结构构件强度线算图 (II)
 (计算表 5.7-26 中序号 2 构件 1、2、3)

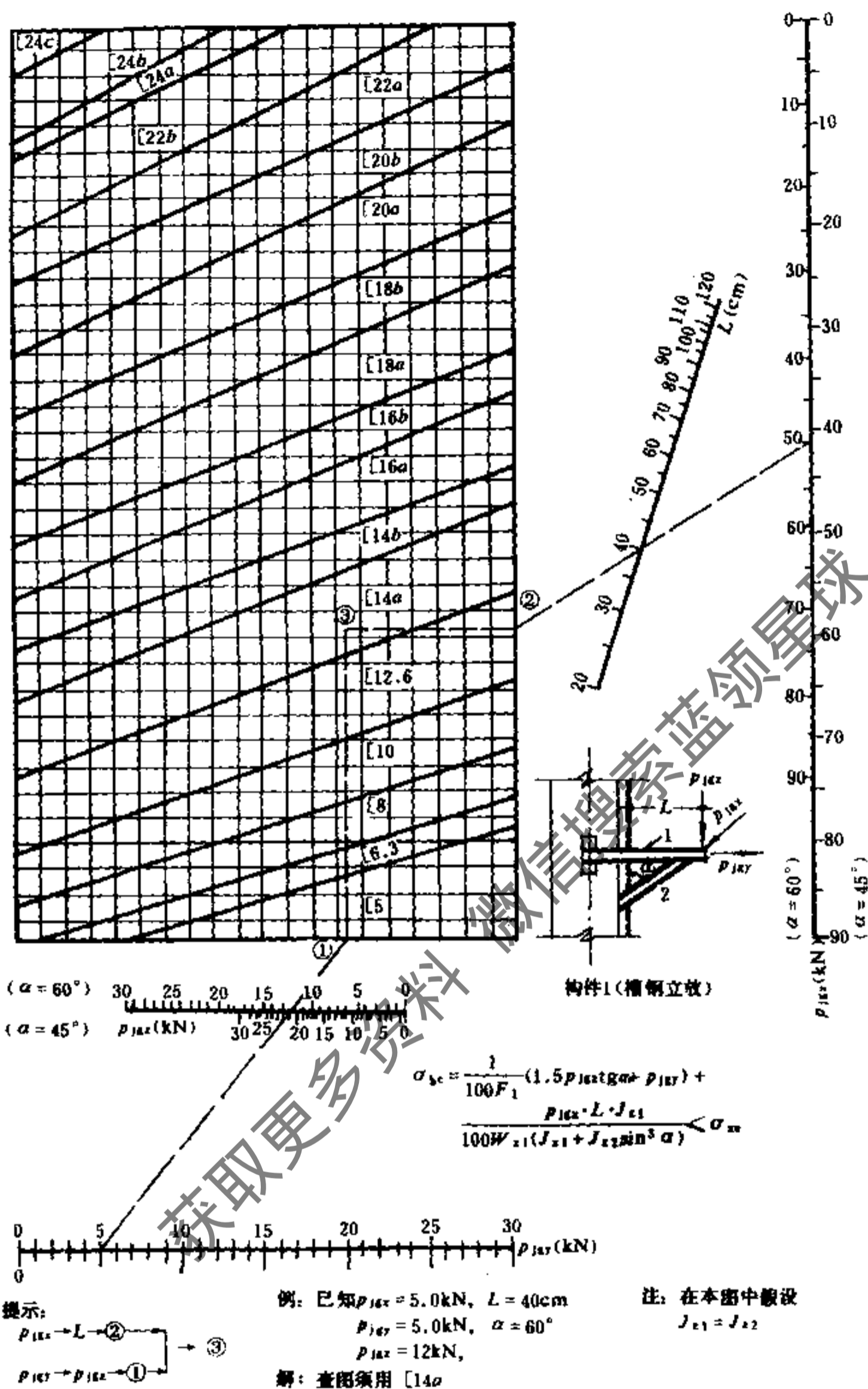


图 5.7-14 支架生根结构构件强度线算图(Ⅲ)
(计算表5.7-26中序号3 构件1)

(1) 型钢材料均采用 A_3 , 许用拉、压应力为: $\sigma_{xu} = 133\text{MPa}$;

(2) 刚度条件为:

对于固定支架: $f < 0.002L$;

对于活动支架: $f < 0.004L$ 。

式中 f ——悬臂梁的最大挠度;

L ——悬臂梁的长度。

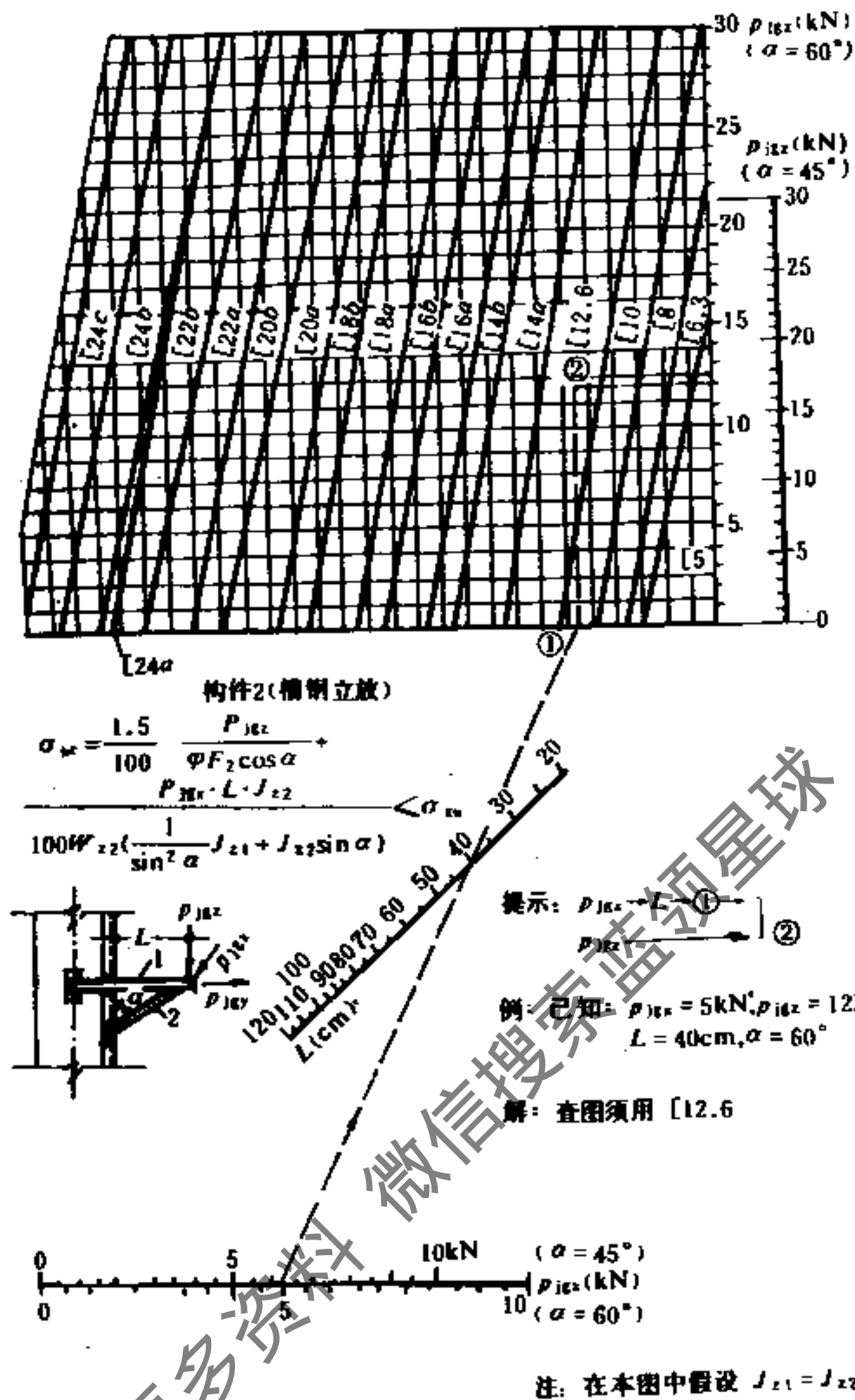


图 5.7-15 支架生根结构构件强度线算图 (IV)
(计算表5.7-26中序号3 构件2)

5. 常用梁箍尺寸可按表5.7-27选用

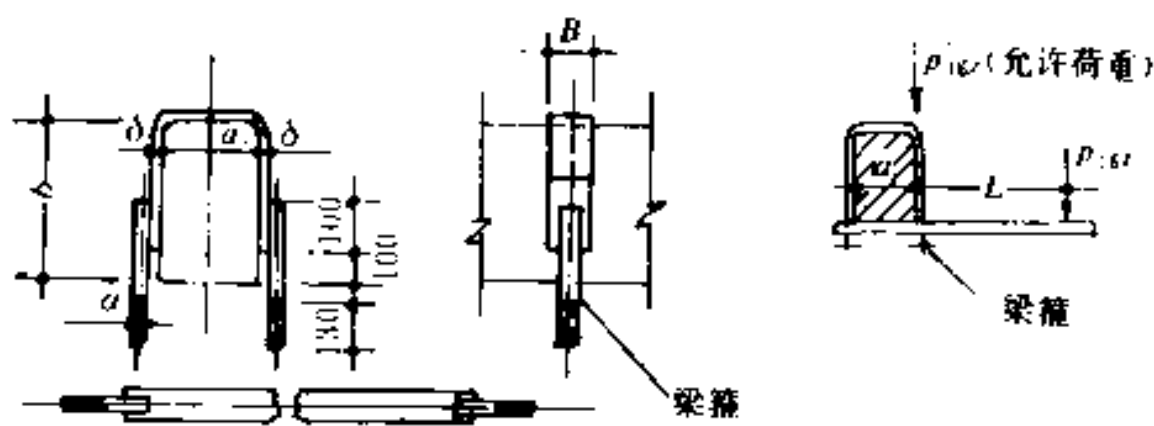
梁 箍 选 用 表

表 5.7-27

允许荷重 P_{1kz} (N)	尺寸 (mm)	4500	13000	20000	30000	40000	47000	70000
		F_L						
200 × 400	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	
	δ	10	10	10	10	10	10	
	B	30	40	50	60	70	75	
250 × 600	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90

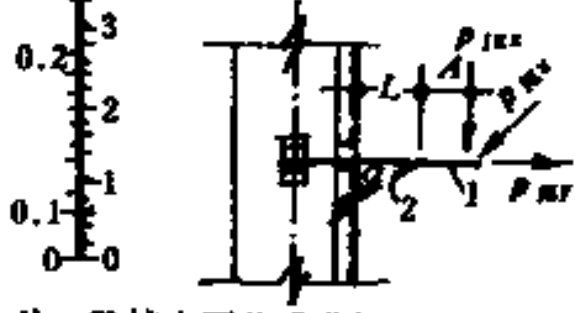
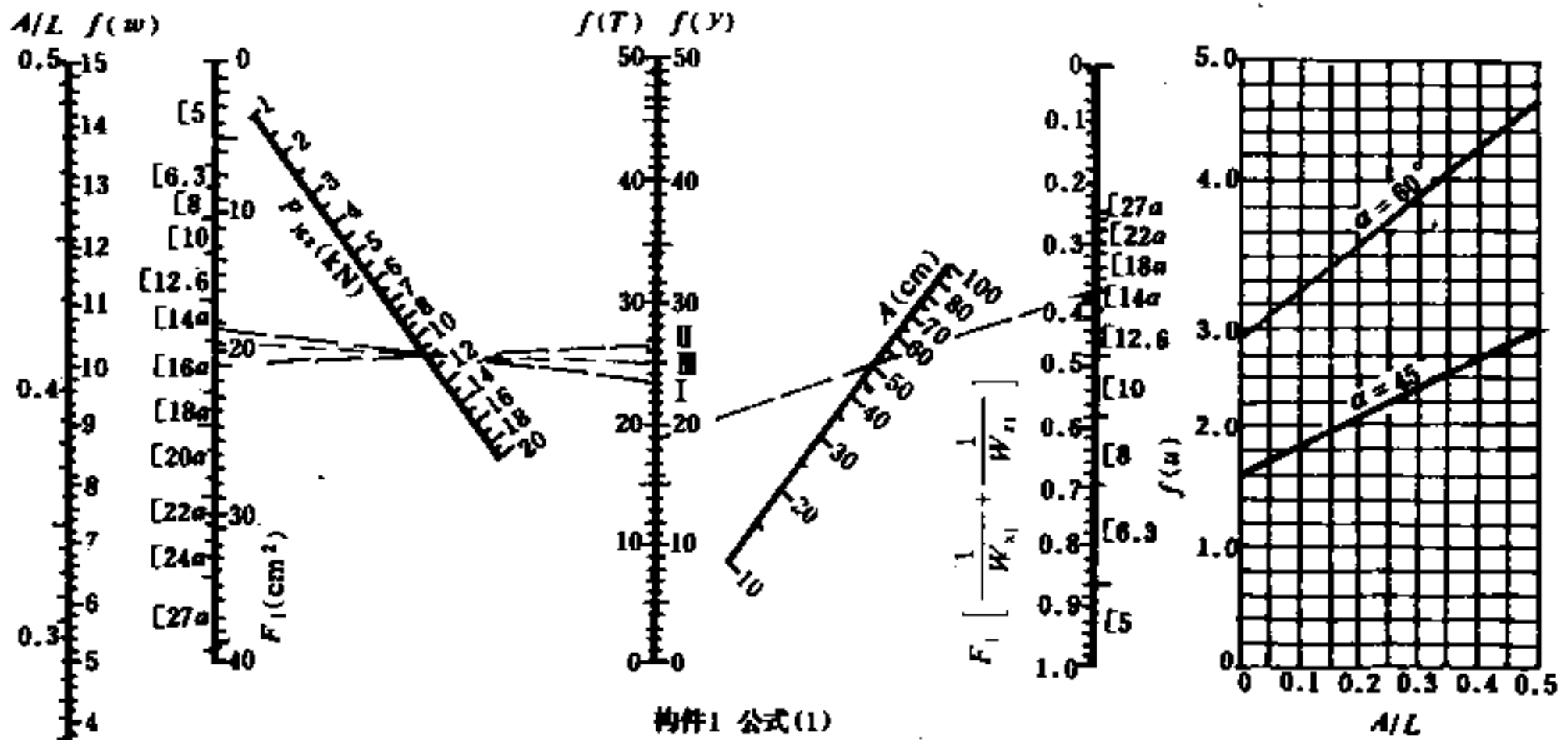
续表

F_L	允许荷重 P'_{gz} (N) 尺寸 (mm)	4500	13000	20000	30000	40000	47000	70000
		a	M12	M16	M20	M24	M27	M30
250 × 600	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90
	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
250 × 650	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90
	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
300 × 600	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90
	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
300 × 650	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90
	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
300 × 700	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90
	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
300 × 800	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90
	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
350 × 700	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90
	a	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36
350 × 800	δ	10	10	10	10	10	10	14
	B	30	40	50	60	70	75	90



$$P'_{gz} = P_{gz} \frac{1-a}{a + \delta \cdot \frac{d}{2}}, N$$

式中 P_{gz} —— 一支吊架垂直方向结构荷重, N;
 F_L —— $a \times b$, mm。



注：除按本页公式进行计算外再用下图公式进行核算，取两次所选槽钢之较大者。

$$\sigma_{bc} = \frac{P_{Mz}}{100F_1} \cdot f(T) < \sigma_{bc}$$

$$f(T) = \sqrt{[f(u)]^2 + f(v)]^2 + f(w)}$$

$$f(u) = 1.5(1 + \frac{3A}{2L}) \operatorname{tg} \alpha + 0.1$$

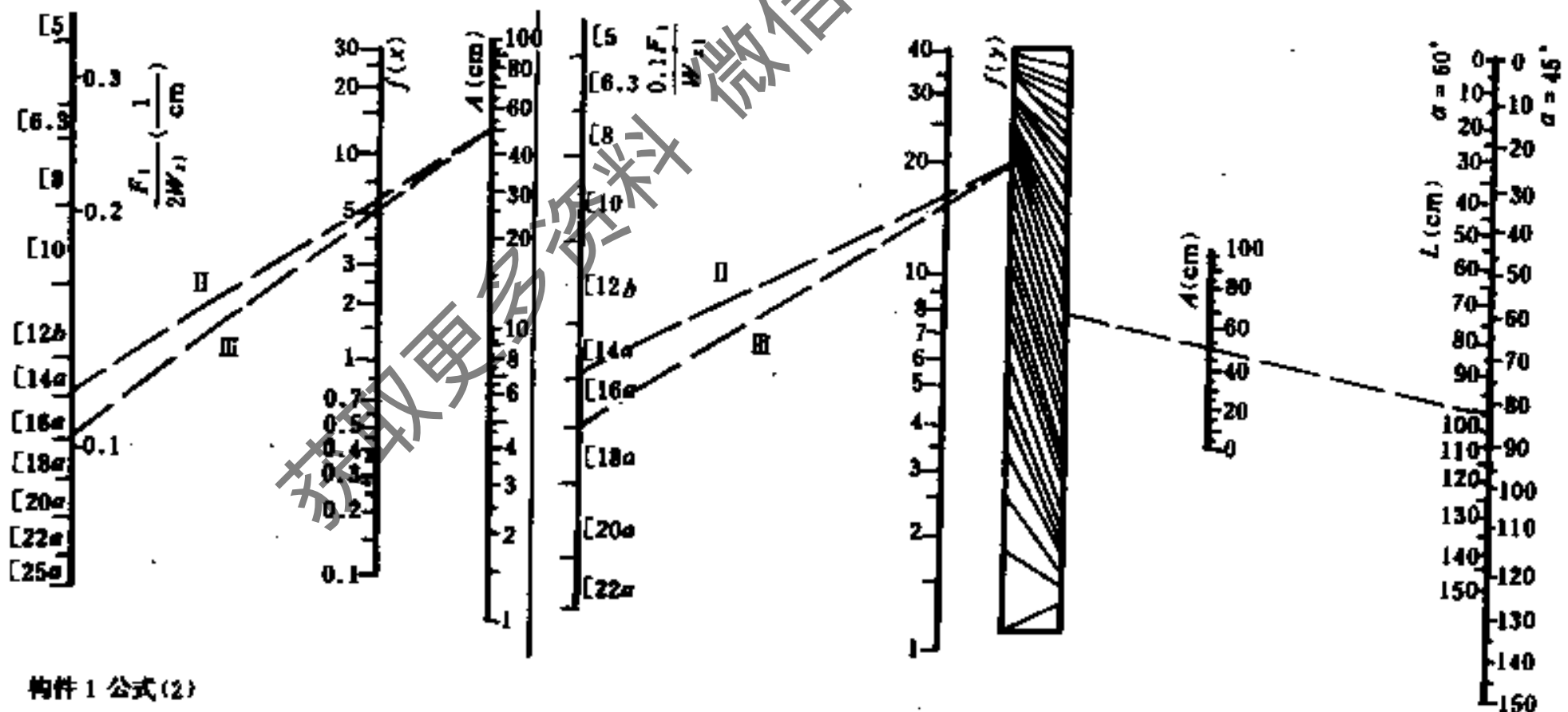
$$f(y) = AF_1 [\frac{1}{W_{x1}} + \frac{0.1}{W_{y1}}]$$

$$f(w) = 60(\frac{A}{L})^2$$

在上式中考虑了 $P_{Mx} = P_{My} = 0.1P_{Mz}$

例： $P_{Mz} = 10\text{kN}$, $L = 100\text{cm}$, $A = 50\text{cm}$, $\alpha = 60^\circ$
 解 ① 试选 [14a]
 查图得 $f(y) = 18.5$
 $f(u) = 46$
 $f(w) = 15$
 按 ② 笔算得 $f(T) = 23.56$
 查图得 $F_1 = 17.7 < 18.5\text{cm}^2$
 则试选的 [14a] 是合适的，但须再按下图公式进行核算。

图 5.7-16 支架生根结构构件强度线算图(V)
 (计算表5.7-26中序号4 构件1 公式(1))



构件1 公式(2)

$$\sigma_{bc} = \frac{P_{Mz}}{100F_1} \cdot f(T) < \sigma_{bc}$$

$$f(T) = \sqrt{[f(x) + f(y) + f(z)]^2 + f(w)}$$

$$f(x) = 1.5(1 + \frac{3A}{2L}) \operatorname{tg} \alpha + 0.1$$

$$f(y) = A \frac{F_1}{2W_{x1}}$$

$$f(z) = 0.1 \frac{F_1}{W_{y1}} (A + \frac{L}{1 + \sin^2 \alpha})$$

$$f(w) = 60(\frac{A}{L})^2$$

在上式中考虑了 $P_{Mx} = P_{My} = 0.1P_{Mz}$
 例： 设 $P_{Mz} = 10\text{kN}$, $\alpha = 60^\circ$
 $L = 100\text{cm}$, $A = 50\text{cm}$
 解 II 试选 [14a]
 查图5.7-16 $f(u) = 46$
 $f(w) = 15$
 查图5.7-17 $f(x) = 5.7$
 $f_z = 15.7$
 笔算得 $f(T) = 26.3$
 查图5.7-16 $F_1 = 19.8 > 18.5\text{cm}^2$
 则试选的 [14a] 不合适

III ① 再试 [16a]
 查图5.7-16 $f(u) = 46$
 $f(w) = 15$
 查图5.7-17 $f(x) = 5$
 $f_z = 14.9$
 按 ② 笔算得 $f(T) = 24.8$
 查图5.7-16 $F_1 = 18.7 < 22.0\text{cm}^2$
 则再试的 [16a] 是合适的

图 5.7-17 支架生根结构构件强度线算图(VI)
 (计算表5.7-26中序号4 构件1 公式(2))

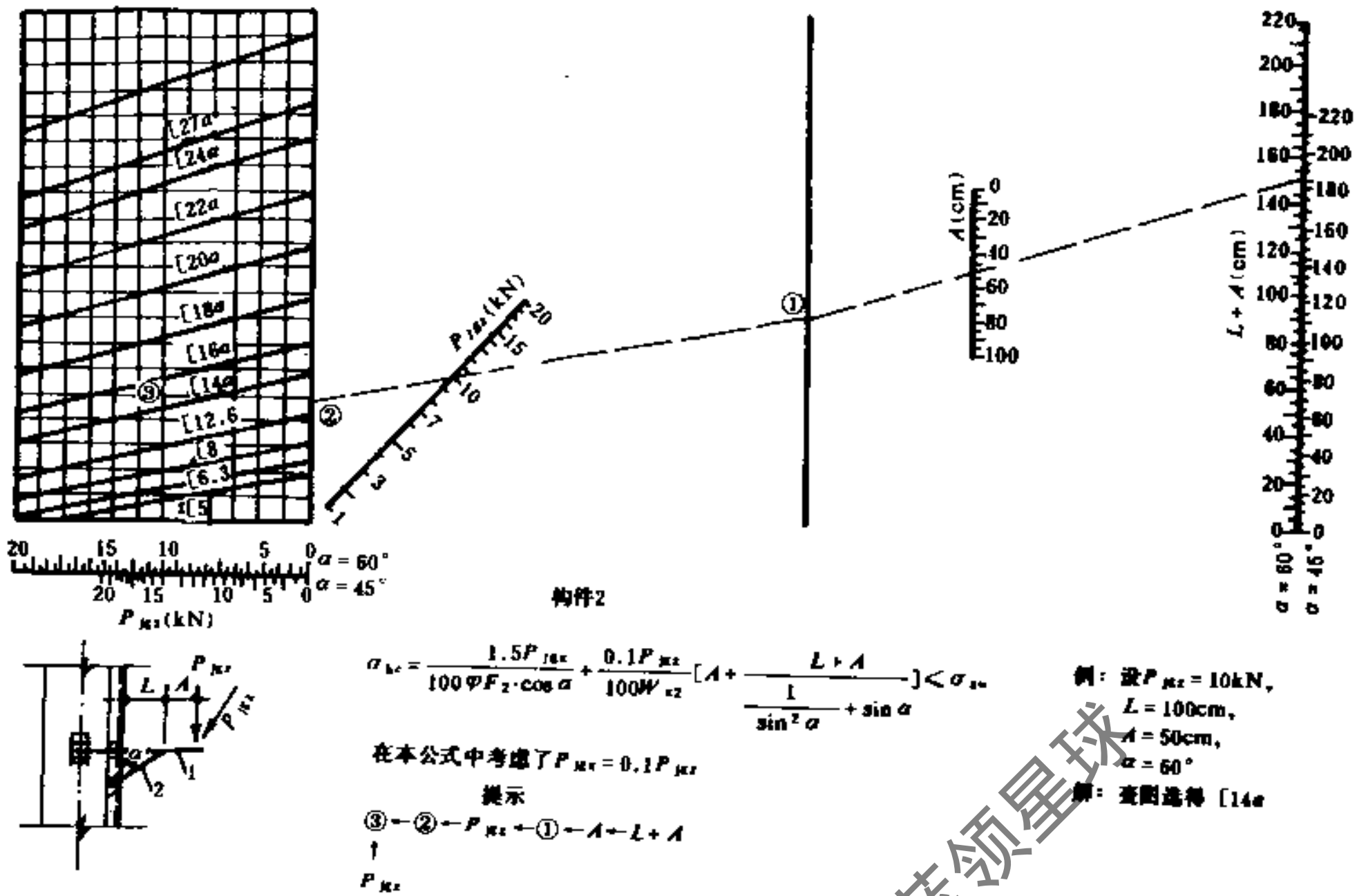


图 5.7-18 支架生根结构构件强度线算图 (V)
(计算表 5.7-26 中序号 4 构件 2)

5.7.7 增长管道支吊架跨距的措施

1. 加强管道刚度

(1) 采用两条并列肋板 (见图 5.7-19 及表 5.7-28 插图 1)。

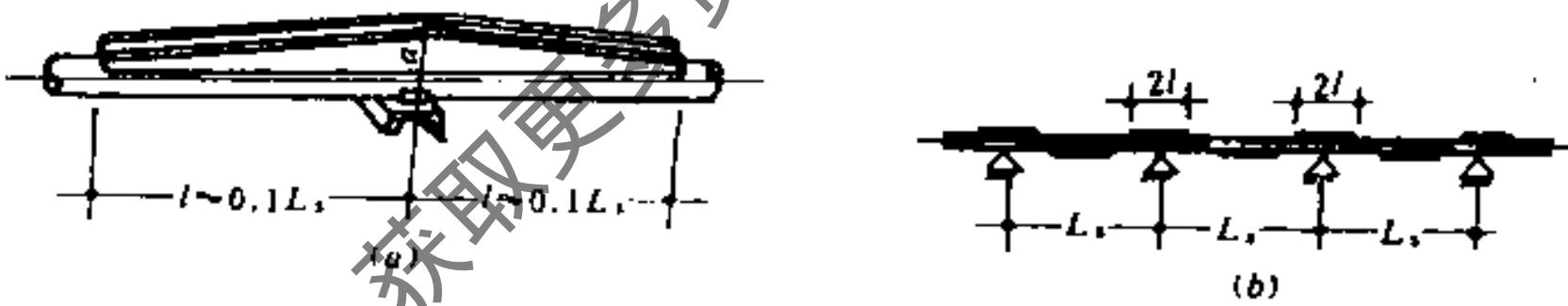


图 5.7-19 用两条并列焊接肋板加强管道图
(a) 管子下方加肋板; (b) 管子上、下方肋板布置

两条并列肋板计算公式表

表 5.7-28

序号	计算简图	计算公式
1		(1) 管子在焊接肋板后组合断面的重心位置: $y_s = \frac{FD_w/2 + 2a\delta(D_w + a\cos\alpha/2)}{F + 2a\delta}$ (2) 组合断面对 x_s 轴的惯性矩: $J_s = J + F\left(y_s - \frac{D}{2}\right)^2 + 2a\delta\left(D + \frac{a\cos\alpha}{2} - y_s\right)^2$ (3) 组合断面的断面系数: $W_s = J_s / e$

序号	计算简图	计算公式
2		(1) 距支架 x 处的弯曲力矩: $M_x = q \frac{Lx}{2} - q \frac{x^2}{2} - q \frac{L^2}{12}$ (2) 加强管支架跨距 $L_s = L \sqrt{W_s / W}$

上表中公式符号为:

- F ——管壁断面积, cm^2 ;
- D_w ——管子外径, cm ;
- δ ——肋板厚度, cm ;
- a ——肋板高度, cm ;
- α ——肋板对管子截面中心垂直线的倾斜角;
- J ——管子本身惯性矩 (无肋板), cm^4 ;

- e ——通过重心 s 的轴 x , 与焊有肋板的组合断面最远边线之间的距离, cm ;
- W ——无加强板的管子断面系数, cm^3 ;
- σ ——弯曲应力, 采用范围为 $50 \sim 60 \text{MPa}$;
- L_s ——加强管的支架跨距, m ;
- L ——未有加强管的管子支架间距, m ;
- W_s ——加强管 (包括肋板) 的断面系数, cm^3 。

DN70~200双肋板加强管各种特性及支架最大允许跨距的数值列于下表(表5.7-29):

双肋板加强管各种特性及支架允许最大跨距

表 5.7-29

管子公称直径 D_n (mm)	管壁厚度 (mm)	肋板尺寸			不加强管断面		加强管的断面		管子支架跨距		跨距增长值 $(\frac{L_s}{L} - 1) \%$
		高度 a (cm)	厚度 δ (cm)	长度 l (cm)	惯性矩 J (cm^4)	断面系数 W (cm^3)	惯性矩 J_s (cm^4)	断面系数 W_s (cm^3)	不加强 L (m)	加强后 L_s (m)	
65	3	6	0.6	60	46	12.1	264	45	5	9.5	90
100	4	8	0.8	85	177	32.8	847	80	8	12	50
150	4.5	12	1.0	85	652	82	2838	188	9.5	14	50
200	6	15	1.2	180	2279	208	8400	432	18	26.1	45

(2) 采用单肋板焊装在管子下方, 见表5.7-30和图5.7-20。

增长管道跨距计算公式表

表 5.7-30

序号	计算简图	计算公式	备注
1		(1) 加强管道断面系数: ① 中性轴 ($x-x$) 的坐标: $y_0 = \frac{A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2}$ ② 对中性轴 $x-x$ 的惯性矩 $J = J_1 + A_1 y_0^2 + J_2 + A_2 (y_2 - y_0)^2$ ③ 对中性轴 $x-x$ 的抵抗弯矩 $W = \frac{J}{y_2 - y_0 + \frac{H}{2}}$ 或 $W = \frac{J}{\frac{DW}{2} + y_0}$	

续表

序号	计算简图	计算公式	备注
2		(1) 按刚度条件计算支吊架的最大允许跨距: $L_{max} = 0.19 \sqrt{\frac{1}{q} E_1 \cdot J \cdot i}$ (2) 按强度条件计算支吊架的最大允许跨距: $L_{max} = 2.24 \sqrt{\frac{1}{q} W \cdot \varphi \cdot \sigma_1}$	将上公式中的 J, W 代入本式便得 L_{max} , 取此二式计算所得较小值

上表中公式符号为:

A_1 —— 管子横截面积, cm^2 ;

A_2 —— 加强板截面积, cm^2 ;

y_0 —— 整个截面中性轴的位置, cm ;

$y_2 = \frac{D}{2} + \frac{H}{2}$, cm , 管道与加强板二形心之间的距离;

J_1 —— A_1 对通过其本身形心的轴 $x_1 - x_1$ 的惯性矩, cm^4 ;

J_2 —— A_2 对通过其本身形心的轴 $x_2 - x_2$ 的惯性矩, cm^4 ;

W —— 管子断面系数, cm^3 ;

D_w —— 管子外径, cm ;

i —— 管道安装坡度, 一般取 0.002;

H —— 加强板高度 (宽度), cm ;

E_1 —— 在计算温度下钢材的弹性模数, N/cm^2 ;

σ_1 —— 热态额定容许应力, N/cm^2 ;

φ —— 管子焊缝系数, 一般取 0.9。

加强板、翼板和管道连接应采用焊接;

翼板的间距视加强板的规格而定, 见表 5.7-31。

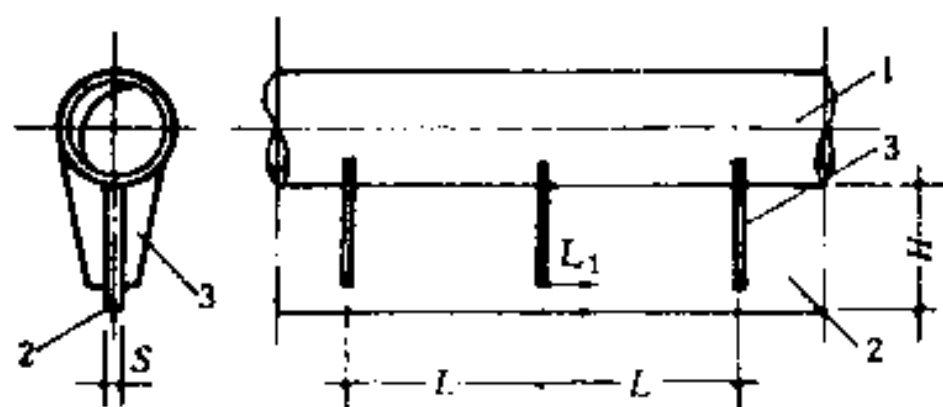


图 5.7-20 单肋板加强管道安装简图

1—管道; 2—加强板; 3—翼板

翼板间距 表 5.7-31

序号	加强板规格 $H \times S$ (mm)	翼板间距 L (mm)	翼板厚度 δ_1 (mm)	注
1	50 × 5	1000	5	
2	100 × 8	1000	5	
3	150 × 10	1500	5	
4	200 × 20	1500	6	
5	200 × 30	1500	6	

单肋板加强管道支吊架最大允许间距, 见表 5.7-32。

单肋板加强管道支架、吊架最大允许间距

表 5.7-32

公称直径 DN (mm)	外径 × 壁厚 $D_w \times \delta$ (mm)	加强板 $H \times S$ (mm)	惯性矩 J (cm^4)	断面系数 W (cm^3)	无保温加强管道的跨距 L (m)			有保温加强管道的跨距 L (m)		
					按强度计算	按刚度计算	和普通管比较提高的%	按强度计算	按刚度计算	和普通管比较提高的%
25	32 × 3.5	50 × 5	31.84	6.72	6.87	5.41	70.0	2.99	3.31	87.0
32	38 × 3.5	50 × 5	40.06	7.78	6.94	5.69	53.8	2.89	3.37	60.5
40	45 × 3.5	50 × 5	51.50	9.25	7.08	5.97	53.6	2.84	3.42	42.0
50	57 × 3.5	50 × 5	76.6	12.26	7.15	6.46	31.8	2.75	3.49	19.6
65	73 × 4	100 × 8	429.9	45.3	9.90	9.13	52.2	4.26	5.39	52.0
80	89 × 4	100 × 8	572.38	55.0	9.88	9.70	44.8	4.32	5.64	35.0
100	108 × 4	100 × 8	780.65	68.2	11.40	10.37	36.5	4.96	5.92	31.0
125	133 × 4	150 × 10	2178.53	147.0	13.55	12.72	44.5	5.36	7.65	51.5
150	159 × 4	150 × 10	3055.27	183.5	13.60	13.52	38.0	6.71	8.32	39.7
200	219 × 6	200 × 20	12420.75	582.0	16.70	16.60	39.2	9.60	11.60	41.2
250	273 × 7	200 × 30	23800.00	930.0	17.05	18.10	33.2	10.35	13.01	36.2

2. “大管背小管”

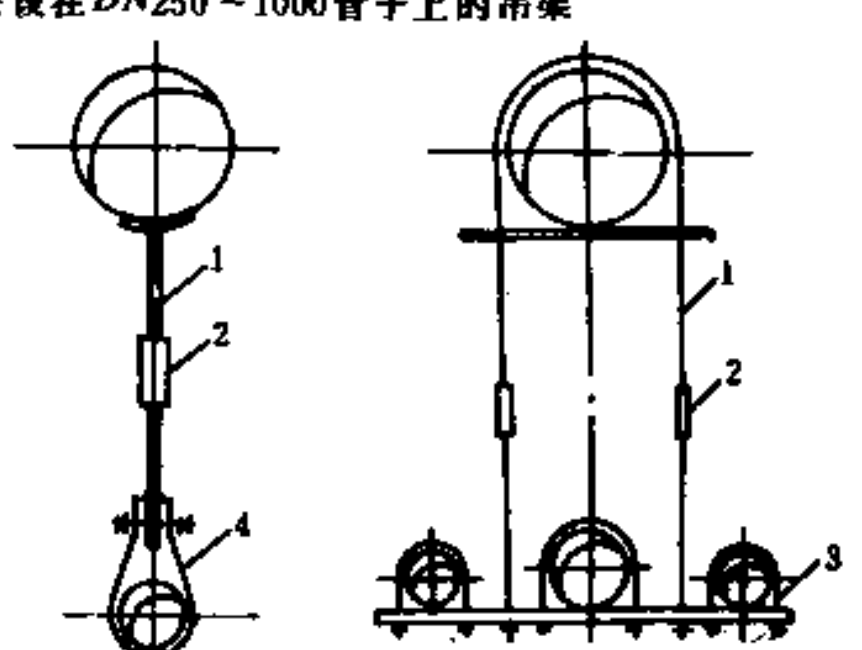
(1) 大管上架设小管支架结构, 宜制成以下四种型式:

a) 轴向移动, 见表 5.7-33 插图 1~6。

支架结构型式简图

表 5.7-33

序号	简图	备注 (零件名称)
1	<p>一、装设在DN250~350管子上的支架结构</p>	<p>1—卡板座 2—肋板 3—滑动支座 4—仅用于导向支架的挡板</p>
2	<p>二、装设在DN400~1000管子上的支架结构</p>	<p>1—垫板 2—肋板 3—底座 4—滑动支座 5—挡板 6—支承板</p>
3	<p>三、装设在DN250~350管子上的支架结构</p>	<p>1—卡板座 2—肋板 3—滑动支座</p>
4	<p>四、装设在DN400~1000管子上的支架结构</p>	<p>1—垫板 2—横肋板 3—底座 4—肋板 5—滑动支座</p>
5	<p>五、装设在DN250~1000管子上由支承梁组成的支架结构</p>	<p>1—垫板 2—肋板 3—底座 4—支承梁 5—横肋板 6—固定卡箍支座</p>

序号	简图	备注(零件名称)
6	<p>六、装设在DN250~1000管子上的吊架</p> 	1—吊杆 2—花篮螺丝 3—抱箍 4—吊钩

b) 具有导向支挡的轴向移动 (见表5.7-33插图-1,2);

c) 轴向和横向移动 (见表5.7-33插图-3,4)。此外,还可制成适于被支承管道具有卡箍式固定支座的支架结构 (见表5.7-33插图-5);

d) 大管吊小管 (见表5.7-33插图-6)。

支架结构的主要轮廓尺寸见表5.7-34; 管子外表间距,见表5.7-35。

支架结构主要轮廓尺寸表

表 5.7-34

支承管外径 D_w (mm)	高度 h (mm)	宽度 A (mm)		长度 B (mm)	
		轴向移动	轴向和横向移动	轴向移动	轴向和横向移动
273	100 150	170			150
325~428	100 150 200	200	300	300	200
259~1000	100 150 200	260	400	300 400	250

管子外表之间的距离 (mm)

表 5.7-35

h	100	150	200	100	150	200
h_1	90	90	90	140	140	140
H	190	240	290	240	290	340

当采用“大管背小管”敷设方式时,一般有两种补偿器节点的布置方式 (如图5.7-21所示),并宜采用表5.7-36配合管径 (上下皆为热力管道)。

(2) 按支架结构的许用轴向位移,检查固定支架的间距。

被支承管道固定支架的间距,可以采用支承管固定支架的间距,但需根据许用轴向位移检查所采用的支座外形尺寸,要求确保直管段的滑动支座与支架结构的最小接触长度不小于100mm。

大小管配合管径参考表 表 5.7-36

支承管 DN(mm)	被 支 承 管 DN(mm)
250	50、65、80、100、125
300	50、65、80、100、125、150
350	80、100、125、150、175
400	100、125、150、175、200
450	100、125、150、175、200
500	150、175、200、250
600	150、175、200、250
700	150、175、200、250、300
800	200、250、300
900	200、250、300
1000	200、250、300

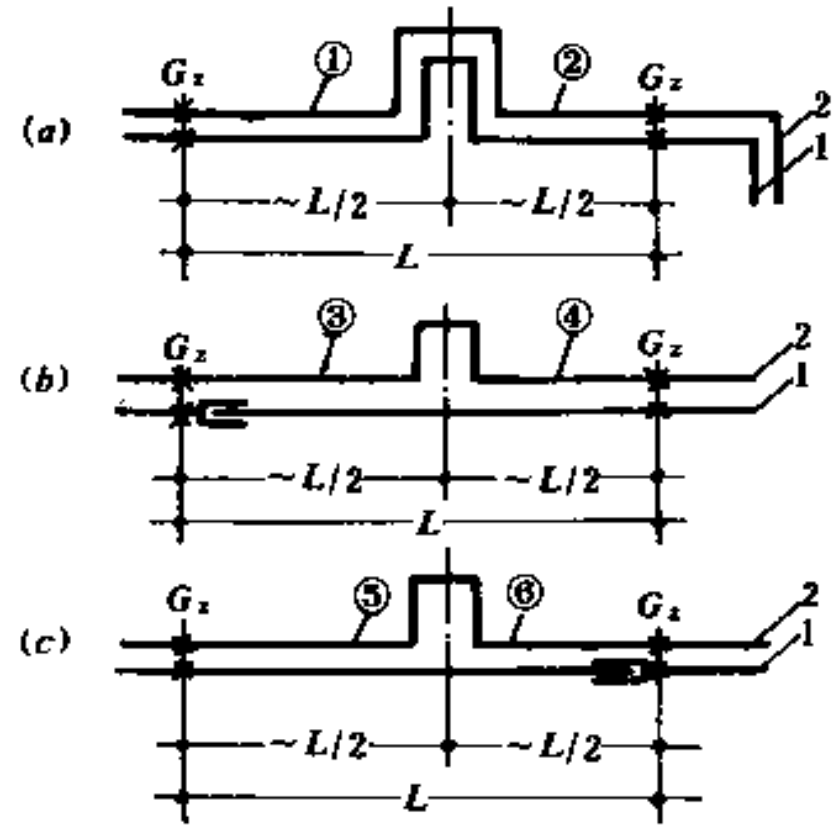


图 5.7-21 在“大管背小管”的条件下，推荐补偿器节点分布示意图

(a) 具有方型补偿器的支承管道；(b)、(c) 具有套管式补偿器的支承管道；
1—支承管道；2—被支承管道
注：圆圈内号码所标示的点见下面求 c 的计算公式。

按照给定尺寸的支架结构的许用轴向位移，检查固定支架的间距L (m)：

对于图5.7-21a:
$$L = \frac{L_1 + B - 200}{0.5(\delta_1 + \delta_2)} \quad (5.7-5)$$

对于图5.7-21b、c:
$$L = \frac{L_1 + B - 200}{\delta_1} \quad (5.7-6)$$

- 式中 B——支架结构长度，mm；
 L_1 ——被支承管道滑动支座长度，mm；
 δ_1, δ_2 ——被支承管和支承管每m长热伸长量，mm/m；
 $\delta_1 = a(t_1 - t_w)$ ，mm/m；
 $\delta_2 = a(t_2 - t_w)$ ，mm/m；
a——管材线膨胀系数，mm/m·℃；
 t_1, t_2 ——被支承管与支承管内热介质的计算温度，℃；
 t_w ——采暖计算室外空气温度，℃。

为充分利用支架表面，并确保滑动支座与支架的最小接触面长度不小于100mm，在安装时，应考虑上下管道热位移的大小及其可能移动的方向，使上下管道轴线，如图5.7-22所示，保持一定的偏移量C(mm)。

参照图5.7-21对于点1和点5，符号为“+”；对于点2和点4，符号为“-”。

$$C = \pm \frac{L_1(\delta_1 - \delta_2)}{4} \quad (5.7-7)$$

对于点6，符号为“+”，对于点3符号为“-”。

$$C = \pm \frac{L_1(\delta_1 + \delta_2)}{2} \quad (5.7-8)$$

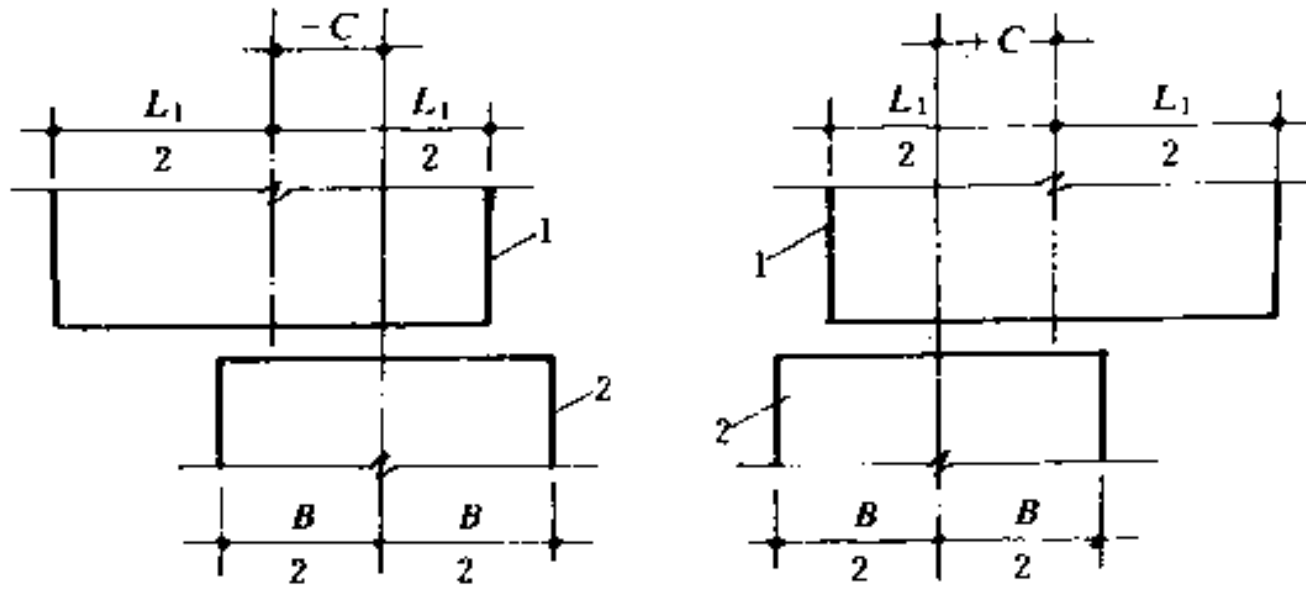


图 5.7.22 上管滑动支座轴线对支架结构轴线
在安装时的偏移

1—上管滑动支座；2—在下管上的支架结构
 L_1 —上管滑动支座长度； B —支架结构长度； $-C$ —在安装时上管
 滑动支座与支架结构之间的偏移

采用“大管背小管”敷设方式时应注意：

- 上下管的方形补偿器宜采用同样尺寸，并按计算选用两者中较大尺寸者；
- 自然补偿的弯管臂长按强度计算确定；
- 支承结构应满足支座发生横向位移的条件，即支座有横向位移时，不会达到支架结构的边缘，且两侧均保留 20~25mm 裕量。弯管不考虑预先冷紧；
- 应考虑上管（被支承管）对下管（支承管）的附加重量，并应对下管进行强度验算。

3. 悬吊式管架敷设方式

如图 5.7.23 所示，斜吊架下沉量 δ_i (mm)：

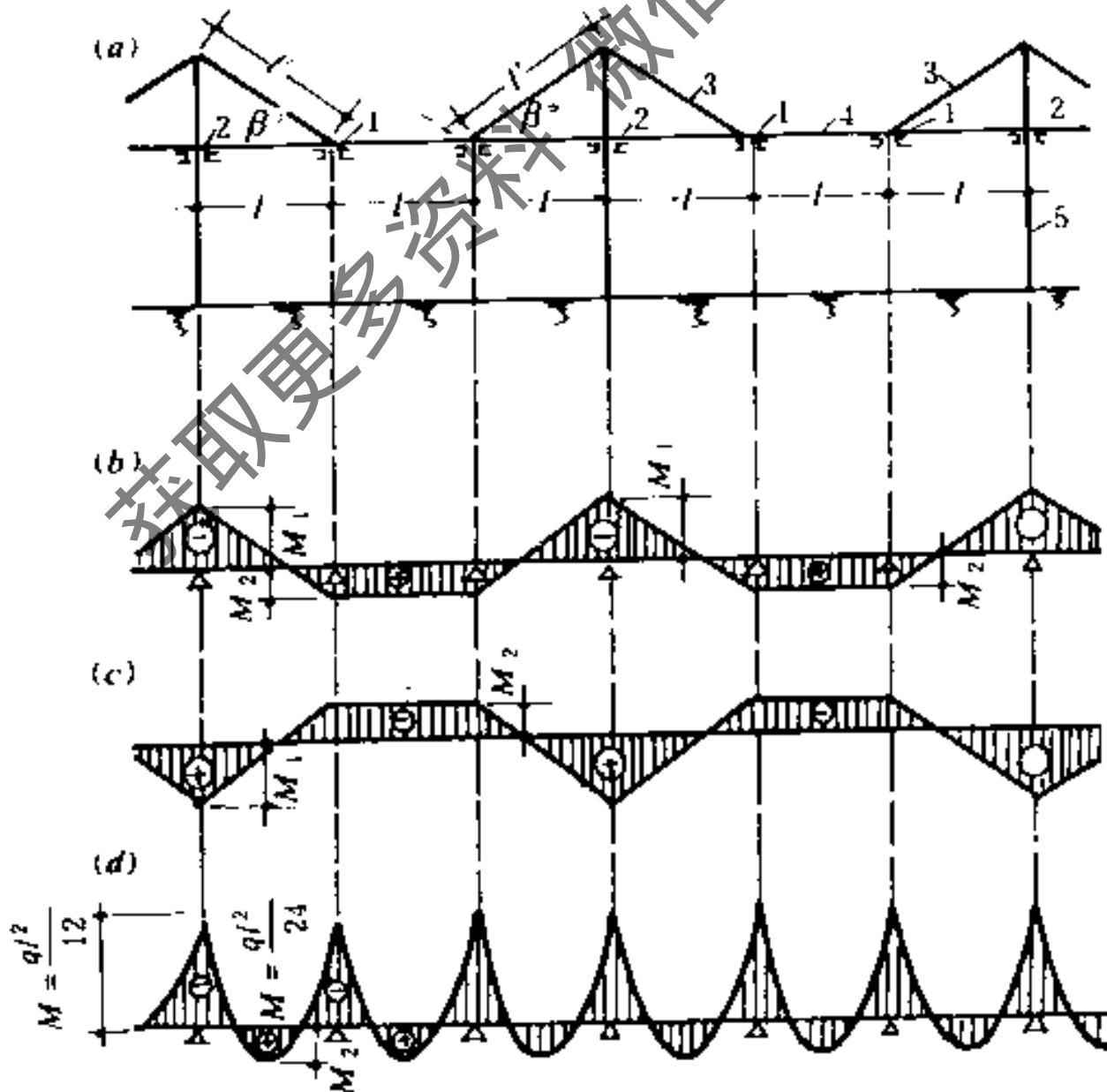


图 5.7.23 悬吊式敷设管道安装及其弯曲力矩图

1—吊架；2—安装在支柱上的支架；3—斜拉杆；4—管道；5—支柱
 (a) 带吊架管道的计算示意图；(b) 吊架下沉引起的弯曲力矩（夏季）；
 (c) 吊架上移引起的弯曲力矩（冬季）；(d) 管道自重引起的力矩

$$\delta_1 = \frac{\Delta l'_1}{\sin \beta} - \frac{\Delta l_1}{2 \lg \beta} \quad (5.7-9)$$

式中 $\Delta l'_1 = l \cdot \alpha \cdot \Delta t$ ——斜拉杆的热伸长量，
mm；

$\Delta l_1 = l \cdot \alpha \cdot \Delta t$ ——水平拉杆的热伸长量，
mm。

图5.7-24所示，为根据吊架间距为 l ， $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ ，当拉杆倾斜角为 β 时，决定 δ_1 的线算图。调整支架最适宜的温度为夏季最高温度和冬季最低温度的平均值。

从图5.7-24可知，最适宜的 β 角应为 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。

吊架下沉（图5.7-23）引起的管道纵向弯曲力矩：

$$M_1 = \frac{398EJ\delta_1}{l^2} \quad (5.7-10)$$

$$M_2 = \frac{196EJ\delta_1}{l^2} \quad (5.7-11)$$

式中 M_1 ——管道支架处的弯曲力矩，N·cm；

M_2 ——管道在吊架处的弯曲力矩，N·cm；

l ——吊架之间的距离，cm；

δ_1 ——吊架下沉量，cm。

由于冬季拉杆缩短，将吊架稍提起，在管子内产生应力，也可按上式计算，此应力与夏季吊架下沉管子内产生的应力，符号相反（见图5.7-23）。

吊架下沉引起的应力，随着管子直径的增大而迅速增高。因此，对于直径大于500mm的管子，不推荐采用悬吊式管架敷设方式。

常用悬吊式管架敷设方式，见图5.7-25。

4. 拱形管道

(1) 拱管设计

一般宜采用等截面圆形无铰拱形式。确定拱管的几何尺寸时，首先要确定合理的矢跨比 V ($= \frac{f}{L}$)：

a) 自重大的： V 采用1:8；

b) 风荷载大的： V 采用1:10；

c) 温差大的： V 采用1:4或1:6。

当跨度、高度受到限制时，可根据跨度及高度的特殊要求来确定其矢跨比 V 。

拱管结构尺寸、强度及荷载计算公式详见表5.7-37。

拱形管道简化计算系数见表5.7-39。

(2) 拱管制作与安装

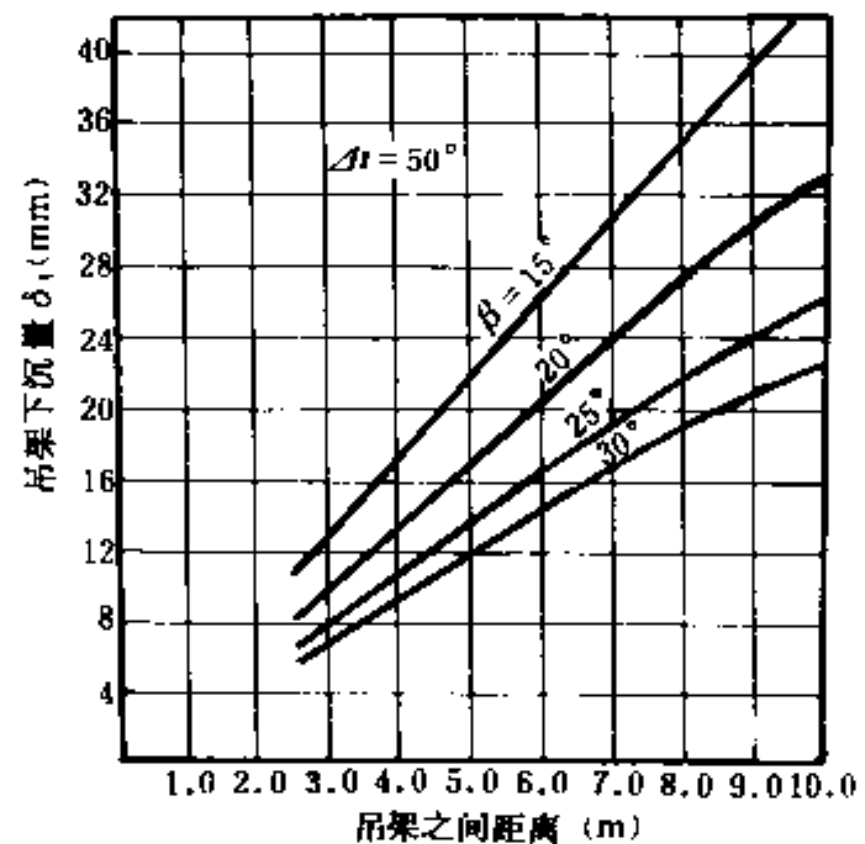


图 5.7-24 根据吊架间距和拉杆倾斜角决定的下沉量

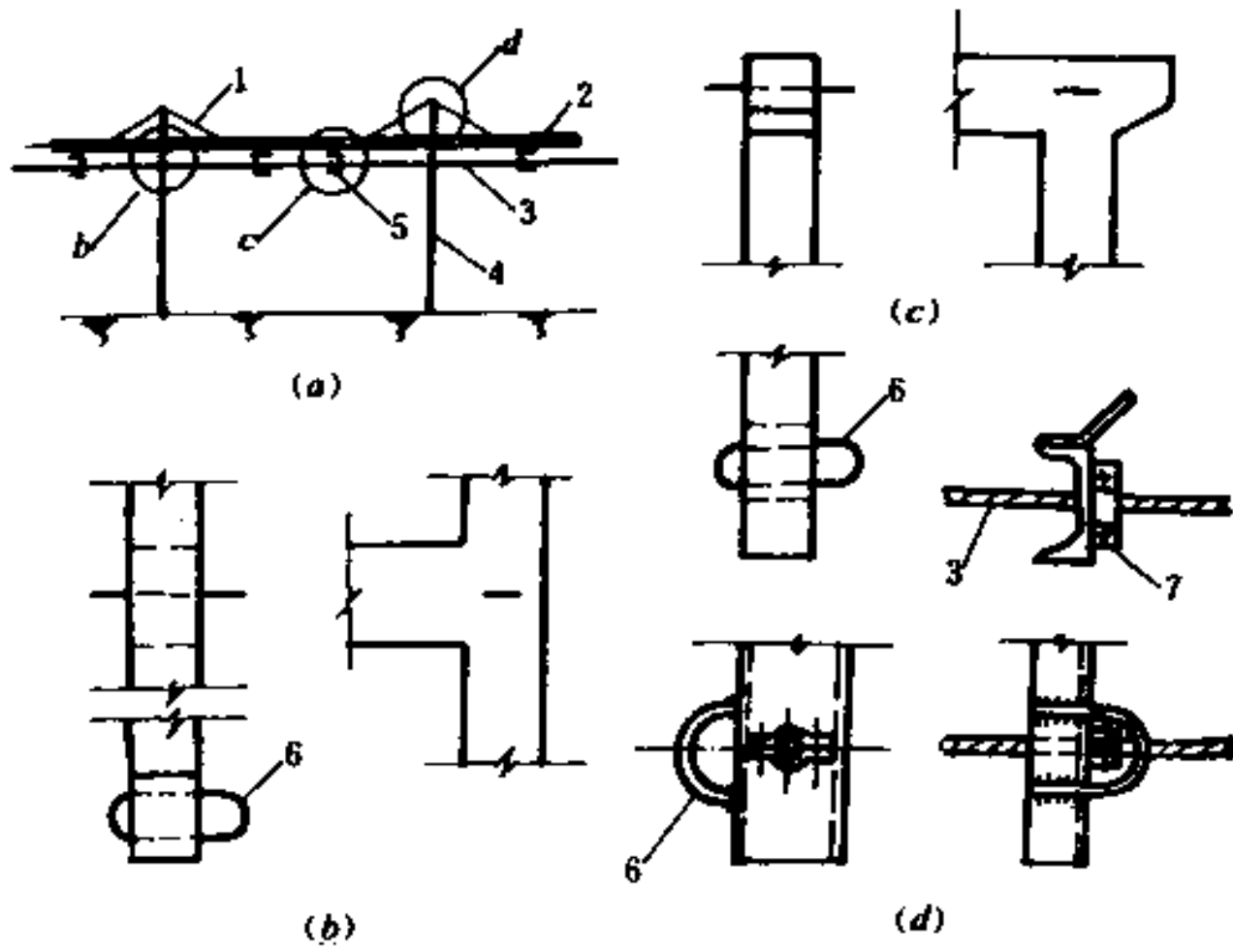


图 5.7-25 悬吊式管架节点示意图

(a) 安装图; (b)、(c)、(d) 节点大样

1—斜钢丝绳; 2—管道; 3—水平钢丝绳; 4—支柱;
5—横梁; 6—吊环; 7—夹套(两个螺栓)

拱管计算公式

表 5.7-37

序号	项 目	计 算 公 式	备注(或简图)	
一、拱管结构尺寸				
1	拱管半径 (cm)	$R = K_R \cdot L$		
2	拱管拱高(矢高)(cm)	$f = K_f \cdot R$		
3	拱管半圆心角	$\sin \phi = \frac{L}{2R}$ $\cos \phi = 1 - \frac{f}{R}$ $\phi = \sin^{-1} \frac{L}{2R} = \cos^{-1} \left(1 - \frac{f}{R} \right)$		
4	拱管弧长 (cm)	$S = K_s \cdot R$		
二、拱管强度计算				
序号	项 目	管自身产生的力	由温差 Δt 变化所产生的力	由侧向水平风压所产生的力
5	水平推力 (N)	$H_z = K_{H_z} \cdot q \cdot R$	$H_t = 1.3 K_{H_t} \frac{200 E J a \Delta t}{R^2}$	—————
6	轴向力 (N)	$N_z = K_{N_z} \cdot q \cdot R$	$N_t = 1.3 K_{N_t} \frac{200 E J \cdot a \cdot \Delta t}{R^2}$	—————
7	剪力 (N)	$Q_z = K_{Q_z} \cdot q \cdot R$	$Q_t = 1.3 K_{Q_t} \frac{200 E J \cdot a \cdot \Delta t}{R^2}$	$Q_p = \phi \cdot P \cdot R$
8	弯矩 (N·cm)	$M_z = K_{M_z} \cdot q \cdot R^2$	$M_t = 1.3 K_{M_t} \frac{200 E J \cdot a \cdot \Delta t}{R}$	$M_p = K_{M_p} \cdot P \cdot R^2$
9	扭矩 (N·cm)	—————	—————	$M_k = K_{M_k} \cdot P \cdot R^2$

序号	项 目	计 算 公 式	备注(或简图)
三、拱管的强度及稳定性计算			
10	压应力 (MPa)	$\sigma = \left(\frac{N}{F} + \frac{M}{W} \right) 10^{-6}$	
11	剪应力 (MPa)	$\tau = \left(\frac{Q}{\pi \cdot r_0 \delta} + \frac{M_x r}{2\pi \cdot r_0^3 \delta} \right) 10^{-6}$	$Q = Q_2 + Q_1$
12	主应力 (MPa)	$\sigma_z = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \sigma_c$	
四、拱管的稳定性验算			
13	长细比	$\lambda = S_0 / i$	$S_0 = K \phi_0 \cdot R$
14	相对偏心距 (cm)	$l_1 = n_1 \left[\left(\frac{M_x r}{N} + \frac{2\phi R}{1000} \right) \frac{F}{W} + 0.05 \right]$	
15	拱管按稳定性验算的应力 (MPa)	$\sigma_1 = \frac{N}{F} \left(\frac{1}{\phi_M} + l_1 Q_1 \right) 10^{-6} < \sigma_c$	当偏心距 $l_1 < 4$ 时不能用此式计算, 应改为 $\sigma_1 = N/F \cdot \phi_{BH}$
五、拱管管架荷载计算			
16	垂直荷载 (N)	$N_1 = q \cdot R \cdot \phi$	
17	纵向水平荷载 (N)	$H_x = H_a + H_c$	
18	横向水平荷载 (N)	$H_y = \phi \cdot R \cdot P$	
19	纵向弯矩 (N·cm)	$M_x = M_a + M_c$	
20	横向弯矩 (N·cm)	$M_y = K_{M1} \cdot P \cdot R^2$	
21	扭矩 (N·cm)	$M_z = K_{M2} \cdot P \cdot R^2$	

上表中公式符号为:

K_a ——风压高度折减系数; 见表5.7-38。
 q ——拱管计算荷载, N/cm, 一般取 $q = 1.29q_1$;
 q_1 ——拱管自重(包括管自重和保温层、介质等重量), N/cm;
 E ——拱管材料的弹性模数, MPa;
 J ——拱管材料的截面惯性矩, cm^4 ;
 α ——拱管材料的线膨胀系数, $\text{cm}/\text{cm} \cdot \text{C}$;
 P ——拱管所承受的侧向水平均布荷载, N/cm;
 $P = 1.3K_1 \cdot K_b \cdot P_b \cdot d_0 \times 10^{-2}$, N/m
1.3——超载系数;
 d_0 ——拱管受风面有效直径, cm;
 P_b ——标准风压值, N/m^2 ;
 K_b ——风压高度折减系数(表5.7-38);
 K_1 ——空气动力系数, 一般取 $K_1 = 0.7$ 。
 N ——轴向力, N,
 $N = N_2 + N_1$;
 M ——合成总弯矩, N·cm;
 $M = \sqrt{(M_x + M_c)^2 + M_y^2}$;
 F ——管子截面积, cm^2 ;
 W ——管子断面系数, cm^3 ;
 r ——管子外半径, cm;
 r_0 ——管子平均半径, cm,

$r_0 = r - \frac{\delta}{2}$;
 δ ——管子壁厚, cm;
 σ_c ——材料的计算强度, MPa,
 $\sigma_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \sigma_1$;
 m_1 ——工作条件系数, 一般取 $m_1 = 0.9$;
 m_2 ——材料的匀质系数, 钢: $m_2 = 0.9$, 钢10、15、20、25: $m_2 = 0.85$;
 σ_1 ——材料在使用温度下的屈服强度, MPa;
 i ——管子的回转半径, cm;
 n_1 ——管子截面形状影响系数,
当 $20 < \lambda < 150$ 时: $n_1 = 1.45 - 0.003\lambda$;
 $\lambda > 150$ 时: $n_1 = 1.0$;
 ϕ_M ——纵向挠曲系数,
当 $\lambda > 180$ 时: $\phi_M = 9000/\lambda^2$;
 $\lambda < 180$ 时: $\phi_M = 1 - 0.004\lambda$;
 Q_1 ——系数;
当 $0 < \lambda < 5$ 时: $Q_1 = 0.67$;
 $50 < \lambda < 100$ 时: $Q_1 = 0.6 + 0.015\lambda$;
 $\lambda > 100$ 时: $Q_1 = 0.75$;
 ϕ_{BH} ——偏心受压构件承载能力的降低系数。

表 5.7-38

拱顶离地面高度 (m)	5	6	8	10	15
K_b	0.62	0.66	0.74	0.80	0.91

①拱管制作与安装技术条件

a) 矢跨比共采用4种： $V = f/L = \frac{1}{4}, \frac{1}{6}, \frac{1}{8}, \frac{1}{10}$;

b) 管子规格为 $\phi 57 \times 3.5 \sim \phi 426 \times 9$ ，共11个规格；

c) 选用拱管跨度时，可参照表5.7-40选用

拱形管道简化计算系数

表 5.7-39

符号	f/L	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10	1:12
ϕ 弧度		0.761012754	0.643501109	0.556599318	0.489957326	0.437337892	0.394791120	0.330297355
ϕ 角		43° 36' 10"	36° 52' 12"	31° 6' 33"	28° 4' 21"	25° 3' 28"	22° 37' 12"	18° 55' 29"
$\sin \phi$		0.689655172	0.600000000	0.528301887	0.470588235	0.423529412	0.384615385	0.324324324
$\cos \phi$		0.724137931	0.800000000	0.849056604	0.882352941	0.905882353	0.923076923	0.943945946
K_{R1}		0.725000000	0.833333333	0.946428571	1.062500000	1.180555555	1.300000000	1.541666666
K_r		0.275862069	0.200000000	0.150943396	0.117647059	0.094117647	0.076923077	0.054054054
K_s		1.522025508	1.287002717	1.113198636	0.979914692	0.874675783	0.789582239	0.660594710
K_{H8}		0.916811890	0.940611320	0.955612117	0.965627829	0.972627007	0.977701462	0.984397608
K_{N8}		1.188734647	1.138589721	1.105421248	1.082592708	1.066311101	1.054336395	1.038310392
K_{Q8}		0.081205861	0.049565905	0.032267358	0.022097808	0.015759466	0.011616452	0.006820645
K_{M8}		0.006301834	0.003234291	0.001814755	0.001091446	0.000693655	0.000461011	0.000226080
K_{H1}		66.0517984	129.816239	232.595026	383.099443	612.149936	922.676301	1885.42139
K_{N1}		47.8306126	103.852992	197.486343	342.440685	554.535824	851.701201	1783.50072
K_{Q1}		45.5529644	77.8897437	122.880391	182.635032	259.263502	354.875500	611.488018
K_{M1}		12.027732911	17.187582573	23.283584736	30.316333239	38.286126771	47.193132480	67.819090752
K_{MP}		0.212762046	0.148717988	0.109474160	0.083839873	0.066222507	0.053612808	0.037192169
K_{MK}		0.011262322	0.005039600	0.002494724	0.001338592	0.000766596	0.000463123	0.000191813
K_{SO}		0.837577018	0.689070848	0.585801977	0.509748421	0.451349990	0.405065408	0.336288679
K_{MY}		0.154887921	0.093262472	0.059953884	0.040635169	0.028741626	0.021047809	0.012243770
K_{M2}		0.146301949	0.115950630	0.091632300	0.073346433	0.059665124	0.049310622	0.035119572

②拱管制作与安装尺寸见图5.7-26、27和表5.7-41、42。

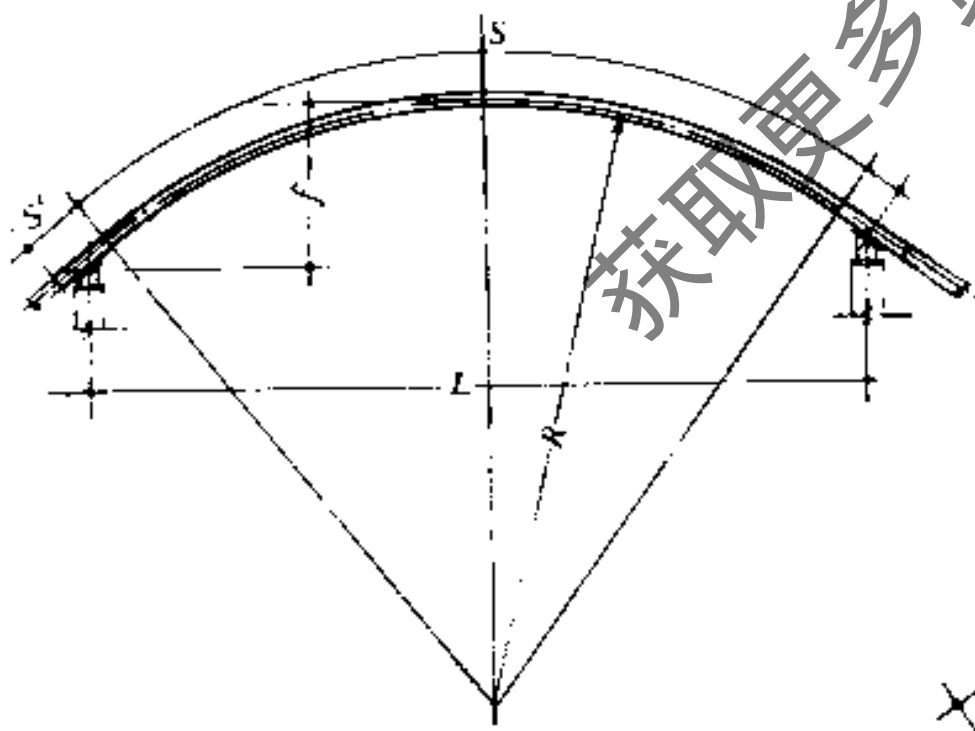


图 5.7-26 拱管尺寸图

L —拱管跨距； f —拱管矢高； S —拱管弧长；

R —拱管曲率半径； $S' = xDN$ ， x —系数

$DN < 5\text{cm}$ ： $x = 6$

$6.5 < DN < 20\text{cm}$ ： $x = 4$

$25 < DN < 40\text{cm}$ ： $x = 2.5$

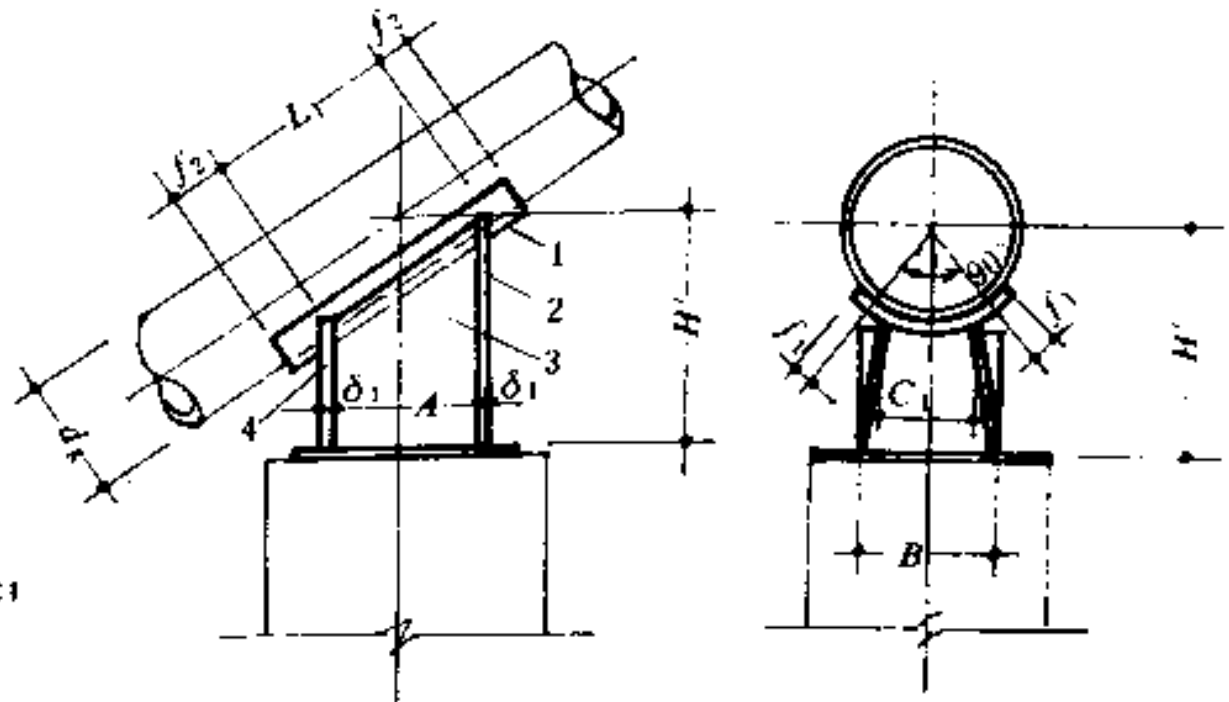


图 5.7-27 支架托座图

1—托板；2—前板；3—肋板；4—后板

表 6.7-40

拱管跨距数据表

序 号	$V = f/L$		1/4		1/6		1/8		1/10	
			液 体	蒸 汽	液 体	蒸 汽	液 体	蒸 汽	液 体	蒸 汽
			$\Delta t < 100^\circ\text{C}$ 自~止(m)	$\Delta t < 200^\circ\text{C}$ 自~止(m)	$\Delta t < 100^\circ\text{C}$ 自~止(m)	$\Delta t < 200^\circ\text{C}$ 自~止(m)	$\Delta t < 100^\circ\text{C}$ 自~止(m)	$\Delta t < 200^\circ\text{C}$ 自~止(m)	$\Delta t < 100^\circ\text{C}$ 自~止(m)	$\Delta t < 200^\circ\text{C}$ 自~止(m)
1	$\phi 57 \times 3.5$	50	3~12	3~10	3~13	4~11	3~14	6~11	4~13	8~11
2	$\phi 73 \times 4$	65	3~15	4~13	3~16	6~15	4~17	8~14	7~16	10~17
3	$\phi 89 \times 4$	80	4~17	5~15	4~19	7~17	5~19	9~17	6~18	13~16
4	$\phi 108 \times 4$	100	4~20	6~18	4~22	8~20	6~26	11~20	7~20	16~18
5	$\phi 133 \times 4$	125	5~22	8~20	6~24	11~22	8~24	16~22	10~24	—
6	$\phi 159 \times 4.5$	150	6~26	8~24	6~28	12~26	8~28	17~26	10~28	—
7	$\phi 219 \times 6$	200	8~36	11~36	8~38	16~36	11~38	24~38	14~38	—
8	$\phi 273 \times 7$	250	9~42	13~44	10~44	20~48	14~44	28~48	18~44	—
9	$\phi 325 \times 8$	300	8~48	16~52	12~52	24~56	16~52	34~56	22~50	—
10	$\phi 377 \times 9$	350	11~54	18~60	14~59	28~64	19~58	40~62	24~56	—
11	$\phi 426 \times 9$	400	11~60	22~64	15~62	32~68	22~62	46~68	28~60	—

注：1. 举例，有 $\phi 108 \times 4$ 管子，输送 $\Delta t = 95^\circ\text{C}$ 热水， $V = f/L = \frac{1}{8}$ 时，则跨距适于 $L = 6 \sim 26\text{m}$ 。

2. 确定跨距时宜按 1m 或 2m 整数增减，一般为：当 $L < 20\text{m}$ 时，增减幅度为 1.0m；当 $L > 20\text{m}$ 时，增减幅度为 2m。

$f/L = 1/4, L = 3 \sim 94m$ 拱管制作图

表5.7-41

符号	单位	数 据										
L	cm	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
R	cm	187.5	250	312.5	375	437.5	500	562.5	625	687.5	750	812.5
f	cm	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
S	cm	347	463	579	695	811	927	1043	1159	1275	1390	1506
L	cm	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2600	2800
R	cm	875	937.5	1000	1062.5	1125	1187.5	1250	1375	1500	1625	1750
f	cm	350	375	400	425	450	475	500	550	600	650	700
S	cm	1622	1738	1854	1970	2086	2202	2318	2550	2781	3013	3245
L	cm	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000
R	cm	1875	2000	212.5	2250	2375	2500	2625	2750	2875	3000	3125
f	cm	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
S	cm	3477	3709	3941	4172	4404	4636	4868	5100	5331	5563	5795
L	cm	5200	5400	5600	5800	6000	6200	6400	6600	6800	7000	7200
R	cm	3250	3375	3500	3625	3750	3875	4000	4125	4250	4375	4500
f	cm	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800
S	cm	6027	6259	6491	6722	6954	7186	7418	7650	7882	8113	8345
L	cm	7400	7600	7800	8000	8200	8400	8600	8800	9000	9200	9400
R	cm	4625	4750	4875	5000	5125	5250	5375	5500	5625	5750	5875
f	cm	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350
S	cm	8577	8809	9041	9272	9504	9736	9968	10200	10432	10663	10895

$f/L = 1/6, L = 3 \sim 94m$ 拱管制作图

符号	单位	数 据										
L	cm	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
R	cm	250	333.3	416.7	500	583.3	666.7	750	833.3	916.7	1000	1083.3
f	cm	50	66.7	83.3	100	116.7	133.3	150	166.7	183.3	200	216.7
S	cm	321	429	536	643	750	858	965	1072	1179	1287	1394
L	cm	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2600	2800
R	cm	1166.7	1250	1333.3	1416.7	1500	1583.3	1666.7	1833.3	2000	2166.7	2333.3
f	cm	233.3	250	266.7	283.3	300	316.7	333.3	366.7	400	433.3	466.7
S	cm	1501	1608	1716	1823	1930	2037	2445	2359	2574	2788	3003
L	cm	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000
R	cm	2500	2666.7	2833.3	3000	3166.7	3333.3	3500	3666.7	3833.3	4000	4166.7
f	cm	500	533.3	566.7	600	633.3	666.7	700	733.3	766.7	800	833.3
S	cm	3217	3432	3646	3861	4075	4290	4504	4719	4933	5148	5362
L	cm	5200	5400	5600	5800	6000	6200	6400	6600	6800	7000	7200
R	cm	4333.3	4500	4666.7	4833.3	5000	5166.7	5333.3	5500	5666.7	5833.3	6000
f	cm	866.7	700	933.3	966.7	1000	1033.3	1066.7	1100	1133.3	1166.7	1200
S	cm	5577	5791	6006	6220	6435	6649	6864	7078	7293	7507	7722
L	cm	7400	7600	7800	8000	8200	8400	8600	8800	9000	9200	9400
R	cm	6166.7	6333.3	6500	6666.7	6833.3	7000	7100.7	7333.3	7500	7666.7	7833.3
f	cm	1233.3	1266.7	1300	1333.3	1366.7	1400	1433.3	1466.7	1500	1533.3	1566.7
S	cm	7936	8151	8365	8580	8794	9009	9223	9438	9652	9867	10081

$f/L = 1/8, L = 3 \sim 24m$ 拱管制作图

续表

符号	单位	数										
		300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
L	cm	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
R	cm	318.8	425	531.3	637.5	743.7	850	956.3	1062.5	1118.7	1275	1381.2
f	cm	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5
S	cm	312	416	520	624	728	832	937	1041	1145	1249	1353
L	cm	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2600	2800
R	cm	1487.5	1593.7	1700	1806.2	1912.5	2018.7	2125	2337.5	2550	2762.5	2975
f	cm	175	187.5	200	212.5	225	237.5	250	275	300	325	350
S	cm	1457	1561	1665	1769	1874	1978	2082	2290	2498	2707	2915
L	cm	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000
R	cm	3187.5	3400	3612.5	3825	4037.5	4250	4462.5	4675	4887.5	5100	5312.5
f	cm	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625
S	cm	3125	3331	3539	3748	3956	4164	4372	4581	4789	4997	5205
L	cm	5200	5400	5600	5800	6000	6200	6400	6600	6800	7000	7200
R	cm	5525	5737.5	5950	6162.5	6375	6587.5	6800	7012.5	7225	7431.5	7650
f	cm	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900
S	cm	5414	5622	5830	6038	6246	6455	6663	6871	7079	7288	7496
L	cm	7400	7600	7800	8000	8200	8400	8600	8800	9000	9200	9400
R	cm	7862.5	8075	8287.5	8500	8712.5	8925	9137.5	9350	9562.5	9175	9987.5
f	cm	925	950	975	1000	1025	1050	1175	1100	1125	1150	1175
S	cm	7704	7912	8121	8329	8537	8745	8953	9162	9370	9578	9186

$f/L = 1/10, L = 3 \sim 24m$ 拱管制作图

符号	单位	数										
		300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
L	cm	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
R	cm	390	520	650	780	910	1040	1170	1300	1430	1560	1690
f	cm	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
S	cm	307	410	513	615	718	821	923	1026	1129	1231	1334
L	cm	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2600	2800
R	cm	1820	1950	2080	2210	2340	2470	2600	2860	3120	3380	3640
f	cm	140	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280
S	cm	1437	1539	1642	1744	1847	1950	2052	2258	2463	2668	2874
L	cm	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000
R	cm	3900	4160	4420	4680	4940	5200	5460	5720	5980	6240	6500
f	cm	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
S	cm	3079	3284	3489	3695	3900	4105	4311	4516	4721	4926	5132
L	cm	5200	5400	5600	5800	6000	6200	6400	6600	6800	7000	7200
R	cm	6760	7020	7280	7540	7800	8060	8320	8580	8840	9100	9360
f	cm	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720
S	cm	5337	5542	5748	5953	6158	6364	6569	6774	6979	7185	7390
L	cm	7400	7600	7800	8000	8200	8400	8600	8800	9000	9200	9400
R	cm	9620	9880	10140	10400	10660	10920	11180	11440	11700	11960	12220
f	cm	740	760	780	800	820	840	860	880	900	920	940
S	cm	7595	7801	8006	8211	8416	8622	8827	9032	9238	9443	9648

DN25~400管托

表 5.7-42

序号	公称直径 (mm)	外径× 壁厚 (mm)	H' (mm)				A (mm)	B (mm)	C ₁ (mm)	L ₁ (mm)	f ₁ (mm)	f ₂ (mm)	δ ₁ (mm)
			$\frac{f}{L}=\frac{1}{4}$	$\frac{f}{L}=\frac{1}{6}$	$\frac{f}{L}=\frac{1}{8}$	$\frac{f}{L}=\frac{1}{10}$							
1	25	32×3	330	200	150	150	150	80	—	263	—	20	4
2	32	38×3	330	210	150	150	150	80	—	263	—	20	4
3	40	45×3	340	210	160	160	150	80	—	264	—	20	4
4	50	57×3.5	350	220	160	160	150	80	46	266	15	20	4
5	65	73×4	360	230	170	170	150	80	57	272	15	20	6
6	65	76×4	370	230	180	170	150	80	59	272	15	20	6
7	80	89×4	450	270	220	200	240	90	71	424	20	30	6
8	100	108×4	460	280	230	210	240	110	85	426	20	30	6
9	125	133×4	240	300	250	220	240	140	103	433	20	30	8
10	150	159×4.5	260	340	260	240	240	160	121	436	20	30	8
11	200	219×6	320	370	310	390	300	220	166	548	25	40	10
12	250	273×7	360	300	340	310	300	280	204	558	25	40	12
13	300	325×7	410	340	400	360	400	340	241	731	30	50	12
14	350	377×8	450	370	430	400	400	380	281	741	30	50	14
15	400	426×8	490	400	480	450	500	440	315	914	30	50	14

5.8 管道材料及其附件

5.8.1 管道材料及其连接

1. 常用材料（管材和钢材等）标准（见表5.8-1~3）

管道材料选用表（一）

表 5.8-1

介质种类	介质工作参数		管道材料	管道种类
	压力(MPa)	温度(℃)		
饱和及过热蒸汽、热水	<1.6	<250	A ₂ 、A ₃ 、A ₄ 、A ₅ 钢10、 钢20	无缝钢管、焊接钢管
饱和蒸汽、热水	1.6~2.5	>120	钢10、钢20	无缝钢管、焊接钢管
过热蒸汽	<1.6	250~300	A ₂ 、A ₃ 、A ₄ 、A ₅ 钢10、 钢20	无缝钢管、焊接钢管
	<2.2	300~350	钢10、钢20	无缝管件、焊接钢管

管材选用表(二)

表 5.8-2

公称直径 d_n		焊接钢管(普通) GB 3091-82		焊接钢管(加厚) GB 3092-82		无缝钢管(热轧) GB 8163-87		螺旋缝电焊钢管	
(mm)	(英寸)	$P_n < 1.0 \text{MPa}$		$P_n < 1.6 \text{MPa}$		$P_n < 2.5 \text{MPa}$		$P_n < 1.6 \text{MPa}$	
		$\phi \times \delta$	重量(kg/m)	$\phi \times \delta$	重量(kg/m)	$\phi \times \delta$	重量(kg/m)	$\phi \times \delta$	重量(kg/m)
15	1/2"	21.3×2.75	1.25	21.25×3.25	1.44	—	—	—	—
20	3/4"	26.8×2.75	1.63	26.8×3.5	2.01	—	—	—	—
25	1"	33.5×3.25	2.42	33.5×4	2.91	32×3.5	2.46	—	—
32	1 1/4"	42.3×3.25	3.13	42.3×4	3.77	38×3.5	2.98	—	—
40	1 1/2"	48×3.5	3.84	48×4.25	4.58	45×3.5	3.58	—	—
50	2"	60×3.5	4.88	60×4.5	6.16	57×3.5	4.62	—	—
65	2 1/2"	75.5×3.75	6.64	75.5×4.5	7.88	73×4	6.81	—	—
80	3"	88.5×4	8.34	88.5×4.75	9.81	89×4	8.38	—	—
100	4"	114×4	10.85	114×5	13.44	108×4	10.26	—	—
125	5"	140×4.5	15.04	140×4.5	18.24	133×4	12.72	—	—
150	6"	165×4.5	17.81	165×5.5	21.63	159×4.5	17.14	168×5	20.10
200	8"	—	—	—	—	219×6	31.52	219×6	31.52
250	10"	—	—	—	—	273×8	52.28	273×7	45.92
300	12"	—	—	—	—	325×8	62.54	325×7	54.90
350	—	—	—	—	—	377×9	81.67	377×7	63.87
400	—	—	—	—	—	426×9	92.55	426×7	72.33
450	—	—	—	—	—	480×9	104.53	478×7	81.31
500	—	—	—	—	—	530×9	115.62	529×7	90.11
600	—	—	—	—	—	630×9	137.82	630×7	107.50

注: 黑框中数值为推荐采用规格

常用材料标准

表 5.8-3

序号	名称	标准	规格标准示例	材料	备注
1	平焊钢制管法兰	GB 9119-88	DN100, $P_n 1.0$	$A_1, F(A_1)$	适用于0.25~1.6MPa
2	管法兰盖(平面、凸面)	GB 9123-88	DN100, $P_n 1.0$	$A_1, F(A_1)$	适用于 $P_n < 2.5$, DN10~1000
3	法兰用软垫片	GB 3985-83	DN100, $P_n 1.0, \delta=1.6$	石棉橡胶板	适用于 $P_n < 2.5$, DN10~1200 汽、水管道
4	圆钢	GB 1499-84	$\phi 16$	$A_0 \sim A_3$	
5	方钢	GB 702-85, 705-89	- 20×20	$A_0 \sim A_3$	
6	扁钢	GB 704-88	- 30×4	$A_0 \sim A_3$	
7	等边角钢	GB 9787-88	L 35×35×3	$A_0 \sim A_3$	
8	不等边角钢	GB 9787-88	L 63×50×4	$A_0 \sim A_3$	
9	槽钢	GB 707-88	[16	$A_0 \sim A_3$	
10	工字钢	GB 706-88	I 20	$A_0 \sim A_3$	
11	厚钢板	热轧GB 709-88, 冷轧GB 708-88	500×500×10	$A_0 \sim A_3$	$\delta = 4.5 \sim 27$

续表

序号	名称	标准	规格标准示例	材料	备注
12	薄钢板	热轧GB709—88、冷轧GB708—88	500×500×1	A ₀ ~A ₃	δ=0.35~4
13	花纹钢板	GB 3277—82	-600×4.5	A ₀ ~A ₃	菱形、扁豆花形
14	焊接钢管	GB 3092—82	DN50, P _s 1.0	A ₃ ~A ₄	低压流体输送用
15	无缝钢管	GB 8163—87	φ219×7	钢10、20	
16	螺旋焊接钢管	SYB/0004—63	φ529×7	A ₃ ~A ₃	
17	钢丝网		φ1.5, 孔5×5		
18	螺栓	GB 5780、5781—86	M12×100	A ₃	
19	螺帽	GB 41—86、6170—86	AM12	A ₃	
20	垫圈	GB 848—85	垫圈10	A ₀ ~A ₃	
21	开口销	GB 91—86	8×60	A ₃	先写直径后写长
22	开放式翼形螺母	GB 62—88	M10	A ₃	
23	地脚螺栓	GB 799—88	M20×400	A ₃	

注：压力：P_s(MPa)；管径：DN(mm)
板厚：δ (mm)

2. 管道连接

(1) 螺纹连接：宜用于工作压力 $<0.8\text{MPa}$ 、工作温度 $<175^{\circ}\text{C}$ 、公称直径 $d_g < 40\text{mm}$ 的低压流体输送用焊接钢管之间或钢管与螺纹阀之间的连接。不同连接方式的特点及技术参数见表5.8-4和表5.8-5。

管螺纹连接三种方式及其特点

表 5.8-4

连接方式	特点	填 料
圆柱形套入圆柱形	用于介质压力较低的管道连接	介质为水或压缩空气(温度在100℃以下)时,用在铅丹油或白铅油中浸过的麻线缠到管螺纹上以后,沿管螺纹再抹铅油;介质为蒸汽时,用缠抹黑铅油的石棉
圆柱形套入圆锥形	连接较紧密,用于带锥形螺纹阀件的连接	同上,或不缠填料而抹矿物油
圆锥形套入圆锥形	连接紧密,一般用于管道连接	不缠填料,沿螺纹抹矿物油

注：铅丹油：清油(植物油制成的天然干性油)拌铅丹；
白铅油：清油拌铅白厚漆；
黑铅油：清油拌石墨粉。

常用丝接管件技术参数

表 5.8-5

项目	名称	技术参数	
		可锻铸铁管件	普通铸铁管件
允许最高工作温度	(℃)	(GB 3287~3289—82) <175	<100
最高工作压力	(MPa)	1.6	<0.8
试验压力	(MPa)	2.5	1.2
使用材料牌号		KT—33—8	灰铸铁

(2) 法兰连接: 法兰规格及垫片选用见表5.8-6至表5.8-9。

常见焊接钢制管法兰品种规格表

表 5.8-6

管 法 兰 名 称	公 称 压 力 (MPa)	公称通径范围 DN (mm)	标 准 号
平 面 板 式 平 焊 钢 制 管 法 兰	0.25、0.6	10~2000	GB 9119.1~9119.4-88
	1.0、1.6	10~600	
凸 面 板 式 平 焊 钢 制 管 法 兰	0.25、0.6	10~2000	GB 9119.5~9119.10-88
	1.0~4.0	10~600	
平 面 带 颈 平 焊 钢 制 管 法 兰	1.0、1.6	10~600	GB 9116.1~9116.3-88
	2.0	15~600	
凸 面 带 颈 平 焊 钢 制 管 法 兰	1.0~4.0	10~600	GB 9116.4~9116.9-88
	2.0、5.0	15~600	
平 面 对 焊 钢 制 管 法 兰	0.25	10~1000	GB 9115.1~9115.5-88
	0.6	10~3600	
	1.0	10~2000	
	1.6	10~1200	
	2.0	10~1200	
凸 面 对 焊 钢 制 管 法 兰	0.25、0.6	10~3000	GB 9115.6~9115.13-88
	1.0	10~2000	
	1.6	10~1200	
	2.5	10~1000	
	4.0	10~600	
	2.0、5.0	15~600	
平 焊 钢 法 兰 (板 式 平 焊 钢 制 管 法 兰)	0.25	10~1000	JB 81-59
	0.6	10~1000	
	1.0、1.6	10~600	
	2.5	10~500	
对 焊 钢 法 兰	0.25	10~1600	JB 82-59
	0.6	10~1400	
	1.0、1.6	10~1200	
	2.5	10~800	

垫片材料选用表 表 5.8-7

垫片材料	工作介质	应 用 范 围	
		工作压力(MPa)	工作温度(°C)
绝缘纸	水、油	1.0	40
橡皮	水、空气	0.6	60
石棉橡胶板	水、汽	5.0	450
软 钢	水、汽	5.0	任 何

垫片厚度表 表 5.8-8

管道公称直径DN(mm)	垫片厚度 (mm)
100~125	1.6
150~450	2.4
500~600	3.2

石棉橡胶板规格表

表 5.8-9

高压石棉橡胶板	适用于5.0MPa, 450℃蒸汽管; 厚度: 0.5、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5、2.0、2.5、3.0、4.0	能承受10MPa, 450℃条件下密封性试验
中压石棉橡胶板	适用于4.0MPa, 375℃以下蒸汽管; 厚度: 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0	能承受8MPa, 375℃条件下密封性试验
低压石棉橡胶板	厚度: 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0	

(3) 焊接连接: 供热管道除安装配件处采用法兰或螺纹连接外, 均宜采用焊接连接。气焊一般应用在壁厚 $\delta < 2\text{mm}$ 、公称直径 $DN < 32\text{mm}$ 的管道上; 手工和自动电弧焊适用于壁厚 $\delta \geq 1.5\text{mm}$ 的管道上。

管道焊接材料适用原则: 焊接接头应具有与母材基本相等的机械性能。碳素钢熔注金属的机械性能应符合表5.8-10和表5.8-11的规定。

各种结构用焊缝符号见表5.8-12~16。

碳素钢熔注金属机械性能表

表 5.8-10

钢 种	焊 接 种 类	机 械 性 能		
		抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率(%)	冲击韧性值(kg-m/cm ²)
碳 素 钢	手工和自动电弧焊	不低于焊件母材抗拉强度下限	18	8
	气 焊		16	4

常用钢材焊条推荐表

表 5.8-11

钢 板	电 焊 条		气焊条或自动焊条	焊 剂	电焊及自动焊施焊条件
	一般结构	厚板、受压容器及管道			
10、15、20	E4303、E4301	E4315	H-08	431	一般不预热
20 ₁ 、25	E4304	E5015	H-08A、H-15		
A ₁	E4303、E4301 E4304	E4316 E4315 E5015	H-08 H-12M ₀ 、H-08A	431	一般不预热 厚度>38时, 600~650℃回火
12Mn、09Mn2 09Mn2Cu 05Mn2Si	E4303、E4301 E4316、E4315		H-08 H-08MnA		
16Mn、16MnCu 16Mn+Re	E5003、E5001 E5016、E5015		H-08 H-08MuA H-10MuA	230 431	一般不预热 厚度>32时, 590~680℃回火
15MnV、15MnTi 15MnVCu	E5016、E5015 E5515 G		H-08MnA、H10MnSi H-08MnSi、H10MnMo H-10Mn ₂	431 250 350	一般不预热或预热150℃ 厚度>28时, 590~680℃回火
15MnVN 15MnVTi+Re 15MnVNCu	E5515 G E6016-D ₁ 、E6015-D ₁		H10Mn ₂ H-08MnMoA	431	一般不预热或预热150℃ 厚度>28时, 590~680℃回火
18MnMoNb 14MnMoV	E6016 D ₁ 、E7015-D ₂		H-08Mn2MoA H-08Mn2MoVA		

气焊条熔注金属机械性能表

表 5.8-12

焊 条 牌 号	H-08、H-08A、H-15
抗拉极限强度 σ_b (MPa)	不低于各相应牌号基本金属规定的最低抗拉强度极限值
延伸率 δ_s (%)	>16
冲击韧性 a_k (kg·m/cm ²)	>4

手工电弧焊缝的外形尺寸 (GB 324-88)

表 5.8-13

序号	焊 缝 型 式	外 型 尺 寸							
		S	4~9	10~13	14~19	20~26			
1		P	1 ^{+1.0} _{-0.5}		2 ^{±1}				
		h	0 ⁺³		0 ⁺³				
		S = 20~30, S ₁ = 2~30, k = 0.8S - S ₁							
3		S	2~2.5	3~4.5	5~6	7~9	10~14	16~21	22~30
		S ₁	>S						
		K	3	3	4	5	6	7	8

焊缝尺寸符号

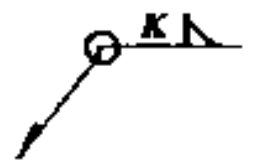
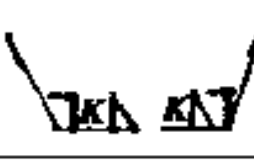
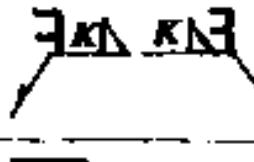

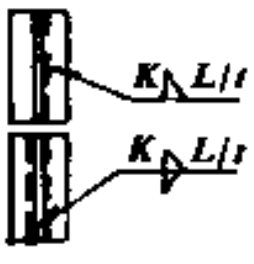
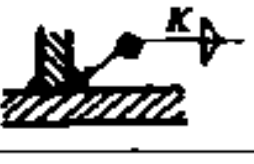

表 5.8-14

焊缝尺寸符号	名 称	焊缝尺寸符号	名 称
δ	厚 度	b	焊缝宽度
h	坡口高度	d	焊点直径
R	U形坡口圆弧半径	t	点焊或断续焊缝中心距
L	焊缝长度	a	焊点至板边的中心距
P	钝边高度	α	坡口角度
K	焊脚高度	n	焊缝的条(点、排)数
C	间 隙	N	有关标准的焊缝序号

辅 助 符 号

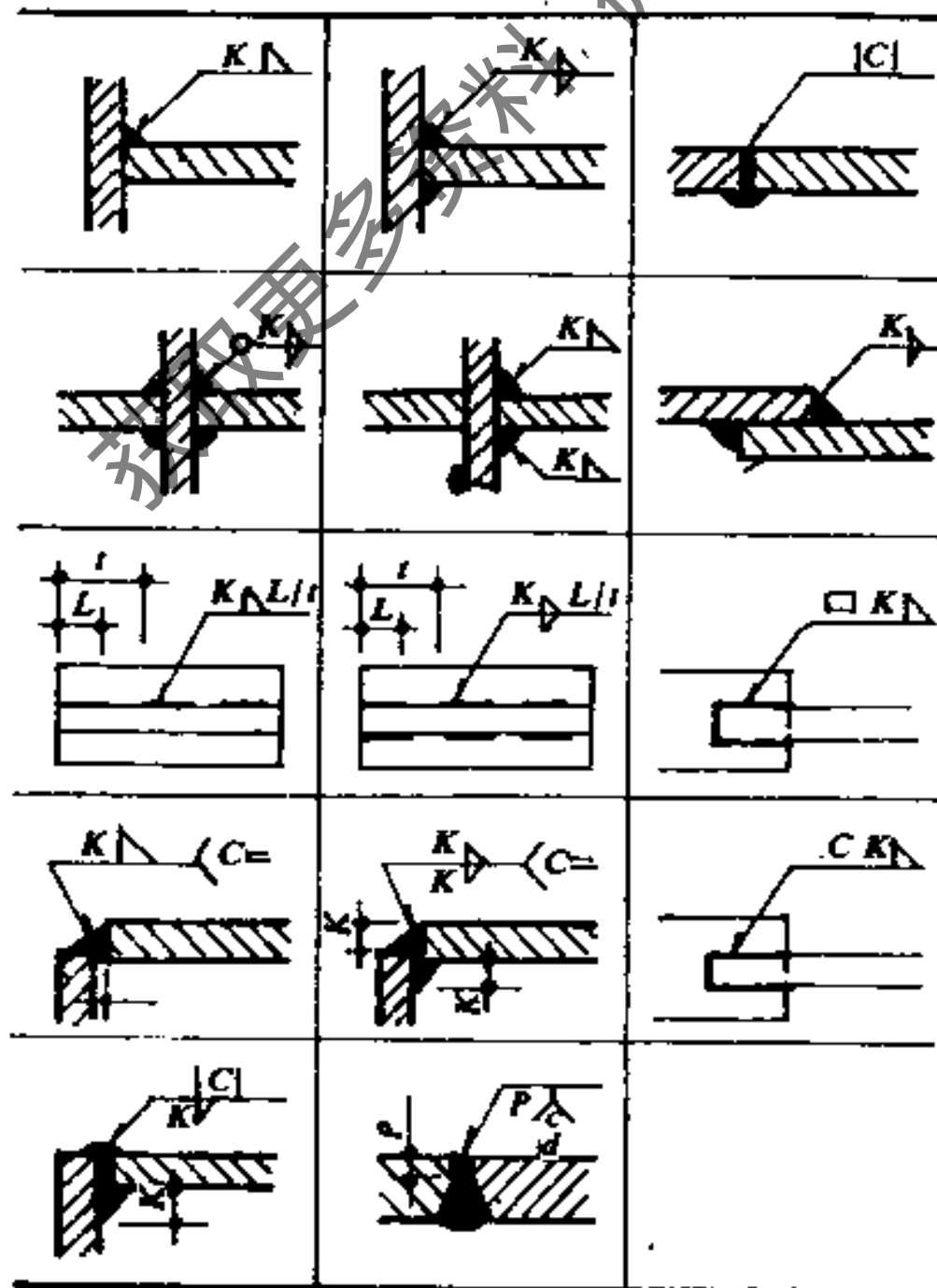
表 5.8-15

序号	名称、符号	使 用 举 例	说 明
1	带垫板 		在焊缝的底部带有垫板
2	铲 平 		焊缝表面必须铲平, 使焊缝与被焊零件的表面一致

序号	名称、符号	使用举例	说明
3	同样焊缝 ○		在整张图样上, 只出现一个符号时, 表示全部焊缝的型式, 剖面尺寸和辅助要求完全相同; 出现几个符号时, 表示有几组结构型式一样的焊缝型式, 剖面尺寸和辅助要求完全相同的焊缝
4	装配焊缝 └		在工厂装配时所进行的焊缝
5	工地焊缝 ≡		在工地安装时所进行的焊缝
6	断续焊缝(交错) ≡		双面断续交错分布焊缝, 应将两个图形符号对齐
7	断续焊缝 (断续或链状)		①单面断续分布时, 用一个图形符号 ②双面链状分布时, 将两个图形符号对齐
8	熔透角焊 ●		角焊缝必须熔透
9	熔化焊 —		不用填充金属, 使母材熔化而成的焊缝

焊缝符号

表 5.8-16



第六章 锅炉房设计

6.1 锅炉房的总体布置

6.1.1 锅炉房在总平面上的布置

锅炉房在工业与居民区里的布置应配合总图专业合理安排，并应考虑下列因素综合确定：

1. 新建城市居民区和大型公共建筑及工厂区应优先考虑设置区域性供热锅炉房，尽量减少锅炉房的数量。

若因热用户分散、热负荷较低、外管线较长等因素考虑分散设置锅炉房时，应经过技术经济论证确认为合理时，方可采用。

2. 锅炉房一般应是独立的建筑，它和其他建筑物的距离应符合表6.1-1的规定。

锅炉房与其他建筑物的防火间距 (m)

表 6.1-1

其他建筑物类别		高层建筑物 (十层以上住宅、24m以上其他建筑物)				一般民用建筑耐火等级			工厂建筑耐火等级			
		一类		二类		1~2	3	4	1~2	3	4	
		主体建筑	辅助建筑	主体建筑	辅助建筑							
锅炉房类型及耐火等级		1~2级	3级	1~2级	3级	1~2	3	4	1~2	3	4	
燃煤	锅炉房总蒸发量 < 4t/h	1~2级	20	15	15	13	6	7	9	10	12	14
		3级	25	20	20	15	7	8	10	12	14	16
锅炉	单台蒸发量 < 4t/h, 锅炉房总蒸发量 < 12t/h	1~2级	20	15	15	13	>6	>7	>9	10	12	14
		3级	20	15	15	13	10	12	14			
燃油、燃气锅炉房		1~2级	20	15	15	13	>10	>12	>14	10	12	14

注：锅炉房总蒸发量 < 4t/h 的燃煤锅炉房，采用一、二级耐火等级有困难时，可采用三级耐火等级。

3. 当锅炉房单独设置有困难时，在符合下述要求的条件下可和民用建筑相连或设置在民用建筑物内，但在任何情况下都不允许在人员密集的房间（如浴室、教室、餐厅、影剧院、候车室、托儿所、医疗机构病房）内或其上面、下面、主要疏散出口的两侧设置锅炉房。

(1) 供水温度在 95℃ 以下的水热水锅炉房，可设置在一般民用建筑的地下室、半地下室或第一层。

(2) 锅炉房中任何一台锅炉的锅炉容量符合 $(T - 100) \sqrt{V} < 5$ 的条件时，锅炉房可和住宅相连 (T 为锅炉工作压力时的饱和温度，℃， V 为锅炉水容量， m^3)。

(3) 锅炉房若与生产厂房相连（不得与甲、乙类及使用可燃液体的丙类火灾危险性

厂房相连)时,锅炉房内任何一台锅炉应符合 $(T-100)V < 100$ 的要求,且应用防火墙隔开。余热锅炉不受此限制。

(4) 单台锅炉蒸发量不超过2t/h,锅炉总蒸发量不超过6t/h的燃油、燃气锅炉房可贴邻一般民用建筑布置,但必须按《建筑设计防火规范》(GB16-87)第5.4.1条规定采取防火措施。

(5) 燃油、燃气及每台锅炉额定蒸发量不超过4t/h(水管锅炉不超过6t/h)的燃煤锅炉房,且额定蒸汽压力不超过1.27MPa的锅炉房可设置在与高层建筑主体相连的附属建筑的底层靠外墙部位,并须按《高层民用建筑设计防火规范》(GBJ48-82)第3.1.2条规定采取防火措施。

4. 燃气锅炉房不宜设置在地下室、半地下室。当因条件限制必须设置在地下室和半地下室时,应采取可靠的室内通风措施。

5. 锅炉房应靠近主要负荷或负荷较大的地区,以缩短管线长度,减少热损失。

6. 蒸汽锅炉房宜位于地势较低的地区,可利用自流或余压系统回水,有利于凝结水回收,不设或少设凝结水泵站。

7. 锅炉房位置要便于燃料和灰渣的运输及存放,如燃煤用铁路运输时,则锅炉房应靠近铁路专用线,并应有足够的煤场和灰场面积。当设计采用燃油锅炉时,应考虑燃油库的位置。使用气体燃料的锅炉房应尽量靠近供气管网和调压站。

8. 为减少烟尘及有害气体、噪声、灰渣等对环境的污染,锅炉房应位于总体主导风向的下风侧。

9. 锅炉房位置应有较好的朝向,主要的操作间一般应布置成南向或东向,避免西晒,炎热地区的锅炉房尤其应注意此点。应考虑有较好的自然通风和采光。

10. 锅炉房的位置应注意与周围建筑物的互相影响,不应距空气压缩机站、制氧站、油库、有较强振动的大型汽锤以及净化厂房和洁净要求的建筑太近。如建设工程同时有煤气站时,则锅炉房和煤气站应尽可能布置在同一区域内,以利燃料的运输和灰渣的清除。

11. 新建锅炉房应考虑留有扩建的可能和余地。锅炉房的扩建端不应设置永久性建筑物或体型较大的设备或构筑物。

12. 锅炉房的位置应便于给、排水和供电,并且要有较好的地形、地质条件,不宜将锅炉房特别是大容量锅炉房设置在地质条件很差的地方。

锅炉房的位置要同时满足上述条件往往是困难的,必须根据具体情况,分析研究,分清主次,一般应着重考虑靠近负荷中心,便于回水,便于运输,符合规范要求。

6.1.2 锅炉房区域布置

在锅炉房区域内,各种建筑物、构筑物(如烟囱、烟道、排污降温池、凝结水回水池、煤场、运煤廊、灰渣场、贮油罐、油泵房等)的布置应遵循:工艺流程合理;占地面积小;便于管理;运输方便;符合规范及安全规程要求等原则,一般应考虑下列要求:

1. 锅炉间操作面或辅助间应布置在主要道路边,以便于满足消防车、燃料运输车辆进行作业的要求。

2. 烟囱、烟道、排污降温池一般布置在锅炉房主厂房的后面,以减少对主要道路的污染。

3. 煤堆、灰堆宜布置在锅炉房发展端一侧,以便于运煤除渣。煤堆距锅炉房的距离根

据煤场贮煤量按防火规范的有关规定确定。灰堆距锅炉房之间的距离,一般不应小于10m。

4.室外的凝结水回水池宜布置在锅炉房辅助间的一侧,以便于凝结水输往给水箱中。

5.燃油锅炉房的贮油罐与锅炉房的距离应按防火规范有关规定。容量小的日用油罐可设在锅炉房内。

6.1.3 锅炉房的工艺布置

1. 锅炉房的组成及布置

(1) 锅炉房一般由锅炉间(主厂房)、生产辅助间(水泵及水处理间、除氧间、运煤廊及煤仓间、鼓风机、引风机及除尘设备间、化验间、仪表控制间、换间、机修间)及生活间(值班、办公、更衣、休息、贮藏、浴厕)组成。锅炉房应根据锅炉的型式、容量和规模及工艺流程的需要布置。

生活辅助间的设置面积可参照表6.1-2进行选用。

表 6.1-2

锅炉房规模 (t/h)		2~6	8~16	20~65		>80	
				女	男	女	男
生活间名称							
办公室 (m ²)		—	—	3.6×6		3.9×6	
值班、休息 (m ²)		3.3×3.6	3.3×4.5	3.6×6		3.9×6	
化验 (m ²)		—	3.3×4.5	3.9×6		两间 4.5×5.1	
更衣 (m ²)		—	—	3.6×4.6		3.9×4.5	
浴室 (个)	淋浴间数量	1	2	1	2	1	2
	浴池	—	—	—	1	—	1
厕所 (个)		1	1	1	1	1	1

(2) 生产、生活辅助用房都必须围绕锅炉间以一定的规律进行布置。一般将水泵水处理间、变配电间、机修间、办公、值班、休息、更衣、浴厕等辅助房间布置在锅炉间的固定端,独立的鼓风机、引风机及除尘器间布置在锅炉间后面,运煤廊一般布置在锅炉间的前面。化验室和仪表控制间应布置在采光良好,监测和取样方便,噪声和振动较小的部位。

(3) 锅炉间的层数主要取决于锅炉容量和本身结构形式,锅炉燃烧方式及除渣方式等因素。一般6t/h以下燃煤的蒸汽锅炉和与其相当的热水锅炉,以及30t/h以下的燃油、燃气锅炉多采用单层布置。较大容量的锅炉配合锅炉本体的结构形式采用双层布置。

锅炉采用多层布置时,锅炉间可分成运转层和除灰层。锅炉间运转层标高宜与辅助间内楼面标高一致。

(4) 辅助间的层数,一般做成单层、双层或三层建筑,用以布置水处理设备、换热设备、给水设备等,并安排生活间(办公室、休息室、浴厕等房间)。当采用大气式热力除氧时,为提高给水泵入口的压头,将给水箱布置在三层,不采用大气式热力除氧时,一般多用双层。

辅助间各附属设备的布置:

1) 更衣、浴厕、给水泵、水处理设备、库房、机修间、定期排污扩容器多布置在一层。

2) 办公室、休息室、化验室、连续排污扩容器多布置在二层。

3) 换热设备多布置在二层或三层。

4) 给水箱、反洗水箱多布置在三层。

以上系指辅助间三层布置。如辅助间仅为二层或单层时, 则应根据具体情况布置。

2. 锅炉间的工艺布置

(1) 锅炉间设备布置的一般要求

1) 应尽量按工艺流程来布置锅炉设备, 使蒸汽、给水、燃料、灰渣、空气和烟气等介质的流程简短, 通畅, 阀门附件少, 安全性能高, 并便于操作和检修。

2) 设备的选择和布置应考虑扩建和分期建设的合理性和可能性。

3) 工艺布置应尽量符合建筑模数, 使建筑面积和体积紧凑, 结构简单, 实用, 美观。

4) 热水和横水管锅炉应留有清扫和更换管束的操作面积。

5) 锅炉房的建筑应有良好的通风采光, 特别是燃油和燃气锅炉房。燃气锅炉房应尽量避免有积聚气体的死角, 如不能避免时, 必须采取局部排风措施。

6) 贮煤斗一般装设在炉前, 运煤层的标高除应使贮煤斗有效贮存量和溜煤管倾角符合规定外, 尚应使建筑结构合理, 满足炉前操作自然采光的需要。

7) 烟道、烟管及烟囱的位置应尽量简短, 并使每台锅炉所受到的引力均衡。一般应用地上烟道。采用地下烟道时应有便于除灰的条件, 并尽量使地下烟道不低于最高地下水位, 如低于最高地下水位时, 则应有可靠的防水措施。烟囱与建筑物的距离, 除应满足工艺要求外, 还应满足烟囱基础下沉时, 不致影响建筑物的基础。

8) 燃油、燃气锅炉的燃烧室、尾部受热面的烟道及锅炉的总烟道应装设防爆门。防爆门的位置不应危及操作人员的安全, 否则应装泄压引出管。防爆门的数量及面积应根据设计确定。

(2) 锅炉设备布置的主要尺寸要求见图6.1-1及表6.1-3。

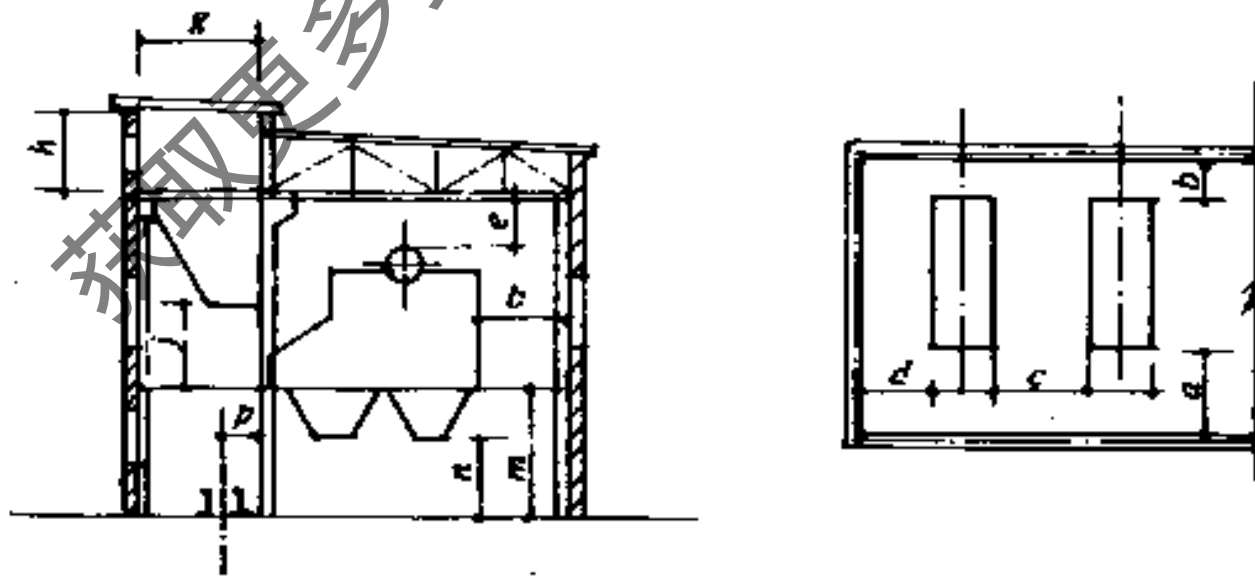


图 6.1-1 锅炉设备布置尺寸图

3. 锅炉辅机的工艺布置

(1) 鼓、引风机宜布置在单独的房间内, 如露天布置时, 应采取防潮、防噪声、防腐保温等措施。鼓、引风机之间的净距离不应小于0.8m。

(2) 烟气除尘器宜布置在室外, 但寒冷地区如采用湿法除尘或排灰时, 则不应露天布置。

(3) 机械过滤器、钠离子交换器、连续或定期排污扩容器、除氧水箱等设备的突出部位之间的净距离一般不应小于1.5m。水泵基础之间的净距不宜小于0.7m。

锅炉设备布置的尺寸要求

表 6.1-3

序号	间 距 名 称	符号	要求间距 (m)
1	锅炉前端或燃烧室前凸出部分与锅炉房前墙的距离 无炉前操作时 有炉前操作时 链条炉排时	a	> 3 燃烧室总长 + 2 应保证炉排检修要求
2	锅炉后墙与锅炉房后墙的距离	b	< 1.0
3	锅炉侧墙与锅炉侧墙间通道净距 无侧面操作 有侧面操作、蒸发量 < 4t/h 有侧面操作、蒸发量 > 4t/h 快装锅炉采用螺旋除渣	c	< 1.0 1.5~2.0 < 2.0 2.0~2.5
4	锅炉侧墙与锅炉房侧墙间的通道净距	d	> 1.0
5	锅炉最高操作点至锅炉房屋架下弦的净空高度 锅筒、省煤器上部需通行时 锅筒、省煤器上部不需通行时 锅炉房采用木屋架时	e	> 2.0 < 1.5 > 3.0
6	快装锅炉锅炉房的净空高度		< 5.5
7	运煤廊 宽度 高度	g h	4~4.5 3~3.5
8	炉前贮煤斗下底距运转层地坪高度	j	< 3.5
9	除灰室高度 锅炉蒸发量 < 6t/h 锅炉蒸发量 > 6t/h	m	3.60 4.00
10	除灰斗下部净空尺寸 人工除灰 机械除灰	n	< 1.90 根据除灰机械高度确定
11	除灰车轻便轨道中心至除灰室前的距离	p	< 2.0

(4) 分汽缸、集水缸、水箱等设备前面应考虑有供操作、更换阀件用的空间, 其通道宽度不应小于1.2m。

(5) 在锅炉间、除尘间、水处理间、热力除氧设备间及破碎机间等的适当地点应留有安装孔(一般可与门窗结合考虑)。

(6) 在必须定期检修, 设备重量又较大(0.5~1.0t)的辅助设备(如风机、热交换器、除尘器、除氧及水处理设备等)的上部, 宜有安装手动吊车的条件, 以利设备的维修。

4. 操作平台、烟囱和烟道的布置

(1) 锅炉、辅机设备和监控仪表安装处, 应根据运行、检修的需要设置平台或扶梯。

1) 平台和扶梯踏板, 一般宜用5mm厚花纹钢板或其他不滑金属材料制作。当采用栅板时, 其缝隙宽度不应大于30mm。

2) 操作平台的宽度不应小于0.8m, 其他平台的宽度不应小于0.6m。

3) 平台和扶梯应配置高1.0m的栏杆。

4) 扶梯宽度不应小于0.6m。当扶梯高度超过4m时, 每隔3~4m应设置中间平台。经常通行的扶梯其高度超过1.5m时, 其倾斜角不应大于50°, 垂直爬梯高度超过5m时, 应设保护围圈。

(2) 烟囱和烟道的布置应符合下列要求:

1) 砖砌或钢筋混凝土制烟囱的位置, 一般宜布置在锅炉房的后面, 在不影响锅炉房建筑基础和引风机、除尘器布置的条件下应尽量靠近锅炉房。

高层建筑采用贴墙砖砌烟囱时, 水平烟道长度, 一般不宜大于30m。

2) 钢板制烟囱应装有可靠的牵引拉绳, 拉绳位置要均布, 烟囱高度高于20m时, 应装设双重牵引拉绳。

6.2 锅炉房主机设备的选择

6.2.1 锅炉房设计容量的确定

1. 热负荷的确定(确定锅炉房热负荷时应注意下列几点)

(1) 对各用热部门所提供的热负荷资料, 应认真核实, 摸清工艺生产、生活及采暖通风等对供热的要求(介质参数、负荷大小及使用情况等), 如有条件可绘制热负荷曲线, 进行分析研究。

(2) 在计算热负荷时应防止层层加码, 以免造成锅炉房设计容量过大。

(3) 应尽量利用余热以减少锅炉房的供热量。在计算热负荷时应扣除已利用的余热量。

(4) 用汽负荷波动较大的锅炉房, 应考虑装设蓄热器。

2. 锅炉房设计容量的确定

锅炉房设计容量 Q 按下式计算:

$$Q = K_0 (K_1 Q_1 + K_2 Q_2 + K_3 Q_3 + K_4 Q_4) + K_5 Q_5, \text{ t/h} \quad (6.2-1)$$

式中 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 ——分别为采暖、通风、生产、生活的最大热负荷, t/h;

Q_5 ——锅炉房自用热负荷, t/h;

K_0 ——室外管网热损失及漏损系数, 按表6.2-1查得;

K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 ——分别为采暖、通风(空调)、生产、生活和锅炉房自用热负荷同时使用系数, 见表6.2-2。

室外管网热损失及漏损系数 K_0

表 6.2-1

管道种类	敷 设 方 式	
	架 空	地 沟
蒸 汽 管 网	1.1~1.15	1.08~1.12
热 水 管 网	1.07~1.10	1.05~1.08

锅炉房自用热负荷(Q_5)主要由锅炉给水除氧和汽动水泵耗汽量组成, 其值为:

同时使用系数 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5

表 6.2-2

项 目	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
推 荐 值	1.0	0.8~1.0	0.7~1.0	0.5	0.8~1.0

注：①生活用热负荷同时使用系数采取0.5，若生活用热和生产用热时间错开，则 $K_4 = 0$ 。

(1) 当以汽动给水泵为主要给水泵时，蒸汽泵的耗汽量应按产品说明书计算。当缺乏此项资料时，可按锅炉房总蒸发量的3~4%考虑。汽泵作为备用水泵时，此项耗汽量在锅炉房容量计算中可不考虑。

(2) 锅炉给水除氧采用大气式热力除氧器时，其耗汽量可按表6.2-3选用。

大气式热力除氧器耗汽量

表 6.2-3

进除氧器的水温 (°C)	50	60	70	80	90
耗汽量 ($\frac{\text{kg (汽)}}{\text{t} \cdot \text{h (水)}}$)	125	100	75	55	35

(3) 当采用蒸汽喷射式真空除氧时（进水温度61°C、真空度0.0774MPa时），喷射器的耗汽量为5 kg (汽)/t·h (水)。

6.2.2 锅炉设备的选择

1. 燃料及燃烧方式的选择

(1) 燃料选择

1) 锅炉燃料的选用应符合国家和地方的燃料或节能政策，应以煤为燃料。非经上级有关部门的批准不得使用油（原油、重油、渣油）和天然气作为锅炉燃料。

2) 锅炉用煤一般应采用就近煤种，避免长途运输，当有条件（如煤矿区）采用当地低质煤种并在经济上合理时，宜采用低质煤。在大中城市中争取供应混合配煤及型煤，以稳定煤质和提高锅炉效率。当选用优质煤做锅炉燃料时，应落实供应，以免煤种变更，煤质下降时，发生锅炉出力不足，燃烧困难等问题。

3) 工业锅炉燃料分类见表6.2-4。

(2) 燃烧方式（锅炉燃烧设备）的选择

锅炉燃烧设备一般分为层燃炉、室燃炉、沸腾炉三大类，目前我国燃煤锅炉绝大部分是层燃炉。锅炉燃烧设备的选择应根据采用的煤种和锅炉适用的煤种范围，并按下述要求综合确定：

- 1) 对改变煤种的适应性好；
- 2) 对热负荷变化的适应性和压火性能好；
- 3) 对消烟除尘有利；
- 4) 操作劳动强度小，耗电量较少，金属消耗量少。

各种锅炉燃烧设备的特点及其对燃料的适应性列于表6.2-5，供选用锅炉燃烧设备时参考。

2. 锅炉选型原则

- (1) 必须满足供热负荷及热介质参数的要求。
- (2) 应能有效地燃烧所选用的燃料，且对煤种有较大的适应性。

我国工业锅炉用煤分类和锅炉设计代表性煤种特性

煤种类别	锅炉型号中燃料代号	工业锅炉用煤特性分类				锅炉设计用代表性燃料特性											锅炉设计代表性燃料产地
		挥发物 V' (%)	水分 W' (%)	灰分 A' (%)	低位发热量 Q'_{Dw} (kJ/kg)	V'	W'	C'	H'	O'	S'	N'	A'	Q'_{Dw} (kJ/kg)			
I类 II类 III类 无烟煤、 煤矸石	S I				<5443	45.03	9.82	14.80	1.19	5.30	1.50	0.29	67.10	5033	湖南株洲煤矸石		
	S II				5443~8374	14.74	3.90	19.49	1.42	8.34	0.68	0.37	65.79	6950	安徽淮北煤矸石		
	S III				>8374~11304	8.05	4.13	28.04	0.62	2.73	3.57	2.87	58.04	9307	浙江安仁石煤		
褐煤	H	>40	>20	>30	8374~14654	43.75	34.63	34.65	2.34	10.48	0.31	0.57	17.02	12288	黑龙江扎赉诺尔		
I类 II类 III类 无烟煤	W I	5~10	<10	>25	14654~20934	6.38	8.00	54.70	0.78	2.23	0.89	0.28	33.12	18187	京西安家滩		
	W II	<5	<10	>25	>20934	2.84	9.80	74.15	1.19	0.59	0.15	0.14	13.98	25435	福建天湖山		
	W III	5~10	<10	>25	>20934	7.85	8.00	65.65	2.64	3.19	0.51	0.99	19.02	24426	山西阳泉三矿		
贫煤	P	>10~20	<10	<30	>18841	13.25	9.00	55.19	2.38	1.51	2.51	0.74	28.67	20901	四川芙蓉		
I类 II类 III类 烟煤	A I	>20	7~15	<30	10467~14654	21.91	10.50	38.46	2.16	4.65	0.61	0.52	43.10	13536	吉林通化		
	A II	>20	7~15	>40	>14654~20934	38.50	9.00	46.55	3.06	6.11	1.94	0.86	32.48	17693	山东良庄		
	A III	>20	7~15	>40	>20934	38.48	8.85	57.42	3.81	7.16	0.46	0.93	27.37	22211	安徽淮南		

注：表中燃料成分的右上角“y”为燃料应用基成分代号，“r”为燃料可燃基成分代号。

锅炉燃烧设备常用设计数据和特性比较

表 6.2-5

燃烧方式	适合煤种	对燃煤粒度的要求 (mm)	炉排面积热负荷 $BQ_{D,w}/R$ (W/m^2)	炉膛过量空气系数 (%)	不完全燃烧热损失			炉排下风压 (机械鼓风) h (Pa)	优点	缺点	适用范围
					气体 (%)	固体 (%)	炉排下风压 (机械鼓风) h (Pa)				
手烧炉排	适应煤种	≥ 30 < 3 的碎煤不多 ≥ 30	697.8 ~ 930.4	1.3 ~ 1.5	< 3	~ 2	100 ~ 400	适合煤种广 (可燃用发热量 12552 kJ/kg 左右的粘结性强、水分多、挥发分多的煤), 负荷适应性强, 制造工作量少, 安全可靠性较高	炉膛温度变化强度大, 炉排热负荷强度低, 锅炉效率低, 锅炉排尘量大, 锅炉劳动强度大	$< 1t/h$ 的锅炉	
链条炉排 振动炉排	II、III类烟煤 无烟煤	≥ 30 (其中 0 ~ 3 ≥ 25)	无烟煤 581.5 ~ 814.4 $\times 10^3$ 烟煤 581.5 ~ 1036 $\times 10^3$	1.2 ~ 1.4 1.3 ~ 1.5	< 1 < 1	5 ~ 10 10 ~ 15	400 ~ 800 400 ~ 1000	燃烧效率高, 运行平稳可靠, 负荷适应性好, 飞灰损失和对环境污染较小, 锅炉劳动强度小, 操作简便	结构复杂, 制造工作量, 金属耗量大, 在固定拱型下对燃料的适应性差	$> 6t/h$ 的锅炉	
抛煤机炉	II、III类烟煤 贫煤	最大粒度 ≥ 25 , 0 ~ 3 碎屑不超过 30%; 0 ~ 6 碎屑不超过 50 ~ 60%	振动炉排 930.4 ~ 1163 $\times 10^3$ 倒转链条炉排	1.2 ~ 1.4 1.2 ~ 1.5	< 1 < 1	10 ~ 12 6 ~ 10	400 ~ 800 400 ~ 800	燃煤种类适应性强, 负荷变化适应性好, 炉排热负荷强度较高	飞灰损失和污染严重, 对煤的外表水分要求高, 在雨水较多的地区要建干燥煤棚, 增加基建投资	$> 6t/h$ 的锅炉	
往复炉排	I、II类烟煤、褐煤、低质煤 (不适合 III 类烟煤及劣质煤、粘性煤)		自然通风 697.8 $\times 10^3$ 机械通风 冷风: 756 $\times 10^3$ 热风: 814.1 ~ 930.4 $\times 10^3$	1.3 ~ 1.4	0 ~ 2	7 ~ 12	400	点火条件好, 具有良好的燃烧特性, 适用煤种宽, 运行比较安全稳定, 金属用量少, 制造简单	炉排片冷却条件差, 易损坏, 更换炉排片要停炉, 负荷适应性差, 热负荷强度低	$< 6t/h$ 以下的锅炉	
沸腾燃烧炉	石煤、煤矸石、褐煤、I 类烟煤、I 类无烟煤	0 ~ 8 或 0 ~ 10	褐煤 4652 ~ 6978 石煤、煤矸石、I 类无烟煤 I 类烟煤: 2093.4 ~ 2907.5	1.1 ~ 1.25 1.1 ~ 1.25	≈ 0 ≈ 0	5 ~ 15 5 ~ 15	3000 ~ 4000 6000 ~ 7000	煤种适应广, 特别适用石煤、煤矸石、褐煤。负荷适应性强, 排烟热损失低, 氮氧化物生成量少, 金属耗量少, 设备制造简单, 价格低, 灰渣在床层中低温焙烧, 含碳量低, 便于灰渣利用。	排烟浓度大, 飞灰含碳量高, 损失大, 设备磨损严重, 耗电量大 (8 ~ 12 kW/t·h)	仅限于矿区、劣质煤产地, 在城市不宜使用。一般锅炉容量为 6 ~ 20 t/h 使用此种炉型	

(3) 锅炉应有较高的热效率, 应不低于《工业锅炉产品技术条件》(JB 2816-80)中规定的数值, 见表6.2-6。

锅炉的出力(台数配合)应能经济有效地适应用户热负荷的变化。一般燃煤锅炉的经济负荷为其额定出力的70~80%, 低负荷不应低于20~30%, 要尽量避免长期低负荷运行。

锅炉效率指标 表 6.2-6

燃料种类		燃料发热量 (kJ/kg)	锅炉容量 (t/h)			
			>1	2	4~6	>10
			效率 (%)			
石煤、煤矸石	I	<5443	44	50	53	53
	II	5443~8374	46	52	56	58
	III	>8374~11304	50	56	62	64
无烟煤	I	<20934挥发分 V' = 5~10%	52	58	62	66
	II	>20934挥发分 V' = 5%	50	54	57	60
	III	>20934挥发分 V' = 5~10%	58	60	68	73
褐煤贫煤		8374~14654	60	66	71	75
		>18841	62	68	72	76
烟煤	I	>11304~15491	56	62	65	68
	II	>15491~19678	62	70	72	74
	III	>19678	64	72	74	78
油、天然气			80	80	84	85

注: 对广东省低挥发分(V' 在15~17%)及低热值(8374~14654kJ/kg)煤种和油页岩燃料, 锅炉效率指标按本表Ⅲ类石煤效率指标考核。

(4) 应优先选用国家经委和国家机械工业部公布推广的节能锅炉产品和经中国工业锅炉行业评审委员会评审出的优良节能锅炉产品, 不得采用国家经委和机械工业部已公布淘汰的产品。

(5) 应选用消烟除尘效率较好, 有利于环境保护要求的锅炉, 一般宜选用不冒黑烟、排尘原始浓度较低的层燃锅炉。

(6) 同一锅炉房内应尽量采用相同燃烧设备, 相同容量的锅炉, 以利设计、施工、安装运行。当供热介质参数不同或冬、夏季负荷差别较大时, 也可采用不同类型及不同出力的锅炉。

(7) 所选择的锅炉应在基建、运行维修和环境保护等方面有较好的经济效益和环境效益。必要时提出不同的设计方案, 进行全面的经济技术比较, 以确定合理的方案。

(8) 对于出力在1t/h以下的锅炉, 宜采用下饲式、抽板顶升明火反烧、双层炉排、简易煤气等燃烧方式的锅炉。

(9) 在市区和民用建筑中一般不应选用沸腾锅炉, 但因使用石煤、煤矸石或不能用其他炉型有效燃烧的低挥发份无烟煤、低劣质煤燃料而必须选用沸腾锅炉时, 则锅炉烟道应设置机械排灰装置。人工清理冷灰和溢流渣时, 应有安全防护措施和较好的条件。除灰设施必须完善。

3. 锅炉台数的确定

(1) 锅炉房采用锅炉的台数应根据热负荷的调度、锅炉检修和扩建的可能性等因素确定, 一般不少于两台。当选用一台锅炉能满足热负荷和锅炉检修的需要时, 可装设一台锅炉。

采用机械加煤锅炉，且锅炉房为新建时，锅炉台数一般不超过四台，锅炉房扩建和改建时，锅炉总台数不宜超过七台。

当采用手工加煤锅炉，锅炉房新建时，锅炉的总台数不宜超过三台；改建和扩建时，锅炉总台数不宜超过五台。

(2) 锅炉房备用锅炉的设置可按下述原则确定：

1) 以采暖、通风和生活负荷为主的锅炉房，一般不设备用锅炉。锅炉的正常检修应在非采暖期进行。

2) 以生产负荷为主的锅炉房，当非采暖期至少能停用一台锅炉轮流进行检修时，可不设备用锅炉。

3) 专供生产及生活用热负荷的锅炉房，应根据生产要求考虑是否需设备用锅炉。当不设备用锅炉将使生产上发生事故或造成较大经济损失时，应设置一台备用锅炉。

(3) 如按设计规划要求，已落实近期内热负荷将有较大增长时，可选择单台出力较大的锅炉，上建设计时可预留位置，并在辅助设备选择、系统管道等方面均适当加大；对远期可能发展的热负荷在锅炉房设计时不可预留，仅在总图布置上，留出锅炉房发展所需要的场地。

6.3 锅炉送风排烟系统

6.3.1 鼓引风机配置选择要点

1. 锅炉鼓引风机宜单炉配套，小于2t/h的锅炉可按具体情况单炉或集中配置。当集中配置时，每台锅炉与总风道、总烟道的连接处，应设置密闭的闸门。

2. 单炉配套风机时，风量的富裕量一般为10%。风压的富裕量一般为20%。

3. 集中配置风机时，鼓引风机应各设两台，并使风机符合并联运行的要求，每台风机的风量和风压应能满足全部锅炉负荷的60~70%。

4. 选择鼓引风机时应尽量使风机在最高效率点附近运行，风机的转速不宜超过1450r/min。

5. 采用锅炉厂配套的鼓引风机时，设计中应注意风烟道介质流速及阻力的验算，并根据当地的大气压进行修正。

6.3.2 固体燃料燃烧的空气量及烟气量

1. 理论空气量及理论烟气量(见表6.3-1)

理论空气量及理论烟气量表

表 6.3-1

煤 质	理论空气量 V_i^0 (m^3/kg)	理论烟气量 V_g^0 (m^3/kg)
烟 煤 ($V^r > 15\%$)	$0.25 \frac{Q_{Dw}^r}{1000} + 0.278$	$0.25 \frac{Q_{Dw}^r}{1000} + 0.77$
贫煤及无烟煤 ($V^r < 15\%$)	$0.243 \frac{Q_{Dw}^r}{1000} + 0.606$	
低质煤 ($Q_{Dw}^r < 12560kJ/kg$)	$0.243 \frac{Q_{Dw}^r}{1000} + 0.455$	$0.25 \frac{Q_{Dw}^r}{1000} + 0.54$

表中 V^r ——可燃基挥发份，%

Q_{Dw}^r ——应用基低位发热量，kJ/kg。

2. 实际空气量及实际烟气体量

(1) 实际空气量 V_k (m^3/h)

$$V_k = a_L \cdot B_j \cdot V_k^0 \quad (6.3-1)$$

(2) 实际烟气体量 V_y (m^3/h)

$$V_y = a_y \cdot B_j \cdot V_y^0 \quad (6.3-2)$$

式中 a_L, a_y —— 炉膛及引风机入口过剩空气系数; $a_y = a_L + \Sigma \Delta a$ (见表6.3-2)

B_j —— 锅炉额定负荷时燃料消耗量, kg/h。

炉膛过剩空气系数 a_L 和烟道漏风系数 Δa

表 6.3-2

燃煤 锅炉	燃烧方式	手烧炉	抛煤机炉	链条炉	振动炉	往复炉	煤粉炉	沸腾炉	
	a_L		1.35~1.45	1.4	1.3(烟煤) 1.35(无烟煤)	1.3	1.3	1.2~1.25	1.05~1.1
烟道	烟道名称	炉膛	过热器	锅炉管束	钢管省煤器	铸铁省煤器	空气预热器	除尘器	每10m长 砖烟道
	Δa	0.1	0.05	0.15	0.1	0.2	0.1	0.05	0.05

6.3.3 锅炉风烟道系统阻力

1. 送风系统阻力 $\Sigma \Delta h_r$ (Pa)

$$\Sigma \Delta h_r = \Delta h_{k-k} + \Delta h_r + \Delta h_m + \Delta h_j \quad (6.3-3)$$

式中 Δh_{k-k} —— 空气预热器空气侧阻力 (制造厂提供), Pa;

Δh_r —— 燃烧设备阻力, Pa;

Δh_m —— 风 (烟) 道摩擦阻力, Pa;

Δh_j —— 风 (烟) 道局部阻力, Pa。

(1) 燃烧设备阻力 Δh_r (Pa)

燃烧设备阻力 (包括炉排和煤层阻力) 与炉排结构、燃料特点与粒度、炉排燃烧率等因素有关, 应综合以上诸因素进行考虑。具体可按表6.3-3、6.3-4、6.3-5进行选用。

炉排面积热负荷和燃烧率

表 6.3-3

指 标	燃 烧 方 式				
	手 烧 炉	链 条 炉 排	振 动 炉 排	倾 斜 往 复 炉 排	抛 煤 机 翻 转 炉 排
炉排面积热负荷 $BQ_{D,w}^0 / R$ W/m^2	697.8~930.4 × 10 ³	烟 煤 581.5~1046 × 10 ³ 无 烟 煤 581.5~814.1 × 10 ³	>1163 × 10 ³	自然通风: 697.8 × 10 ³ 机械通风: 冷风 756 × 10 ³ 热风 814.1~930.4 × 10 ³	930.4~1163 × 10 ³
燃 烧 率 (kg/m ² ·h)	自然通风 75~120 机械通风 120~150	自然通风 100~150 机械通风 150~250	机械通风 100~200	>120	自然通风 80~150 机械通风 140~180

炉排和煤层压力损失与燃烧率的关系

表 6.3-4

煤 种	燃 烧 率 (kg/m ² ·h)			
	50	100	150	200
	压 力 损 失 (kPa)			
烟煤 (手烧)	0.01~0.02	0.03~0.04	0.05~0.07	0.08~0.10
粉烟煤 (手烧)	0.02~0.04	0.04~0.06	0.07~0.09	0.11~0.13
烟煤 (机械化层燃炉)	0.02~0.04	0.05~0.07	0.10~0.13	0.15~0.18
粉烟煤 (机械化层燃炉)	0.03~0.05	0.08~0.10	0.14~0.16	0.23~0.25
贫煤 (机械化层燃炉)	0.03~0.05	0.07~0.08	0.12~0.15	0.19~0.22
无烟煤 (机械化层燃炉)	0.04~0.06	0.12~0.15	0.23~0.25	0.36~0.40

层燃炉排下的空气压力

表 6.3-5

炉 排 型 式	炉排下风压(kPa)	炉 排 型 式	炉排下风压 (kPa)
倾斜往复炉排、振动炉排	0.2~0.50	风力抛煤机反转链条炉排	0.30~0.60
快装锅炉链条炉排	0.35~0.70	风力抛煤机翻转炉排	0.30~0.60

(2) 风 (烟) 道摩擦阻力 Δh_m (Pa)

$$\Delta h_m = \lambda \frac{L}{d_{dL}} \frac{\rho \omega^2}{2} = \lambda \frac{L}{d_{dL}} H_d \quad (6.3-4)$$

式中 λ ——摩擦阻力系数, 可按表6.3-6选取;
 L ——管道长度, m;
 d_{dL} ——管道当量直径, m;
 对于圆形管道, d_{dL} 为其内径; 对于非圆形管道, $d_{dL} = \frac{4F}{U}$;
 F ——管道截面积, m²;
 U ——管道壁面的接触周界, m;
 ρ ——空气 (烟气) 密度, kg/m³;
 ω ——空气 (烟气) 流速, m/s;
 H_d ——动压头, Pa。

风 (烟) 道摩擦阻力系数

表 6.3-6

风 (烟) 道类别	λ 值	风 (烟) 道类别	λ 值
无耐火内衬的钢板烟风道	0.02	当 $d_{dL} < 0.9$ m 时	0.04
有耐火内衬的钢板烟风道、砖与混凝土烟道	0.03	金属烟囱	0.03
当 $d_{dL} > 0.9$ m 时		砖和混凝土烟囱	0.05

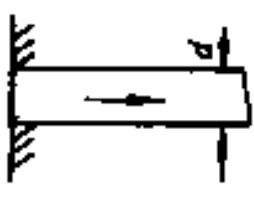
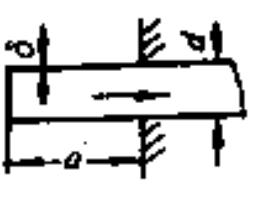
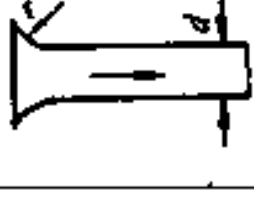
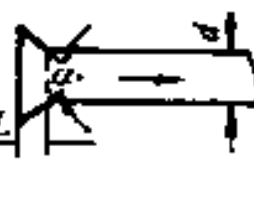

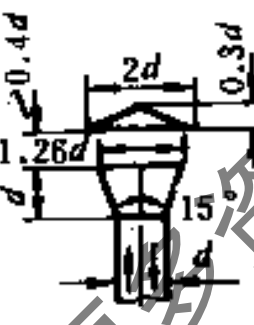

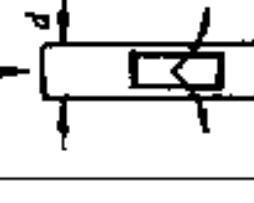

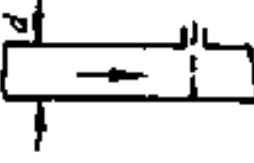
(3) 风 (烟) 道局部阻力 Δh_j (Pa)

$$\Delta h_j = \zeta \frac{\omega^2 \rho}{2} = \zeta \cdot H_d \quad (6.3-5)$$

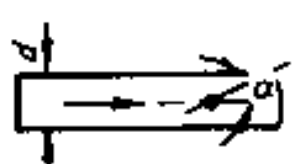
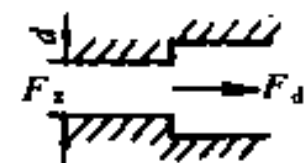
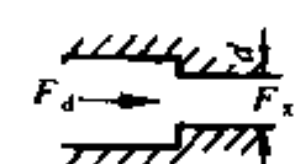


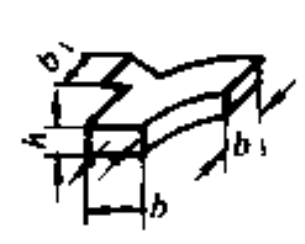
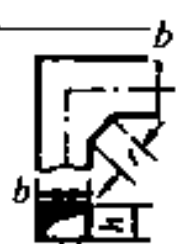
式中 ζ ——局部阻力系数, 见表6.3-7;

局部阻力系数 ζ

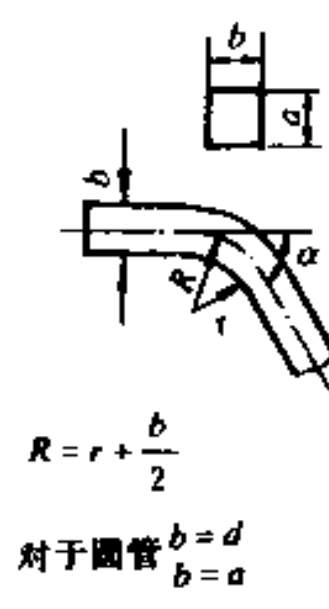

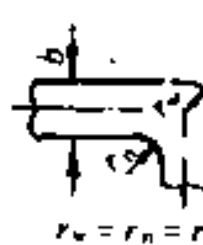

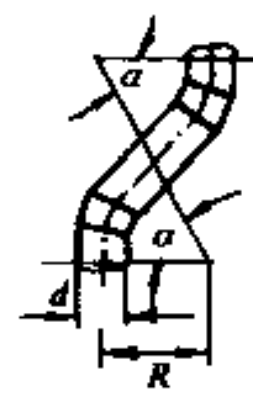
表 6.3-7

序号	名称	示意图	局部阻力系数(对应于尺寸 d , b 或 F 处截面积的值)								
1	管端与壁平齐的入口		$\zeta = 0.5$								
2	管端凸出的入口		$\delta/d = 0$; $a/d > 0.2 \quad \zeta = 1.0$ $0.05 < a/d < 0.2 \quad \zeta = 0.85$				$\delta/d > 0.04$; $\zeta = 0.5$				
3	喇叭形入口		$r/d = 0.05$ 与壁平齐的 $\zeta = 0.25$ 凸出的 $\zeta = 0.4$				与壁平齐的或凸出的 $r/d = 0.1 \quad \zeta = 0.12$ $r/d = 0.2 \quad \zeta = 0.02$				
4	锥形入口		与壁平齐的或凸出的 $L = 0.2d$ $L > 0.3d$ $\alpha = 30^\circ \quad \zeta = 0.4$ $\zeta = 0.2$ $\alpha = 50^\circ \quad \zeta = 0.2$ $\zeta = 0.15$ $\alpha = 90^\circ \quad \zeta = 0.25$ $\zeta = 0.2$								
5	经网格或孔板的通道入口		$\zeta = \left(1.707 \frac{F}{F_1} - 1 \right)^2$ 式中 F_1 —— 网格或孔板的有效截面; F —— 通道的有效截面								
6	罩下通道入口或出口		吸气时 $\zeta = 0.5$ 排气时 $\zeta = 0.65$								
7	管道出口		$\zeta = 1.1$								
8	单个侧孔出口		$\zeta = 2.5$								
9	全开状态的闸板或转动挡板		$\zeta = 0.1$								
10	闸板		开启程度 (%)		5	10	30	50	70	90	100
			ζ		1000	200	18	4	1	0.22	0.1

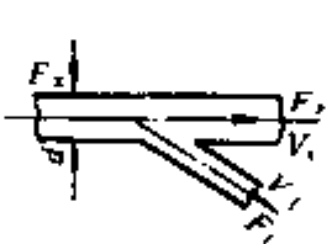
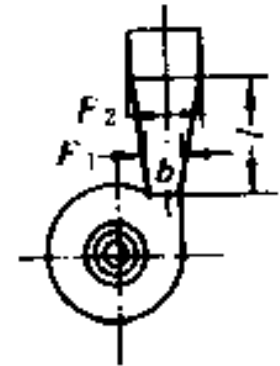
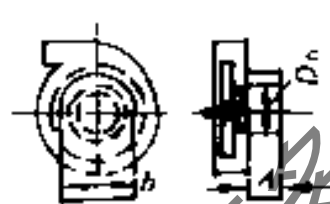

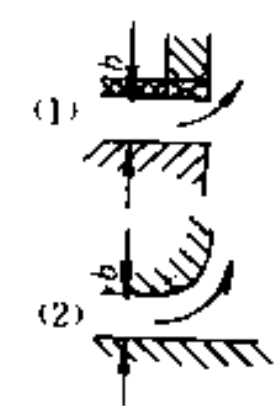
续表

序号	名称	示意图	局部阻力系数(对应于尺寸 d, b 或 F 处截面积的值)																																																												
11	转动挡板		ζ 值																																																												
			<table border="1"> <tr> <td>$a^\circ \backslash n$</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> <td>70</td> <td>80</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0.3</td> <td>1.0</td> <td>2.5</td> <td>7</td> <td>20</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>1500</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.4</td> <td>1.0</td> <td>2.5</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>30</td> <td>50</td> <td>350</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.2</td> <td>0.7</td> <td>2.0</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>160</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.25</td> <td>0.8</td> <td>2.0</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>100</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.2</td> <td>0.6</td> <td>1.8</td> <td>3.5</td> <td>7</td> <td>13</td> <td>28</td> <td>80</td> <td>4000</td> </tr> </table>	$a^\circ \backslash n$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	1	0.3	1.0	2.5	7	20	60	100	1500	8000	2	0.4	1.0	2.5	4	8	30	50	350	6000	3	0.2	0.7	2.0	5	10	20	40	160	6000	4	0.25	0.8	2.0	4	8	15	30	100	6000	5	0.2	0.6	1.8	3.5	7	13	28	80	4000
			$a^\circ \backslash n$	10	20	30	40	50	60	70	80	90																																																			
			1	0.3	1.0	2.5	7	20	60	100	1500	8000																																																			
			2	0.4	1.0	2.5	4	8	30	50	350	6000																																																			
			3	0.2	0.7	2.0	5	10	20	40	160	6000																																																			
4	0.25	0.8	2.0	4	8	15	30	100	6000																																																						
5	0.2	0.6	1.8	3.5	7	13	28	80	4000																																																						
n —叶片数																																																															
12	突然扩大		F_x/F_d	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0																																																						
			ζ	1.1	0.7	0.4	0.18	0.1	0																																																						
13	突然缩小		F_x/F_d	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0																																																						
			ζ	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0																																																						
14	直通道中 扩张管		$a < 40^\circ$ 时, $\zeta = K \zeta_0$; ζ_0 按12项取用																																																												
			a°	5	10	20	30	40																																																							
			K	0.07	0.17	0.43	0.81	1.0																																																							
$a > 40^\circ$ 时, 按12项突然扩大取用, $\text{tg} \frac{a}{2} = \frac{d_1 - d}{2L}$, 矩形截面 a 取最大角度																																																															
15	直通道中 收缩管		$a < 20^\circ$ $\zeta = 0$ $a = 0^\circ \sim 60^\circ$ $\zeta = 0.1$ $a > 60^\circ$ 时, 按13项突然缩小取用																																																												
			$\text{tg} \frac{a}{2} = \frac{d_1 - d}{2L}$																																																												
16	三通管道	 $F = bh, f = b_1, h$	f/F 为下值时的 ζ_z 值 (ζ_z —支管阻力系数)																																																												
			<table border="1"> <tr> <td>f/F</td> <td>0.5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>工况</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>分流</td> <td>0.304</td> <td>0.247</td> </tr> <tr> <td>合流</td> <td>0.233</td> <td>0.072</td> </tr> </table>	f/F	0.5	1	工况			分流	0.304	0.247	合流	0.233	0.072																																																
			f/F	0.5	1																																																										
工况																																																															
分流	0.304	0.247																																																													
合流	0.233	0.072																																																													
<table border="1"> <tr> <td>工况</td> <td>0.5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>分流</td> <td>0.304</td> <td>0.247</td> </tr> <tr> <td>合流</td> <td>0.233</td> <td>0.072</td> </tr> </table>	工况	0.5	1	分流	0.304	0.247	合流	0.233	0.072																																																						
工况	0.5	1																																																													
分流	0.304	0.247																																																													
合流	0.233	0.072																																																													
17	转 角		$r = 0.10 b$ 时 $\zeta = 0.80$																																																												
			$r = 0.25 b$ 时 $\zeta = 0.50$																																																												

续表

序号	名称	示意图	局部阻力系数(对应于尺寸 d, b 或 F 处截面积的值)																																
18	缓弯头	 <p>$R = r + \frac{b}{2}$ 对于圆管 $b=d$ $b=a$</p>	$\zeta = \zeta_0 K_a K_{a/b}$																																
			<table border="1"> <tr> <td>R/b</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>ζ_0</td> <td>1.0</td> <td>0.68</td> <td>0.48</td> <td>0.36</td> <td>0.28</td> <td>0.20</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>a°</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>90</td> <td>120</td> <td>150</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>K_a</td> <td>0</td> <td>0.45</td> <td>0.75</td> <td>1.0</td> <td>1.9</td> <td>2.6</td> <td>3.0</td> </tr> </table>	R/b	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	ζ_0	1.0	0.68	0.48	0.36	0.28	0.20	0.15	a°	0	30	60	90	120	150	180	K_a	0	0.45	0.75	1.0	1.9	2.6	3.0
			R/b	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0																									
			ζ_0	1.0	0.68	0.48	0.36	0.28	0.20	0.15																									
			a°	0	30	60	90	120	150	180																									
			K_a	0	0.45	0.75	1.0	1.9	2.6	3.0																									
			<table border="1"> <tr> <td>$K_{a/b}$</td> <td>a/b</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>3.0</td> <td>4.0</td> <td>8.0</td> </tr> <tr> <td>R/b</td> <td>< 2</td> <td>1.22</td> <td>1.14</td> <td>1.07</td> <td>1.0</td> <td>0.86</td> <td>0.85</td> <td>0.9</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>R/b</td> <td>> 2</td> <td>1.55</td> <td>1.35</td> <td>1.15</td> <td>1.0</td> <td>0.45</td> <td>0.40</td> <td>0.43</td> <td>0.6</td> </tr> </table>	$K_{a/b}$	a/b	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0	8.0	R/b	< 2	1.22	1.14	1.07	1.0	0.86	0.85	0.9	1.0	R/b	> 2	1.55	1.35	1.15	1.0	0.45	0.40	0.43	0.6		
$K_{a/b}$	a/b	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0	8.0																										
R/b	< 2	1.22	1.14	1.07	1.0	0.86	0.85	0.9	1.0																										
R/b	> 2	1.55	1.35	1.15	1.0	0.45	0.40	0.43	0.6																										
19	焊接弯头		$\zeta = \zeta_0 K_a$																																
			<table border="1"> <tr> <td>R/d</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>ζ_0</td> <td>1.0</td> <td>0.87</td> <td>0.80</td> <td>0.74</td> <td>0.70</td> <td>0.34</td> <td>0.23</td> </tr> </table>	R/d	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	ζ_0	1.0	0.87	0.80	0.74	0.70	0.34	0.23																
			R/d	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0																									
ζ_0	1.0	0.87	0.80	0.74	0.70	0.34	0.23																												
K_a 同序号18																																			
20	内外侧均呈弧形的急弯头	 <p>$r_o = r_n = r$</p>	$\zeta = \zeta_0 K_a K_{a/b}$																																
			<table border="1"> <tr> <td>r/b</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>ζ_0</td> <td>0.84</td> <td>0.53</td> <td>0.38</td> <td>0.32</td> <td>0.27</td> <td>0.25</td> </tr> </table>	r/b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	ζ_0	0.84	0.53	0.38	0.32	0.27	0.25																		
			r/b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6																										
ζ_0	0.84	0.53	0.38	0.32	0.27	0.25																													
K_a 及 $K_{a/b}$ 同序号18																																			
21	内侧呈弧形的急弯头		$\zeta = \zeta_0 K_a K_{a/b}$																																
			<table border="1"> <tr> <td>r/b</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>ζ_0</td> <td>1.05</td> <td>0.83</td> <td>0.70</td> <td>0.63</td> <td>0.57</td> <td>0.53</td> <td>0.50</td> </tr> </table>	r/b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	ζ_0	1.05	0.83	0.70	0.63	0.57	0.53	0.50																
			r/b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7																									
ζ_0	1.05	0.83	0.70	0.63	0.57	0.53	0.50																												
K_a 及 $K_{a/b}$ 同序号18																																			
22	等错弯头		$\zeta = \zeta_0 K_{a/b}$																																
			<table border="1"> <tr> <td>R/d</td> <td>ζ_0</td> <td>a°</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td></td> <td></td> <td>0.18</td> <td>0.25</td> <td>0.30</td> <td>0.39</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td></td> <td></td> <td>0.23</td> <td>0.30</td> <td>0.38</td> <td>0.48</td> </tr> </table>	R/d	ζ_0	a°	30	45	60	90	1.5			0.18	0.25	0.30	0.39	1.0			0.23	0.30	0.38	0.48											
			R/d	ζ_0	a°	30	45	60	90																										
			1.5			0.18	0.25	0.30	0.39																										
1.0			0.23	0.30	0.38	0.48																													
$K_{a/b}$ 同序号18																																			

续表

序号	名称	示意图	局部阻力系数(对应于尺寸 d, b 或 F 处截面积的值)																																				
23	不对称分支三通	 <p>F_2—主管截面积; F_1—分支管截面积; V_1—分支管风量份额; V_2—主管风量份额 $V_2 + V_1 = 1$</p>	<p>分支管局部阻力系数 $\zeta = V_1^2 (F_2 / F_1)^2 \zeta_0$</p> <table border="1"> <tr> <td>$V_1 (F_2 / F_1)$</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>ζ_0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>4</td> <td>1.4</td> <td>0.7</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>7</td> <td>3</td> <td>1.8</td> <td>1.3</td> <td>0.3</td> <td>0.6</td> </tr> </table>	$V_1 (F_2 / F_1)$	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	ζ_0							45	4	1.4	0.7	0.5	0.4	0.5	90	7	3	1.8	1.3	0.3	0.6								
			$V_1 (F_2 / F_1)$	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0																														
			ζ_0																																				
			45	4	1.4	0.7	0.5	0.4	0.5																														
			90	7	3	1.8	1.3	0.3	0.6																														
<p>主管局部阻力系数 $\zeta = V_2^2 \zeta_0$</p> <table border="1"> <tr> <td>V_2</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>ζ_0</td> <td>5.0</td> <td>0.9</td> <td>0.2</td> <td>0.02</td> <td>0</td> </tr> </table>			V_2	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	ζ_0	5.0	0.9	0.2	0.02	0																									
V_2	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0																																		
ζ_0	5.0	0.9	0.2	0.02	0																																		
<p>注: 如果用截面F_2上的速度来计算阻力, 则ζ值应为表内数值的$(F_2 / F_1)^2$倍</p>																																							
<p>注: 如果用截面F_2上的速度来计算阻力, 则ζ值应为表内数值的$(F_2 / F_1)^2$倍</p>																																							
24	风机出口的渐扩管道		<table border="1"> <tr> <td>F_2 / F_1</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>3.0</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>l/b</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.20</td> <td>0.47</td> <td>0.60</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.04</td> <td>0.22</td> <td>0.40</td> <td>0.54</td> <td>0.70</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td></td> <td>0.12</td> <td>0.22</td> <td>0.35</td> <td>0.47</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> <td></td> <td></td> <td>0.15</td> <td>0.24</td> <td>0.34</td> </tr> </table>	F_2 / F_1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	l/b						1.0	0.20	0.47	0.60			2.0	0.04	0.22	0.40	0.54	0.70	3.0		0.12	0.22	0.35	0.47	4.0			0.15	0.24	0.34
			F_2 / F_1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5																															
			l/b																																				
			1.0	0.20	0.47	0.60																																	
			2.0	0.04	0.22	0.40	0.54	0.70																															
3.0		0.12	0.22	0.35	0.47																																		
4.0			0.15	0.24	0.34																																		
<p>注: 如果用截面F_2上的速度来计算阻力, 则ζ值应为表内数值的$(F_2 / F_1)^2$倍</p>																																							
<p>注: 如果用截面F_2上的速度来计算阻力, 则ζ值应为表内数值的$(F_2 / F_1)^2$倍</p>																																							
<p>注: 如果用截面F_2上的速度来计算阻力, 则ζ值应为表内数值的$(F_2 / F_1)^2$倍</p>																																							
<p>注: 如果用截面F_2上的速度来计算阻力, 则ζ值应为表内数值的$(F_2 / F_1)^2$倍</p>																																							
25	吸风机或送风机的进口		$\zeta = 0.7$																																				
26	二次风蜗壳		<p>当 $a/b = 0.3 \sim 0.9$; $d_0/d < 0.61$; $ab/d^2 = 0.55 \sim 0.72$; $\zeta = 5.0$(已包括出口损失)</p>																																				
27	烟囱入口		图1 $\zeta = 1.4$																																				
			图2 $\zeta = 0.9$																																				

(4) 动压头 H_d (Pa)计算图,见图6.3-1。

2. 烟气系统阻力 $\Sigma \Delta h_y$ (Pa)

$$\Sigma \Delta h_y = \Delta h_L + \Delta h_g + \Delta h_s + \Delta h_{k-y} + \Delta h_c + \Delta h_m + \Delta h_j + \Delta h_{yc} \quad (6.3-6)$$

式中 Δh_L —— 炉膛负压, Pa;
 当有鼓风机时, $\Delta h_L = 20 \sim 40$ Pa;
 当无鼓风机时, $\Delta h_L = 40 \sim 80$ Pa;

Δh_g —— 锅炉本体 (受热面管束) 阻力, Pa;

Δh_s —— 省煤器阻力, Pa;

Δh_{k-y} —— 空气预热器烟气侧阻力, Pa;

Δh_c —— 除尘器阻力, Pa;

Δh_m —— 烟道摩擦阻力, Pa;

Δh_j —— 烟道局部阻力, Pa;

Δh_{yc} —— 烟囱阻力 (包括烟囱摩擦阻力和出口阻力), Pa。

由锅炉厂提供

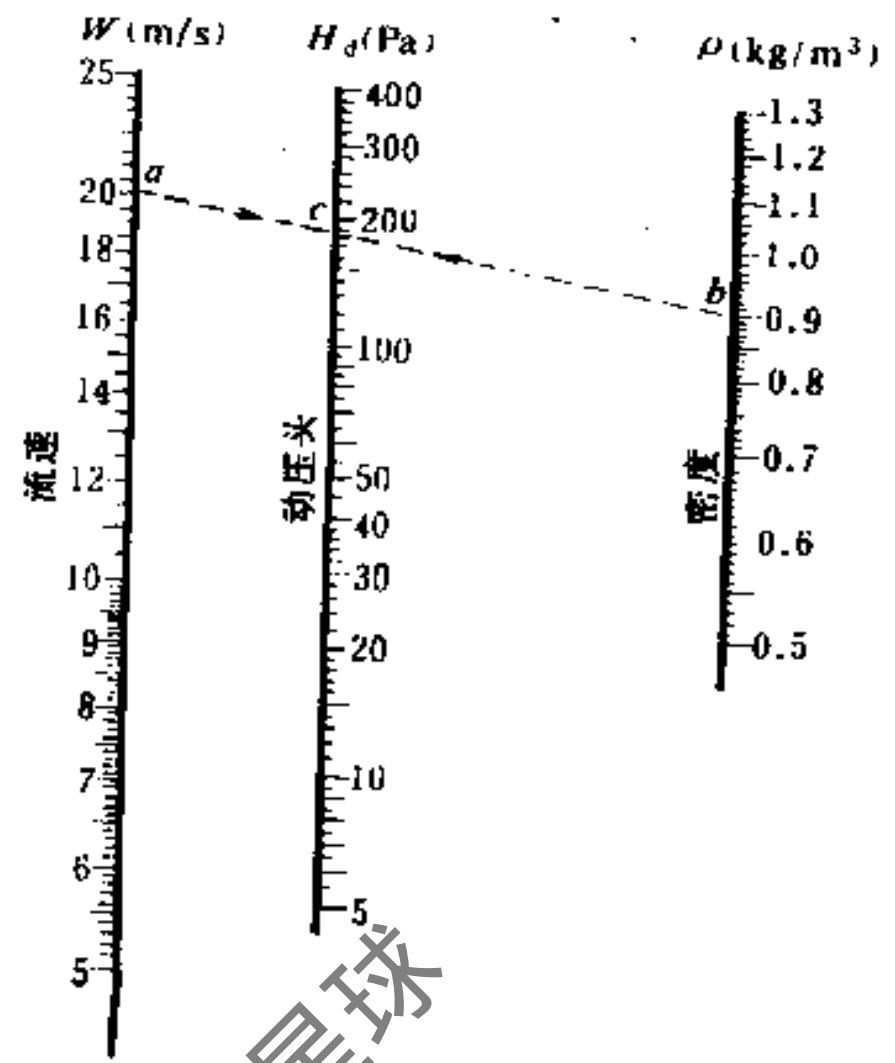


图 6.3-1 动压头 H_d 计算图

烟气在标准状况下(0℃, 100kPa)的密度为 $\rho_{02} = 1.34 \text{ kg/m}^3$

空气在标准状况下(0℃, 100kPa)的密度为 $\rho_{01} = 1.293 \text{ kg/m}^3$ 。

密度的温度修正为: $\rho_t = \rho_0 \frac{273}{273+t} \text{ kg/m}^3$

6.3.4 鼓引风机的计算

1. 鼓风机的计算

$$\text{风量 } V_1 = 1.10 V_k \cdot C_{11}^k \cdot C_p, \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{风压 } H_1 = 1.20 \Sigma \Delta h_{f1} \cdot C_{12}^k \cdot C_p, \text{ Pa} \quad (6.3-7)$$

2. 引风机的计算

$$\text{风量 } V_2 = 1.10 V_y \cdot C_{11}^y \cdot C_p, \text{ m}^3/\text{h} \quad (6.3-8)$$

$$\text{风压 } H_2 = 1.20 (\Sigma \Delta h_{f2} - S_y) \cdot C_{12}^y \cdot C_p \cdot C_y, \text{ Pa} \quad (6.3-9)$$

$$\text{式中 } C_{11}^k, C_{12}^k, C_{11}^y, C_{12}^y \text{ —— 空气及烟气的温度校正系数, 见表6.3-8; } \quad (6.3-10)$$

空气、烟气温度校正系数

表 6.3-8

t_k, t_y (°C)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
$C_{11}^k = \frac{273+t_k}{273}$	1.073	1.147	1.22										
$C_{11}^y = \frac{273+t_y}{273}$				1.293	1.366	1.440	1.513	1.586	1.660	1.733	1.806	1.879	1.952
$C_{12}^k = \frac{273+t_k}{273+20}$	1.00	1.068	1.137										
$C_{12}^y = \frac{273+t_y}{273+200}$				0.746	0.789	0.831	0.873	0.915	0.958	1.00	1.042	1.058	1.127

t_k, t_y ——分别为进入风机的空气温度及烟气温度, $^{\circ}\text{C}$;

C_p ——大气压力修正系数, 见表6.3-9;

大气压力修正系数 C_p

表 6.3-9

海拔高度 (m)	0	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
大气压力 b (Pa)	101325	99325	96259	94392	92526	90526	84660	79060	74394	70394		
$C_p = \frac{101325}{b}$	1	1.02	1.05	1.07	1.10	1.12	1.20	1.28	1.36	1.44	1.62	1.82

C_y ——烟气介质密度修正系数, $C_y = \frac{1.293}{1.34} = 0.965$;

S_y ——烟囱抽力, Pa。

3. 送风量及排烟量的估算 (见表6.3-10)

层燃炉单位容量 (1t/h 或0.7MW) 的送风量及排烟量

表 6.3-10

代表煤种	Q_{dw} (kJ/kg)	过剩空气系数		送风量 (m ³ /h)	排烟温度 ($^{\circ}\text{C}$)			
		炉膛 a_1	排烟 a_{py}		150	200	250	300
W III	24394	1.35	1.65	1600	2980	3330	3680	4030
P	20875	1.35	1.65	1620	2850	3180	3520	3860
A II	17671	1.30	1.60	1500	2870	3210	3550	3890
A III	22183	1.30	1.60	1280	2450	2740	3030	3310

注: 1. 表中已计入10%的富裕量;

2. 选用时应进行大气压力修正 (本表 $C_p = 1$)。

4. 二次风机的计算

风量: 对一般层燃炉, 二次空气量约占燃烧需要空气量的8~15%。当燃煤的挥发分高时, 取较大数值。

风压: 根据所需要的射程确定, 一般选用2.5~4.0kPa。风压与射程的关系可按表6.3-11选取。

二次风风压、喷嘴直径和射程的关系

表 6.3-11

要求风压 (kPa)	1.20			1.50			2.20			3.00		
喷嘴直径 (mm)	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
射程 (m)	2.70	3.40	4.00	3.40	4.20	5.10	4.10	5.00	6.10	4.80	5.90	7.10
风速 (m/s)	40			50			60			70		

5. 风机的电动机功率 N (kW)

$$N = \beta \frac{V \cdot H}{3600 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3} \quad \text{kW} \quad (6.3-11)$$

式中 V ——风机风量, m^3/h ;

H ——风机风压, kPa;

β ——电机备用系数, 按表6.3-12选用;

η_1 ——风机全压时的效率。普通风机为0.6~0.7, 高效风机达0.9;

η_2 ——机械传动效率, 按表6.3-13选用;

η_3 ——电动机效率, 常取0.9。

电动机备用系数 β

表 6.3-12

电动机功率 (kW)		<0.5	1.0	2.0	5.0	>5.0
备用系数 β	皮带传动	2.0	1.5	1.3	1.2	1.1
	直 联	1.15	1.15	1.15	1.0	1.0

机 械 传 动 效 率 η_2

表 6.3-13

风机与电动机传动方式	直 联	联 轴 器	三 角 皮 带	平 皮 带
η_2	1.00	0.95~0.98	0.9~0.95	0.80

6. 常用鼓、引风机技术参数, 见表6.3-14

常用鼓、引风机技术参数

表 6.3-14

技术参数 锅炉容量 (t/h) (MW)	鼓 风 机			引 风 机			
	风 量 (m ³ /h)	风 压 (Pa)	电机功率 (kW)	烟气温度 (°C)	烟 气 量 (m ³ /h)	风 压 (Pa)	电机功率 (kW)
1 (0.7)	1800~2000	600~900	<1.5	250	3200~4000	2000~2400	<4
2 (1.4)	3600~4000	600~900	<3	220	6000~7500	2200~2600	<7.5
4 (2.8)	5500~7200	600~900	<5.5	200	10000~16000	2800~3400	<17
6 (4.2)	6000~10000	1500~1800	<7.5	<200	16000~22000	2200~3000	<30
10 (7.0)	14000~22000	1600~2300	<17	<200	25000~34000	2500~3000	<40
20 (14.0)	30000~40000	2300~3000	<40	<200	50000~70000	2200~3000	<75

6.3.5 风烟道及烟囱设计

1. 风烟道的设计原则

(1) 风烟道应力求平直、附件少、气密性好和有较好的空气动力特性。当几台锅炉共用烟道、烟囱时, 应尽量使每台锅炉的引力均衡。

(2) 铸铁省煤器宜设旁通烟道和严密的烟道闸门。当采用通过省煤器并接到给水箱的循环管时, 可不设旁通烟道。

(3) 送风管道可布置在地上或地下。当布置在地上时, 应不妨碍交通和操作, 地下风道应考虑防水和积水的排除措施。

(4) 烟道宜采用地上布置, 水平烟道顺气流方向宜有 $i = 0.03$ 的向上坡度。烟道的适当位置应设置清扫孔, 其尺寸不应小于400(宽) × 500(高) mm。

(5) 多台锅炉合用总烟、风道时,在与总烟风道连接的支烟风道上,应装设能完全开启的闸板阀或调风蝶阀。

(6) 风机的调节装置应设在风机的进口处。鼓风机的进风口应做网格,网格的有效面积不应小于风机进口的截面积。

(7) 钢板风烟道的钢板厚度,可按下列数值采用:冷风道 3mm、热风道和烟道 3~4mm。矩形钢板风烟道应配置足够的加强筋,以保证其强度和刚度的要求。

(8) 钢板热风道和烟道结构,应考虑热膨胀补偿。砖砌或钢筋混凝土热风道和烟道每隔25m应设伸缩缝。

(9) 使用含硫量高的燃料时,烟道和烟囱应采取防腐蚀措施。当烟气中 SO_2 含量小于 1% 时,金属烟道和烟囱宜刷耐热防锈漆;当 SO_2 含量大于 1% 时,金属烟道、烟囱宜采用耐腐蚀性材料制作,砖砌或钢筋混凝土的烟道、烟囱也应采用抗腐蚀性材料和砂浆。

(10) 砖砌烟道及烟囱的内衬,当烟温小于 400°C 时,可用 100 号机砖砌筑;当烟温大于 400°C 时,应采用耐火砖和耐火砂浆砌筑,且烟道墙面宜用双层,层间留有 30~40mm 的空气层,也可留 20~30mm 空隙,内填石棉绳。

(11) 室外烟道应避免在墙上产生凝结水,烟道外表面应作粉刷,并应考虑排除雨水措施。

(12) 为便于烟道清灰,烟道净宽应 $\leq 0.6\text{m}$,净高宜 $\leq 1.5\text{m}$ 。

(13) 安装在室内的引风机,钢板烟道和热风道均应保温。当室温为 25°C 时,保温层外表的温度 $> 50^\circ\text{C}$,并应保证烟道内表面的温度高于烟气的露点温度 $10\sim 20^\circ\text{C}$ 。

2. 烟囱设计原则

(1) 自然通风的锅炉,烟囱高度应使其产生的抽力能克服锅炉本体及烟道系统的压力损失外,并能保证炉膛出口有 $40\sim 80\text{Pa}$ 的负压。

全年运行的自然通风锅炉房,应分别以冬季、夏季室外温度和相应最大蒸发量时的烟气流压力损失来计算烟囱高度。

每m 烟囱高度能产生的抽力见表 6.3-19。

每m 长烟道和烟囱的温降参考数值:砖砌 $\sim 0.5^\circ\text{C}$ 、钢板制 $\sim 2^\circ\text{C}$ 。

(2) 烟囱高度的确定,必须符合“锅炉大气污染物排放标准”(GB 13271-91)中的规定,见表 6.3-22、表 6.3-23。

(3) 当锅炉房因位于机场附近,或因其他原因烟囱高度不能满足要求时,应取得当地环保等有关部门的同意,并需考虑采取提高除尘效率和增加引力等措施。

(4) 砖砌烟囱和钢筋混凝土烟囱结构,应符合下列要求:

- 烟囱应设置耐热的内衬,内衬材料和高度应符合表 6.3-15 的规定。
- 为了便于施工,砖砌圆形烟囱的出口内径不宜小于 0.8m ,当直径较小时宜做成方形。
- 烟囱下部应设清灰孔,清灰孔在锅炉运行期间应严格密封(可用黄泥、砖密封)。
- 烟囱底部应设置比水平烟道入口底部低 $0.5\sim 1\text{m}$ 的积灰坑。
- 当烟囱与水平烟道有两个接口时,两个接口一般应相对布置,并用与烟道成 45° 角的隔墙分开。隔墙高出水平烟道入口顶部应不小于烟道高度的 $1/2$ 。
- 烟道在与烟囱连接处,应留有伸缩缝。

烟 囱 内 衬 材 料 和 高 度

表 6.3-15

排烟温度 (°C)	内衬材料	内衬厚度	内衬高度	备 注
>500	耐火粘土砖或耐热混凝土块	底段20m内不小于1砖厚, 其余部分厚度不小于半砖	和烟囱外筒体一样高	1. 建筑物内的烟囱内衬应与烟囱一样高, 或超出建筑物屋顶, 并不低于独立烟囱内衬高度 2. 使用含硫高的燃料时, 烟囱应用耐腐蚀材料, 或烟囱内壁敷设耐热砖衬或粉耐酸水泥
400~500	不低于75号红砖		不小于烟囱高度的一半	
250~400				
<250				

- 通常应在烟囱顶部涂刷耐酸漆。
- 烟囱应设置爬梯和避雷装置。
- 飞机场和飞行航道附近的烟囱, 应装设信号灯, 刷标志色。

(5) 钢板制烟囱设计应符合下列要求:

• 应有足够的强度和刚度。烟囱壁厚还应考虑有一定量的腐蚀裕量。一般当烟囱高度为20~40m, 直径为0.2~1.0m, 无内衬时, 壁厚可取4~10mm; 有内衬时壁厚取8~18mm。

• 当烟囱高度与其直径之比超过20倍时, 必须设置可靠的牵引拉绳, 拉绳沿圆周等弧度布置3~4根。

• 烟囱与基础连接部分, 宜做成倒锥形, 基础宜采用混凝土捣制。

• 烟囱内外壁应刷耐热防腐油漆。

• 当采用带内衬的钢烟囱时, 内衬应分段支承, 每段长4~6m。内衬和筒壁宜保持2~5mm的间隙。

为加强烟囱顶部和保护内衬不受雨淋, 烟囱顶部需设置环状护板。

• 烟囱应设避雷装置, 一般尚应设置检修爬梯。

3. 风烟道及烟囱尺寸的确定

(1) 风烟道及烟囱出口截面 F (m^2)计算

$$F = \frac{V}{3600 \cdot \omega} \quad (6.3-12)$$

式中 V ——空气或烟气的流量, m^3/h ;

ω ——空气或烟气的流速, m/s 。可按表6.3-16推荐值选用。

风、烟道及烟囱出口气体流速 (m/s)

表 6.3-16

名称 流速(m/s)	风 道	烟 道		烟 囱 出 口			
		自然通风	机械通风	自 然 通 风		机 械 通 风	
				全负荷时	最低负荷时	全负荷时	最低负荷时
风、烟道材料							
砖或混凝土	4~8	3~5	6~8	6~10	2.5~3	10~20	4~5
钢 板	10~15	8~10	10~15				

(2) 层燃炉单位容量风烟道及烟囱出口截面, 见表6.3-17。

层燃炉单位容量 (1t/h蒸汽或0.7MW热水) 所需风、
烟道及烟囱出口截面积 (m²)

表 6.3-17

数值 / 名称		冷风道 (20℃)		烟道		烟囱出口	
		非金属制	金属制	非金属制	金属制	全负荷时	最低负荷时不大于
自然通风	蒸汽($T_{py} = 250 \sim 300^\circ\text{C}$)	—	—	0.18~0.30	0.09~0.11	0.10~0.15	0.33
	热水($T_{py} = 150 \sim 200^\circ\text{C}$)	—	—	0.17~0.25	0.084~0.09	0.084~0.12	0.28
机械通风	蒸汽($T_y = 150 \sim 250^\circ\text{C}$)	0.049	0.032~0.039	0.10~0.12	0.055~0.072	0.045~0.072	0.18
	热水($T_y = 150 \sim 200^\circ\text{C}$)	0.049	0.032~0.039	0.10~0.12	0.055~0.072	0.042~0.072	0.17

4. 烟囱抽力和烟囱高度

(1) 烟囱抽力 S_y (Pa)

$$S_y = H \left(\rho_k^0 \frac{273}{273 + t_k} - \rho_y^0 \frac{273}{273 + \bar{t}_y} \right) \frac{9.8}{C_p} \quad (6.3-13)$$

$$= H \left(\frac{3459}{273 + t_k} - \frac{3585}{273 + \bar{t}_y} \right) \frac{1}{C_p}$$

式中 H ——烟囱高度, m;

ρ_k^0, ρ_y^0 ——标准状态下空气和烟气的密度, 分别取1.293和1.340kg/m³;

t_k, \bar{t}_y ——分别为外界空气温度和烟囱内烟气平均温度, °C;

C_p ——大气压力修正系数, 见表6.3-9。

(2) 烟囱中烟气平均温度 \bar{t}_y (°C)

$$\bar{t}_y = t_{y1} - \frac{H \Delta t}{2} \quad (6.3-14)$$

式中 t_{y1} ——烟囱入口烟温, °C;

Δt ——烟囱每m高的温降, °C/m。见表6.3-18。

烟囱每m高度的温降 Δt (°C/m)

表 6.3-18

Δt (°C/m) / 蒸发量 D (t/h)		1	2	4	6	8	10	计算公式
		烟囱条件						
铁烟囱	无内衬	2	1.41	1	0.82	0.71	0.63	$2/\sqrt{D}$
	有内衬	0.8	0.57	0.4	0.33	0.28	0.25	$0.8/\sqrt{D}$
砖或混凝土烟囱	厚<0.5m	0.4	0.28	0.2	0.16	0.14	0.13	$0.4/\sqrt{D}$
	厚>0.5m	0.2	0.14	0.1	0.08	0.07	0.06	$0.2/\sqrt{D}$

表 6.3-18

烟囱每 m 高度产生的抽力 (Pa)

烟囱内烟气的 平均温度 (°C)		在相对湿度 $\phi = 70\%$, 大气压力为 100 kPa 下空气密度 (kg/m ³)										
		-30	-20	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30
140	1.420	1.375	1.327	1.300	1.276	1.252	1.228	1.206	1.182	1.160	1.137	
160	5.65	5.15	4.70	4.42	4.15	3.91	3.68	3.45	3.20	3.00	2.77	
180	5.97	5.50	5.02	4.75	4.51	4.27	4.03	3.81	3.57	3.35	3.12	
200	6.31	5.85	5.37	5.10	4.86	4.62	4.38	4.16	3.92	3.70	3.47	
220	6.65	6.20	5.72	5.45	5.21	4.97	4.73	4.51	4.27	4.05	3.82	
240	6.98	6.50	6.02	5.75	5.51	5.27	5.03	4.81	4.57	4.35	4.12	
260	7.28	6.78	6.30	6.03	5.79	5.55	5.31	5.09	4.85	4.63	4.40	
280	7.55	7.05	6.57	6.30	6.06	5.82	5.58	5.36	5.12	4.90	4.67	
300	7.80	7.28	6.80	6.53	6.29	6.05	5.81	5.59	5.35	5.13	4.90	
320	8.00	7.51	7.03	6.76	6.52	6.28	6.05	5.82	5.58	5.36	5.13	
340	8.20	7.72	7.24	6.97	6.73	6.49	6.25	6.03	5.79	5.57	5.34	
360	8.42	7.92	7.44	7.17	6.93	6.69	6.45	6.23	5.99	5.77	5.54	
380	8.62	8.10	7.62	7.35	7.11	6.87	6.63	6.41	6.17	5.95	5.72	
380	8.80	8.27	7.79	7.52	7.28	7.04	6.80	6.58	6.34	6.12	5.89	

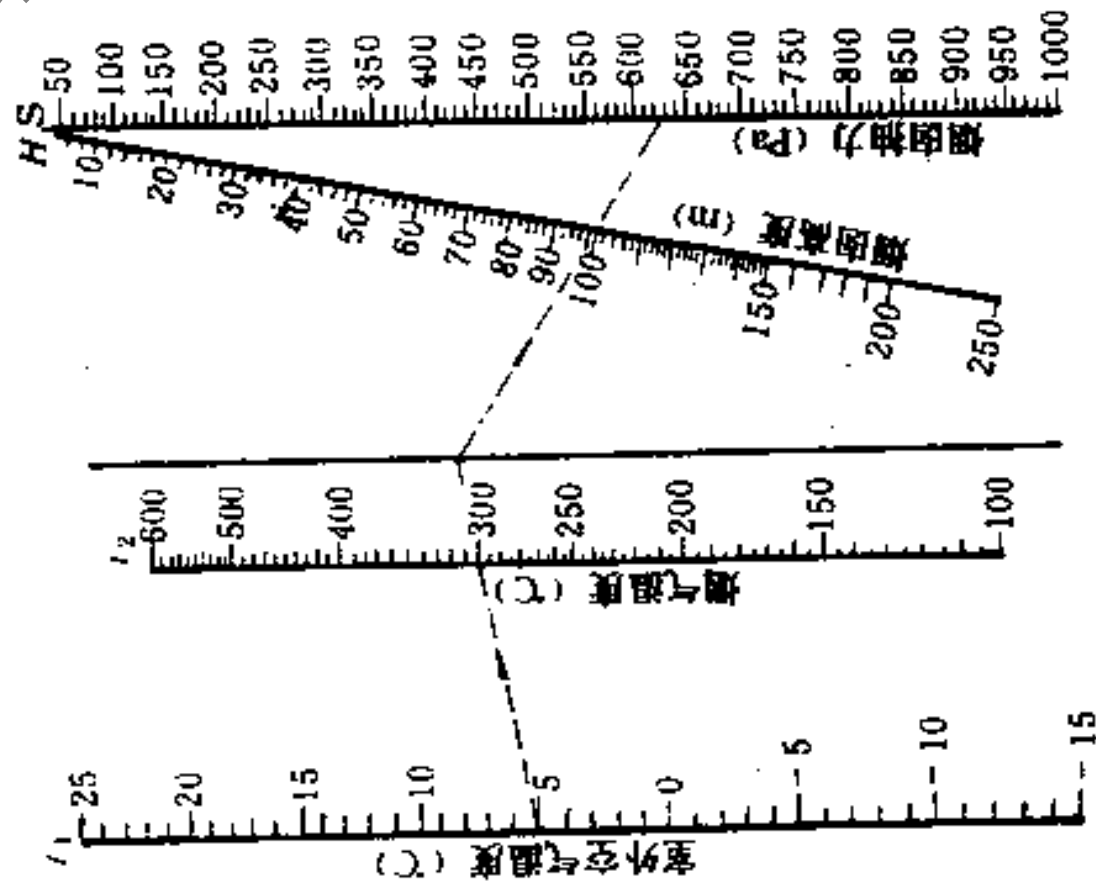


图 6.3-2 自然通风线算图

公式: $S = (\rho_1 - \rho_2)H$

$\rho_1 = \rho_{01} \frac{273}{273+t_1}$, $\rho_2 = \rho_{02} \frac{273}{273+t_2}$

空气在标准状况之密度 $\rho_{01} = 1.293 \text{ kg/m}^3$

烟气在标准状况之密度 $\rho_{02} = 1.34 \text{ kg/m}^3$

大气压力修正系数为 $C_p = 1$

风、烟道及烟囱推荐尺寸

表 6.3-20

锅炉容量及台数					单位			自然通风			机械通风								
1	2	4	6	10	20	(t/h)	烟道断面 (mm)	烟囱上口直径 (mm)	冷风道断面 (mm)	烟道断面 (mm)	金属	非金属	金属	非金属	金属	非金属	上口直径 (mm)	高度 (m)	
0.7	1.4	2.8	4.2	7	10.5	14	MW												
1						台	320 × 320 (φ360)	φ 400	200 × 250 (φ220)	250 × 250 (φ280)	500 × 750	500 × 750	200 × 250 (φ220)	500 × 750	250 × 250 (φ280)	500 × 750	φ 280	20 ~ 25	
2	1					台	400 × 500 (φ530)	φ 600	250 × 400 (φ300)	320 × 400 (φ400)	500 × 1000	500 × 750	200 × 320 (φ300)	500 × 750	320 × 400 (φ400)	500 × 750	φ 360	30	
3						台	500 × 630 (φ630)	φ 700		400 × 500 (φ480)	700 × 1250	500 × 750		500 × 750	400 × 500 (φ480)	500 × 750	φ 450	30	
4	2	1				台	500 × 800 (φ750)	φ 800	400 × 500 (φ420)	500 × 500 (φ560)	800 × 1300	500 × 1000	320 × 400 (φ420)	500 × 1000	500 × 500 (φ560)	500 × 1000	φ 560	35	
5						台	900 × 1500	φ 1000		600 × 1000	900 × 1500	600 × 1000		600 × 1000		600 × 1000	φ 630	35	
6	3	1				台	900 × 1500	φ 1000	400 × 500 (φ500)	630 × 630 (φ700)	900 × 1500	600 × 1250	400 × 500 (φ500)	600 × 1250	630 × 630 (φ700)	600 × 1250	φ 700	35	
	4	2				台	1100 × 1800	φ 1200		800 × 1300	1100 × 1800	800 × 1300		800 × 1300		800 × 1300	φ 800	35	
	5			1		台	1100 × 1800	φ 1200	500 × 630 (φ630)	800 × 800 (φ900)	1100 × 1800	800 × 1500	500 × 630 (φ630)	800 × 1500	800 × 800 (φ900)	800 × 1500	φ 800	40	
	6	3				台	1300 × 2100	φ 1400		900 × 1500	1300 × 2100	900 × 1500		900 × 1500		900 × 1500	φ 1000	40	
		4			1	台											φ 1000	40	
	5 ~ 6	3		2	1	台			630 × 1000 (φ900)	800 × 1250 (φ900)	1100 × 2250	1100 × 2250	630 × 1000 (φ900)	1100 × 2250	1000 × 1250 (φ1250)	1100 × 2250	φ 1200	45	
		4 ~ 5		3	2	台											φ 1400	45	
		6		4	2	台											φ 1600	45	
				5	3	台											φ 1800 (>45)		
				6	4	台											φ 2000 (>45)		
					5	台											φ 2200 (>45)		
					6	台											φ 2500 (>45)		
						台											φ 2800 (>45)		

注：带 () 烟囱高度应按环境影响评价要求确定，但不低于 45m。

(3) 自然通风烟囱高度 H (m)

$$H = 29 \frac{S_y}{\left(\frac{1}{273 + t_k} - \frac{1}{273 + t_y} \right) b} \text{ m} \quad (6.3-15)$$

式中 S_y ——烟囱抽力, Pa; 自然通风时应使 $S_y > 1.20 \Sigma \Delta h_y$ ($\Sigma \Delta h_y$ 为烟气系统总阻力, Pa);
 b ——当地大气压力, Pa。

(4) 烟囱抽力 S_y (Pa) 及自然通风烟囱高度 H (m) 速算图表见图 6.3-2 及表 6.3-19。

5. 风烟道及烟囱推荐尺寸

(1) 风烟道及烟囱推荐尺寸, 见表 6.3-20。

(2) 风烟道横向加固肋规格, 见表 6.3-21。

风烟道横向加固肋规格

表 6.3-21

圆形风烟道			矩形风烟道		
规格 D (mm)	风道 ($\delta = 3$)	烟道 ($\delta = 4$)	规格 $A \times B$ (mm)	风道 ($\delta = 3$)	烟道 ($\delta = 4$)
$\phi 220$			200 × 250		
$\phi 280$			250 × 250		
$\phi 300$			200 × 320		
$\phi 360$			320 × 320		
$\phi 400$			320 × 400		
$\phi 420$			320 × 400		
$\phi 480$			400 × 500		
$\phi 500$			400 × 500		
$\phi 530$					
$\phi 560$			500 × 500		
$\phi 630$			500 × 500		
$\phi 700$			500 × 630	- 50 × 5, C = 700	- 50 × 5, C = 800
$\phi 750$			630 × 630		
$\phi 900$			500 × 800		
$\phi 900$	- 60 × 6, C = 1500	- 60 × 6, C = 1500	630 × 1000		
$\phi 1250$			800 × 800	- 50 × 5, C = 650	- 50 × 5, C = 750
			1000 × 1250		

注: 1. 风、烟道材料采用 A_3 、 $A_3 F$ 。

2. 加固肋规格 - 50 × 5、- 60 × 6 为热轧扁钢, C 为横向加固肋间距 (mm)。

6.3.6 锅炉烟气除尘

1. 锅炉烟气除尘系统设计原则

(1) 锅炉房的烟尘排放标准及烟囱高度应符合《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271-91) 的规定, 并应符合本地区环保部门的有关规定。

(2) 锅炉房一般宜采用干式除尘。当采用湿式除尘时, 其废水应采取有效措施进行处理, 使其符合《工业“三废”排放标准》(GBJ 4-73) 的要求后, 方可排放; 并应采取防止除尘器及其后的排烟系统腐蚀的措施。

(3) 一般宜采用一级除尘。当烟气含尘浓度很高时, 可以采用两级除尘, 两级除尘

的总除尘效率按下式计算：

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 (1 - \eta_1) \% \quad (6.3-16)$$

式中 η_1 ——第一级除尘效率，%；

η_2 ——第二级除尘效率，%。

(4) 大容量锅炉采用多台并联除尘器时，应考虑并联的除尘器有相同的性能，并应考虑其前后接管的压力平衡。

(5) 干式除尘器必须采用密封可靠的排灰机构，并同时考虑除尘器收尘的贮存、输送和处理方式，以保证除尘效率和严防灰尘产生二次污染。

(6) 在寒冷地区选用湿法除尘器时，除尘器及其前后接管，必须考虑保温和防冻措施。

2. 锅炉大气污染物排放标准 (GB13271-91)

(1) 标准值见表6.3-22。

锅炉大气污染物排放标准

表 6.3-22

区域类别	适用地区	烟尘浓度 (mg/m^3)	二氧化硫浓度(mg/m^3)		林格曼黑度 (级)	锅炉安装年限
			燃煤含硫量 < 2%	燃煤含硫量 > 2%		
1	国家规定的自然保护区、风景游览区、名胜古迹和疗养地等	<200				1992年8月1日之前 安装或立项
2	居民区、商业交通居住混合区、文化区、名胜古迹和广大农村	<300			<1	
3	大气污染较重的城镇和工业区，以及城市交通枢纽干线等	<400				
1	同上	<100	<1200	<1800	<1	1992年8月1日起立 项新安装或更换的锅炉
2		<250				
3		<350				

(2) 燃料矿区的居民区使用的锅炉，燃用12560kJ/kg (3000kcal/kg) 以下的燃料，最高允许烟尘浓度可放宽至 $1000\text{mg}/\text{m}^3$ (1992年8月1日前安装的锅炉)及 $800\text{mg}/\text{m}^3$ (1992年8月1日起立项新安装或更换的锅炉)。

(3) 每个新建锅炉房只能设一个烟囱，烟囱高度应根据锅炉房总容量，按表6.3-23规定执行。

表 6.3-23

锅炉房总容量	(t/h)	<1	1~<2	2~<4	4~<10	10~<20	20~<40
	MW	<0.7	0.7~<1.4	1.4~<2.8	2.8~<7	7~<14	14~<28
烟囱最低高度	(m)	20	25	30	35	40	45

(4) 在烟囱周围半径200m的距离内有建筑物时，烟囱应高出最高建筑物3m以上，达不到此要求时，对新安装的锅炉烟尘最高允许排放浓度，二类区可 $<200\text{mg}/\text{m}^3$ ，三类区

可 $<250\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(5) 锅炉房总容量大于28MW(40t/h)时,其烟囱高度应按环境影响评价要求确定,但不得低于45m。

3. 烟尘初浓度、分散度

(1) 燃煤锅炉的烟尘量 q (kg/h)及烟尘初浓度 C (mg/m³)估算

$$q = B \cdot \frac{A_p}{100} \cdot \frac{b}{100} \quad (6.3-17)$$

$$C = \frac{100B \cdot A_p \cdot b}{V} \quad (6.3-18)$$

式中 B ——燃料消耗量, kg/h;
 A_p ——燃料的灰分含量, %;
 b ——飞灰占总灰分的百分比, %;
 V ——锅炉排烟量, m³/h。

有关锅炉烟尘量及初浓度的变化数据见表6.3-24及表6.3-25。

几种燃煤锅炉的烟尘发生量

表 6.3-24

锅炉型式	含尘浓度 (g/m ³)	占灰分的比例 (%)	粒径小于10 μm 的含量 (%)
手烧炉(自然引风)	0.6~2	15~20	5
手烧炉(机械引风)	1.5~5	15~20	5
往复炉排	0.5~2	15~20	7
链条炉排	2~5	15~20	7
振动炉排	3~8	15~20	11
抛煤机炉	5~13	20~40	25
煤粉炉	10~30	70~85	4
沸腾炉	20~60	40~60	4

不同灰分燃煤条件下锅炉烟尘初浓度的变化

表 6.3-25

序号	灰分 (%)	负荷 (%)	水分 (%)	炉型	锅炉平均排放初浓度 (mg/m ³)
1	10.5	80	10	链条炉	700
2	21.5	80	9	链条炉	1448
3	32.5	82	9	链条炉	2123

(2) 锅炉烟尘分散度组成, 见表6.3-26。

锅炉烟尘分散度组成 (%)

表 6.3-26

粒径范围 (μm)	锅炉类型						
	手烧炉 (自然引风)	手烧炉 (机械引风)	往复炉排炉	链条炉	抛煤机炉	煤粉炉	沸腾炉
<5	1.2	1.3	4.2	3.1	1.5	6.4	1.3
5~10	4.6	7.6	8.9	5.4	3.6	13.9	7.9
10~20	14.0	6.65	12.4	11.3	8.5	22.9	13.8
20~30	10.6	8.2	10.6	8.8	8.1	15.3	11.2
30~47	18.9	7.5	13.8	11.7	11.2	16.4	15.4
47~60	9.1	15.6	6.7	6.9	7.0	6.4	10.6
60~74	7.4	3.2	7.0	6.3	6.1	5.8	11.2
>74	36.2	50.0	36.4	46.5	54.0	13.4	28.6

(3) 锅炉产品最高允许初始排放烟尘浓度和烟气黑度按表6.3-27规定执行。

4. 烟气除尘器选配

(1) 各种燃烧方式下除尘器应达到的效率见表6.3-29。

(2) 工业锅炉产品除尘器配套型号 (JB/Z 218-84) 见表6.3-28。

(3) 26种旋风除尘器热态测试性能见表6.3-30。

表 6.3-27

限 值		烟尘浓度 (mg/m ³)				林格曼 黑 度 (级)
		煤的灰分A _y < 25%		煤的灰分A _y > 25%		
		1993年1月1日 ~1995年12月31 日出厂	1996年1月1日 以后出厂	1993年1月1日 ~1995年12月31 日出厂	1996年1月1日 以后出厂	
层 燃 炉	<2.8MW	2000	1800	2200	2000	1
	>2.8MW	2400	2000	2600	2200	
抛 煤 机 炉		5000		5500		
沸 腾 炉	循环流化床炉	15000				
	煤 矸 石	30000				
	其他煤种	20000				

工业锅炉产品除尘器配套型号

表 6.3-28

锅炉额定容量 (t/h)	锅 炉 燃 烧 方 式		除 尘 器 型 号
	手 烧 炉	自 然 引 风 机 械 引 风	
< 1	下 饲 式 链 条 炉 排 往 复 炉 排 链 条 炉 排 往 复 炉 排 振 动 炉 排	自然引风	XZS, XZY, XDP XZZ, SG
		机械引风	XZZ, SG XZZ, SG XZZ, SG
		自然引风	XND-1, XPX-1 XS-1, XZD-1 XZZ-1, SG-1
		机械引风	XND 2, XPX-2 XS-2, XZD-2 XZZ 2, SG-2
1	链 条 炉 排 往 复 炉 排 振 动 炉 排	自然引风	XND-4, XPX-4 XS-4, XZD-4 XZZ 4, SG 4
		机械引风	XS 6, XZD-6 双级涡旋 (改进型)-6 XCX-6, XWD 6, 二级除尘
		自然引风	XS-10, XZD-10 双级涡旋 (改进型)-10 XCX-10, XWD-10, 二级除尘
10	链 条 炉 排 往 复 炉 排 抛 煤 机 炉 沸 腾 炉、煤粉炉	自然引风	XS-10, XZD-10 双级涡旋 (改进型)-10 XCX-10, XWD-10, 二级除尘
		机械引风	XS-10, XZD-10 双级涡旋 (改进型)-10 XCX-10, XWD-10, 二级除尘
20	链 条 炉 排 抛 煤 机 炉 沸 腾 炉、煤粉炉	自然引风	XCX-20, XS 20 XWD-20, XZD-20 双级涡旋 (改进型) 20
		机械引风	XCX-20, XWD-20, 二级除尘 二 级 除 尘
>35	链 条 炉 排 抛 煤 机 炉 沸 腾 炉、煤粉炉		自 行 协 商 选 配

各种燃烧方式下除尘器应达到的除尘效率

表 6.3-29

序号	燃烧方式	锅炉额定 蒸发量范围 (t/h)	烟尘初始排放浓度 (g/m ³)		烟尘初始浓度在一般情况下除尘器应有效率 (%)															
			最大范围	一般范围	排 放 标 准 (mg/m ³)															
					100	200	250	300	350	400	600	800	1000							
1	煤层反烧炉	0.2~0.4	0.1~0.5	0.2~0.3	50~67	0~33	0~17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	抽板顶升炉	0.1~0.7	0.5~2.5	0.6~0.9	83~89	67~78	58~72	50~67	42~61	33~56	0~33	0~11	—	—	—	—	—	—	—	—
3	双层炉排炉	0.2~1.0	0.1~0.8	0.2~0.5	50~80	0~60	0~50	0~40	0~30	0~20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	半煤气炉	0.1~1.0	0.1~1.0	0.15~0.4	33~75	0~50	0~38	0~25	0~13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	下饲式炉	0.2~1.0	0.5~3.0	1~2	90~95	80~90	75~87.5	70~85	65~83	60~80	40~70	20~60	—	—	—	—	—	—	—	—
6	手烧机械引风炉	0.4~2.0	0.4~4.0	2~3	95~97	90~93	87.5~92	85~90	83~88	80~87	70~80	60~73	50~67	—	—	—	—	—	—	—
7	阶梯往复炉	1.0~10.0	0.2~4.0	0.2~2.0	50~95	0~90	0~87.5	0~85	0~83	0~80	0~70	0~60	0~50	—	—	—	—	—	—	—
8	平推往复炉	0.2~4.0	1.2~8.0	1.5~3.5	93~97	87~94	83~93	80~91	77~90	73~89	60~83	47~77	33~71	—	—	—	—	—	—	—
9	链条炉	0.5~30	1.5~6.0	2~4	95~97.5	90~95	87.5~94	85~93	83~91	80~90	70~85	60~80	50~75	—	—	—	—	—	—	—
10	抽煤机炉	4~20	4.5~28	5~13	98~99.2	96~98.5	95~98	94~97.7	93~97.3	92~97	88~95	84~93.8	80~92	—	—	—	—	—	—	—
11	振动炉排炉	2~10	3.5~15	3.5~8	97~98.8	94~97.5	93~97	91~96	90~95.6	89~95	83~92.5	77~90	71~87.5	—	—	—	—	—	—	—
12	半沸腾炉	4~15	5~20	7~10	98.6~99	97~98	96.4~97.5	95.7~97	95~96.5	94~96	91~94	88.6~92	86~90	—	—	—	—	—	—	—
13	沸腾炉	4~20	15~80	20~60	99.5~99.8	99~99.7	98.8~99.6	98.5~99.5	98~99.4	98~99.3	97~99	96~98.7	95~98.3	—	—	—	—	—	—	—
14	煤粉炉	35~230	10~60	15~30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 6.3-30

26 种旋风除尘器热态测试性能

序 号	旋风除尘器 型号	热态测试 锅炉型号	除尘器耗量 (kg/1000m ³ /h) (不包括灰斗)	除尘器效率 (%)		d ₅₀ (μm)		除尘器折算 阻力(Pa)		出口空气过 剩系数α		标态烟气量 (m ³ /h)		煤 质	
				额定 负荷	70% 负荷	额定 负荷	70% 负荷	额定 负荷	70% 负荷	额定 负荷	70% 负荷	额定 负荷	70% 负荷	灰分含量 (%)	发热量 (kJ/kg)
1	XZZ-2	KZL-2-8	41.5	93.78	91.78	6.6	9.5	721.7	448.7	2.05	2.35	3862	2792	25669	21.3
2	XZD-2	KZW ₂ -13-A	34.3	94.34	89.25	7	9.5	728	435.6	2.04	1.88	3840	2813	27160	18.26
3	XS-2	KZL-2-8	61	92.9	82.47	6.8	14.3	609.5	293.5	2.04	2.39	3576	2812	26523	19.05
4	XPX-2	SZW-2-13-A	75.2	92.35	93.19	6.2	7.7	776.6	752.3	1.84	1.9	3599	2401	25209	23.65
5	XND-2	KZW ₂ -13-A	33.4	92.57	91.79	8	10.3	736.4	394.6	2.21	1.76	3472	2491	27160	18.26
6	SG-2	KZL-2-8	47.75	90.53	80.71	10.4	14.8	550.5	331.4	1.92	1.75	3685	2749	24752	25.44
7	CLG-2	KZL-2	50	91.37	83.32	10.4	16.4	684.3	337.6	1.67	2.56	3392	2684	28010	17.31
8	XDF-2	KZW ₂ -13-A	22.3	87.39	84.31	15.6	13.5	475.9	168.1	1.86	1.98	3202	2543	25079	24.38
9	XLP-2	RSG-120	75.2	88.45	81.77	12.88	11.4	494	207.4	2.39	5.26	3291	3518	27160	18.26
10	XPW-2	KZL-2-8	45	88.38	86.16	12.3	14.7	516.3	122.4	2.11	2.32	3604	3021	26540	20.32
11	XXD-2	KZW ₂ -13-A	35.9	90.66	87.02	10.6	9.82	883.4	346.8	1.91	1.85	3684	2781	27160	18.26
12	XP-2	KZL-2-8	32.71	83.75	86.88	14.7	18.6	762.1	566.7	2	3.47	3373	2691	25535	21.50
13	DG-2	KSL-120-5	42~50	75.49	80.25	27.1	16.8	621.7	381.5	2.3	2.99	3855	3303	23957	24.46
14	DGL-2	KZL-2	77	71.7	68.66	27.1	16.6	577	324.5	1.92	2.48	2872	2636	—	15.71
15	XZZ-0.5	KZG-0.5-7	46	90.84	86.82	7.2	10.7	434.7	205.8	2.33	3.23	946	1157	26984	18.69
16	SG-0.5	KZW0.5-7-A	47.48	93.44	94.15	8.1	6.2	516.4	276.1	1.61	2.33	972	875	21654	33.15
17	XDF-0.5	KZL-0.5-5	24.4	84.29	75.67	14.1	13.5	322	195.4	1.95	2.01	1331	1275	25535	21.5
18	XZS-0.4	LHW0.4-4-A	135.2	80.56	80.15	15.7	18.8	29.4	17.4	2.74	3.38	1341	1160	24158	25.37
19	XZY-0.4	下例式-0.4	—	77.63	79.68	14.9	12.6	20~40	20~40	1.79	3.3	1498	1391	24556	26.94
20	XLP-I-1	LSG1-8	105.3	86.24	85.2	16.7	22.8	733.9	302.7	2.28	2.45	1785	1402	28039	18.1
21	XS-10	SHL-10-13	42	87.24	79.79	13.4	13	718.2	395.1	2	2.21	17068	13396	24928	22.66
22	XZD-10	10t/h-13 抛煤机炉改链 条炉	—	89.61	72.73	12.5	20	830.6	544	3.42	3.45	19378	13037	23995	2.04
23	双级布袋改进型	SHL-10-13-350	35.1	85.93	88.97	15.6	15.3	634	278	1.87	3.44	19867	16019	22826	23.14
24	XWD-10	SHL-10-13 链条炉排锅炉	156	94.94	83.72	6.5	14.5	1050.7	595.2	1.88	2.02	20067	10020	—	—
25	XCX-10	SHL-10-13	114.32	88.59	81.84	6.4	7.4	1020.2	529	3.28	4.62	20189	14169	25535	21.5
26	DG 10	DZL 10-13	42~50	85.06	82.93	16.2	16	983.3	704	2.28	2.47	18535	16184	26528	18.77

5. 花岗岩水膜除尘器

(1) 设计与计算, 见表6.3-31。

花岗岩水膜除尘器设计计算

表 6.3-31

项 目	计 算 公 式	附 注
1. 除尘器内径 D_s (m)	$D_s = \sqrt{\frac{4V}{3600 \cdot \pi \cdot w_1}}$	V ——烟气量, m^3/h ; w_1 ——除尘器内烟气上升速度, m/s ($w_1 = 3.5 \sim 4.5 m/s$)
2. 烟气进口管截面 F (m^2)	$F = \frac{V}{3600 \cdot v}$	v ——烟气进口流速, m/s ($v \cong 20m/s$) 烟气进口应做成狭长型, 其宽高比采用1:1.8~1:3.5
3. 除尘器淋洗面高度 H (m)	$H = 3 \sim 4 D_s$	
4. 除尘器耗水量 G (kg/h)	$G = q \cdot V$	q ——单位耗水量, kg/m^3 烟气($q = 0.07 \sim 0.20kg/m^3$)
5. 供水压力 P (MPa)	环形喷嘴供水: $P = 0.015 \sim 0.025$, 喷嘴 出口水速 $\sim 1.2 m/s$	如采用稳压水箱, 其标高一般应比环形集水管高2~2.5m左右。外水槽微压式或内水槽溢流式供水时, 只要保证不间断供水即可, 也可设稳压水箱进行水槽水量和水压的调节
6. 除尘器的阻力 Δh (Pa)	$\Delta h = \xi \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$	ξ ——流体阻力系数; ρ ——入口烟气的密度, kg/m^3 , $\rho = 1.34 \frac{273}{273 + t_y}$

(2) 花岗岩水膜除尘器技术性能见表6.3-32。

花岗岩水膜除尘器技术性能数据表

表 6.3-32

项 目		型 号 D_s					
		$\phi 1000$	$\phi 1250$	$\phi 1600$	$\phi 2000$	$\phi 2500$	$\phi 2800$
MC 型	处理烟量 V (m^3/h)	10000~12000	16500~20000	26500~30500	41500~50000	62000~74000	77500~93000
	除尘器进口烟速 v (m/s)	17.5~23.5					
	筒体上升流速 w_1 (m/s)	3.5~4.5					
	除尘器耗水量 G (t/h)	1.6~2.5	2~3	2.5~4.0	3.2~4.5	4~6	4.5~6.6
	除尘器阻力 Δh (Pa)	500~700					
	除尘器效率 η (%)	90					
外形尺寸	筒体外径(mm)	$\phi 1400$	$\phi 1650$	$\phi 2000$	$\phi 2500$	$\phi 3000$	$\phi 3300$
	筒体总高(mm)	9550	10400	11800	13900	14550	16900

续表

型号 D_n		$\phi 1000$	$\phi 1250$	$\phi 1600$	$\phi 2000$	$\phi 2500$	$\phi 2800$	
W M C 型	处理烟气量 V (m^3/h)	10500~12500	17500~21000	27000~32000	43500~52500	65000~78000	81500~97500	
	除尘器进口烟速 v (m/s)	9.5~13.0						
	文丘里管喉部流速 (m/s)	55~70						
	筒体上升流速 w_1 (m/s)	3.5~4.5						
	除尘器耗水量 G (t/h)	3.5~4.5	5~6	7~8	9~10	13~15	16~18	
	除尘器阻力 Δh (Pa)	1000~1500						
	除尘器效率 η (%)	95~97						
	外形尺寸	筒体外径 (mm)	$\phi 1400$	$\phi 1650$	$\phi 2000$	$\phi 2500$	$\phi 3000$	$\phi 3300$
		筒体总高 (mm)	9550	10400	11800	13900	14550	16900
		文丘里管长度 (mm)	2250	2700	3250	3700	5350	6350
配套锅炉 (t/h)	4、6	10	15	20	35、75	35、75		

注: MC 型为普通的花岗岩水膜除尘器;

WMC 型为烟气进口带文丘里喷管的花岗岩水膜除尘器。

6.3.7 环境烟尘浓度

1. 单根烟囱下风向地面烟尘浓度 C_0 (mg/m^3)

$$C_0 = \frac{2000Q}{\pi \cdot C_y \cdot C_z \cdot U_h L^{2-n}} \cdot e^{\frac{-H}{C_z^2 \cdot L^{2-n}}} \quad (6.3-19)$$

式中 Q ——连续点源排出烟尘的数量, g/s ; U_h ——烟囱高 h 处的平均风速, m/s ; C_y ——水平方向的紊流扩散系数; C_z ——垂直方向的紊流扩散系数; n ——考虑气象条件变化的系数, 其数值与温度梯度有关, 一般 $n = 0 \sim 0.5$; L ——距烟囱的水平距离, m ; H ——烟尘排放有效高度, m 。2. 紊流扩散系数 C_y, C_z (见表 6.3-33)紊流扩散系数 C_y, C_z

表 6.3-33

大气紊流系数 紊流系数 离地高度 (m)	温度梯度大 $n = 0.20$		温度梯度小 $n = 0.25$		温度逆增小 $n = 0.33$		温度逆增大 $n = 0.50$	
	C_y	C_z	C_y	C_z	C_y	C_z	C_y	C_z
0	0.42	0.24	0.24	0.14	0.15	0.09	0.12	0.07
10								
25	0.24		0.14		0.09		0.07	
30	0.23		0.13		0.085		0.065	
45	0.21		0.12		0.075		0.060	
60	0.19		0.11		0.070		0.055	
75	0.18		0.10		0.065		0.050	
90	0.16		0.09		0.055		0.045	
100	0.13		0.07		0.045		0.035	

3. 烟囱排放有效高度 H (m)

$$H = h + \Delta h \quad (6.3-20)$$

式中 h ——烟囱高度, m;

Δh ——气体动力作用的有效高度, m;

$$\Delta h = \frac{1.5U_0d}{U_h} + \frac{65}{U_h} d^{\frac{1}{2}} \left(\frac{T_0 - T_h}{T_0} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (6.3-21)$$

U_0 ——烟囱出口烟气流速, m/s;

U_h ——烟囱高 H 处的平均风速, m/s;

d ——烟囱上口内径, m;

T_0 ——烟气出口绝对温度, K;

T_h ——烟气出口处环境绝对温度, K。

4. 工业锅炉房烟尘浓度扩散表(见表6.3-34)

工业锅炉房烟尘浓度扩散表

表 6.3-34

总蒸吨 (t/h)	烟囱尺寸 $D \times h$ (m)	风速 U_h (m/s)	出口烟速 U_0 (m/s)	烟温 T_0 (K)	气温 T_h (K)	烟尘排放 量 Q (g/s)	扩散系数 C_z	紊流系数 n	最小浓度 距离 L_{min} (m)	最大浓度 距离 L_{max} (m)	地面烟尘 最大浓度 C_0^{max} (mg/m ³)
1	0.28 × 20	2.28	13.53	473	268	0.096	0.13	0.25	100	500	1.444×10^{-2}
		2.64	6.765		304	0.048				400	7.449×10^{-3}
2	0.36 × 25	2.28	16.37	473	268	0.192	0.13	0.25	100	600	1.715×10^{-2}
		2.64	8.185		304	0.096				500	8.975×10^{-3}
4	0.56 × 30	2.28	13.53	473	268	0.385	0.13	0.25	100	800	1.981×10^{-2}
		2.64	6.765		304	0.192				700	1.058×10^{-2}
6	0.70 × 35	2.28	12.99	473	268	0.577	0.13	0.25	100	1000	1.994×10^{-2}
		2.64	6.495		304	0.289				900	1.078×10^{-2}
8	0.80 × 35	2.28	13.26	473	268	0.770	0.13	0.25	100	1100	2.308×10^{-2}
		2.64	6.625		304	0.385				900	1.279×10^{-2}
		0.50	3.315		304	0.193				2000	6.593×10^{-3}
		0.50	3.315		304	0.193				2000	6.593×10^{-3}
10	0.80 × 40	2.28	16.58	473	268	0.962	0.13	0.25	100	1200	2.319×10^{-2}
		2.64	8.29		304	0.481				1100	1.292×10^{-2}
16	1.00 × 40	2.28	16.98	473	268	1.539	0.13	0.25	100	1400	2.864×10^{-2}
		2.64	8.49		304	0.770				1200	1.675×10^{-2}
		0.50	4.245		304	0.385				2000	4.753×10^{-3}
		0.50	4.245		304	0.385				2000	4.753×10^{-3}
20	1.20 × 45	2.28	14.74	473	268	1.924	0.13	0.25	100	1700	2.609×10^{-2}
		2.64	7.37		304	0.962				1400	1.514×10^{-2}
30	1.40 × 45	2.28	16.24	473	268	2.886	0.13	0.25	100	2000	3.068×10^{-2}
		2.64	8.12		304	1.443				1600	1.859×10^{-2}
		0.50	4.06		304	0.723				2000	5.184×10^{-3}
		0.50	4.06		304	0.723				2000	5.184×10^{-3}
40	1.60 × 50	2.28	16.58	473	268	3.848	0.13	0.25	100	2000	2.922×10^{-2}
		2.64	8.29		304	1.924				1800	1.850×10^{-2}
50	1.80 × 50	2.28	16.37	473	268	4.810	0.13	0.25	100	2000	2.816×10^{-2}
		2.64	8.185		304	2.405				1800	1.833×10^{-2}
60	2.00 × 50	2.28	15.92	473	268	5.772	0.13	0.25	100	2750	3.185×10^{-2}
		2.64	7.96		304	2.886				2250	2.009×10^{-2}
80	2.20 × 60	2.28	17.54	473	268	7.696	0.13	0.25	100	3500	3.054×10^{-2}
		2.64	8.77		304	3.848				2750	1.828×10^{-2}
100	2.50 × 60	2.28	16.98	473	268	9.620	0.13	0.25	100	4000	3.069×10^{-2}
		2.64	8.49		304	4.810				3000	1.964×10^{-2}
120	2.80 × 60	2.28	16.24	473	268	11.544	0.13	0.25	100	4250	3.015×10^{-2}
		2.64	8.12		304	5.772				3500	1.949×10^{-2}

注: 1. 本资料按西安地区的气象资料进行计算:

风速 U_h (m/s): 冬季 $1.9 \times 1.20 = 2.28$, 夏季 $2.20 \times 1.20 = 2.64$;

气温 T_h (K): 冬季 $-5 + 273 = 268$, 夏季 $31 + 273 = 304$ 。

2. 每个烟囱按冬季 (100% 负荷)、夏季 (50% 负荷) 进行计算;

对 $h = 35, 40, 45m$ 的烟囱还进行了低风速 $U_h = 0.5m/s$ 及 25% 负荷计算。

6.4 锅炉水处理

6.4.1 水质及水质标准

1. 水源的水质分析项目 (表6.4-1)

水源的水质分析项目

表 6.4-1

序号	项目	符号	单位	序号	项目	符号	单位
1	悬浮物	C_0	mg/L	15	钠	Na^+	mg/L
2	溶解固形物	S_0	mg/L	16	钙	Ca^{2+}	mg/L
3	总硬度	H_0	me/L	17	镁	Mg^{2+}	mg/L
4	碳酸盐硬度	H_T	me/L	18	铵	NH_4^+	mg/L
5	非碳酸盐硬度	H_F	me/L	19	铁	Fe^{2+}, Fe^{3+}	mg/L
6	钙硬度	H_{Ca}	me/L	20	铝	Al^{3+}	mg/L
7	镁硬度	H_{Mg}	me/L	21	碳酸氢根	HCO_3^-	mg/L
8	总碱度	A_0	me/L	22	碳酸根	CO_3^{2-}	mg/L
9	耗氧量		mg/L	23	氯离子	Cl^-	mg/L
10	含油量		mg/L	24	硫酸根	SO_4^{2-}	mg/L
11	游离二氧化碳	CO_2	mg/L	25	硅酸根	SiO_3^{2-}	mg/L
12	溶解氧	O_2	mg/L	26	硝酸根	NO_3^-	mg/L
13	pH 值 (25℃)	pH		27	磷酸根	PO_4^{3-}	mg/L
14	钾	K^+	mg/L				

注：表中序号第 1 ~ 13 项为水质分析必须测定项目。

2. 水源水质资料的校核 (见表6.4-2)

表 6.4-2

校核项目	校核公式
1. 阳、阴离子当量总数	$\Sigma E_{阳} = \Sigma E_{阴}$ 分析误差允许值 $X = \frac{ \Sigma E_{阳} - \Sigma E_{阴} }{0.5(\Sigma E_{阳} + \Sigma E_{阴})} \times 100\% < 5\%$
2. 硬度	$H_0 = H_T + H_F$ $H_0 = H_{Ca} + H_{Mg}$
3. 碱度	$A_0 = A_{CO_3} + A_{HCO_3} (+ A_{OH})$ A_{HCO_3} 与 A_{OH} 不同时存在
4. pH	$pH = 6.37 + \lg [HCO_3^-] - \lg [CO_2]$ 计算值与实测值之差一般应小于 0.1, 最大不超过 0.2
5. 不同水质阳、阴离子当量数的关系	(1) 有永硬时 $[HCO_3^-] < [Ca^{2+} + Mg^{2+}] < [HCO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^-]$ $[Cl^- + SO_4^{2-}] > [Na^+ + K^+]$ (2) 有负硬时 $[HCO_3^-] > [Ca^{2+} + Mg^{2+}]; [Cl^- + SO_4^{2-}] < [Na^+ + K^+]$

式中 $\Sigma E_{阳}$ 、 $\Sigma E_{阴}$ ——分别表示各种阳离子和阴离子浓度的总和, me/L;
 H_0 、 H_T 、 H_F 、 H_{Ca} 、 H_{Mg} ——分别表示总硬度、碳酸盐硬度、非碳酸盐硬度、钙硬度和镁硬度, me/L;
 A_0 、 A_{CO_3} 、 A_{HCO_3} 、 A_{OH} ——分别表示总碱度、碳酸盐碱度、重碳酸盐碱度和氢氧根碱度, me/L;
 $\lg [HCO_3^-]$ 、 $\lg [CO_2]$ ——分别表示重碳酸盐、游离二氧化碳含量 (mg/L) 的对数值。

3. 水质分类

(1) 按主要水质指标分类

表 6.4-3

含盐量	数量 (mg/L)	<200	200~500	500~1000	>1000	
	分 类	低含盐量	中含盐量	较高含盐量	高含盐量	
水质硬度	数量 (me/L)	<1.0	1~3	3~6	6~9	>9
	分 类	极软	软	中硬	硬	极硬

(2) 按水处理工艺分类

绘制水中离子假想结合顺序 (按 me/L 为统一尺度)。

• 非碱性水: $H_0 > A_0$, 即 $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > [HCO_3^-]$, 存在 H_F 。

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺		
HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻
Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄ K ₂ SO ₄	NaCl KCl
A ₀				
H ₀				
S ₀				

• 碱性水: $A_0 > H_0$, 即 $[HCO_3^-] > [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$, 无 H_F , 存在负硬 (NaHCO₃)。

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺		
HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻
Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃ KHCO ₃	Na ₂ SO ₄ K ₂ SO ₄	NaCl KCl
A ₀				
H ₀				
S ₀				

• 碳酸盐型水: $[HCO_3^-] > [Cl^-] + [SO_4^{2-}]$, 即 $H_T > H_F$ 。

• 非碳酸盐型水: $[HCO_3^-] < [Cl^-] + [SO_4^{2-}]$, 即 $H_T < H_F$ 。

4. 锅炉水质标准 (见表 6.4-4)

5. 对处理前原水水质的要求

- 炉内加药水处理
- (1) 不呈酸性, 不含酸、碱性化合物, pH 值在 7 左右;
 - (2) 总碱度 A_0 不太高, 一般 $A_0 < H_0 + 2.5 \text{ me/L}$ 为宜;
 - (3) 总硬度 $H_0 < 3.5 \text{ me/L}$;
 - (4) 悬浮物含量 $< 20 \text{ mg/L}$ 。

表 6.4-4 锅 炉 水 质 标 准

项目	锅 水 ^①					水 ^②					
	锅		水		pH (25℃)	溶解固形物 (mg/L)	总碱度 (me/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	相对碱度 ^③ (游离NaOH) (溶解固形物)	pH (25℃)
	总硬度 (me/L)	溶解氧 ^⑤ (mg/L)	含油量 (mg/L)	无过热器							
立式锅炉	炉内加药	<20	<3.5		>7	<5000	10~20			<0.2	10~12
卧式内燃锅炉	炉外化学	<5	<0.03		>7	<5000	<22			<0.2	10~12
火管锅炉	工作压力 (MPa)	<1.0 ^④	<0.03	<0.1	>7	<4000	<22			<0.2	10~12
		>1.0 <1.6	<0.03	<0.1	>7	<3500	<20	10~30		<0.2	10~12
燃油燃气锅炉	>1.6 <2.5	<5	<0.03	<0.05	>7	<3000	<14	10~30		<0.2	10~12
热水锅炉	<95℃炉内加药 ^⑦ >95℃炉外化学	<20	<3.5		>7						10~12
		<5	<0.6	<0.1 ^⑧	>7						8.5~10

注：① 对于热水锅炉，此项目为补给水；
 ② 对于热水锅炉，此项目为循环水；
 ③ 如锅炉为全焊结构，可不考虑此值；
 ④ 当锅炉蒸发量 < 1.4MW (2t/h)，采用炉内加药处理时，其给水和炉水应符合炉内加药栏的规定，但炉水的溶解固形物应 < 4000mg/L；
 ⑤ 锅炉蒸发量 > 1.4MW (2t/h)，均要除氧。对于供汽轮机用汽的锅炉给水含氧量均应 < 0.05mg/L。若采用化学除氧，则监测炉水的亚硫酸根含量；
 ⑥ 仅用于供汽轮机用汽的锅炉；
 ⑦ 如采用炉外化学处理时，应符合热水温度 > 95℃的水质指标；
 ⑧ 对于热水锅炉，循环水与补给水此两项指标相同。

- 炉外化学水处理 {
- (1) 不含苯、酸等有机化合物;
 - (2) pH值在7左右;
 - (3) 清沏、透明,悬浮物含量对于固定床离子交换器应 $<5\text{mg/L}$;
对于具有体外擦洗的浮动床离子交换器应 $<2\text{mg/L}$ 。

当不符合上述要求时,需根据原水水质进行预处理。

6. 水质指标常用单位的换算关系 (见表6.4-5)

水质指标单位换算

表 6.4-5

mg/L	德国度	me/L	ppm
1	2.8/e	1/e	50.1/e
e/2.8	1	1/2.8	17.9
e	2.8	1	50.1
0.02e	0.056	0.02	1

注: 1. 1德国度 = $10\text{mg/L} \cdot \text{CaO}$ 。

2. e——化合物或元素的当量。

7. 常用离子的 mg/L 与 me/L 换算关系 (见表6.4-6)

常用离子的 mg/L 与 me/L 换算

表 6.4-6

离子名称	将mg/L换算成me/L的系数	离子名称	将mg/L换算成me/L的系数
H ⁺	0.99216	Cl ⁻	0.02821
K ⁺	0.02558	NO ₃ ⁻	0.01613
Na ⁺	0.04350	NO ₂ ⁻	0.02174
NH ₄ ⁺	0.05544	SO ₄ ²⁻	0.02082
Ca ²⁺	0.04990	SO ₃ ²⁻	0.02498
Mg ²⁺	0.08229	HCO ₃ ⁻	0.01639
Mn ²⁺	0.03640	CO ₃ ²⁻	0.03333
Fe ²⁺	0.03581	PO ₄ ³⁻	0.03159
Fe ³⁺	0.05372	HPO ₄ ²⁻	0.02084
Al ³⁺	0.11119	H ₂ PO ₄ ⁻	0.01031
SiO ₃ ²⁻	0.02629	S ²⁻	0.06238
HSiO ₃ ⁻	0.01297		

6.4.2 水处理系统的分类及适用范围

1. 水处理系统的分类

(1) 炉内水处理——炉内加药处理。

(2) 炉外水处理

净化预处理——凝聚、沉淀(或澄清)与过滤;

软化——离子交换软化与加药沉淀软化;

除盐——阴阳离子交换除盐、电渗析除盐等;

除氧(气)——热力除氧、真空除氧、化学除氧、钢屑除氧、除二氧化碳等。

2. 主要的水处理系统及其适用范围(见表6.4-7)

主要的水处理系统及其适用范围

表 6.4-7

序号	水处理系统	适用进水水质	出水水质	备注
1	炉内水处理	$H_0 < 3.5\text{me/L}$ $A_0 < 5.5\text{me/L}$ $C_0 < 20\text{mg/L}$ $\text{PH} > 7$		炉水保持 $A_k > 8\text{me/L}$, 仅结松软垢及沉渣

续表

序号	水处理系统	适用进水水质	出水水质	备注
2	混凝—沉淀	$C_0 < 150 \text{ mg/L}$	一般 $< 10 \text{ mg/L}$, 特殊情况下 $> 15 \text{ mg/L}$	一般设两个沉淀池, 如进水 C_0 经常低于 30 mg/L 亦可只设一个
3	混凝—澄清	水力循环澄清池 $C_0 > 2000 \text{ mg/L}$; 脉冲澄清池 $C_0 > 3000 \text{ mg/L}$	$< 10 \text{ mg/L}$	
4	过 滤	单流机械过滤进水浊度 $< 20 \text{ mg/L}$ 双层滤料过滤进水浊度 $< 100 \text{ mg/L}$	$< 5 \text{ mg/L}$ $< 5 \text{ mg/L}$	
5	石灰降碱处理 (沉淀软化)	$H_T > 6 \text{ me/L}$ $A_0 > 6 \text{ me/L}$ $H_F < 1 \text{ me/L}$ 或 $A_0 \cdot H_0 < 1.5 \sim 2 \text{ me/L}$	$H_C = H_F + (0.7 \sim 1), \text{ me/L}$ $A_C = (0.7 \sim 1) + a$ $= (0.7 \sim 1) + (0.2 \sim 0.3) \text{ me/L}$	可用 Fe_2SO_4 、 Fe_2Cl_3 作混凝剂 出水 H_F 不变, H_T 可除掉大部分 a 为石灰裕量, me/L
6	石灰纯碱水处理 (沉淀软化)	$H_0 < 15 \text{ me/L}$ H_T 较大 水中存在 H_F	$H_C = 0.3 \sim 0.4 \text{ me/L}$ $A_C = 1.3 \sim 1.6 \text{ me/L}$	可用 Fe_2SO_4 、 Fe_2Cl_3 作混凝剂
7	单级钠离子交换	$H_0 < 10 \text{ me/L}$ H_T 较小 $S_0 < 300 \text{ mg/L}$ $P_A < 10\%$ 相对碱度 < 0.2	$H_C < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_C = H_T \text{ me/L}$	对 S_0 及 A_0 大的水不宜采用
8	双级钠离子交换	$H_0 > 10 \text{ me/L}$ H_T 较小 $S_0 > 500 \sim 600 \text{ mg/L}$ $P_A < 10\%$ 相对碱度 < 0.2	$H_C < 0.05 \sim 0.1 \text{ me/L}$ $H_{Cl} < 0.005 \text{ me/L}$ $A_C = H_T \text{ me/L}$	
9	局部钠离子交换	水量、水压及供水水质较稳定 $H_0 = 5 \sim 8 \text{ me/L}$ $\frac{H_T}{H_0} > 0.5$ 混合水 $H_0 < 3.5 \text{ me/L}$ 且 $P_A < 10\%$	$H_C = (1 - y_{Na}) H_0, \text{ me/L}$ $A_C = 0.5 \sim 1.0 \text{ me/L}$ (在炉内混合反应后)	软化和部分除碱, 以防止炉水碱度过高
10	石灰—钠离子交换	$H_0 > 6 \text{ me/L}$ $A_0 > 6 \text{ me/L}$ H_T 较大	$H_C < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_C = 0.8 \sim 1.2 \text{ me/L}$	
11	钠离子交换 + 酸	$H_0 < 4 \text{ me/L}$ H_T 较大, 酸化后 S_0 增加不致使 P_A 太大	$H_C < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_C = 0.5 \sim 0.8 \text{ me/L}$	
12	串联氢—钠离子交换	(1) $H_T > 3.6 \text{ me/L}$ 时, $\frac{H_T}{H_0} < 0.5$ (2) $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- > 5.3 \sim 7.0 \text{ me/L}$	$H_C < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_C = 0.5 \sim 0.8 \text{ me/L}$	

续表

序号	水处理系统	适用进水水质	出水水质	备注
13	不足酸串联氢—钠离子交换	H_F 较少或有负硬 $H_T > 1 \text{ me/L}$ $S_o < 2000 \sim 3000 \text{ mg/L}$	$H_c < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_c = 0.3 \sim 0.5 \text{ me/L}$	采用固定床时, 交换剂仅适合用磺化煤或弱酸树脂
14	并联氢—钠离子交换	(1) $H_F < 3.6 \text{ me/L}$ 时, $\frac{H_T}{H_o} > 0.5$ (2) $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- < 5.3 \sim 7.0 \text{ me/L}$	$H_c < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_c = 0.2 \sim 0.35 \text{ me/L}$	
15	并联铵—钠离子交换	$\frac{\text{Na}^+}{\text{总阳离子}} > 25\%$ $\frac{\text{Na}^+}{H_o} > 30 \sim 35\%$ $y_{\text{NH}_4^+} < 40\%$ $> 85 \sim 90\%$	$H_c < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_c = 0.35 \sim 0.50 \text{ me/L}$ (在炉内受热后)	
16	综合铵—钠离子交换	$\frac{\text{Na}^+}{\text{总阳离子}} < 25\%$ $\frac{\text{Na}^+}{H_o} < 30 \sim 35\%$ $y_{\text{NH}_4^+} = 40 \sim 90\%$	$H_c < 0.03 \sim 0.05 \text{ me/L}$ $A_c = 0.50 \sim 1.00 \text{ me/L}$ (在炉内受热后)	
17	电渗析	$H_o > 10 \text{ me/L}$ $S_o = 1000 \sim 4000 \text{ mg/L}$	$H_c = 0.3 \text{ me/L}$ 一级处理: $S_{\text{Cl}} = (0.3 \sim 0.4) S_o$ 二级处理: $S_{\text{Cl}} = 0.1 S_o \text{ mg/L}$	

表中 H_c 、 A_c ——残留硬度及残留碱度, me/L;
 A_k ——炉水碱度, me/L;
 P_A ——锅炉排污百分率, %;
 y_{Na^+} 、 $y_{\text{NH}_4^+}$ ——各为通过钠离子和铵离子交换器的水量百分比;
 其余均详见表6.4-2。

6.4.3 水处理设备容量的确定

1. 水处理设备的容量 D (t/h)

$$D = K (D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6) \quad (6.4-1)$$

式中 K ——富裕系数, 取 $K = 1.20$;

D_1 ——蒸汽用户凝结水损失量, t/h;

D_2 ——锅炉房内部汽水损失量, t/h (按锅炉房负荷的5%考虑);

D_3 ——锅炉排污损失量, t/h (按实际计算, 估算时按额定蒸发量的5~10%考虑);

D_4 ——热网漏损量, t/h。蒸汽系统按锅炉房负荷的2~5%考虑; 热水系统按系统水容量的1%考虑, 方案设计中可按系统循环量的0.5% ($\Delta t = 25^\circ\text{C}$) ~ 1% ($\Delta t = 40^\circ\text{C}$) 估算;

D_5 ——水处理系统自耗软化水量, t/h;

D_6 ——其它工艺装置及用户需要的软化水量, t/h。

2. 采用单台离子交换器时, 水处理设备容量应能满足还原期间不影响供应的折算水量

D_7 (t/h)。

$$D_7 = (D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6) \frac{4}{Z} \quad (6.4-2)$$

式中 Z ——运行周期, h。

6.4.4 给水的净化预处理

1. 预处理工艺流程的选择(可按表6.4-8进行)

预处理工艺选择

表 6.4-8

原水悬浮物含量 C_0 (mg/L)	水质预处理工艺
<20	过滤处理
<100~150	混凝—沉淀(或澄清)处理,或直流混凝过滤(<100mg/L)或接触混凝过滤(<150mg/L)处理
2000~3000	混凝—沉淀(或澄清)—过滤处理

2. 混凝处理工艺系统的设计要点

(1) 应控制溶液的pH值及水温

- 当以铝盐作混凝剂时,最佳pH=6.5~7.5,水温25~30℃;
- 当以铁盐作混凝剂时,最佳pH=8~10,水温影响不大;
- 冬季水温过低时,可采用1:1(以无水化合物重量计)铁铝盐混合处理。

(2) 当原水碱度不够时,需进行人工碱化,加碱量 D_1 (me/L) 按下式计算:

$$D_1 = D_N + (0.4 \sim 0.7) - A_0 \quad (6.4-3)$$

式中 D_1 ——加碱量, me/L (常用石灰、烧碱、苏打等);
 D_N ——混凝剂有效剂量, me/L (试验确定,一般0.1~0.5 me/L);
 A_0 ——原水总碱度, me/L;

(0.4~0.7)——富裕量, me/L。

(3) 采用的混合设备型式,应保证混合速度 < 1.5 m/s, 混合时间 > 2 min。

(4) 混合后的原水,在反应池中应保持有足够的反应时间和相应的反应流速。当采用涡流反应池时,反应时间为6~10min,锥角底部的入口流速 $v = 0.7$ m/s,圆柱部分上升流速4~5 mm/s。

3. 沉淀处理设备(沉淀池、澄清池)的设计要点

(1) 对于处理水量较小的锅炉房,可以采用间歇式沉淀池,数量应不少于两个,以便于静止沉淀交错运行。

(2) 连续式平流沉淀池应保持进出水区的水流均匀和在沉淀区有足够的停留时间。

- 进水槽内及配水孔内的水流速度不大于0.2~0.3 m/s,配水孔应淹没在水面下12~15cm;
- 沉淀区的水平流速,自然沉淀取1~3 mm/s,混凝沉淀取5~20 mm/s;
- 在沉淀区的流经时间应根据原水水质和要求水质确定,一般为1~2h;
- 沉淀区的有效水深2.5~3m,超高0.3~0.5m;池的长宽比一般不小于4:1,长深比不少于10:1;
- 出水槽内及集水孔内的水流速度不大于0.3~0.5 m/s。

(3) 涡流反应器主要用于石灰沉淀软化处理系统。反应器的容积按水流停留时间8~15min计算, 器内装粒径为1~1.5mm的砂子或大理石粉作反应生成物的结晶核心。

4. 选用压力式机械过滤器的设计要点

(1) 压力式机械过滤器一般不少于两台, 过滤器的规格按运行流速及运行周期进行选择。

过滤器运行周期一般单流式为9h, 双流式为20~22h。

(2) 滤料应根据化学性质稳定、机械强度高、粒度适当及取材方便等条件进行选择。

- 石英砂在酸性及中性水中化学性能稳定, 适用于未经石灰凝聚处理的原水及不含侵蚀性二氧化碳的水的处理工艺;

- 大理石和煅烧过的白云石碎块, 在热的碱性水中化学性能稳定, 适用于石灰—苏打软化水处理系统;

- 无烟煤粒适用于碱性水中。

(3) 应配置必须的反冲洗设施, 并宜采用压缩空气、水合洗。

(4) 机械过滤器主要工艺的设计指标, 见表6.4-9。

(5) 机械过滤器的主要规格和性能, 见表6.4-10。

机械过滤器主要工艺的设计指标

表 6.4-9

序号	指标名称	单位	过 滤 用 材 料					
			石 英 砂		大 理 石		无 烟 煤	
			单 流	双 流	单 流	双 流	单 流	双 流
1	过滤物料 平均直径	mm	0.5~1.0	0.5~1.2	0.5~1.0	0.5~1.2	0.8~1.5	0.8~1.5
	真密度	t/m ³	2.6~2.7	2.6~2.7	2.5~2.8	2.5~2.8	1.4~1.7	1.4~1.7
	视密度	t/m ³	1.6~1.7	1.6~1.7	1.6~1.7	1.6~1.7	0.75~0.9	0.75~0.9
2	过滤层高度	m	1.2	2~2.4	1.2	2~2.4	1.2	2~2.4
3	过滤速度(原水未经沉淀)	m/h						
	正常情况		4	8	4	8	4	8
	加速情况		5	10	5	10	5	10
4	过滤物料计算除污力 E_1	kg/m ³	0.75	1.87	0.75	1.87	1.0	2.5
	E_2	kg/m ²	0.9	4~4.48	0.90	4~4.48	1.2	5.37~6
5	每一过滤循环中滤液计算量	m ³ /m ²	45	200~224	45	200	60	268~300
6	过滤器运行延续时间	h	9	20~22	9	20~22	12	26~30
7	冲洗前通过过滤器阻力	kPa	100	100	100	100	100	100
8	冲洗水压力	kPa	100	120	100	120	100	120
9	冲洗强度 q_1	L/(m ² ·s)	15	18	15	18	10	12
10	冲洗时间 t_1	min	10	20	10	20	10	20
11	单位面积冲洗耗水量	m ³ /m ²	9	21.6	9	21.6	6	13.4
12	过滤器本身消耗水计算比耗(按每一循环滤液的%计)	%	20	10.8~9.6	20	10.8	10	5~4.5
13	在用水冲洗前压缩空气吹洗过滤器(通过下部排水系统)							
	(1)至过滤器的空气压力	MPa	0.1	0.12	0.1	0.12	0.1	0.12
	(2)吹洗强度 q_2	L/(m ² ·s)	20	24	20	24	12	15
	(3)吹洗时间 t_2	min	3	5	3	5	3	5
	(4)空气用量	m ³ /m ²	3.6	7.2	3.6	7.2	2.2	4.5

机械过滤器的主要规格和性能

表 6.4-10

型式	序号	项 目	单 位	过 滤 器 直 径 × 高 度 (mm)				计 算 依 据	
				1000 × 2870	1500 × 3470	2000 × 3610	2500 × 4020		3000 × 4480
单 流 式	1	过滤面积 F	m^2	0.785	1.767	3.140	4.910	7.070	$D = F \cdot d = (4 \sim 5) F$ $E = V \cdot E_1 = V (0.75 \sim 1)$ $T = \frac{1000 E_1 V}{g \cdot D}$ $G_1 = \frac{60 q_1 t_1 F}{1000}, q_1 = 15$ $G = \frac{G_1}{t_1}$ $g_1 = \frac{60 \cdot q_2 \cdot t_2 \cdot F}{1000}, q_2 = 20$ $g = \frac{g_1}{t_2}, t_2 = 3$
	2	过滤层高度 h	m	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
	3	过滤层体积 V	m^3	0.942	2.120	3.768	5.892	8.484	
	4	处理水量 D	m^3/h	3.14 ~ 3.93	7.07 ~ 8.84	12.56 ~ 15.7	19.64 ~ 24.55	28.28 ~ 35.35	
	5	周期除污力 E	kg	0.59 ~ 0.942	1.325 ~ 2.12	2.355 ~ 3.768	3.68 ~ 5.892	5.30 ~ 8.484	
	6	运行延续时间 T	h	11.25 ~ 12	11.25 ~ 12	11.25 ~ 12	11.25 ~ 12	11.25 ~ 12	
	7	冲洗水耗 G_1	$m^3/(台次)$	7.065	15.90	28.26	44.19	63.63	
	8	小时最大水耗 G	m^3/h	42.40	95.40	169.56	265.14	381.78	
	9	压缩空气耗量 g_1	$m^3/(台次)$	2.83	6.36	11.30	17.68	24.45	
	10	压缩空气计算耗量 g	m^3/min	0.94	2.12	3.77	5.89	8.15	
双 流 式	1	过滤面积 F	m^2	0.785	1.767	3.140	4.910	7.070	$D = F \cdot d = (8 \sim 10) F$ $E = V \cdot E_1 = V (1.87 \sim 2.5)$ $T = \frac{1000 \cdot E_1 V}{g \cdot D}$ $G_2 = \frac{60 \cdot q_1 \cdot t_1 F}{1000}, q_1 = 18$ $G = \frac{G_2}{t_1}$ $g_2 = \frac{60 \cdot q_2 \cdot t_2 \cdot F}{1000}, q_2 = 24$ $g = \frac{g_2}{t_2}, t_2 = 5$
	2	过滤层高度 h	m	0.6/1.30	0.6/1.35	0.7/1.40	0.70/1.40	0.70/1.70	
	3	过滤层体积 V	m^3	1.492	3.446	6.594	10.311	16.968	
	4	处理水量 D	m^3/h	6.28 ~ 7.86	14.14 ~ 17.68	25.12 ~ 31.4	39.28 ~ 49.1	56.56 ~ 70.7	
	5	周期除污力 E	kg	2.79 ~ 3.73	6.44 ~ 8.62	12.33 ~ 16.49	19.28 ~ 25.78	31.73 ~ 42.42	
	6	运行延续时间 T	h	22.2 ~ 23.75	22.78 ~ 24.38	24.53 ~ 26.25	24.53 ~ 26.25	28 ~ 30	
	7	冲洗水耗 G_2	$m^3/(台次)$	16.96	38.16	67.82	106	153	
	8	小时最大水耗 G	m^3/h	50.88	114.48	203.46	318	459	
	9	压缩空气耗量 g_2	$m^3/(台次)$	5.65	12.72	22.60	35.35	50.90	
	10	压缩空气计算耗量 g	m^3/min	1.13	2.54	4.52	7.07	10.18	

注: 计算中原水悬浮物 C_0 取 $20 mg/L$ 。

6.4.5 炉内水处理

1. 炉内水处理的适用条件

(1) 锅炉: 蒸汽锅炉蒸发量 $<1.4\text{MW}$ (2t/h), 锅炉工作压力 $<1.0\text{MPa}$;
热水锅炉供水温度 $<95^\circ\text{C}$;

锅炉结构便于清洗和排除泥渣沉淀。

(2) 原水水质: $H_0 < 3.5\text{me/L}$, $A_0 < 5.5\text{me/L}$, $C_0 < 20\text{mg/L}$, $\text{pH} > 7$ 。

(3) 炉水水质: $A_k = 10 \sim 20\text{me/L}$, $S_0 < 4000\text{mg/L}$, $\text{pH} = 10 \sim 12$ 。

2. 炉内水处理方法的选用

(1) 以纯碱 (Na_2CO_3) 为主的炉内水处理

• 原水中存在 H_F , 且其中 $H_{F,\text{Ca}}$ 比例较大, 而镁硬 ($H_{F,\text{Mg}}$) 与纯碱 (Na_2CO_3) 在炉水中的水解率相当时 [$(1-\eta)H_{F,\text{Mg}} - \eta H_{F,\text{Ca}} \approx 0$];

• 原水仅存在 H_T 或存在负硬度, 如锅炉补充水带进的碱度不足以维持炉水所需的碱度时。

(2) 运行中不加碱剂的天然碱处理

原水存在负硬 ($>1\text{me/L}$), $H_0 < 3.5\text{me/L}$; 可采用天然碱处理。

3. 炉内水处理常用软水剂的性能作用 (见表 6.4-11)

4. 软水剂的耗量

(1) 炉内水处理软化剂耗量 G (g/t), 可根据不同情况按表 6.4-12 进行计算。

(2) 纯碱 (Na_2CO_3) 为主的软水剂耗量 (g/t), 可按表 6.4-14 确定。

炉内水处理常用软水剂的性能作用

表 6.4-11

类别	名称	性能作用	备注
沉淀剂	Na_2CO_3 (纯碱)	主要消除水中 $H_{F,\text{Ca}}$, 维持炉水 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 离子浓度, 防止生成 CaSO_4 垢 调整炉水碱度和 pH 值	由于水解作用: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{CO}_2$ 炉水中 $[\text{OH}^-]$ 升高, 对安全运行不利, 故 $P > 1.5\text{MPa}$, 对以 $H_{F,\text{Ca}}$ 为主的水质不宜采用
	NaOH (苛性钠)	主要消除水中 $H_{F,\text{Mg}}$, 调整炉水碱度和 pH 值	
	Na_3PO_4 (磷酸三钠)	代替上述碱剂, 沉淀水中钙镁盐类; 增加泥垢流动性, 适用于任何压力的锅炉	生成的 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ 沉淀比较粘, 故水中 Mg 盐比较大时要少用或不用
	Na_2HPO_4 (磷酸氢二钠) NaH_2PO_4 (磷酸二氢钠)	作用与 Na_3PO_4 相似, 能降低炉水碱度, 适用于负硬较大的给水	
泥垢调节剂	栲 胶	主要成分是单宁, 能调整水垢, 在水垢质点外层形成隔离膜, 使水垢处于细小分散状态 在碱性水质中具有吸氧能力	
	腐植酸钠 ($H_m - \text{COONa}$)	使水垢晶体畸变, 颗粒变小, 易于流动	最佳用量 $10 \sim 20\text{mg/L}$, $A_k > 8\text{me/L}$

续表

类别	名称	性能作用	备注
泥垢调节剂	有机磷酸盐ATMP EDTMP HEDP	与钙镁盐类生成稳定的络合物, 干扰成垢盐类晶体的定向生成, 降低晶体强度(晶体歪曲作用)	最佳用量0.5~1mg/L, $A_K > 8\text{me/L}$
	羧酸盐HPMa PAN	晶格的歪曲作用、分散作用	最佳用量1~3mg/L, $A_K > 8\text{me/L}$

炉内水处理软水剂量计算表

表 6.4 12

项目	锅炉初次运行软水剂耗量 G_1 (g/t)	锅炉运行中软水剂耗量 G_2 (g/t)
一般加碱法	$G_1 = [(H_0 - A_0) + A_K - E] \frac{R}{\epsilon}$	$G_2 = \left[\rho (H_0 - A_0) + \frac{P_A}{1 + P_A} A_K - E \right] \frac{R}{\epsilon}$
当存在 H_{F1} 同时加入 NaOH及 Na_2CO_3 时	$G_{1, \text{NaOH}} = G_1 \left(\frac{H_{F, \text{Mg}} - \eta \cdot \frac{H_{F, \text{Ca}}}{H_F}}{H_F} \right)$ $G_{1, \text{Na}_2\text{CO}_3} = G_1 \left(\frac{H_{F, \text{Ca}}}{H_F} \cdot \frac{1}{1 - \eta} \right)$	$G_{2, \text{NaOH}} = G_2 \left(\frac{H_{F, \text{Mg}} - \eta \cdot \frac{H_{F, \text{Ca}}}{H_F}}{H_F} \right)$ $G_{2, \text{Na}_2\text{CO}_3} = G_2 \left(\frac{H_{F, \text{Ca}}}{H_F} \cdot \frac{1}{1 - \eta} \right)$
磷酸盐	$G_{1, \text{Na}_3\text{PO}_4} = E \times \frac{R}{\epsilon} = (H_C + \beta) \frac{R}{\epsilon}$	$G_{2, \text{Na}_3\text{PO}_4} = E \times \frac{R}{\epsilon} = (H_C + \beta) \frac{R}{\epsilon}$
有机泥垢调节剂	腐植酸钠 = 10~20	腐植酸钠 = 10~20

表中 G_1 —锅炉初次运行时每吨锅炉给水的软化剂耗量, g/t;
 G_2 —锅炉运行中每吨锅炉给水的软水剂耗量, g/t;
 A_0, A_K —原水中总碱度及炉水碱度, me/L, $A_K = 10 \sim 20\text{me/L}$;
 $H_0, H_F, H_{F, \text{Mg}}, H_{F, \text{Ca}}$ —原水中总硬度、非碳酸盐硬度、非碳酸盐中的镁硬和钙硬, me/L;
 E —磷酸盐的加入量, $E = 0.26 \sim 0.40, \text{me/L}$;
 H_C —炉水中的残留硬度, $H_C = 0.1 \sim 0.2, \text{me/L}$;
 β —炉水中保持磷酸根浓度, $\beta = 0.16 \sim 0.20, \text{me/L}$;
 P_A —锅炉排污百分率, $P_A = 0.05 \sim 0.10$;
 ρ —锅炉补充水百分率, ($\rho < 1$);
 R —软水剂当量系数, ($\text{NaOH} = 40, \text{Na}_2\text{CO}_3 = 53, \text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 126.73, \text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 179.12$);
 ϵ —软水剂的纯度, ($\epsilon < 1$);
 η —炉水中 Na_2CO_3 的水解百分率, 见表6.4-13。

不同锅炉压力时纯碱的水解率

表 6.4 13

锅炉压力 (MPa)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.3	1.5
纯碱的水解率 (%)	2	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60

表 6.4-14

炉内水处理药水量耗量 (g/l)

锅炉工况	软水剂	补 给 水 质 $H_0 - A_0$ (me/L)											炉水碱度 A_k (me/L)	排污率 P_A (%)
		-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		
初次运行	Na ₂ CO ₃ , Na ₃ PO ₄ 腐 钠	250	300	360	410	460	510	570	620	670	720	780	10	5%
		14	14	15	15	16	16	17	18	18	19	19		
		10~20	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20		
运 行 中 间	Na ₂ CO ₃	0.30					9.50	25	40	55	70	85	10	5%
		$\rho = 0.50$					9.50	35	62	87	115	140		
		1.00					9.50	62	115	170	220	270		
		0.30					6.60	22	53	68	85	100	15	5%
		0.50					22	48	75	100	126	152		
		1.00					22	75	127	180	232	285		
		0.30			3.80		19	35	50	65	81	96	20	5%
		0.50					8.6	35	61	87	112	138		
		1.00					35	87	140	192	245	297		
		0.30		1.1	16.5		32	47	63	80	95	110	25	5%
		0.50					21	47	73	100	125	151		
		1.00					47	100	152	205	257	310		
		0.30		13.8	29		45	60	75	91	106	121	30	5%
		0.50			8		23	60	86	112	138	164		
		1.00					7.5	60	112	165	217	270		
0.30			1.2		17	33	48	63	79	94	10	5%		
0.50					6.4	33	58	85	110	136				
1.00					33	85	137	190	242	295				
0.30		10	26		41	56	72	87	103	118	15	5%		
0.50			4.3		30	56	82	110	134	160				
1.00					3.7	56	110	161	215	268				
0.30		34.3	50		65	80	96	111	127	142	20	10%		
0.50		2.5	28		55	80	106	132	158	184				
1.00					28	80	133	185	238	290				
0.30		27	74		89	105	120	135	151	166	25	10%		
0.50		1	53		77	105	131	157	182	208				
1.00					52	105	157	210	262	314				
0.30		51	98		113	129	144	159	175	190	30	10%		
0.50		25	77		103	129	155	181	207	233				
1.00			24		76	129	181	234	286	339				
Na ₃ PO ₄ 腐 钠		14	14	15	15	16	16	17	18	19	19	10~30		

注: 本表 $\rho = 1$

(3) 天然碱处理

a. 空炉初次上水应投加适量的纯碱, 以维持炉内水处理所规定的炉水碱度和 pH 值。

$$G_1 = [(H_0 - A_0) + A_K] \frac{R}{E} \quad \text{g/t} \quad (6.4-4)$$

b. 锅炉运行中应根据补给水的不同水质, 通过排污量的调节以维持适当的炉水碱度和 pH 值。运行中的炉水碱度 $A_K(\text{me/L})$ 由下式确定:

$$A_K = \frac{\rho(1 + P_A)}{P_A} (A_0 - H_0) \quad (6.4-5)$$

A_K 值也可由表 6.4-15 查得。

c. 炉水中可投加适量的有机泥垢调节剂, 以增加天然碱处理的防垢效果。有机泥垢调节剂可以采用: 腐植酸钠 ($H_m - \text{COONa}$) 10~20g/t

或 (0.5~1.0) EDTMPS + (1~3) HPMA

式中 EDTMPS——乙二胺四甲叉磷酸钠;

HPMA——聚马来酸酐。

不同工况下能维持的炉水碱度 $A_K(\text{me/L})$

表 6.4-15

$A_0 - H_0$											
P_A	ρ	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		0.05	0.3			9.45	12.60	15.75	18.90	22.05	25.20
	0.5		10.50	15.75	21.00	26.25	31.50				
	1.0	10.50	21.00	31.50							
0.10	0.3				8.25	11.00	13.75	16.50	19.25	22.00	24.75
	0.5			8.25	11.00	13.75	16.50	19.25	22.00	24.75	27.50
	1.0		11.00	16.50	22.00	27.50	33.00				
0.15	0.3							8.05	9.20	10.35	11.50
	0.5				7.67	9.58	11.50	13.42	15.33	17.25	19.17
	1.0		7.67	11.50	15.33	19.17	23.00	26.83	30.67		

5. 纯碱处理时防止生成 CaSO_4 水垢, 炉水中应维持的离子比值 (见表 6.4-16)

不同锅炉压力应维持的最低离子比值

表 6.4-16

锅炉压力 (MPa)	0.7	0.8	1.05	1.2	1.4	1.58
$\frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{SO}_4^{2-}]}$ (mg/L)	>0.045	>0.065	>0.088	>0.115	>0.145	>0.175

6. 纯碱处理时炉水的碱度 A_K 与 pH 的关系 (见图 6.4-1 所示)

7. 炉内水处理的加药系统

(1) 加药系统: 常用加药系统及其特点, 详见表 6.4-17。

(2) 加药罐的容积 V (L)

$$V > \frac{8Q_{\max}G}{1000C \cdot \rho} \quad (6.4-6)$$

式中 Q_{\max} ——最大补充水量, m^3/h ;

G ——软水剂消耗量, g/m^3 补充水;

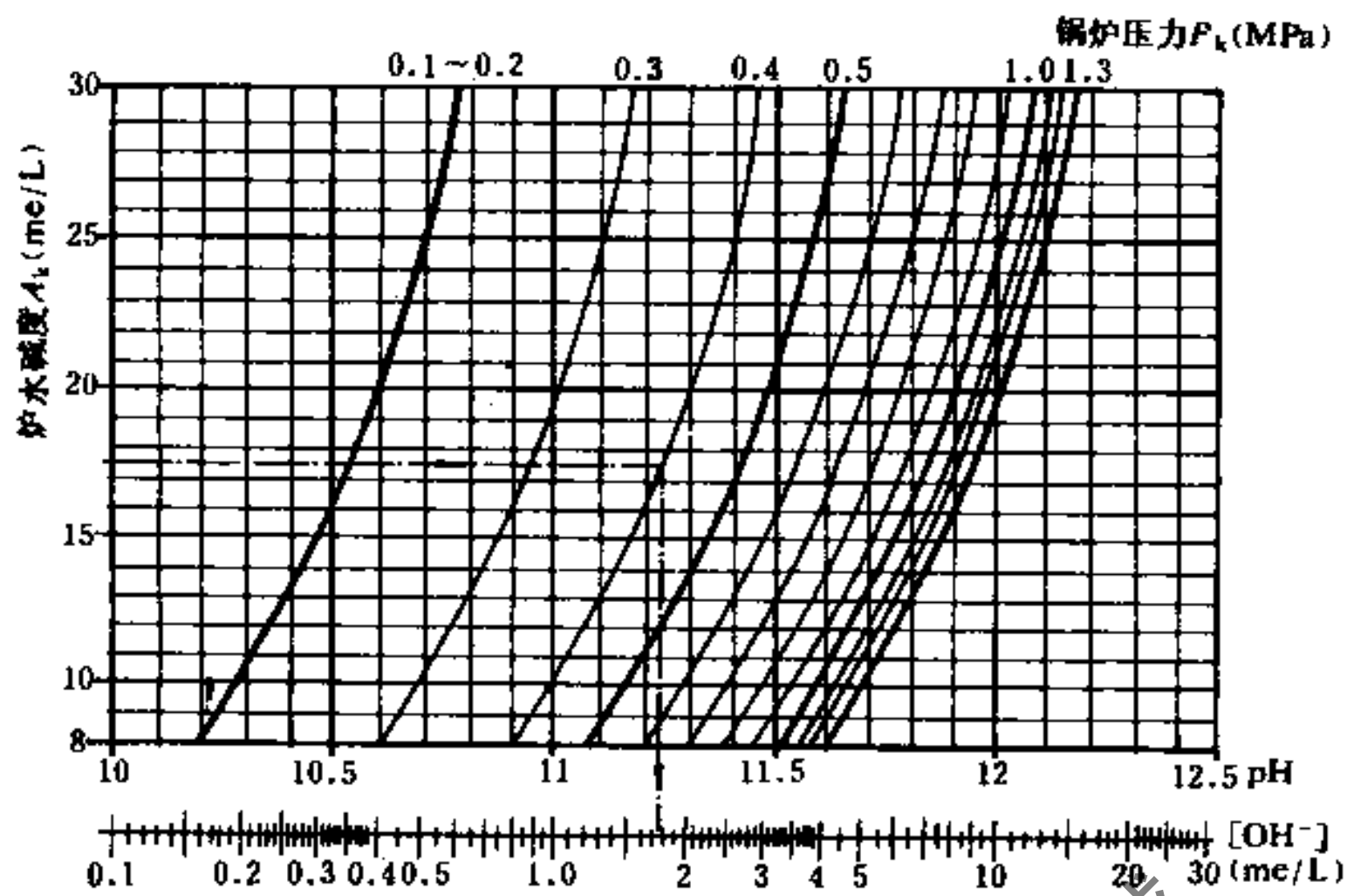


图 6.4-1 炉水碱度 A_k - pH 值关系曲线

制表公式: $\text{pH} = 14 - \lg \frac{1000}{A_k \cdot \eta}$, $[\text{OH}^-] = \eta \cdot A_k$, η - 纯碱的水解率(%)

加药系统 及 特点

表 6.4-17

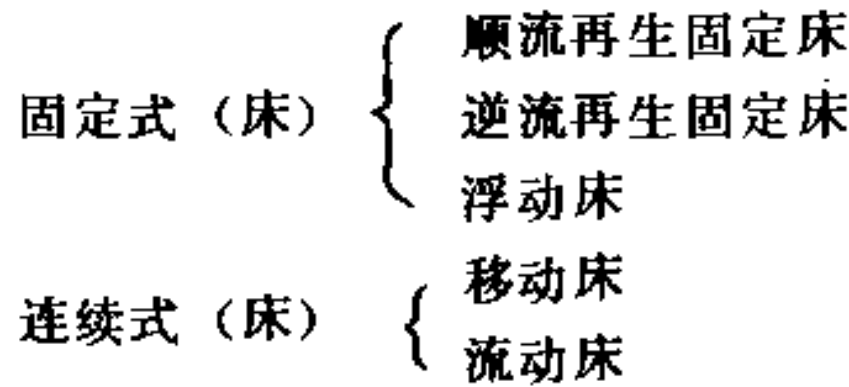
系 统 简 图	特 点
<p>低压侧定期加药系统</p>	<p>系统简单。但对给水量和软水剂量的比例不易控制，很难调整多台锅炉的炉水碱度，且易在给水管道的和锅炉省煤器内产生结垢现象</p>
<p>高压侧连续加药系统</p>	<p>设备可靠近锅炉安装，给水管及省煤器内不易结垢。每次加药周期内药剂浓度由浓到稀变化，炉水碱度不易保持均衡</p>
<p>高压侧连续加药系统</p>	<p>优点同上。且每次加药周期内药剂浓度均匀，有利于保持比较均衡的炉水碱度</p>

C ——溶液的浓度（一般 $C = 5 \sim 10\%$ ）；
 ρ ——溶液的密度， g/cm^3 ($\rho = 1.052 \sim 1.108$)。

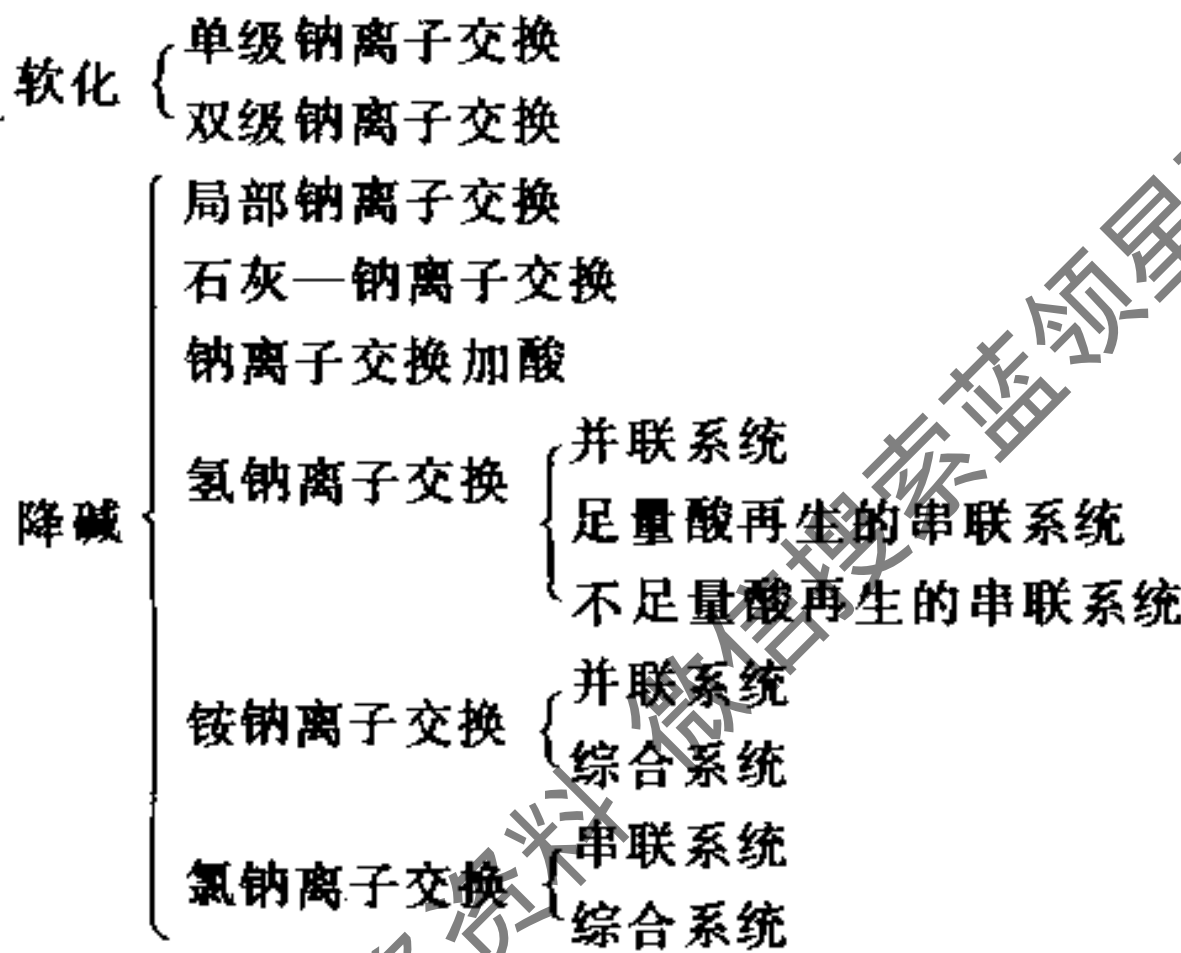
6.4.6 离子交换水处理

1. 离子交换水处理的分类及适用条件

(1) 按离子交换运行方式分类：



(2) 按离子交换出水品质分类：



(3) 适用条件

锅炉蒸发量大于1.50MW，水质要求较高时应采用离子交换水处理。并根据锅炉的容量、生水水质、排污量大小等技术经济因素选择不同的离子交换水处理系统。

• 当原水碱度不高，按碱度计算的锅炉排污率小于5~10%，且相对碱度 < 0.2 时，可采用单一的软化处理系统；

• 当原水碱度较高，按碱度计算的锅炉排污率大于5~10%，或相对碱度 > 0.2 时，应采用软化降碱的处理系统。

(4) 离子交换剂的种类应根据原水中离子组成及处理后水质的要求按以下原则选取；

• 当只需要去除水中交换吸附性能较强的离子时（如对碳酸盐硬度较大的生水——特别是碱性水进行软化处理时），应选用弱酸性或弱碱性树脂；当需要去除水中吸附性能比较弱的阳离子（如 Na^+ 、 K^+ ）或阴离子（如 HCO_3^- 、 $HSiO_3^-$ ）时，必须选用强酸性或强碱性树脂；

• 对于不要求除盐的软化系统，宜选用强酸性或弱酸性树脂；

• 采用流动床或移动床水处理时，应选择机械强度比较高的树脂。

常用离子交换剂的主要性能见表6.4-18及表6.4-19。

磺化煤的主要物理、化学性能

表 6.4-18

项 目	单 位	性 能	项 目	单 位	性 能
外 观		黑色颗粒	水浸膨胀率	%	15
粒 度	mm	0.3~1.2	全交换容量	ge/m ³	500左右
真 密 度	g/mL	1.4	工作交换容量	ge/m ³	300左右
视 密 度	g/mL	0.6~0.7	再生盐(酸)耗量	g/ge	NaCl 160~180 HCl 80~90
允许pH值范围		<8.5	年损耗量	%	10~15
允许使用温度	℃	40			

2. 离子交换系统的工艺流程

常用离子交换系统的工艺流程简图如图6.4-2所示

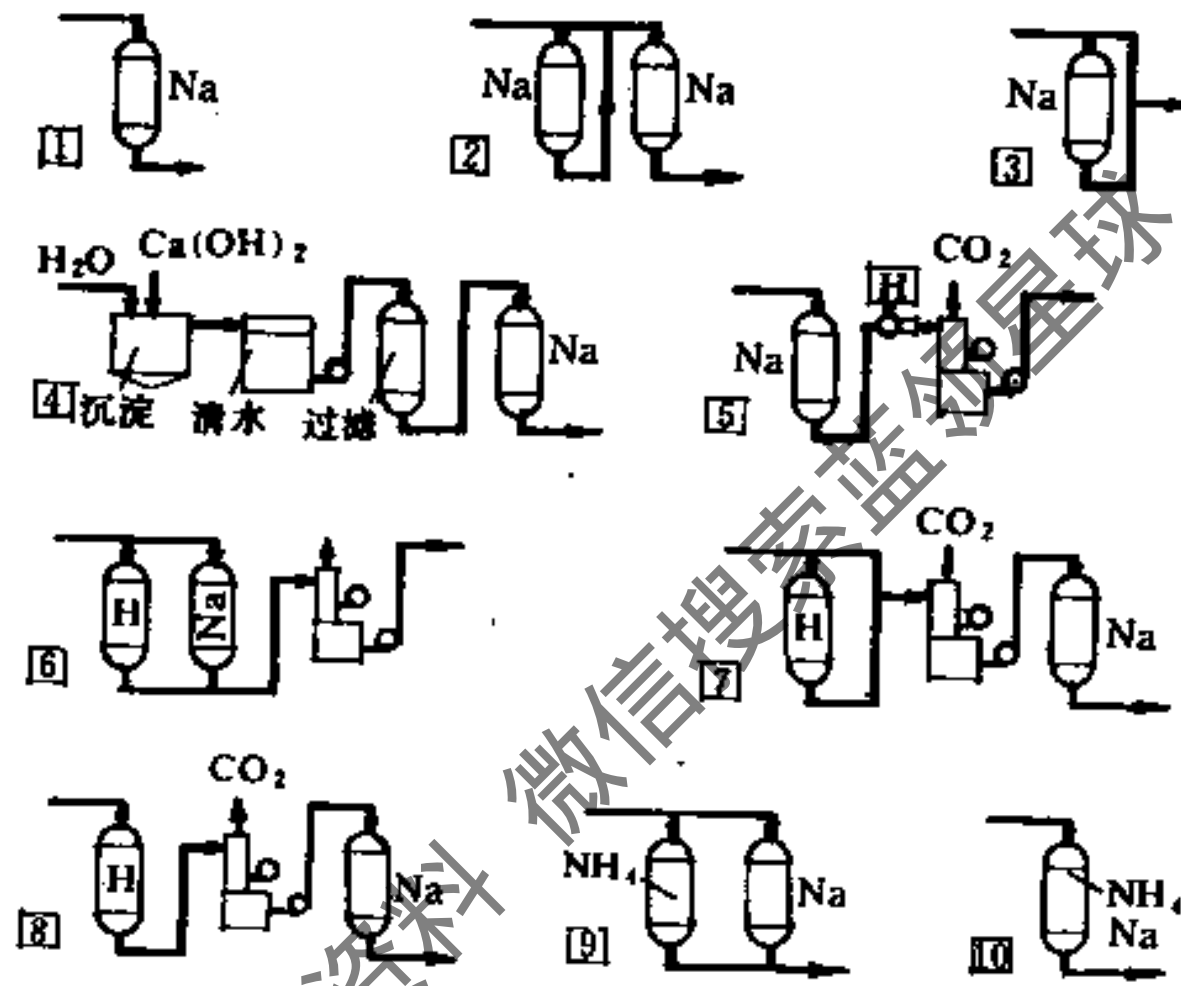


图 6.4-2 常用离子交换系统工艺流程简图

1—单级钠离子交换系统；2—两级钠离子交换系统；3—局部钠离子交换系统；4—石灰钠离子交换系统；5—钠离子交换加酸系统；6—并联氢钠离子交换系统；7—足量酸串联氢钠离子交换系统；8—不足量酸氢钠离子交换系统；9—并联铵钠离子交换系统；10—综合铵钠离子交换系统

3. 固定式阳离子交换器的主要工艺计算及设计要点

(1) 离子交换器的内径 d (m)

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot v}} \quad (6.4-7)$$

式中 Q ——离子交换器的出力, m^3/h ;

v ——水通过交换器的空塔流速, m/h , 其推荐值见表6.4-20。

(2) 离子交换器的运行延续时间 T (一般 $T < 8 \sim 12h$)

$$T = \frac{VE}{QH} \quad (6.4-8)$$

式中 V ——离子交换器内装交换剂体积, m^3 ;

E ——交换剂实际有效工作交换容量, ge/m^3 ;

Q ——软化水量, m^3/h ;

国产离子交换树脂的主要性能

表 6.4-19

产品牌号	类别	外观	全交换容量 (me/g)	工作交换容量 (me/g)	机械强度	粒径 (mm)	体积改变率 (%)	湿真密度 (g/mL)	湿视密度 (g/mL)	出厂离子型	允许pH值范围	允许温度 (°C)
732*	强酸苯乙烯型	淡黄色至褐色球状	>4.5	1.1~1.5		0.3~1.2	Na ⁺ →H ⁺ +7.5	1.24~1.29	0.75~0.85	Na ⁺	1~14	<110
强酸I*	强酸苯乙烯型	淡黄球状	>4.5	>1.8	长期使用 磨损极微	0.3~1.2	Na ⁺ →H ⁺ +1.8~2.2	1.4 (干真密度)	0.76~0.8	Na ⁺	1~14	<110
010*	强酸苯乙烯型	黄棕或金黄色球状	4~5	>1.7	长期使用 磨损极微	0.3~1.2	Na ⁺ →H ⁺ +1.8~2.2	1.4 (干真密度)	0.76~0.8	Na ⁺	1~14	<120 (Na型) <100 (H型)
724*	弱酸丙烯酸型	乳白球状	>9			0.3~0.84				Na ⁺	5~14	<120
711*	强碱苯乙烯型	淡黄至金黄色球状	>3.5	0.35~0.45		0.3~1.2	在水溶液中+85	1.04~1.08	0.65~1.75	Cl	0~12	<70 (Cl型) <50 (OH型)
717*	强碱苯乙烯型	淡黄至金黄色球状	>3	0.3~0.35	>95%	0.3~1.2	Cl ⁻ →H ⁺ +5	1.06~1.11	0.65~1.75	Cl	0~12	<60
201*	强碱苯乙烯型	淡黄球状	>2.7	1.0	长期使用 磨损极微	0.3~1.0		1.13 (干真密度)	0.64~0.68	Cl	0~12	<60
763*	强碱大孔I型	淡黄至黄色球状	>3.4			0.3~0.84		1.06~1.10	0.55~0.75	Cl	0~12	<40
701*	弱碱环氧型	金黄至琥珀色球状	>9	0.7~1.1	>90%	0.3~2.0	OH ⁻ →Cl ⁻ +20	1.05~1.09	0.60~0.75	OH	0~9	<80
704*	弱碱苯乙烯型	淡黄球状	>5	0.6~1.0		0.3~1.2	OH ⁻ →Cl ⁻ +2.5	1.04~1.08	0.65~0.75	Cl	0~9	<90
703*	弱碱大孔丙烯酸型	淡黄至褐色	>6.5			0.3~2.0		1.06~1.10	0.70~0.75	OH	0~9	<100

H ——进出离子交换器水中总硬度之差, ge/m^3 。

离子交换器空塔流速推荐值

表 6.4-20

原水总硬度 (me/L)	空塔流速 (m/h)					
	钠离子交换器		氢离子交换器		铵离子交换器	
	一级	双级	不足量酸还原	并联系统	并联系统	综合系统
0.2~1	25~30	40				
1~2	20~25	40			20	20
2~3	15~20	40	20	20	10~15	10~15
3~6	10~15	30~35	15	15	10	10
>6	3~10	25~30	10	10	5	5

(3) 再生一次用盐量 (再生剂耗量) B (kg)

$$B = \frac{bEV}{1000} \quad (6.4-9)$$

式中 V 、 E ——意义同上式;

b ——离子交换剂单位再生剂耗量, g/ge 。

(4) 设计要点:

• 进水 $H_0 < 2me/L$, 可采用固定床顺流再生方式; 当进水 $H_0 < 6.5me/L$, 应采用固定床逆流再生方式。

• 单级固定床离子交换器一般不少于两台, 当锅炉房总蒸发量 $< 4.2MW$ 或软水消耗量较少时, 可只设置一台, 但其出力应满足离子交换器运行和再生时的软水消耗量, 且水箱容量应能保证离子交换器再生时间内锅炉给水量。

• 当进水 $H_0 > 6.5me/L$, 应采用两级串联钠离子交换系统。

4. 固定式阳离子交换软化系统

(1) 单级钠离子交换系统

钠离子交换器主要工艺指标见表4.6-21。

(2) 局部钠离子交换系统

a. 允许采用炉内加药水处理过的锅炉可以采用局部钠离子交换法。这时应校核生水的 $\frac{H_T}{H_0}$, 使其满足 $\frac{H_T}{H_0} > 0.5$; 锅炉计算给水总硬度 (软水、生水和凝结水混合后的总硬度) $H_j < 3.5me/L$ 。

$$H_j = [y_{Na^+} \cdot H_C + (1 - y_{Na^+}) H_0] \rho \quad (6.4-10)$$

式中 y_{Na^+} ——通过钠离子交换器的软水量占给水量的百分率, 见表6.4-22;

$$y_{Na^+} = \frac{\rho(1 + P_A)(H_0 - A_0) + P_A \cdot A_K}{\rho(1 + P_A)H_0} \quad (6.4-11)$$

H_C ——软水的残留硬度, me/L ;

H_0 ——生水的总硬度, me/L ;

ρ ——锅炉补充水百分率 ($\rho < 1$)。

b. 系统中必须设置可靠的水计量装置, 以便按生水水质情况调节通过钠离子交换器的水量百分率。

表 6.4-21 钠离子交换器主要工艺指标

钠离子交换器规格 直径×全高 (mm)	φ300×1966	φ400×2310	φ500×3000	φ750×3000	φ1000×3700	φ1500×4700	φ2000×5000	计算依据
交换器面积F (m ²)	0.07	0.126	0.196	0.441	0.785	1.770	3.140	
交换剂层高度h(m)	1.00	1.20	1.50	1.50	2.00	2.50	2.50	
交换剂体积V (m ³)	0.07	0.151	0.294	0.66	1.57	4.43	7.85	
出力D(m ³ /h)	2.00	4.00	2.00	4.50	8.00	17.50	55.00	设计流速 10~25m/h (按样本取值) 15~30m/h (取25)
周期交换能力E ₀ (t/度)	265	570	250	560	1330	3770	6670	工作交换容量 250~360ge/m ³ (取300) 1100~1500ge/m ³ (取1100)
每次反洗用水量G ₁ (m ³ /15min)	0.49	1.06	0.53	1.19	2.12	4.77	8.34	反洗强度 3~4L/s·m ² (取3) 时间15min 4L/s·m ²
每次正洗用水量G ₂ (m ³ /次)			1.18	2.65	4.71	10.60	18.90	正洗流速 6~8 m/h(取8), 时间 30~50 (取45) min
配制盐液用水量G ₃ (m ³ /次)	0.14~0.28	0.30~0.60	0.204~0.326	0.455~0.728	1.08~1.73	3.06~4.90	5.43~8.68	盐液浓度 5~8 % 10.40~20.80
还原时总用水量G (m ³ /次)	0.63~0.77	1.36~1.66	1.914~2.036	4.295~4.568	7.91~8.56	18.43~20.27	32.80~36.05	G = G ₁ + G ₂ + G ₃
每次还原食盐耗量B (kg/次)	14	30	16.30	36.40	86.50	245	434	盐耗率 160~200g/ge(取180) 120~150g/ge(取150)
小时最大耗水量 (m ³ /h)	~1.95	~4.24	1.57	3.54	6.28	14.15	25.20	分子按正洗计算, 分母按反洗计算, (其数值小者为磺化煤, 大者为树脂)。

注: 1. 表中φ300~φ400两种小型树脂软水器的工艺指标摘自动力设施重复使用图集CR103, 按单级倒置固定床逆流交换方式进行, φ500~φ2000离子交换器按单级固定床顺流再生方式运行。

2. 表中数据按两种交换剂进行计算, 分子为磺化煤, 分母为732⁺强酸树脂。

3. 小时最大耗水量, 无反洗水箱时应按反洗计算, 有反洗水箱时按正洗计算。

4. φ500~φ2000如按逆流再生方式运行, 其还原盐耗及盐液量可按表中数值的60%取值。

表 6.4-22

通过钠离子交换器的软化水百分率“ γ_{Na^+} ”值

H_0	P_A	A_0 ρ	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
1.0	0.05	0.3		0.91	0.41		0.68	0.18							
		0.5													
		1.0	0.45			0.63	0.40	0.64	0.14					0.56	0.06
2.0	0.05	0.3				0.84	0.84	0.59	0.34	0.09					
		0.5		0.95	0.70	0.45	0.20	0.82	0.57						
		1.0	0.73	0.48	0.23		0.16	0.09			0.32	0.07		0.78	0.53
3.0	0.05	0.3					0.89	0.73	0.56	0.39		0.06			
		0.5		0.97	0.80	0.64	0.47	0.30	0.13						
		1.0	0.82	0.65	0.48	0.32	0.15	0.02							
4.0	0.05	0.3						0.88	0.71	0.55		0.21	0.85	0.69	0.52
		0.5		0.98	0.85	0.73	0.60	0.48	0.35						
		1.0	0.86	0.74	0.61	0.49	0.36	0.24	0.11		0.42	0.29	0.17	0.05	
4.0	0.10	0.3						0.91	0.78	0.66		0.41	0.89	0.77	0.64
		0.5		0.96	0.83	0.71	0.58	0.46	0.33						
		1.0		0.96	0.83	0.71	0.58	0.46	0.33		0.21	0.08		0.28	0.16

H_0	P_A	A_0													
		ρ													
		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	
5.0	0.05		0.98	0.88	0.78	0.94	0.84	0.74	0.64	0.54	0.44	0.34	0.24	0.14	
		0.89	0.72	0.69	0.59	0.49	0.39	0.29	0.19	0.09					
	0.10			0.86	0.76	0.66	0.56	0.46	0.36	0.26	0.16	0.07	0.81	0.33	0.23
6.0	0.05	0.96			0.82	0.95	0.86	0.78	0.70	0.61	0.53	0.45	0.36	0.28	
		0.91	0.90	0.90	0.82	0.74	0.65	0.57	0.48	0.40	0.32	0.23	0.15	0.06	
	0.10		0.83	0.74	0.66	0.58	0.49	0.41	0.33	0.24	0.16	0.08	0.84	0.44	0.36
7.0	0.05		0.97	0.89	0.80	0.95	0.88	0.81	0.74	0.67	0.60	0.53	0.45	0.38	
		0.92	0.99	0.92	0.84	0.77	0.70	0.62	0.54	0.49	0.42	0.34	0.27	0.20	
	0.10		0.85	0.78	0.71	0.64	0.57	0.49	0.42	0.35	0.28	0.21	0.14	0.07	
8.0	0.05		0.97	0.90	0.83	0.96	0.90	0.83	0.77	0.71	0.65	0.58	0.52	0.46	
		0.93	0.99	0.93	0.86	0.80	0.74	0.68	0.61	0.55	0.49	0.43	0.36	0.30	
	0.10		0.87	0.81	0.74	0.68	0.62	0.56	0.49	0.43	0.37	0.31	0.24	0.18	
			0.98	0.91	0.85	0.79	0.73	0.66	0.60	0.54	0.48	0.41	0.35	0.29	

注：本表 $A_k = 20 \text{ me/L}$

炉水中应投加适量的有机泥垢调节剂，以增加防垢效果（药剂种类及药剂量参阅本章6.4-5炉内水处理）。

(3) 氢—钠离子交换法

a. 系统适用范围及主要设计参数，详见表6.4-23。

b. 足量酸再生氢—钠离子系统 Y_{H^+} (%)，其数值见表6.4-24。

氢—钠离子交换系统适用范围及主要设计参数

表 6.4-23

项目	足量酸再生		不足量酸再生
	并联系统	串联系统	串联系统
适用生水质	<ul style="list-style-type: none"> 当$H_F < 3.6 \text{ me/L}$时，$\frac{H_T}{H_0} > 0.5$ $S_0 < 500 \sim 600 \text{ mg/L}$ $[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] < 5.3 \sim 7 \text{ mg/L}$ 	<ul style="list-style-type: none"> 当$H_F > 3.6 \text{ me/L}$时，$\frac{H_T}{H_0} < 0.5$ S_0较大 $[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] > 5.3 \sim 7 \text{ mg/L}$ 	<ul style="list-style-type: none"> H_F较小，$H_T > 1 \text{ me/L}$或有负硬 $S_0 < 2000 \sim 3000 \text{ mg/L}$ 当采用弱酸性阳树脂时$\frac{H_0}{A_0} = 1 \sim 1.5$
软化水控制残留碱度 A_c	混合水 $0.2 \sim 0.35 \text{ me/L}$	混合水 $0.5 \sim 0.8 \text{ me/L}$	H离子交换后 $0.3 \sim 0.5 \text{ me/L}$
交换剂	强酸性阳树脂或磺化煤		磺化煤或弱酸性阳树脂
通过氢离子交换器的水量百分比 Y_{H^+}	<ul style="list-style-type: none"> 当生水无负硬时 $Y_{H^+} = \frac{H_T - A_c}{H_0} \times 100 (\%)$ 当生水具有负硬或钠盐时 $Y_{H^+} = \frac{A_0 - A_c}{A_0 + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]} \times 100 (\%)$ 		$Y_{H^+} = 100 (\%)$
氢离子交换器再生剂比耗 b	<ul style="list-style-type: none"> 顺流再生 $\text{H}_2\text{SO}_4 - 100 \sim 150 \text{ g/ge}$ $\text{HCl} - 70 \sim 85 \text{ g/ge}$ 逆流再生 $\text{H}_2\text{SO}_4 - 70 \sim 80 \text{ g/ge}$ $\text{HCl} - 50 \sim 55 \text{ g/ge}$ 		<ul style="list-style-type: none"> 顺流再生 磺化煤 $\text{H}_2\text{SO}_4 - 49 \text{ g/ge}$ $\text{HCl} - 36.5 \text{ g/ge}$ 弱酸性阳树脂 $\text{H}_2\text{SO}_4 - (1.05 \sim 1.10) 49 \text{ g/ge}$ $\text{HCl} - (1.05 \sim 1.10) 36.5 \text{ g/ge}$
进入钠离子交换器的水质硬度 H_1	$H_1 = H_0 \text{ me/L}$	$H_1 = Y_{H^+} H_c + (1 - Y_{H^+}) H_0 \sim (1 - Y_{H^+}) H_0 \text{ me/L}$	$H_1 = H_F + A_c \text{ me/L}$

足量酸氢离子交换水量百分比 Y_{H^+} 值 (%)

表 6.4-24

$A_0 (\text{me/L})$ $[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] (\text{me/L})$	$A_0 (\text{me/L})$						$A_0 (\text{me/L})$ $[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] (\text{me/L})$	$A_0 (\text{me/L})$					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
0.3	38	65	76	81.4	84.9	87.3	4.0	10	25	35.7	43.8	50	55
0.5	33	60	71	77	81.8	84.6	4.5	10	23	33.3	41.2	47.4	52.4
1.0	25	50	62.5	70	75	78.6	5.0	10	21.4	31.3	38.9	45	50
1.5	20	43	55.5	63.6	69.2	73.3	5.5	10	20	29.4	36.8	42.9	47.8
2.0	16.7	37.5	50	58.3	64.3	68.8	6.0	10	18.8	27.7	35	40.9	45.8
2.5	14.3	33	45.5	53.8	60	64.7	6.5	10	17.7	26.3	33.3	39.1	44
3.0	12.5	30	41.6	50	56.3	61.1	7.0	10	16.7	25	31.8	37.5	42.3
3.5	11	27	38.5	46.7	52.9	57.9							

注：制表时取 $A_c = 0.5 \text{ me/L}$ 。

c. 氢离子交换器的主要工艺指标，见表6.4-25。

氢离子交换器的

氢离子交换器规格 直径×全高 (mm)		φ1000×3450		φ1500×4420		φ2000×4750	
交换器面积 F (m ²)		0.785		1.770		3.140	
交换剂层高度 h (m)		2.000		2.500		2.500	
交换剂体积 V (m ³)		1.570		4.425		7.850	
出力 D (m ³ /h)		11.78~15.70		26.55~35.40		47.00~62.80	
再 生 剂		H ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	HCl
周期交换能力 E_0 (ge)	强酸树脂	940	1415	2655	3980	4710	7065
	磺化煤	425		1195		2120	
	弱酸树脂	2510		7080		12560	
每次反洗用水量 G_1 (m ³ /15min)		2.95		6.64		11.78	
每次正洗用水量 G_2 (m ³ /次)	树 脂	9.80		22.13		39.25	
	磺化煤	7.85		17.70		31.40	
配制酸液用水量 G_3 (m ³ /次)	强酸树脂	>5.82 >2.61	2.77 0.83	>16.35 >7.39	7.79 2.35	>29 >13.1	13.85 4.17
	磺化煤	>1.08 >6.45	0.39 2.33	>3.05 >18.13	1.1 6.59	>5.4 >32.17	2.00 11.70
	弱酸树脂						
还原时总用水量 G (m ³ /次)	强酸树脂	15.62~18.57 10.46~13.41	12.57~15.52 8.68~11.63	38.48~45.12 25.09~31.73	29.92~36.56 20.05~26.69	68.25~80.03 44.5~56.28	53.1~68.44 35.57~47.35
	磺化煤	8.93~11.88 16.25~19.2	8.24~11.19 12.13~15.08	20.75~27.39 40.26~46.9	18.8~25.44 28.72~35.36	36.8~48.58 71.42~83.2	33.4~45.18 50.95~62.73
	弱酸树脂						
每次还原再生剂 耗 量 B (kg/次)	强酸树脂	118 53	113 34	332 150	318 96	589 265	565 170
	磺化煤	22 131	16 .95	62 368	45 269	110 653	81 477
	弱酸树脂						
小时最大耗水量 (m ³ /h)	树 脂	11.76~11.80		26.56~26.56		47.10~47.12	
	磺化煤	9.42~11.80		21.24~26.56		37.68~47.12	

注：1.表中数值均按顺流方式进行计算，如足量酸系统采用逆流方式运行时，其还原酸耗及酸液量可按表中数值的
2.小时最大耗水量，有反洗水箱时按正洗计算，无反洗水箱时按反洗计算。
3.表中 G_3 、 G 、 B 栏中，磺化煤上行与强酸树脂同为足量酸数值，下行与弱酸树脂同为不足量酸数值。

表 6.4-25

主要工艺指标

φ2500 × 5050		φ3000 × 5300		计 算 依 据	
4.910		7.100		设计流速 $v = 15 \sim 20 \text{ m/h}$	
2.500		2.500			
12.275		17.750			
73.65 ~ 98.20		106.50 ~ 142.00			
H_2SO_4	HCl	H_2SO_4	HCl	H_2SO_4	HCl
7365	11050	10650	15780	工作交换容量 $E (\text{ge}/\text{m}^3)$ 足酸 — [600 900 不足酸 — [270 [1600	
3315		4795			
19640		28400			
18.41		26.63			
61.38		88.75		反洗流速 15 m/h , 时间 15 min	
49.10		71.00		正洗流速 $\frac{15 \text{ m/h}}{12 \text{ m/h}}$, 时间 50 min	
>45.3	21.67	>65.5	31	酸液浓度 H_2SO_4 HCl <2% 3~4%	
>20.44	8.50	>29.56	9.4		
>8.47	3.10	>12.32	4.46		
>50.30	18.30	>72.76	26.50		
106.68 ~ 125.09	83.05 ~ 101.46	154.25 ~ 180.88	120 ~ 147	前数为利用正洗水作下次反洗用 $G = G_2 + G_3$ 后数为不用正洗水作下次反洗用 $G = G_1 + G_2 + G_3$	
89.54 ~ 87.95	55.6 ~ 74.01	100.56 ~ 127.19	80 ~ 107		
57.57 ~ 75.98	52.2 ~ 70.61	83.32 ~ 109.95	75.5 ~ 102	耗酸率 (g/ge) 足酸 — [125 80 [125 80 不足酸 — [52 38 [52 38	
111.68 ~ 130.09	79.68 ~ 98.09	161.51 ~ 188.14	115 ~ 142		
920	884	1330	1260		
415	265	600	384		
172	126	250	182	前数按正洗计算, 后数按反洗计算	
1021	746	1477	1080		
73.66 ~ 73.64		106.50 ~ 106.52			
58.92 ~ 73.64		85.20 ~ 106.52			

70%取值。

d. 设计要点:

- 足量酸再生的并联及串联氢钠离子交换系统中, 必须设置可靠的水量计量装置, 以便按生水水质及混合水的残余碱度调节通过氢离子交换器的水量百分比 Y_H 值;
- 系统中应设置 CO_2 脱气设备;
- 氢离子交换器及呈酸性水流过的管道及设备均应考虑防酸处理;
- 为防止还原时生成石膏状结晶, 还原用 H_2SO_4 的浓度应采用1~1.5% ($>2%$); 酸液流速9~10m/h ($<5m/h$), 还原过程应连续进行。

(4) 铵—钠离子交换系统

a. 系统适用范围及主要设计参数见表6.4-26。

铵—钠离子交换系统适用范围及主要设计参数

表 6.4-26

项目	综合法	并联法
适用生水质	<ul style="list-style-type: none"> • $Y_{NH_4^+} = 40 \sim 90\%$; • $\frac{[Na^+]}{\text{总阳离子}} < 25\%$; • $\frac{[Na^+]}{H_0} < 30 \sim 35\%$; • 当允许$A_c > 0.5me/L$时 $\frac{H_T}{H_0} > 80\%$。 	<ul style="list-style-type: none"> • $Y_{NH_4^+} < 40\%$或$85 \sim 90\%$; • $\frac{[Na^+]}{\text{总阳离子}} < 25\%$; • $\frac{[Na^+]}{H_0} < 30 \sim 35\%$;
控制在炉内受热后软化水残余碱度 A_c	0.5~1me/L	0.35~0.50me/L
通过铵离子交换的水量百分比 $Y_{NH_4^+}$	<ul style="list-style-type: none"> • 当生水无负硬时$Y_{NH_4^+} = \frac{H_T - A_c}{H_0} \times 100(\%)$; • 当生水具有负硬$Y_{NH_4^+} = \frac{A_0 - A_c}{A_0 + [SO_4^{2-}] + [Cl^-]} \times 100(\%)$。 或钠盐时	
铵离子交换再生剂比耗 b (g/ge)	<ul style="list-style-type: none"> • 磺化煤 $(NH_4)_2SO_4$ 226$Y_{NH_4^+}^P/100$ NH_4Cl 183$Y_{NH_4^+}^P/100$ • 树脂 $(NH_4)_2SO_4$ 203$Y_{NH_4^+}^P/100$ NH_4Cl 165$Y_{NH_4^+}^P/100$ 	<ul style="list-style-type: none"> • 磺化煤 $(NH_4)_2SO_4$ 200 NH_4Cl 162 • 树脂 $(NH_4)_2SO_4$ 180 NH_4Cl 146

注: 1. 综合交换系统再生液中铵盐相对浓度 $Y_{NH_4^+}^P = Y_{NH_4^+} - (0.1 \sim 0.15)$
 2. 综合交换系统再生液中钠盐相对浓度 $Y_{Na^+}^P = (1 - Y_{NH_4^+}) + (0.1 \sim 0.15)$
 其钠盐比耗对磺化煤为 $178Y_{Na^+}^P/100$; 对树脂为 $134Y_{Na^+}^P/100$ 。

b. 铵离子交换水量百分比 $Y_{NH_4^+}$ (%) 值, 见表6.4-27。

c. 铵钠离子交换器主要工艺指标见表6.4-28。

d. 设计要点:

- 采用铵—钠离子交换法, 应注意蒸汽中带氨对用户是否有影响, 并考虑如给水除氧效果不彻底时含氨蒸汽对供汽系统中含铜部件的腐蚀作用;
- 铵—钠离子交换系统宜设置热力除氧装置;
- 采用综合铵—钠离子交换系统时, 考虑到铵离子实际交换度增大的因素, 还原液中铵盐比例应比计算耗量减少10~15%。近似计算:

$$Y_{NH_4^+}^P = Y_{NH_4^+} - (0.1 \sim 0.15) \quad (6.4-12)$$

铵离子交换水量百分比 Y_{NH_4} (%)

表 6.4-27

A_0 (me/L)	$[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]$ (me/L)									
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0
0	50	66.7	75	80	83.3	85.7	87.5	90		
0.25	40	57.1	66.7	72.7	76.9	80	82.4	85.7	88	89.7
0.50	33	50	60	66.7	71.4	75	77.8	81.8	84.6	86.7
0.75	28.6	44.4	54.6	61.5	66.7	70.6	73.7	78.3	81.5	83.9
1.00	25	40	50	57.1	62.5	66.7	70	75	78.6	81.3
1.50	20	33.3	42.9	50	55.6	60	63.6	69.2	73.3	76.5
2.00	16.7	28.6	37.5	44.4	50	54.6	58.3	64.3	68.8	72.2
2.50	14.3	25	33.3	40	45.5	50	53.9	60	64.7	68.4
3.00	12.5	22.2	30	36.4	41.7	46.2	50	56.3	61.1	65
3.50	11	20	27.3	33.3	38.5	42.9	46.7	52.9	57.9	61.9
4.00	10	18.2	25	30.8	35.7	40	43.8	50	55	59.1
4.50	9.1	16.7	23.1	28.6	33.3	37.5	41.2	47.4	52.4	56.5
5.00	8.3	15.4	21.4	26.7	31.3	35.3	38.9	45	50	54.2
5.50	7.7	14.3	20	25	29.4	33.3	36.8	42.9	47.8	52
6.00	7.1	13.3	18.8	23.5	27.8	31.6	35	40.9	45.8	50
6.50	6.7	12.5	17.7	22.2	26.3	30	33.3	39.1	44	48.2
7.00	6.3	11.8	16.7	21.1	25	28.6	31.8	37.5	42.3	46.4

综合法

并联法

注: 1. 制表时取 $A_c = 0.5 \text{ me/L}$;2. 确定系统方式, 除本表 Y_{NH_4} 数值外, 还应综合其它因素通盘考虑。

$$Y_{Na}^P = (1 - Y_{NH_4}) + (0.1 \sim 0.15) \quad (6.4-13)$$

具体数值可由图 6.4-3 查得。

5. 逆流再生及浮动床工艺

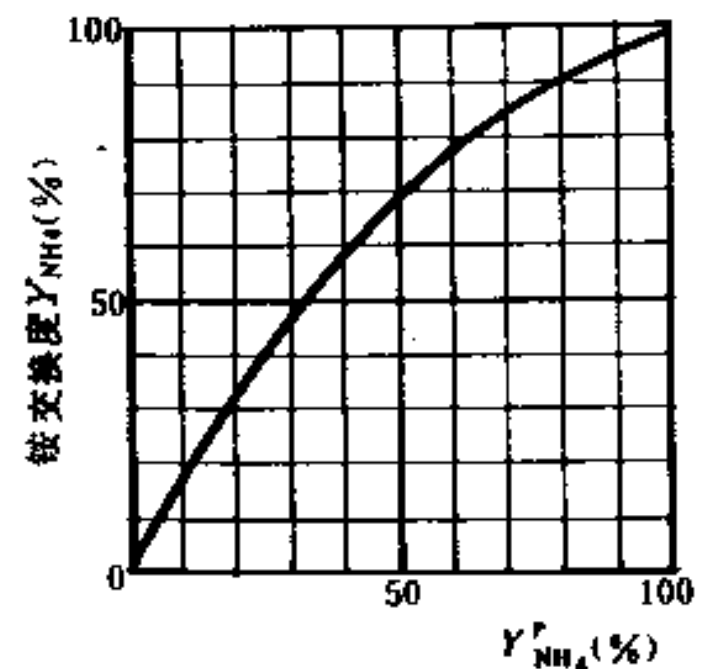
(1) 固定床逆流再生

a. 逆流再生工艺适用范围及设计要点:

• 适用范围——对各种阳、阴离子交换(如钠型、氢型阳离子及氢氧型阴离子交换等)的生水水质 $H_0 < 6.5 \text{ me/L}$, $S_0 = 150 \sim 500 \text{ mg/L}$ 时均可适用;

• 特点——与顺流再生工艺相比, 交换剂工作交换容量大, 再生剂量减少 20~40%, 自用水率及废水排放量降低 30~40%;

• 采用逆流再生离子交换器时, 应有防止交换剂乱层的措施(一般采用气顶法、水顶法、负压法及控制低流速、无顶压法等)。

图 6.4-3 再生液中 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的相对浓度 $Y_{NH_4}^P$ 。

铵钠离子交换器主要工艺指标

表 6.4-28

离子交换器规格 直径×全高 (mm)	φ750×3000		φ1000×3700		φ1500×4700		φ2000×5000		计算依据
	综合	并联	综合	并联	综合	并联	综合	并联	
交换器面积 F (m ²)	0.441	0.441	0.785	0.785	1.770	1.770	3.14	3.140	设计流速 $v = 10 \sim 15$ m/h
交换剂层高度 h (m)	1.50	1.50	2.00	2.00	2.50	2.50	2.50	2.50	
交换剂体积 V (m ³)	0.66	0.66	1.57	1.57	4.43	4.43	7.85	7.85	
出力 D (m ³ /h)	4.41~6.62	4.41~6.62	7.85~11.78	7.85~11.78	17.70~26.55	17.70~26.55	31.40~47.10	31.40~47.10	
交换剂类型	NH ₄ ⁺ Na ⁺		NH ₄ ⁺ Na ⁺		NH ₄ ⁺ Na ⁺		NH ₄ ⁺ Na ⁺		
周期交换能力 E_0 (ge)	396	396	942	942	2658	2658	4710	4710	工作交换容量 E (ge/m ³)
每次反洗用水量 G_1 (m ³ /15min)	1.65	1.65	2.95	2.95	6.64	6.64	11.78	11.78	反洗流速 15m/h; 时间 15min。
每次正洗用水量 G_2 (m ³ /次)	3.53	2.65	6.28	4.71	14.16	10.62	25.12	18.84	正洗流速 12m/h;
配制盐液用水量 G_3 (m ³ /次)	1.37	0.56	3.26	1.34	9.22	3.78	16.32	6.70	时间 (min)
还原时总用水量 G (m ³ /次)	5.46~7.11	5.36~7.00	10.88~13.83	11.16~14.11	27.38~34.02	28.76~35.4	48.14~59.92	51.02~62.8	盐液浓度; %
每次还原再生剂耗量 (kg/次)	36.2	29.2	86	69.4	243	196	430	347	前数利用正洗水作下次反洗用 $G = G_2 + G_3$
小时最大耗水量 (m ³ /h)	5.30~6.60	5.30~6.60	9.42~11.80	9.42~11.80	21.24~25.58	21.24~25.58	37.68~47.12	37.68~47.12	后数不用正洗水作下次反洗用 $G = G_1 + G_2 + G_3$
									盐耗率 g/ge $2.03Y_{NH_4}^+$ $1.34Y_{Na}^+$ 180 (综合) $2.26Y_{NH_4}^+$ $1.78Y_{Na}^+$ 200 (并联)
									前数按正洗计算、后数按反洗计算。

注: 1. 综合系统中, 计算时取 $Y_{NH_4} = 80\%$, $Y_{Na} = Y_{NH_4} - 15\% = 45\%$; $(NH_4)_2SO_4$ 相对耗率 $\frac{203 \times 45}{100} = 91.35g/ge$ 及 $\frac{226 \times 45}{100} = 101.7g/ge$ 。

则 $Y_{Na} = 100\% - 45\% = 55\%$, $NaCl$ 相对耗率 $\frac{134 \times 55}{100} = 73.7g/ge$ 及 $\frac{178 \times 55}{100} = 97.9g/ge$ 。

2. 当以 NH_4Cl 代替 $(NH_4)_2SO_4$ 时, 铵剂的用量可减少 19%。
3. 小时最大耗水量, 有反洗水箱时按正洗计算, 无反洗水箱时按反洗计算。
4. 并联系统中, 本表仅列出铵钠离子交换器工艺指标, 有关钠离子交换器的工艺指标见表 6.4 21。

• 要求进水浊度不超过1~2mg/L, 以减少大反洗次数。

b. 逆流再生工艺的运行技术参数见表6.4-29和表6.4-30。

逆流再生工艺运行技术参数 (一)

表 6.4-29

类 型	工 艺 条 件 及 技 术 参 数	备 注
气 顶 压 法	1. 压缩空气的压力0.03~0.05MPa, 压力稳定, 不间断; 2. 气量0.2~0.3m ³ /(m ² ·min); 3. 压脂层厚度120~150mm	1. 不易乱层, 稳定性好; 2. 操作容易掌握; 3. 耗水量少; 4. 需设置净化压缩空气系统
水 顶 压 法	1. 水压0.05~0.1MPa; 2. 顶压水量为再生液流量的1~1.5倍; 3. 压脂层厚度120~150mm	1. 操作简单; 2. 再生废液量大, 增加废水中和处理的负担
低 流 速 法	1. 控制再生液流速低到不乱层为限, 一般 $w < 1.6 \sim 2$ m/h; 2. 不需压脂层	1. 设备及辅助系统简单; 2. 不易控制, 再生时间较长; 3. H ₂ SO ₄ 再生不宜采用
无 顶 压 法	1. 中排液装置小孔流速小于0.1m/s; 2. 压脂层厚度200mm	1. 操作简便; 2. 外部管系简单; 3. 不需任何顶压系统

逆流再生工艺运行技术参数 (二)

表 6.4-30

工 艺 阶 段	技 术 参 数	备 注	
运 行	$v = 15 \sim 20$ m/h, 瞬间 $v = 30$ m/h		
再 生	小 反 洗	$v = 10 \sim 12$ m/h, 时间10~15min	生水浊度较低时, 可间隔几个周期进行一次
	上 部 排 水	使压脂层处于干的状态	水顶压法不排水
	顶 压	气压法 $p = 0.03 \sim 0.05$ MPa, 水压法 $p = 0.05 \sim 0.10$ MPa	低流速法及无顶压法不需顶压
	逆 向 进 再 生 液	$v = 1 \sim 2$ m/h, 时间30~50min	对低流速法控制如下: 磺化煤: $v = 3 \sim 5$ m/h, 25~40min 树 脂: $v = 1.6 \sim 2$ m/h, 40~60min
	逆 向 置 换 清 洗	速度及时间与再生相同。 对NaR控制: $Cl_{出水} = Cl_{进水} + 20$ mg/L 或 $Hc < 0.5$ me/L; 对HR控制: 出水酸度 $< 3 \sim 5$ me/L	
	小 正 洗	$v = 15 \sim 20$ m/h, 时间5~10min	
	正 洗	$v = 10 \sim 15$ m/h, 出水水质符合运行指标为终点	
	大 反 洗	$v = 10 \sim 15$ m/h, 时间10~15min	一般根据生水浊度, 间隔15~20个运行周期在再生前进行一次大反洗, 较彻底地清除树脂层的污物及疏松树脂层。 大反洗后第一次再生剂耗量要比一般增加50~100%

(2) 浮动床

a. 浮动床工艺的适用范围及设计要点:

• 适用范围——与逆流再生工艺类似,生水水质 $H_0 = 2 \sim 4 \text{ me/L}$, $S_0 = 150 \sim 300 \text{ mg/L}$, 进水浊度 $1 \sim 2 \text{ mg/L}$ (当采用体内擦洗时可提高到 $5 \sim 8 \text{ mg/L}$)。

• 特点——交换器内树脂的填充率 $95 \sim 98\%$, 运行时交换剂层被水流托起呈悬浮状态。运行速度高, 产水量大, 出水品质稳定, 再生剂用量低 (比耗 $1.20 \sim 1.50$, 利用率达 $85 \sim 95\%$), 自耗水率低 ($> 5\%$), 不需设置顶压系统, 操作方便。

• 要求成床稳定, 防止乱层, 适用于连续工作, 在一个周期内不宜间断运行。运行时树脂下部水垫层应不大于 100 mm , 失效时其水垫层 $> 300 \text{ mm}$ 。树脂层上部应设置比重 $\gamma < 1$, 粒径 $\phi 1 \sim 1.5 \text{ mm}$ 的惰性树脂 (或塑料球), 厚度 $h = 200 \sim 300 \text{ mm}$ 。

• 设备上应设体内取样管 (在出水端树脂层下 $150 \sim 250 \text{ mm}$ 处设置), 以加强运行终点的监督。

• 设备下部排水管应做成倒“U”形管道, 其最高点应高于树脂层上表面 100 mm , 以防止下部排水时空气进入树脂层。

• 应设置定期 (一般 $15 \sim 20$ 周期左右) 清洗树脂的设备, 推荐采用带有上部体内抽气擦洗装置的浮床离子交换装置。

b. 浮动床工艺的运行技术参数见表 6.4-31。

浮动床工艺的运行技术参数

表 6.4-31

工艺阶段	技 术 参 数	备 注
运 行 ↑	$v = 30 \sim 40 \text{ m/h}$, $v_{\text{max}} = 50 \text{ m/h}$, $v_{\text{min}} = 7 \sim 10 \text{ m/h}$	
落床 ↓	利用反压力落床, 时间 $\sim 1 \text{ min}$, 重力落床, 时间 $2 \sim 3 \text{ min}$	
再 生 ↓	NaR 床: $\text{NaCl} 80 \sim 100 \text{ g/ge}$, 浓度 $2 \sim 3\%$, $v = 3 \sim 6 \text{ m/h}$ 强酸HR床 $\left\{ \begin{array}{l} \text{HCl} 150 \sim 55 \text{ g/ge}, \text{浓度 } 2 \sim 3\%, v = 3 \sim 6 \text{ m/h} \\ \text{H}_2\text{SO}_4 < 70 \text{ g/ge}, \text{浓度 } 0.8 \sim 1.2\%, v = 7 \sim 12 \text{ m/h} \end{array} \right.$	
置 换 ↓	v 与再生相同, 时间 $15 \sim 30 \text{ min}$	
清 洗 ↓	$v = 10 \sim 15 \text{ m/h}$, 时间 $15 \sim 30 \text{ min}$	控制 $\text{Cl}_{\text{出水}} > \text{Cl}_{\text{进水}} + 100 \text{ mg/L}$ 清洗水 $\left\{ \begin{array}{l} \text{对 NaR 应用软水,} \\ \text{对 HR 应用 H}^+ \text{ 型水} \end{array} \right.$
成 床 ↑	$v = 15 \sim 25 \text{ m/h}$, 时间 $2 \sim 3 \text{ min}$	
正 洗 ↑	至出水合格为止, 时间一般 $3 \sim 5 \text{ min}$	
定期擦洗	$\left\{ \begin{array}{l} \text{体内擦洗} \\ \text{体外擦洗} \end{array} \right.$	每间隔 $15 \sim 20$ 周期进行一次

6. 再生系统

(1) 常用离子交换再生系统的流程见图6.4-4。

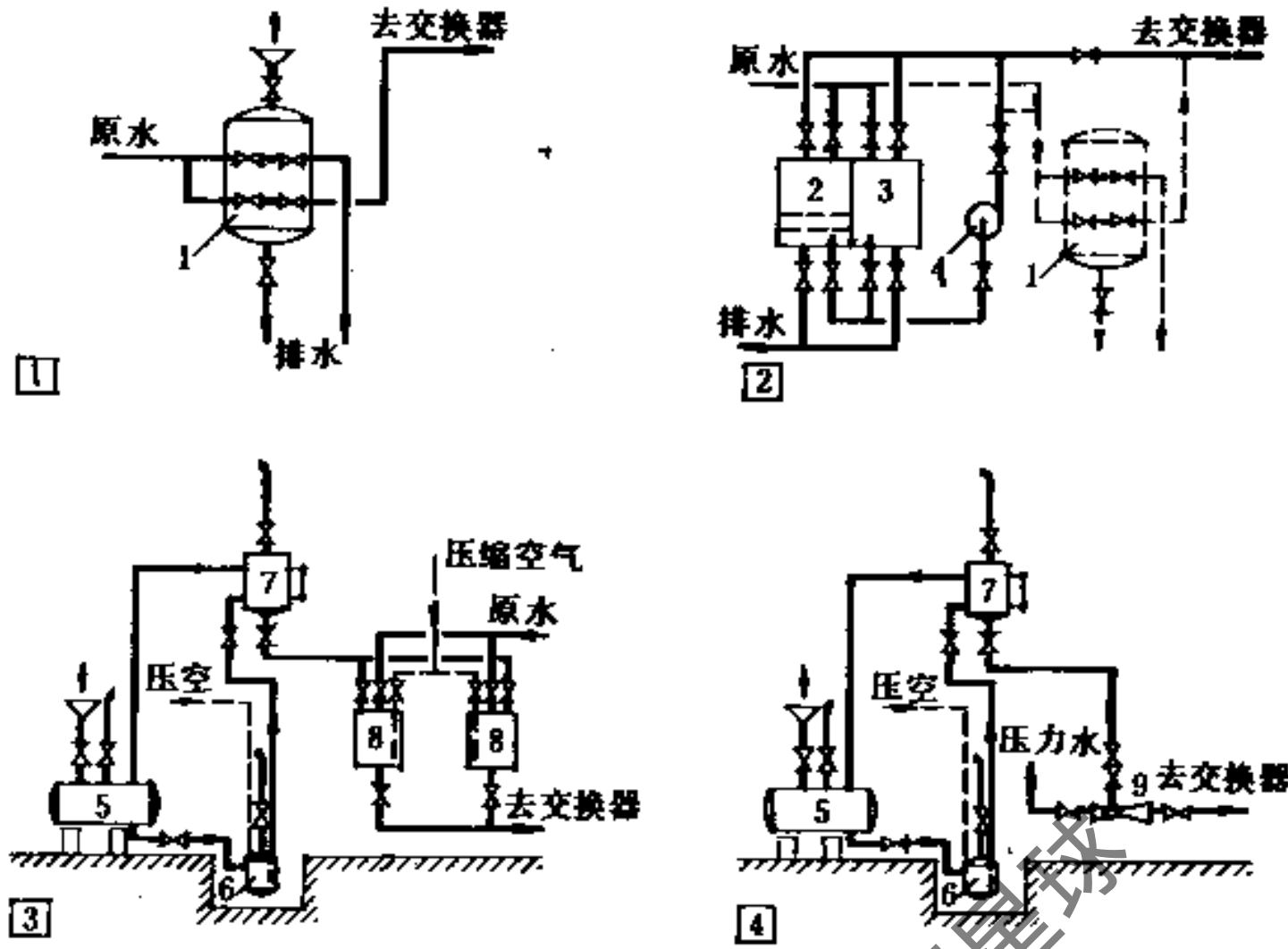


图 6.4-4 常用离子交换再生系统流程简图

- ① 盐溶解器系统 (适用于 Na^+ 交换); ② 盐液池配置盐液系统 (适用于 Na^+ 交换、 $\text{NH}_4 - \text{Na}$ 离子交换);
 ③ 具有稀释箱的酸液制备系统; ④ 具有水射器的酸液制备系统
 1—盐溶解器 (盐液过滤器); 2—浓盐溶液池; 3—稀盐溶液池; 4—盐液泵;
 5—浓酸贮存箱; 6—排挤器; 7—计量箱; 8—稀释箱; 9—水射器

(2) 再生系统的设计原则

a. 再生系统的设计应满足以下要求:

- 再生用原料储存量根据供应及运输条件按 15~30 天的需用量计算;
- 采用槽车进酸时, 浓酸贮存箱容积应按一个槽车的运输量加 10 天的需用量进行计算;
- 当全厂设有集中仓库或贮罐时, 锅炉房内可只设日用贮罐, 其有效容积按不小于 1~2 天的需用量进行计算;
- 各种再生系统的再生剂浓度、流速及再生时间可按表 6.4-32 采用;

再生剂浓度、流速及再生时间

表 6.4-32

再生剂名称	一般采用浓度 (%)	再生剂流速 (m/h)	再生时间 (min)
NaCl	一级 5~8、二级 8~12	一级 3~4、二级 4~5	15~20
H_2SO_4	1~2	<10	
HCl	3~4	4~6	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2.5~3	<10	
NH_4Cl	5~10	4~6	

• 注意再生废液的回收。一般可将再生液后段回收以配制再生液或作预再生之用 (逆流再生时不宜用废液配制再生液)。在两级离子交换时, 也可用第二级再生废液作为第一级

离子交换剂的再生液。

b. 钠离子交换再生系统

• 再生用盐量小于50 kg/班时，可采用干法贮存，食盐贮存高度一般为2 m。盐溶解器按一次还原盐耗来选择；

• 一般食盐宜采用湿贮存，贮存池的数量按容量大小设置1~2个。

湿贮存池内的饱和盐液宜自流送入稀盐池。稀盐池的容积不应小于最大一台钠离子交换器的一次再生需用量；

• 再生用盐液应经过滤，一般可在贮存池底部设过滤层，对容量较大的水处理系统可设置专用盐液过滤器。

过滤层的滤料采用石英砂或无烟煤，可按表6.4-33进行配制。

过滤层滤料规格及级配

表 6.4-33

滤料粒径	上层	中层	底层
$d(\text{mm})$	1~2.5	2.5~5	5~10
滤料高度 $h(\text{mm})$	100	150~200	100~150

• 盐液系统的设备、管道及附件应采取防腐措施。贮存池内壁可采用瓷砖贴面，管道阀门及附件可采用硬聚氯乙烯制品。

c. 铵离子交换再生系统

• 不宜采用直接将硫酸铵放置在溶解器内溶解后输送到铵离子交换器的系统，以防止超过还原液的允许浓度；

• 硫酸铵的浓液池应单独设置。其稀液池是否与氯化钠稀盐池合并设置应视铵钠离子交换系统的不同类型确定；

• 当采用并联铵钠离子交换系统时，应分别设置稀盐池。当采用综合铵钠离子交换系统时，可采用混合液稀液池，但宜选用分设稀液池以便采用先钠后铵的再生工艺，提高除碱效率。

d. 氢离子交换器再生系统

• 酸液贮罐的标高位置应与酸液输送方式相适应。当采用槽车输送时，宜采用重力卸料，贮罐顶应低于槽车槽底；当采用坛子输送时，贮罐顶应与卸货平台高度相同；

• 装卸浓酸时，一般宜采用负压抽吸或泵抽送。不准用压缩空气直接在酸坛内挤压；

• 浓酸计量器及稀酸计量器贮量应不小于最大一台氢离子交换器一次再生的需用量；

• 当用水射器吸取酸液（尤其是浓硫酸）再生时，要注意采取防止水射器返水的措施（一般采用止回阀）；

• 浓度在90%以上的浓硫酸贮槽可用钢板制作。稀硫酸及各种浓度的盐酸系统的设备管道内部（包括贮槽、计量器、喷射器及输送管道）均需作防腐处理。通常可采用橡胶、玻璃钢、有机玻璃、硬聚氯乙烯制品作内衬；

• 酸液贮槽和计量器附近地坪、墙裙和沟道均需有耐酸防腐设施，并应设置水冲洗装置；

贮存和配置盐酸的容器内，酸液面上应放置一层厚3~5mm的液状石蜡，以防止酸气外溢；

• 废液的排除应符合国家排放标准，一般排出废液的pH值不小于6~9；

废酸液可排至碱性水系统中（如锅炉冲灰系统）进行中和，并经石灰石（或白云石）过滤器过滤后排入下水道。

（3）再生系统的计算，见表6.4-34。

再生系统计算公式汇总表

表 6.4-34

计 算 项 目		计 算 公 式		
		钠离子再生	铵离子再生	氢离子再生
再生剂耗量 B (kg/次)		$B = \frac{b \cdot E \cdot F \cdot h}{1000}$		
浓液池（箱）容积 V_1 (m ³)		$V_1 = \frac{1.2B \cdot n \cdot K}{10 \cdot C_1 \cdot \rho_1}$		$V_1 = \frac{1.2B \cdot n \cdot K}{10 \cdot \epsilon \cdot \rho_1}$
配制再生液用水量 G (m ³ /次)		$G = \frac{B}{10 \cdot C_2 \cdot \rho_2}$		
稀盐池（箱）容积 V_2 (m ³)		$V_2 = (1.2 \sim 1.3)G$		
盐液泵	流量 Q (m ³ /h)	$Q = \frac{1.2B \cdot 80 \times 100}{1000 t_H \cdot C_2 \cdot \rho_2} = \frac{72}{t_H} G$		
	扬程 H (MPa)	0.15~0.20		
酸液排挤器容积 V_p (m ³)		—————		$V_p = \frac{n_p \cdot B}{10 \cdot \epsilon \cdot \rho_1}$
酸液计量箱容积 V_j (m ³)		—————		$V_j = \frac{1.1B}{10 \cdot \epsilon \cdot \rho_1}$

式中 n ——昼夜还原总次数，次/d；
 K ——贮存天数，d；
 ϵ ——工业用浓酸的纯度，%；
 C_1, C_2 ——浓液及稀液的浓度百分数，%；
 ρ_1, ρ_2 ——浓液及稀液的密度，t/m³(g/cm³)；
 t_H ——还原时间，min；
 n_p ——酸液排挤器还原次数（可按2次或一天考虑）。

再生系统再生剂的耗量及再生液的容积，也可按表6.4-35确定。

（4）典型压力式盐过滤器的主要工艺指标，见表6.4-36。

7. 常用离子交换器工艺计算主要数据综合表（见表6.4-3）

再生系统再生剂耗量及再生液容积表

离子交换器规格 D (mm)		φ300	φ400	φ500	φ750	φ1000	φ1500	φ2000	φ2500	φ3000	备 注
钠离子交换 (NaCl再生)	再生剂耗量 B (kg/次)	14	30	48	109	258	730	1300			交换剂为树脂
	浓液容积 V'_1 (m^3 /次)	0.045	0.096	0.154	0.350	0.830	2.34	4.17			$C_1 = 26\%, \rho_1 = 1.20$
	稀液容积 V'_2 (m^3 /次)	0.14~0.28	0.30~0.60	0.48~0.96	1.09~2.18	2.58~5.16	7.29~14.58	13~26			$C_2 = 5 \sim 10\%, \rho_2 = 1.036 \sim 1.071$
铵离子交换 ($(NH_4)_2SO_4$ 再生)	B (kg/次)			71.30		170	478	848			交换剂为树脂
	V'_1 (m^3 /次)			0.810		1.94	5.43	9.64			$C_1 = 10\%, \rho_1 = 1.056$
	V'_2 (m^3 /次)			2.82		6.71	18.87	33.48			$C_2 = 2.5\%, \rho_2 = 1.013$
氢离子交换 (H_2SO_4 再生)	B (kg/次)					$\frac{118}{22}$	$\frac{332}{62}$	$\frac{589}{110}$	$\frac{920}{172}$	$\frac{1330}{250}$	强酸树脂、足量酸再生 磺化煤、不足量酸再生
	V'_1 (m^3 /次)					$\frac{0.094}{0.018}$	$\frac{0.265}{0.050}$	$\frac{0.47}{0.088}$	$\frac{0.735}{0.137}$	$\frac{1.062}{0.20}$	$e = 75\%, \rho_1 = 1.67$
	V'_2 (m^3 /次)					$\frac{5.82}{1.08}$	$\frac{16.35}{3.05}$	$\frac{29}{5.4}$	$\frac{45.3}{8.47}$	$\frac{65.5}{12.32}$	$C_2 < 2\%, \rho_2 = 1.015$
氢离子交换 (HCl再生)	B (kg/次)					$\frac{113}{16}$	$\frac{318}{45}$	$\frac{565}{81}$	$\frac{884}{126}$	$\frac{1280}{182}$	强酸树脂、足量酸再生 磺化煤、不足量酸再生
	V'_1 (m^3 /次)					$\frac{0.317}{0.05}$	$\frac{0.89}{0.13}$	$\frac{1.585}{0.23}$	$\frac{2.48}{0.35}$	$\frac{3.51}{0.51}$	$e = 31\%, \rho_1 = 1.15$
	V'_2 (m^3 /次)					$\frac{2.77}{0.39}$	$\frac{7.79}{1.1}$	$\frac{15.85}{2.00}$	$\frac{21.67}{3.10}$	$\frac{31}{4.46}$	$C_2 < 3 \sim 4\%, \rho_2 = 1.02$
交换剂层高度 h (m)		1.00	1.20	1.50	1.50	2.00	2.50	2.50	2.50	2.50	

注：1. 本表仅表示单位耗量及单位容积，作为贮存箱、液稀池等容积计算的基础资料；

2. 本表按顺流固定床进行计算，对逆流再生或浮动床，可按表中数值的70%取值；

3. 铵离子交换系并联系统计算数值，当还原剂改用 NH_4Cl 时，表中数值可减少19%。

典型压力式盐过滤器的主要工艺指标

表 6.4-36

规格DN	500	650	800	1000
指标				
外形尺寸D×H (mm)	524 × 1535	674 × 1650	824 × 1956	1024 × 2032
溶盐量G (kg/次)	~75	~145	~210	~375
容 积V (m³)	0.10	0.20	0.30	0.50
工作压力P (MPa)	<0.59	<0.59	<0.59	<0.54
工作温度t (°C)	<60	<60	<60	<60
石英砂过滤层:				
高 度 (mm)	496	532	500	500
颗粒直径 (mm)	1~10	1~10	1~10	1~10
重 量 (kg)	112	229	304	474
设备净重 (kg)	216	464	660	824
总 重 (kg)	510	1040	1500	2180

常用离子交换器工艺计算主要数据综合表

表 6.4-37

项目	单元设备再生方式	顺 流 再 生		逆 流 再 生
		磺 化 煤	树 脂	树 脂
运行流速 (m/h)		正常10~20 (30~40) 最大25	正常15~25 (35~55) 最大30	正常15~25 最大30
反洗流速 (m/h)		10~15	15	小反洗 5~10
反洗时间 (min)		15	15	小反洗10~15
钠离子交换器	再生剂	NaCl	NaCl	NaCl
	盐 耗 (g/ge)	150~200(400)	120~150(350~400)	80~90
	盐液浓度 (%)	5~8 (8~12)	5~8 (8~12)	3~5
	流 速 (m/h)	3~5 (4~5)	3~5 (4~5)	<5
正洗	流 速 (m/h)	8~10	8~10	小正洗 7~10 正 洗 7~10
	时 间 (min)	40~50	40~50	~10 至出水合格
工作交换容量 (ge/m³)		250~300	900~1000	900~1000

续表

项目		单元设备 再生方式	顺流再生				逆流再生		
			磺化煤		树脂		树脂		
氢 离 子 交 换 器	再生剂		H ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	HCl	
	酸耗 (g/ge)		足量酸100~150 不足酸49	70~85 36.5	100~150 ~54	70~85 ~40	70~80 —	50~55 —	
	酸液浓度 (%)		<2	3~4	<2	3~4	1~2	1.5~3	
	流速 (m/h)		10	4~6	10	4~6	8~10	<5	
	正 洗	流速 (m/h)		10~12		15		小正洗 15	正洗 7~10
		时间 (min)		50		50		~10	至出水合格
	工作交换容量 (ge/m ³)			足量酸250~300 不足酸250~280		500~650 1500~1800	800~1000 1500~1800	500~650	800~1000
	系 统			并 联	综 合	并 联	综 合		
	铵 离 子 交 换 器	再生剂		(NH ₄) ₂ SO ₄		(NH ₄) ₂ SO ₄			
		盐耗 (g/ge)		200	2.26Y _{NH₄⁺} 1.78Y _{Na⁺}	180	2.03Y _{NH₄⁺} 1.34Y _{Na⁺}		
盐液浓度 (%)			2.5~3.0		2.5~3.0				
流速 (m/h)			10~15	>10	10~15	>10			
正 洗		流速 (m/h)		>10	>10	>10	>10		
		时间 (min)		25~30	30~40	25~30	30~40		
工作交换容量 (ge/m ³)			350~400	300~350	500~650	450~600			

注: 1. 表中数值带 () 者为二级离子交换器采用的数据。

2. 再生液中(NH₄)₂SO₄ 相对浓度 $Y_{NH_4^+} = Y_{NH_4^+} - (0.1 \sim 0.15)$ 。3. 如用NH₄Cl 代替 (NH₄)₂SO₄, 铵剂量可减少19%。

6.4.7 给水除氧及脱气

1. 给水除氧脱气装置的分类及适用条件(见表6.4-38)

2. 水中含氧量与温度压力的关系(见表6.4-39)

3. 钢屑除氧

(1) 钢屑除氧系统设计要点:

- 待除氧水必须是软水, 水温一般应 $>70^{\circ}\text{C}$;
- 应保证水与钢屑有足够的接触时间, 见表6.4-40, 最少不低于5min;
- 水在除氧器内的流速应根据待除氧水的初始含氧量确定, 见表6.4-41;
- 钢屑材料选用无油无锈的0号~6号碳素钢切屑, 厚度0.5~1mm, 长度8~12mm, 钢屑装载密度1.0~1.2t/m³;

- 除氧器一般布置在锅炉给水泵吸入侧, 水流阻力控制在0.015~0.02MPa。当发生

给水除氧脱气装置的分类及适用条件

表 6.4-38

除氧(脱气)装置	适用条件	备注
1. 钢屑除氧	<ul style="list-style-type: none"> 适用锅炉: 工作压力较低, 蒸发量 < 6t/h 的蒸汽锅炉和中小型热水锅炉; 进除氧器必须是软水, 水温应 > 70℃ 	处理后给水含氧量为 0.05 ~ 0.10 mg/L
2. 大气式热力除氧	<ul style="list-style-type: none"> 适用锅炉: 蒸发量 > 6t/h 的蒸汽锅炉或总蒸发量 > 16t/h 的锅炉房; 有蒸汽来源的高温热水锅炉房; 进水温度应 > 40℃ 	处理后给水含氧量 < 0.05 mg/L, 除氧同时还可除去水中其它气体 (如 CO ₂ 、NH ₃ 等)
3. 真空除氧	<ul style="list-style-type: none"> 适用锅炉: 蒸发量 > 6t/h 的蒸汽锅炉及无蒸汽来源的高温热水锅炉; 一般用于进水温度低, 出水温度 30 ~ 60℃ 的给水系统 	处理后给水含氧量 < 0.05 mg/L, 除氧同时可除去水中其它气体 (如 CO ₂ 、NH ₃ 等)
4. 化学药剂除氧 (常用反应剂为 Na ₂ SO ₃)	<ul style="list-style-type: none"> 作热力除氧或钢屑除氧的辅助措施; 单独作为小型蒸汽锅炉或水温 < 95℃ 的热水锅炉的除氧; 进水应预热到 > 80℃ 	处理后给水含氧量 ~ 0
5. 除二氧化碳气	经氢离子交换器或钠离子交换加酸后的出水均需进行二氧化碳除气处理	处理后水中 CO ₂ 残余量为 3 ~ 5 mg/L

水的含氧量与温度、压力的关系

表 6.4-39

含氧量 (mg/L) \ 水温 (°C) \ 水上空间压力 (MPa)	水温 (°C)											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0.10	14.5	11.2	9.1	7.5	6.4	5.5	4.7	3.8	2.8	1.6	0	
0.08	11.0	8.5	7.0	5.7	5.0	4.2	3.4	2.6	1.6	0.5	0	
0.06	8.3	6.4	5.3	4.3	3.7	3.0	2.3	1.7	0.8	0	0	
0.04	5.7	4.2	3.5	2.7	2.2	1.7	1.1	0.4	0	0	0	
0.02	2.8	2.0	1.6	1.4	1.2	1.0	0.4	0	0	0	0	
0.01	1.2	0.9	0.8	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	

待除氧水与钢屑的接触时间 表 6.4-40

水温 (°C)	80	70	60	50	40	30	20
所需接触时间 (min)	3	5	8	11	15	19	>25

钢屑除氧器内的水流速度 表 6.4-41

水中初始含氧量 (mg/L)	3 ~ 5	< 3
水流速度 (m/h)	25 ~ 75	100

下列情况, 应进行反洗或更换钢屑:

- 阻力超过正常值 0.005 ~ 0.01 MPa 时;
- 出水含氧量大于给水标准时;
- 出水浑浊或含有铁锈, 反洗后仍不能达到要求时可用酸液浸泡 (用 2 ~ 3% 硫酸或盐酸溶液浸泡 20 ~ 30 min), 然后用清水冲洗;
- 当反复冲洗和酸液浸泡仍无法恢复除氧能力或钢屑蚀损超过 50% 时应更换钢屑。

(2) 钢屑除氧器计算

a. 钢屑体积 V (m^3);

$$V = \frac{5.2(G \cdot C_k)T}{1000\rho} = \frac{G \cdot C_k \cdot T}{192 \cdot \rho} \quad (6.4-14)$$

式中 G ——通过钢屑除氧器最大水量, m^3/h ;

C_k ——待除氧水含氧量, g/m^3 (见表6.4-39);

ρ ——钢屑载装密度, 一般 $1000 \sim 1200\text{kg}/\text{m}^3$;

T ——钢屑除氧器工作小时数(按设计需要确定, 一般取 $0.5 \sim 1\text{a}$, 即 $4380 \sim 8760\text{h}$);

5.2——吸收 1kg 的氧需消耗 5.2kg 钢屑。

上式计算出的 V 应用所需接触时间进行校核。

b. 钢屑层的断面 F (m^2) 和高度 H (m):

$$F = \frac{G}{v} \quad (6.4-15)$$

$$H = \frac{V}{F} \quad (6.4-16)$$

式中 v ——水通过除氧器的速度, 一般 $v = 25 \sim 100\text{m}/\text{h}$ 。

(3) 典型钢屑除氧器的主要工艺指标, 见表6.4-42。

4. 大气式热力除氧

(1) 大气式热力除氧器的耗汽量, 见表6.4-43。

(2) 大气式热力除氧器的进水水温及运行蒸汽压力, 见表6.4-44。

(3) 大气式热力除氧系统的设计要点:

- 一般宜选用喷雾—填料式热力除氧器, 其负荷适应范围为额定负荷的 $30 \sim 120\%$;
- 当除氧器进水温与除氧后水的温差 $> 8 \sim 10^\circ\text{C}$ 时, 宜在排汽管上安装排汽冷却器, 以减少汽水损失。当温差较小时, 可采用直接排汽;
- 数台除氧器并列运行时, 必须装设水、汽平衡管道, 以消除除氧器之间的水位和压力不平衡现象。管径参考表6.4-45选用;
- 进入除氧器的软水应使在各并列除氧器中分配均匀。除氧器应配有可靠的水位调节和汽压调节装置, 以保持水位及汽压的稳定。

除氧水箱应配置有水位计、水位变送器、水位报警装置、溢流水封、排污管及出水管等附件。

(4) 喷雾—填料式热力除氧装置的主要工艺资料, 见表6.4-46。

5. 真空除氧

(1) 常用真空除氧系统的流程, 如图6.4-5所示。

(2) 真空除氧系统的设计要点:

- 一般宜选用喷雾—填料式除氧器;
- 待除氧水在进入除氧器之前应预热到比除氧器内相应压力下的饱和温度高出 $0.5 \sim 1^\circ\text{C}$;
- 应保证整个系统的严密性, 除氧器真空吸水管应采用焊接连接, 水泵的轴封和阀杆处一般应加设水封;
- 一般可采用蒸汽或水喷射器来维持除氧器的真空度和排除水中被解析出的气、汽混合物;

典型钢网除氧器的主要工艺指标 表 6.4-42

指 标	规格					φ800 × 2900					φ1000 × 2650					φ1300 × 2650					φ1700 × 2775				
	水温 t (°C)					70	75	80	85	90	70	75	80	85	90	70	75	80	85	90	70	75	80	85	90
	除氧器面积 F (m ²)	钢网层高度 H (m)	钢网体积 V (m ³)	钢网重量 G (kg)	设计工作小时数 T (h)	0.503	1.650	0.800	3000	8000	0.785	1.500	1.000	4000	8000	1.327	1.500	1.500	6000	8000	2.270	1.500	2.500	8000	8000
初氧含量 C ₀ (mg/L)	3.8	3.3	2.8	2.2	1.6	3.8	3.3	2.8	2.2	1.6	3.8	3.3	2.8	2.2	1.6	3.8	3.3	2.8	2.2	1.6	3.8	3.3	2.8	2.2	1.6
设计流量 D (m ³ /h)	5.56	6.4	7.54	9.6	13.2	5.56	6.4	7.54	9.6	13.2	9.43	12	15.29	21.02	26.24	14.14	18	23.57	30	41.25	17.37	20	28.57	30	41.25
流速 v (m/h)	11.05	12.72	15	19.1	26.24	11.05	12.72	15	19.1	26.24	12	12	15.29	21.02	26.24	10.66	13.56	18.65	24.75	30	7.65	10.38	13.56	18.65	24.75
接触时间 s (min)	8.96	7.78	6.6	5.18	3.77	8.96	7.78	6.6	5.18	3.77	7.5	5.9	4.28	3.14	2.28	8.44	6.64	4.83	3.56	2.64	11.76	10.22	8.67	6.8	4.95

注：1. 制表公式 $V = \frac{G \cdot C_0 \cdot T}{192 \cdot \rho}$, $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$, $T = 8000 \text{ h}$

2. 如实际采用 T' 为 8000 h, 则 $D' = D \frac{T}{T'}$, $v' = v \frac{T}{T'}$, $s' = s \frac{T}{T'}$

除氧器加热耗汽量

表 6.4-43

进除氧器的水温 (°C)	40	50	60	70	80	90
耗汽量 [kg(汽)/(t·h)(水)]	150	125	100	75	55	35

注：除氧水箱底部再沸腾管耗汽量为除氧器耗汽量的10~20%。

进水水温及蒸汽压力

表 6.4-44

项 目	淋 水 盘 式	喷雾—填料式
进水水温 (°C)	>70	>20
除氧器内蒸汽压力 (MPa)	0.02~0.025	0.02~0.025
喷头进水压力 (MPa)		0.15~0.20
维持出水温度 (°C)	102~105	102~105

注：进入沸腾管的蒸汽压力要高于除氧器内蒸汽压力。

除氧水箱汽、水平衡管管径

表 6.4-45

水箱工作压力 (MPa)	0.020					
水箱容积 (m ³)	<15	15~24	25~34	35~44	45~59	60~75
汽平衡管管径 (mm)	100	125	150	200	250	300
水平衡管管径 (mm)	65、80	100	125	150	200	250

喷雾—填料式热力除氧装置的主要工艺资料

表 6.4-46

指 标	出力 (t/h)	10	20	40	50	75
除氧器						
外形尺寸 DN×h (mm)		DN650×1810	DN800×1880	DN1000×2520	DN1000×2500	DN1200×2810
填料高度 (mm)		300	300	350	350	400
工作压力 (MPa)		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
工作温度 (°C)		104	104	104	104	104
进水压力 (MPa)		0.15~0.2	0.15~0.2	0.15~0.2	0.15~0.2	0.15~0.2
进水温度 (°C)		40	40	40	40	40
重 量 (kg)		365	434	843	656	1253
除氧水箱						
水箱有效容积 (m ³)		5	10	20	25	35
水箱外形尺寸 DN×L (mm)		DN1500×4025	DN1800×5357	DN2500×6054	DN2500×6800	DN2500×9300
重 量 (kg)		1503	2588	5834	6563	7738
装置安装总高度 (m)		3422	3920	5400	5400	5570
设备净重 (kg)		2061	3104	6869	7343	9026

• 蒸汽喷射器的级数由除氧器工作温度所要求的最低吸入压力（或真空度）来决定，见表6.4-47；

• 喷射器汽压>0.6MPa、蒸汽耗量~5kg/(t·h)水。采用两级蒸汽喷射器时，在两级之间应设置中间冷却器，以减少蒸汽耗量；

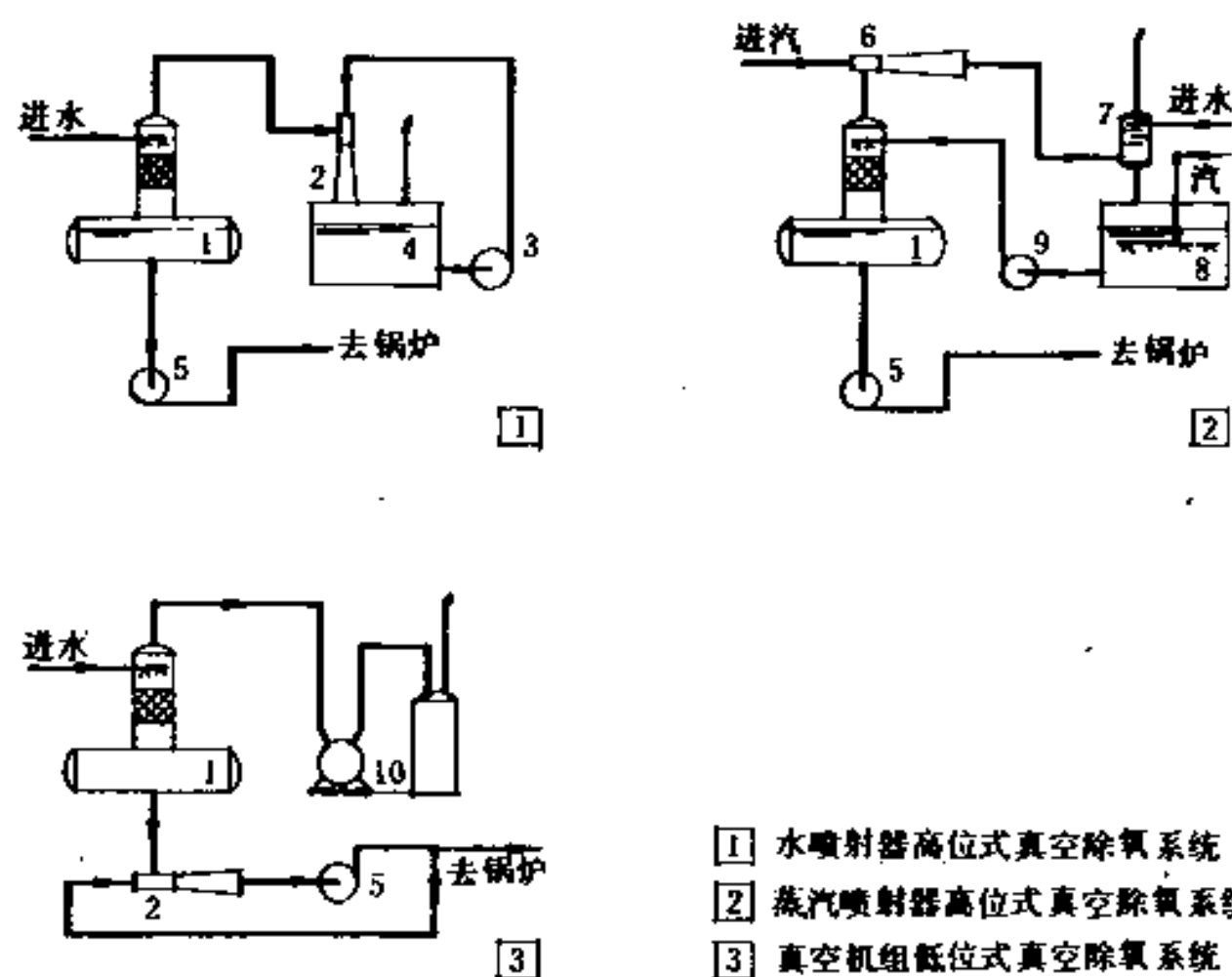


图 6.4-5 常用真空除氧系统的流程

1—真空除氧器；2—水喷射器；3—循环水泵；4—循环水箱；5—给水泵；6—蒸汽喷射器；
7—热交换器；8—中间水箱；9—除氧水泵；10—真空机组

蒸汽喷射器级数选择

表 6.4-47

参 数	单 级	两 级
除氧器工作温度 (°C)	51~60	23~51
吸入压力 (MPa)	0.013~0.02	0.003~0.013
真空度 (MPa)	0.086~0.079	0.096~0.086

当工作蒸汽量较小时，设计工作蒸汽压力不宜过高，以保持喷嘴有合适的流通面积，当喷嘴直径 $< 6\text{ mm}$ 时，应设蒸汽滤网；

• 水力喷射器工作水压应大于 0.17 MPa ，喷口设计流速 $15\sim 30\text{ m/s}$ ；

• 真空除氧器必须具有可靠的水箱水位及进水温度(代替压力调节)的自动调节装置，以确保系统在必须的真空度下运行。

6. 热力及真空除氧系统除氧水箱设置高度

(1) 除氧水箱设置高度计算

除氧水箱水面至锅炉给水泵轴心线之间的正水头 H_z (m)应按下列公式计算确定。

$$\text{热力除氧} \quad H_z > (h_\lambda + h_f + \Delta P_g) \cdot 100 \quad (6.4-17)$$

$$\text{真空除氧} \quad H_z > (P_g + h_\lambda + h_f + \Delta P_g) \cdot 100 \quad (6.4-18)$$

式中 h_λ ——水泵吸水管道的阻力，MPa；

h_f ——水泵的汽蚀余量，MPa；

ΔP_g ——除氧水箱压力瞬变裕量 (一般 $\Delta P_g = 0.003\sim 0.005\text{ MPa}$)；

P_g ——真空除氧器内的真空度，MPa。

(2) 除氧水箱设置高度选用，见表6.4-48。

(3) 除氧水箱的低位布置措施，见表6.4-49。

一般除氧水箱的正水头Hz表

表 6.4-48

除氧方式	Hz (m)	水 温 (°C)											
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	105	110	120
真空除氧		12	12	11.5	11	10	9	7.5	5				
热力除氧										6	8	11	17.5

注：本表真空除氧水箱正水头Hz值系按一般的给水泵，除氧器采用高位布置进行考虑。

除氧水箱低位布置措施

表 6.4-49

技术措施	除氧方式	热力除氧	真空除氧
<ul style="list-style-type: none"> 降低给水泵的必需汽蚀余量 改变水泵入口几何尺寸，改善抗汽蚀性能； 采用双吸水泵，降低给水泵入口流速； 在离心泵叶轮前加装诱导轮，使流体产生预旋； 采用抗汽蚀的除氧器专用给水泵 提高系统的有效汽蚀余量 尽量减少吸入管路流动损失； 在给水泵前加装低速前置泵； 在给水泵前加装水喷射引水装置 降低除氧器出水温度 在给水泵前布置水—水换热器； 在除氧水箱中布置冷却盘管； 注入已除氧的低温水（如低温疏水等） 		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△
		△	△

7. 化学药剂除氧

(1) 常用化学药剂除氧系统的流程，如图6.4-6所示。

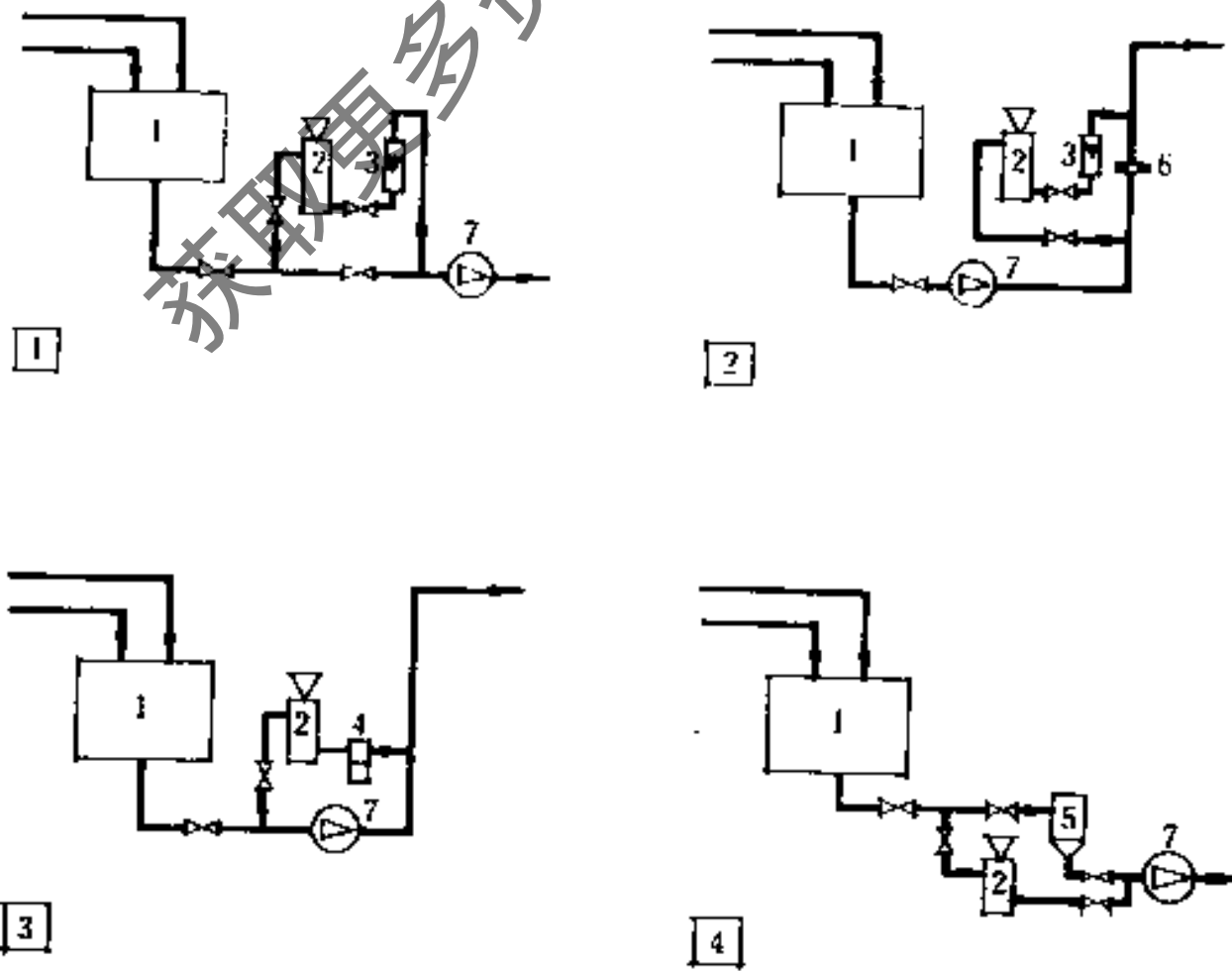


图 6.4-6 常用化学药剂除氧系统的流程

①低压侧连续加药系统；②高压侧连续加药系统；③活塞泵加药系统；④钢屑除氧与化学药剂联合除氧系统
1—给水箱；2—加药器；3—转子流量计；4—活塞泵；5—钢屑除氧器；6—孔板；7—给水泵

(2) 常用除氧剂亚硫酸钠的用量

每 m^3 给水需要的亚硫酸钠量 G 按下式计算:

$$G = \frac{a \cdot C + \beta}{\varepsilon} \quad \text{mg/L (g/m}^3\text{)} \quad (6.4-19)$$

式中 a ——吸收1g氧理论上亚硫酸钠耗量, g;

对无水 Na_2SO_3 为8g;

对结晶状 $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为16g。

C ——水中初始含氧量, mg/L;

β ——亚硫酸钠过剩量 (一般取3~4)mg/L;

ε ——亚硫酸钠的纯度系数。

(3) 亚硫酸钠除氧系统设计要点

• 除氧剂应调配为2~10%浓度的溶液并连续自动加入, 溶液的配制和贮存, 都必须在密闭的容器中进行;

• 待除氧的水应预热到较高温度 ($>80^\circ\text{C}$) 和保证有足够的反应时间 ($>2\text{min}$);

• 宜加入适量的催化剂 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 以提高脱氧速度和除氧效率。催化剂的加入量为:

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ —1~1.5mg/L;

$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ —4~4.5mg/L。

• 运行中应按炉水中 SO_3^{2-} 过剩量保持10~20mg/L来调整加药量。

(4) 典型化学除氧器的主要工艺指标, 见表6.4-50。

典型化学除氧器主要工艺指标

表 6.4-50

型 号	扩 散 式			排 挤 式		隔 膜 式	
	KS-50	KS-100	KS-150	PZ-100	PZ-150	GM-100	GM-150
外形尺寸 $\phi \times H$ (mm)	$\phi 300 \times 920$	$\phi 400 \times 970$	$\phi 500 \times 920$	$\phi 400 \times 1200$	$\phi 500 \times 1250$	$\phi 400 \times 1300$	$\phi 500 \times 1350$
容 积 (L)	50	100	150	100	150	100	150
药液浓度 (%)	8	8	8	8	8	8	8
周期除氧水量(t)	90	180	270	180	270	180	270
配用流量计	LZB-4	LZB-6	LZB-6	LZB-6	LZB-6	LZB-6	LZB-6
	2.5~25L/h	4~40L/h	4~40L/h	4~40L/h	4~40L/h	4~40L/h	4~40L/h
适用锅炉	$<2\text{t/h}$	2~6t/h	2~10t/h	2~6t/h	2~10t/h	2~6t/h	2~10t/h

注: 表列除氧水量是按水温 60°C (初始含氧量4.7mg/L) 及药剂过剩量5mg/L进行计算。

8. 除二氧化碳器

(1) 除二氧化碳器主要工艺计算

a. 工艺计算基本条件:

填料— $\phi 25 \times 25 \times 3$ 瓷质拉希环;

淋水密度— $q = 60\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

单位体积填料的工作表面积— $S = 204\text{m}^2/\text{m}^3$ 。

b. 进入除 CO_2 器水中 CO_2 含量 C_{C1}

$$C_{C1} = 44H_T + \text{CO}_2 \quad \text{mg/L} \quad (6.4-20)$$

或 $C_{C1} = 44H_T + 0.268(H_T)^3 \text{ mg/L}$ (6.4-21)

c. 除CO₂器所需脱除的CO₂量G

$$G = Q(C_{C1} - C_{C2})10^{-3} \text{ kg/h}$$
 (6.4-22)

d. 除CO₂器的主要尺寸

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot q}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot 60}} = \sqrt{0.0212Q} \text{ m}$$
 (6.4-23)

$$F = \frac{G}{K \cdot \Delta C_{cp}} \text{ m}^2$$
 (6.4-24)

$$h_0 = \frac{F}{0.785D^2 \cdot S} = \frac{F}{0.785D^2 \cdot 204} = \frac{F}{160 \cdot D^2} \text{ m}$$
 (6.4-25)

式中 H_T ——原水中的碳酸盐硬度(碳酸盐碱度), me/L;

CO_2 ——原水中游离CO₂含量, mg/L;

Q ——设计处理水量, m³/h;

C_{C2} ——出水中残余CO₂量,(一般为3~5)mg/L;

D ——除CO₂器的内径, m;

F ——填料的工作表面积, m²;

h_0 ——填料的装载高度, m;

q ——设计淋水密度, m³/(m²·h);

K ——除CO₂的解吸系数, m/h, 见表6.4-51;

φ25 × 25 × 3瓷质拉希环的K值(m/h)

表 6.4-51

水温t (°C)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
K (m/h)	0.27	0.31	0.35	0.40	0.46	0.51	0.56	0.62	0.69	0.76

ΔC_{cp} ——除气过程平衡的解析能量, kg/m³, 见表6.4-52;

$$\Delta C_{cp} = \frac{C_{C1} - C_{C2}}{2.44 \lg \frac{C_{C1}}{C_{C2}}} \text{ kg/m}^3$$
 (6.4-26)

解析能量 ΔC_{cp} 值(kg/m³)

表 6.4-52

C_{C1} (mg/L) \ C_{C2} (mg/L)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
3	0.016	0.026	0.036	0.044	0.053	0.061	0.069	0.077	0.084	0.092
4	0.017	0.028	0.038	0.047	0.056	0.065	0.073	0.081	0.089	0.097
5	0.018	0.030	0.040	0.050	0.059	0.068	0.077	0.085	0.093	0.101

S ——单位体积填料的工作表面积, m²/m³。

e. 离心式鼓风机选择

风量: $W = (20 \sim 30)Q \text{ m}^3/\text{h}$ (6.4-27)

风压:

$$P = (200 \sim 500)h_0 + (300 \sim 400) \text{ Pa}$$

(6.4-28)

(2) 典型除CO₂器的主要工艺资料, 见表6.4-53和表6.4-54。

鼓风填料式除CO₂器填料层高度h₀(m)

表 6.4-53

C ₁ (mg/L)	67	114	165	222	287	360	443
水温(°C)							
15	2.50	3.15	3.15	4.00		4.00	
20	2.00	2.50		3.15			
25			2.50		3.15		
30	1.60	2.00	2.50				
35			2.00		2.50		
40			1.60				2.00

典型鼓风填料式除CO₂器主要工艺资料

表 6.4-54

DN (mm)		600	800	1000	1100	1250	1400	1600	1800	2000	2200	2500
指	标											
产水量 (m ³ /h)		16.8	30.0	46.8	56.4	73.2	91.8	120	152	187	227	293
空气耗量 (m ³ /h)		336 ~504	600 ~900	936 ~1404	1128 ~1692	1464 ~2196	1836 ~2754	2400 ~3800	3036 ~4554	3744 ~5616	4536 ~6804	5868 ~8802
有效面积 (m ²)		0.28	0.50	0.78	0.94	1.22	1.53	2.00	2.53	3.12	3.78	4.89
进水口DN (mm)		80	100	100	125	125	150	150	200	200	250	250
出水口DN (mm)		100	125	150	150	200	200	200	250	300	300	350
排气口DN (mm)		200	200	300	300	350	350	400	500	500	600	600
填 料 层 高 度 (m)	1.60	3.150	3.180	3.290	3.313	3.329	3.454	3.478	3.494	3.526	3.643	3.691
		1.0	1.4	2.1	2.4	3.0	3.7	4.5	5.8	7.0	8.4	10.4
2.00		3.550	3.580	3.697	3.713	3.729	3.854	3.878	3.894	3.926	4.043	4.091
		1.1	1.6	2.5	2.9	3.6	4.4	5.4	6.9	8.4	10.0	12.5
2.50	设备总高度(m)	4.050	4.080	4.197	4.213	4.229	4.354	4.378	4.394	4.426	4.543	4.591
	设备总重(t)	1.3	1.9	2.9	3.4	4.5	5.2	6.5	8.3	10.1	12.1	15.2
3.15		4.700	4.730	4.847	4.863	4.879	5.004	5.028	5.044	5.076	5.193	5.241
		1.5	2.3	3.5	4.1	5.4	6.3	7.9	10.1	12.3	14.7	18.6
4.00		5.550	5.580	5.697	5.713	5.729	5.854	5.878	5.894	5.926	6.043	6.091
		1.8	2.8	4.3	5.0	6.6	7.7	9.8	12.5	15.2	18.2	23.0

6.4.8 锅炉排污

1. 锅炉房排污系统设计要点

(1) 锅炉下锅筒、下联箱、省煤器最低处应设定期排污装置; 上锅筒根据锅炉本体设计情况设连续排污装置。

(2) 连续排污管道每台锅炉必须独立设置。定期排污管道可每2~3台锅炉汇合一根总管排出, 每台锅炉的定期排污管上应装止回阀, 总排污管上不得装任何阀门。

蒸发量 $\geq 0.70\text{MW}(1\text{t/h})$ 或工作压力 $\geq 0.7\text{MPa}$ 的锅炉, 每根排污管上应串联安装两个排污阀。

(3) 锅炉排污水排入下水道前应经扩容器减压并冷却至40℃。室外排污池内应设有简易扩容装置,并有足够的混合降温所需容积。

(4) 连续排污系统应设置连续排污膨胀器回收二次蒸汽,并应考虑连续排污水热量的合理利用。连续排污水宜用作热水采暖系统或水力出灰系统的补充水。

(5) 锅炉房容量较大时,宜设置定期排污膨胀器,以减少排污时产生的噪声和防止烫伤事故。

(6) 汽水系统的取样冷却器宜集中设置,并靠近化验室。当取样冷却器数量较多时,可设置取样冷却槽(在开口溢流式水槽中设置数个取样冷却盘管)。水汽样品的取用温度宜低于30℃。

2. 锅炉排污系统计算

(1) 锅炉连续排污率 P_{lp} (%)

分别根据以下两式进行计算,取其较大数值,但不得超过规定的允许排污率(锅炉蒸发量的10%):

$$P_{lp} = \frac{\phi A_0}{A_K - \phi A_0} \times 100(\%) \quad (6.4-29)$$

$$P_{lp} = \frac{\phi S_0}{S_K - \phi S_0} \times 100(\%) \quad (6.4-30)$$

式中 A_0 、 S_0 ——分别为补给水的碱度me/L,或含盐量mg/L;
 A_K 、 S_K ——分别为炉水允许碱度me/L,或含盐量mg/L;
 ϕ ——锅炉补给水率($\phi < 1$)。

(2) 锅炉定期排污量 G_{dp} (kg/次)和定期排污率 P_{dp} (%)

a. 炉外水处理时

锅炉每次排污量以上锅筒水位高度变化为控制标准,一般每班进行一次。

$$G_{dp} = n \cdot DhL\rho \quad (6.4-31)$$

式中 n ——每台锅炉上锅筒的数量,个;
 D ——上锅筒直径,m;
 L ——上锅筒长度,m;
 h ——水位计中水位高度的降低值(一般取 $h = 0.1$ m);
 ρ ——炉水的密度,kg/m³。

b. 炉内化学水处理时

$$P_{dp} = \frac{\phi Z_0}{Z_K - \phi Z_0} \times 100(\%) \quad (6.4-32)$$

式中 Z_0 ——补给水中潜在的水渣含量,mg/L;

$$Z_0 = 50 H_{Ca} + 29.2 H_{Mg}$$

$$\text{当 } \frac{H_{Mg}}{H_0} = 0.25 \sim 0.30 \text{ 时, } Z_0 = 43.8 H_0$$

Z_K ——炉水允许沉渣含量,mg/L;可按下列经验公式计算:

$$Z_K = (30 \sim 40)W$$

W ——每m²受热面中锅炉单位水容量,L/m²;

ϕ ——锅炉补给水率 ($\phi < 1$)。

(3) 连续排污膨胀器的容积 V_{lp} (m^3)

$$V_{lp} = \frac{D_{lp}(i\eta - i_1)}{(i_2 - i_1)x} \cdot \frac{K \cdot V}{W_0} \quad (6.4-33)$$

式中 D_{lp} ——连续排污水量, kg/h;

i, i_1, i_2 ——分别为锅炉饱和水、膨胀器出水及膨胀器出来的二次蒸汽的焓, kJ/kg;

η ——排污管热损失系数, $\eta = 0.98$;

x ——二次蒸汽的干度, $x = 0.97$;

K ——膨胀器富裕系数, $K = 1.3 \sim 1.5$;

V ——二次蒸汽的比容, m^3/kg ;

W_0 ——分离强度, $W_0 = 400 \sim 1000 \quad m^3/(m^3 \cdot h)$ 。

(4) 定期排污膨胀器容积的选择

锅炉定期排污强度 G'_{dp} (kg/h)

$$G'_{dp} = \frac{60 \cdot G_{dp}}{m \cdot t} \quad (6.4-34)$$

式中 G_{dp} ——每台锅炉每次定期排污量, kg/次;

m ——每台锅炉定期排污点数量, 个;

t ——每个定期排污点排污时间, 一般 $t \leq 0.5 \text{ min}$ 。

从定期排污膨胀器排至室外排污池的污水量可按 $(0.1 \sim 0.2)G_{dp}$ 估算。

3. 典型排污膨胀器的主要工艺资料 (见表 6.4-55 和表 6.4-56)

连续排污膨胀器的性能表

表 6.4-55

型号	容积 (m^3)	连续排 污量 (kg/h)	锅炉压力 (MPa)				
			0.8	1.0	1.3	1.6	2.5
$\phi 500$	0.50	250	2200	1900	1700	1350	1050
$\phi 650$	0.75	375	3200	2800	2500	2050	1650
$\phi 700$	1.00	500	4300	3800	3300	2750	2200
$\phi 850$	1.50	750	6500	5700	5000	4100	3250
$\phi 1200$	3.00	1500	12900	11400	9900	8250	6600
$\phi 1500$	5.50	2750	23650	20900	18150	15125	12100

定期排污膨胀器的性能表

表 6.4-56

型号	定期排 污强 度 (kg/h)	二次汽排 汽压 力 (MPa)	二次汽排汽 压力 (MPa)			
			0.02	0.03	0.04	0.05
$\phi 900$	0.8		785	850	910	970
$\phi 1500$	3.5		3430	3710	3980	4240
$\phi 2000$	7.5		7360	7940	8510	9080
$\phi 2000$	12.0		11780	12710	13620	14520

6.4.9 锅炉水处理常用资料

1.常用元素的原子量和当量(见表6.4-57)

常用元素的原子量和当量

表 6.4-57

元素名称	元素符号	原子量	常见原子价 (化合价)数	当量
氢	H	1.008	+1	1.008
硼	B	10.81	+3	3.603
碳	C	12.011	+4	3.003
氮	N	14.007	+3; +5	4.669; 2.801
氧	O	15.999	-2	8.00
氟	F	18.998	-1	18.998
钠	Na	22.99	+1	22.990
镁	Mg	24.305	+2	12.152
铝	Al	26.982	+3	8.994
硅	Si	28.086	+4	7.021
磷	P	30.974	+3; +5	10.32; 6.195
硫	S	32.066	-2; +4; +6	16.033; 8.016; 5.344
氯	Cl	35.453	-1; +5; +7	35.453; 7.091; 5.065
钾	K	39.09	+1	39.09
钙	Ca	40.08	+2	20.04
铬	Cr	51.996	+2; +3; +6	25.998; 17.332; 8.666
锰	Mn	54.938	+2; +4; +6; +7	27.469; 13.734; 9.165; 7.848
铁	Fe	55.847	+2; +3	27.923; 18.616
铜	Cu	63.546	+1; +2	63.546; 31.773
锌	Zn	65.38	+2	32.69
钼	Mo	95.94	+4; +6	23.985; 15.99
银	Ag	107.868	+1	107.868
锡	Sn	118.70	+2; +4	59.35; 29.67
钡	Ba	137.34	+2	68.67
汞	Hg	200.59	+1; +2	200.59; 100.295
铅	Pb	207.21	+2; +4	103.605; 51.802

2.常用化合物的分子量和当量(见表6.4-58)

常用化合物的分子量和当量

表 6.4-58

化合物名称	分子式	分子量	当量
盐酸	HCl	36.46	36.46
硝酸	HNO ₃	63.01	63.01
硫酸	H ₂ SO ₄	98.08	49.04
碳酸	H ₂ CO ₃	62.0	31.0
磷酸	H ₃ PO ₄	98.0	32.67

续表

化合物名称	分子式	分子量	当量
氢氧化钠 (火碱)	NaOH	40.00	40.00
氢氧化钾	KOH	56.11	56.11
氢氧化镁	Mg(OH) ₂	58.33	29.16
氢氧化钙	Ca(OH) ₂	74.10	37.05
氢氧化亚铁	Fe(OH) ₂	89.86	44.93
氢氧化铁	Fe(OH) ₃	106.87	35.62
氢氧化铝	Al(OH) ₃	78.00	26.00
氯化钠	NaCl	58.44	58.44
硫酸钠	Na ₂ SO ₄	142.04	71.02
重碳酸钠	NaHCO ₃	84.00	84.00
碳酸钠 (纯碱)	Na ₂ CO ₃	105.99	53.00
硅酸钠	Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	284.20	142.10
六偏磷酸钠	(NaPO ₃) ₆	611.80	50.98
磷酸三钠	Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O	379.94	124.97
重碳酸镁	Mg(HCO ₃) ₂	146.34	73.17
碳酸镁	MgCO ₃	84.32	42.16
氯化镁	MgCl ₂	95.22	47.61
硫酸镁	MgSO ₄	120.37	60.19
硫酸铝	Al ₂ (SO ₄) ₃	342.15	57.03
含水硫酸铝	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	666.42	111.07
氯化钙	CaCl ₂	110.99	55.49
硫酸钙	CaSO ₄	136.14	68.07
含水硫酸钙 (石膏)	CaSO ₄ · 2H ₂ O	172.144	86.072
重碳酸钙	Ca(HCO ₃) ₂	162.118	81.059
碳酸钙 (大理石)	CaCO ₃	100.09	50.04
磷酸钙 (磷灰石)	Ca ₃ (PO ₄) ₂	310.19	155.09
氯化铁	FeCl ₃	162.21	54.07
硫酸亚铁	FeSO ₄	151.91	75.96
含水硫酸亚铁	FeSO ₄ · 7H ₂ O	278.02	139.01
硫酸铁	Fe ₂ (SO ₄) ₃	399.88	66.65
氧化钙 (生石灰)	CaO	56.08	28.04
氧化镁	MgO	40.31	20.16
二氧化碳	CO ₂	44.00	22.00
二氧化硅	SiO ₂	60.086	30.043
三氧化硫	SO ₃	80.063	40.031

3. 常用溶液的密度

(1) 硫酸溶液的密度 (20℃), 见表6.4-59。

(2) 盐酸溶液的密度 (20℃), 见表6.4-60。

硫酸溶液的密度 (20℃)

表 6.4-59

密度 (g/cm ³)	H ₂ SO ₄ 的含量			密度 (g/cm ³)	H ₂ SO ₄ 的含量		
	(%)	(g/L)	(ge/L)		(%)	(g/L)	(ge/L)
1.005	1	10.05	0.21	1.415	52	735.8	15.02
1.012	2	20.24	0.41	1.435	54	774.9	15.80
1.018	3	30.55	0.62	1.456	56	815.2	16.64
1.025	4	41.00	0.84	1.477	58	856.7	17.48
1.032	5	51.58	1.05	1.498	60	898.8	18.31
1.038	6	62.31	1.27	1.520	62	942.4	19.23
1.045	7	73.17	1.49	1.542	64	986.9	20.14
1.052	8	84.18	1.71	1.565	66	1033	21.08
1.059	9	95.32	1.94	1.587	68	1079	22.02
1.066	10	106.6	2.18	1.601	70	1127	23.00
1.073	11	118.0	2.41	1.622	71	1152	23.51
1.080	12	129.6	2.64	1.634	72	1176	24.00
1.087	13	141.4	2.88	1.646	73	1201	24.51
1.095	14	153.3	3.12	1.657	74	1226	25.02
1.102	15	165.3	3.37	1.669	75	1252	25.55
1.109	16	177.5	3.62	1.681	76	1278	26.08
1.117	17	189.9	3.87	1.693	77	1303	26.60
1.124	18	202.3	4.13	1.704	78	1329	27.12
1.132	19	215.1	4.39	1.716	79	1355	27.65
1.139	20	227.9	4.65	1.727	80	1382	28.20
1.155	22	254.1	5.18	1.749	82	1434	29.27
1.170	24	280.9	5.73	1.769	84	1486	30.33
1.186	26	308.4	6.29	1.787	86	1537	31.37
1.202	28	336.6	6.87	1.802	88	1586	32.37
1.219	30	365.6	7.46	1.814	90	1633	33.33
1.235	32	395.2	8.07	1.819	91	1656	33.79
1.252	34	425.2	8.68	1.824	92	1678	34.24
1.268	36	456.6	9.32	1.828	93	1700	34.69
1.286	38	488.5	9.97	1.8312	94	1721	35.12
1.303	40	521.1	10.64	1.8337	95	1742	35.55
1.321	42	554.6	11.32	1.8355	96	1762	35.96
1.338	44	588.9	12.02	1.8363	97	1781	36.35
1.357	46	624.2	12.74	1.8361	98	1799	36.71
1.376	48	660.5	13.48	1.8342	99	1816	37.06
1.395	50	697.5	14.24	1.8305	100	1831	37.37

盐酸溶液的密度 (20℃)

表 6.4-60

密度 (g/cm ³)	HCl 的含量			密度 (g/cm ³)	HCl 的含量		
	(%)	(g/L)	(ge/L)		(%)	(g/L)	(ge/L)
1.003	1	10.03	0.28	1.108	22	243.8	6.68
1.008	2	20.16	0.55	1.119	24	268.5	7.36
1.018	4	40.72	1.12	1.129	26	293.5	8.04
1.028	6	61.67	1.69	1.139	28	319.0	8.74
1.038	8	83.01	2.27	1.149	30	344.8	9.45
1.047	10	104.7	2.87	1.159	32	371.0	10.16
1.057	12	126.9	3.48	1.169	34	397.5	10.89
1.068	14	149.5	4.10	1.179	36	424.4	11.64
1.078	16	172.5	4.72	1.189	38	451.6	12.37
1.088	18	195.8	5.37	1.198	40	479.2	13.13
1.098	20	219.6	6.02				

(3) 氢氧化钠溶液的密度 (20℃), 见表6.4-61。

(4) 氯化钠溶液的密度 (20℃), 见表6.4-62。

(5) 石灰乳的密度 (20℃), 见表6.4-63。

氢氧化钠溶液的密度 (20℃)

表 6.4-61

密度 (g/cm ³)	NaOH 的含量			密度 (g/cm ³)	NaOH 的含量		
	(%)	(g/L)	(ge/L)		(%)	(g/L)	(ge/L)
1.010	1	10.10	0.25	1.241	22	273.0	6.83
1.021	2	20.41	0.51	1.263	24	303.0	7.58
1.032	3	30.95	0.77	1.285	26	334.0	8.35
1.043	4	41.71	1.04	1.306	28	365.8	9.15
1.054	5	52.69	1.32	1.328	30	398.4	9.96
1.065	6	63.89	1.60	1.349	32	431.7	10.76
1.076	7	75.31	1.88	1.370	34	465.7	11.64
1.087	8	86.95	2.17	1.390	36	500.4	12.51
1.098	9	98.81	2.47	1.410	38	535.8	13.40
1.109	10	110.9	2.77	1.430	40	572.0	14.30
1.120	11	123.3	3.08	1.440	41	590.3	14.76
1.131	12	135.7	3.39	1.449	42	608.7	15.22
1.142	13	148.5	3.71	1.459	43	627.5	15.69
1.153	14	161.4	4.04	1.469	44	646.1	16.15
1.164	15	174.7	4.37	1.478	45	665.2	16.63
1.175	16	188.0	4.70	1.487	46	684.2	17.11
1.186	17	201.7	5.04	1.497	47	703.5	17.59
1.197	18	215.5	5.39	1.507	48	723.1	18.01
1.208	19	229.7	5.74	1.516	49	742.9	18.07
1.219	20	243.8	6.10	1.525	50	762.7	19.07

氯化钠溶液的密度 (20℃)

表 6.4-62

密度 (g/cm ³)	NaCl 的含量			密度 (g/cm ³)	NaCl 的含量		
	(%)	(g/L)	(ge/L)		(%)	(g/L)	(ge/L)
1.005	1	10.1	0.17	1.109	15	166	2.84
1.013	2	20.3	0.35	1.116	16	179	3.06
1.020	3	30.6	0.52	1.124	17	191	3.27
1.027	4	41.1	0.70	1.132	18	204	3.48
1.034	5	51.7	0.88	1.140	19	217	3.71
1.041	6	62.5	1.07	1.148	20	230	3.93
1.043	7	73.4	1.26	1.156	21	243	4.15
1.056	8	84.5	1.44	1.164	22	256	4.38
1.063	9	95.6	1.63	1.172	23	270	4.61
1.071	10	107.1	1.83	1.180	24	283	4.84
1.078	11	118	2.02	1.189	25	297	5.08
1.086	12	130	2.22	1.197	26	311	5.32
1.093	13	142	2.43	1.20	26.4	318	5.43
1.101	14	154	2.63				

石灰乳的密度 (20℃)

表 6.4-63

密度 (g/cm ³)	CaO 的含量		Ca(OH) ₂ 的 重量百分浓度 (%)	密度 (g/cm ³)	CaO 的含量		Ca(OH) ₂ 的 重量百分浓度 (%)
	(%)	(g/L)			(%)	(g/L)	
1.009	0.99	10	1.31	1.119	14.30	160	18.90
1.017	1.96	20	2.59	1.126	15.10	170	19.95
1.025	2.93	30	3.87	1.133	15.89	180	21.00
1.032	3.88	40	5.13	1.140	16.67	190	22.03
1.039	4.81	50	6.36	1.148	17.43	200	23.03
1.046	5.74	60	7.58	1.155	18.19	210	24.04
1.054	6.65	70	8.79	1.162	18.94	220	25.03
1.061	7.54	80	9.96	1.169	19.68	230	26.01
1.068	8.43	90	11.14	1.176	20.41	240	26.96
1.075	9.30	100	12.29	1.184	21.12	250	27.91
1.083	10.16	110	13.43	1.191	21.84	260	28.86
1.090	11.01	120	14.55	1.198	22.55	270	29.80
1.097	11.86	130	15.67	1.205	23.24	280	30.71
1.104	12.68	140	16.76	1.213	23.92	290	31.61
1.111	13.50	150	17.84	1.220	24.60	300	32.51

(6) 硫酸铵溶液的密度 (15℃), 见表6.4-64。

硫酸铵溶液的密度 (15℃)

表 6.4-64

密 度 (g/cm ³)	(NH ₄) ₂ SO ₄ 的含量			密 度 (g/cm ³)	(NH ₄) ₂ SO ₄ 的含量		
	(%)	(g/L)	(ge/L)		(%)	(g/L)	(ge/L)
1.004	1	10.042	0.152	1.137	24	272.957	4.131
1.010	2	20.198	0.306	1.143	25	285.850	4.327
1.016	3	30.470	0.461	1.149	26	298.792	4.522
1.021	4	40.856	0.618	1.155	27	311.850	4.720
1.027	5	51.355	0.777	1.161	28	325.024	4.919
1.033	6	61.968	0.938	1.167	29	338.314	5.121
1.039	7	72.699	1.100	1.172	30	351.720	5.323
1.044	8	83.544	1.265	1.178	31	365.180	5.527
1.050	9	94.505	1.430	1.184	32	378.752	5.733
1.056	10	105.580	1.598	1.189	33	392.436	5.933
1.062	11	116.767	1.767	1.195	34	406.232	6.149
1.067	12	128.069	1.938	1.200	35	420.140	6.359
1.073	13	139.485	2.111	1.206	36	434.160	6.571
1.079	14	151.015	2.286	1.212	37	448.292	6.785
1.084	15	162.660	2.462	1.217	38	462.536	7.001
1.090	16	174.419	2.640	1.223	39	476.892	7.218
1.096	17	186.293	2.820	1.228	40	491.360	7.437
1.102	18	198.281	3.001	1.235	41	506.129	7.661
1.107	19	210.383	3.184	1.241	42	521.018	7.886
1.113	20	222.660	3.369	1.247	43	536.029	8.113
1.119	21	235.007	3.557	1.253	44	551.162	8.342
1.125	22	247.535	3.747	1.259	45	566.415	8.573
1.131	23	260.185	3.938				

(7) 氯化铵溶液的密度 (15℃), 见表6.4-65。

氯化铵溶液的密度 (15℃)

表 6.4-65

密 度 (g/cm ³)	NH ₄ Cl			密 度 (g/cm ³)	NH ₄ Cl		
	(%)	(g/L)	(ge/L)		(%)	(g/L)	(ge/L)
1.003	1	10.023	0.187	1.041	14	145.776	2.725
1.005	2	20.108	0.376	1.044	15	156.615	2.928
1.009	3	30.257	0.566	1.047	16	167.510	3.131
1.012	4	40.468	0.756	1.050	17	178.463	3.336
1.015	5	50.740	0.948	1.053	18	189.472	3.542
1.018	6	61.074	1.142	1.056	19	200.537	3.749
1.021	7	71.463	1.336	1.058	20	211.660	3.956
1.024	8	81.912	1.531	1.061	21	222.818	4.165
1.027	9	92.421	1.728	1.064	22	234.032	4.375
1.030	10	102.990	1.925	1.067	23	245.300	4.585
1.033	11	113.601	2.124	1.069	24	256.622	4.797
1.036	12	124.270	2.323	1.072	25	268.000	5.010
1.038	13	134.995	2.523				

4. 水在树脂层中的流动阻力(见表6.4-66)

水在树脂层中的流动阻力 ΔH (kPa)

表 6.4-66

ΔH (kPa)	水速 (m/h)	树脂层高 (m)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
1.0		7.0	14	21	28	35	42	49	56
1.2		8.4	16.8	25.2	33.6	42	50.5	58.8	67.2
1.4		9.8	19.6	29.4	39.2	49	58.8	68.6	78.5
1.6		11.2	22.4	33.6	44.8	56	67.2	78.5	89.5
1.8		12.6	25.2	37.8	50.5	63	75.6	88.3	101
2.0		14	28	42	56	70	84	98	112

5. 水处理设备及管道防腐方法(见表6.4-67)

设备、管道防腐方法

表 6.4-67

序号	项 目	防 腐 方 法	技 术 要 求
1	阳离子交换器 阴离子交换器 混合离子交换器	衬胶、衬玻璃钢 衬胶、衬玻璃钢 衬胶、衬玻璃钢	衬胶厚度 ≤ 4.5 mm 衬胶厚度 ≤ 4.5 mm 衬胶厚度 ≤ 4.5 mm
2	盐酸贮存槽	衬胶、衬玻璃钢	衬胶厚度 ≤ 4.5 mm
3	地下盐酸贮存池	铸石、衬玻璃钢	衬玻璃钢4~6层,应做好池外壁防水层
4	地下浓碱液贮存池	铸石、衬玻璃钢、衬钢板	应做好池外壁防水层
5	浓硫酸贮存槽	钢制	
6	盐酸计量箱	衬胶、硬聚氯乙烯、玻璃钢	
7	稀硫酸箱、计量箱	衬胶、衬玻璃钢	衬胶厚度4mm
8	盐酸喷射器	衬胶、有机玻璃	衬胶厚度4mm
9	硫酸喷射器	陶瓷、铅铋合金、法奥里特等	
10	食盐湿贮存槽	耐酸水泥、衬瓷砖	
11	食盐溶液箱、计量箱	硬聚氯乙烯涂漆	
12	氨、联氨与碱液的贮槽、计量箱、溶液箱、喷射器及管道	钢制无铜件,硬聚氯乙烯	
13	中间水箱	衬玻璃钢	4~6层
14	加混凝剂的澄清器、过滤器、清水箱	涂漆	
15	混凝剂溶液箱、计量箱及管道	硬聚氯乙烯等	
16	除盐水箱、凝结水箱	涂漆(如环氧树脂,聚氨酯,漆酚树脂等)	
17	除二氧化碳器	衬胶或硬聚氯乙烯制	衬胶厚3~4.5mm
18	泡沫除尘器、吸收塔 第一层筛板 第二、三、四层筛板	衬胶 不锈钢(1Cr18Ni9Ti) 不锈钢,玻璃钢,塑料	

续表

序号	项 目	防 腐 方 法	技 术 要 求
19	酸碱中和池	衬玻璃钢, 铸石	衬玻璃钢4~6层
20	食盐溶液管	硬聚氯乙烯	
21	盐酸溶液管	衬胶、衬玻璃钢、硬聚氯乙烯、 玻璃钢管等	衬胶厚度3mm
22	氢离子交换水管, 未加氨的除盐 水管	衬胶、玻璃钢、硬聚氯乙烯管等	衬胶厚度3mm
23	氢钠离子交换软化水管	衬胶或涂漆等	根据具体情况确定是否防腐
24	氯气管	紫铜	
25	氯水管	硬聚氯乙烯	
26	泡沫除尘器至高压风机的烟道	衬胶、硬聚氯乙烯	衬胶厚度3mm
27	泡沫吸收塔回收水管	衬胶、硬聚氯乙烯	衬胶厚度3mm
28	酸碱性水排水沟	衬玻璃钢、铸石	衬玻璃钢4~6层

注: 经试用, 在稀酸碱溶液的设备 and 管道内壁, 涂聚硫橡胶防腐, 也有良好效果, 可根据情况选用。

6. 分析锅炉用水时常用的仪器和药品 (见表6.4-68)

分析锅炉用水时常用的仪器与药品

表 6.4-68

品 名	规 格	单 位	数 量
分析天平	称量200g, 感量0.1mg	架	1
电热干燥箱	中小型	台	1
水浴锅	多 孔	台	1
蒸馏水器	10L/h	台	1
比重计	大于1	套	1
滴定台		台	3
大口瓶	5 L	个	2
	10L	个	3
滴 瓶	25mL	个	5
	25mL (棕色)	个	5
塞比色管	25mL (有磨口塞)	套	1
酸式滴定管	50mL	支	5
	25mL	支	3
容量瓶	1000mL	个	2
	500mL	个	2
	250mL	个	2
	100mL	个	5
	50mL	个	5
量 筒	50mL	个	2
瓷坩埚	10~15mL	个	10
刻度移液管	10mL	支	2
	5 mL	支	3
	2 mL	支	2
玻璃表皿	φ50mm	个	3
	φ100mm	个	10
托盘天平	称量200g, 感量0.1g	架	1
马弗炉 (电热高温炉)	1000℃ 小型	台	1
万用电炉	220V1000kW	台	2
干燥器	玻 璃	台	1

品 名	规 格	单 位	数 量
pH比色计	标准系列	台	1
细口瓶	1000mL	个	5
	500mL	个	5
	500mL (棕色)	个	5
	200~300mL	个	10
	250mL (棕色)	个	5
微量滴定管	2~5 mL	支	1
碱式滴定管	50mL	支	3
	25mL	支	2
胖肚移液管	100mL	支	1
	50mL	支	5
	25mL	支	2
	20mL	支	2
	10mL	支	2
蒸发皿	100~150mL	个	10
古氏坩埚		个	2
量筒	500mL	个	2
	250mL	个	2
	100mL	个	5
锥形瓶 (三角烧杯)	250mL	个	20
	150mL	个	10
烧杯	500mL	个	10
	250mL	个	5
	100mL	个	5
玻璃研钵	φ100mm	个	1
称量瓶	φ30mm	个	5
玻璃管	φ5~8mm	个	0.5
乳胶管	6×8	斤	1
洗耳球		个	3
塑料瓶	1000mL	个	10
广泛pH试纸	1~14	本	5
硫酸	二级2500mL	瓶	1
硝酸	二级2500mL	瓶	1
氢氧化钠	二级500mL	瓶	1
氯化铵	二级500g	瓶	5
硝酸银	二级250g	瓶	2
硫化钠	二级500g	瓶	1
无水碳酸钠	一级500g	瓶	1
靛兰二磺酸 钠 (靛胭脂)	25g	瓶	1
氧二铋	一级500g	瓶	1
硫酸铝	二级500g	瓶	1
铜酸铵	二级500g	瓶	1
玻璃漏斗	φ50mm	个	5
分液漏斗	500mL	个	3
吸滤瓶	1000mL	个	1
酒精灯		个	1
玻璃棒	φ3~5mm	斤	1
胶塞	各种规格	个	10
玻璃珠	大 号	斤	0.1
药勺	牛角 (塑料)	个	5
滤 纸	定性φ100mm	盒	1

续表

品 名	规 格	单 位	数 量
盐 酸	定量 ϕ 100mm	盒	1
乙酸 (冰乙酸)	二级2500mL	瓶	1
氨 水	二级500g	瓶	1
氯化钠	二级1000mL	瓶	10
硝酸亚汞	一级500g	瓶	1
铬 酸 钾	二级250g	瓶	1
苦 味 酸	二级500g	瓶	1
乙二胺四醋	25g	瓶	1
酸 二 钠	二级500g	瓶	2
邻苯二甲酸氢钾	一级500g	瓶	1
磷酸二氢钾	一级500g	瓶	1
氯化亚锡	一级500g	瓶	1
锌 粒	二级500g	瓶	1
无水乙醇	二级1000mL	瓶	5
铬黑T指示剂	25g	瓶	1
甲基橙指示剂	25g	瓶	1
亚甲基蓝指示剂	25g	瓶	1
四氯化碳	二级1000mL	瓶	2
纯 甘 油	二级1000mL	瓶	1
酚酞指示剂	25g	瓶	1
甲基红指示剂	25g	瓶	1
钙红指示剂	25g	瓶	1

6.5 锅炉房汽水系统

6.5.1 给水及凝结水系统

1. 在锅炉房内除了采用除氧设施需设置除氧水箱而采用两级给水系统外,一般可采用给水箱和凝结水回水箱合用的一级给水系统。

2. 回水箱间的地面标高应根据室外回水方式确定。在条件合适时,优先采用地上或半地下室布置方式。

3. 给水箱和凝结水回水箱的设计。

(1) 水箱容量和数量的确定,见表6.5-1。

(2) 水箱的外形:小容量水箱一般采用矩形水箱,当容量大于 20m^3 时宜采用圆形水箱。

(3) 水箱一般采用开式结构,当室外为余压凝结水系统时,凝结水回水箱应采用闭式结构。

(4) 水箱的附件应配置齐全(如水位计、温度计、水封、溢流管、泄水管、进水管、出水管、排汽管及人孔等),当水箱高度超过1.5m时,应设内外人梯。

溢水管管径应为出水管管径的1.5~2倍,排汽管管径应为凝结水进水管径的2~2.5倍。水箱的溢水管采用封闭式,闭式凝结水回水箱的排汽管应通过水封(控制10~30kPa)

水箱的容量和数量

表 6.5-1

水箱类别	锅炉房额定容量 D (t/h)	锅炉房性质	水箱个数 (个)	水箱总容量 (m^3)	
				容量计算	推荐容量
一级给水系统给水箱	$D < 10$	季节运行	1	$(1 \sim 2) D$	2~10
		常年运行	2	$(1 \sim 1\frac{1}{2}) D$	1.5~10
	$10 < D < 60$	不论性质	2	$(\frac{1}{2} \sim 1) D$	10~30
		不论性质	2	$(\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}) D$	>20~40
两级给水系统凝结水回水箱	最大凝结水量	季节运行	1	$\frac{1}{3} D'$	
	D' (t/h)	常年运行	2	$\frac{2}{3} D'$	

注：当锅炉房水处理系统只设一台离子交换器时，水箱容量应能满足离子交换器再生时间内的锅炉给水量。

后再排入大气。

当室外凝结水回水量较大时，水箱顶部尚应设置回收凝结水二次蒸汽的填料喷淋冷却器。

(5) 水箱内底部如设置蒸汽加热管时，其均布喷孔的数量 n (个) 可按下式计算，并可按表6.5-2选用。

$$n = \frac{A}{a} = \frac{V_g}{a \cdot w} = \frac{V_g}{a \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h}} \quad (6.5-1)$$

式中 A ——喷孔的总面积， m^2 ；
 a ——每个喷孔面积， m^2 ；
 V_g ——根据水温升高要求所需的蒸汽容积， m^3/s ；
 w ——喷孔处的蒸汽流速， m/s ；
 Δh ——蒸汽在开孔处的动压头， $\Delta h = h$ ；
 h ——水箱中水位的有效高度， m 。

单位蒸汽量(t/h)所需蒸汽喷孔数

表 6.5-2

蒸汽压力 P (MPa)		0.15				0.20				0.30			
孔数 n (个)	水位高度 h (m)												
		1.00	1.50	2.00	2.50	1.00	1.50	2.00	2.50	1.00	1.50	2.00	2.50
孔径 ϕ (mm)													
$\phi 4$		3650	2980	2580	2310	3080	2515	2180	1950	2350	1920	1660	1490
$\phi 5$		2340	1910	1650	1450	1970	1610	1395	1245	1510	1230	1060	930
$\phi 6$		1620	1325	1150	1030	1370	1120	970	865	1040	850	740	660

(6) 安装时水箱底部应设支座，支座间距 L (cm) 按下式计算，也可查表6.5-3，一般 $L < 50$ cm。

$$L = \frac{\sigma(S - C)}{0.1\sqrt{H}} \quad (6.5-2)$$

式中 σ ——钢板许用应力, MPa;
 S ——箱底厚度, cm;
 C ——腐蚀裕量, 一般取 $C = 0.1\text{cm}$;
 H ——箱内盛水高度, cm。

水箱支座间距表 L (mm)

表 6.5-3

支座间距 L (mm)	箱内水高 H (mm)	水箱支座间距表 L (mm)						
		800	1000	1200	1500	2000	2500	3000
箱底厚度 S (mm)								
4		335	300	275	245	210	190	175
5		445	400	365	330	280	255	230
6		560	500	460	410	355	320	290
7		670	600	550	490	425	380	350
8		780	700	640	570	495	440	400

(7) 水箱底的安装高度应满足水泵灌注头的要求。

(8) 水箱管接头及所有附件制作完毕后, 应在水箱内外表面进行防腐处理, 见表 6.5-4。

水箱防腐处理措施

表 6.5-4

水箱部位	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	防腐处理措施
水箱内部	<30	刷红丹防锈漆 2 遍
	$30 \sim <70$	刷过氯乙烯漆 4 ~ 5 遍
	$70 \sim 100$	刷汽包漆 4 ~ 5 遍
水箱外部		刷红丹防锈漆 2 遍

(9) 水温 $>50^{\circ}\text{C}$ 时, 水箱应保温, 保温层外表面温度应 $>40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

(10) 凝结水回水箱应设有水箱水位自控装置, 以控制水泵自动启闭。并设声光信号传送到控制室。

4. 锅炉给水泵的选择计算

(1) 锅炉给水宜采用多台锅炉集中给水系统。水泵性能及台数的确定应能满足并联运行及全年负荷调节的要求。

• 给水泵的台数不应少于两台, 在任何一台停运情况下, 其余给水泵的总给水量不应小于锅炉房额定蒸发量时所需给水量(包括减温装置及蓄热器等装置的额定用水量)的 110%。

• 当采用电泵为常用给水设备时, 宜采用汽泵为事故备用泵, 该泵的流量应满足锅炉房额定蒸发量时所需给水量 的 20 ~ 40%; 对于供电可靠或停止给水不会导致锅炉缺水事故的锅炉房可不设事故备用泵。

• 当采用汽泵为电泵的工作备用泵时, 其流量应 \leq 最大一台电泵的流量。

给水泵的种类和容量的确定可参见表 6.5-5。

(2) 当锅炉额定蒸汽量 $\geq 35\text{t/h}$, 额定出口蒸汽压力 $\geq 2.5\text{MPa}$, 热负荷较为稳定, 且给水泵排汽可以利用时, 宜选用工业汽轮机驱动的给水泵作常用给水泵, 以电动给水泵作工作备用泵。

(3) 给水泵的设计扬程 H (MPa)

电动、汽动给水泵台数、容量选择表

表 6.5-5

序号	给水泵总台数 (台)	电 泵			汽 泵			所有水泵总容量 (m ³ /h)	汽 泵 工 况		
		数 量 (台)	出 水 量 (m ³ /h)		数 量 (台)	出 水 量 (m ³ /h)			供电可靠 不设汽泵	汽 泵 作 事故备用	汽 泵 作 工作备用
			一台电泵	所有电泵		一台汽泵	所有汽泵				
1	2	1	1.1D	1.1D	1	1.1D	1.1D	2.2D			△
2	2	2	1.1D	2.2D	—	—	—	2.2D	△		
3	3	2	1.1D	2.2D	1	0.3D	0.3D	2.5D		△	
4	3	2	0.55D	1.1D	1	0.55D	0.55D	1.65D			△
5	3	3	0.55D	1.65D	—	—	—	1.65D	△		
6	4	3	0.55D	1.65D	1	0.30D	0.30D	1.95D		△	
7	4	3	0.37D	1.11D	1	0.37D	0.37D	1.48D			△
8	4	4	0.37D	1.48D	—	—	—	1.48D	△		
9	5	4	0.37D	1.48D	1	0.37D	0.37D	1.85D		△	△
10	5	4	0.275D	1.1D	1	0.275D	0.275D	1.375D			△
11	5	3	0.37D	1.1D	2	0.37D	0.74D	1.84D			△

注: D 为锅炉房额定给水量 = 锅炉房额定蒸发量 + 排污量, m³/h。

$$H = P_g + (0.1 \sim 0.2) \quad (6.5-3)$$

式中 P_g —— 锅炉工作压力, MPa;

0.1~0.2 —— 考虑管路、省煤器等水流阻力的附加值, MPa。当锅炉带有省煤器时, 应采用较高值。

5. 凝结水泵的选择计算

(1) 凝结水泵至少应安装两台, 其中一台备用。凝结水泵的容量应按进入凝结水箱的每小时最大水量和凝结水泵的工况考虑。

- 当补给水不进入或极少量进入凝结水箱时, 凝结水泵按间断工作考虑;
- 当大量补给水进入凝结水箱时, 凝结水泵按连续工作考虑。

凝结水泵的安装台数和容量可参考表6.5-6确定。

凝结水泵的台数、容量选用表

表 6.5-6

凝结水泵台数 (台)	凝 结 水 泵 容 量 (m ³ /h)			
	间 断 工 作		连 续 工 作	
	每 台 容 量	全 部 容 量	每 台 容 量	全 部 容 量
2	2.0D ₁	4.0D ₁	1.1D ₁	2.2D ₁
3	1.0D ₁	3.0D ₁	0.55D ₁	1.65D ₁
4	0.7D ₁	2.8D ₁	0.37D ₁	1.48D ₁

注: D₁ —— 进入凝结水箱的总水量, m³/h。

(2) 凝结水泵的设计扬程 H (MPa)

$$H = P + (H_1 + 10H_2 + H_3) 10^{-3} \quad (6.5-4)$$

式中 P —— 凝结水接收设备内的工作压力, MPa;

大气式热力除氧器 $P = 0.02$ MPa;

喷雾式热力除氧器 $P = 0.15 \sim 0.20$ MPa;

独立式钢屑除氧器 $P = 0.06 \sim 0.08$ MPa;

开式水箱 $P = 0$ 。

H_1 ——管路系统总阻力, kPa;

H_2 ——凝结水箱最低水位至凝结水接收设备进口之间的标高差, m;

H_3 ——附加压头, 一般取 $H_3 = 50$ kPa。

6. 水箱最低贮水面至水泵轴心线之间的灌注头 H_z (m)。

(1) 水泵灌注头 H_z (m) 按下式计算:

$$H_z > 0.1[(P_{BH} - P_g) + h_\lambda + h_r + \Delta P_g] \quad (6.5-5)$$

式中 P_{BH} ——水泵进口处水的饱和压力, kPa (见表6.5-7);

P_g ——水箱的工作压力, kPa;

h_λ ——吸水管道的阻力, kPa;

h_r ——水泵的汽蚀余量, kPa;

ΔP_g ——考虑水箱压力瞬变的裕量, $\Delta P_g = 3 \sim 5$ kPa。

不同水温下水的饱和压力 P_{BH} (kPa)

表 6.5-7

水温 (°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
P_{BH} (kPa绝)	0.62	1.25	2.38	4.32	7.52	12.6	20.3	31.8	48.3	71.5	103	146	202

对于闭式水箱 (如热力除氧), $P_{BH} \approx P_g$ 。

(2) 凝结水箱安装高度 (箱底高出水泵轴线距离)

当凝结水温 $90 \sim 100^\circ\text{C}$ —— 1 m;

$> 100^\circ\text{C}$ —— 1 ~ 1.5 m。

7. 给水及凝结水管道系统

(1) 常年不间断运行的锅炉房, 应采用双给水母管, 每条给水管道的给水量 $<$ 锅炉额定出力的120%。

(2) 省煤器应设有不经省煤器而直接通入锅炉汽包的给水旁通管。

无旁通烟道的省煤器出口应有接到给水箱的循环水管。

(3) 必须于短期内低负荷运行的离心水泵的出口管与止回阀之间应接有返回给水箱的低负荷循环管, 循环管上应设减压孔板或调压阀。低负荷循环管管径可按循环水量计算, 一般不小于表6.5-8的规定。

低负荷循环管最小管径 DN

表 6.5-8

给水泵出力 (m^3/h)	< 15	15~30	30~40	40~80	80~120	120~200	> 200
DN (mm)	15	20	25	32	40	50	65~80

(4) 并联运行的热力除氧水箱上应有汽水连管。

(5) 蒸汽锅炉给水管上的手动给水调节阀及热水锅炉手动控制补水装置, 宜设在便于司炉操作的地点。

(6) 室外凝结水管应翻高后接入凝结水回水箱, 上翻高度应按保证室外管网保持满管运行的要求确定。

(7) 给水系统应配置的阀门附件如表6.5-9所示。

给水系统配置阀门表

表 6.5-9

系统部位		闸 阀	止回阀	截止阀	调节阀	安全阀	放气阀	放水阀
给 水 泵	入 口	▲						
	出 口		▲	▲				
水管低负荷循环管					▲			
省 煤 器	入 口		▲	▲		▲		▲
	出 口			▲		▲	▲	
锅 炉	入 口		▲	▲	▲			
	出 口			▲				
省煤器循环管				▲				
管 道	最 高 点						▲	
	最 低 点							▲

6.5.2 蒸 汽 系 统

1. 供汽管道

(1) 蒸汽参数相同的锅炉宜采用蒸汽单母管,对常年连续供热的锅炉房可采用双母管。工作压力不同的锅炉,应设置独立的蒸汽管和给水管。如合用蒸汽管时,高压管应设减压和安全保护装置。当给水压差 $<20\%$ 时可由总的给水系统向锅炉给水。

(2) 分汽缸的设置应根据用汽需要和管理方便等因素进行考虑,每台锅炉的主蒸汽管可以分别接至分汽缸。

(3) 每台锅炉与蒸汽母管或与分汽缸之间的锅炉主蒸汽管上,均应安装两个阀门,其中一个紧靠锅炉汽包或过热器出口,另一个应装在靠近蒸汽母管处或分汽缸上。

两阀之间应有通向大气的疏水管($DN>20$ 并带阀门)。

(4) 锅炉房内自用蒸汽(汽泵、除氧器及生活等用汽)应由分汽缸上自用蒸汽总管接出。

2. 凝结水、锅炉连续排污膨胀器产生的二次蒸汽应充分予以利用

3. 蒸汽系统安全阀的设置

(1) 蒸发量 $>0.5t/h$ 的锅炉至少装设两个安全阀,安全阀的总排汽能力必须大于锅炉最大连续蒸发量。

(2) 安全阀应设有直接通向室外的排汽管,排汽管的截面积至少为安全阀座排汽面积的2倍。两只独立安全阀排汽管不得相连。排汽管的底部应装有接到安全地点的疏水管,排汽管和疏水管上都不得装阀门。

4. 蒸汽系统疏水设施

(1) 汽水换热器、汽水分离器、分汽缸等设备下面及蒸汽管道的最低点,应设置连续疏水阀。

(2) 蒸汽管末端、节流孔板的前面、锅炉启动时有可能积水的系统最低点等处,应设置启动疏水装置。

(3) 疏水设备选用原则:

- 蒸汽压力 $\leq 0.05\text{MPa}$ 时, 尽量采用水封管疏水。
- 蒸汽压力 $> 0.05\text{MPa}$ 时, 应采用疏水阀。疏水阀排水能力选择时应考虑安装地点的实际工作压差及疏水倍率系数(蒸汽管道及分汽缸倍率系数取 $2 \sim 3$, 热交换器倍率系数取 $3 \sim 4$)。

(4) 启动时有大量凝结水的疏水点, 疏水阀应设旁通管。

当疏水阀后的管段高于疏水阀安装高度时, 疏水阀后应装止回阀。

6.5.3 汽水管道设计

汽水管道应按热力系统和锅炉房工艺布置进行设计。应使计算正确, 选材符合设计参数要求, 布置合理, 流阻较小, 疏水通畅, 支吊稳固, 保温合适, 造价低廉, 扩建方便和整齐美观。

1. 汽水管道布置应考虑以下要求

- 应使安装、操作、检修方便。
- 尽量沿墙柱敷设, 力求排列整齐。
- 人行通道上方的管道离地净距 $\leq 2\text{m}$ 。
- 不影响采光和门窗的开启。
- 应满足装设仪表的要求。
- 应考虑热补偿措施, 尽量利用管道自然补偿。

2. 锅炉房汽水管道的管径应按表 6.5-10 推荐的流速进行选择计算

汽、水及压缩空气管道的允许流速

表 6.5-10

工作介质	管道种类	管道的粗糙度 (mm)	流速 (m/s)
过热蒸汽	$DN > 200\text{mm}$	0.1	40~60
	$DN = 200 \sim 100\text{mm}$		30~50
	$DN < 100\text{mm}$		20~40
饱和蒸汽	$DN > 200\text{mm}$	0.2	30~40
	$DN = 200 \sim 100\text{mm}$		25~35
	$DN < 100\text{mm}$		20~30
二次蒸汽	利用的二次蒸汽管	0.2	15~30
	不利用的二次蒸汽管		60
废 汽	利用的锻锤废汽管		20~40
	不利用的锻锤废汽管		60
乏 汽	排汽管 (从受压容器中排出)		80
	排汽管 (从无压容器中排出)		15~30
	排汽管 (从安全阀排出)		200~400
锅炉给水	水泵吸水管		0.5~1.0
	离心泵出口管		2~3
	往复泵出口管		1~2
	给水总管		1.5~3

续表

工作介质	管道种类		管道的粗糙度 (mm)	流速 (m/s)
凝结水	凝结水泵吸水管		0.5	0.5~1.0
	凝结水泵出水管 $DN < 100\text{mm}$		0.5	0.5~1.6
凝结水	$DN > 100\text{mm}$			< 2
	自流凝结水管 余压凝结水管		1.0 0.5	0.2~0.5 0.5~3
生水	自来水管、冲洗水管 (压力)			1.5~3
	软化水管、反洗水管 (压力)			1.5~3
	反洗水管 (自流)、溢流水管			0.5~1
	盐水管			1~2
冷却水	冷水管			1.5~2.5
	热水管 (压力)			1~1.5
热网循环水	供、回水管	室外管网		0.5~3
		锅炉房出口		(与热网干管一致)
压缩空气	小于1MPa (10kgf/cm ²) 压缩空气管			8~12

3. 汽水管道的支吊架设计, 应考虑管道、阀门与附件的重量, 管内水重, 保温结构重量和管道膨胀的作用力

• 汽水管道应合理布置支吊架, 支吊架间距和管道离墙柱的间距应符合表6.5-11、表6.5-12及图6.5-1的要求。

汽水管道支架间距

表 6.5-11

DN1	DN2	L_H (m)		DN1	DN2	L_H (m)	
		保温	不保温			保温	不保温
15	15	1.5	3.0	80	—	3.0	6.0
	—						
20	20	2.0	3.0	100	50	3.0	6.0
	—				65		
—			80				
25	25	2.0	3.0	125	100	3.0	6.0
	—				65		
—			80				
—			100				
32	32	2.0	3.0	150	125	6.0	6.0
	—				80		
—			100				
40	40	3.0	3.0	150	150	6.0	6.0
	—				80		
—			100				
—			125				
50	50	3.0	6.0	150	150	6.0	6.0
	—				80		
—			100				
—			125				
65	65	3.0	6.0	150	150	6.0	6.0
	—				80		
—			100				
—			125				
80	80	3.0	6.0				

续表

DN1	DN2	L _H (m)		DN1	DN2	L _H (m)	
		保温	不保温			保温	不保温
200	100	3.0	6.0	250	250	6.0	6.0
	125	6.0	6.0		—		
	150			125			
	200			150			
250	100	3.0	6.0	300	200	6.0	6.0
	125	6.0	6.0		300		
	150				—		
	—				—		

汽水管道中心距墙柱的距离

表 6.5-12

DN1		25		32		40		50		65		80		100	
DN2		25		32		40		50		65		80		100	
A (mm)	保温	190		200		210		220		230		240		250	
	不保温	120		120		130		130		140		150		160	
B (mm)	保温	300		320		330		350		370		390		360	
	不保温	150		160		170		180		190		210		200	
DN1		100				125				150				200	
DN2		65	80	100	65	80	100	125	80	100	125	150			
A (mm)	保温	250				270				300				330	
	不保温	160				170				180				210	
B (mm)	保温	370	380	420	390	410	430	450	440	460	480	510			
	不保温	210	220	230	220	230	240	250	250	260	270	280			
DN1		200				250				300					
DN2		100	125	150	200	100	125	150	250	125	150	200	300		
A (mm)	保温	330				370				400					
	不保温	210				240				270					
B (mm)	保温	480	510	540	580	520	540	570	640	580	610	640	720		
	不保温	300	310	320	340	330	340	350	390	380	390	400	450		

• 与水泵等设备连接的管道，应有独立牢固的支架，以防止设备振动沿管道系统传播，并防止设备承受管道的荷重。

4. 管道最低点和可能积水的管段，应设放水管 (DN>20)，管道最高点应设放气管 (DN15~20)，放水排气管应引到安全地点

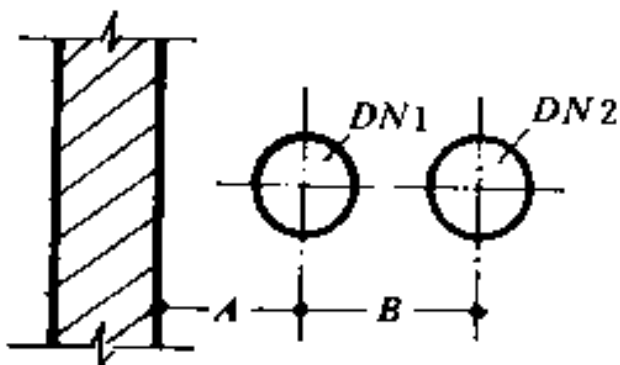


图 6.5-1 管道距墙柱距离图

5. 管道及设备保温

(1) 温度>50℃的汽水管道、管道附件和设备均需保温。

疏水管、排污管、废汽管、安全阀排汽管和取样管等可不保温，但敷设在有可能烫伤人的地方时，应采取隔热措施。

(2) 保温材料选择应因地制宜、就地取材,宜采用成型制品,保温层外的保护层应具有阻燃性能。

阀门及附件和其他需经常维修的设备和管道,宜采用便于拆装的成型保温结构。

6.锅炉房内管道表面(或保温层表面)涂色标志(可参照表6.5-13的规定)。

管道表面涂色标志

表 6.5-13

管道名称	表面涂色		管道名称	表面涂色	
	底色	环色		底色	环色
过热蒸汽管	红	黄	软化水管	绿	白
饱和蒸汽管	红		锅炉排污管	黑	
排汽、废汽管	红	黑	燃油管	深黄	
自来水管、锅炉给水管	绿		废油管	深黄	黑
热网回水管	绿	蓝	燃气管	浅黄	
凝结水管、热网供水管	绿	红	燃气放散管	浅黄	黑
盐液管、加药管	绿	黄	压缩空气管	蓝	
疏水管、排放水管	绿	黑			

6.6 运煤除灰系统

6.6.1 概述

运煤除灰系统是燃煤锅炉房的一个重要组成部分,设计时应根据锅炉燃烧设备的特点,节约能源和技术经济的合理性等综合因素进行选用。

锅炉房运煤系统,是指原煤进厂后从煤场到炉前贮煤斗的运输系统,其中包括煤场堆放、煤的转运输送、破碎、筛分、磁选和计量等过程;除灰系统是指炉渣从锅炉炉排下渣斗和烟灰从除尘装置的灰斗到锅炉房灰渣场之间的灰渣输送系统,其中包括灰渣浇湿,运输和堆放等过程。

6.6.2 进煤方式和贮煤场

1. 进煤方式

(1) 锅炉燃煤采用铁路运输时,煤场应尽可能利用地形修筑卸煤栈台或沿铁路两侧挖成卸煤沟。卸煤栈台和卸煤沟的设计应符合下列要求:

1) 铁路卸煤栈台及卸煤沟的基本型式如图6.6-1所示。

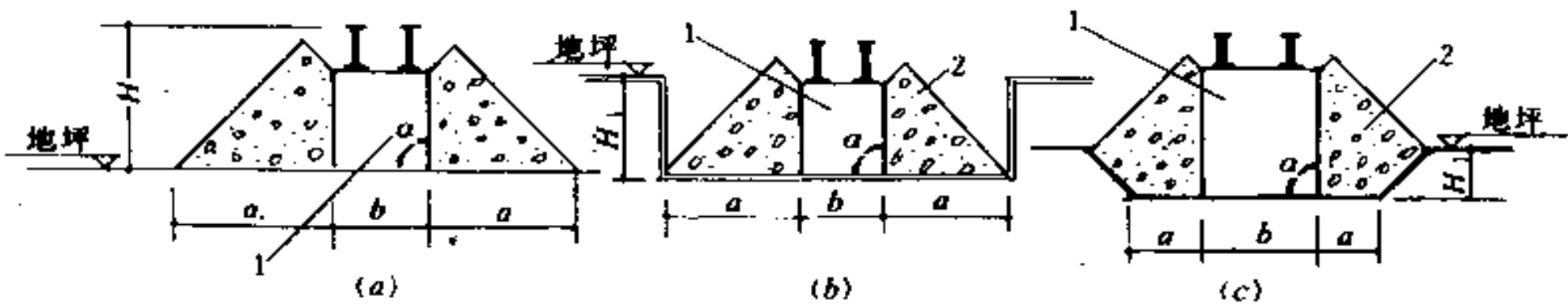


图 6.6-1 卸煤栈台、卸煤沟示意图

1—卸煤栈台; 2—卸煤沟

2) 铁路卸煤栈台的基本尺寸见表6.6 1。

铁路卸煤栈台的基本尺寸

表 6.6-1

序号	项 目	计 算 公 式
1	卸煤沟容量 V	$>1.2 \times$ 最大卸煤量
2	卸煤栈台长度 L	$L = n \cdot L_c + L_k$ m (>120 m)
3	卸煤沟宽度 a	$a = 2.5 \times$ 抓取设备宽度
4	卸煤栈台顶部宽 b	$b = 2 \sim 2.4$ m (当采用K18型自卸式底开车门时 $b > 2.2$ m)
5	卸煤栈台高度 H 卸煤沟深度 H_1	H 或 H_1 $\begin{cases} \text{一批卸煤 } 1.8\text{m} \\ \text{二批卸煤 } 2.5\text{m} \\ \text{三批卸煤 } 3.5\text{m} \end{cases}$
6	卸煤栈台侧壁倾角 α	90° (最小不宜 $<75^\circ$)

式中 n ——每次到达卸煤栈台的车辆节数, 节;

L_c ——每节车按车钩中心距计算的车辆长度, 一般取 $L_c = 13.55$ m;

L_k ——卸车机械检修占用的长度, 可参照表6.6 2选取。

卸车机械检修占用长度

表 6.6-2

卸 车 设 备	数 量 (台)	设备检修占用长度 L_k (m)
抓斗桥式起重机	2~3	20
链斗卸车机	2~3	24
门式螺旋卸车机	2~3	22
桥式螺旋卸车机	2~3	18
抓斗门式起重机	2~3	32
装卸桥 (跨度为10m)	2	30

3) 为便于开闭列车卸煤门, 在卸煤栈台两侧应设置轻便走道, 其高度宜在铁路轨面上1.0m左右。但不应妨碍抓取设备的工作。

4) 卸煤栈台和卸煤沟用块石或混凝土砌筑地坪。卸煤栈台的铺砌宽度, 应比两侧煤堆底宽1.0m。

(2) 锅炉房采用汽车运煤时, 可根据运输距离, 运煤量确定所需要的汽车台数, 将煤直接运到贮煤场。

2. 贮煤场设计

煤场设计应考虑: 当供煤短期中断时, 仍能保证锅炉正常运行; 并可利用煤场级配, 分离水份, 自然干燥。煤场的设计应贯彻节约用地的原则。

(1) 煤场设计要求

1) 煤场应布置在区域内主要建(构)筑物的常年主导风向的下风侧, 靠近锅炉房和便于运输。小型锅炉房可利用其附近空地作煤场。一般应设有围墙。

对建筑密集的地区, 煤场面积或位置受限制时, 可考虑采用高位贮煤仓, 地上或地下贮煤库等, 但应考虑运输设备的行驶条件。

2) 煤场一般宜露天布置, 但在雨水较多的地区, 或使用高水分的燃煤时, 宜设置干

煤棚。干煤棚的贮煤量，应根据当地气象条件，锅炉燃烧设备，对煤的含水量要求等因素确定，一般可按锅炉房5~7昼夜最大燃煤量来考虑。

干煤棚可为开敞式结构，棚的下弦净高一般为3~3.5m。干煤棚内一般不单独设置装卸运输设备，与煤场统一考虑。

3) 煤场与周围建筑物的防火间距应符合表6.6-3的确定。

煤场与其他建筑物的防火间距

表 6.6-3

煤场的总容量 (t)	耐 火 等 级		
	一、二级	三 级	四 级
	防 火 间 距 (m)		
100~5000	6	8	10
>5000	8	10	12

4) 煤场地坪表面应坚固平整，地面应高出地下水位0.5m以上，并应有0.005的排水坡度，煤场的四周应设置排水沟。煤场地坪可用卵石砂浆、三合土或混凝土等材料砌筑。

5) 煤场各煤堆之间要有足够的通道，其宽度应不小于3.5m。

6) 煤场四周应有环形消防车道，若煤场面积较小时，可布置成尽头式，但应设有回车道。

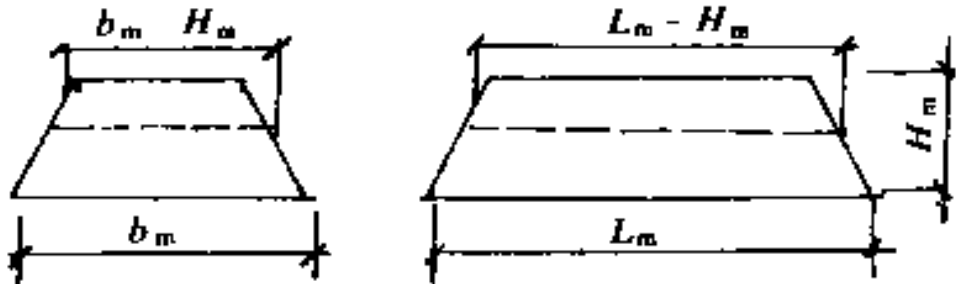
7) 耗煤量较大的锅炉房煤场入口处，应设有地衡房。

8) 煤场应设置洒水和防止煤堆自燃的消防用给水点或消火栓。

9) 煤场应装设供夜间作业和安全保卫工作用的照明装置。

(2) 贮煤场计算 (见表6.6-4)

表 6.6-4

序号	名 称	符 号	单 位	计 算 公 式 及 数 值
1	煤场贮煤量 (1) 铁路运输 (2) 船舶运输 (3) 公路运输	G	t	10~25昼夜锅炉房最大耗煤量 >30昼夜锅炉房最大耗煤量 5~10昼夜锅炉房最大耗煤量
2	煤堆高度 (1) 人工堆煤 (2) 移动式胶带输送机堆煤 (3) 推煤机堆煤 (4) 履带式推煤机 (5) 桥式抓斗起重机	H_m	m	≥ 3 ≥ 5 ≥ 7 ≥ 7 视设备而定
3	煤堆场面积	F_m	m^2	$\frac{B_M \cdot T_G \cdot M \cdot N_m}{H_m \cdot \rho_m \cdot \varphi_m}$
4	煤堆体积	V_m	m^3	 $V_m = H_m(L_m - H_m)(b_m - H_m)$

表式中 B_M ——锅炉房的平均小时最大耗煤量, t/h;
 T_G ——锅炉房每昼夜运行时间, h;
 M ——煤的贮备天数, d;
 N_m ——考虑煤堆过道占用面积的系数, 一般按1.5~1.6;
 H_m ——煤堆高度, m;
 ρ_m ——煤的堆积密度, t/m³ (见表6.6.5);
 φ_m ——煤的堆角系数, 一般取0.6~0.8;
 L_m ——煤堆底面积长度, m;
 b_m ——煤堆底面积宽度, m;

煤的堆积密度

表 6.6.5

煤 种	堆 积 密 度 ρ_m (t/m ³)
细煤粒	0.75~1.0
干无烟煤	0.80~0.95
褐煤	0.65~0.78
下块状泥煤	0.33~0.40

在做锅炉房初步设计时, 可按表6.6.6估算各种锅炉的煤灰量及堆场面积。

煤、灰渣量及堆场面积

表 6.6-6

名 称	单 位	锅 炉 容 量 D (t/h)						
		1	2	4	6	10	20	35
燃煤消耗量	t/h·台	0.175	0.35	0.70	1.07	1.65	3.30	4.95
	t/班·10天·台	14	28	56	86	132	265	397.5
灰渣量	t/h·台	0.0525	0.105	0.21	0.321	0.495	0.99	1.485
	t/班·5天·台	2.1	4.2	8.4	13	19.80	39.70	59.55
贮煤堆面积 (按一班制10天计量) m ² /台		16.7	33.4	43.4	67	104	207	310.5
灰渣场面积 (按一班制5天计算) m ² /台		2.47	4.92	7.95	12.10	18.60	37.20	55.8

注: 制表时采用以下数值

燃料低位发热量: $Q_{Dw}^y = 20.934 \text{ MJ/kg}$;

锅炉热效率: 当 $D = 1 \sim 4 \text{ t/h}$ 时, $\eta_G = 0.7$;

$D = 6 \sim 35 \text{ t/h}$ 时, $\eta_G = 0.75$;

干灰渣量: 按燃煤30%计算;

堆煤高度: 当 $D = 1 \sim 2 \text{ t/h}$ 时, $H_m = 2 \text{ m}$;

$D = 4 \sim 35 \text{ t/h}$ 时, $H_m = 3 \text{ m}$;

堆灰高度: 当 $D = 1 \sim 2 \text{ t/h}$ 时, $H_h = 2 \text{ m}$;

$D = 4 \sim 35 \text{ t/h}$ 时, $H_h = 2.5 \text{ m}$ 。

6.6.3 运煤系统的设计

1. 运煤系统的设计要求

(1) 运煤系统的设计应根据锅炉房的规模, 小时最大耗煤量以及对煤的粒度要求, 并考虑来煤情况, 地形条件及锅炉房贮煤仓贮煤量等因素进行设计。

(2) 运煤系统应尽量减少运输环节和转运次数, 力求采用机械化运煤设备, 各工序机械化程度和输送能力应尽量协调一致。所选用的运输机械设备的规格型号力求统一, 以便维修管理。小型锅炉的供煤设施尽量选用一机多用的设备, 以减少基建投资。

(3) 运煤系统宜采用单系统, 不设备用装置。

(4) 运煤系统的工作班制,一般宜采用一或二班制工作。考虑到设备的维修需要,每昼夜运煤系统的工作时间,不应大于14h。

(5) 锅炉燃煤的粒度应符合下列要求:

人工加煤锅炉	$\gt 80\text{mm}$;
抛煤机锅炉	$\gt 40\text{mm}$;
链条炉排锅炉	$\gt 50\text{mm}$ 。

当燃煤的粒度不符合上述要求时,应进行破碎。破碎机宜采用双辊式或反击式破碎机。对于耗煤量小于 2t/h 的小型锅炉房或大块煤所占比例不大时,宜采用手工或简易破碎装置。

(6) 燃煤在破碎前应进行筛选。筛选设备一般多采用固定筛或振动筛。

(7) 破碎机前应设置磁选设备。通常采用的磁选设备有悬挂式(CFL)型和滚筒式(S92)型两种。

(8) 在运煤系统中应装设必要的计量装置。计量装置应根据所选用的燃煤运输系统的特点选用,常用的有:地中衡(用于煤场计量),GL型机械式皮带秤或DZCB-2A型电子皮带秤(用于皮带机输煤系统),MBSI-3型煤耗量表或GMX-1型远传煤耗计(装在链条炉排传动轴上)。

(9) 为确保受煤斗中的煤能连续均匀地给煤,一般宜装设给料设备,给料设备宜采用机械式给料机或电磁振动给料机。

(10) 运煤系统的受煤、破碎筛分以及转折处,宜设置密封或防尘装置。传动机械的外露轴端,应加装防护罩盖。

(11) 地下受煤坑、运煤廊等,应考虑防水排水措施。

(12) 在连续机械化运煤和除灰渣系统中,各运煤机械之间或各除灰渣机械之间,应分别设置电气联锁装置,集中遥控。在控制室与运煤系统各部份(如运煤廊、破碎间、受煤斗间等处),应装设音响联络信号。

单轨抓斗运煤系统等间歇式运煤装置,应设终端限位开关及事故停车装置,以保证运煤系统安全运行。

2. 运煤系统运煤量的计算

运煤系统运煤量 Q_m 可按下式计算

$$Q_m = \frac{24 \cdot B_{mc} \cdot K_G \cdot m_G}{t_{mn}} \quad \text{t/h} \quad (6.6-1)$$

式中 B_{mc} ——锅炉房的平均耗煤量 t/h ;

K_G ——锅炉房发展系数;

m_G ——运输不平衡系数,一般采用 $m_G=1.2$;

t_{mn} ——运煤系统每天工作时间, h。一班制运行时 $\gt 7\text{h}$; 二班制运行时 $\gt 14\text{h}$;三班制运行时 $\gt 20\text{h}$ 。

3. 运煤系统的选择

(1) 运煤系统的类型

目前常采用的各种类型运煤系统的特性,优、缺点和适用范围列于表6.6-7,供设计选用参考。

(2) 运煤系统的选择

锅炉房运煤系统的选择,应根据锅炉房规模,耗煤量大小,地形条件等因素,经技术经济比较,综合考虑确定。各种类型的锅炉运煤方式列于表6.6-8供锅炉房运煤系统设计时参考。

常用运煤系统表

表 6.6-7

运煤系统	作业特性	优点	缺点	适用范围
1.埋刮板式输送机运煤系统	<p>(1) 能连续输送煤,能做水平和垂直运输</p> <p>(2) 运煤量: 10~50 t/h</p> <p>(3) 最大水平输送长度可达100m</p> <p>(4) 垂直运输高度: 20~30m</p> <p>(5) 正常运转时,作业率不低于6000h</p>	<p>(1) 设备结构简单、重量轻、体积小,能多点装料和卸料</p> <p>(2) 总体布置紧凑灵活,占地面积小,厂房建筑高度低,施工周期短,投资少</p> <p>(3) 密封性好,环境卫生,操作条件好</p>	<p>(1) 对煤的粒度、湿度适应性差,不允许有金属杂物或其他杂物,煤的粒度大时,料卸不净,增加返料量</p> <p>(2) 设备运传噪声大,维修工作量大,事故检修时间长</p> <p>(3) 对设备材质及制造安装精度要求较高</p> <p>(4) 功率消耗较斗式提升机大,不便设置计量装置</p>	<p>(1) 适用于2~3台6t/h~10t/h的中小型锅炉房</p> <p>(2) 适于输送表面含水量<10%的煤</p>
2.多斗式提升机运煤系统	<p>(1) 只能垂直连续提升运煤,多台锅炉选用时,需配以带式输送机</p> <p>(2) 运煤量: 3.1~66t/h</p> <p>(3) 提升高度: 4~30m</p> <p>(4) 一班运行时,有效工作时间一般不大于5h,三班运行时,有效工作时间,不大于10h</p>	<p>(1) 设备运量范围大,设备布置紧凑,占地面积小</p> <p>(2) 机壳密封,可露天布置,土建工程量小,施工周期短,土建投资省</p> <p>(3) 单位运量功率消耗小,运行费用低</p>	<p>(1) 对过载敏感大,料斗和牵引构件较易损坏</p> <p>(2) 对煤的粒度及湿度适应性较差,煤的湿度大时,粘斗现象严重,大块煤和夹杂物可能引起设备事故</p> <p>(3) 维护检修较复杂,金属耗量大,与带式输送机比较,设备运行不够平稳,可靠性差,事故较多</p>	<p>(1) 适用于1~3台6t/h, 10~20t/h的中型锅炉房</p> <p>(2) 适于输送表面含水量<8%的煤</p>
3.带式输送机运煤系统	<p>可做水平运输,并可按一定倾斜角度将物料向上提升,倾斜角度一般为15~18°,高倾角花纹带式输送机,其倾斜角可达28°~35°</p>	<p>(1) 机械化程度高,运行平稳,可靠,运输连续均匀,生产率高,运行费用低,便于控制</p> <p>(2) 对煤的粒度、湿度适应性强</p> <p>(3) 便于设置连续计量和磁选设备</p>	<p>占地面积大,土建工程量和投资大</p>	<p>适用于3台以上的10~20t/h大中型锅炉房</p>
4.单斗滑轨输送机运煤系统	<p>简易间歇运煤设备,由卷扬机、煤斗、滑轨等组成,可垂直提升,也可做水平运行,单斗容积一般为0.5~1.0m³,运行速度为0.25~0.3m/s</p>	<p>(1) 设备结构简单,系统紧凑,运煤不需中途装卸,不设中间料仓时,可降低锅炉房局部标高</p> <p>(2) 可实现较高的自动化程度,但电控系统较繁杂,维护管理水平要求较高</p> <p>(3) 对煤的粒度、湿度适应性好</p>	<p>(1) 导轨加工制作要求较高,如不精确将增加运行阻力,甚至卡住料斗,拉断钢丝绳,发生掉车事故</p> <p>(2) 钢丝绳磨损较快,寿命低,更换工作量大</p> <p>(3) 系统有倾斜提升段时,占地面积较大</p>	<p>适用于1~2台6t/h以下的锅炉房</p>

续表

运煤系统	作业特性	优点	缺点	适用范围
5.单轨抓斗起重机运煤系统	间歇作业,可完成抓取提升、水平运输和卸煤等多种作业	(1)设备为通用设备产品系统,加工件少 (2)设备布置简单紧凑,管理人员少,对煤的粒度、湿度适应性好	(1)煤仓所需净空高度大 (2)设备维修工作量大,运行中易产生摆动,安全性差	适用于2~3台10t/h锅炉房
6.电动葫芦吊煤罐运煤系统	简易间歇式运煤设备,能担负水平和垂直运输作业。提升高度为6~8m,提升速度为8m/s;水平移动速度为20m/s;吊煤罐容积为0.4~1.0m ³	(1)设备及系统简单,电动葫芦为通用机电产品,其他设备及构件均可现场制作,耗电量少 (2)占地面积少,投资省,维护简便	(1)工作时晃动较大,安全性差,吊煤罐与锅炉煤斗就位不易定位 (2)锅炉间卫生条件较差	适用于2~4台4t/h以下的快装锅炉房
7.摇臂翻斗上煤装置	间歇作业,燃煤由煤场用手推车送入,倒入摇臂翻斗,然后由摇臂翻斗倒入锅炉煤斗 翻斗容积:90、100、120、135kg等几种规格	(1)设备结构简单轻巧,重量轻,制造、维修、操作均较方便 (2)能耗低,运行平稳,土建工程量小,投资省,施工周期短 (3)设备带有专用微调限位	当锅炉台数多时,将造成供煤点分散,地面运输频繁,锅炉间卫生条件较差	适用于1~2台1~4t/h快装锅炉

锅炉房运煤系统推荐表

表 6.6.8

锅炉房规模	额定耗煤量(t/h)	推荐采用的运煤系统
单台蒸发量<4t/h的蒸汽锅炉或热水锅炉1~3台	1~2	手推车+摇臂翻斗上煤机 电动葫芦吊煤罐+手推车
单台蒸发量<4t/h的蒸汽锅炉或热水锅炉3~4台	2~3	埋刮板输送机 电动葫芦吊煤罐+手推车
6t/h锅炉2~3台 10t/h锅炉1~2台 20t/h锅炉1~2台	3~6	单轨抓斗起重机、埋刮板输送机 多斗式提升机+带式输送机
6t/h 4~5台	<6	埋刮板输送机、单轨抓斗输送机 多斗式提升机+带式输送机
10t/h锅炉2~4台	>6	固定式带式输送机
20t/h锅炉2~4台	>6	固定式带式输送机

(3) 采用埋刮板输送机运煤系统时,应符合下列要求:

1) 在埋刮板输送机前,应设置电磁分离器。

2) 对大块煤或含非磁性杂物的煤,应采用破碎比大,出料粒度小而均匀的锤式或反击式破碎机,不宜采用颚式或双齿辊式破碎机。一般粒度不太大的碎煤,应在受煤斗上设置方孔金属篦子,筛出个别大块煤和其他大块杂物。

3) 埋刮板输送机的维修工作量较大,炉前煤斗的容积应适当加大,煤斗贮煤量一般应大于10~12h锅炉的耗煤量。

4) 在寒冷地区,埋刮板输送机露天设置部份,应采取防冻措施。

5) 当受煤斗与埋刮板输送机进料口直接相接时,在受煤斗卸料口处应装设插板闸门,以便于设备检修。

6) 埋刮板输送机的头部,宜布置在煤斗上面,使返料能落入煤斗中。如不能布置在煤斗上部时,应在埋刮板输送机头部卸料口下面接一溜煤管,使返料溜到容器或小车内运走。在中部每个煤斗上应设两个以上卸料口,以便减少头部的返料量。

7) 在多雨地区或燃煤含水量较高时,应考虑设置干燥棚。

8) 当锅炉房内安装的锅炉台数较多(超过三台),炉顶煤斗上部水平距离很长时,宜采用CMC型和SMS型埋刮板输送机组合布置,以便保证设备安全可靠运行。

(4) 采用胶带式输送机运煤系统时,应符合下列要求:

1) 胶带式输送机的带宽,宜采用 $\geq 500\text{mm}$,不应小于 400mm 。

2) 胶带式输送机倾斜向上输送物料时,不同粒度的煤允许的最大倾斜角为:

块煤 18°

原煤(经筛选或破碎的煤) 20°

粉煤或湿煤渣 21°

3) 皮带拉紧装置的拉紧行程,应按皮带长度的 $1\sim 1.5\%$ 考虑(当实际使用张力为受张能力的 100% 时,拉紧行程为输送机全长的 1.5% ;当实际使用能力 $<$ 受张能力的 75% 时,拉紧行程为输送机全长的 1%)。当皮带机长度大于 80m 时,宜选用重锤式拉紧装置。

4) 输送带一般宜选用普通橡胶带,其帆布径向强度不应小于 $560\text{N}/\text{cm}^2\cdot\text{层}$ 。当带宽 $B=400\sim 500\text{mm}$ 时,胶带层数 $Z_n\geq 3\sim 5$ 层,其厚度 $\delta=3+1.5\text{mm}$ 。

5) 胶带输送机托辊布置,应符合下列要求:

上托辊间距一般为 $1000\sim 1200\text{mm}$;

下托辊间距一般为 $2400\sim 3000\text{mm}$;

下托辊中心轴线距地面应不小于 300mm ;

定心托辊用于胶带输送机长度 $>40\text{m}$ 时,其间距为 12m 。

6) 胶带输送机的布置,在北方寒冷地区宜采用室内布置;在南方地区,可采用半开敞式布置。半开敞式输送机通廊两侧墙高度不应小于 1m 。

7) 胶带输送机通廊设计,应符合下列要求:

a. 通廊尺寸:

一条胶带输送机通廊尺寸见图6.6-2及表6.6-9所列数值;

两条胶带输送机通廊尺寸见图6.6-3及表6.6-10所列数值;

装有电动卸料车的胶带输送机见图6.6-4及表6.6-11所列数值。

b. 胶带输送机的倾斜角在 6° 以上时,通廊应设有防滑措施;大于 12° 时应设置踏步。

c. 输送机通廊内每隔 50m 左右设置一中间过桥。

d. 输送机通廊出地面处应设置出入口。

e. 位于地下通廊的带式输送机,机架底部应有基础台,一般应高出地坪 $50\sim 100\text{mm}$ 。

f. 为确保操作安全或及时消除溜槽堵塞,宜在输送机头部溜槽的侧面设置物料堵塞自动控制停车装置。

(5) 采用多斗式提升机运煤系统时应符合下列要求:

1) 采用多斗提升机运煤系统时,应设置连续给料设备。

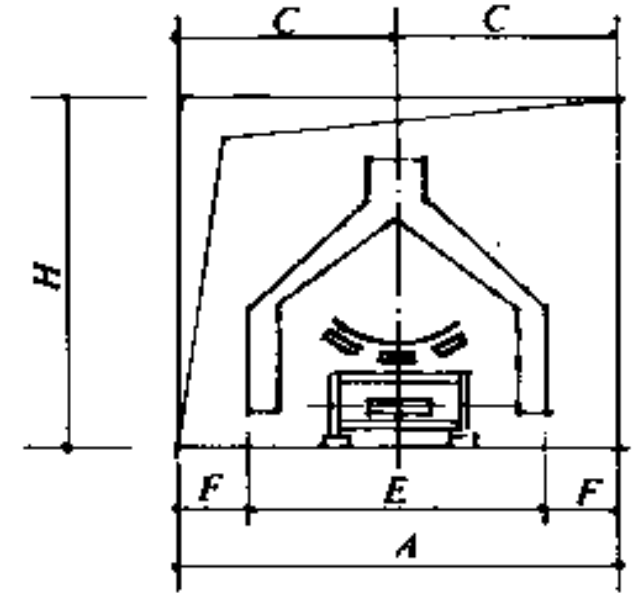
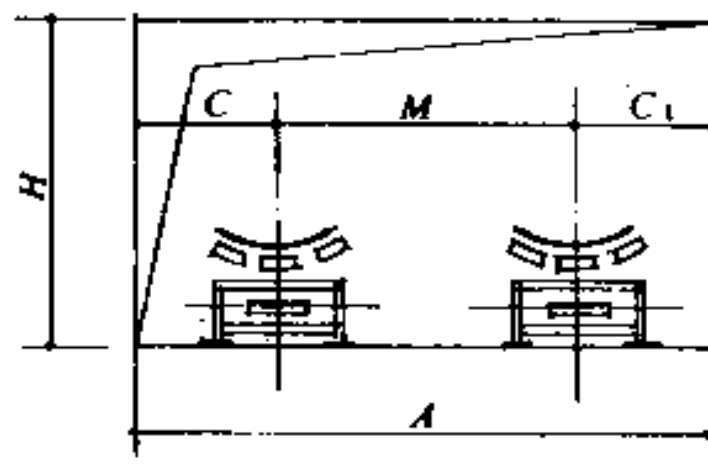
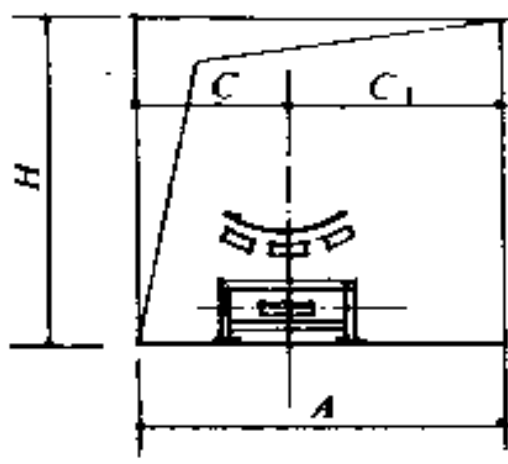


图 6.6-2 一条胶带输送机通廊 图 6.6-3 两条胶带输送机通廊

图 6.6-4 装有电动卸料车的胶带输送机通廊

一条胶带输送机的通廊尺寸 (mm)

表 6.6-9

皮带宽度 (mm)	南方地区 (无采暖)			北方地区 (有采暖)		
	A	C ₁	C	A	C ₁	C
500	2500	1500	1000	2500	1500	1000
					1300	1200
650	2500	1400	1100	2500	1500	1000
					1300	1200
800	3000	1750	1250	3000	1700	1300
					1500	1500
1000	3000	1700	1300	3000	1700	1300
					1500	1500

注: 通廊全部在地下时, 表中双重数字采用分子 (暖气片在宽边)。如有露出地面部分或地上通廊, 则对于东西向通廊, 宽边 (操作侧) 在北时, 也采用双重数字的分子 (暖气片在宽边); 宽边在南时, 采用双重数字的分母 (暖气片在窄边)。

两条胶带输送机的通廊尺寸 (mm)

表 6.6-10

皮带宽度 (mm)	南方地区 (无采暖)				北方地区 (有采暖)			
	A	M	C	C ₁	A	M	C	C ₁
500+500	4000	1900	1050	1050	4500	2100	1200	1200
500+650	4000	1850	1050	1100	4500	2150	1150	1200
650+650	4500	2300	1100	1100	5000	2300	1350	1350
650+800	4500	2200	1100	1200	5000	2450	1200	1350
800+800	5000	2500	1250	1250	5500	2700	1400	1400

装有电动卸料车的输送机通廊尺寸 (mm)

表 6.6-11

皮带宽度 (mm)	A	C	H	E	F
500	4000	2000	4000	1924	1038
650	4300	2150	4000	2250	1025
800	4500	2250	4000	2350	1075
1000	5000	2500	4500	2800	1100

2) 设备露天布置时, 传动部份检修平台宜设在房间内, 提升机顶部最高处应设置工字钢梁或吊环, 以便于检修。在北方寒冷地区, 机身应设置简易采暖措施。

3) 在斗式提升机的中部, 应根据检修工作的需要设置检修平台。

4) 操作人员经常到的地方, 应设置事故开关。与斗式提升机相连的给料设备, 应设置电气联锁装置。

(6) 采用单轨抓斗起重机运煤系统时应符合下列要求:

1) 单轨抓斗起重机为中级工作制 (JC 25%), 为确保生产, 选择起重机时, 应考虑有足够的富裕能力。

2) 炉前煤仓间楼板上的单轨抓斗起重机的抓斗升降孔处, 应装设栏杆及活动盖板, 以保证安全。煤仓间应设起重机检修平台。

4. 运煤设备的计算

(1) 带式输送机

带式输送机计算见表 6.6 12。

带式输送机简易计算表

表 6.6 12

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式
1	输送带宽度	B	m	$B = \sqrt{\frac{Q_m}{R \cdot \rho_m \cdot v \cdot C \cdot \zeta}}$
2	输送带全长	L_0	m	$L_0 = 2L + \frac{\pi}{2} (D_1 + D_2) + A \cdot C_1$
3	带式输送机功率: (1) 传动滚筒轴功率 (2) 电动机功率	N_0 N	kw kw	$N_0 = (R_1 L_h v + R_2 Q_m L_h \pm 0.00273 Q_m H) R_3 R_4$ $+ \sum R_5 v + R_6 \rho_m$ $N = K' \frac{N_0}{\eta}$

带式输送机简易计算表中公式符号意义:

Q_m ——输送量, t/h;

v ——输送带速度, 锅炉房一般采用 0.8~1.25 m/s。较长的水平输送机应选取较高的带速。倾角大、距离短则带速应愈低;

ρ_m ——物料堆积密度 (见表 6.6 13), t/m³;

物料堆积密度及堆积角

表 6.6 13

物 料 名 称	ρ_m (t/m ³)	φ
燃 煤	见表 6.6-5	30°
煤 渣	0.6~0.7	35°

R ——断面系数与堆积角 φ 有关 (见表 6.6 14);

C ——皮带倾角系数 (见表 6.6-15);

ζ ——速度系数 (见表 6.6-16);

L ——输送机头、尾滚筒中间展开长度, m;

D_1, D_2 ——头、尾滚筒直径, m;

C_1 ——输送机胶带接缝数;

断面系数 R

表 6.6-14

B	φ R	15°		20°		25°		30°		35°	
		槽型	平型	槽型	平型	槽型	平型	槽型	平型	槽型	平型
500		300	105	320	130	355	170	390	210	420	250
650		300	105	320	130	355	170	390	210	420	250
800		335	115	360	145	400	190	435	230	470	270

倾角系数 C

表 6.6-15

皮带倾斜角 β	<6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	25°
C	1.0	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.85	0.81	0.76	0.74	0.72

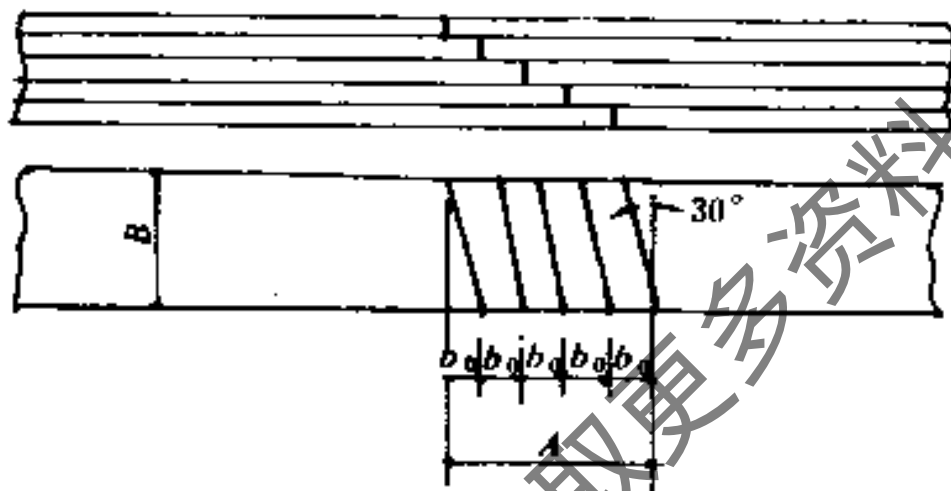
速度系数 ζ

表 6.6-16

v (m/s)	<1.6	<2.5	<3.15	<4.0
ζ	1.0	0.98~0.95	0.94~0.90	0.84~0.80

A ——输送带接头长度, m (见图6.6-5), 当采用机械接头时, $A=0$; 采用硫化接头时, $A=(Z_0-1)b_0+B \cdot \tan 30^\circ$
 Z_0 ——输送带芯布层数 (见表6.6-17);

表 6.6-17



输送带宽度 B	500	650	800
输送带层数 Z_0 :			
硫化接头	4	5	6
机械接头	5	6	7

图 6.6-5 输送带接头示意图

b_0 ——硫化接头阶梯长度, 一般 $b_0=0.15\text{m}$;
 L_h ——输送机水平投影长度, m;

电动卸料车所增加的输送带长度, 见表6.6-18。

电动卸料车增加的输送带长度表

表 6.6-18

带 宽 B (mm)	增加的带长 (m)
500	3.0
650	3.2
800	3.5

垂直拉紧装置所增加的输送带长度, 由输送机的安装图来确定。

H_s ——输送机垂直提升高度, m。采用电动卸料车时, 应加上电动卸料车提升高度 H_s' (见图6.6-6和表6.6-19);

电动卸料车提升高度 H_2

表 6.6-19

带宽 B (mm)	500	650	800
H_2 (m)	1.7	1.8	1.96

R_1 —— 输送带及托辊传动部分运行功率系数与托辊阻力系数有关 (见表 6.6-20 及表 6.6-21);

R_2 —— 物料水平运行功率系数与托辊阻力系数有关 (见表 6.6-22);

R_3 —— 尾部改向滚筒功率系数与输送机水平投影长度 L_h 和倾斜角 β 有关 (见表 6.6-23);

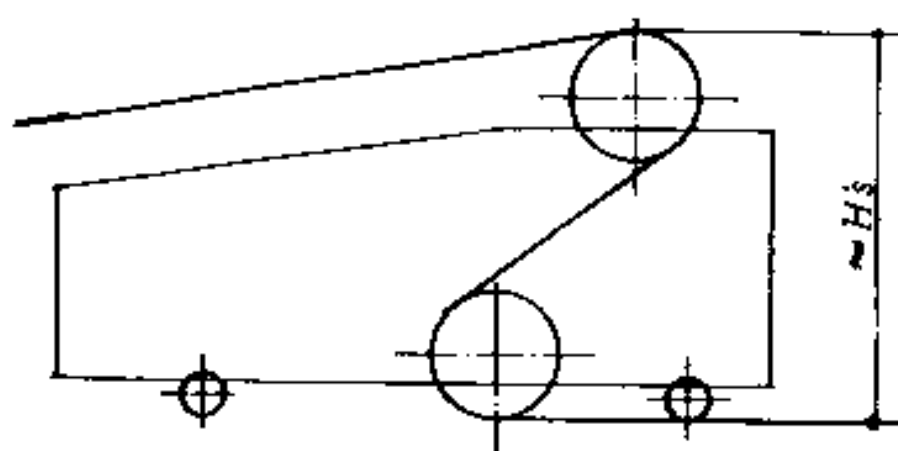


图 6.6-6 电动卸料车示意图

托辊阻力系数 ω' 、 ω''

表 6.6-20

工作条件	柱型托辊阻力系数 ω'		平型托辊阻力系数 ω''	
	滚动轴承	含油轴承	滚动轴承	含油轴承
清洁、干燥	0.02	0.04	0.018	0.034
少量尘埃、正常湿度	0.03	0.05	0.025	0.040
少量尘埃、湿度大	0.04	0.06	0.035	0.050

托辊传动部分运行功率系数 R_1

表 6.6-21

ω' (ω'')	B (mm)		
	500	650	800
	R_1		
0.020	0.0067	0.0082	0.0110
0.025	0.0084	0.0103	0.0137
0.030	0.0100	0.0124	0.0165
0.035	0.0117	0.0144	0.0192
0.040	0.0134	0.0165	0.0220

物料水平运行功率系数 R_2

表 6.6-22

托辊阻力系数 ω' (ω'')	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
R_2	5.45×10^{-5}	8.17×10^{-5}	10.89×10^{-5}	13.62×10^{-5}	16.34×10^{-5}

尾部改向滚筒功率系数 R_3

表 6.6-23

输送机倾斜角 β	输送机水平投影长度 L_h (m)						
	5~10	10~15	15~30	30~45	45~60	60~100	>100
	R_3						
0°	1.8~3.0	1.4~2.0	1.3~1.7	1.2~1.4	1.1~1.2	1.06~1.16	1.04~1.10
3°	1.5~1.6	1.2~1.3	1.15~1.20	1.05~1.10	1.05~1.07	1.03~1.05	1.02~1.03
6°	1.3~1.4	1.14~1.18	1.10~1.12	1.06	1.04	1.03	1.02
12°	1.19	1.10	1.06	1.03	1.02	1.02	1.01
16°	1.15	1.08	1.05	1.03	1.02	1.01	1.01
20°	1.12	1.06	1.04	1.02	1.01	1.01	1.01

R_4 ——中部改向滚筒功率系数，见表6.6-24。当中部有两个或两个以上改向滚筒时，即为各改向滚筒功率系数的乘积；

中部改向滚筒阻力系数 R_4

表 6.6-24

改向滚筒名称	增益轮	垂直拉紧装置 (包括三个改向滚筒)	电动卸料车	凸弧段
R_4				
光面传动滚筒	1.014	1.10	1.16	1.03
胶面传动滚筒	1.005	1.03	1.11	1.02

R_5 ——犁式卸料器、清扫器、导料栏板的功率系数，见表6.6-25；

R_6 ——物料加速功率系数，见表6.6-26；

\pm ——当物料向上输送时取“+”值、向下输送时取“-”值；

K' ——功率安全系数和满载起动系数，对Y型电动机 $K'=1.0$ ；对功率5.5kW的其他型号电机取 $K'=1.4$ ；

η ——总传动效率，对光面传动滚筒 $\eta=0.88$ ；对胶面传动滚筒 $\eta=0.9$ 。

犁式卸料器等功率系数 R_5 表 6.6-25

B (mm)	R_5		
	500	650	800
犁式卸料器	0.30	0.40	0.50
弹簧清扫器	0.75	0.75	0.75
空段清扫器	0.10	0.13	0.16
导料栏板	0.37	0.67	1.00

物料加速功率系数 R_6 表 6.6-26

带速 v (m/s)	皮带宽度 (mm)		
	500	650	800
	R_6		
1.25	0.03	0.05	0.08
1.60	0.07	0.11	0.16
2.00	0.13	0.22	0.32
2.50	0.25	0.42	0.62
3.15	—	—	1.25

根据输送量计算的输送带宽度 B 值，还需要用物料块度校核。不同带宽推荐输送的物料最大块度见表6.6-27。如果带宽不能满足块度要求，可将带宽提高一级。不能单纯考虑块度而将带宽提高二、三级或以上，以免造成浪费。

不同带宽推荐输送物料最大块度

表 6.6-27

B (mm)	块度 (mm)		
	500	650	800
经筛分	100	130	180
末筛分①	150	200	300

① 未经筛分的物料中最大块度不超过15%。

输送散状物料时，各种带宽的输送量见表6.6 28。

各种带宽输送量

表 6.6-28

带型及输送量 带速 v (m/s)		输送量 Q_m (t/h)					
		平 型			槽 型		
带宽 B (mm)		0.8	1.0	1.25	0.8	1.0	1.25
500		42	52	65	92	115	143
650		71	88	110	155	194	242
800		107	134	167	235	294	366

注：表中的输送量 Q_m 值，是在 $\rho_m = 1.0t/m^3$, $C = 1.0$, $\phi = 30^\circ$ 时的计算值， ρ_m 、 C 值改变时， Q_m 值应按比值增加。

(2) 斗式提升机

斗式提升机计算见表6.6-29。

斗式提升机综合计算表

表 6.6-29

序号	项 目	符号	单位	计算公式或数值	
1	料斗容积	i_c	l	由选定的提升机样本查得	
2	料斗间距	a_c	m		
3	物料密度	ρ_m	t/m ³	由表6.6-5查得	
4	物料运行速度 (即提升速度)	v_0	m/s	提升机类型	v_0 (m/s)
				HL	1.25
				PL	0.4~0.5
	D	1~1.25			
5	充满系数	Ψ		由表6.6-30查得	
6	斗式提升机的输送能力	Q_m	t/h	$Q_m = 3.6 \frac{i_c}{a_c} v_0 \rho_m \Psi$	
7	斗式提升机提升高度	H_T	m	根据设计需要选定	
8	系 数	K_1, K_2		由表6.6-31查得	
9	驱动滚筒 (链轮) 轴功率	N_0	kW	$N_0 = \frac{Q_m \cdot H_T (1.15 + K_1 \cdot K_2 \cdot v_0)}{367}$	
10	电动机功率备用系数	K'		$H_T < 10m$, $K' = 1.45$ $10m < H_T < 20m$, $K' = 1.25$ $H_T > 20m$, $K' = 1.15$	
11	传动装置总效率	η		$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2$ LQ型减速器 $\eta_1 = 0.94$ 三角皮带传动效率 $\eta_2 = 0.95$	
12	斗式提升机电机功率	N	kW	$N = \frac{N_0}{\eta} \cdot K'$	

充 满 系 数 Ψ

表 6.6 30

物 料 特 性	充 满 系 数 Ψ	物 料 特 性	充 满 系 数 Ψ
粉状物料	0.75~0.95	50~100mm中块物料	0.5~0.70
20mm以下的粒状物料	0.70~0.90	>100mm大块物料	0.40~0.60
20~50mm的小块物料	0.60~0.80	潮湿的粉状和粒状物料	0.6~0.70

K_1, K_2 值

表 6.6-31

系数	生产能力 Q_m (t/h)	带 式		单 链 斗		双 链 斗	
		深斗或浅斗	三 角 式	深斗或浅斗	三 角 式	深斗或浅斗	三 角 式
K_1	<10	0.6	—	1.10	—	—	—
	10~25	0.5	—	0.80	1.10	1.20	—
	25~50	0.45	0.60	0.60	0.83	1.00	—
	50~100	0.40	0.55	0.50	0.70	0.80	1.10
	>100	0.30	0.50	—	—	0.60	0.90
K_2	—	1.60	1.10	1.30	0.80	1.30	0.80

(3) 埋刮板式输送机

埋刮板式输送机计算见表6.6-32。

埋刮板式输送机综合计算表

表 6.6-32

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值
1	机槽内壁宽度	b	m	CMS型、ZMS型为垂直段机槽宽度，由样本查得
2	机槽内壁高度	h	m	垂直承载段机槽高度由样本查得
3	物料密度	ρ_m	t/m ³	由表6.6-5查得
4	刮板链条速度	v_m	m/s	输送煤粉 $v_m = 0.16 \sim 0.25$ 输送碎煤或炉渣 $v_m = 0.20 \sim 0.32$
5	输送效率： (1) 垂直输送碎煤时 (2) 水平布置 ($\alpha = 0^\circ$) (3) 倾斜布置 ($\alpha < 15^\circ$)	η_m		$\eta_m = 0.7 \sim 0.8$ 由表6.6-34及表6.6-33查得 $\eta' = \eta_m \cdot K_1$ 倾斜系数 K_1 由表6.6-35查得
6	埋刮板输送能力	Q_m	t/h	$Q_m = 3600 \cdot b \cdot h \cdot \rho_m \cdot v_m \cdot \eta_m$ 计算结果 $Q_m > Q_{max}$ (锅炉房最大燃煤量)
7	电动机功率计算： (1) 功率备用系数	K'		$K' = 1.1 \sim 1.3$
	(2) 刮板链条绕入头轮的张力	T_1	kg	由公式 (6.6-2)、(6.6-4) 计算得出
	(3) 刮板链条绕出头轮时的张力	T_2	kg	由公式 (6.6-3) 计算得出
	(4) 传动效率计算 减速器的传动效率 开式链传动效率 传动效率	η_1 η_2 η_c		$\eta_1 = 0.92 \sim 0.94$ $\eta_2 = 0.85 \sim 0.90$ $\eta_c = \eta_1 \cdot \eta_2$
	(5) 电动机功率	N	kW	$N = K' \cdot \frac{(T_1 - T_2)v_m}{102 \eta_c}$

SMS型埋刮板输送机输送效率 η_m

表 6.6-33

型 号	SMS16	SMS20	SMS25	SMS 32	SMS40
输送效率 η_m	0.75~0.85			0.65~0.75	

CMS型和ZMS型埋刮板输送机输送效率 η_m 表 6.6-34

物料种类	输送效率 η_m
煤粉	0.55~0.70
碎煤、炉渣	0.65~0.80

倾斜系数 K_1 表 6.6-35

倾斜角 α	0°~2.5°	2.5°~5°	5°~7.5°
倾斜系数 K_1	1.00	0.95	0.90
倾斜角 α	7.5°~10°	10°~12.5°	12.5°~15°
倾斜系数 K_1	0.85	0.80	0.70

MZ型输送机刮板链条的张力计算 (内侧刮板, $\alpha = 90^\circ$) (见图6.6-7)。

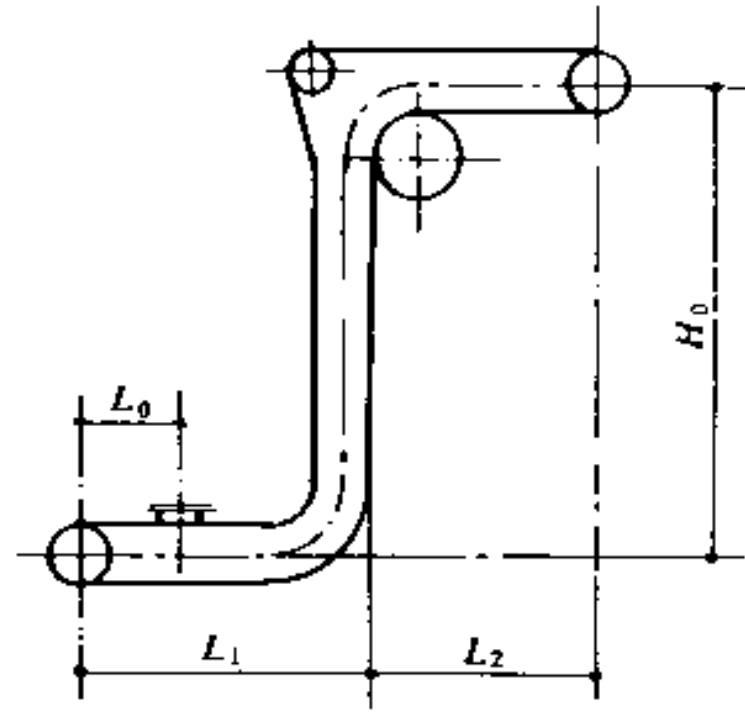


图 6.6-7 MZ型输送机链条张力计算图

1) $H_0 > 0.6L_2$ 时:

$$T_1 = 10G (2.6L_1 + 0.5L_2 + 1.1H_0) + 10G_v \left\{ \left[2.4(1.1L_0 + L_1) + L_2 \right] \left[f_1 + f_a \left(\frac{nh}{b} \right) \right] + 1.1H_0k \right\} \text{ N} \quad (6.6-2)$$

$$T_2 = 10G (H_0 - 0.6L_2) \text{ N} \quad (6.6-3)$$

2) $H_0 < L_2$ 时:

$$T_1 = 10G (2.6L_1 + 2L_2 - 1.5H_0) + 10G_v \left\{ \left[2.4(1.1L_0 + L_1) + L_2 \right] \left[f_1 + f_a \left(\frac{nh}{b} \right) \right] + 1.1H_0k \right\} \text{ N} \quad (6.6-4)$$

$$T_2 = 0$$

式中 G ——刮板链条每m重量, 见表6.6-36;

刮板链条每m重量

表 6.6-36

型号	MZ16	MZ20	MZ25
刮板链条每m重量 (kg/m)	12.7	15.1	18.4

$$G_v \text{——物料每m的重量, kg/m; } G_v = \frac{Q_m}{3.6v_m} \quad (6.6-5)$$

b ——机槽内壁宽度, m;

H_0 ——输送机高度, m;

h ——物料层高度, m;

f_1 ——物料的内摩擦系数, $f_1 = \text{tg}\phi$;

ϕ ——物料的堆积角, 即物料的内摩擦角, 度;

f_a ——物料的外摩擦系数, 即物料与壳体的摩擦系数, $f_a = \text{tg}\phi_1$;

ϕ_1 ——物料的外摩擦角, 度;

(f_1, f_a, ϕ, ϕ_1 等数值可由表6.6-55查得)

$$n \text{——物料对机槽两侧的侧压系数； } n = \frac{x}{1 + \sin \phi} \quad (6.6-6)$$

x ——动力系数；

当 $v_m \leq 0.32 \text{ m/s}$ 时, $x = 1.0$; $v_m > 0.32 \text{ m/s}$ 时, $x = 1.5$;

L_0 ——加料口中心至尾轮中心距离, m;

L_1, L_2 ——见图6.6-7所示

k ——物料对机槽四壁的侧压系数, 其值见表6.6-37。

表 6.6-37

机 型	ZMS16	ZMS20	ZMS25	
k	粉尘状物料	2.8	3.1	3.6
	其他物料	2.2	2.4	2.8

(4) 单斗滑轨输送机

单斗滑轨输送机计算见表6.6-38。

单斗滑轨输送机计算表

表 6.6-38

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值
1	料斗容积	V	m^3	选定
2	煤的堆积密度	ρ_m	t/m^3	由表6.6-5查得
3	料斗充满系数	K_n		$K_n = 0.85 \sim 0.9$
4	垂直提升高度	H_z	m	根据设计确定
5	最大水平运距	L_{\max}	m	同上
6	料车运行速度	v_L	m/s	$v_L = 1.0 \sim 1.5$
7	速度损失系数	η_s		$\eta_s = 0.9$
8	料斗换向时间	T_1	s	$T_1 = 10\text{s}$
9	每一循环时间	T_n	s	$T_n = \frac{2H_z + L_{\max}}{v_L \cdot \eta_s} + T_1$
10	燃煤输送量	Q_m	t/h	$Q_m = \frac{3600V \cdot \rho_m \cdot K_n}{T_n}$
11	电动机功率计算			
	(1) 功率备用系数	K'		$K' = 1.1 \sim 1.2$
	(2) 摩擦阻力系数	K_1		$K_1 = 1.25 \sim 1.35$
	(3) 煤的重量	G_m	kg	$G_m = V \cdot \rho_m \cdot K_n$
	(4) 料斗的重量	G_0	kg	
	(5) 卷扬机总效率	η_j		$\eta_j = 0.85 \sim 0.95$
	(6) 电动机功率	N	kW	$N = \frac{K' \cdot K_1 (G_m + G_0) v_L}{102 \eta_j}$

(5) 电动葫芦生产率计算见表6.6-39。

(6) 人工运煤手推车运输量计算见表6.6-40。

5. 运煤系统附属设备的选择计算

(1) 筛分设备

1) 固定筛

电动葫芦生产率计算表

表 6.6-39

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值
1	吊煤罐容积	V	m^3	设计选定
2	煤的堆积密度	ρ_m	t/m^3	见表6.6-5
3	吊煤罐挂装时间	t_1	min	$t_1 = 1.0 \sim 1.5$
4	卸罐及倾倒时间	t_2	min	$t_2 = 1.0 \sim 1.5$
5	提升高度	H_x	m	根据设计确定
6	提升速度	v_1	m/min	一般取 $v_1 = 8$
7	水平移动距离	L_s	m	根据设计确定
8	水平移动速度	v_2	m/min	一般取 $v_2 = 20$
9	电动葫芦生产率	Q_m	t/h	$Q_m = \frac{60 \cdot V \cdot \rho_m}{1.2(t_1 + t_2 + \frac{2H_x}{v_1} + \frac{2L_s}{v_2})}$

人工运煤手推车运输量计算表

表 6.6-40

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值												
1	每辆斗车装载量	q_n	t	设计选定												
2	有效时间利用系数	p_n		一般取 $p_n = 0.6$												
3	运输距离	L_n	m	设计确定												
4	重车运行速度	v_1	m/min	$v_1 = 50 \sim 54$												
5	空车运行速度	v_2	m/min	$v_2 = 60 \sim 72$												
6	装车时间	t_1	min	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">装车时间 t_1</th> </tr> <tr> <th>装车人数</th> <th>0.6~0.8m³斗车</th> <th>1m³斗车</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2人</td> <td>3min</td> <td>5min</td> </tr> <tr> <td>3人</td> <td>1.5min</td> <td>3min</td> </tr> </tbody> </table>	装车时间 t_1			装车人数	0.6~0.8m ³ 斗车	1m ³ 斗车	2人	3min	5min	3人	1.5min	3min
装车时间 t_1																
装车人数	0.6~0.8m ³ 斗车	1m ³ 斗车														
2人	3min	5min														
3人	1.5min	3min														
7	停车时间	t_2	min	$t_2 = 0.5$												
8	卸车时间	t_3	min	$t_3 = 0.4 \sim 0.5$												
9	过磅时间	t_4	min	$t_4 = 10$												
10	每辆轻轨手推车的运输能力	Q_m	t/h	$Q_m = \frac{60q_n \cdot p_n}{\frac{L_n}{v_1} + \frac{L_n}{v_2} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4}$												

注：表列 v_1, v_2 的数值运距 $< 100m$ 时取大值； $> 100m$ 时取较小值。

a. 设计固定筛时应符合下列要求：

- 固定筛的安装倾角一般为 $40^\circ \sim 50^\circ$ ；
- 固定筛的孔眼应比筛下的煤粒径大 $1.2 \sim 1.3$ 倍。

b. 固定筛的生产能力见表 6.6-41。

2) 振动筛的生产能力计算见表 6.6-42。

(2) 破碎设备的选择及计算

当燃煤的粒度不符合锅炉燃烧粒度要求时，燃煤必须经过破碎。破碎设备应根据被破碎煤的最大给料粒度，锅炉燃烧装置要求的粒度和破碎设备的生产能力等要求，参照表 6.6-45 选取。最大给料粒度一般应不大于破碎机给料口宽度的 0.85 倍。

固定筛生产能力 Q_m (t/h) 计算表

表 6.6-41

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值										
1	单位生产能力 (面积为 1m^2 及筛缝为 1mm 时)	q_s	$\text{t}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm} \cdot \text{h})$	<table border="1"> <tr> <td>筛缝宽(mm)</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>q_s</td> <td>1.6</td> <td>1.36</td> <td>1.20</td> <td>0.85</td> </tr> </table>	筛缝宽(mm)	30	40	50	75	q_s	1.6	1.36	1.20	0.85
筛缝宽(mm)	30	40	50	75										
q_s	1.6	1.36	1.20	0.85										
2	筛子面积	F_s	m^2	筛宽 > 3 倍最大煤块尺寸, 筛长 = $(2 \sim 3) \times$ 筛宽										
3	筛缝宽度	a_s	mm	$(1.2 \sim 1.3) \times$ 筛下煤径										
4	固定筛生产能力	Q_m	t/h	$Q_m = q_s \cdot F_s \cdot a_s$										

振动筛生产能力 Q_m (t/h) 计算表

表 6.6-42

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值
A	当缺少煤的筛分试验资料时			
1	筛子单位面积生产能力	q_0	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	实验资料 $q_0 = 1.67a$
2	筛孔尺寸	a	mm	
3	筛面宽度	B_s	m	
4	筛面有效宽度	B_0	m	$B_0 = 0.95B_s$
5	筛面长度	L_s	m	
6	物料堆积密度	ρ_m	t/m^3	见表6.6-5
7	筛分效率	η_s	%	
8	筛分效率校正系数	M_s		$M_s = \frac{100 - \eta_s}{7.5}$, 当 $\eta_s = 92.5\%$ 时, $M_s = 1$
9	振动筛生产能力	Q_m	t/h	$Q_m = M_s \cdot q_0 \cdot B_0 \cdot L_s \cdot \rho_m$
B	当已取得物料的筛分资料时			
1	名义筛分面积	F	m^2	
2	有效筛分面积	F_1	m^2	$F_1 = (0.85 \sim 0.9)F$
3	单位筛分面积的平均生产能力	q_0	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	见表6.6-43
4	物料堆积密度	ρ_m	t/m^3	见表6.6-5
5	校正系数	K, L, M, N, O, P		见表6.6-44
6	振动筛生产能力	Q_m	t/h	$Q_m = F_1 \cdot \rho_m \cdot q_0 \cdot K \cdot L \cdot M \cdot N \cdot O \cdot P$

单位筛分面积平均生产能力 q_0

表 6.6-43

筛 孔 尺 寸 (mm)	5.5	7.0	11	17	19	25.5	28	31	34	38	42	56	63
$q_0 (\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h})$	2	3.15	5	8	10	16	20	25	31.5	40	50	80	100

K·L·M·N·O·P值

表 6.6-44

系数	校正因素	筛分条件及各系数数值										
K	细粒影响	给料中粒度小于筛孔之半的颗粒含量 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
		K 值	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
L	粗粒影响	给料中大于筛孔颗粒的含量 (%)	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90
		L 值	0.94	0.97	1.0	1.03	1.09	1.18	1.32	1.55	2.0	3.36
M	筛分效率	筛分效率 (%)	40	50	60	70	80	90	92	94	96	98
		M 值	2.3	2.1	1.9	1.6	1.3	1.0	0.9	0.8	0.6	0.4
N	颗粒和物料形状	颗粒形状	各种破碎后的物料 (煤除外)			圆形颗粒 (如卵石)			煤			
		N 值	1.0			1.25			1.5			
O	湿度影响	物料的湿度	筛孔小于25mm					筛孔大于25mm				
			干的	湿的	粘的			视湿度而定				
		O 值	1.0	0.75~0.85		0.2~0.6			0.9~1.0			
P	筛分方法	筛分方法	筛孔小于25mm					筛孔大于25mm				
			干的	湿的 (附有喷水)			任何一种					
		P 值	1.0			1.25~1.4			1.0			

破碎机选用参考表

表 6.6-45

破碎机类型	最大给料尺寸 (mm)	出料粒度 (mm)	生产能力 (t/h)	电动机		优点	缺点	适用范围
				型号	功率 (kW)			
颧式	PEF150×250 复摆颧式	125	10~40	1~4	Y132S-4	5.5	能源耗量大, 生产能力较低	适用于粗碎和中碎, 要求均匀给料, 有条件时, 加装给料机
	PEF200×350 复摆颧式	160	10~50	2~5	Y160M-6	7.5		
	PEF250×400 复摆颧式	210	20~80	5~20	Y180L-6	15		
反击式	单转子 φ500×400	100	0~20	4~10	Y160M-6	7.5	设备本体高, 运行中粉尘飞扬严重, 板锤及反击板较易磨损	适用于破碎中硬物料, 特别适于煤的破碎
	单转子 φ1000×700	250	0~30	15~30	Y200M-6	40		
	单转子 φ1250×1000	250	0~50	40~80	JR125-8	95		
	MFD-50 (煤)	200	0~15	50	Y280M-6	55		
单转子锤式	PCB400×175	50	<3	0.2~0.5	Y132S-4	5.5	主要工作部件易磨损, 金属消耗量大, 维修量大, 锤头更换调整复杂, 篦条易堵塞, 易发生事故	适用于破碎中硬的易碎物料, 如煤等。由于其缺点较多已逐渐被反击式所代替
	PCB600×400	100	<35	12~15	Y180M-4	18.5		
	PCB800×600	200	<13	18~24	Y280M-6	55		
	PCB1000×800	200	<45	24~99	JR117-6	115		

续表

破碎机类型	最大给料尺寸 (mm)	出料粒度 (mm)	生产能力 (t/h)	电动机		优点	缺点	适用范围	
				型号	功率 (kW)				
对辊式	φ450×500双齿辊	100	0~25; 0~50	20; 35	Y180L-8	11	构造简单, 制造容易, 由于物料经一次压碎或劈碎, 所以不会使物料过分粉碎	辊子易磨损且不均匀, 单位机器重量的生产能力低, 设备体积大	适用于煤的破碎
		200	0~15; 0~100	45; 55	YB180L-8 JO ₂ 160M-8	11			
	φ600×750双齿辊	300	0~50; 0~75	60; 80	Y225M-8	22			
	φ400×250双光辊	32	2~8	5~10	Y160L-6	11			
	φ600×400双光辊	36	2~9	12.8~40	—	11			
	φ750×500双光辊	40	2; 4; 6; 8; 10	3; 4; 7; 11; 13.6; 17	Y250M-8	30			

1) 反击式破碎机生产能力的计算见表6.6-46。

反击式破碎机生产能力计算表

表 6.6-46

序号	项 目	符 号	单 位	计算公式或数值
1	理论生产能力与实际生产能力修正系数	K_L		$K_L = 0.1$
2	转子上板锤数目	C_z		由选定的破碎机样本查得
3	板锤高度	h_z	m	
4	板锤宽度	b_z	m	
5	板锤与反击板间的距离	a_z	m	
6	排料粒度	d_z	m	
7	转子的转数	n	r/min	
8	物料堆积密度	ρ_m	t/m ³	
9	反击式破碎机生产能力	Q_m	t/h	$Q_m = 60K_L \cdot C_z(h_z + a_z)d_z \cdot b_z \cdot n \cdot \rho_m$

2) 锤式破碎机生产能力的计算见表6.6-47。

锤式破碎机生产能力计算表

表 6.6-47

序号	项 目	符 号	单 位	计算公式或数值
1	转子长度	L_n	m	由选定的破碎机样本查得
2	转子外缘直径	D_n	m	
3	转子转数	n	r/min	
4	破碎比	i_b		$i_b = 6 \sim 10$
5	物料硬度和破碎机结构型式影响的系数	η_b		$\eta_b = 0.12 \sim 0.22$
6	锤式破碎机生产能力	Q_m	t/h	$Q_m = \frac{\eta_b \cdot L_n \cdot D_n \left(\frac{n}{60}\right)^2}{i_b - 1}$

3) 对辊式破碎机生产能力的计算见表6.6-48。

对辊式破碎机生产能力计算表

表 6.6-48

序号	项 目	符 号	单 位	计算公式或数值
A	光面对辊式破碎机			
1	辊子直径	D_d	m	由产品样本查得
2	辊子长度	L_d	m	
3	辊子间距	d_d	m	
4	辊子转数	n_d	r/min	
5	物料堆积密度	ρ_m	t/m ³	见表6.6-5
6	物料松散系数	μ		中硬物料 $\mu=0.2\sim0.3$,粘性物料 $\mu=0.4\sim0.6$
7	光面对辊式破碎机生产能力	Q_m	t/h	$Q_m = 188D_d \cdot L_d \cdot n_d \cdot d_d \cdot \rho_m \cdot \mu$
B	非光面对辊式破碎机			
1	辊子长度	L_d	m	由产品样本查得 $L_{d1} = (0.5\sim0.6)L_d$
2	辊子修正长度	L_{d1}	m	
3	非光面对辊式破碎机生产能力	Q_m	t/h	$Q_m = 188D_d \cdot L_{d1} \cdot n_d \cdot d_d \cdot \rho_m \cdot \mu$

(3) 炉前煤斗设计

1) 三班制运行的机械加煤锅炉, 炉前煤斗的贮煤量见表6.6-49。

炉前煤斗贮煤量表

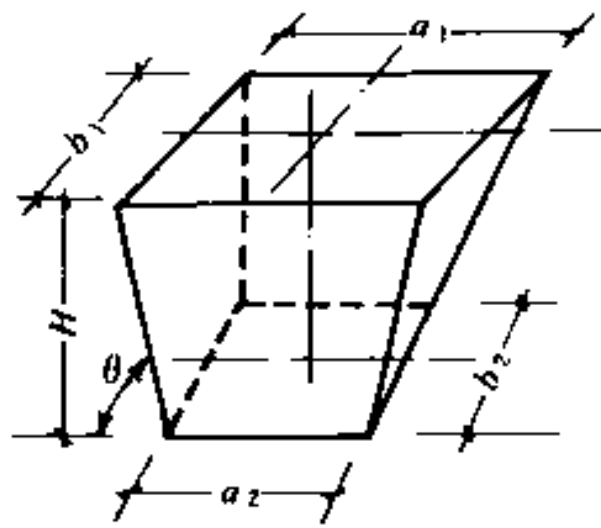
表 6.6-49

运煤系统工作班制	炉前煤斗贮煤量 (t)
一班制	$\left. \begin{array}{l} 16\sim20\text{h} \\ 10\sim12\text{h} \\ 1\sim6\text{h} \end{array} \right\} \times \text{锅炉额定耗煤量 (t/h)}$
二班制	
三班制	

2) 煤斗容积计算见表6.6-50。

煤斗容积计算表

表 6.6-50

序号	项 目	符 号	单 位	计算公式或数值
1	煤斗尺寸: 煤斗高度 煤斗上口尺寸 煤斗下口尺寸	H a_1, b_1 a_2, b_2	m m m	
2	煤斗容积	V	m ³	$V = \frac{H}{6} [(2a_1 + a_2)b_1 + (2a_2 + a_1)b_2]$
3	煤斗侧壁倾斜角	θ		$\theta > 60^\circ$

(4) 溜煤管

1) 溜煤管断面形状的选择

在一般情况下垂直设置的溜煤管，宜采用方形断面；倾斜设置的溜煤管，宜采用矩形断面；输送煤粉的溜煤管宜采用圆形断面。

2) 溜煤管的截面积计算见表6.6-51。

溜煤管的截面积计算表

表 6.6-51

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值
1	输煤量	Q_m	t/h	一般取 $v_c = 1.5$ 见表6.6-5 一般取 $\Psi = 0.3 \sim 0.35$
2	溜煤管中煤的流速	v_c	m/s	
3	煤的堆积密度	ρ_m	t/m ³	
4	充满系数	Ψ		
5	溜煤管的截面积	F_c	m ²	$F_c = \frac{Q_m}{3600 v_c \cdot \rho_m \cdot \Psi}$
6	溜煤管的倾斜角： 转卸用溜煤管 煤斗下溜煤管	θ		$\theta = 50^\circ \sim 60^\circ$ $\theta = 55^\circ \sim 60^\circ$

由表6.6-51计算出的溜煤管的断面积 F_c 不应小于表6.6-52所列数值。

溜煤管最小断面尺寸表

表 6.6-52

煤的最大粒度 (mm)	溜煤管最小宽度 (mm)	溜煤管高度 (mm)
<25	200	150
40	300	200
65	350	250
100	400	300
150	500	350
200	600	400
250	700	500
300	800	600

(5) 煤、灰斗闸门的选择和计算

1) 煤、灰斗闸门的选用见表6.6-53。

各种闸门的适用范围

表 6.6-53

闸门型式	传动方式	适 用 范 围
扇形闸门	手 动	粒度小于75mm的各种块状和粒状物料，如为齿轮传动时，也可用于小于150mm，未经筛分的各种中等块度物料；当粒度小于50mm时，可调节物料流量
	气 动	粒度小于350mm的各种块状和粉状物料；对于小粒度物料可调节流量
颚式闸门	手 动	粒度小于75mm的各种块状和粉状物料
	气 动	粒度小于200mm的各种块状和粉状物料；小粒度物料可调节流量
插板闸门	手 动	适用于各种粉状物料；如为齿轮传动时，也可用于各种中等硬度以下（如煤等），粒度小于50mm的未经筛分的物料，并可调节物料流量

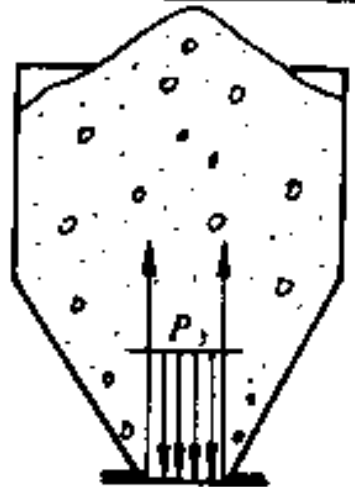
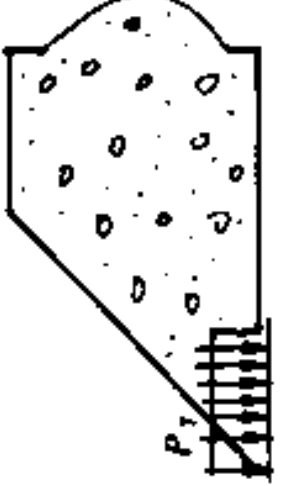
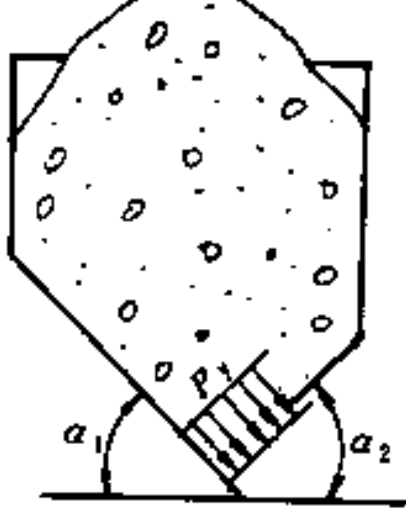
2) 闸门的计算

各种型式的煤、灰斗闸门应按下述要求进行计算:

a. 作用于煤、灰斗闸门的压力计算见表6.6-54。

作用于煤、灰斗闸门的压力计算表

表 6.6-54

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值			
1	方形或矩形出料口的边长 圆形出料口直径 煤、灰标准块度尺寸	a, b D d_b	m m m	根据设计确定尺寸			
2	煤、灰斗出料口水力半径: (1) 方形出料口 (2) 矩形出料口 (3) 圆形出料口	R R R	m m m	$R = \frac{a - d_b}{4}$ $R = \frac{(a - d_b)(b - d_b)}{2(a + b - 2d_b)}$ $R = \frac{D - d_b}{4}$			
3	煤、灰的堆积密度	ρ_m	kg/m ³	由表6.6-5查得			
4	煤、灰的内摩擦系数	f_1		由表6.6-55查得			
5	侧压力系数	K_s		由表6.6-56查得			
6	单位平均压力值	P_y		$P_y = \frac{K_s \rho_m}{f_1 \cdot K_s}$			
7	闸门受力有效面积	F_s	m ²	根据出料口尺寸计算得出			
8	煤、灰与料斗壁或溜煤管的摩擦系数	f_s		由表6.6-55查得			
9	煤、灰斗壁或溜煤管与水平面的夹角	α_1	度				
10	闸门承受的 压力	料斗	(1) 水平口闸门承受的压力	G_D	N	$G_D = 10P_y \cdot F_s$	
			(2) 垂直口闸门承受的压力	G_z	N	$G_z = 10P_y \cdot F_s \cdot K_s$	
			(3) 倾斜口闸门承受的压力	G_x	N	$G_x = 10P_y \cdot F_s (\sin \alpha_1 - f_s \cos \alpha_1)$	

续表

序号	项 目		符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值	
10	闸门承受的压力	深料斗	放料闸门与水平面的夹角	α_2	度	
			操作物点系数	K_0		一次打开全部卸空 $K_0 > 2$ 每打开一次非全部卸空 $K_0 > 1.5$ 卸一小部份料时 $K_0 = 1.0$
			(1) 水平口闸门承受的压力	G_p	N	$G_p = 56K_0 \cdot \rho_m \cdot R \cdot F_s$
			(2) 垂直口闸门承受的压力	G_z	N	$G_z = 56K_0 \cdot \rho_m \cdot R \cdot F_s \cdot K_s$
			(3) 倾斜口闸门承受的压力	G_x	N	$G_x = 56K_0 \cdot \rho_m \cdot R \cdot F_s (\cos^2 \alpha_2 + K_s \sin^2 \alpha_2)$

注：1. 散状物料分为匀粒物料（即 $\frac{d_{max}}{d_{min}} < 2.5$ ）和原物料（即 $\frac{d_{max}}{d_{min}} > 2.5$ ）。匀粒物料的标准尺寸 $d_b = \frac{d_{max}}{d_{min}}$ ；原物料标准

块尺寸 $d_b = K \cdot d_{max}$ 。（ d_{max} 为煤的最大块度尺寸， d_{min} 为煤的最小块度尺寸， K 为系数，一般取 $K = 0.8 \sim 1.0$ ）。

2. 煤、灰斗深度 < 10 倍水力半径的料斗称为浅料斗；煤、灰斗深度 > 10 倍水力半径的料斗称为深料斗。

摩擦系数 f_s, f_1 表 6.6-55

物料名称	堆积密度 ρ_m (t/m^3)	含水率 (%)	粒 度 (mm)	静内摩擦角 ϕ (度)	静内摩 擦系数 f_1	对钢的静摩 擦角 ϕ_1 (度)	对钢的静摩 擦系数 f_s
烟 煤	0.8	—	100~30 (150占少量)	35~40	0.7~1.0	35~40	0.7~0.84
锅炉用煤 (一)	0.9	7.41	200~50 (占20%) 15~10 (占70%)	45	1.0	30	0.58
锅炉用煤 (二)	0.85	6~7	400~300 (占20%) 15~10 (占30%) 10以下 (占50%)	49	1.15	36	0.73
无烟煤粉	0.88	5~6	20~15 (占15%) 15~5 (占13%) 5以下 (占72%)	39	0.81	31	0.60
无烟煤	0.9~0.95	—	—	35~40	0.58~0.84	35~40	0.7~0.84
无烟煤粉	0.9	7.8	5~7 (占13%) 5以下 (占87%)	37	0.75	27	0.51
无烟煤粉	0.82	8.4	15~10	46	1.04	33	0.65
锅炉炉渣	0.80	12.3	150~50 (占10%) 50以下 (占90%)	48	1.11	34	0.67
焦 炭	0.5~0.8	—	80~30 (150占少量)	35~45	0.7~1.0	30~40	0.58~0.84

注：1. 在一般情况下，散状料与固体之间的动摩擦系数为静摩擦系数的70~90%。

2. 摩擦系数与摩擦角的换算关系： $f = \tan \phi$ （式中 f —摩擦系数， ϕ —摩擦角）。

侧压力系数 K_s 表

表 6.6-56

煤的内摩擦角 ϕ	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°
K_s	0.49	0.405	0.333	0.271	0.217	0.171	0.132	0.100	0.072	0.049	0.031

b. 插板闸门的计算

插板闸门的开启力计算见表6.6-57。

插板闸门开启力计算表

表 6.6-57

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值
1	考虑插板歪斜的安全系数	K_n		$K_n = 1.3 \sim 1.5$
2	插板与物料的摩擦系数	f_s		参照表6.6-55选取
3	插板与导向槽的摩擦系数	f'_z		$f'_z = 0.4 \sim 0.5$
4	插板重量	G_0	N	
5	插板门承受的压力: (1) 水平插板门 (2) 垂直插板门 (3) 倾斜插板门	G_p G_z G_x	N N N	见表6.6-54 见表6.6-54 见表6.6-54
6	插板门与水平面夹角 插板门的开启力: (1) 水平插板门 (2) 垂直插板门 (3) 倾斜插板门	α_2 P_p P_z P_x	度 N N N	$P_p = K_n[G_p \cdot f_s + (G_p + G_0)f'_z]$ $P_z = K_n[G_z(f_s + f'_z) + G_0]$ $P_x = K_n[G_x(f_s + f'_z) + G_0(f'_z \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2)]$
7	滚轮滚动的摩擦系数	K_1		取 $K_1 = 0.01 \sim 0.012$
8	滚轮内的滑动摩擦系数	f''_z		有润滑 $f''_z = 0.12$ 无润滑 $f''_z = 0.25$
9	滚轮重量	G_1	N	
10	滚轮轴直径	d	m	根据闸门设计资料确定
11	滚轮外径	D	m	
12	水平插板门开启力	P_e	N	$P_e = K_n \left[G_p f'_z + \frac{2K_1(G_p + G_0)}{D} + \frac{f''_z(G_1 + G_p + G_0)d}{D} \right]$

c. 扇形闸门计算

扇形闸门计算图见图6.6-8。扇形闸门的开启力计算见表6.6-58。

d. 颚式闸门（见图6.6-9）的计算

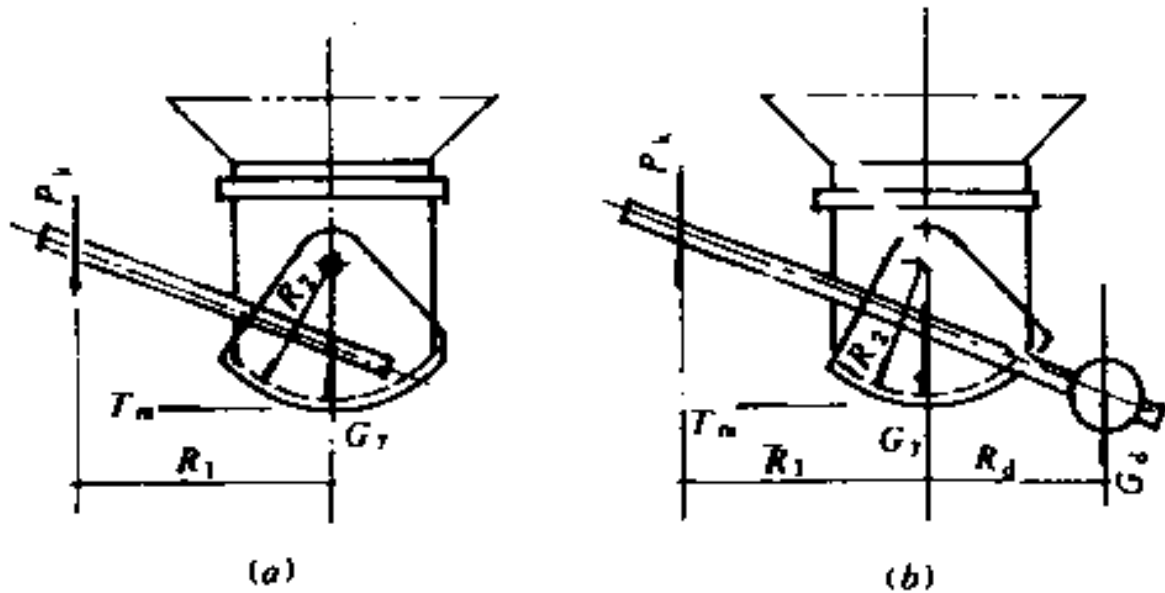


图 6.6-8 扇形闸门计算图

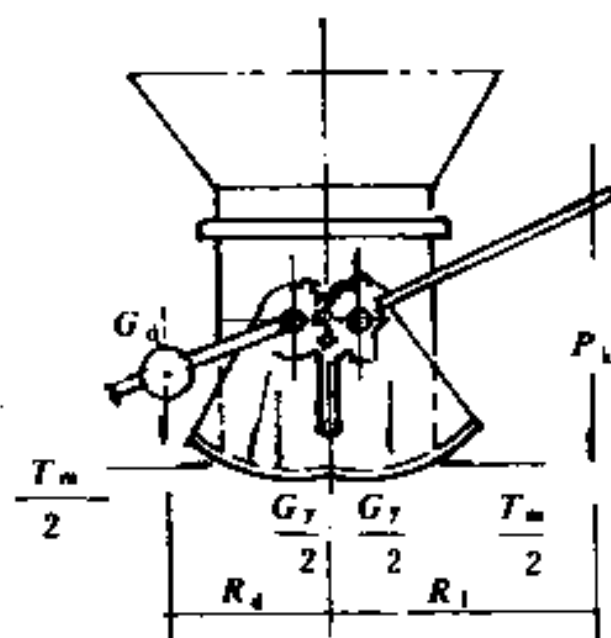


图 6.6-9 轮式闸门计算图

扇形闸门开启力计算表

表 6.6-58

序号	项 目	符 号	单 位	计算公式或数值	
1	着力点至转轴的距离	R_1	m	由闸门设计图查得	
2	扇形板的半径	R_2	m		
3	物料与闸门挡板的摩擦系数	f_s		由表6.6-55查得	
4	扇形闸门承受的压力	底开式	G_y	N	$G_y = G_p$ 浅料斗: $G_p = 10P_y \cdot F_s$ 深料斗: $G_p = 56K_0 \cdot \rho_m \cdot R \cdot F_s$ (式中符号意义见表6.6-54)
		垂直式			$G_y = G_z$ 浅料斗: $G_z = 10P_y \cdot F_s \cdot K_s$ 深料斗: $G_z = 56K_0 \cdot \rho_m \cdot R \cdot F_s \cdot K_s$ (式中符号意义见表6.6-54)
5	摩擦力	T_m	N	$T_m = G_y \cdot f_s$	
6	扇形板转轴直径	d	m	由闸门设计图查得	
7	扇形板和手柄的自重	G_0	N		
8	转轴摩擦系数	f'		有润滑 $f' = 0.12$; 无润滑 $f' = 0.25$	
9	转轴的阻力矩	M_z	N-m	$M_z = (G_y + G_0) \frac{d}{2} f'$	
10	无平衡重扇形闸门的开启力 (图6.6-8a)	P_k	N	$P_k = \frac{T_m \cdot R_2 + M_z}{R_1}$	
11	平衡锤重量	G_d	N	由闸门设计图查得	
12	平衡锤臂长	R_d	m		
13	有平衡重扇形闸门的开启力 (图6.6-8b)	P_k	N	$P_k = \frac{T_m \cdot R_2 + G_d \cdot R_d}{R_1}$	

颚式闸门的手柄拉力，通过齿轮作用到两块颚板上，每块颚板的负荷约等于类似扇形闸门的 $\frac{1}{2}$ 。因此，平衡重和打开闸门作用到手柄上的力，如同有平衡重扇形闸门一样，可按表6.6-58进行计算。

6.6.4 运煤系统设计示例

1. 埋刮板输送机运煤系统布置示例

图6.6-10为三台10t/h和一台4t/h锅炉房，采用埋刮板输送机的运煤系统。本系统供煤能力约20t/h。主要运煤设备见表6.6-59。

埋刮板输送机运煤系统设备

表 6.6-59

设备编号	设备名称及规格	单位	数量
1	250×160埋刮板输送机	台	1
2	S925型电磁分离液筒	个	1
3	金属杂物漏斗	个	1
4	φ500×400单转子反击式破碎机	台	2
5	受煤槽（篦孔160×140）	个	1
6	B500型带式输送机	台	1
7	0.4m ³ 电动轨道抓斗起重机	台	1

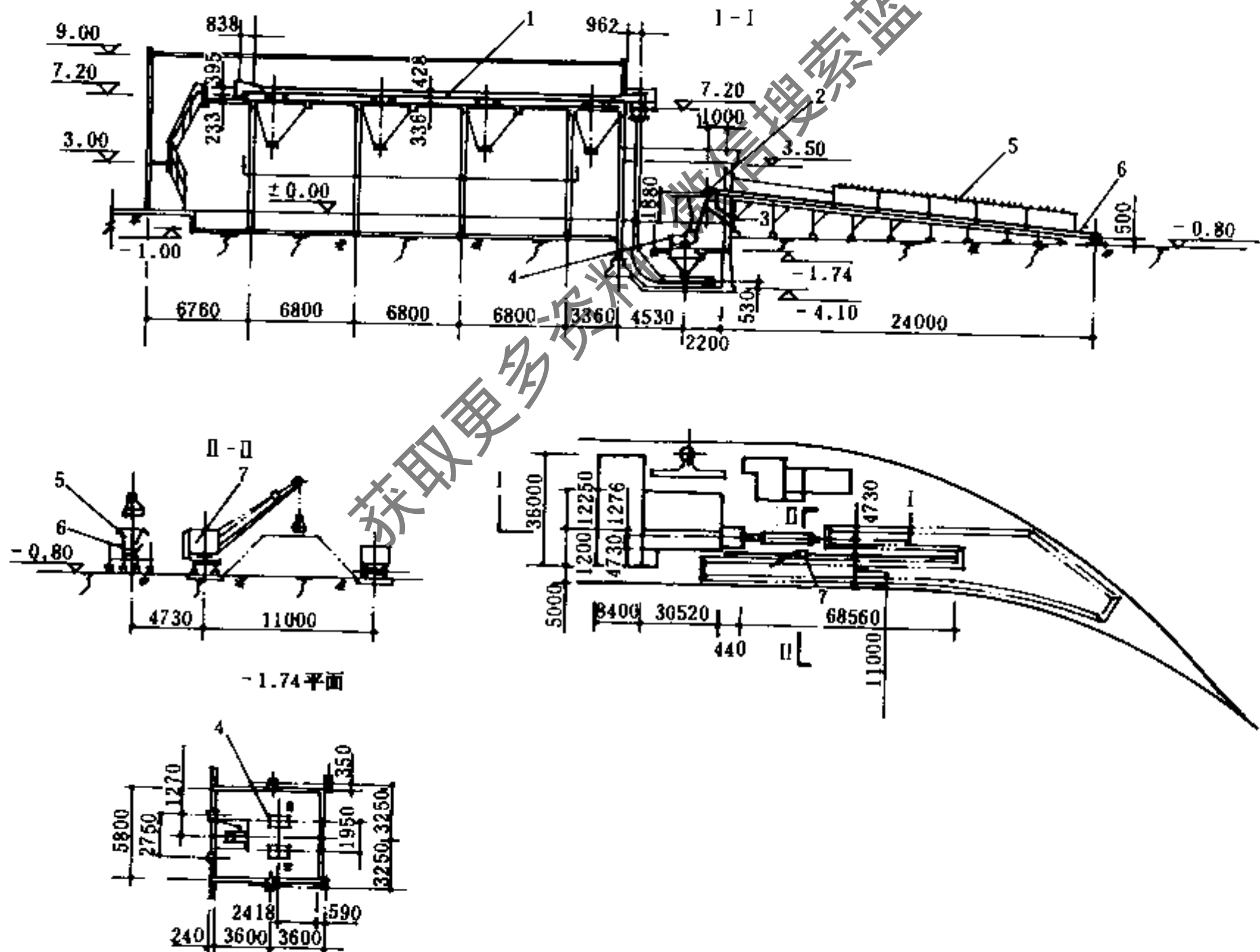


图 6.6-10 三台10t/h和一台4t/h锅炉房埋刮板输送机运煤系统

2. 胶带式输送机运煤系统布置示例

图6.6-11为三台10t/h锅炉房采用带式输送机的运煤系统。主要运煤设备见表6.6-60。

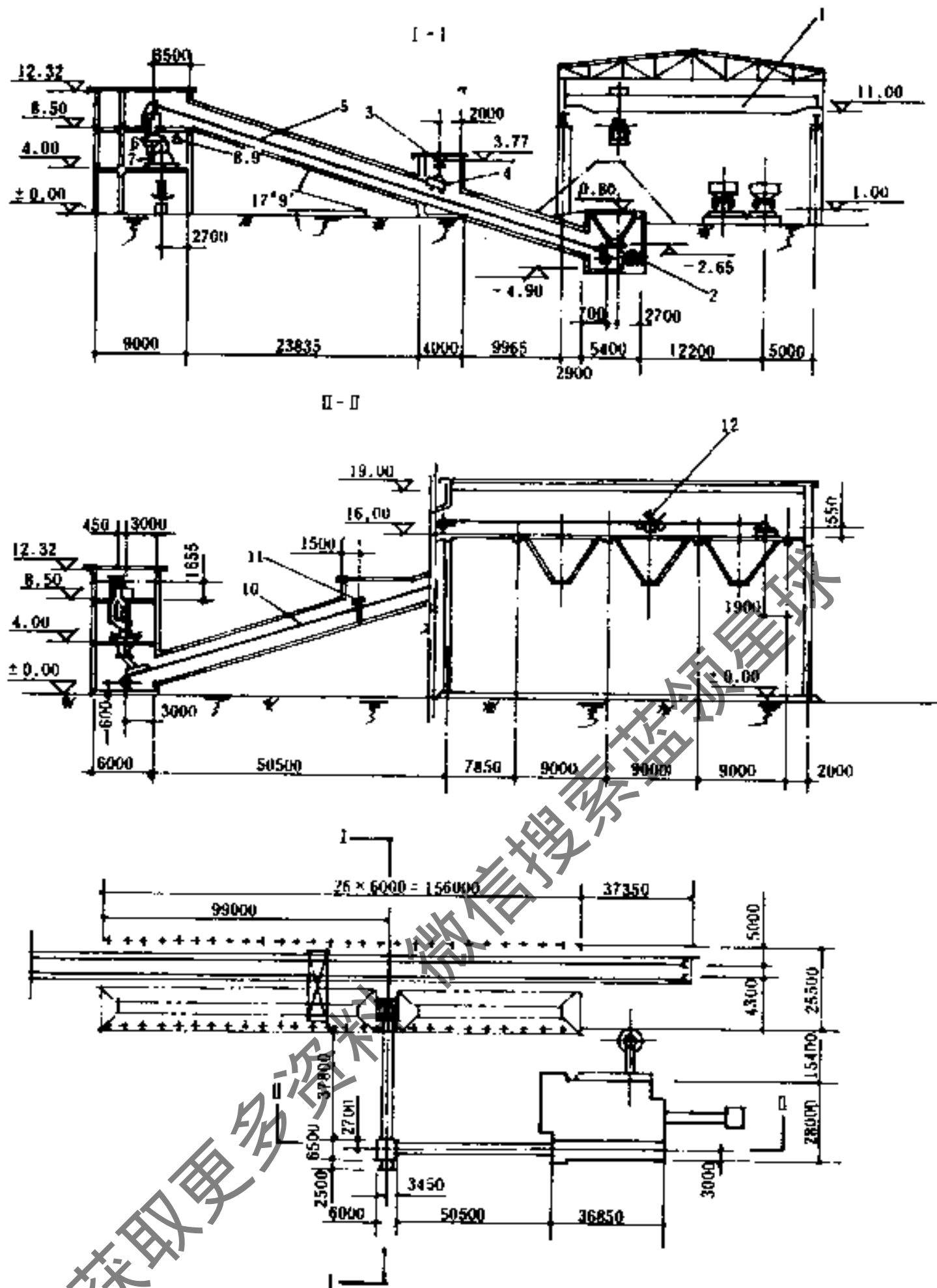


图 6.6-11 三台10t/h锅炉房带式输送机运煤系统

带式输送机运煤系统设备

表 6.6-60

设备编号	名称及规格	单位	数量
1	5t 抓斗桥式起重机	台	1
2	750 × 500 槽式给料机	台	1
3	2t 手动单轨小车	台	1
4	CF-60 悬挂式电磁分离器	台	1
5	B500 带式输送机	台	1
6	固定筛	台	1
7	450 × 500 双齿辊式破碎机	台	1
8	3t 手动单轨小车	台	1
9	3t 手动葫芦	台	1
10	B500 带式输送机	台	1
11	滚轮式皮带秤	台	1
12	移动式犁式卸料器	个	1

3. 多斗式提升机——带式输送机运煤系统示例

(1) 图6.6-12为四台10t/h锅炉房的运煤系统, 系统供煤能力为50t/h。运煤系统采用的设备见表6.6-61。

(2) 图6.6-13为两台20t/h锅炉房的运煤系统。运煤系统采用的设备见表6.6-62。

斗式提升机加带式输送机运煤系统设备

表 6.6-61

设备编号	名称及规格	单位	数量
1	1m ³ 前端装载机	台	1
2	ZP60 15型移动式带式输送机	台	1
3	CF 60悬挂式电磁分离器	台	1
4	800×600锤式破碎机	台	1
5	HL300型斗式提升机	台	1
6	旋转闸门	个	1
7	自卸运煤装置	台	1

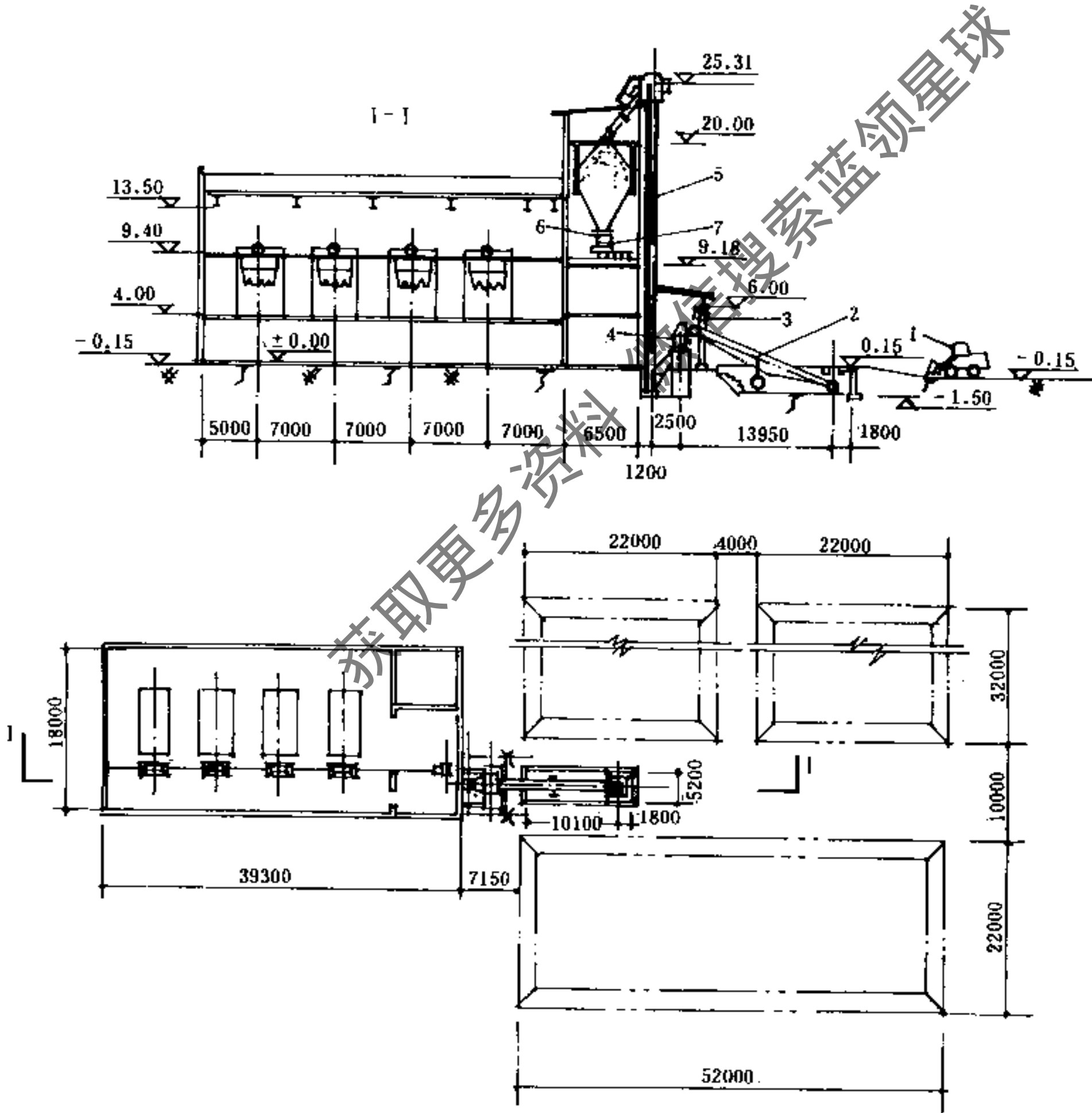


图 6.6-12 四台10t/h锅炉房斗式提升机加带式输送机运煤系统

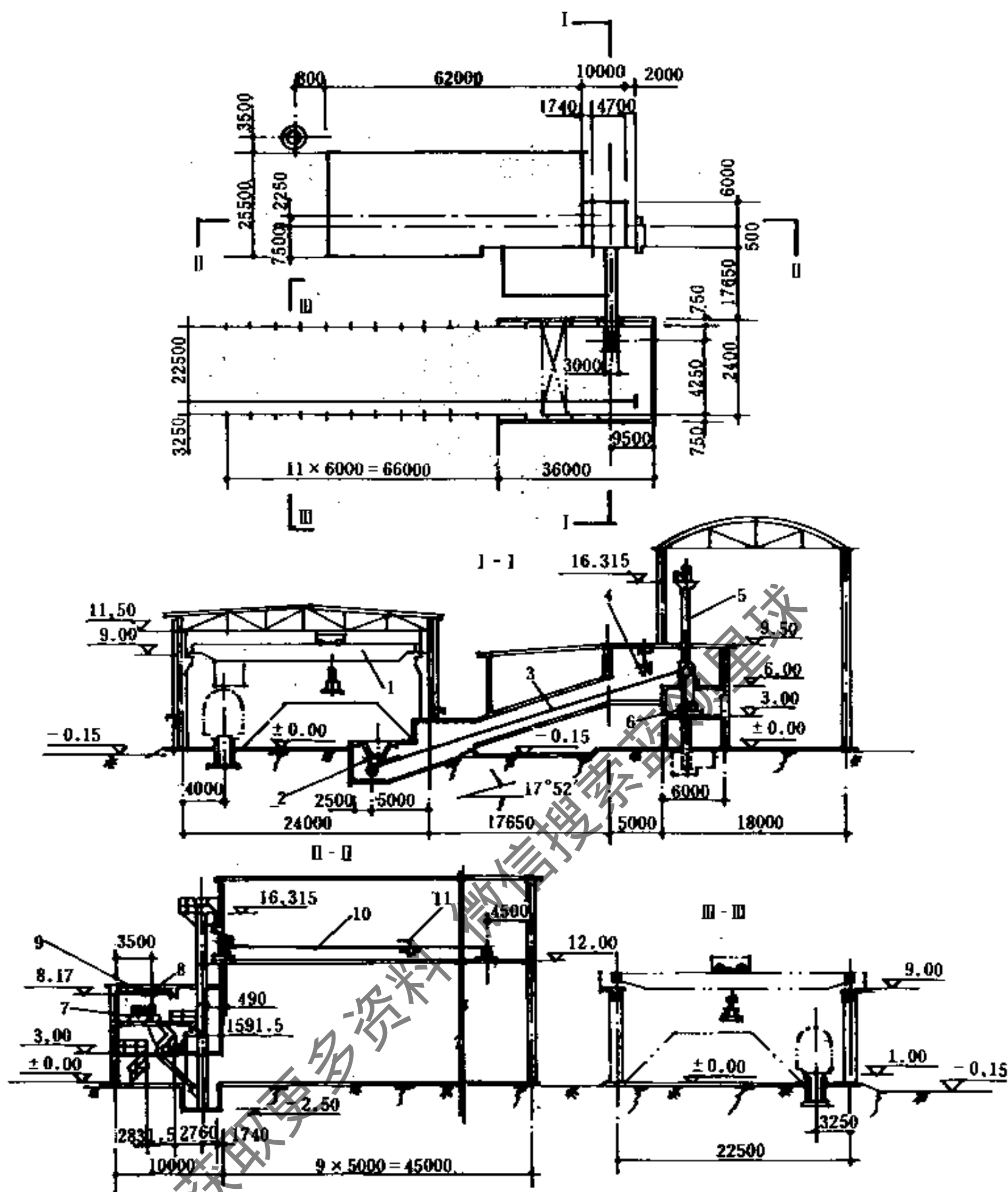


图 6.6-13 两台20t/h锅炉房斗式提升机——带式输送机运煤系统

多斗提升机——带式输送机运煤系统设备

表 6.6-62

设备编号	名称及规格	单位	数量
1	5t 抓斗桥式起重机	台	1
2	可控阀门	个	1
3	B500型带式输送机	台	1
4	CF-60悬挂式电磁分离器	个	1
5	HL400斗式提升机	台	1
6	2PG610×400双辊破碎机	台	1
7	固定筛	个	1
8	2t 手动单轨小车	台	1
9	手动链式起重机	台	1
10	B500型带式输送机	台	1
11	犁式卸料器	台	1

4. 单斗滑轨输送机运煤系统布置示例

(1) 图6.6-14为两台6.5t/h锅炉房的运煤系统。
运煤系统采用的主要设备见表6.6-63。

单斗滑轨输送机运煤系统设备

表 6.6-63

设备编号	名称及规格	单位	数量
1	固定筛	个	1
2	受煤斗	个	1
3	闸门	个	1
4	0.75m ³ 料车输送机	台	1
5	煤位信号装置	套	2

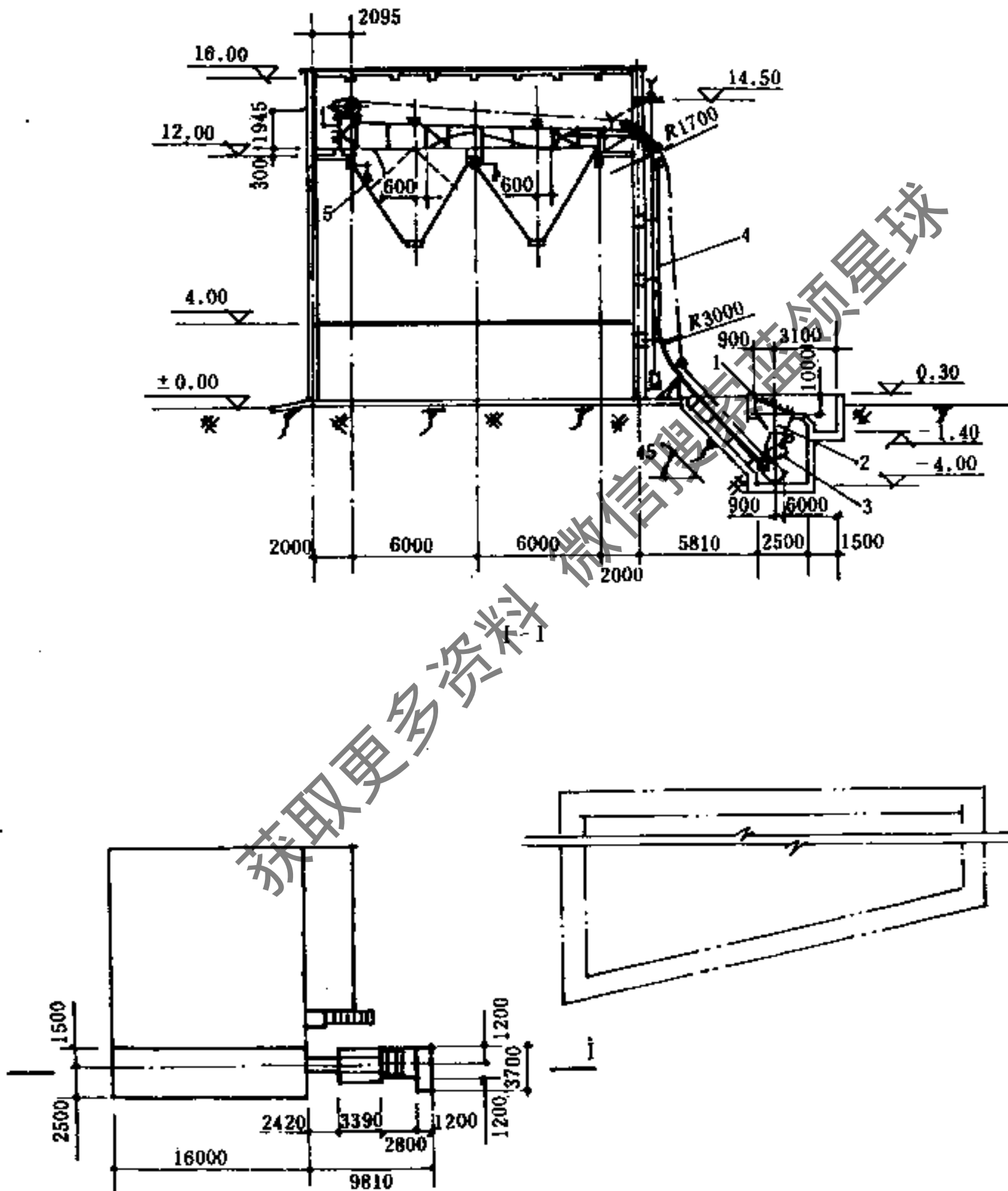


图 6.6-14 两台6.5t/h锅炉房单斗滑轨输送机运煤系统

(2) 图6.6-15为三台10t/h锅炉房的运煤系统。采用的主要运输设备见表6.6-64。

5. 单轨抓斗起重机运煤系统布置示例

图6.6-16为三台6.5t/h锅炉房的运煤系统。本系统主要设备见表6.6-65。

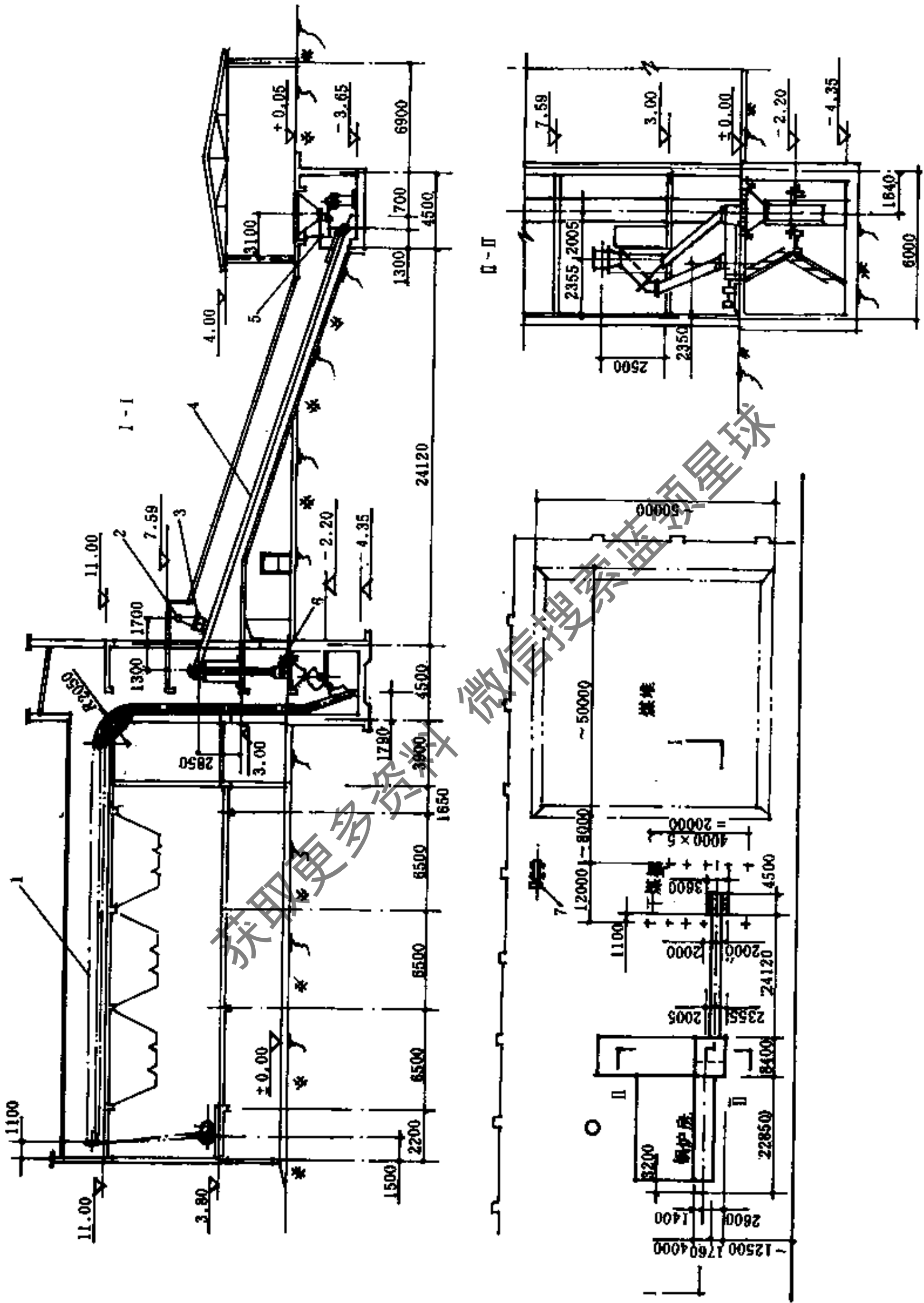


图 6.6-15 三台10t/h锅炉房单斗清轨输送机运煤系统

单斗滑轨输送机运煤系统设备

表 6.6 64

设备编号	名称及规格	单位	数量
1	0.65m ³ 料车输送机	台	1
2	2t 单轨小车	台	1
3	CF 60 悬挂式电磁分离器	台	1
4	B 500 型带式输送机	台	1
5	750×500 槽式给料机	台	1
6	螺旋破碎机	台	1
7	1m ³ 前端装载机	台	1

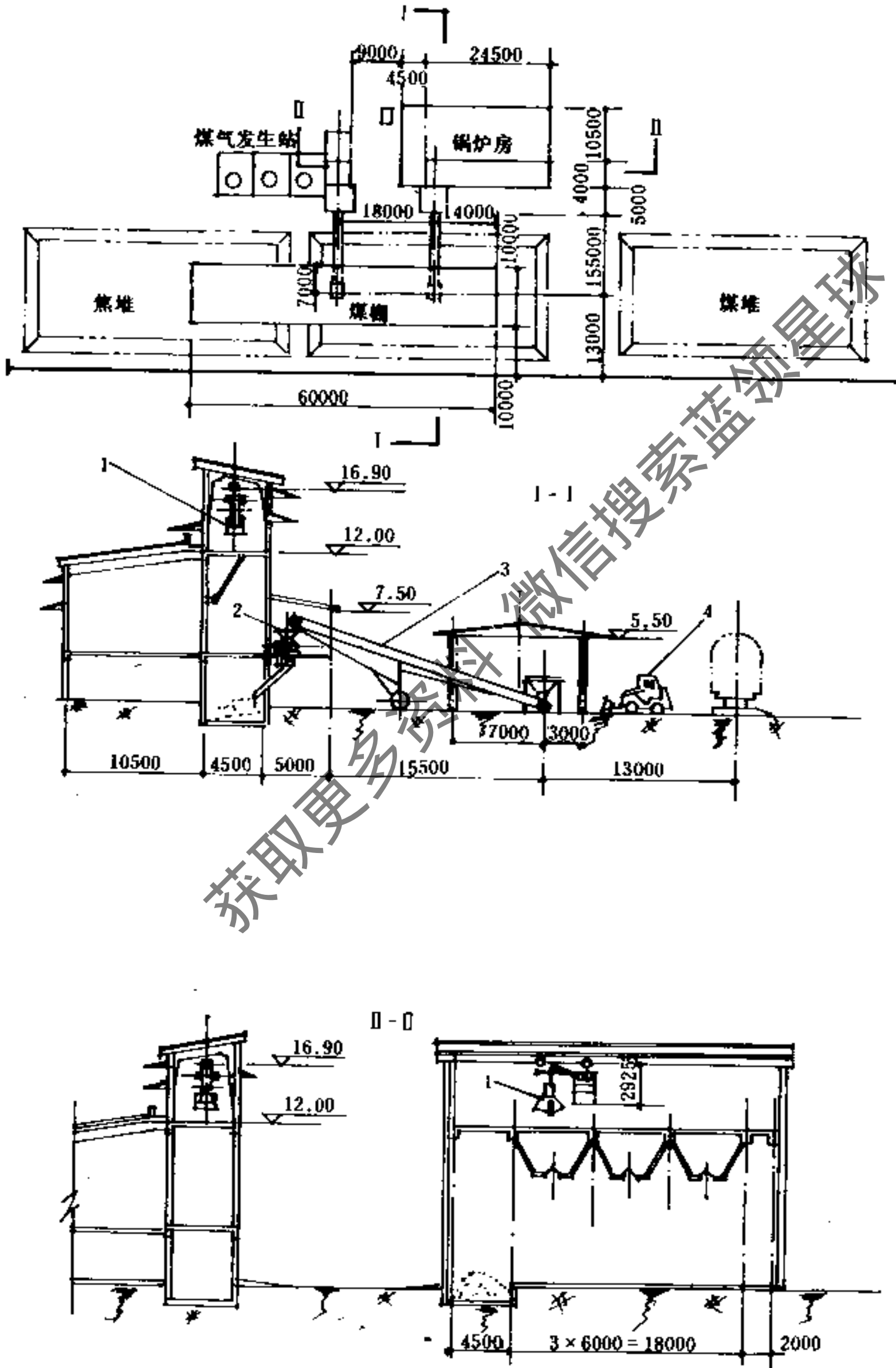


图 6.6-16 三台6.5t/h锅炉房单轨抓斗起重机运煤系统

单轨抓斗起重机运煤系统设备

表 6.6-65

设备编号	名称及规格	单位	数量
1	301型电动单轨抓斗起重机	台	1
2	450×500双齿辊破碎机	台	1
3	B 500型移动式皮带输送机	台	1
4	1 m ³ 前端装载机	台	1

6.6.5 除灰系统设计

1. 除灰系统的类型

目前常采用的各种类型除灰系统的特性, 优、缺点和适用范围列于表6.6-66。

2. 除灰系统的选择

在设计锅炉房除灰渣系统时, 可参照表6.6-67所推荐的系统选用。

常用运灰渣系统

表 6.6-66

系统类型	作业特点	优点	缺点	适用范围
1. 螺旋除渣机	可水平或倾斜连续输送灰渣	(1) 设备简单, 运行基本可靠, 操作简单 (2) 飞灰量少, 锅炉房卫生条件好, 运行费用低	(1) 运送量小 (2) 螺旋叶片磨损快, 检修工作量大, 出现大块灰渣时易卡住	适用于1~4t/h的小型快装锅炉
2. 刮板式除渣机	可做水平或倾斜运输	(1) 适应性强, 无论北方或南方, 室内、室外均能适应 (2) 运输量适应范围广 (3) 设备构造简单, 易加工, 投资省 (4) 检修比较方便	(1) 金属耗量多, 部件磨损快 (2) 电耗偏大	适用于6t/h以下的小型锅炉
3. 马丁式除渣机		(1) 设备紧凑, 体积小, 布置方便, 运行可靠, 既能除渣又能碎渣 (2) 湿式除渣, 改善了锅炉房卫生条件	(1) 结构复杂, 加工工作量大 (2) 排渣量增大时, 易发生故障	适用于6~20t/h锅炉
4. 圆盘式除渣机	设备无碎渣能力, 大块灰渣易卡住, 在蜗轮与主轴间装有安全离合器, 一旦灰渣卡住时, 还应使电机反转, 故需设有报警装置及电机反转按钮	(1) 操作维护简单, 运行安全可靠, 湿式除渣, 改善了卫生条件 (2) 转速比马丁除渣机低, 磨损小	设备制造复杂, 投资高	适用于10~20t/h锅炉(层燃炉)。不适用于燃用强结焦性煤

续表

系统类型	作业特点	优点	缺点	适用范围
5. 低压水力冲灰	冲灰水的压力0.4~0.6MPa, 灰渣池中水质呈碱性(pH>10), 不能直接排入下水道。现多以除尘器之冲灰水(酸性pH=4~5)中和, 达到排放标准, 如仍达不到排放标准时, 则应投入化学药品中和	(1) 系统运行安全可靠, 机械化程度高, 节省劳力, 操作简便 (2) 卫生条件好, 机械设备少, 维修工作量少	(1) 需建造庞大的灰渣池, 还需设置灰渣抓取设备, 基建投资高 (2) 湿灰渣的贮运不方便, 尤其在寒冷地区, 灰渣装卸较困难	适用于大、中型锅炉房。室外气温低于-5℃的地区不适用

锅炉房除灰、渣系统推荐表

表 6.6-67

锅炉类型及台类	灰渣量(t/h)	推荐采用的除灰渣系统
锅炉房总蒸发量<8t/h	<0.5	(1) 刮板除渣机+手推车 (2) 螺旋除渣机+手推车 (3) 框链除渣机
4t/h, 3~4台	0.5~1.0	(1) 螺旋除渣机+手推车 (2) 框链除渣机 (3) 刮板除渣机
6t/h, 1~2台 10t/h, 1~2台	1.0~2.0	(1) 马丁除渣机(圆盘除渣机)+皮带机 (2) 框链除渣机 (3) 刮板式除渣机 (4) 轻便轨道翻斗矿车(干法人工除灰)
6t/h, 3~4台 10t/h, 3~4台 20t/h, 2~4台	>2.0	(1) 马丁除渣机+皮带机 (2) 圆盘除渣机+皮带机 (3) 水力除灰

3. 锅炉房除灰渣系统设计

(1) 灰渣场设计应符合下列要求:

- 1) 灰渣场宜设在最小频率风向锅炉房的上风侧。
- 2) 灰渣场与贮煤场间的距离, 不应小于10m。
- 3) 灰渣场的贮存量, 应根据灰渣综合利用情况和运输方式等条件确定。一般为10~30昼夜锅炉房最大灰渣排除量。

采用集中灰渣斗贮存灰渣时, 一般可不设灰渣场, 灰渣斗的贮存量可按贮存3~5昼夜的最大灰渣量计算。每个灰渣斗贮量不应大于60m³。

4) 灰渣斗的设计应符合下列要求:

- 在寒冷地区应有防冻措施, 一般可采用通入蒸汽加热的方法。
- 灰渣斗下面的地面, 应有排水坡度。
- 灰渣斗下部距地面的净空高度: 用汽车运灰渣时, 不应小于3.0m; 用火车运送灰渣

时, 不应小于5.3m。如机车不通过贮灰斗下时, 可减低至3.5m。

- 灰渣斗斗壁的倾斜角, 不应小于55°。

5) 设计低压水力冲灰系统时, 应符合下列要求:

- 灰渣泵应采用两台, 其中一台备用。泵的出口水压应不小于0.3MPa。泵的流量应满足以下水渣比:

水灰混合物比值: $7 \sim 10 \text{ m}^3 \text{ (水) / t (灰)}$;

水渣混合物比值: $15 \sim 20 \text{ m}^3 \text{ (水) / t (渣)}$;

水灰渣混合物比值: $10 \sim 15 \text{ m}^3 \text{ (水) / t (灰渣)}$ 。

- 灰渣沟应坡向灰渣沉淀池, 灰沟坡度宜取 $1 \sim 1.5\%$; 渣沟坡度宜取 $2 \sim 2.5\%$ 。

- 灰渣沟应尽量减少弯曲, 弯曲半径应大于2m; 两条灰渣沟交接时应作成锐角, 支沟处应有150~180mm高的落差; 冲渣沟内采用辉绿岩或白口铁镶板, 镶板半径应 $> 125 \text{ mm}$; 冲渣沟起始深度不应小于0.5m, 冲灰沟起始深度不应小于0.4m。

- 灰渣沟的转弯处应设激流喷嘴, 喷嘴出口离渣沟镶板表面的高度为300mm左右, 离灰沟镶板表面高度为250mm左右, 且与沟底呈 $8^\circ \sim 10^\circ$ 的倾角。

- 灰渣沟中混合物的流速, 在输送细灰时不应小于 1.2 m/s , 输送固态炉渣时不应小于 1.6 m/s 。

- 灰渣池的有效容积, 宜按存放 $1 \sim 2$ 昼夜的最大灰渣量考虑, 其堆满系数可取 $0.5 \sim 0.9$ 。灰渣层上面的水封层可取 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 。

沉渣池宜采用长方形。沉淀池与细灰沉淀池宜分开设置, 细灰沉淀池宜设两个(轮换工作)。沉淀池长度宜取 $> 6 \text{ m}$ 。细灰沉淀池宜采用水封式溢流堰, 并应设置均匀配水的进出水槽。进水槽断面及进水孔流速按 $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$ 计算; 出水槽断面及出水孔流速可按 $0.3 \sim 0.5 \text{ m/s}$ 计算。

- 灰渣泵房宜作成半地下室, 使灰渣泵在正水头条件下运行, 水泵吸水管上部设有引水罐以保证吸水管不会倒空。灰渣泵房也可平地设置。

- 灰渣池应有机械抓取装置, 一般采用单轨抓斗起重机。冲灰渣水应循环使用。

(2) 锅炉房的灰渣量及储灰场面积计算见表6.6-68。

锅炉房灰渣量及储灰场面积计算表

表 6.6-68

序号	项 目	符 号	单 位	计 算 公 式 或 数 值
1	锅炉房小时耗煤量	B_m	t/h	由燃料消耗量计算得出
2	煤的低位发热量	Q_{Dw}	kJ/kg	见煤质资料
3	煤的灰分	A'	%	见煤质资料
4	煤的机械不完全燃烧损失	q_4	%	查表6.6-69
5	灰渣的堆积密度	ρ_z	t/m ³	查表6.6-70
6	锅炉房的灰渣量	V_z	m ³ /h	$V_z = B_m \left(\frac{A'}{100} + \frac{q_4 \cdot Q_{Dw}}{100 \times 33913} \right) \frac{1}{\rho_z}$
7	锅炉房昼夜运行小时数	T	h	根据运行班制确定
8	灰渣储存天数	M	d	根据运输方式, 综合利用情况确定, 一般10~30
9	渣堆高度	H	m	根据设计取值
10	灰渣堆过道占用系数	N		1.5~1.6
11	灰渣堆积角系数	φ		由表6.6-70查得
12	灰渣场所需面积	F_{nz}	m ²	$F_{nz} = \frac{V_z \cdot M \cdot N \cdot T}{H \cdot \rho_z \cdot \varphi}$

q₄ 值

表 6.6-69

炉 型	燃料种类	q ₄ (%)	炉 型	燃料种类	q ₄ (%)
链条炉	褐煤	5~10	抛煤机 链条炉	褐煤	6~9
	不结焦烟煤	6~8		烟煤	6~7
	弱结焦烟煤	5~6	煤粉炉		1~4
	块状无烟煤	4~10			
	粉状无烟煤	6~12	振动炉排炉		12~14
抛煤机炉	褐煤	6~11	往复炉排炉		3~7
	烟煤	6~7			
	无烟煤粉	10~18			

灰渣堆积密度和堆积角 φ

表 6.6-70

灰渣状况	粒 径 (mm)	堆积密度 ρ _t (t/m ³)	自然堆积角 φ	溜管倾斜角	贮渣(灰) 斗倾斜角
干粉煤灰		0.6~0.7	40~45°	50°	>55°
湿粉煤灰(含水30~35%)		0.9~1.2	45~50°	65°	>70°
煤渣	<200	0.7~0.9	35~40°	45°	>50°
煤渣(中碎)	<40	0.8~1.0	40~45°	50°	>50°
煤渣(细碎)	<20	0.9~1.10	40~45°	50°	>50°

6.7 锅炉房热工检测与控制

6.7.1 热工仪表分类

1. 热工仪表分类(见表6.7.1)

热工仪表分类

表 6.7-1

类 别	功 能	主 要 仪 表 名 称
检测仪表	测量工艺过程中的参数变化,并可按要求转换成电信号或气压信号传送	温度测量仪表 差压测量仪表 流量测量仪表 物位测量仪表 成分分析仪
显示仪表	指示、记录被测参数的数值或报警	动圈式仪表 电子式显示仪表 气动显示仪表
调节仪表	根据检测仪表的测量结果和给定信号之间的比较,对工艺过程进行调节,使被调参数保持在给定的范围内	自力式调节器 单一能源式 { 气动调节器 { 电动调节器 { 液动调节器 复合能源调节器
执行器	接受调节器或其他信号,具体对工艺过程的物料量进行调节	电动执行器 气动执行器 液动执行器

2. 常用热工检测仪表的作用原理及测量范围

(1) 温度测量仪表, 见表6.7-2。

温度测量仪表

表 6.7-2

测温仪表种类		作用原理	测量范围 (°C)
接触式	膨胀式温度计 { 液体膨胀式 固体膨胀式	利用液体或固体受热膨胀的特性进行测温	-70 ~ +500
	压力式温度计 { 指示式 记录式 报警式 调节式	利用一定容积的封闭气体、液体或蒸汽受热后膨胀或压力变化的特性进行测温	-100 ~ +550
	电阻温度计 { 铂热电阻 铜电阻 半导体电阻	利用导体或半导体受热后电阻值变化的特性进行测温	-200 ~ +500 -50 ~ +100
	热电高温计	利用热电偶的热电效应进行测温	+200 ~ +1600
非接触式	辐射式高温计 { 辐射高温计 光学高温计 比色高温计	利用物体的热辐射作用进行测温	+400 ~ +2000 +700 ~ +6000 +700 ~ +6000

(2) 压力测量仪表, 见表6.7-3。

压力测量仪表

表 6.7-3

测压仪表种类		作用原理	测量范围
液柱式压力计	{ U形管压力计 单管压力计 多管压力计 倾斜式压力计 补偿式微压计	利用液体静力平衡原理进行测压	0 ~ ±800 Pa 0 ~ ±160 Pa 0 ~ ±6300 Pa 0 ~ 2000 Pa
弹性式压力表	弹簧管压力表 { 普通压力表 标准压力表 精密压力表 电接点压力表 远传压力真空表	利用弹簧管在压力作用下的变形进行测压	0 ~ 0.1 到 0 ~ 60 MPa, -101.3 ~ 0 kPa 0 ~ 0.1 到 0 ~ 60 MPa, -101.3 ~ 0 kPa 0 ~ 0.60 MPa 0 ~ 0.1 到 0 ~ 60 MPa 0 ~ 0.1 到 0 ~ 60 MPa
	波纹管压力表 { 指示式 记录式 电接点式 气动传送式	利用波纹管在压力作用下的伸张进行测压	0.025 到 0 ~ 0.4 MPa
	膜片式压力表 { 指示式 电接点式	利用膜片在压力作用下的变形进行测压	0 ~ 0.06 到 0 ~ 2.5 MPa
	膜盒式压力表 (微压计) { 指示式 附信号装置	利用膜盒在压力作用下的变形进行测压	0 ~ 25 kPa 到 0 ~ 40 kPa

(3) 流量测量仪表, 见表6.7-4。

流量测量仪表

表 6.7-4

流量仪表种类		作用原理	测量范围
速度式流量计	叶轮式 (指示带积算) 涡轮式 (指示、积算)	叶轮或涡轮被流体冲转进行计量	1 ~ 100 m ³ /h 0.032 ~ 1250 m ³ /h
容积式流量计	椭圆齿轮式 (指示、积算)	椭圆形齿轮被流体冲转进行计量	0.05 ~ 210 m ³ /h
差压式流量计	浮子式 (指示、累计、记录) 膜式 (指示、累计、记录)	利用流体通过节流装置时产生的差压进行计量	(16~125) × 10 ³ , m ³ /h, t/h (10~80) × 10 ³ , m ³ , h, t/h
恒压降式流量计	转子式 { 指示式 指示或记录 冲塞式 (指示、积算)	浮子或冲塞上下压降一定, 它们被流体冲起的高度与流体大小成正比	液 0.1 ~ 40000 L/h, 气 0.6 ~ 1000000 L/h, 10 ~ 16000 L/h 0 ~ 4 到 0 ~ 60 m ³ /h
动压式流量计	毕托管 (指示式)	利用流体的动压力与其流速平方成比例的规律进行计量	
电气式流量计	电磁式 (指示、记录) 电动靶式 { 指示式 记录式带调节装置	利用电磁学和力学原理进行计量	0.1 ~ 5000 m ³ /h 0 ~ 124 t/h

(4) 物位测量仪表, 见表6.7-5。

物位测量仪表

表 6.7-5

物位仪表种类		作用原理	测量范围
玻璃液位计	{ 管式 (指示) 板式 (指示)	连通器原理	0 ~ 1200 mm 500 ~ 1400 mm
浮标液面计	{ 指示式 电接点发送式 记录或调节式	浮标浮于液体中随液面变化而升降	10 ~ 40 m 0.5 ~ 10 m 0 ~ 1 m
差压液面计	{ 双玻璃管 (指示) 浮子式 (指示、记录) 薄膜式 (指示、记录) 膜盒式 (指示、记录) 双波纹管 (指示、记录)	液面升降时造成液柱差	0 ~ 700 mm ± 500 mm ± 500 mm ± 500 mm 100 ~ 2500 mm
电式液面计	电容液面计 { 指示、发讯 指示、记录或调节	置于液面中的电容, 其电容值随液面高低而变化	0 ~ 2000 mm 0 ~ 500 mm
	电极式液位讯号器 (无刻度、发讯)	利用电极装置, 当液面超过规定范围, 发出电讯号	0.2 ~ 5 m 2 ~ 10 m

(5) 气体成分分析仪表, 见表6.7-6。

气体成分分析仪表

表 6.7-6

气体成分分析仪种类	作用原理	测量范围
红外线气体分析仪	基于各种气体对红外线的不同吸收效应, 分别测定烟气中CO、CO ₂ 、SO ₂ 、NO ₂ 、NO等	
热磁式氧量分析仪	利用氧的磁化率特别高的特性来测定烟气中氧的含量	0~0.5%、 0~1%、 0~2.5%、 0~10%、 0~21%
氧化锆氧量计	在800℃以上的高温条件下, 将成为固体电解质的氧化锆作成传感器, 用测定其两极间的氧浓差电势, 以确定气体中氧的含量	0.1~20.6%
奥氏分析仪 (手工操作)	根据化学原理, 用计量欲分析气体通过吸收试剂前后在刻度管中体积差的办法, 以得出各种气体的含量	

6.7.2 热工检测与控制的基本要求

1. 热工检测

(1) 对于锅炉房各工艺设备安全运行所必须的仪表, 应装设齐全; 对于经济运行和经济核算所需仪表, 应根据锅炉类型和生产需要等条件进行设置。

(2) 单台锅炉额定出力 $<2\text{t/h}$ (1.4MW)时, 其热工测量仪表宜就地安装; 4t/h (2.8MW)的锅炉, 除应就地安装的仪表外, 还应设置单独配套的炉前集中仪表盘; $>6\text{t/h}$ (4.2MW)的锅炉, 可设置集中仪表间。

(3) 容量大的水处理系统、热交换系统和运煤系统, 宜分别设置仪表控制室或电气控制室。

(4) 锅炉房热力系统主辅机设备, 宜设置如表6.7-7、8所列的热工检测仪表。

锅炉热工检测仪表

表 6.7-7

序号	检测点及检测项目	热工检测仪表设置标准							报警信号		
		蒸汽锅炉 (t/h)			热水锅炉 (MW)			仪表类型			
		<4	6~10	>20	<2.8	4.2~7	>14	指示		记录	积算
一、锅炉房											
1	总供汽量		△				△		△		
2	过热蒸汽温度		△				△	△			
3	总供热量					△	△		△		
4	燃料总耗量		△			△			△		
5	原水总耗量		△			△	△		△		
6	热水系统补给水量					△	△		△		
7	总电耗量		△			△	△		△		

续表

序号	检测点及检测项目	热工检测仪表设置标准									报警信号
		蒸汽锅炉 (t/h)			热水锅炉 (MW)			仪表类型			
		<4	6~10	>20	<2.8	4.2~7	>14	指示	记录	积算	
二、锅炉本体											
1	锅筒蒸汽压力	△	△	▲				△	▲		△过高
2	锅筒水位	△	△	▲				△	▲		△过低、过高
3	过热蒸汽压力、温度	△	△	▲				△	▲		△温度过低、过高
4	锅筒进口或省煤器进出口 水压	△	△	△				△			
5	省煤器进出口水温	△	△	△				△			△过高
6	锅炉进出口水温				△	△	▲	△	▲		△出口水温过高
	水压				△	△	△				△锅炉压力过低
7	锅炉循环水流量				△	△	▲		▲		
8	燃料耗量	△	△	△	△	△	△			△	
9	蒸汽流量	△	△	▲				△	▲	△	
10	给水流量	△	△	△				△		△	
11	排烟温度	△	△	△	△	△	△	△			
12	排烟含氧量或二氧化碳含量		(△)	△		(△)	△	△	△		
13	炉膛出口、对流受热面进 出口、省煤器出口、空气预 热器出口、湿式除尘器出口 烟气温度		△	△		△	△	△			
14	空气预热器出口热风温度		△	△		△	△	△			
15	炉膛、对流受热面进出口、 省煤器出口、空气预热器出 口、除尘器出口烟气压力		△	△		△	△	△			
16	一次风压及风室风压		△	△		△	△	△			
17	二次风压		△	△		△	△	△			
18	鼓、引风机负荷电流			△			△	△			
19	锅炉炉排										△故障停运

注：1. (△) 表示有条件时可装设的仪表。

2. 对火管锅炉或水火管组合锅炉，当不便装设检测各段风、烟系统的压力和温度测点时，可不监测。

锅炉房辅机部分热工检测仪表

表 6.7-8

序号	辅机名称及检测点	检测项目						仪表类型			报警信号
		温度	压力	真空度	水位 (液位)	流量	电流	指示	记录	积算	
1	水泵部分										
(1)	水泵出口		△				(△)	△			△连续给水调节 时水泵故障
(2)	循环水泵进出口		△					△			△循环泵故障
(3)	汽泵蒸汽进口		△					△			
2	离子交换水处理部分										
(1)	交换器进水	(△)	△					△			
(2)	交换器出水(软水)		△			▲		△		▲	
(3)	再生液					△		△			
3	热力除氧及真空除氧部分										
(1)	除氧器工作压力		△	△				△			
(2)	除氧器进水	△						△			
(3)	除氧水箱内水	△			△			△			△水位过低过高
(4)	热力除氧蒸汽压力调节器		△					△			
4	热交换部分										
(1)	换热器加热及被加热介质进出口	△	△					△			△出水温过高
(2)	加热及被加热介质进出口总管	△	△			▲		△		▲	
5	水箱、容器部分										
(1)	水箱、油箱				△			△			
(2)	酸碱贮罐				△			△			
(3)	连续排污膨胀器		△		△			△			
(4)	蒸汽分汽缸		△					△			
(5)	蒸汽蓄热器	△	△		△			△			
6	减温减压部分										
(1)	高压侧蒸汽	△	△					△			
(2)	低压侧蒸汽	△	△			▲		△	▲	▲	
(3)	减温水	△	△			△		△			
7	热水系统										
(1)	加压膨胀水箱		△		△			△			△过高或过低
(2)	供回水总管	△	△					△			

注: 1. 功率<20kW的水泵可不装负荷电流表。

2. 无加热过程的离子交换器可不装进水温度检测仪表。

3. 除氧器工作压力及除氧水箱水位, 宜引至水处理控制室或锅炉控制室。

2. 热工控制 (见表6.7-9)

锅炉房热工控制

表 6.7-9

序号	项 目	热 工 控 制 装 置	保 护 及 其 他
1	蒸汽锅炉水位自动调节	<ul style="list-style-type: none"> • 位式调节 ($<4t/h$) <ul style="list-style-type: none"> 双位浮子式 双位电极式 双位电感式 • 连续调节 ($>6t/h$) <ul style="list-style-type: none"> 单冲量 (水位) 双冲量 (水位、蒸汽流量) 三冲量 (水位、蒸汽流量、给水流量) 	司炉操作地点应设置手动控制装置 备用电动给水泵宜装设自动投入设施 应装设极限低水位保护及($>6t/h$) 蒸汽超压 (自动停炉) 保护装置
2	热水供热系统自动调节	<ul style="list-style-type: none"> • 系统定压自动补水装置 (防汽化, 倒空) <ul style="list-style-type: none"> 低位水箱 + 补水泵 (压力控制器) 高位水箱 + 补水泵 (压力控制器) 加压膨胀水箱 (水位及压力自动调节) • 炉水超温汽化自动保护装置 <ul style="list-style-type: none"> 油、气锅炉 (自动切断燃料供应) 层燃煤炉 (自动切断鼓引风机) (调节加热介质流量) • 换热站供水温度自动调节 <ul style="list-style-type: none"> 电动调节阀 气动调节阀 自力式温度调节阀 	应设置超压时自动泄压装置和自动排气装置 锅炉压力过低, 炉水温超过规定值及循环水泵故障停运时应发出报警信号 出水温度过高应发报警信号
3	燃烧过程自动调节	<ul style="list-style-type: none"> • 燃油, 燃气锅炉 (蒸汽压力~燃料量, 燃料~空气的比值调节) • $>20t/h$ (14MW) 链条炉排锅炉 <ul style="list-style-type: none"> 热量~风量燃烧调节系统 有氧量校正的燃烧调节系统 	宜采用微机控制
4	热力、真空除氧自动调节	<ul style="list-style-type: none"> • 热力除氧 <ul style="list-style-type: none"> 水位自动调节 <ul style="list-style-type: none"> 浮球自力式 电动式 气动式 蒸汽压力自动调节 • 真空除氧 <ul style="list-style-type: none"> 水位自动调节 <ul style="list-style-type: none"> 浮球自力式 电动式 气动式 进水温度自动调节 	水位过高过低应发出报警信号
5	过热器及减温减压装置的自动调节	<ul style="list-style-type: none"> • 带喷水减温的锅炉蒸汽过热器——过热蒸汽温度自动调节 (调节喷水量) • 减温减压装置 <ul style="list-style-type: none"> 供汽压力自动调节 供汽温度自动调节 	温度过高过低应发出报警信号
6	燃油、燃气锅炉点火程序控制和熄火保护	<ul style="list-style-type: none"> • 点火程序控制——电气点火装置, 熄火保护装置, 程序控制器 • 熄火保护装置——火焰监测装置, 电磁阀 	点火按程序正常工作或失败应给出相应信号 火焰熄灭或不稳时发出报警信号并自动快速切断燃料

序号	项 目	热 工 控 制 装 置	保 护 及 其 他
7	鼓、引风机及燃料供应电气联锁装置	<ul style="list-style-type: none"> • 层燃炉 <ul style="list-style-type: none"> 开炉程序——引风机、鼓风机、炉排减速箱和抛煤机 停炉程序——抛煤机、炉排减速箱、鼓风机、引风机 • 燃油、气锅炉 <ul style="list-style-type: none"> 引风机故障——自动切断鼓风机和燃料供应 鼓风机故障——自动切断燃料供应 燃料供应压力低于规定值——自动切断燃料供应 	<p>开炉、停炉程序工作应发出相应的信号</p> <p>并应设置解除联锁和就地操作的装置</p> <p>应发出相应的故障报警信号</p>
8	连续机械化运煤、除灰渣系统电气联锁装置	<ul style="list-style-type: none"> • 运煤、除灰渣系统 <ul style="list-style-type: none"> 顺序起动——逆物料输送方向依次起动 顺序停车——顺物料输送方向依次停车，并设停车延时联锁 事故停车——故障点以前的设备立即停车，故障点以后的设备继续运转将料卸空 除灰渣机械过载停车保护 • 运煤系统局部排风除尘装置 <ul style="list-style-type: none"> 起动——先起动排风除尘装置 停止——后停止排风除尘装置 	<p>应发出相应工作状态的信号、故障报警信号</p> <p>除集中操作控制外，为方便单机试车，应设局部联锁和解除联锁装置</p> <p>各设备岗位应设起动、运行、生产联系和事故信号。起动和生产运行联系信号必须有往返系统</p>
9	遥控装置	<ul style="list-style-type: none"> • 鼓引风机 ($> 6 \text{ t/h}$, 4.2 MW) <ul style="list-style-type: none"> 进风门遥控 风机开度指示 • 有关的电动设备、阀门、烟风道门 	

3. 链条炉排锅炉配套仪表、自控装备 (见表6.7-10)

链条炉排锅炉配套仪表、自控装备表

表 6.7-10

锅炉参数			检 测		调 节		报 警 和 保 护		顺 控 及 其 他	
出力	压力	温度	1		2		3		4	
1~2 t/h	0.4 ~ 1.6 MPa	饱	必 备	汽包水位、蒸汽压力、给水压力、排烟温度 (可就地安装)	必 备	位式给水自动调节, 其他辅机配开关控制	必 备	水位过低、过高指示报警和极限过低水位保护, 蒸汽超压指示报警和保护	推 荐 选 用	鼓、引风机和炉排启停顺控和连锁
			推 荐 选 用	给水流量积算、烟量积算, 排烟含氧量测定	推 荐 选 用	燃烧位式自控				
4 t/h	0.7 ~ 2.5 MPa	和	必 备	汽包水位、蒸汽压力、给水压力、排烟温度、省煤器进出口水温、炉膛负压、(可就地安装)	必 备	位式或连续给水自动调节, 其他辅机配开关控制	必 备	水位过低、过高指示报警和极限过低水位保护, 蒸汽超压指示报警和保护	推 荐 选 用	如“调节”用推荐选用栏时, 应设鼓、引风门开度指示和炉排转速指示
			推 荐 选 用	蒸汽流量指示, 积算, 煤量积算, 排烟含氧量测定	推 荐 选 用	送、引风风门挡板遥控和炉排无级调速, 燃烧自动调节				

续表

锅炉参数			检测		调节		报警和保护		顺控及其他						
出力	压力	温度	1		2		3		4						
6 7 10 t/h			饱和	必备	汽包水位, 蒸汽压力, 给水压力, 给水流量积算, 省煤器进出口水温, 蒸汽流量指示、积算, 排烟温度, 炉膛负压, 除尘器前后负压	必备	连续给水自动调节, 鼓、引风风门挡板遥控, 炉排无级调速	必备	水位过低、过高指示报警和极限过低水位保护, 蒸汽超压指示报警和保护, 炉排事故停转灯、光指示和报警	必备	鼓、引风风门开度指示和炉排转速指示				
				推荐选用	炉膛出口烟温, 煤量指示, 积算, 排烟含氧量测定	推荐选用	燃烧自动调节								
			过热	必备	增加过热蒸汽温度指示, 其余同上必备栏	必备	增加减温水调节阀遥控, 其余同上必备栏					必备	过热蒸汽温度过高、过低指示和报警, 其余同上饱和蒸汽必备栏	推荐选用	增加减温水阀位指示
				推荐选用	同上推荐选用栏	推荐选用	同上推荐选用栏								
20 35 t/h	0.7 1 2.5 MPa		饱和	必备	汽包水位, 蒸汽压力, 给水流量指示、积算、记录, 省煤器进出口水温, 排烟温度, 空气预热器出口风温, 省煤器进出口负压, 除尘器前后负压, 一次风压, 炉膛负压	必备	连续给水自动调节, 鼓、引风风门挡板遥控, 炉排采用无级调速遥控	必备	水位过低、过高指示、报警和极限过低水位保护, 蒸汽超压指示、报警和保护, 炉排事故停转灯、光指示和报警	必备	鼓、引风风门挡板开度指示和炉排转速指示				
				推荐选用	炉膛出口烟温, 对流管束烟温, 煤量指示、积算, 排烟含氧量或二氧化碳含量测定	推荐选用	燃烧自动调节								
			过热	必备	同饱和和必备栏, 增加过热蒸汽温度指示、记录	必备	同上必备栏					必备	水位过低、过高指示、报警和极限过低水位保护, 蒸汽超压指示报警和保护, 炉排事故停转灯、光指示和报警	推荐选用	鼓、引风风门挡板开度指示和炉排转速指示, 增加减温水阀位指示
				推荐选用	同上推荐选用栏	推荐选用	同上推荐选用栏								

注: 1. 本表为机械部(82)机电字439号文中的“关于工业锅炉控制配套项目”附表。

2. 附表说明:

- (1) 工业锅炉的检测、调节、报警和保护、顺序控制组成一个完整的控制系统, 以保证锅炉安全、经济运行, 为节能、环保创造必要的条件。
- (2) 本表为链条炉排工业锅炉制定的, 对于其他炉型的自控系统, 另行制定。
- (3) 各生产厂今后新设计的产品均应按本表试行。

6.7.3 锅炉热工控制方案

1. 锅炉水位自动调节

- (1) 单冲量给水自动调节系统, 见图6.7-1。
- (2) 双冲量给水自动调节系统, 见图6.7-2。
- (3) 三冲量给水自动调节系统, 见图6.7-3。

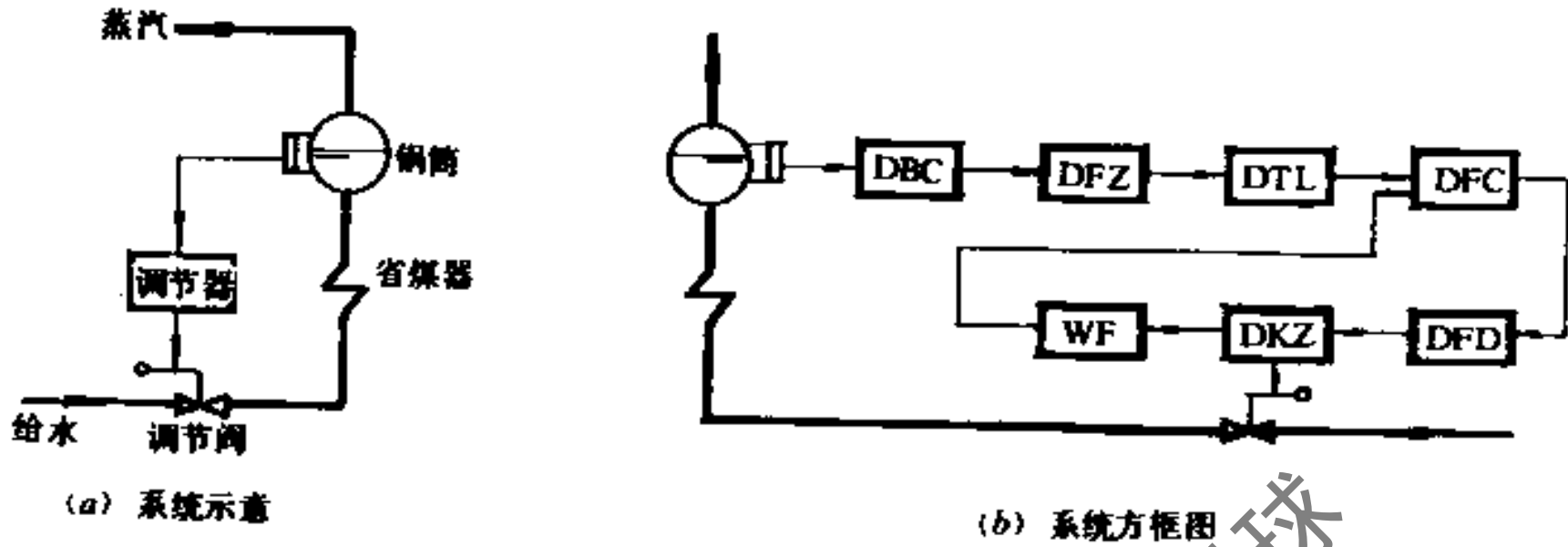


图 6.7-1 单冲量给水自动调节系统

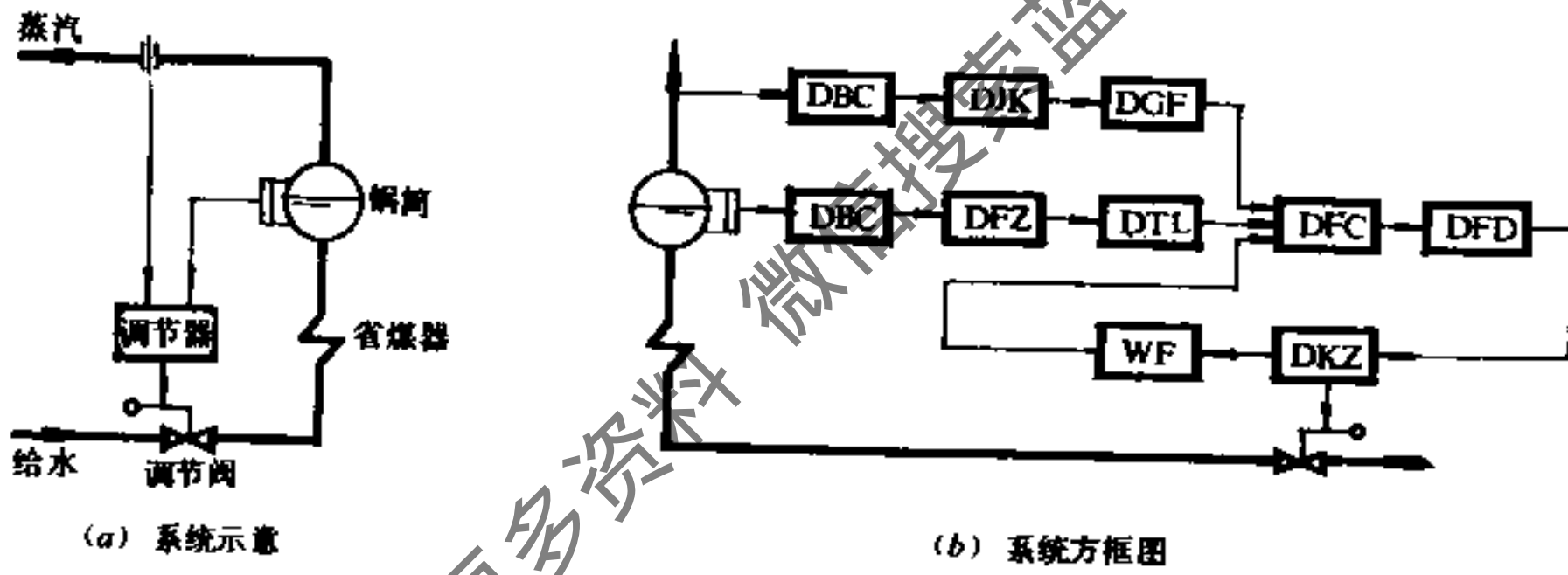


图 6.7-2 双冲量给水自动调节系统

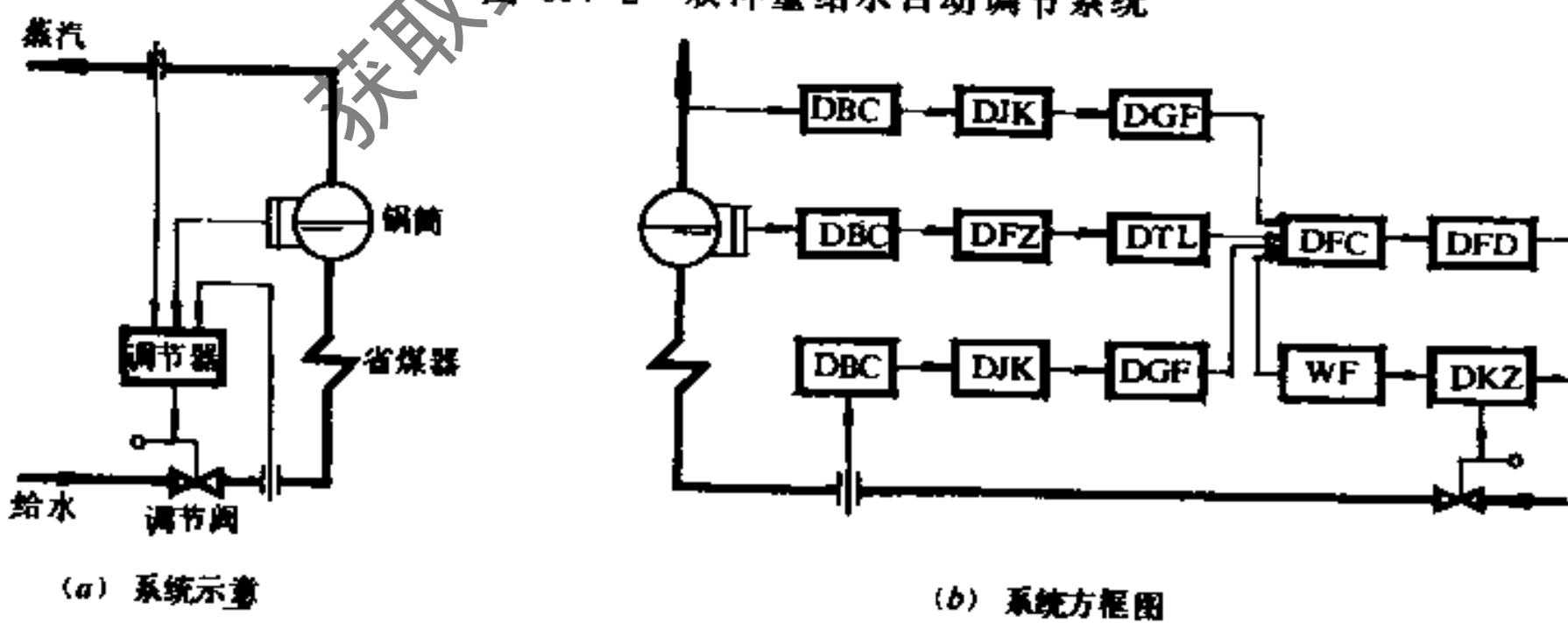


图 6.7-3 三冲量给水自动调节系统

2. 除氧器的自动调节

- (1) 压力自动调节系统, 见图6.7-4。
- (2) 水箱水位自动调节系统, 见图6.7-5。

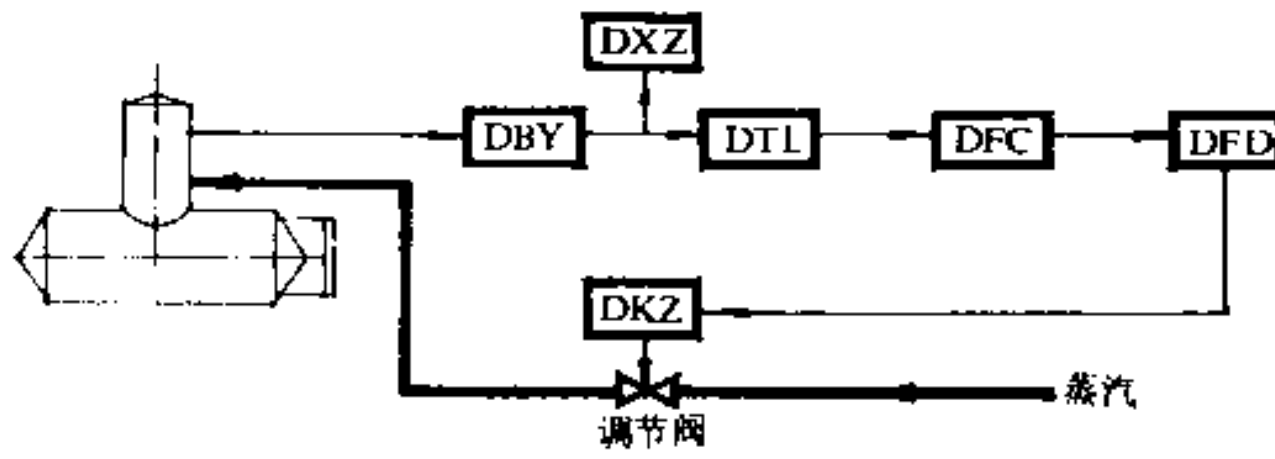


图 6.7-4 除氧器压力自动调节系统

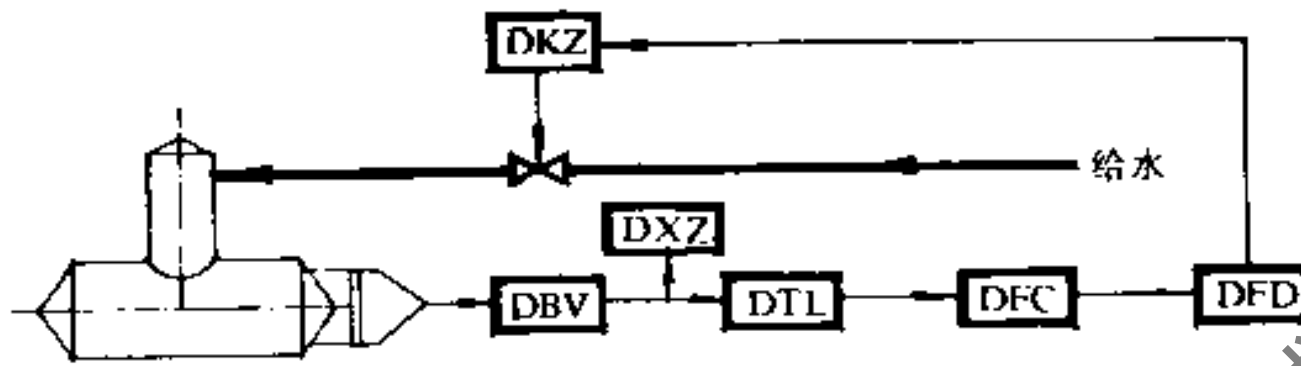


图 6.7-5 除氧水箱水位自动调节系统

图6.7-1到6.7-5中所采用的仪表型号说明:

DBC—差压变送器	DBV—液位变送器	DBY—压力变送器
DFC—伺服放大器	DFD—操作器	DFZ—阻尼器
DGF—分流器	DJK—开方器	DKZ—执行器
DTL—调节器	DXZ—单针指示仪	WF—阀位反馈

3. >10t/h 链条炉排锅炉的燃烧自动调节系统 (见图6.7-6)

设计图6.7-6〔方案3〕系统时注意应符合以下几点:

- 应以蒸汽压力为主调参数, 鼓风机为副调参数;
- 风煤比值调节器的给定值, 应根据煤种计算或实际测试取得给定值的最佳值;
- 采用氧化锆测氧器, 测量烟气含氧量, 作为煤风配比的自动校正信号, 氧化锆探头应设置在 $700 \pm 100^\circ\text{C}$ 的烟道区域内;
- 烟气负压调节, 应以炉膛负压为主信号, 鼓风量通过分流后的信号作辅助信号, 这是一个前馈和单络反馈的复合调节系统。

4. 10t/h 锅炉热工仪表及调节系统 (见图6.7-7及表6.7-11)

热工测量仪表及自控仪器仪表一览表

表 6.7-11

序号	仪表代号	仪表名称	测量及安装地点	被测物理特性			型号	规格
				介质	温度(°C)	表压		
1	T ₁₋₁	动圈式温度指示仪	仪表盘	—	—	—	XCZ-101	分度号: EU-2 刻度 0 ~ 1600 °C
2	T ₁₋₂	镍铬—镍铝热电偶	炉膛	烟气	1200	常压	WREU-110	插入深 l = 800 总长 1000, 分度号: LB-3

续表

序号	仪表代号	仪表名称	测量及安装地点	被测物理特性			型号	规格
				介质	温度(°C)	表压		
3	T ₂₋₁	动圈式温度指示仪	仪表盘	—	—	—	XCZ-101	分度号: EA-2 刻度 0 ~ 600 °C
4	T ₂₋₂	油浸切换开关	仪表盘	—	—	—	WKR-61	
5	T ₂₋₂	镍铬-考铜热电偶	省煤器烟 气入口	烟 气	360	常 压	WREA-110	插入深 l = 750 总长900, 分度号: EA-2
6	T ₂₋₄	镍铬-考铜热电偶	省煤器烟 气出口	烟 气	264	常 压	WREA-110	插入深 l = 750 总长900, 分度号: EA-2
7	T ₂₋₅	镍铬-考铜热电偶	空气预热 器烟气出口	烟 气	176	常 压	WREA-110	插入深 l = 750 总长900, 分度号: EA-2
8	T ₂₋₆	镍铬-考铜热电偶	热空气管 道	空 气	142	常 压	WREA-110	l = 300, 总长450, 分度号: EA-2
9	P ₁₋₁	动圈式压力指示报警 仪	仪表盘	—	—	—	XCT-124	刻度 0 ~ 2.5 MPa
10	P ₁₋₂	远传压力表	蒸汽出口 管	蒸 汽	190	1.6 MPa	YCD 150	刻度 0 ~ 2.5 MPa
11	P ₂₋₁	动圈式指示仪	仪表盘	—	—	—	XCZ-103	刻度 ± 200 Pa
12	P ₂₋₂	霍尔微压变送器	炉膛负压	烟 气	1200	-30 Pa	HWY-1	刻度 ± 200 Pa
13	P ₃₋₁	动圈式指示仪	仪表盘	—	—	—	XCZ 103	刻度 -4000 ~ 0 Pa
14	P ₃₋₂	油浸切换开关	仪表盘	—	—	—	WKR-61	刻度 -4000 ~ 0 Pa
15	P ₃₋₃	霍尔微压变送器	除尘器前 负压	烟 气	180	-2200 Pa	HWY-1	刻度 -4000 ~ 0 Pa
16	P ₃₋₄	霍尔微压变送器	除尘器后 负压	烟 气	180	-1200 Pa	HWY-1	刻度 -4000 ~ 0 Pa
17	P ₄₋₁	动圈式指示仪	仪表盘	—	—	—	XCZ-103	刻度 0 ~ 4000 Pa
18	P ₄₋₂	油浸切换开关	仪表盘	—	—	—	WKR-61	

续表

序号	仪表代号	仪表名称	测量及安装地点	被测物理特性			型号	规格
				介质	温度(°C)	表压		
19	P ₄₋₃	霍尔微压变送器	预热器前鼓风机	空气	—	1500Pa	HWY-1	刻度 0 ~ 4000 Pa
20	P ₄₋₄	霍尔微压变送器	预热器后鼓风机	空气	—	1500Pa	HWY-1	刻度 0 ~ 4000 Pa
21	G ₁₋₁	开方积算器	仪表盘	—	—	—	DXS-202	
22	G ₁₋₂	双针指示记录仪	仪表盘	—	—	—	XWD ₁ -200	0 ~ 10 mV
23	G ₁₋₃	差压变送器	就地	—	—	—	DBC-311	差压范围 0 ~ 20000 Pa
24	G ₁₋₄	流量孔板	蒸汽出口管	蒸汽	190	1.6		$P = 1.6, Q = 10, D_s = 150$
25	G ₂₋₁	开方积算器	仪表盘	—	—	—	DXS-202	
26	G ₂₋₂	差压变送器	就地	—	—	—	DBC-311	差压范围 0 ~ 20000 Pa
27	G ₂₋₃	流量孔板	给水进口管	给水	104	1.6		
28	G ₃₋₁	切换开关	仪表盘	—	—	—	KHS-2W6D	二位六刀
29	H ₁₋₁	单针指示报警仪	仪表盘	水位	—	—	DXB-113	输入 0 ~ 10 mA 刻度 0 ~ 10 mA
30	H ₁₋₂	比例积分调节器	仪表盘	水位	—	—	DTL-231	PI作用, 输出 0 ~ 10 mA
31	H ₁₋₃	操作器	仪表盘	水位	—	—	DFD-07	
32	H ₁₋₄	伺服放大器	仪表盘	水位	—	—	DFC	与DKZ配套
33	H ₁₋₅	电动双通调节阀	给水进水管	给水	—	—	DKF	执行器DKZ-400
34	H ₁₋₆	差压变送器	就地	汽水	—	—	DBC 211	差压范围 ± 2000 ~ 0 Pa
35	H ₁₋₇	水位平衡器	汽包	汽水	—	—	FP	
36	JB	闪光信号报警器	仪表盘	—	—	—	JBJ-I	
37	DL	音响报警器	仪表盘	—	—	—		电铃与JBJ-I配套

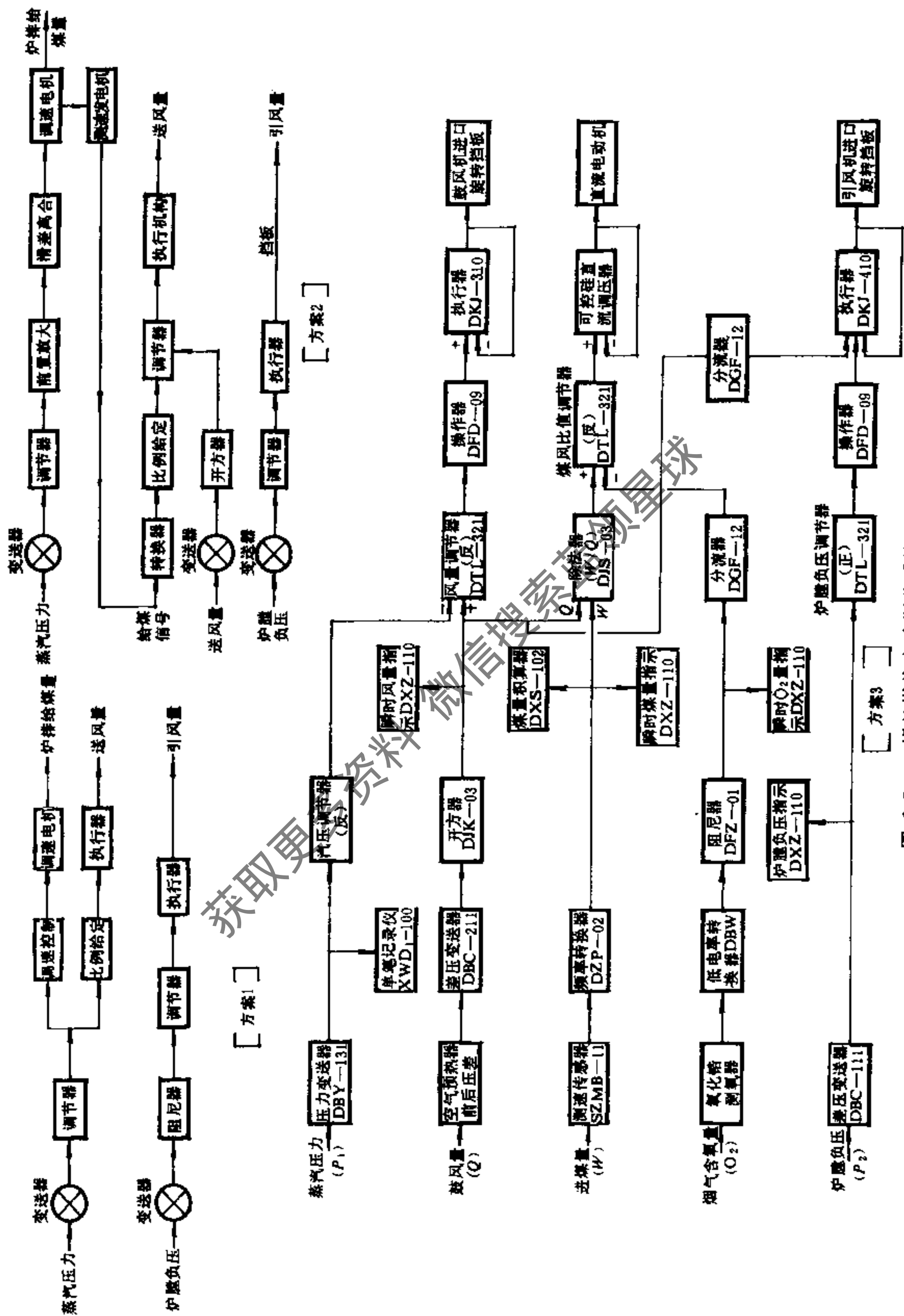


图 6.7-6 钢炉燃烧自动调节系统

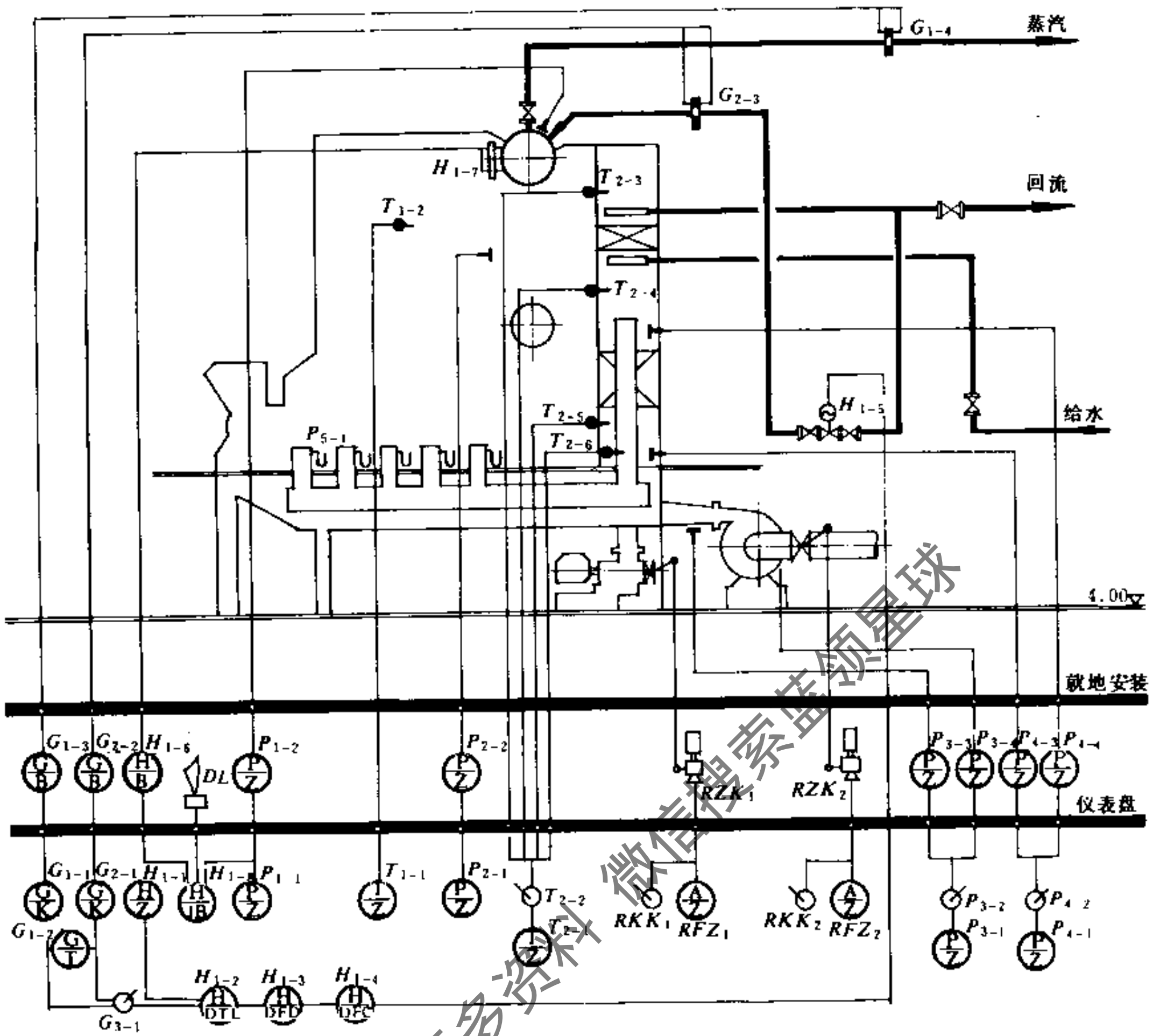


图 6.7-7 锅炉热工仪表及调节系统图

6.8 锅炉房典型设计

6.8.1 锅炉房设计基础资料

1. 新建锅炉房

(1) 热负荷资料应包括以下内容, 但规模较小的供热锅炉房可适当简化。

1) 全厂(或企事业单位)各车间(各栋建筑物)的蒸汽或热水的热负荷, 包括小时的最大热负荷, 小时平均热负荷, 全年热负荷, 蒸汽或热水参数, 生产班制和热负荷特点(如使用情况、预热时间等)等。

2) 生活用热负荷: 浴室、开水炉、炊事用的小时热负荷和使用时间。

3) 采暖通风用的小时最大热负荷。

4) 蒸汽喷射制冷用的小时最大热负荷及其使用时间和使用情况。

5) 余热利用的最大和平均小时产热量及蒸汽或热水参数。

6) 相邻单位协作供热资料, 包括热源输送距离、热负荷、介质参数、价格、凝结水回水要求等。

7) 建设单位用热发展情况, 包括是否分期扩建, 热负荷增加情况, 或附近有无热电厂, 是否有改为热电厂供热的可能性。

8) 凝结水回收量。

9) 全厂(或全地区)热负荷曲线。

(2) 煤质资料

1) 煤的产地, 矿井名称, 价格, 运输距离及运输工具(公路、铁路、水运)。

2) 煤质分析资料应包括:

元素分析(%): C^y 、 H^y 、 O^y 、 N^y 、 S^y 、 A^y 、 W^y ;

工业分析(%): W^y 、 A^y 、挥发份 V^y 、固定碳 C_{Gd}^y ;

煤的低位发热量 Q_{bw} (kJ/kg)。

3) 煤的粘结性及燃烧的情况。

4) 煤的变形温度、软化温度和液化温度(即 t_1 、 t_2 、 t_3)。

5) 煤的可磨系数 K_{km} 。

6) 煤的粒度及筛分资料。

(3) 水质资料

水质资料应包括表6.4-1所列内容。

(4) 气象资料

气象资料应包括表6.8-1所列内容。

(5) 地质资料应具有下列内容:

1) 地质资料包括湿陷性黄土, 地下水位、地耐力等;

2) 地震等级。

气象资料项目表

表 6.8-1

序号	项 目	单 位	数 值
1	海拔高度	m	
2	室外计算温度 冬季采暖 冬季通风 夏季通风	℃	
3	采暖期室外平均温度 采暖天数	℃ d	
4	主导风向及频率 冬季 夏季		
5	大气压力 冬季 夏季	Pa	
6	最大冻土深度	m	

(6) 全厂总平面图、地形图

(7) 设备、材料资料

1) 锅炉机组资料: 初步设计时应掌握锅炉及辅机的主要技术参数、型号、规格、外形图及价格资料; 施工图设计时, 应取得锅炉安装(设备基础、配管、平台扶梯、风烟接管、操作位置等)图纸资料。

2) 辅助设备资料: 包括风机、水泵、各种标准及非标准设备图纸、技术参数及价格。

3) 材料: 主要包括当地的保温材料、管材、钢材等。

2. 改建、扩建锅炉房

改、扩建锅炉房除应掌握新建锅炉房设计基础资料外, 尚应搜集下列资料:

(1) 原有锅炉房及已购置设备的型号、规格、数量、制造厂、使用年限、主要尺寸、运行使用情况及存在问题等。

(2) 原锅炉房的施工图(包括建筑、结构、水、暖、电、工艺等各专业原施工图)。

(3) 现场实际情况与施工图资料的差异(包括各专业施工时的变更)。

(4) 原有锅炉房的运行记录、存在问题及事故分析等。

(5) 原锅炉房的人员组织、技术经济定额等。

6.8.2 锅炉房设计文件编制深度

1. 初步设计

(1) 设计说明书应包括以下内容:

1) 设计依据: 包括上级批准文号; 设计基础资料(如气象、地质、水质分析、燃料种类、来源和分析等); 建设单位和本工程其他专业提供的设计资料(如总平面布置图、介质耗量及介质参数、要求等)。

2) 设计范围及原则

a. 设计的指导思想及设计原则。

b. 设计范围及对以后发展或扩建的考虑。

c. 供热的协作关系。

d. 改建、扩建工程, 应说明对原有锅炉房建筑和设备利用情况。

e. 关于废气、废水、废渣和噪声治理、综合利用等设施方案, 节能和环保措施等。

3) 热负荷的确定及锅炉型号的选择

a. 确定计算热负荷量, 列出全厂热负荷表, 并说明各种系统的选用情况。

b. 根据计算热负荷量, 确定锅炉型号、台数, 并说明备用情况及夏季运行台数。

c. 供热介质及参数的确定。

4) 锅炉房热力系统及辅机的选择

a. 水处理系统方案的确定和软化水设备的选择; 运行周期及再生液的制备; 除氧方案及除氧器和除氧水箱容量及台数的确定。

b. 给水系统及方式。

c. 蒸汽及凝结水系统, 热水循环系统及定压方式。

d. 排污及排污水热量的回收。

e. 各种水泵和加热设备等的台数及备用情况。

5) 烟、风系统和烟气除尘

- a. 鼓、引风系统的选择。
- b. 烟囱计算 (确定上口直径和高度)。
- c. 烟气除尘方案的确定和净化效果。

6) 上煤、除灰渣系统的确定

- a. 燃料消耗量、贮存煤场、运输方式。
- b. 根据煤种、特性和锅炉燃烧设备的型式, 确定加工处理设备, 计量和输送设备。

7) 锅炉房布置

简述锅炉房组成, 附属设备间的布置, 以及对扩建发展的考虑等。

8) 技术经济指标 (见表 6.8-2)。

9) 需要请在设计审批时解决或确定的主要问题。

(2) 设计图纸 (锅炉房容量 $\leq 10\text{t/h}$ 锅炉房可以简化):

锅炉房设计技术经济指标表

表 6.8-2

序号	名称	单位	设计指标	备注
1	主要设备名称及型号	台		
2	建筑面积	m^2		
3	燃料消耗量	kg/h 或 t/d		
4	灰渣量	kg/h 或 t/d		
5	蒸汽消耗量	MW 或 kg/h		
6	自来水消耗量	kg/h		
7	软化水消耗量	kg/h		
8	酸、盐等还原剂耗量	kg/h		
9	润滑油耗量	kg/h		
10	耗电量 $\frac{\text{安装容量}}{\text{运行容量}}$	kW		
11	其他			
12	劳动定员			

1) 设备平、剖面布置图 图上应绘出设备布置, 定位尺寸及设备编号, 并注明房间名称及各层标高。本图应与建筑、结构图一致并表示出门、窗、楼梯、平台及地坑位置, 建筑轴线尺寸。

2) 热力系统图 应表示和注明设备之间的关系, 汽、水管道工艺流程及就地安装测量仪表的位置等。

3) 燃料及除灰渣系统图 当设备平、剖面布置图不能清楚表达燃料和除灰渣方案时, 应单独绘制燃料系统图。

4) 锅炉房区域布置图 锅炉房为独立工程或当总平面布置图上不能清楚表示时, 应单独绘制锅炉房区域布置图。图上标明锅炉房、燃料及灰场、烟囱的位置及其与周围建筑物的相互关系和尺寸。

2. 施工图

施工图应包括如下内容:

- 1) 图纸目录 先列新绘制图纸, 后列选用的标准图或重复利用图。

2) 首页 (即设计、施工说明) 主要内容为: 锅炉房设计容量, 建设期限, 运行介质参数 (压力、温度等); 系统运行的特殊要求及维修管理中的特别注意事项; 材料及附件选用, 管道安装坡度要求; 设备和管道防腐、保温及涂色要求; 设备与管道和土建配合要求; 安装与土建施工的配合及设备基础与到货设备尺寸的核对要求; 设计所采用的图例符号说明等。

列出全部工程的热负荷统计表, 设备、材料表 (设备、主要材料、附件及就地安装仪表等)。

3) 锅炉房区域总平面图 绘出锅炉房及其附属设施, 如运煤、除灰渣、煤场、灰渣场等的总体布置和相对尺寸。

4) 热力系统图 绘出设备的关系, 各种管道工艺流程及附件的设置; 绘出就地测量仪表设置的位置; 按本专业制图暂行规定注明规定符号, 管径及介质流向并注明设备名称或设备编号。

5) 设备管道平、剖面布置图, 应包括下列内容:

a. 绘出建筑物的墙、门、窗、楼梯、平台、地坑等位置; 注明房间名称、建筑轴线、尺寸及标高等;

b. 绘出设备安装位置及编号;

c. 表示出汽、水、风、烟等管道系统平、剖面安装位置, 并注明管道阀门、附件、补偿器、管道固定支架及弹簧支吊架安装位置, 以及就地安装一次测量仪表的位置等。

6) 如果设备部分比较复杂时, 可绘制局部放大图或单独绘制设备平、剖面布置图。

7) 其他图纸 如机械化运输平、剖面布置图, 设备安装大样图, 非标准设备制造图等, 可根据工程实际需要进行绘制。

6.8.3 锅炉房布置示例

1. 三台SHL-10-13A型锅炉房 (见图6.8-1~图6.8-6, 主要设备表见表6.8-3)

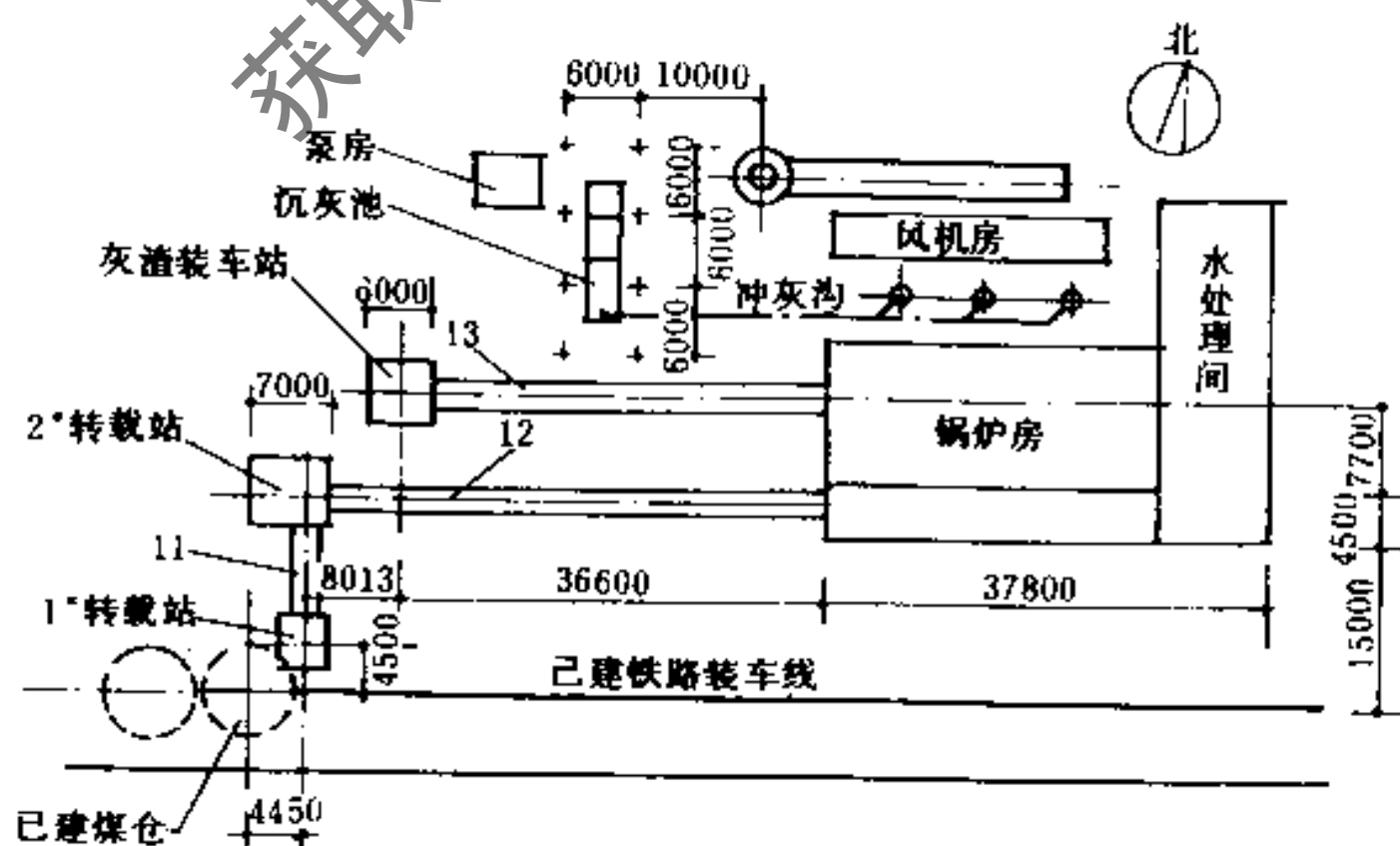


图 6.8-1 三台SHL-10-13A型锅炉房区域布置图

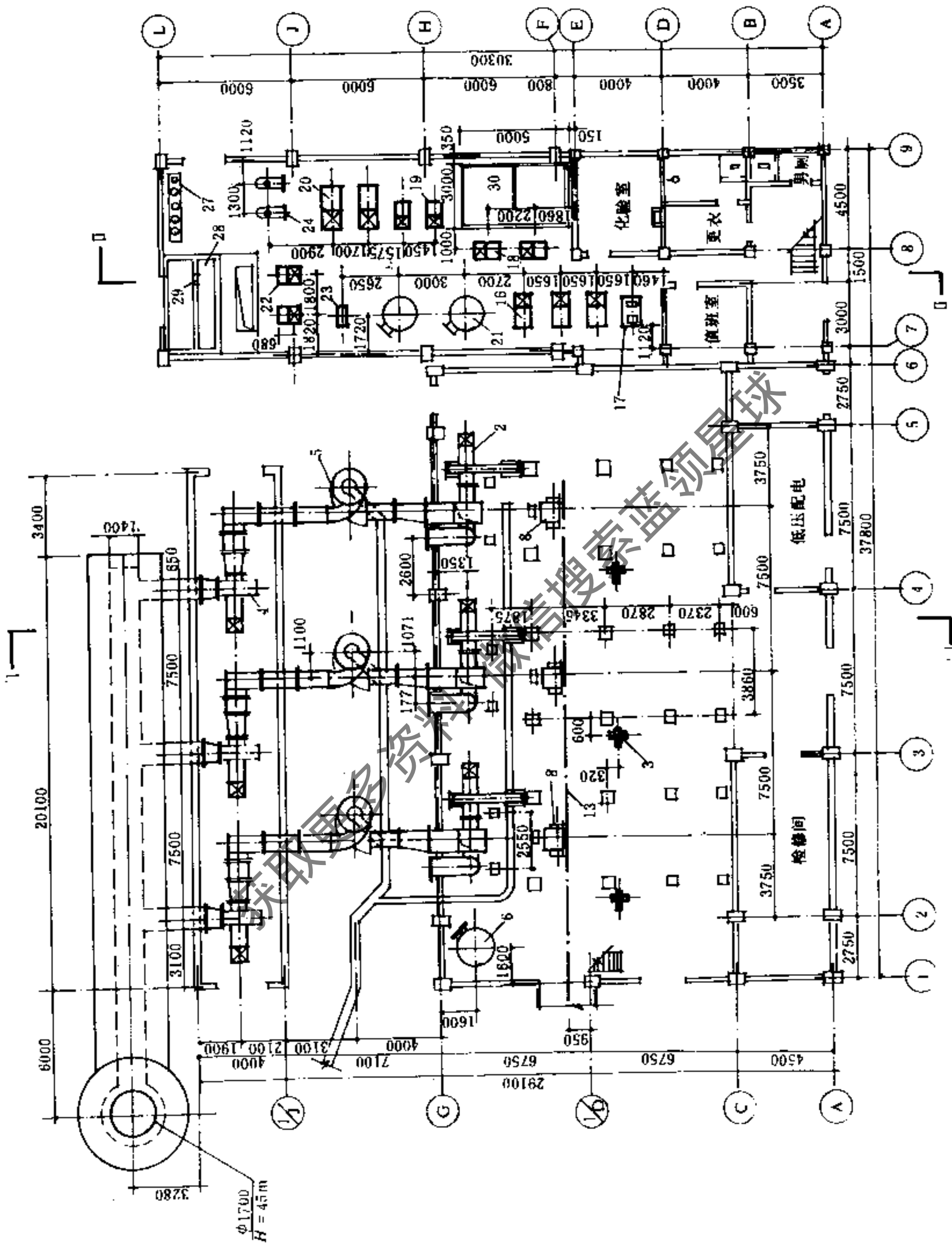


图 6.8-2 三台SHL-10-13 A 型锅炉房 ±0.00 平面图

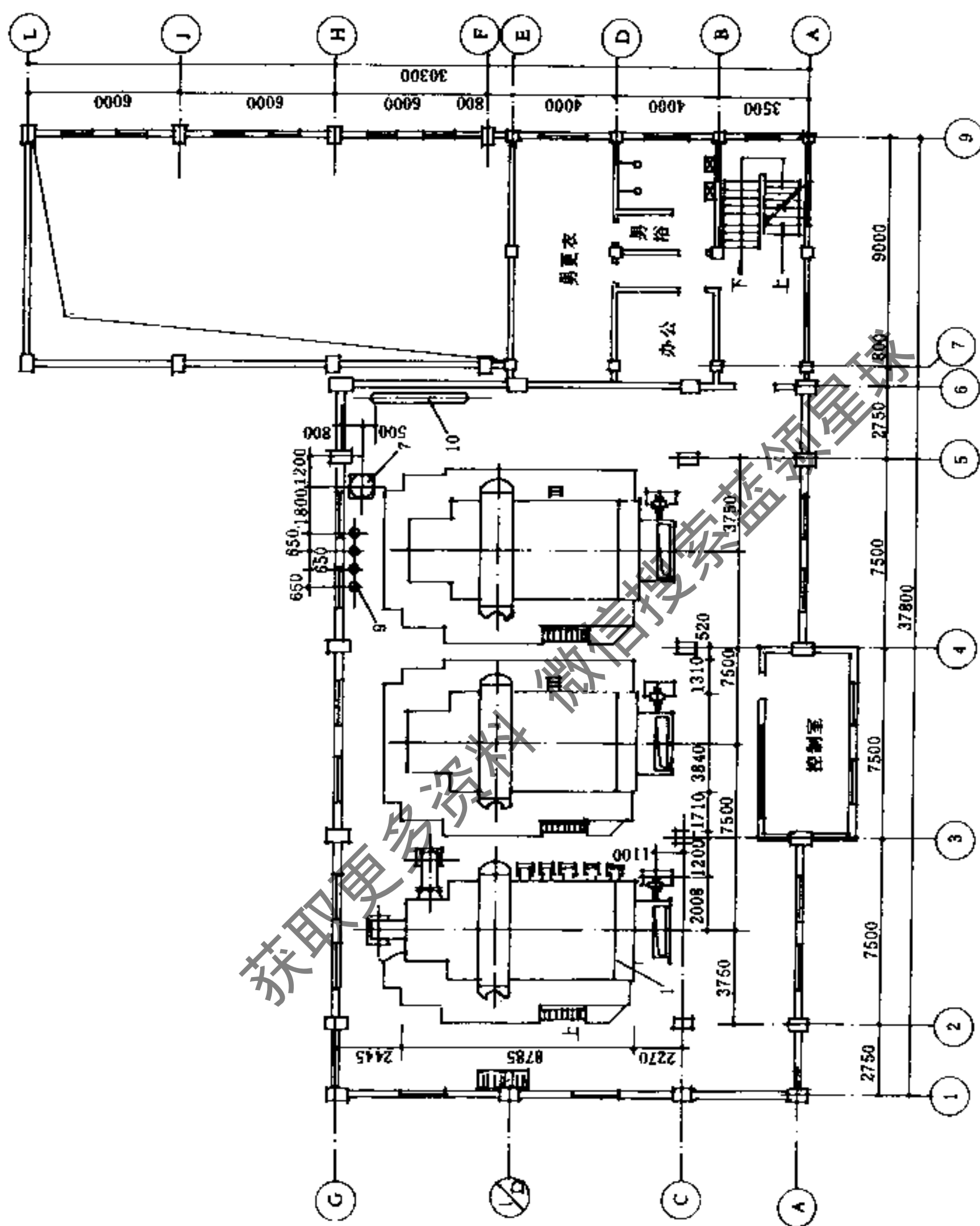
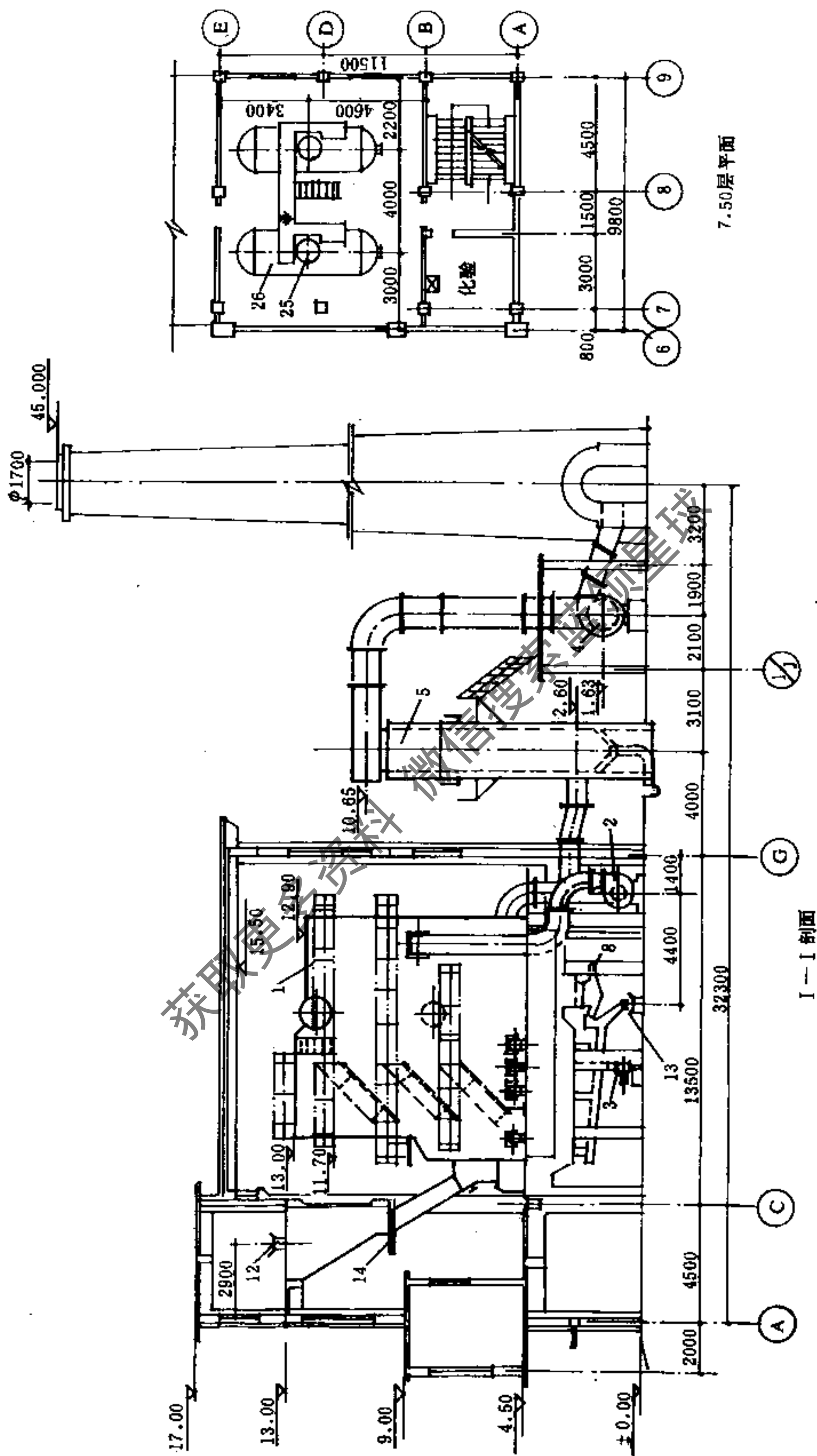


图 6.8.3 三台SHL 10 13 A型锅炉房4.50平面图



7.50层平面

I-I 剖面

图 6.8-4 三台SHL-10-13A 型锅炉房7.50平面图及 I-I 剖面图

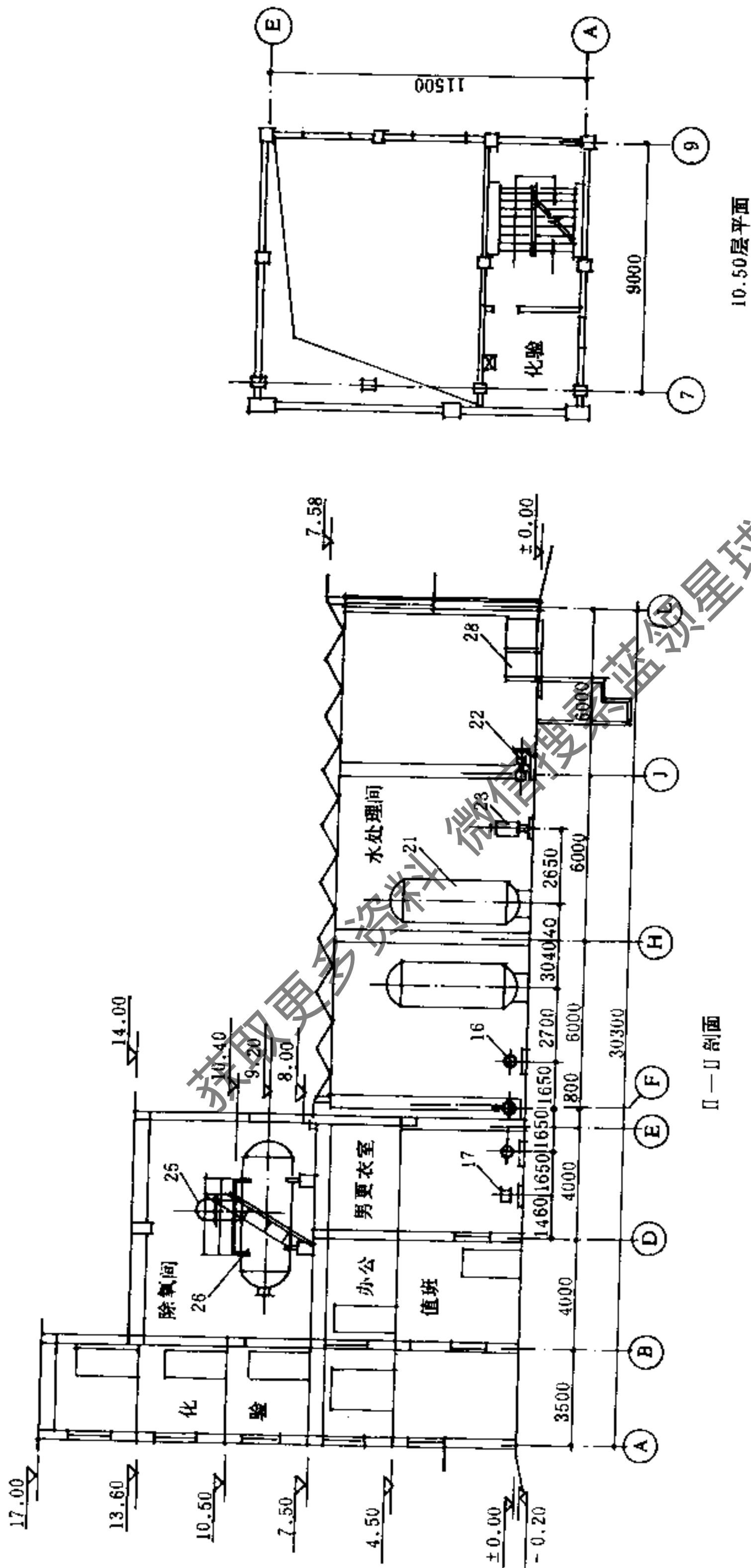


图 6.8-5 三台SHL-10-13 A型锅炉房10.50平面图及II-II剖面图

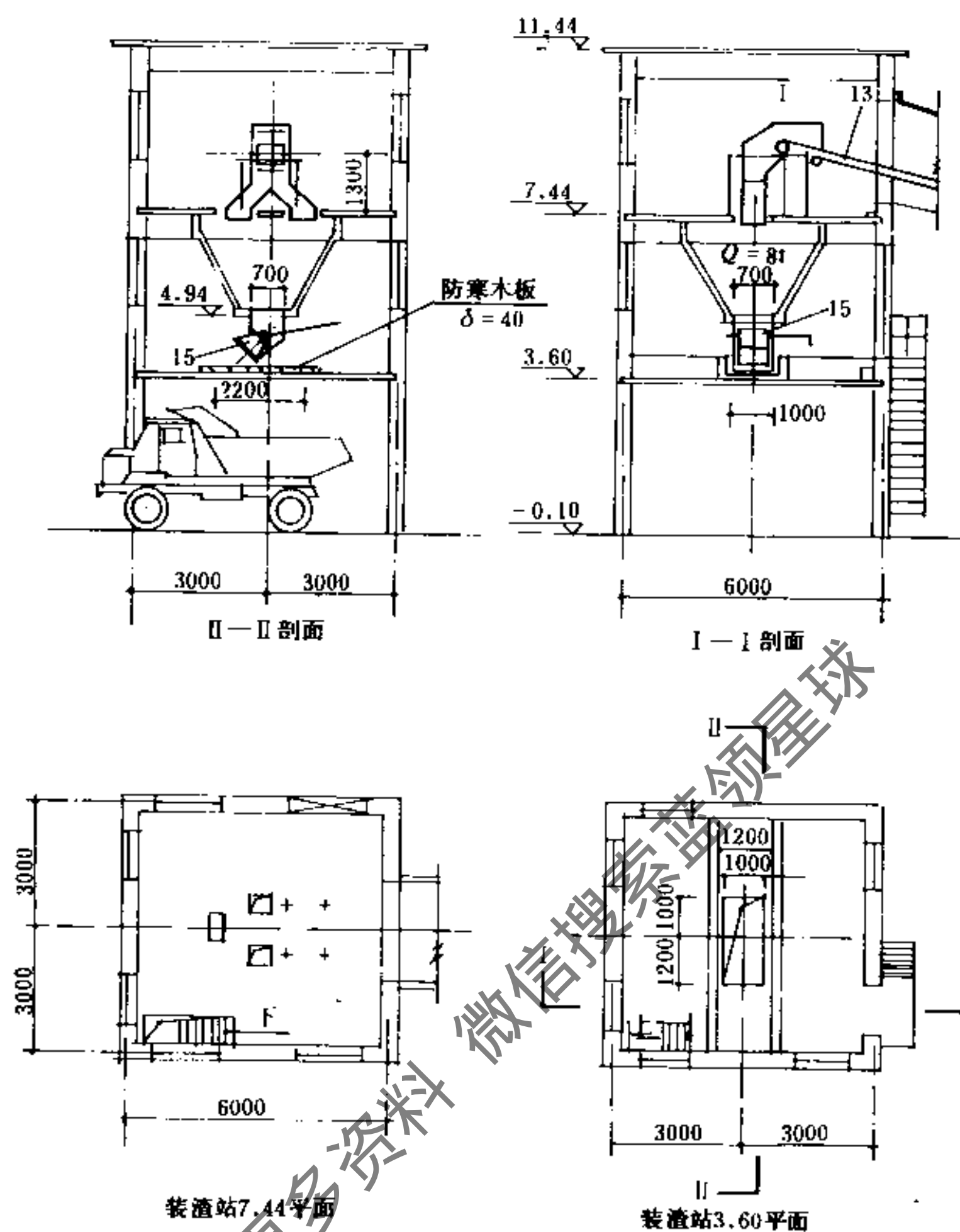


图 6.8-6 三台SHL-10-13A 型锅炉房装渣站平面图及剖面图

主要设备表

表 6.8-3

序号	名称	型号规格	数量	备注
1	锅炉	SHL10-13-A型, $P=1.3\text{MPa}$, $D=10\text{t/h}$	3	
2	鼓风机	G4-73-11型№8D左90°, $Q=21100\text{m}^3/\text{h}$, $H=2.09\text{kPa}$	3	$N=18.5\text{kW}$
3	二次风机	9-27-101型№4D右90°, $Q=1790\text{m}^3/\text{h}$, $H=4.07\text{kPa}$	3	$N=4\text{kW}$
4	引风机	Y4-73-11型№10D左90°, $Q=33100\text{m}^3/\text{h}$, $H=2.05\text{kPa}$	3	$N=30\text{kW}$
5	水膜除尘器	$\phi 1600$	3	
6	定期排污扩容器	DP-3.5型	1	
7	连续排污膨胀器	$\phi 670\text{mm}$, $V=0.75\text{m}^3$	1	
8	马丁出渣机	1500×600	3	$N=1.1\text{kW}$

续表

序号	名称	型号规格	数量	备注
9	取样冷却器	φ254	4	
10	分汽缸	φ426 × 12, l = 3700 mm	1	
11	1°上煤带式输送机	B = 650, l = 13317 mm, Q = 270t/h, α = 17°	1	N = 10kW
12	2°上煤带式输送机	B = 650, l = 73300 mm, Q = 270t/h, α = 17°	1	N = 22kW
13	出渣带式输送机	B = 500, l = 61122 mm, Q = 4t/h, α = 14°	1	N = 3kW
14	煤斗闸门	800 × 800 mm	3	
15	灰渣装车闸门		1	
16	电动给水泵	2 1/2 GC-6 × 6 型, Q = 20m ³ /h, H = 162 m	3	N = 22kW
17	蒸汽往复泵	QB-7 型, Q = 30m ³ /h, H = 175 m	1	
18	除氧水泵	IS80-65-160 型, Q = 50m ³ /h, H = 32 m	2	N = 7.5kW
19	采暖补水泵	IS65-40-200 型, Q = 20m ³ /h, H = 50 m	2	N = 7.5kW
20	采暖循环水泵	IS 125-100-250 型, Q = 180m ³ /h, H = 80 m	2	N = 75kW
21	钠离子交换器	NJN-1500 型	2	
22	盐液泵	65 F-25 型, Q = 36m ³ /h, H = 21 m	2	N = 5.5kW
23	螺旋板式热交换器	SS50-10 型, Q = 209 × 10 ⁴ kJ/h	1	
24	汽水混合加热器	QSH-40 型	2	
25	除氧器	QR ₃ 型, φ800, Q = 20t/h	2	
26	除氧水箱	V = 10m ³ , φ1816	2	
27	分水器		1	
28	盐液池		1	
29	塑料挡板	1200 × 600 mm, δ = 20 mm	1	
30	软水箱		1	

2. 三台SHF-20-25/400型锅炉房(见图6.8-7~图6.8-11, 主要设备表见表6.8-4)

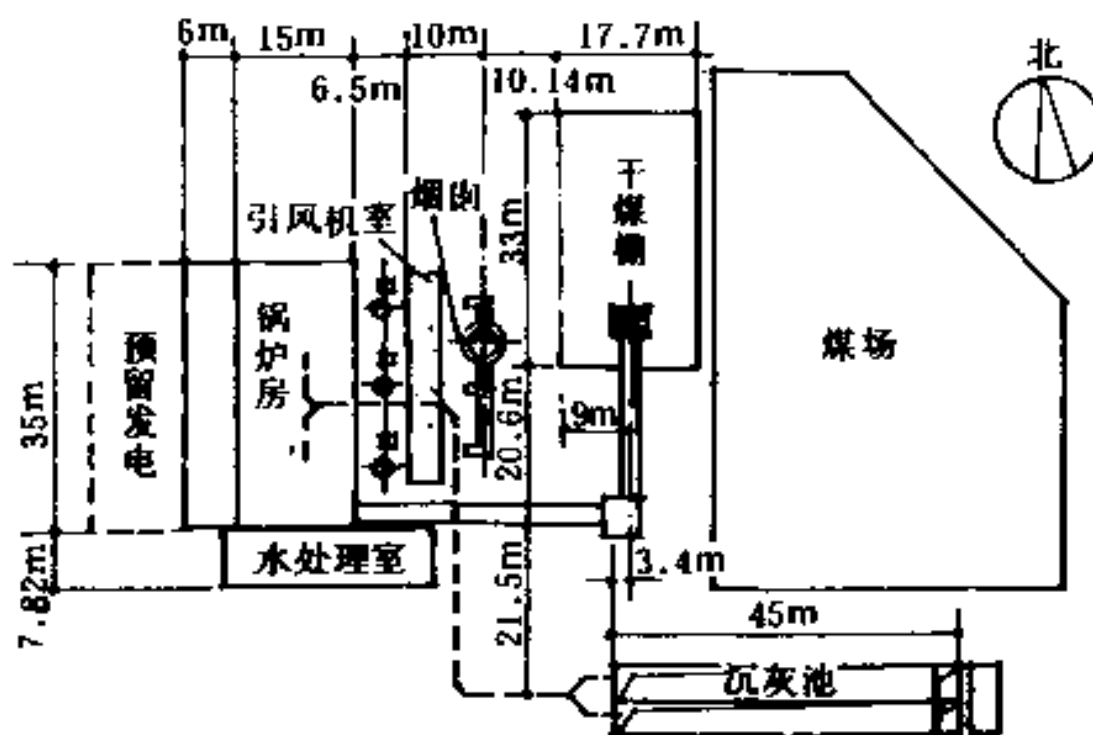


图 6.8-7 三台SHF-20-25/400 型锅炉房区域布置图

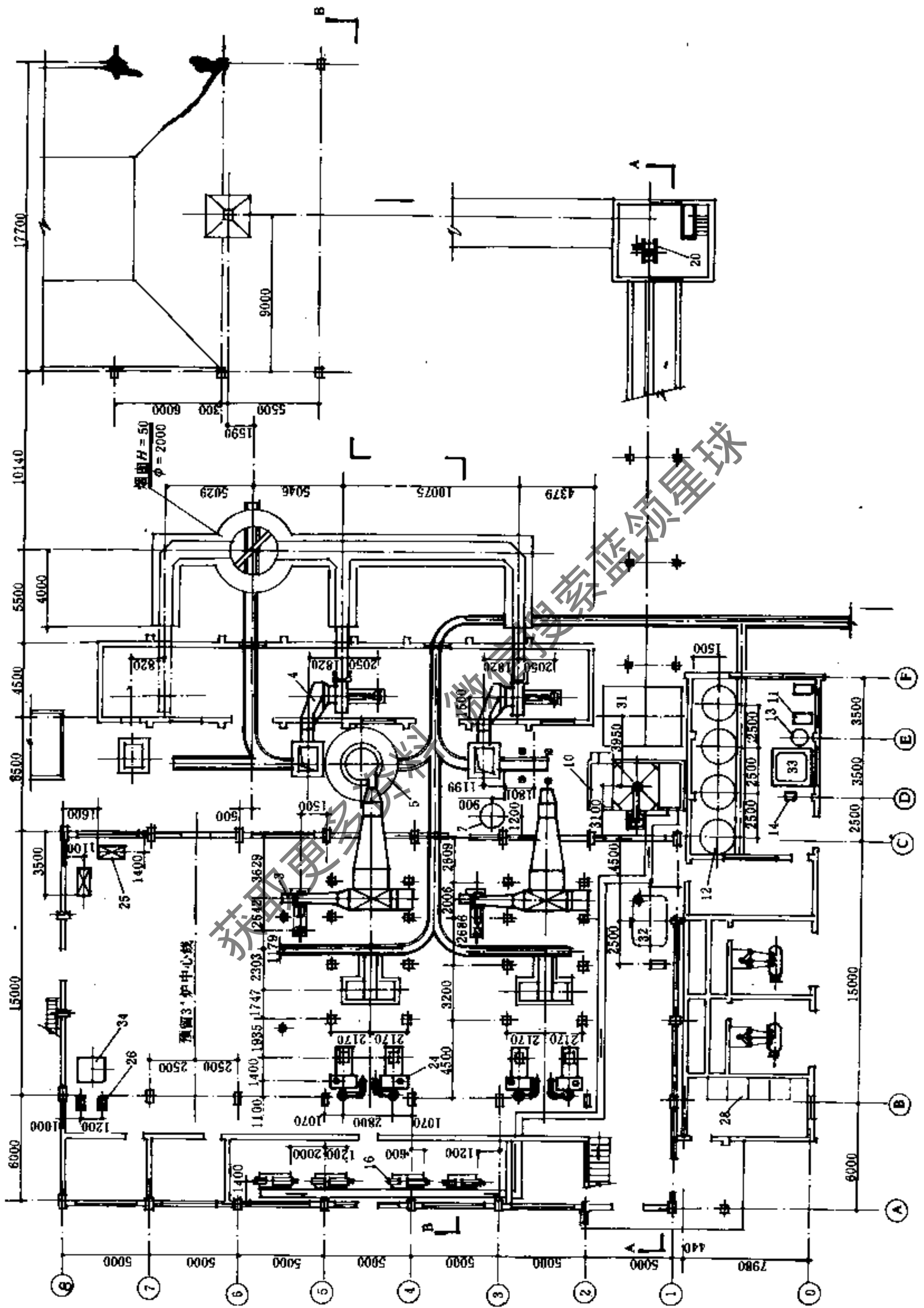


图 6.8-8 三台SHF-20-25/400型锅炉房±0.00平面布置图

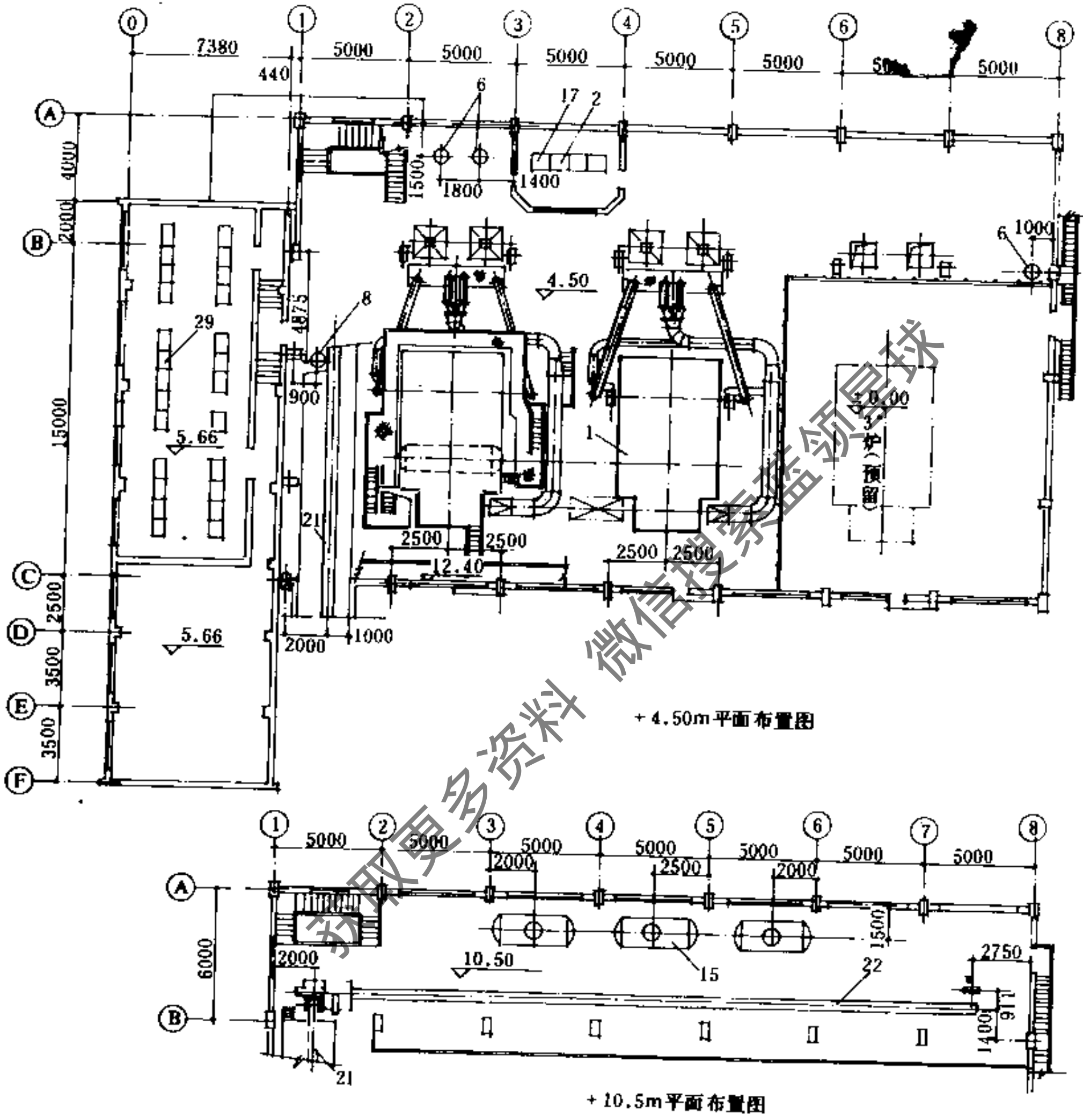


图 6.8-9 三台SHF-20-25/400型锅炉房4.50m、10.50m平面布置图

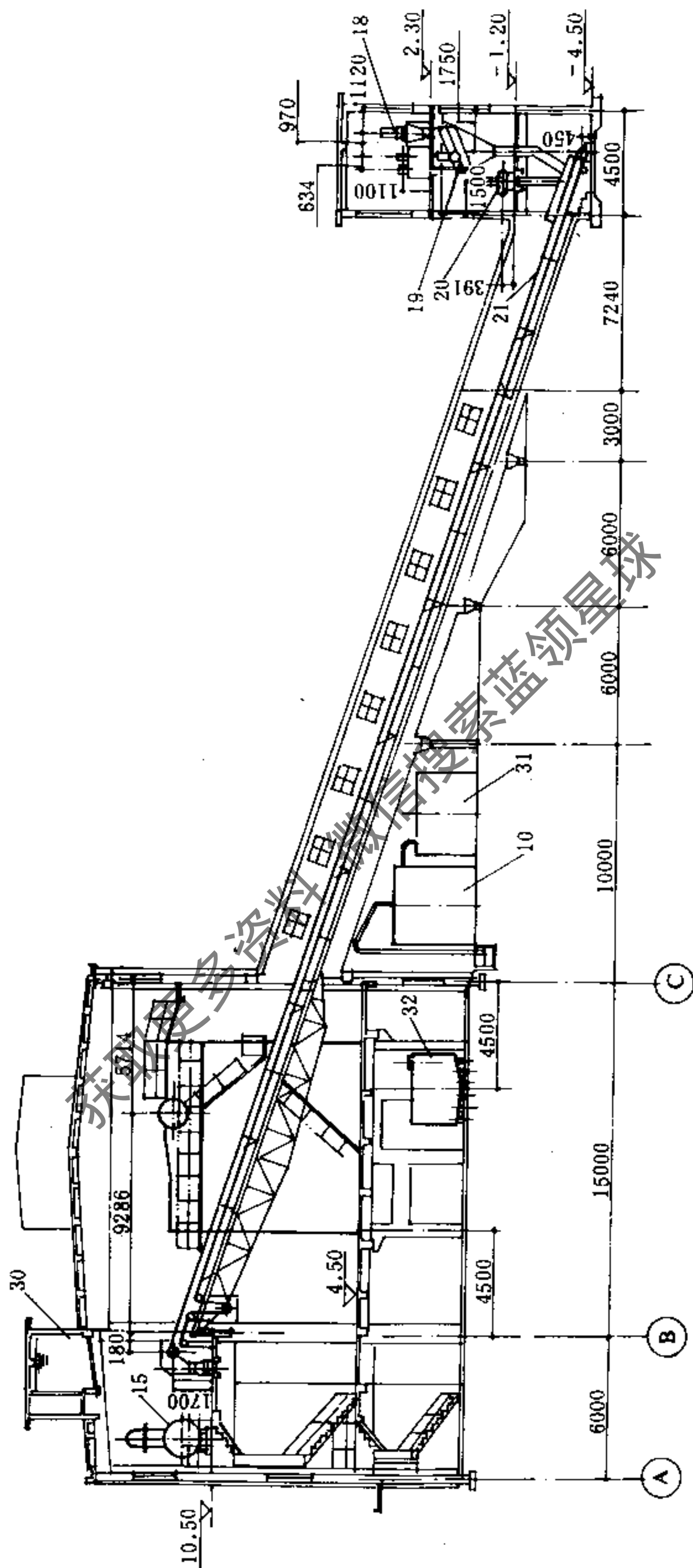


图 6.8-10 三台SHF-20-25/400型锅炉房A-A剖面图

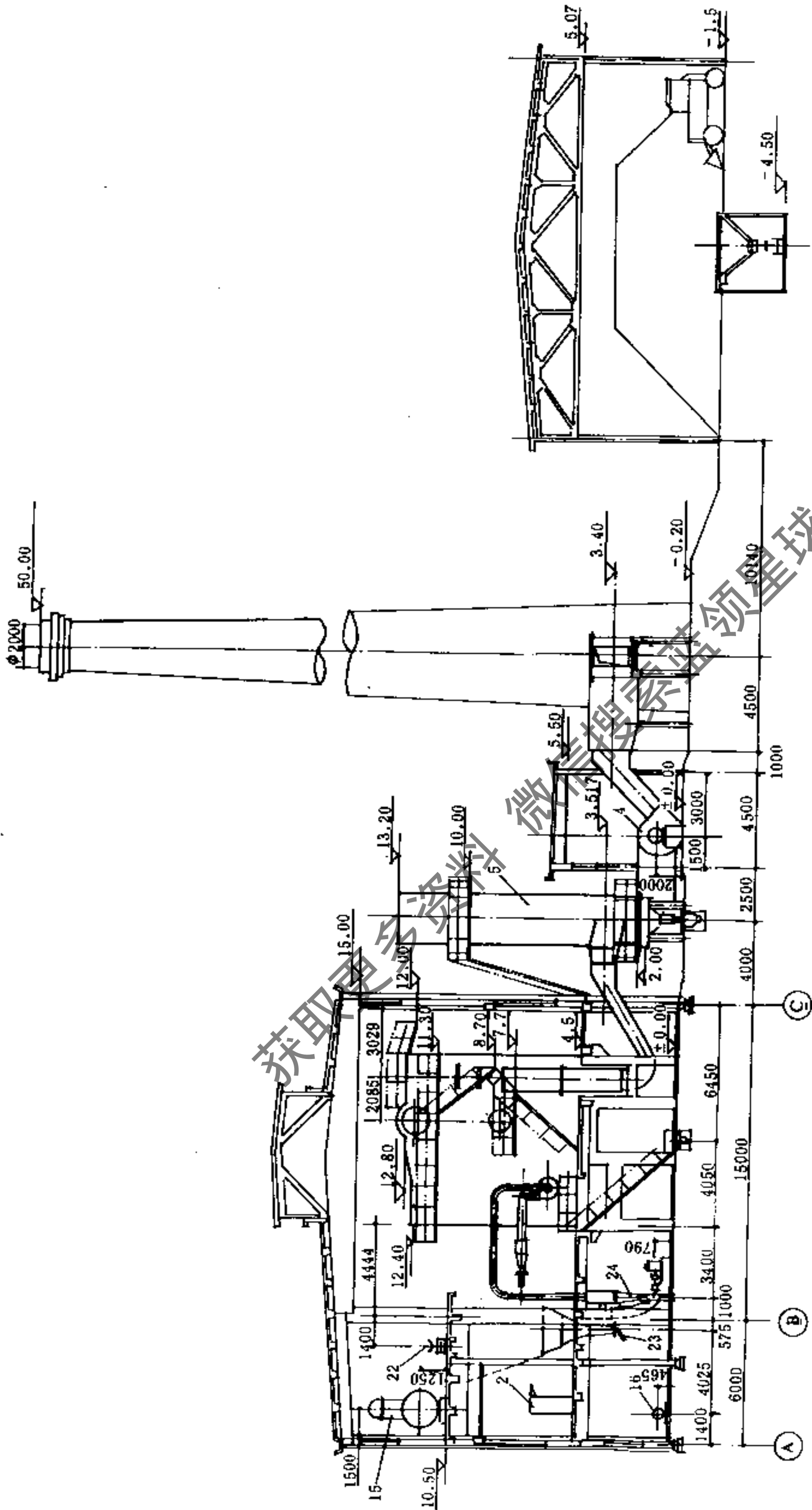


图 6.8-11 三台SHF-20-25/400型锅炉房B-B剖面图

主要设备表

表 6.8-4

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
1	锅炉	SHF20-25/400, 20t/h	台	3	煤粉炉
2	热工仪表盘	KGD-221, B=900	块	3	
3	鼓风机	G4-73-11, No 9D	台	3	49000m ³ /h, 2670Pa, 30kW
4	引风机	Y4-73-11, No 11D	台	3	49300m ³ /h, 2480Pa, 55kW
5	除尘器	φ1850	台	3	水膜式
6	连续排污扩容器	LP-0.7, φ674	台	3	
7	定期排污扩容器	DL-3.5, φ1500	台	1	
8	凝水扩容器	LP-0.7, φ674	台	1	
9	凝水泵	2BA-6, 10m ³ /h, 34.5m	台	1	4.5kW
10	无阀滤池	60t/h	台	1	
11	清水泵	4BA-12, 65t/h, 37.7m	台	2	14kW
12	钠离子交换器	KN-2000	台	4	
13	盐溶解器	YB-1000	台	1	
14	盐水泵	1 $\frac{1}{2}$ BA-68, 13t/h, 88m	台	1	1kW
15	除氧器	QR-3, 20t/h	台	3	
16	电动给水泵	1 $\frac{1}{2}$ KG 6×12, 23t/h, 380m	台	4	55kW
17	给水仪表盘	KGD221, B=900	块	1	
18	1°皮带机	TD62, B=500, L=24.3m	台	1	
19	振动筛	SZZ900×1800	台	1	
20	双辊破碎机	2PG400×250	台	1	
21	2°皮带机	TD62, B=500, L=53.5m	台	1	
22	3°皮带机	TD62, B=500, L=31m	台	1	
23	电磁振动给煤机	2t/h	台	6	
24	风磨磨煤机	φ1000×3000	台	6	75kW
25	冲灰水泵	100D45×2, 97t/h	台	2	80m水柱, 40kW
26	齿轮油泵	CBZ-40, 24t/h	台	2	250m水柱, 18kW
27	厂用变压器	SJL	台	2	
28	高压开关柜	GG-1A	块	4	
29	低压开关柜	BSL-1	块	16	
30	工业水箱	20t	台	1	
31	清水箱	50t	台	1	
32	疏水箱	10t	台	1	
33	盐水箱	8t	台	1	
34	地下油箱	4t	台	1	

6.8.4 锅炉房设计对其他专业的技术要求和互提资料

1. 总图

(1) 技术要求: 见6.1.1~6.1.2

(2) 本专业应提供给总图专业的资料:

1) 锅炉房平面图和锅炉房区域布置图。

2) 锅炉房年耗煤量及采暖期月耗煤量,或提供煤场面积的大小,以及运煤设施的情况。

3) 锅炉房年灰渣量及采暖期月灰渣量,或提供灰渣场面积大小,以及运灰渣设施情况。

4) 锅炉房人员编制资料,见表6.8-5。

锅炉房人员编制

表 6.8-5

序号	职 务	班 制	最 大 班 人 数	总 人 数	备 注
1	主任	1			小锅炉房可不设 小锅炉房可不设 可由水理工兼 小锅炉房可不设 兼管鼓、引风机 兼管水泵
2	技术员	1			
3	化验员	1			
4	统计员	1			
5	司炉	3			
6	水理工	3			
7	运煤工	1~2			
8	除灰渣工	1~2			
9	检修工	1			
10	电工、仪表工	1			
11	杂工	1			
12	合计				

2. 土建 (建筑、结构)

(1) 技术要求:

1) 锅炉房属丁类生产的厂房。锅炉房的额定蒸发量大于4t/h时, 锅炉间的建筑耐火等级应不低于二级; 额定蒸发量小于或等于4t/h时, 锅炉房的耐火等级可采用三级耐火等级的建筑。

2) 锅炉房每层至少应有两个出入口, 分别设在相对的两侧, 附近如有通向消防梯的太平门时, 可以只设一个出入口。锅炉房炉前总长度(包括锅炉之间的通道在内)不超过12m, 并且面积在200m²以下的单层锅炉房, 可只设一个出入口。

3) 锅炉房通向室外的门应向外开, 锅炉房的辅助间、生活间的门应向锅炉间开。出入口的尺寸应考虑设备能顺利通过。锅炉房底层宜有一个2.0~2.5m宽的出入口。辅助间各层宜有专用楼梯通向操作层。

寒冷地区采用手推车运煤除灰时, 手推车出入口应设门斗。

4) 锅炉房内办公室、生活间等, 应以非燃烧体的隔墙与锅炉间隔开。

5) 锅炉房应采用轻质屋面, 屋顶自重超过120kg/m²时, 应开设天窗或高侧窗, 开窗面积至少应为锅炉间占地面积的10%。

6) 燃气锅炉房, 锅炉间应有一定的泄压面积。泄压面积与锅炉间厂房体积的比值一般采用0.05~0.22m²/m³。

锅炉间体积超过1000m³时, 可取较小值。

泄压设施宜采用轻质屋盖, 易于泄压的门、窗, 轻质墙体作为泄压面积。轻质屋盖和轻质墙体的自重 \geq 120kg/m²。泄压装置的安装位置, 应避开人员集中的部份和主要通道, 并应靠近易发生爆炸的部位。

燃气锅炉房宜两面或三面开窗。

7) 燃气锅炉房的调压间属甲类生产厂房, 其建筑耐火等级不应低于二级耐火等级。设于锅炉房外墙一侧的调压间和其他房间应用非燃烧体实墙隔开, 隔墙上不得开设门窗。调压间的屋顶结构宜采用平顶, 不得带有封闭的空间。

当屋顶面积大时, 可做局部泄压面, 泄压面可用石棉瓦或厚度小于2mm的镀锌铁皮、

玻璃钢瓦等。

8) 锅炉房应根据规模及建设单位的具体情况设置生活间(办公、休息、值班室、浴厕间),生活间的面积见表6.1-2。

9) 化验室设计应符合下列要求:

a. 化验室应布置在靠近锅炉间的房间内,其朝向应保证有良好的自然采光。化验室应尽量避免有振源和飞灰的场所;

b. 为获得良好的自然采光,化验室的深度不宜超过6.0m,房间高度一般为3.3~3.6m。

c. 地面采用水磨石地面,地面以上1.2m范围应作浅色油漆墙裙。

d. 化验台可用木制台面,应耐酸碱腐蚀。化验台应布置在光线充足处,但不宜正面靠外窗。

10) 单台蒸发量 $>6\text{ t/h}$ 的蒸汽锅炉或产热量 $>4.2\text{ MW}$ 的热水锅炉,宜设置单独的机修间。机修间布置在锅炉房的底层,其门的宽度不应小于1.5m。

11) 在必须检修,重量又较大(0.5~1.0t)的附属设备(引风机、热交换器、除氧器及水处理设备等)的上部,宜考虑有安装手动吊车的条件。

12) 当锅炉房内安装有振动炉排锅炉等振动较大的设备时,应考虑防振措施。

13) 锅炉房应预留通过设备最大搬运件的安装孔洞,安装孔洞可与门窗结合考虑。

14) 钢筋混凝土煤斗内壁的表面应光滑耐磨,内壁交接处宜做成圆角,并应设置有盖的人孔和爬梯,在敞口处应设置栏杆等防护设施。

15) 运煤系统建筑物(运煤提升机房及运煤栈桥等)的内壁表面,应考虑不积存煤灰的措施,其内壁一般应抹灰。

16) 运煤栈桥的倾斜角小于 12° 时,通道上应考虑设防滑措施,大于 12° 时,应设踏步。

17) 钢筋混凝土烟囱和砖砌烟道的混凝土底板等表面设计计算温度高于 100°C 的部位,应设隔热层。

18) 烟道和锅炉房的墙壁、基础之间应保持70mm宽的膨胀间隙,间隙的上部和两端应加覆盖。

19) 在楼层布置锅炉房时,锅炉基础与楼板地面接缝处,应采用能适应沉降的处理措施。

20) 锅炉房平台、楼板及屋面荷载可参考表6.8-6。

(2) 本专业提供给土建专业的资料:

1) 锅炉房设备布置平、剖面图及设备明细表。

2) 主辅机设备基础尺寸图。

3) 支承结构及楼板的预埋件和预留孔洞的具体尺寸图。

4) 各部位的标准荷载及集中荷载表。

5) 人员编制资料。

3. 电气

(1) 技术要求

1) 当生产不允许中断供汽时,锅炉房应由双回路供电。

2) 锅炉房的配电方式,一般采用放射式动力配电方式。有数台锅炉机组时,宜按锅炉机组配电。

平台、楼板及屋面荷载

表 6.8-6

名 称	标准荷载 (t/m ²)	超载系数
锅炉房运转层平面	0.8~1.2	1.3
化验室	0.3	1.2
水箱水泵间 (非基础) 地面	0.5	1.2
辅助间屋面	0.5	1.2
生产操作平台:		
不堆放材料	0.2	1.2
堆放材料	0.4	1.2
机修间地面	0.4~0.8	1.2
无车辆通过的沟盖板	0.1	1.2
煤仓间:		
皮带及楼板	0.4	1.4
皮带头部及装置处	1.0	1.4
运煤廊:		
地面	0.4	1.4
转运站楼板	0.5~1.0	1.4
破碎机房、皮带机间楼板	0.5	1.4
筛煤间楼板	0.5	1.4
碎煤机层楼板	1.0~2.0	1.4
碎煤机间底层	0.5~1.0	1.4

注: 1. 上表未计入设备的集中荷载。

2. 锅炉房运转层楼板如分区计算, 则炉后部分楼板荷载可比上表数值适当减少。

3) 燃煤锅炉间属多灰尘环境, 其电气设备宜采用保护型的配电设备。

4) 锅炉机组采用集中控制时, 在远离操作控制盘的各电机旁, 宜设置开、停机按钮。

5) 碎煤机和运煤廊的电气设备应按“II-2级”火灾危险场所考虑。

6) 电力线路宜采用穿金属管电缆布线, 并不宜沿锅炉、烟道、热水箱和其他载热体表面敷设。电缆不得在煤场下通行。

7) 锅炉房电气照明装置应符合下列要求:

a. 锅炉房单台机组的照明和局部照明应根据运行需要考虑。

锅炉水位表、锅炉压力表、仪表控制盘和其他照度要求较高的部分, 均应设置局部照明; 煤场和灰渣场应设置照明; 化验室用日光灯照明。

b. 锅炉房的照度可参照表6.8-7。

c. 照明装置的电压应符合表6.8-8要求。

锅 炉 房 照 度

表 6.8-7

序 号	照 明 部 位 名 称	最低照度 (lx)
1	锅炉前、水泵间、除灰室、修理间、水处理间、各种自动装置、油泵间	20
2	工作平台、锅炉之间通道、煤仓、风机间、除氧间、水箱间	10
3	走廊和扶梯	5
4	仪表盘、水位计、油位计、锅炉压力表、控制室、化验室	100
5	煤场、灰场	1

照明装置电压

表 6.8-8

序号	照明装置安装部位	电压 (V)
1	照明灯具安装高度距地面 (工作台面) < 2.4m 时	应用防触电措施或采用 < 36V 电压
2	使用携带式行灯时: (1) 一般场所 (2) 较危险场所 (炉内工作、地位狭窄处、接触大块金属时) (3) 锅炉间、风机间、除氧间、水箱间、水处理间、换热站、地下室、运煤廊、破碎机间、水泵间、卷扬机间等房间内的插座	< 36
		> 12
		12

注: 照明插座应有明显的电压、标志。

d. 锅炉房应在锅炉前及锅炉之间通道、热工仪表盘及控制盘、锅炉水位计、压力表、水处理间、除氧器或水箱间、风机间、运煤系统控制间、主要出入口及楼梯间设置保证连续工作的事故照明。小型锅炉可不设置事故照明。

e. 对巡回检查线路较长的工作场所 (如运煤廊) 的照明应考虑设置联动开关。

8) 锅炉房有关各处, 宜设置单相动力插座, 参见表 6.8-9。

动力插座

表 6.8-9

插座安装地点	锅炉间	机修间	化验室	煤灰场
数量 (个)	1~2	1~2	1~2	1~2
功率 (kW / 个)	3~4	3~4	1~3	3~5

9) 锅炉房应设置通讯电话机。

10) 烟囱应装置防雷保护装置。砖及钢筋混凝土烟囱的避雷针或避雷带, 可用铁爬梯作引下线, 但必须有可靠的连接和接地。钢板烟囱可利用烟囱本身作为接闪器和引下线。但在非金属垫圈分开的两筒体间, 应用钢筋焊成导电引桥。

(2) 本专业应提供给电气专业的资料:

1) 锅炉房设备平、剖面布置图 (附设备表)。

2) 锅炉房管道系统图, 在图上应注明热工控制测量仪表的测点位置, 并注明测量参数要求。

3) 用电设备表, 内容包括: 电机型号、规格 (功率)、台数及是否备用或经常使用情况等。

4) 照明、自动控制、信号、通讯联系等具体要求。

4. 采暖通风

(1) 技术要求

1) 锅炉房是否需要开设天窗, 应根据对土建技术要求的規定并考虑通风的需要来确定。炎热地区的锅炉间应设置天窗。

2) 在锅炉房的司炉操作处、除氧器间、水处理间、地下凝结水箱间、水泵间、除灰间等处可根据需要设置机械通风。

3) 锅炉房各房间采暖室温可参考表6.8-10选取。

室内采暖温度

表 6.8-10

房间名称	温度(℃)
人工加煤的锅炉间	+10
燃油、燃气、机械加煤的锅炉间	+12
有控制室的锅炉间	+5
值班室、休息室、水处理间、化验室、仪表间	+16~+18
风机间、破碎间、运煤廊、出渣间	+5
浴室、更衣室	+23

4) 在寒冷地区,用人工手推车运煤和除灰渣时,在小车出入口处宜设门斗。

5) 在运煤系统的转运处,破碎筛选和干式机械除灰渣处等产生灰尘严重的地点,应有密封措施并设置局部排风及除尘装置。

(2) 本专业应向暖通专业提供的资料:

- 1) 锅炉房平、剖面布置图及设备表。
- 2) 锅炉本体的表面散热量,冬夏季锅炉运行台数以及附属设备的表面散热量等。
- 3) 电动机台数、功率、备用和常用情况。
- 4) 一、二次风机总吸风量,如采用室外吸风时可不提供此项内容。

5. 给水排水

(1) 技术要求

1) 锅炉房一般采用一根进水管。但对于中断给水会造成重大损失的锅炉房,应采用两根进水管,两根进水管应来自不同水源或室外环形管网的不同管段。

2) 锅炉房给水入口处的水压应能满足水处理的需要,一般不应低于0.2~0.3MPa,否则应设置生水加压泵。

3) 当锅炉房建筑为三级耐火等级,且建筑体积超过3000m³时,应设置室内消防。煤场附近应有洒水和煤堆自燃时熄火用的供水点。

4) 锅炉排污水应先排至排污降温池,将排污水温度降至40℃以下,方可排入下水道。

5) 湿法除尘、水力除灰、渣及水处理间排除的酸碱废水,应采取有效的措施进行处理,使其符合《工业污染物排放标准》(GB4280-84)的要求后,方可排入室外下水道。

6) 煤场、灰渣场应有防止积水的措施。

7) 锅炉房的小时最大、平均耗水量,昼夜耗水量及排水量可按表6.8-11计算确定:

(2) 本专业应提供给水排水专业的资料:

- 1) 锅炉房平、剖面布置图。
- 2) 给水、排水流量(最大及平均小时流量,昼夜用水量)。
- 3) 给水、排水出入口位置,管径及接管标高。
- 4) 给水的水压及水源要求。

5) 排水参数 (温度、压力) 及特性。

锅炉房耗水量及排水量计算表

表 6.8-11

项 目	计 算 公 式
锅炉补给水量 G_1 (m^3/h) (a) 生产用汽的凝结水损失量, G_{1-1} (b) 室外管网凝结水损失量, G_{1-2} (c) 锅炉房内部凝结水损失量 G_{1-3} (d) 锅炉排污量, G_{1-4}	$G_1 = G_{1-1} + G_{1-2} + G_{1-3} + G_{1-4}$ 按具体情况进行计算 $G_{1-2} = 0.05 \times$ 锅炉房蒸发量 $G_{1-3} = (0.02 \sim 0.05) \times$ 锅炉蒸发量 $G_{1-4} = (0.05 \sim 0.1) \times$ 锅炉蒸发量
热水管网的补给水量, G_2 (m^3/h)	$G_2 = (0.01 \sim 0.03) \times$ 热水管网循环水量
引风机轴承冷却水量, G_3 (m^3/h)	$G_3 = 0.5 \times$ 引风机运行台数
抛煤机或炉排轴承冷却水量, G_4 (m^3/h)	$G_4 = 0.5 \times$ 锅炉运行台数
定期排污冷却水量, G_5 (m^3/h)	$G_5 = (3 \sim 4) \times$ 每台锅炉定期排污量
水处理系统耗水量, G_6 (m^3/h)	根据水处理系统计算得出
化验冷却水量, G_7 (m^3/h)	$G_7 = 0.3 \sim 0.5$
浇灰耗水量, G_8 (m^3/h)	$G_8 = (0.3 \sim 0.5) \times$ 锅炉房小时灰渣量 (t/h)

注: 锅炉房小时最大耗水量 $G_{max} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_6$, m^3/h ;

锅炉房小时平均耗水量 $G_{pj} = \frac{\text{昼夜耗水量 } G}{24}$, m^3/h ;

锅炉房小时最大排水量 $G_{pA} = G_5 + G_4 + G_8$ (反洗) + 锅炉房连续排污量, m^3/h 。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第七章 通风与除尘

7.1 自然通风的简化计算

7.1.1 自然通风的通风量

自然通风的通风量 G (kg/h), 按下式计算:

$$G = 3600 \frac{Q}{c(t_p - t_{wf})} \quad (7.1-1)$$

或

$$G = 3600 \frac{mQ}{c(t_n - t_{wf})} \quad (7.1-2)$$

式中 Q ——散至室内的全部显热量, kW;

c ——空气比热, $c = 1.0 \text{KJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

t_p ——排风温度, $^\circ\text{C}$, 按公式 (7.1-3)、(7.1-4) 计算;

t_n ——室内工作地点温度, $^\circ\text{C}$, 可按表 7.1-1 采取;

t_{wf} ——夏季通风室外计算温度, $^\circ\text{C}$;

m ——散热量有效系数, 按式 (7.1-5) 确定。

室内工作地点温度 ($^\circ\text{C}$)

表 7.1-1

夏季通风室外计算温度 ($^\circ\text{C}$)	<22	23	24	25	26	27	28	29~32	>33
允许温差	10	9	8	7	6	5	4	3	2
工作地点温度	<32	32						32~35	35

7.1.2 排风口温度 t_p ($^\circ\text{C}$)

$$t_p = t_{wf} + \frac{t_n - t_{wf}}{m} \quad (7.1-3)$$

对散热比较均匀, 且不大于 $116 \text{W}/\text{m}^3$ 时, 可按下式计算:

$$t_p = t_n + \Delta t_H (H - 2) \quad (7.1-4)$$

式中 Δt_H ——温度梯度, $^\circ\text{C}/\text{m}$, 按表 7.1-2 采用;

H ——排风口中心距地面的高度, m。

7.1.3 散热量有效系数 m

$$m = m_1 m_2 m_3 \quad (7.1-5)$$

式中 m_1 ——根据热源占地面积 f 和地面面积 F 之比值, 按图 7.1-1 确定;

m_2 ——根据热源的高度, 按表 7.1-3 确定;

温度梯度 Δt_H 值 ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)

表 7.1-2

室内散热量 (W/m^3)	厂房高度 (m)										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12~23	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
24~47	1.2	1.2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
48~70	1.5	1.5	1.2	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5
71~93	—	1.5	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9
94~116	—	—	—	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3

m_3 ——根据热源的辐射散热量 Q_r 和总散热量 Q 之比值,按表7.1-4确定。

7.1.4 进风口面积 F_j (m^2)和排风口面积 F_p (m^2)

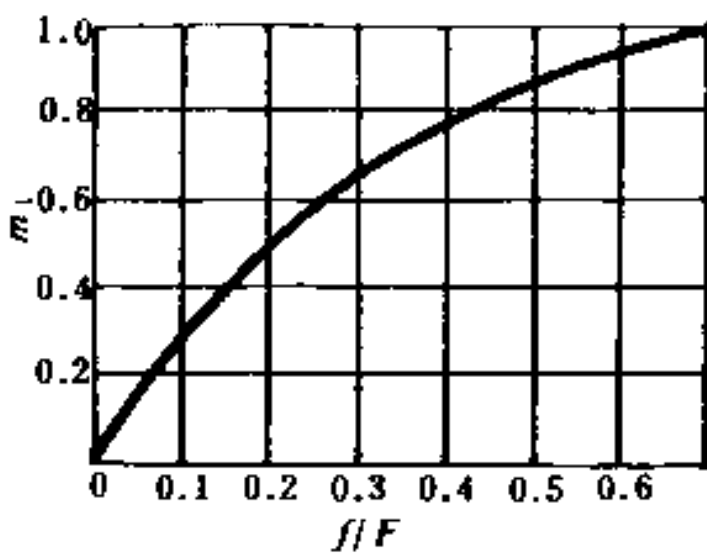
图 7.1-1 系数 m_1 值系数 m_2 值

表 7.1-3

热源高度 (m)	<2	4	6	8	10	12	>14
m_2	1.0	0.85	0.75	0.65	0.6	0.55	0.5

系数 m_3 值

表 7.1-4

Q_r/Q	<0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
m_3	1.00	1.03	1.07	1.12	1.18	1.30	1.45

$$F_j = \frac{G_j}{3600 \sqrt{\frac{2g\rho_{wt}h_j(\rho_{wt} - \rho_{np})}{\zeta_j}}} \quad (7.1-6)$$

$$F_p = \frac{G_p}{3600 \sqrt{\frac{2g\rho_p h_p(\rho_{wt} - \rho_{np})}{\zeta_p}}} \quad (7.1-7)$$

式中 G_j 、 G_p ——进风量及排风量, kg/h ;

h_j 、 h_p ——进风口及排风口中心与中和界的高差, m ;

ρ_{wt} ——夏季通风室外计算温度下的空气密度, kg/m^3 ;

ρ_p ——排风温度下的空气密度, kg/m^3 ;

ρ_{np} ——室内空气的平均密度, kg/m^3 ,按作业地带和排风口处空气密度的平均值采用;







ζ_j 、 ζ_p ——进风口及排风口的局部阻力系数,按表7.1-5、表7.1-6采用;

g ——重力加速度, $9.81\text{m}/\text{s}^2$ 。

为简化计算,根据式(7.1-6)、(7.1-7)绘制出计算图(图7.1-2、图7.1-3)。

进、排风窗局部阻力系数 ζ 值

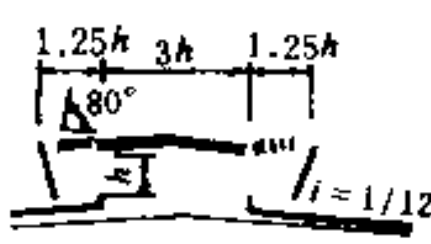
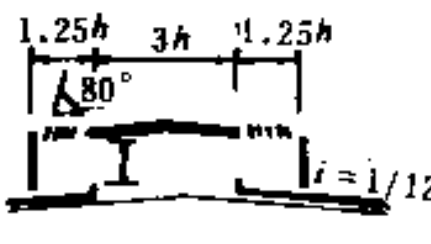
表 7.1-5

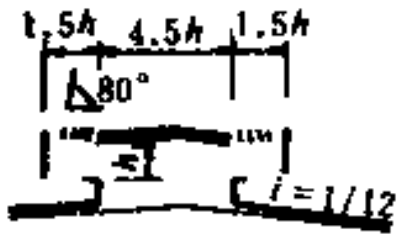
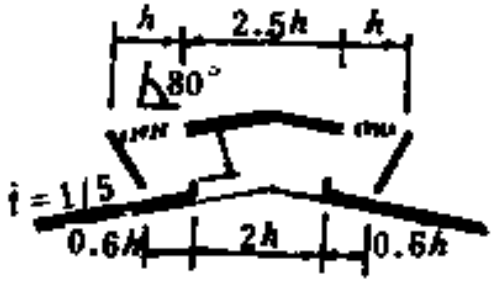

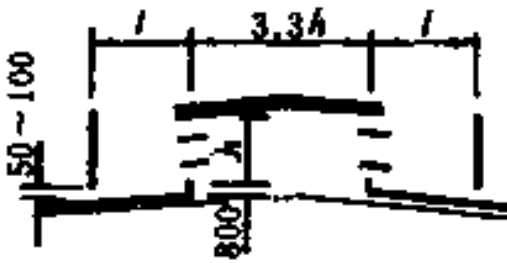
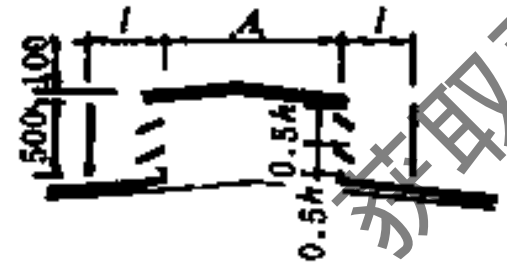
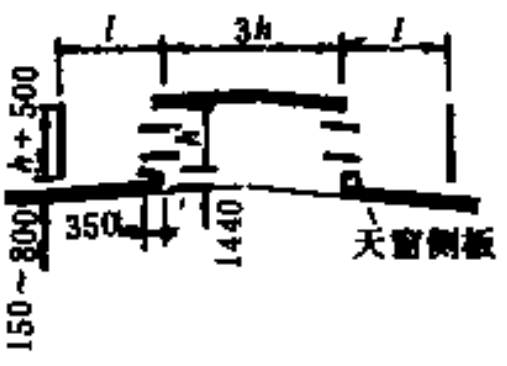
窗扇结构	开启角度 α°	$b/l = 1:1$	$b/l = 1:2$	$b/l = 1:3$
单层窗上悬 	15	16	20.6	30.8
	30	5.65	6.9	9.15
	45	3.68	4.0	5.15
	60	3.07	3.18	3.54
	90	2.59	2.59	2.59
单层窗上悬 	15	11.1	17.3	30.8
	30	4.9	6.9	8.6
	45	3.18	4.0	4.7
	60	2.51	3.07	3.3
	90	2.22	2.51	2.51
单层窗中悬 	15	45.3	—	59.0
	30	11.1	—	13.6
	45	5.15	—	6.55
	60	3.18	—	3.18
	90	2.43	—	2.68
双层窗上悬 	15	14.8	30.8	—
	30	4.9	6.9	—
	45	3.83	5.15	—
	60	2.96	3.54	—
	90	2.37	2.37	—
双层窗上下悬 	15	18.8	45.3	59.0
	30	6.25	11.1	17.3
	45	3.83	5.9	8.6
	60	3.07	4.0	5.0
	90	2.37	2.77	2.77
竖轴板式进风窗 	90	—	2.37	—

- 注: 1. 各跨间的腔孔阻力系数 $\zeta = 1.56$;
 2. 无挡风板的矩形天窗作为进风用时, 当窗扇开启的角度 $\alpha = 35^\circ$ 时, $\zeta = 12.2$;
 3. 厂房大门 $\zeta = 1.56$;
 4. b 代表窗扇高度, l 代表窗扇长度。

常用避风天窗的局部阻力系数 ζ 值

表 7.1-6

		X-I型	
	l/h	1.25	
	ζ	4.0	
	用途及说明	1. 天窗无窗扇, 并可防雨, 适用于南方高温车间 2. 防雨角度按 $30^\circ \sim 35^\circ$ 计算	
		X-II型	
	l/h	1.25	
	ζ	4.6	
	用途及说明	1. 天窗无窗扇, 并可防雨, 适用于南方高温车间 2. 防雨角度按 $30^\circ \sim 35^\circ$ 计算	

	X-III型												
	l/h	1.5											
	ζ	2.2											
用途及说明	1. 天窗无窗扇, 并可防雨, 适用于南方高温车间 2. 防雨角度按 $30^\circ \sim 35^\circ$ 计算												
	X-IV型												
	l/h	1.0											
	ζ	4.1											
用途及说明	1. 天窗无窗扇, 并可防雨, 适用于南方高温车间 2. 防雨角度按 $30^\circ \sim 35^\circ$ 计算												
	不避风型天窗												
	ζ	2.52											
	用途及说明	适用于不避风和不调节的车间											
	中悬式矩形天窗												
	开启角度	l/h		ζ									
	80°	1.5		4.2									
	说 明	结构简单, 局部阻力系数小, 可以调节, 适用于高温车间											
	上悬式矩型天窗												
	开启角度	35°		45°	55°								
	l/h	1	1.5	2	2.5	1	1.5	2	2.5	1	1.5	2	2.5
	ζ	13.9	11.5	9.5	9.1	11.5	9.2	6.8	6.1	11.7	7.1	5.1	4.3
	说 明	1. 窗扇受开启机构限制, 开启角度不大 2. 结构简单, 但阻力系数大											
	带水平挡板矩型天窗												
	窗扇开启角度	80°											
	l/h	1.5											
	ζ	3.9											
	说 明	空气动力性能良好, 局部阻力系数小											

续表

	井式 I 型 (6 m 柱距) 天窗					
防雨角度	45°					
ζ	3.84					
说 明	1. 根据热源位置灵活布置 2. 天窗无窗扇, 并可防雨 3. 适用于高温车间					
	井式 II 型 (6 m 柱距) 天窗					
防雨角度	45°					
ζ	4.8					
说 明	1. 根据热源位置灵活布置 2. 天窗无窗扇, 并可防雨 3. 适用于高温车间					
	锯齿形天窗					
遮阳板倾角	+18.5°		-13°			
ζ	2.1		3.1			
说 明	适用于轧钢车间					
	炼铁车间天窗					
窗口型式	没有百叶片		有直百叶片		有角百叶片	
A/h	1		1.5		1	
ζ	6.4		5.8		10	
说 明	1. 适用于炼铁车间 2. $A/h = 2$					
	多边形组合天窗					
ζ	2.71					
说 明	1. 工厂化生产, 局部阻力系数小 2. 适用于电厂锅炉间等高温车间					

注: 1. l 表示挡风板至天窗距离, A 表示喉口宽度, h 表示天窗高度。

2. X-I ~ X-IV 型系北京钢铁设计院试验值, 无窗扇型天窗系冶金建筑研究院试验值, 井式 I、II 型天窗系冶金建研院试验值。

3. 多边形组合天窗系东北电力设计院提供数值。

4. 所列局部阻力系数值皆对天窗口速度而言。

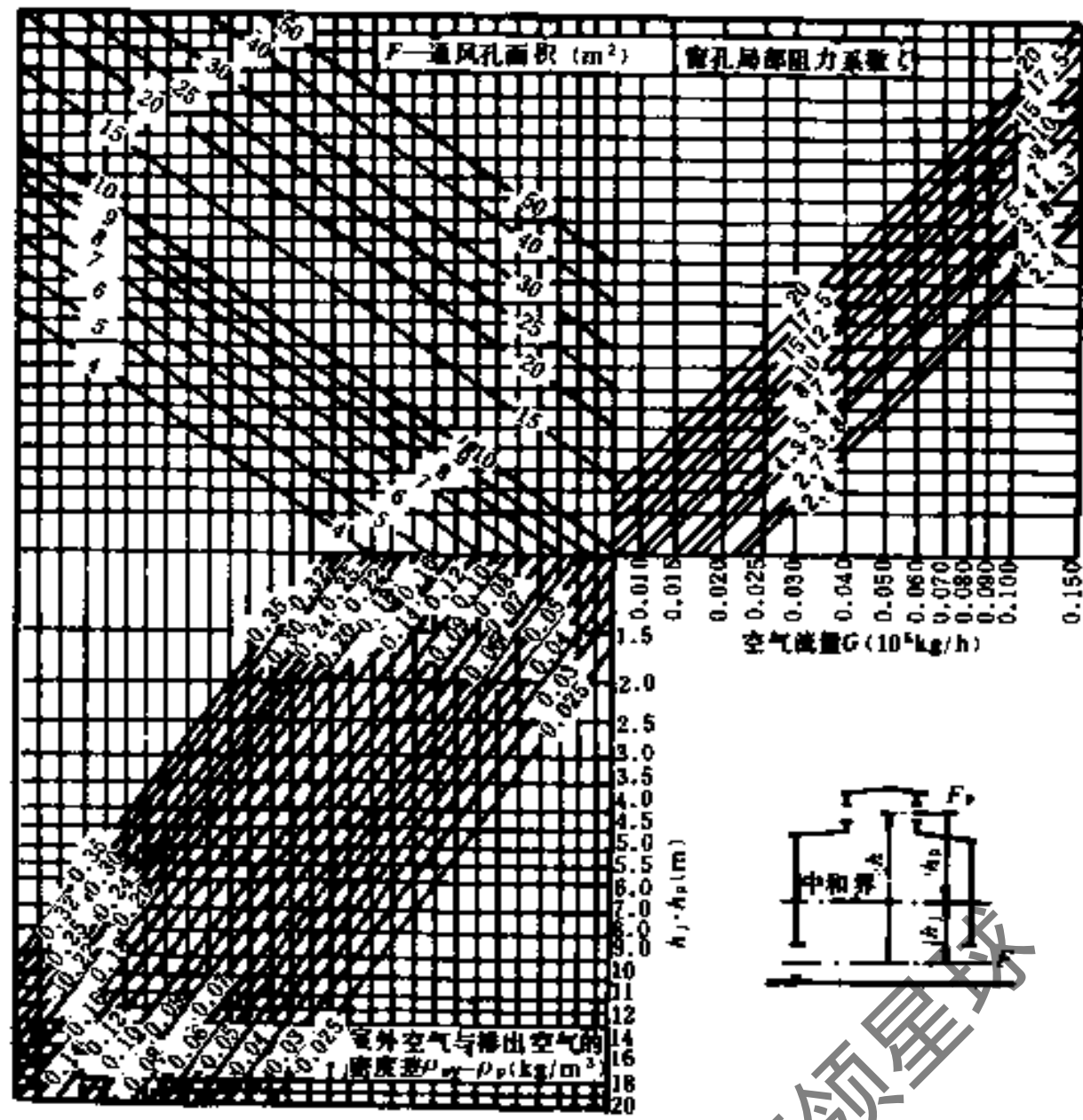


图 7.1-2 自然通风计算图表 (一)

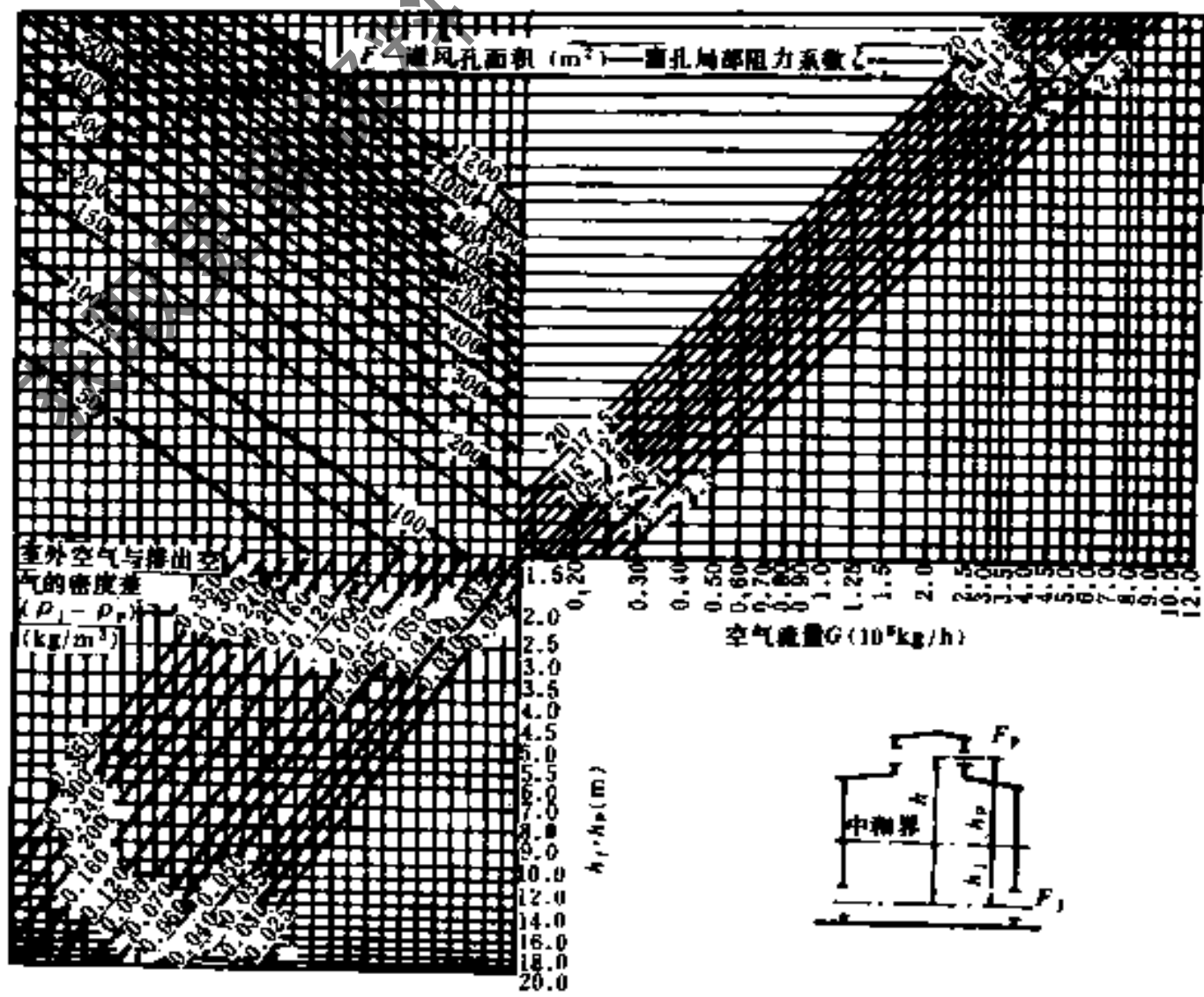


图 7.1-3 自然通风计算图表 (二)

7.2 局 部 排 风

7.2.1 局部排风的设计原则

1. 对于有害气体、蒸气或粉尘的散发源均应设置局部排风装置；
2. 根据工艺及有害气体散发状况，采用不同的排风罩。除受工艺条件限制外，均应优先考虑密闭罩；
3. 局部排风系统的划分应考虑生产流程，同时使用情况及有害气体性质等因素。对于混合后可能引起燃烧、爆炸、结聚凝块或形成毒性更强的有害物时，应分设排风系统。
4. 局部排风系统排出的空气在排入大气之前应根据下列原则确定是否需要进行净化处理：
 - (1) 排出空气中所含有害物的毒性及浓度；
 - (2) 考虑周围的自然环境及排出口方位；
 - (3) 直接排入大气的有害物在经过稀释扩散后，一般不宜超过表7.2-1中的规定值。对于某些有害物质的排放标准应遵照表7.2-2的规定。如当地有规定时，应按当地排放标准执行。

居住区大气中有害物质最高容许浓度

表 7.2-1

物 质 名 称	最高容许浓度 (mg/m ³)		物 质 名 称	最高容许浓度 (mg/m ³)	
	一 次	日 平 均		一 次	日 平 均
一氧化碳	3.00	1.00	苯乙烯	0.01	0.01
乙酰苯	0.008	0.008	苯 胺	0.10	0.03
乙 醛	0.01	0.01	氨	0.20	0.20
二甲苯	0.30	0.30	氟化物 (换算成F)	0.02	0.007
二氧化硫	0.50	0.15	氯化氢 (换算成NO ₂)	0.015	0.085
二硫化碳	0.05	0.015	砷化物 (换算成As)		0.003
五氧化二磷	0.15	0.05	烟 尘	0.50	0.15
丙烯醛	0.10	0.03	酚	0.02	0.02
丙 酮	0.80	0.80	硫化氢	0.01	0.01
戊 烯	1.50	1.50	硫 酸	0.30	0.10
甲 醇	3.00	1.00	硝基苯	0.01	0.01
甲 醛	0.05	0.05	铅及其无机化合物(换算成Pb)		0.0015
甲基丙烯酸甲酯	0.10	0.10	氯	0.10	0.03
灰尘自然沉降量	6 ~ 81/km ² /月		氯丁二烯	0.10	0.10
汞		0.0003	氯化氢	0.05	0.015
吡 啶	0.08	0.08	铬 (六价)	0.0015	0.0015
苯	2.40	0.80	锰及其化合物 (换算成Mn)		0.01

- 注：1. 一次最高容许浓度，指任何一次测定结果的最大容许值。
2. 日平均最高容许浓度，指任何一天的日平均浓度的最大容许值。

十三类有害物质的排放标准

表 7.2-2

序号	有害物质名称	排放有害物企业①	排放标准			序号	有害物质名称	排放有害物企业①	排放标准					
			排气筒高度(m)	排放量②(kg/h)	排放浓度(mg/m ³)				排气筒高度(m)	排放量②(kg/h)	排放浓度(mg/m ³)			
1	二氧化硫	电 站	30	80		6	氮	化工、冶金	20	2.8				
			45	170					30	5.1				
			60	310					50	12				
			80	650				冶 金	80	27				
			100	1200					100	41				
			120	1700										
		冶 金	30	52		7	氯化氢	化工、冶金	20	1.4				
			45	91					30	2.5				
			60	140					50	5.9				
			80	230				冶 金	80	14				
			100	450					100	20				
			120	670										
化 工	30	34		8	一氧化碳	化工、冶金	30	160						
	45	66					60	620						
	60	110					100	1700						
	80	190												
	100	280												
2	二硫化碳	轻 工	20	5.1		9	硫酸(雾)	化 工	30~45		260			
			40	15					60~80	600				
			60	30		10	铅	冶 金	100		34			
			80	51					120	47				
			100	76										
			120	110										
3	硫化氢	化工、轻工	20	1.3		11	汞	轻 工	20		0.01			
			40	3.8					30	0.02				
			60	7.6		12	氟化物(换算成Be)		45~80		0.015			
			80	13										
			100	19					13	烟尘及生产性粉尘	电 站	30	82	
			120	27								45	170	
4	氟化物(换算成F)	化 工	30	1.8					60	310				
			50	4.1					80	650				
			120	24					100	1200				
5	氮氧化物(换算成NO ₂)	化 工	20	12					120	1700				
			40	37					150	2400				
			60	86							200			
			80	160							200			
			100	230							200			

① 表中未列入的企业，其有害物质的排放量可参照本表类似企业确定。

② 表中所列数据按平原地区，大气为中性状态，点源连续排放制订。间断排放者，若每天多次排放，其排放量按表中规定；若每天排放一次，且小于一小时，则二氧化硫、烟尘及生产性粉尘、二硫化碳，氟化物，氯，氯化氢、一氧化碳等七类物质排放量可为表中规定量的三倍。

③ 系指局部通风除尘后所允许的排放浓度。

第一类指：含10%以上的游离二氧化硅或石棉的粉尘，玻璃棉和矿渣棉粉尘，铝化物粉尘等。

第二类指：含10%以下的游离二氧化硅的煤尘及其它粉尘。

7.2.2 侧吸罩 (图7.2-1)

1. 侧吸罩的设计原则

(1) 侧吸罩的形状应适应有害物的排除,其罩口长度应不小于有害物扩散区的长度。当有害物扩散区较宽时,侧吸罩应分成两个或多个设置。接管与罩子应同心,罩口面积与接管截面之比最大为16:1。

(2) 侧吸罩的长度一般为接管直径的3倍。

(3) 侧吸罩口应有边,边宽一般不超过150mm。有边侧吸罩的排风量比无边的减少25%。

(4) 在不影响操作的原则下,排风罩应尽量靠近有害物散发点。

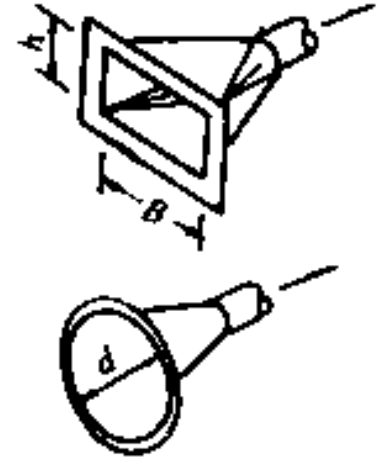


图 7.2-1 侧吸罩

2. 罩口速度场和排风量

(1) 圆形及矩形侧吸罩 ($\frac{h}{B} \geq 0.2$)

a. 罩口速度场:

$$\text{无边罩} \frac{v_k}{v_x} = \frac{10x^2 + F}{F} \quad (7.2-1)$$

$$\text{有边罩} \frac{v_k}{v_x} = 0.75 \frac{10x^2 + F}{F} \quad (7.2-2)$$

式中 v_k ——罩口风速, m/s;

v_x ——吸入速度, m/s, 按表7.2-3采用;

F ——罩口截面积, m^2 ;

x ——罩口距有害物扩散区的距离, m。

b. 排风量 L (m^3/s):

$$\text{无边罩} L = v_x (10x^2 + F) \quad (7.2-3)$$

$$\text{有边罩} L = 0.75v_x (10x^2 + F) \quad (7.2-4)$$

(2) 台上圆形及矩形侧吸罩 ($\frac{h}{B} > 0.2$)

a. 罩口速度场

吸入速度 (m/s)

表 7.2-3

周围气流情况	吸入速度 (m/s)	
	危害性小时	危害性大时
无气流或容易安装挡板的地方	0.20~0.25	0.25~0.30
中等程度气流的地方	0.25~0.30	0.30~0.35
较强气流的地方或不安挡板的地方	0.35~0.40	0.38~0.50
强气流的地方	0.5	
非常强气流的地方	1.0	

$$\text{无边罩 } \frac{v_k}{v_x} = \frac{5x^2 + F}{F} \quad (7.2-5)$$

$$\text{有边罩 } \frac{v_k}{v_x} = 0.75 \frac{5x^2 + F}{F} \quad (7.2-6)$$

b. 排风量 L (m^3/s)

$$\text{无边罩 } L = v_x (5x^2 + F) \quad (7.2-7)$$

$$\text{有边罩 } L = 0.75 v_x (5x^2 + F) \quad (7.2-8)$$

(3) 缝口侧吸罩 ($\frac{h}{B} < 0.2$)

a. 罩口速度场

$$\frac{v_k}{v_x} = 3 \frac{x}{h} \quad (7.2-9)$$

式中 h ——缝口侧吸罩缝口高度, m。

b. 排风量 L (m^3/s)

$$L = 3v_x x B \quad (7.2-10)$$

式中 B ——缝口侧吸罩宽度, m。

7.2.3 伞形罩 (图7.2-2)

1. 伞形罩的设计原则

(1) 伞形罩的罩口截面和形状应与有害物扩散区水平投影相似;

(2) 伞形罩的开口角度 α 宜等于或小于 60° , 最大不大于 90° 。必要时对边长较大的伞形罩可分段设置;

(3) 伞形罩应设裙边, 裙边高度 $h_2 = 0.25\sqrt{F}$ (F 为罩口面积)。排除潮湿气体时, 应在裙边内设檐沟。排除热气体的伞形罩的罩口截面尺寸:

$$\text{矩形伞形罩 } A = a + 0.4h_1$$

$$B = b + 0.4h_1$$

$$\text{圆形伞形罩 } D = d + 0.4h_1;$$

(4) 在不影响操作的情况下, 伞形罩应尽量靠近有害物散发点。一般 $H = 1.6 \sim 1.8\text{m}$ 。

2. 排风量 L (m^3/h)

$$L = 3600v_0 F \quad (7.2-11)$$

式中 F ——罩口面积, m^2 ;

v_0 ——罩口平均风速, m/s , 取值可按如下规定:

排除无刺激性的有害气体 (热、湿) 时:

$$v_0 = 0.3 \sim 0.5 \text{ m/s}。$$

排除有刺激性的有害气体时:

$$\text{四边敞开 } v_0 = 1.05 \sim 1.25 \text{ m/s};$$

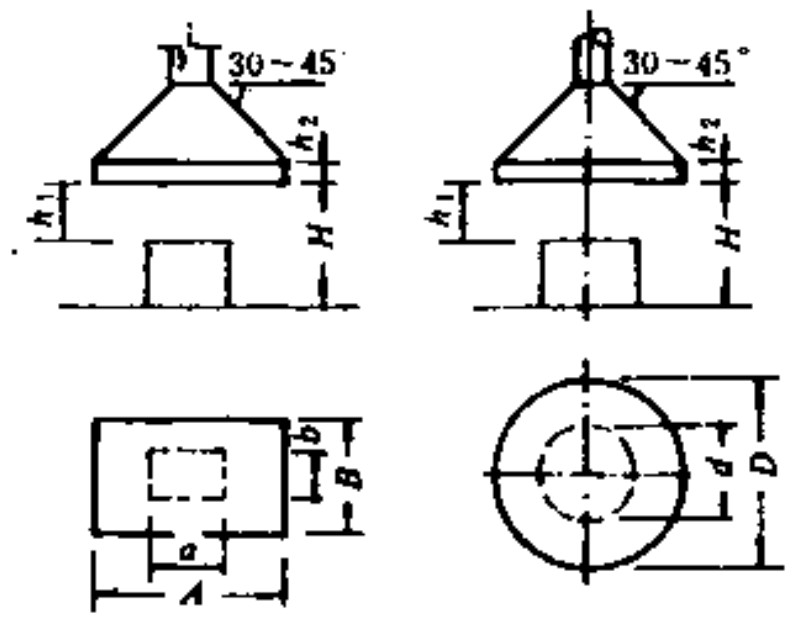


图 7.2-2 伞形罩

三边敞开	$v_0 = 0.9 \sim 1.05 \text{ m/s}$;
二边敞开	$v_0 = 0.75 \sim 0.9 \text{ m/s}$;
一边敞开	$v_0 = 0.5 \sim 0.75 \text{ m/s}$ 。

7.2.4 槽边排风

1. 设计原则

(1) 单侧及双侧排风的选择

槽宽 $B < 500 \text{ mm}$ 宜采用单侧排风;

$B = 500 \sim 800 \text{ mm}$ 宜采用双侧排风;

$B = 900 \sim 1200 \text{ mm}$ 必须采用双侧排风;

$B > 1200 \text{ mm}$ 采用吹吸式排风, 但在下列情况下不宜采用:

- 加工件频繁从槽中取出;
- 槽面上有障碍物 (挂具、工件等) 扰乱吹出气流;
- 工人经常在槽两侧工作时。

圆形槽子, 宜采用环形排风。

(2) 为提高槽边排风效果, 减少排风量, 可采用以下措施:

- 槽子宜靠墙设置;
- 降低排风罩距液面的高度, 但一般不得小于 150 mm ;
- 在工艺允许的情况下, 槽面可设置活动盖板, 或在液面上加漂浮覆盖物 (如, 塑料棒、球等)、抑制剂 (如OP乳化剂、皂根) 等。

2. 条缝式槽边抽风

(1) 构造

条缝式槽边排风罩分为单侧、双侧两种。其安装形式分为单侧 I、单侧 II、双侧、周边 I、周边 II 及环形 (图 7.2-3)。

排风罩的条缝口分 I、II、III (带挡板) 三种形式 (图 7.2-4)。

排风罩的截面 ($E \times F$) 有低截面 $200 \times 200 \text{ mm}$ 及高截面 $250 \times 200 \text{ mm}$ 、 $250 \times 250 \text{ mm}$ 三种。

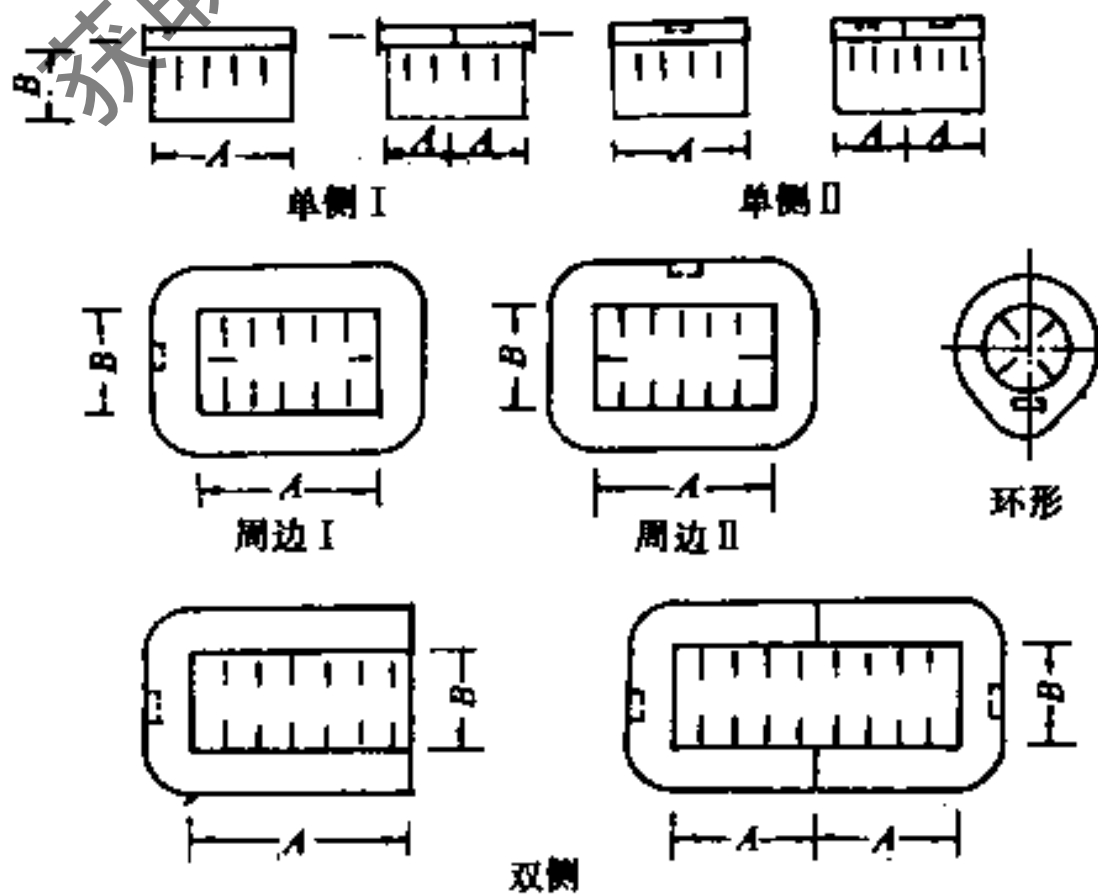


图 7.2-3 条缝式槽边排风罩

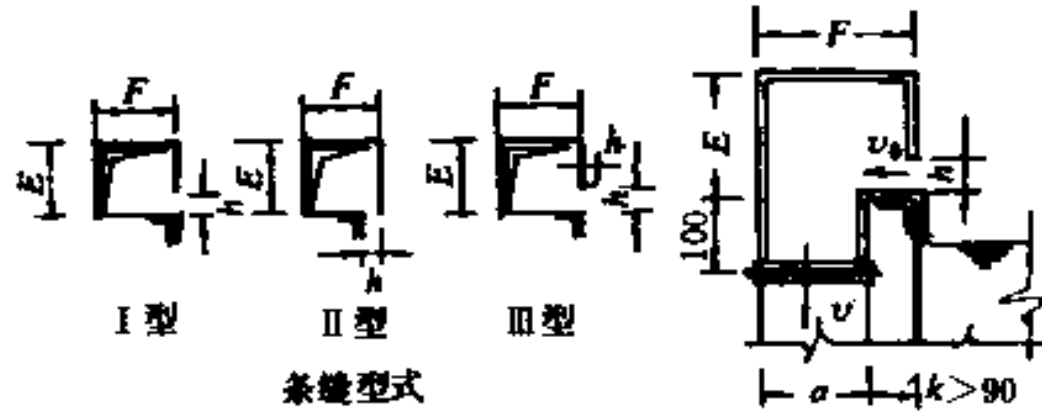


图 7.2-4 条缝式排风罩型式

(2) 条缝口的高度 h (m)

$$h = \frac{L}{v_0 l \cdot 3600} \quad (7.2-12)$$

式中 L ——条缝口的排风量, m^3/h ;

v_0 ——条缝口的风速, m/s (一般取 $7 \sim 12 \text{m/s}$);

l ——条缝口的长度, m 。

条缝口的高度一般取 $h < 50 \text{mm}$ 。

(3) 条缝式排风罩的排风量 L (m^3/h)

a. 高截面单侧排风

$$L = 7200 v_x A B \left(\frac{B}{A} \right)^{0.2} \quad (7.2-13)$$

b. 低截面单侧排风

$$L = 10800 v_x A B \left(\frac{B}{A} \right)^{0.2} \quad (7.2-14)$$

c. 高截面双侧排风

$$L = 7200 v_x A B \left(\frac{B}{2A} \right)^{0.2} \quad (7.2-15)$$

d. 低截面双侧排风

$$L = 10800 v_x A B \left(\frac{B}{2A} \right)^{0.2} \quad (7.2-16)$$

e. 高截面环形排风

$$L = 5652 v_x D^2 \quad (7.2-17)$$

f. 低截面环形排风

$$L = 8496 v_x D^2 \quad (7.2-18)$$

式中 A 、 B 、 D ——槽长、槽宽、圆槽直径, m ;

v_x ——排风起始速度, m/s , 按表 7.2-4 采用。

(4) 条缝式排风罩的压力损失 ΔP (Pa)

$$\Delta P = \zeta \frac{v_0^2}{2} \rho \quad (7.2-19)$$

式中 ζ ——局部阻力系数, 取 2.34;

v_0 ——条缝口风速, m/s ;

ρ ——空气密度, kg/m^3 。

槽边排风起始速度 v_x

表 7.2-4

槽的用途	溶液中主要有害物	溶液温度 (°C)	电流密度 (A/m ²)	v_x (m/s)
镀铬	H ₂ SO ₄ 、CrO ₃	55~58	20~35	0.5
镀铬 (装饰性)	H ₂ SO ₄ 、CrO ₃	68~75	35~70	0.5
电化学抛光	H ₂ SO ₄ 、CrO ₃	40~50	10~20	0.4
电化学腐蚀	H ₃ PO ₄ 、H ₂ SO ₄ 、CrO ₃	70~90	15~20	0.4
氰化镀锌	H ₂ SO ₄ 、KCN	15~25	8~10	0.4
氰化镀铜	ZnO、NaCN、NaOH	40~70	5~20	0.4
镀层电化学抛光	CuCN、NaOH、NaCN	35~55	2~4	0.35
铝件电抛光	H ₂ SO ₄ 、CrO ₃ 、C ₂ H ₅ (OH) ₃	40~45	15~20	0.4
电化学去油	H ₃ PO ₄ 、C ₂ H ₅ (OH) ₃	85~90	30	0.4
镀锌	NaOH、Na ₂ CO ₃ 、Na ₃ PO ₄ 、Na ₂ SiO ₃	~80	3~8	0.35
氰化镀锌	NaCN、NaOH、Na ₂ SO ₄	15~25	1.5~4	0.35
镀锌合金	ZnO、NaCN、NaOH	35~70	2~5	0.35
镀锡	NaCN、CuCN、NaOH、Na ₂ SnO ₃	65~70	2~2.5	0.35
镀锡 (碱)	NiSO ₄ 、NaCl、COH ₂ (SO ₃ Na) ₂	50	3~4	0.35
镀锡 (液)	Na ₂ SnO ₃ 、NaOH、CH ₃ COONa、H ₂ O ₂	65~75	1.5~2	0.35
镀锡 (酸)	Na ₂ SnO ₃ 、NaOH、CH ₃ COONa	70~80	1~4	0.35
氰化电化学浸蚀	SnO ₂ 、NaOH、H ₂ SO ₄ 、C ₂ H ₅ OH	65~75	0.5~2	0.35
镀金	KCN	15~25	3~5	0.35
铝件电抛光	K ₄ Fe(CN) ₆ 、NaCO ₃ 、H(AuCl) ₄	70	4~6	0.35
钢件电化学氧化	Na ₃ PO ₄	—	20~25	0.35
退铬	NaOH	80~90	5~10	0.35
酸性镀铜	NaOH	室温	5~10	0.35
氰化镀黄铜	CuCO ₃ 、H ₂ SO ₄	15~25	1~2	0.3
氰化镀黄铜	CuCN、NaCN、Na ₂ SO ₃ 、Zn(CN) ₂	20~30	0.3~0.5	0.3
镀锌	CuCN、NaCN、NaOH、Na ₂ CO ₃ 、Zn(CN) ₂	15~25	1~1.5	0.3
镀锌合金	NiSO ₄ 、NaSO ₄ 、NaCl、MgSO ₄	15~25	0.5~1	0.3
电解纯化	Pb、Sn、H ₃ BO ₃ 、HBF ₄	15~25	1~1.2	0.3
铝阳极氧化	Na ₂ CO ₃ 、K ₂ CrO ₄ 、N ₂ CO ₃	20	1~6	0.3
铝件阳极绝缘氧化	H ₂ SO ₄	15~25	0.8~2.5	0.3
退铜	C ₂ H ₄ O ₄	20~45	1~5	0.3
退银	H ₂ SO ₄ 、CrO ₃	20	3~8	0.3
化学去油	H ₂ SO ₄ 、C ₂ H ₅ (OH) ₃	20	3~8	0.3
黑镀	NaOH、Na ₂ CO ₃ 、Na ₃ PO ₄	70~90	—	0.3
预镀银	NiSO ₄ 、(NH ₄) ₂ SO ₄ 、ZnSO ₄	15~25	0.2~0.3	0.25
镀银后黑化	KCN、AgCl	20	0.5~1	0.25
镀金	KCN、K ₂ CO ₃	15~25	1~2	0.25
镀钯	Na ₂ S、Na ₂ SO ₃ 、(CH ₃) ₂ CO	15~25	0.08~0.1	0.25
铝件铬酐阳极氧化	BeSO ₄ 、(NH ₄) ₂ MO ₇ O ₂₄	15~25	0.005~0.02	0.25
退银	KCN	20	0.1~0.2	0.25
退锡	Pa、NH ₄ Cl、NH ₄ OH、NH	20	0.25~0.5	0.25
碱洗	CrO ₃	15~25	0.01~0.2	0.25
热水槽	AgCl、KCN、Na ₂ CO ₃	20~30	0.3~0.1	0.25
	NaOH	60~75	1	0.25
	水蒸气	60~80	—	0.20
		>50	—	0.20

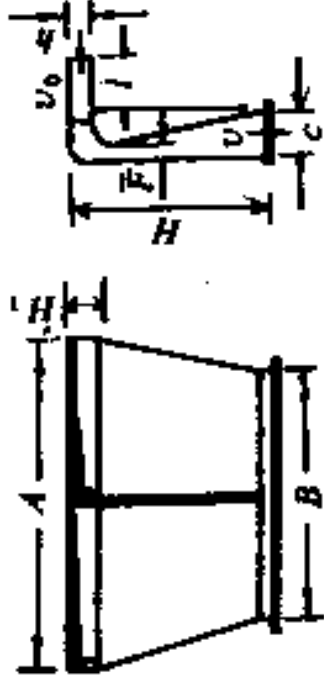
注： v_x 值系根据溶液浓度、成分、温度和电流密度等因素综合确定。

3. 平口式槽边排风

(1) 平口式槽边排风罩分整体式及分组式两种，见表7.2-5及表7.2-6。

分组式平口槽边排风罩

表 7.2-5

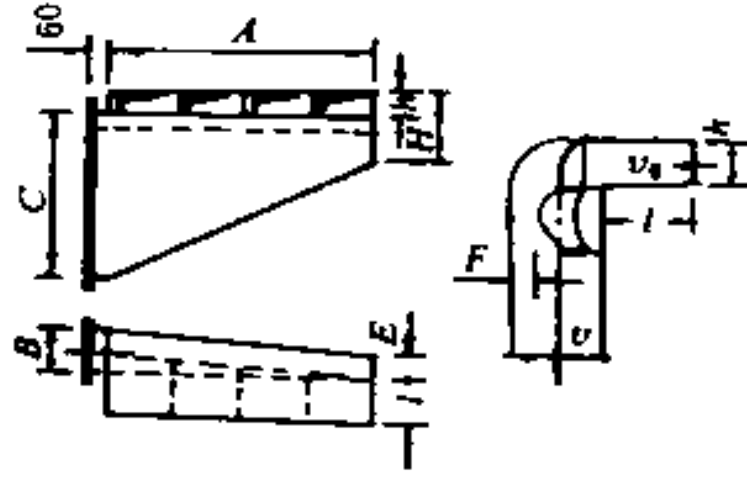


型号	v (m/s)	ξ₁	v₀ (m/s)								A	B	C	h	F	H	H₁
			4	5	6	7	8	9	10	11							
			风量 L (m³/h)														
1	1.7~4.6		225	280	340	395	450	515	565	620	400	300					
2	1.7~4.8		285	360	430	500	580	650	720	790	500	370					
3	1.7~4.7	1.0	340	425	510	595	685	770	845	935	600	450	120	25	500	100	
4	1.6~4.5		400	500	600	700	800	900	1000	1100	700	550					
5	1.6~4.4		455	570	680	795	910	1020	1140	1250	800	650					
6	2.2~6.1		340	425	510	590	685	770	845	930	400	300					
7	2.2~6.1		425	530	640	750	855	965	1060	1160	500	370					
8	2.2~6.1	1.4	510	635	765	900	1020	1150	1270	1390	600	450	140	35	500	130	
9	2.1~5.8		600	750	900	1050	1200	1350	1500	1650	700	550					
10	2.0~5.6		685	860	1030	1200	1370	1550	1720	1890	800	650					
11	2.6~7.1		450	560	680	800	900	1030	1130	1240	400	300					
12	2.6~7.1		570	720	830	1000	1160	1300	1440	1580	500	370					
13	2.6~7.1	1.7	680	850	1020	1190	1370	1540	1690	1870	600	450	160	40	500	150	
14	2.5~6.8		800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	700	550					
15	2.4~6.6		910	1140	1360	1590	1820	2040	2280	2500	800	650					

注: 1. ξ₁ 应按 v₀ 计算压力损失。
2. L 值根据槽壁厚度确定。

整体式平口槽边排风罩

表 7.2-6



型号	v_0 (m/s)	v (m/s)	风量 L (m^3/h)	ζ_1	A	B	C	E	h	H	F
1	5.8	2.9	600	2.6	600	120	500	50	70	200	25
	9.6	4.8	1000								
2	6.8	3.2	1000	2.7	600	150	600	80	70	250	35
	12.0	5.6	1800								
3	7.2	3.8	800	2.9	800	120	500	50	40	200	20
	10.8	5.8	1200								
4	7.2	3.8	1200	2.7	800	150	600	80	60	250	30
	10.7	5.7	1800								
5	8.1	3.7	1800	2.6	800	200	700	100	80	300	40
	11.2	5.1	2500								
6	5.7	3.1	1000	2.6	1000	150	600	80	50	250	25
	11.5	6.3	2000								
7	8.2	4.1	2000	3.7	1000	200	700	100	70	300	35
	12.3	6.2	3000								
8	5.3	3.5	1100	4.0	1200	150	600	80	50	250	20
	10.0	6.6	2100								
9	7.2	4.3	2100	2.5	1200	200	700	100	70	300	35
	11.9	7.1	3500								
10	5.0	3.1	1300	3.5	1500	200	600	100	50	250	20
	8.8	5.5	2300								
11	6.3	4.7	2300	3.0	1500	200	700	100	70	300	35
	10.0	8.2	4000								

注：1. ζ_1 要按 v_0 计算压力损失。

2. l 值根据槽壁厚度确定。

(2) 平口式排风罩的排风量 L (m^3/h)

单侧排风

$$L = 1.15L_D \quad (7.2-20)$$

式中 L_D ——单侧低截面条缝式排风罩排风量, m^3/h , 按式 (7.2-14) 计算。

双侧排风

$$L = 1.20L_s \quad (7.2-21)$$

式中 L_s ——双侧低截面条缝式排风罩排风量, m^3/h , 按式 (7.2-16) 计算。

(3) 平口排风罩的压力损失 ΔP (Pa)

$$\Delta P = \zeta_1 \frac{v_0^2}{2} \rho \quad (7.2-22)$$

式中 ζ_1 ——局部阻力系数, 按表7.2-5或表7.2-6取;

v_0 ——缝口风速, m/s ;

ρ ——空气密度, kg/m^3 。

4. 吹吸式排风罩的简易计算 (图7.2-5)

吹风射流的扩散角取为 10° , 吸风口高度 H (m)

为:

$$H = B \times \tan 10^\circ = 0.18B \quad (7.2-23)$$

式中 B ——槽子宽度, m 。

抽风量视横向气流大小, 每 m^2 槽面面积取为:

$$L = 1800 \sim 2700 m^3/h$$

吹风量 L_0 (m^3/h) 按下式计算:

$$L_0 = \frac{L}{BE} \quad (7.2-24)$$

式中 E ——槽宽修正系数, 见表7.2-7。

修正系数表

表 7.2-7

槽宽 B (m)	0~2.4	2.4~4.9	4.9~7.3	7.3以上
系数 E	6.6	4.6	3.3	2.3

吹风口高度 h , 按吹风速度 $5 \sim 10 m/s$ 确定。

7.2.5 通风柜

1. 通风柜的型式及选择

(1) 上部排风的通风柜 (图7.2-6)

适用于柜内产生的有害气体密度比空气小的情况。

(2) 下部排风的通风柜 (图7.2-7)

适用于柜内产生的有害气体密度比空气大的情况。

(3) 上下联合排风的通风柜 (图7.2-8)

有可能既产生密度大于空气的有害气体, 又产生密度小于空气的有害气体的情况, 宜选择上下联合排风的通风柜。

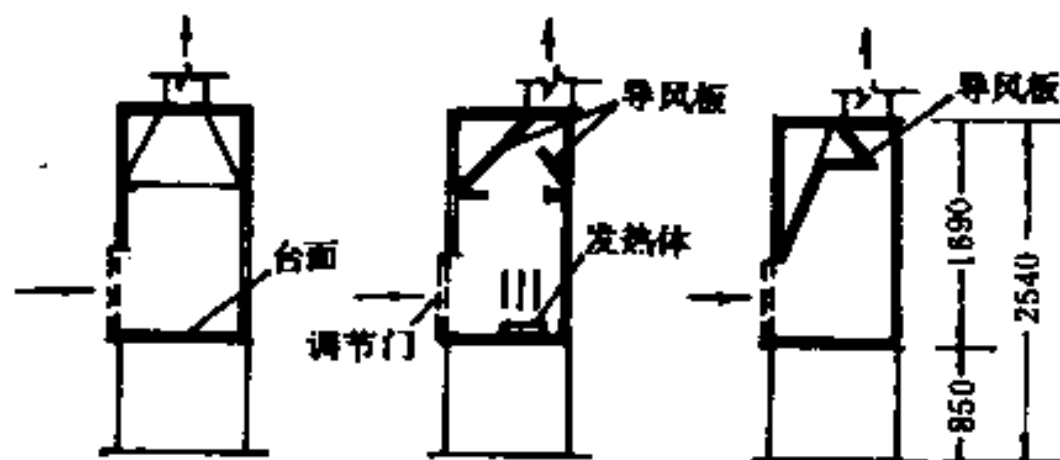


图 7.2-6 上部排风的通风柜

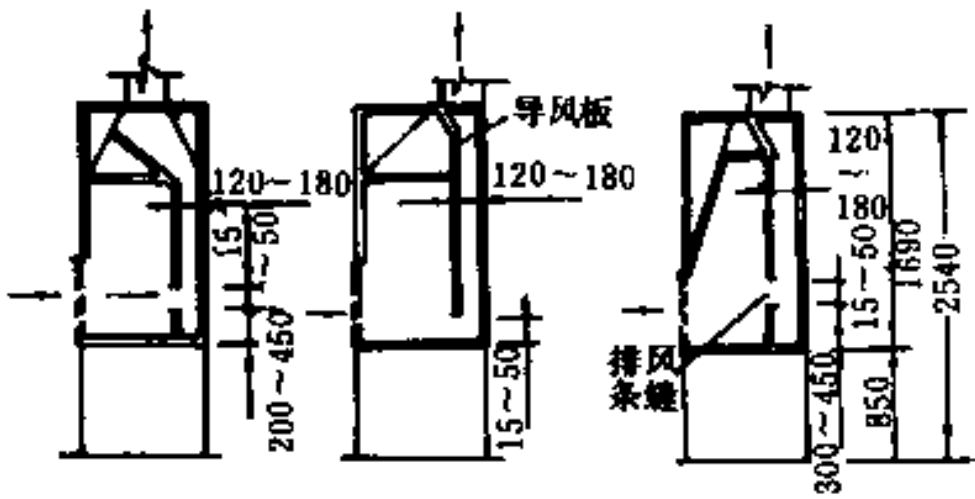


图 7.2-7 下部排风口通风柜

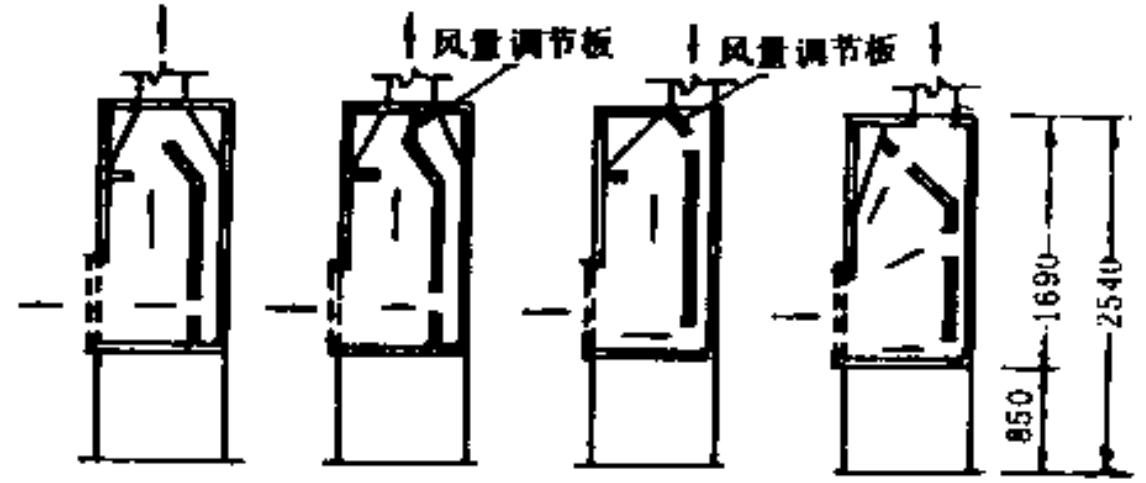


图 7.2-8 上下联合排风的通风柜

(4) 供气式通风柜 (图7.2-9)

供气式通风柜的排风, 其排风量的 $2/3 \sim 3/4$ 为供给空气, 仅 $1/4 \sim 1/3$ 为室内空气。因此, 当使用于供暖或空调房间时, 能大幅度减少热量和冷量的耗损。

2. 通风柜的排风量 L (m^3/h)

$$L = 3600 F v \beta \quad (7.2-25)$$

式中 F ——操作口面积, m^2 ;

v ——操作口平均风速, m/s , 按表7.2-8采用;

β ——安全系数, 一般取 $1.05 \sim 1.1$ 。

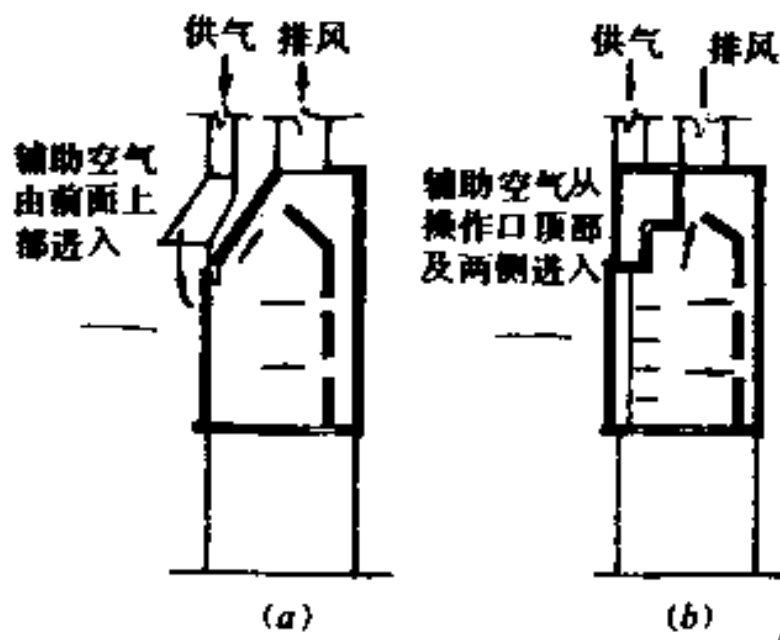


图 7.2-9 供气式通风柜

通风柜操作口推荐的吸风速度 表 7.2-8

散发有害物种类	吸入速度 v (m/s)
无毒有害物	0.25 ~ 0.375
有毒或有危险的有害物	0.4 ~ 0.5
极毒物或少量放射性有害物	0.5 ~ 0.6

7.3 全面通风

7.3.1 设计原则

1. 散发热、湿及有害气体的房间, 当发生源分散或不固定而无法采用局部排风, 或者设置局部排风仍难以达到卫生要求时, 应采用或辅以全面通风。

2. 同时放散热、蒸汽和有害气体, 或仅放散密度比空气小的有害气体的生产厂房, 除设局部排风外, 宜在上部地带进行自然或机械的全面排风, 其换气量不宜小于每小时一次换气。当房间高度大于 $6 m$ 时, 排风量可按每 m^2 地面面积 $6 m^3/h$ 计算。

3. 全面通风包括自然通风、机械通风或自然通风与机械通风联合使用等多种方式。设计时应尽量采用自然通风, 以达到节能、节省投资和避免噪声干扰的目的。当自然通风难以保证卫生要求时, 可采用机械通风或机械通风和自然通风的联合方式。

4. 设置集中供暖且有排风的生产房间, 应首先考虑自然补风的可能性。对于换气次数小于 2h^{-1} 的全面排风系统或每班运行不到2小时的局部排风系统, 可不设机械送风系统补偿所排风量。当自然补风达不到室内卫生条件、生产要求或在技术经济上不合理时, 宜设置机械送风系统。

5. 要求清洁的房间, 当周围环境较差时, 送风量应大于排风量, 以保证房间正压; 对于产生有害气体的房间, 为避免污染相邻房间, 送风量应小于排风量, 以保证房间负压。一般送风量可为排风量的80~90%。

6. 对冬季全面通风进行空气平衡与热平衡计算时, 应视具体情况考虑如下因素:

(1) 允许短时间温度降低或间断排风的房间, 其排风在空气热平衡计算中可不予考虑;

(2) 稀释有害物质的全面通风的进风, 应采用冬季供暖室外计算温度; 消除余热、余湿的全面通风, 可采用冬季通风室外计算温度。

7. 计算工艺及设备散热量时, 应遵循如下原则:

(1) 冬季

- 按最小负荷班的工艺设备散热量计算;
- 非经常散发的散热量, 不予计入;
- 经常但不稳定的散热量, 应采用小时平均值。

(2) 夏季

- 按最大负荷班的工艺设备散热量采取;
- 经常而不稳定的散热量, 按最大值采取;
- 白班不经常的散热量较大时, 应予考虑。

7.3.2 气流组织

1. 全面通风的进、排风应使室内气流从有害物浓度较低的地区流向较高的地区, 特别是应使气流将有害物从人员停留区带走。

2. 机械送风系统的送风方式, 应符合如下要求:

(1) 放散热或同时放散热、湿和有害气体的房间, 当采用上部或下部同时全面排风时, 宜送至作业地带;

(2) 放散粉尘或密度比空气大的蒸汽和气体, 而不同时放热的房间, 当从下部排风时, 宜送至上部地带;

(3) 当固定工作地点靠近有害物放散源、且不可能安装有效的局部排风装置时, 应直接向工作地点送风。

3. 当采用全面通风消除余热、余湿或其他有害物时, 应分别从室内温度最高、含湿量或有害物浓度最大的区域排出, 且其风量分配应符合下列要求:

(1) 当有害气体和蒸汽的密度比空气小, 或在相反情况下但会形成稳定的上升气流时, 宜从房间上部地带排出所需风量的 $\frac{2}{3}$, 从下部地带排出 $\frac{1}{3}$;

(2) 当有害气体和蒸汽的密度比空气大, 且不会形成稳定的上升气流时, 宜从房间上部地带排出 $\frac{1}{3}$, 从下部排出 $\frac{2}{3}$ 。

从房间下部排出的风量,包括距地面2 m以内的局部排风量。从房间上部排出的风量,不应小于每小时一次换气。

当排出有爆炸危险的气体或蒸汽时,其风口上缘距顶棚应小于0.4 m。

4. 机械送风系统室外进风口的位置,应符合下列要求:

(1) 应设在室外空气比较洁净的地方;

(2) 应尽量设在排风口的上风侧(指进、排风口同时使用季节的主导风向的上风侧),且应低于排风口;

(3) 进风口与排风口设于同一高度时的水平距离不应小于20 m。当水平距离小于20 m时,进风口应比排风口至少低6 m;

(4) 进风口的底部距室外地坪不宜低于2 m。当布置在绿化带时,不宜低于1 m;

(5) 降温用的进风口,宜设在建筑物的背荫处。

7.3.3 全面换气量

1. 消除余热所需要的换气量 G_1 (kg/h):

$$G_1 = 3600 \frac{Q}{(t_p - t_j)c} \quad (7.3-1)$$

2. 消除余湿所需要的换气量 G_2 (kg/h):

$$G_2 = \frac{G_{sh}}{d_p - d_j} \quad (7.3-2)$$

3. 稀释有害物所需换气量 G_3 (kg/h):

$$G_3 = \frac{\rho M}{c_y - c_j} \quad (7.3-3)$$

式中 Q ——余热量, kW;

t_p ——排出空气的温度, °C;

t_j ——进入空气的温度, °C;

c ——空气的比热, 1.0 kJ/kg·K;

G_{sh} ——余湿量, g/h;

d_p ——排出空气的含湿量, g/kg;

d_j ——进入空气的含湿量, g/kg;

M ——室内有害物的散发量, mg/h;

c_y ——室内空气中有毒物质的最高允许浓度, mg/m³, 见表7.3-1;

c_j ——进入空气中有毒物质的浓度, mg/m³;

ρ ——空气密度, kg/m³。

4. 房间内同时放散余热、余湿和有害物质时, 换气量按其中最大值取。

5. 如室内同时散发几种有害物质时, 换气量按其中最大值取。但当数种溶剂(苯及其同系物、醇类或醋酸酯类)的蒸气, 或数种刺激性气体(三氧化硫及二氧化硫或氟化氢及其盐类等)同时在室内放散时, 换气量按稀释各有害物所需换气量的总和计算。

6. 当散发有害物数量不能确定时, 全面通风的换气量可按换气次数确定。某些建筑的换气次数见表7.3-2。

车间空气中有害物质的最高允许浓度

表 7.3-1

物质名称	最高容许浓度 (mg/m ³)	物质名称	最高容许浓度 (mg/m ³)
一、有毒物质		五氧化二钒烟	0.1
一氧化碳	30	五氧化二钒粉尘	0.5
一甲胺	5	钒铁合金	1
乙醚	500	黄磷	0.03
乙腈	3	氰化氢及氢氰酸盐(换算成HCN)(皮)	0.3
二甲胺	10	联苯-联苯醚	7
二甲苯	100	硫化氢	10
二甲基甲酰胺(皮)	10	硫酸及三氧化硫	2
二甲基二氯硅烷	2	硫化铅	0.5
二氧化硫	15	碱性气溶胶(换算成NaOH)	0.5
二氧化硒	0.1	氯	1
二氯丙醇(皮)	5	氯化氢及盐酸	15
二硫化碳(皮)	10	氯苯	50
二异氰酸甲苯酯	0.2	氯萘及氯联苯(皮)	1
丁二烯	100	升汞	0.1
丁醛	10	五氧化二磷	1
三氧化二砷及五氧化二砷	0.3	五氯酚及其钠盐(皮)	0.3
三氧化铬、铬酸盐、重铬酸盐 (换算成Cr ₂ O ₃)	0.05	六六六	0.1
三氯氢硅	3	四乙基铅(皮)	0.005
己丙酰胺	10	甲苯	100
敌百虫(皮)	1	甲醛	3
敌敌畏(皮)	0.3	丙酮	400
吡啶	4	丙烯腈(皮)	2
松节油	300	丙烯醛	0.3
环氧氯丙烷(皮)	1	丙体六六六	0.05
环氧乙烷	5	光气	0.5
环己酮	50	有机汞化合物(皮)	
环己醇	50	有机磷化合物:	0.005
环己烷	100	内吸磷(1059)(皮)	0.02
苯(皮)	40	对硫磷(1605)(皮)	0.05
苯乙烯	40	甲拌磷(3911)(皮)	0.01
苯及其同系物的一硝基化合物 (硝基苯及硝基甲苯等)(皮)	5	马拉硫磷(4049)(皮)	2
苯及其同系物的二及三硝基化合物 (二硝基苯,三硝基甲苯等)(皮)	1	甲基内吸磷(甲基1059)(皮)	0.2
苯的硝基及二硝基氯化物 (一硝基氯苯,二硝基氯苯等)(皮)	1	甲基对硫磷(甲基1605)(皮)	0.1
苯胺、甲苯胺、二甲苯胺(皮)	5	乐戈(乐果)(皮)	1
金属汞	0.01	氯化苦	1
氯化氢	1	氯化烃:	
氯	30	二氯乙烷	25
臭氧	0.3	三氯乙烯	50
氧化氮(换算成NO ₂)	5	四氯化碳(皮)	25
氧化锌	5	氯乙烯	30
氧化镉	0.1	氯丁二烯(皮)	2
砷化氢	0.3	溴甲烷(皮)	1
丙烯醇(皮)	2	碘甲烷(皮)	1
氢氟酸的盐类(换算成HF)	1	溶剂汽油	350
酚(皮)	5	铅及其无机化合物:	
假丁烯	100	铅烟	0.03
萘烷、四氯化萘钒	100	铅尘	0.05
		铍及其化合物	0.001
		钼(可溶性化合物)	4
		钼(不溶性化合物)	6
		滴滴涕	0.3

续表

物质名称	最高容许浓度 (mg/m ³)	物质名称	最高容许浓度 (mg/m ³)
醇:		糠 醛	10
甲 醇	50	磷化氢	0.3
丙 醇	200	钨及碳化钨	6
丁 醇	200	二、生产性粉尘	
戊 醇	100	含有80%以上游离二氧化硅的粉尘	1
醛及其化合物	5	含有10%以上游离二氧化硅的粉尘	2
锰及其化合物(换算成MnO ₂)	0.2	石棉粉尘及含有10%以上石棉的粉尘	2
羰基镍	0.001	含有10%以下游离二氧化硅滑石粉尘	4
醋酸酯:		含有10%以下游离二氧化硅的水泥粉尘	6
醋酸甲酯	100	含有10%以下游离二氧化硅的煤尘	10
醋酸乙酯	300	铝、氧化铝、铝合金粉尘	4
醋酸丙酯	300	烟草及茶叶粉尘	3
醋酸丁酯	300	玻璃棉和矿渣棉粉尘	5
醋酸戊酯	100	其他各种粉尘	10

民用及公共建筑通风换气量表

表 7.3-2

序 号	房 间 名 称	换气次数 (1/h)	
		进 气	排 气
一、居住建筑			
1	住宅、宿舍的卧室及起居室		1.0
2	厨房		3.0
3	卫生间		1.0~3.0
4	盥洗室		0.5~1.0
5	公共厕所		每个大便器 40m ³ /h 每个小便器 20m ³ /h
二、医疗建筑			
1	病房	3.0	1.0
2	诊室		1.5
3	X光室	4.0	5.0
4	X光的操纵室及暗室	2.0	3.0
5	体疗室	每人 50~60m ³ /h	
6	理疗室	4.0	5.0
7	一般手术室	5.0	6.0
8	西药房、调剂室	2.0	2.0
9	中药房、煎药室	1.0	3.0
10	蒸汽消毒室		4.0
	污部		
	洁部	2.0	
三、托儿所、幼儿园			
1	活动室、寝室、办公室		1.5
2	盥洗室、厕所		3.0
3	浴室		1.5
4	医务室、隔离室		1.5
5	厨房		3.0
6	洗衣房		5.0
四、学校			
1	教室		1.0~1.5
2	化学试验室		3.0
3	厕所		5.0
4	健身房		3.0
5	保健室		1.0~1.5

续表

序 号	房 间 名 称	换气次数 (1/h)	
		进 气	排 气
五、影剧院			
1	观众厅	每人10m ³ /h	
2	休息厅		3.0
3	舞台		1.0
4	吸烟室		10
5	放映室		每台放映机700m ³ /h
六、体育建筑			
1	比赛厅	每人10m ³ /h	
七、洗衣房			
1	洗衣间	10	13
2	烫衣间	4.0	6.0
3	包装间	1.0	1.0
4	接收衣服间	3.0	4.0
5	取衣处	2.0	
6	集中衣服处		1.0
八、公共建筑的共同部分			
1	变电室		10.0
2	配电室		3.0
3	电梯机房		10.0
4	蓄电池室		12.0
5	制冷空调机房		5.0
6	汽车库(停车场、无修理间)		2.0
7	汽车修理间		3.0
8	地下停车库	4.0~5.0	5.0~6.0
9	油罐室		5.0

7.3.4 空气热平衡计算

空气热平衡按下式计算:

$$(\Sigma Q_h - \Sigma Q_s) + G_p c (t_n - t_w) = G_x c (t_s - t_n) + G_{j_s} c (t_{j_s} - t_w) \quad (7.3-4)$$

- 式中 ΣQ_h ——围护结构、材料吸热等的总耗热量, kW;
 ΣQ_s ——室内工艺设备和散热器的总散热量, kW;
 G_p ——局部和全面排风量, kg/s;
 G_x ——再循环空气量, kg/s;
 G_{j_s} ——机械送风量, kg/s;
 c ——空气比热, $c = 1.0 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}$;
 t_w ——室外供暖或通风计算温度, °C;
 t_n ——室内温度, °C;
 t_s ——再循环送风温度, °C;
 t_{j_s} ——机械送风温度, °C。

7.3.5 散热量计算

1. 照明设备散热量 Q (kW)

(1) 白炽灯

$$Q = n_1 N \quad (7.3-5)$$

(2) 荧光灯

$$Q = n_1 n_2 n_3 N \quad (7.3-6)$$

式中 N ——灯具安装功率, kW;

n_1 ——同时使用系数, 视不同场所使用情况而定;

n_2 ——镇流器散热系数: 镇流器装在室内时取1.2, 装在吊顶内时取1.0;

n_3 ——安装系数: 明装时为1.0; 暗装且灯罩上部穿有小孔, 利用自然通风散热于顶棚内时, 取0.5~0.6; 暗装而罩上无孔时, 视顶棚内通风情况取0.6~0.8。

2. 电动设备散热量 Q (kW)

(1) 工艺设备及其电机同在室内时

$$Q = n_1 n_2 n_3 \frac{N}{\eta} \quad (7.3-7)$$

式中 n_1 ——电机容量利用系数。电动设备最大实耗功率与安装功率之比, 一般为0.7~0.9;

n_2 ——负荷系数。电动设备每小时的平均实耗功率与设计最大实耗功率之比。应根据工艺资料定, 一般为0.5~0.8;

n_3 ——同时使用系数。根据工艺资料确定, 一般为0.5~1.0;

N ——电动设备的安装功率, kW;

η ——电动机效率。与电机型号、负荷情况有关, 可查电机产品样本。

(2) 电机不在室内, 仅计算工艺设备散热量

$$Q = n_1 n_2 n_3 N \quad (7.3-8)$$

(3) 工艺设备不在室内, 仅计算电动机的散热量

$$Q = n_1 n_2 n_3 N \frac{1-\eta}{\eta} \quad (7.3-9)$$

(4) 一般机械加工车间的电动设备散热量可按下式作概略计算

$$Q = n N \quad (7.3-10)$$

式中 n ——综合系数。一般电动设备和不用乳化液的机械加工机床取0.25, 用乳化液的机床取0.15~0.2。

3. 发电机及充电机组散热量

(1) 柴油发电机组散热量 Q (kW)

$$Q = Q_1 + Q_2 l \quad (7.3-11)$$

式中 Q_1 ——柴油发电机组散热量, kW, 按表7.3-3选取;

Q_2 ——柴油发电机组排气管道单位长度散热量, kW/m, 按表7.3-4选取;

l ——柴油发电机排气管道长度, m。

(2) 直流发电机组散热量 Q (kW)

$$Q = \frac{N(1 - \eta_r \eta_d)}{\eta_r \eta_d} \quad (7.3-12)$$

式中 N ——发电机功率, kW;
 η_r ——发电机效率;
 η_d ——电动机效率。

(3) 充电机组散热量 Q (kW)

$$Q = n \frac{N}{\eta} (1 - \eta) \quad (7.3-13)$$

式中 N ——充电机组容量, kW;
 η ——充电机组的效率;
 n ——负荷系数。

柴油发电机组的散热量

表 7.3-3

柴油发电机 (kW)	发电机功率 (kW)	燃烧室空气量 (m ³ /h)	散入室内热量 (kW)		
			柴 油 机	发 电 机	合 计
7.46	5.8	50	1.55	0.70	2.25
12	10	80	2.57	1.20	3.77
24	20	160	5.23	3.22	8.45
36	30	240	7.70	3.61	11.31
52	40	350	8.96	4.07	13.03
67	56	450	12.10	7.39	19.49
100	84	675	13.96	10.76	24.72
134	120	900	18.72	14.76	33.48
246	200	1650	27.94	27.47	55.41
328	310	2200	35.65	40.30	75.95

柴油发电机组的排气管散热量

表 7.3-4

排 气 支 管		排 气 干 管	
管径 (mm)	散热量 (kW/m)	管径 (mm)	散热量 (kW/m)
50	0.36	219	0.66
80	0.47	273	0.77
100	0.56	325	0.93
125	0.64	377	1.03
150	0.73	426	1.14
		478	1.34
		529	1.40

注: 排气管以石棉绳包扎, 厚50mm, 外涂10~15mm厚石棉灰; 排气支管温度400℃, 排气干管温度300℃, 室温按35℃计。

4. 电炉散热量

电加热炉（槽）散热量可按表7.3-5作概略计算。

电炉和电热槽的散热量

表 7.3-5

型 式	散 热 量 (kW)	
	包括加热工件的散热量	不包括加热工件的散热量
电 热 炉	0.7Ne	(0.25~0.35)Ne
电 热 槽	0.3Ne	(0.15~0.2)Ne

注：1. Ne——电炉（槽）的额定功率，kW。

2. 炉门或槽上装设排风罩时，散入厂房内的热量按表中“不包括加热工件的散热量”一栏的30%采用；加热工件的散热量另计。

5. 人体散热量Q(W)

$$Q = \varphi n q \quad (7.3-14)$$

式中 φ ——考虑不同性质的场所，成年男子和成年女子、儿童的比例不同的群集系数，见表7.3-7；

n ——人数，个；

q ——单个成年男子的散热量，W，见表7.3-6。

单个成年男子散热量(W)和散湿量(g/h)

表 7.3-6

项 目	室 温 (°C)															
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
静坐：如影剧院、食堂、阅览室等																
显 热	99	93	89	87	84	80	78	74	71	67	63	58	53	48	43	
潜 热	18	20	22	23	26	28	30	34	37	41	45	50	55	60	65	
全 热	117	113	111	110	110	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	
散 湿 量	26	30	33	35	38	41	45	50	56	61	68	75	82	90	97	
极轻劳动：如办公室、旅馆、体育馆、手表安装、电子元件制造等																
显 热	108	105	100	97	90	85	79	74	70	65	61	57	51	45	41	
潜 热	34	36	40	43	46	51	56	60	64	69	73	77	83	89	93	
全 热	142	141	140	140	136	136	135	134	134	134	134	134	134	134	134	
散 湿 量	50	54	59	64	69	76	83	89	96	102	109	116	123	132	139	
轻劳动：如商店、化学实验室、电子计算机房、工厂台面工作等																
显 热	118	112	106	99	93	87	81	76	70	63	58	52	46	39	35	
潜 热	71	74	79	84	90	94	100	105	111	118	123	129	135	142	146	
全 热	189	186	185	183	183	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181	
散 湿 量	105	110	118	126	134	140	150	158	167	175	184	193	203	212	220	

续表

项 目	室 温 (°C)														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

中等劳动：如纺织车间、印刷车间、机加工车间等

显 热	150	142	134	126	117	112	104	97	88	83	74	68	61	52	45
潜 热	86	94	102	110	118	123	131	138	147	152	161	167	174	183	190
全 热	236	236	236	236	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
散 湿 量	128	141	153	165	175	184	196	207	219	227	240	250	260	273	283

重劳动：如炼钢车间、铸造车间、排练厅、室内运动场等

显 热	192	186	180	174	169	163	157	151	145	139	134	128	122	116	111
潜 热	215	221	227	233	238	244	250	256	262	268	273	279	285	291	296
全 热	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407
散 湿 量	321	330	339	347	356	365	373	382	391	400	408	417	425	434	443

某些场所的群集系数

表 7.3-7

场 所 名 称	群 集 系 数	场 所 名 称	群 集 系 数
影剧院	0.89	百货商场	0.89
图书馆、阅览室	0.96	纺织厂	0.90
旅馆	0.93	铸造车间	1.0
体育馆	0.92	炼钢车间	1.0

7.3.6 散湿量计算

1. 敞露水面散湿量 G (kg/h)

$$G = \beta(P_{q, b} - P_q)F \frac{B}{B'} \quad (7.3-15)$$

式中 F ——蒸发表面积, m^2 ; $P_{q, b}$ ——相应于水表面温度下的饱和空气的水蒸汽分压力, Pa; P_q ——室内空气中的水蒸汽分压力, Pa; B ——标准大气压力, 101325Pa; B' ——当地实际大气压力, Pa; β ——蒸发系数, $kg/(m^2 \cdot h \cdot Pa)$;

$$\beta = (a + 0.00013v) \quad (7.3-16)$$

 a ——周围空气温度为15~30°C时, 不同水温下的扩散系数, $kg/(m^2 \cdot h \cdot Pa)$, 其数值见表7.3-8; v ——蒸发表面的空气流速, m/s。2. 沿地面流动的热水表面蒸发量 G (kg/h)

$$G = \frac{G_1 c (t_1 - t_2)}{r} \quad (7.3-17)$$

式中 G_1 ——流动的水量, kg/h;
 c ——水的比热, 4.1868 kJ/(kg·°C);
 t_1 、 t_2 ——水的初温和终温, °C;
 r ——汽化热, 平均取2450 kJ/kg。

不同水温下的扩散系数 a (kg/m²·h·Pa)

表 7.3-8

水温 (°C)	<30	40	50	60	70	80	90	100
a	0.00017	0.00021	0.00025	0.00028	0.0003	0.00035	0.00038	0.00045

3. 人体的散湿量 G (g/h)

$$G = n g \varphi \quad (7.3-18)$$

式中 n ——人数, 个;
 g ——单个成年男子的散湿量, g/h, 见表7.3-6;
 φ ——考虑不同性质的场所, 成年男子和成年女子、儿童的比例, 其散湿量不同的群集系数, 见表7.3-7。

7.4 除 尘

7.4.1 除尘设计的基本参数

1. 车间空气中粉尘最高容许浓度 (表7.3-1);
2. 粉尘爆炸浓度下限 (表7.4-1);
3. 工艺设备抽出空气含尘参数 (表7.4-2);
4. 工业粉尘的真密度与容积密度 (表7.4-3);
5. 工业粉尘的比电阻值 (表7.4-4);
6. 烟尘及生产性粉尘的排放标准 (表7.4-5)。

几种粉尘爆炸浓度下限

表 7.4-1

序 号	名 称	爆 炸 下 限 (g/m ³)	序 号	名 称	爆 炸 下 限 (g/m ³)
1	铝粉末	58.0	8	泥炭粉	16.1
2	煤末	114.0	9	电子尘	30.0
3	沥青	15.0	10	胶木灰	7.6
4	硫磺	2.3	11	亚麻皮屑	16.7
5	硫磺粉	13.9	12	棉花	25.2
6	硫的磨细粉末	10.1	13	糖	10.3
7	页岩粉	58.0	14	淀粉	7.0

工艺设备内抽出空气含尘的参考数据

表 7.4-2

序号	工艺设备	粉尘类别	含尘浓度 (mg/m ³)	粉尘粒径 (μm)					
				0~5	5~10	10~20	20~40	40~60	>60
1	磨料分级筛	碳化硅	850~1500	1.86	2.40	14.66	53.84	26.10	1.14
2	工具磨床	磨料、铁屑	100~300	13.04	12.06	22.80	22.92	21.74	7.44
3	球磨机煤粉锅炉	灰分	20000~26000	—	25.60	24.50	23.00	11.90	15.00
4	圆磨机煤粉锅炉	灰分	27000~50000	—	10.70	11.20	21.81	15.20	41.16
5	水泥磨	水泥	40000~45000	7.60	9.02	23.10	22.60	15.14	22.54
6	螺旋输送机	陶土	650~850	22.10	18.02	30.90	23.37	4.09	1.50
7	电炉	锰铁合金	900~1200	2.32	1.00	20.00	47.70	10.35	18.63
	电炉	硅铁合金	<150	0.50	10.00	41.38	48.05	0.64	0.03
	电炉	电石(石灰、煤)	9500~11500	55.30	17.80	14.60	7.30	5.00	—
8	球磨机	煤	9500~11500	72.30		19.20		4.30	4.20
9	喷砂室 10m ³ 2m ³	砂	4000~6000	6.00	12.00	6.80	32.80	8.40	34.00
		砂	6000~10000	5.80	8.50	7.90	15.90	15.80	46.10
10	石棉梳棉机	石棉、尘土	72~225	0~6	6~10	10~24	>24		
				4.60	37.40	52.70	5.30		

工业粉尘的真密度与容积密度

表 7.4-3

粉尘名称	真密度 (g/cm ³)	容积密度 (g/cm ³)	粉尘名称	真密度 (g/cm ³)	容积密度 (g/cm ³)
滑石粉	2.75	0.59~0.71	烟灰(0.7~56μm)	2.2	1.07
烟尘	2.15	1.2	硅酸盐水泥(0.7~91μm)	3.12	1.5
炭黑	1.85	0.04	造型用粘土	2.47	0.72~0.8
硅砂粉(105μm)	2.63	1.55	烧结矿粉	3.8~4.2	1.5~2.6
硅砂粉(30μm)	2.63	1.45	氧化铜(0.9~42μm)	6.4	2.64
硅砂粉(8μm)	2.63	1.15	锅炉炭末	2.1	0.6
硅砂粉(0.5~72μm)	2.63	1.26	烧结炉	3~4	1.0
电炉	4.5	0.6~1.5	转炉	5.0	0.7
化铁炉	2.0	0.8	铜精炼	4~5	0.2
黄铜溶解炉	4~8	0.25~1.2	石墨	2	~0.3
亚铅精炼	5	0.5	铸物砂	2.7	1.0
铅精炼	6	—	铅再精炼	~6	~1.2
铝二次精炼	3.0	0.3	黑液回收	3.1	0.13
水泥干燥窑	3	0.6	石灰粉尘	2.7	1.10
白云石粉尘	2.8	0.9			

工业中常见粉尘比电阻

表 7.4-4

粉尘种类	温度 (℃)	湿度 (%)	比电阻(Ω-cm)	粉尘种类	温度 (℃)	湿度 (%)	比电阻(Ω-cm)
水泥窑尘	120~180		5×10 ⁹ ~5×10 ¹⁰		121		2×10 ¹²
水泥磨和烘干机尘	60	10	10 ¹²	回转窑氧化铝微尘	177		5×10 ¹⁰
	95	10	10 ¹³		232		8×10 ⁹

续表

粉尘种类	温度 (°C)	湿度 (%)	比电阻 ($\Omega\text{-cm}$)	粉尘种类	温度 (°C)	湿度 (%)	比电阻 ($\Omega\text{-cm}$)
铜焙烧烟尘	144 250	22	2×10^9 1×10^8	烧结机粉尘	烘干		1.3×10^{10}
铅烧结机烟尘	144	10	1×10^{12}	高炉粉尘	未烘干		$2.2 \times 10^8 \sim 3.40 \times 10^8$
	52	9	2×10^{10}	转炉粉尘	烘干		2.18×10^{11}
	40	7.5	1×10^6	白云石粉尘	150		4×10^{12}
铅鼓风炉烟尘	204	5	4×10^{12}	白云石粉尘	130		5×10^{12}
	149	5	2×10^{13}	菱铁矿、镁砖、镁砂粉尘	160		3×10^{13}
含锌渣烟化炉烟尘	204	1.3	4×10^9	氧化镁粉尘	180		3×10^{12}
	149	1.3	2×10^{10}	平炉粉尘	232		9×10^8
回转窑氧化镍烟尘	20		3×10^{10}	飞灰	121	$8 \times 10^5, 2 \times 10^{11}, 7 \times 10^{12}$ $1 \times 10^6, 4 \times 10^{11}, 5 \times 10^{12}$ $1 \times 10^6, 1 \times 10^{11}, 7 \times 10^{11}$	
	65.5		8×10^9		177		
	121		6×10^9	232			
	177		5×10^{10}				
	232		8×10^8				
回转窑氧化铝微尘	20		3×10^8	石灰	121	1×10^{11}	
	65.5		3×10^{11}		177	3×10^{11}	

烟尘及生产性粉尘的排放标准

表 7.4-5

有害物名称	排放有害物企业、地区	排放标准		
		排气筒高度 (m)	排放量 (kg/h)	排放浓度 (mg/m^3)
烟 尘	电站 (煤粉)	30	82	
		45	170	
		60	310	
		80	650	
		100	1200	
		120	1700	
		150	2400	
烟尘及生产性粉尘	炼钢电炉			200
	炼钢转炉			
	(小于12t)			200
	(大于12t)			150
	水 泥			150
生产性粉尘				
(第一类)			100	
(第二类)			150	

续表

有害物名称	排放有害物企业、地区	排放标准		
		排气筒高度 (m)	排放量 (kg/h)	排放浓度 (mg/m ³)
生产用、采暖用、生活用锅炉烟尘①	一类地区：自然保护区、风景游览区、疗养区、名胜古迹区、重要建筑物周围			200
	二类地区：市区、郊区、工业区、县以上城镇			400
	三类地区：其它地区			600

① 系摘自锅炉烟尘排放标准GB 3841—83。

7.4.2 加湿防尘

1. 喷水加湿

(1) 喷水加湿的设计原则

- 喷水加湿应不影响生产和不改变物料的性质；
- 喷水应均匀和防止水滴溅落到设备的运转部件上；
- 在生产流程的起始扬尘点和破碎点，水量应多分配一些；
- 供水阀门应尽可能与生产设备连锁；
- 喷嘴距物料上面的距离不宜小于300mm，射流宽度不应大于物料输送时所处空间位置的最大宽度；
- 在排尘口与喷嘴之间应装橡皮帘。

(2) 耗水量

喷水加湿时的耗水量 G_S (kg/h)：

$$G_S = G_W(d_2 - a_1) \quad (7.4-1)$$

式中 G_W ——需加湿的物料量，kg/h； d_1 ——物料原始含水量，%； d_2 ——物料的最终含水量，%，见表7.4-6。

物料的最终含水量 (%)

表 7.4-6

物料名称	金属矿石	石灰石	白云石	煤	石英	富矿石	烧结混合物	铸造用砂	焦炭
d_2 (%)	4~6	3~6	4~6	8~22	4~6	8~10	8~10	4~6	8~12

当用喷嘴喷水时，喷嘴数量 n (个)：

$$n = \frac{G_S}{G_0} \quad (7.4-2)$$

式中 G_S ——需要的喷水量，kg/h；

G_0 ——单个喷嘴的喷水量, kg/h, 见表7.4-7。

当需要形成连续水幕时, 所需喷嘴数量可按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} h/b < 1 \text{ 时, } n &= \frac{0.5b}{l \cdot \operatorname{tg}(a/2)} \\ h/b > 1 \text{ 时, } n &= \frac{b}{l \cdot \operatorname{tg}(a/2)} \\ h/b > 2 \text{ 时, } n &= \frac{1.5b}{l \cdot \operatorname{tg}(a/2)} \end{aligned} \right\} (7.4-3)$$

式中 h ——罩子或设备开口高度, m;
 b ——罩子或设备开口宽度, m;
 l ——喷射水流的长度, m;
 a ——喷水角度, 见表7.4-7。

喷嘴的喷水量表

表 7.4-7

孔径 (mm)	喷水量 (kg/h)		喷射水流尺寸			
			喷水角度 (a°)		喷射水流长度 L (m)	
	200kPa	300kPa	200kPa	300kPa	200kPa	300kPa
1.5	140	175	49	54	0.53	0.62
2.0	195	240	49	54	0.43	0.62
2.5	235	300	49	54	0.43	0.62

当使用喷水管时, 应保证不小于200kPa的水压。喷水管用直径20mm的钢管钻孔径2~3mm的喷水孔, 孔距一般为20mm。

2. 喷蒸汽加湿

(1) 设计原则

- 喷蒸汽加湿适用于煤、焦炭等弱粘结性粉尘, 蒸汽压力以60~100kPa为宜;
- 不宜与机械除尘并用;
- 蒸汽喷射管应设在不受物料冲击的位置, 以免损坏或造成喷孔堵塞;
- 为防止蒸汽由密闭罩漏入室内, 可在卸料处扩大密闭罩的容积加以缓冲;
- 供汽管上的阀门应与生产设备联锁, 并应妥善考虑凝结水排除措施;
- 喷汽管一般采用20~25mm直径的钢管制作, 管面距物料表面约150~200mm。喷汽孔直径 $\phi 2 \sim 3$ mm, 孔距30~50mm。

(2) 单个喷孔喷汽量 G_0 (kg/h)

$$G_0 = 5.25FP \quad (7.4-4)$$

式中 F ——单个喷孔面积, mm^2 ;
 P ——蒸汽绝对压力, MPa。

7.4.3 密闭排尘

1. 防尘密闭罩的设置原则

(1) 放散粉尘的工艺设备, 应尽量采用密闭措施。其密闭方式应根据设备的特点和工艺要求, 设置局部密闭罩、整体密闭罩或大容积密闭罩;

(2) 密闭罩的设置应不妨碍操作和检修, 必须设置的操作孔、检修孔及观察孔应避免气流速度较高的部位;

(3) 密闭罩应力求严密, 所设各种门孔应开关灵活并保证严密。通过物料的孔口应装设弹性材料制成的遮尘帘;

(4) 密闭罩应避免直接连接于振动或往复运动的设备机体上, 密闭罩可能受物料撞击和磨损的部分, 须用坚固的材料制成。

2. 密闭罩排尘口及排尘罩的设计

(1) 密闭罩排尘口的选择, 要能有效地控制含尘气流不致从密闭罩逸出, 同时避免吸入粉料。通常排尘口应正对含尘气流中心, 但对破碎、筛分和运输设备, 排尘口应避免含尘气流中心, 以防吸入大量粉料。对于皮带运输机受料点密闭罩的排尘口与卸料溜槽相邻两边之间的距离应为溜槽边长的0.75~1.5倍, 通常取300~500mm, 排尘口距离皮带机表面的高度不应小于皮带机宽度的0.6倍;

(2) 排尘口接管宜垂直设置, 以防物料进入造成阻塞;

(3) 排尘口的平均风速不宜大于下列数值:

细粉料的筛分 0.6m/s

物料的粉碎 2.0m/s

粗颗粒物料破碎 3.0m/s

(4) 排尘口与接管连接时收缩角不宜大于60°;

(5) 在工艺设备无法安装密闭罩时, 可视具体情况装设局部排尘罩, 如磨削机床的壳罩及侧吸罩等。

3. 排风量的确定

工艺设备防尘密闭罩的排风量 L (m^3/h)

$$L = L_1 + L_2 \quad (7.4-5)$$

式中 L_1 ——随物料带入的空气量, m^3/h ;

L_2 ——为使罩内形成一定负压, 由不严密处吸入的空气量, m^3/h , 按下式计算:

$$L_2 = 3600 F v_0 \quad (7.4-6)$$

式中 F ——密闭罩不严密处的缝隙面积, m^2 ;

v_0 ——密闭罩不严密处空气速度, m/s 。

一般常用生产设备密闭罩及排尘罩的排风量确定, 分述如下。

(1) 运输设备

a. 皮带运输机

采用单层局部密闭罩, 皮带机宽度为500mm, 其排风量可按下列规定计算:

• 受料点在皮带机尾部时 (图7.4-1(a)), 根据落料高度 H 和溜槽倾斜角 α , 按表7.4-8

确定。

• 当受料点在皮带中部时 (图 7.4-1(b)), 表 7.4-8 中的 L_2 值应乘以 1.3 的系数。

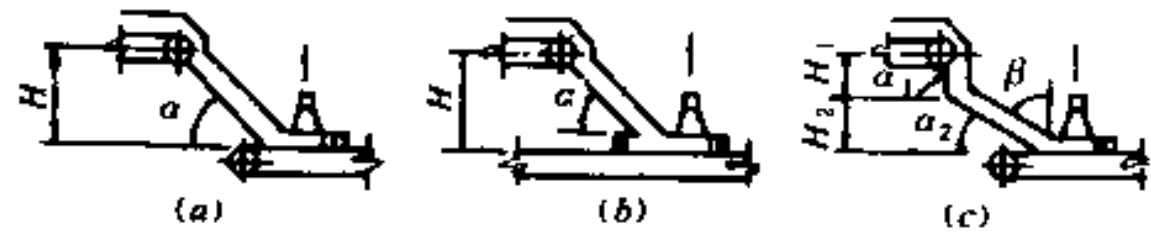


图 7.4-1 皮带输送机受料点除尘排风形式

• 当溜槽有转角时 (图 7.4-1(c)), 应先计算出物料的末速度 v_m (m/s), 再按末速度由表 7.4-8 确定风量。

$$v_m = \sqrt{(Kv_1)^2 + v_2^2} \quad (7.4-7)$$

式中 v_1 ——溜槽第一段的物料末速度, m/s;

v_2 ——不考虑前段物料速度 (即假定起始速度为零) 时, 溜槽第二段的物料末速度, m/s, 根据 H_2 、 a_2 由表 7.4-8 查得;

K ——溜槽转弯的减速系数, 根据转角 β 由表 7.4-9 查得。

皮带输送机转运点的排风量 (m³/h)

表 7.4-8

溜槽角度			物料落差 (m)			物料末速度 (m/s)	皮带宽度 $B = 500$ (mm) 时的排风量 L		
a	a_1	a_2	H	H_1	H_2		L_1	L_2	$L = L_1 + L_2$
45°			1.0			2.1	50	750	800
			2.0			2.9	100	1000	1100
			3.0			3.6	150	1300	1450
50°			1.0			2.4	50	850	900
			2.0			3.3	150	1200	1350
			3.0			4.1	200	1400	1600
60°			1.0			3.3	150	1200	1350
			2.0			4.6	250	1600	1850
			3.0			5.6	350	2000	2350
70°			1.0			3.8	150	1300	1450
			2.0			5.3	300	1900	2200
			3.0			6.5	500	2300	2800
90°			1.0			4.4	200	1600	1800
			2.0			6.3	450	2200	2650
			3.0			7.7	650	2700	3350

表 7.4-9

β	5°	10°	20°	30°	40°	45°
K	1.00	0.97	0.93	0.85	0.75	0.69

• 当皮带机宽度 $B > 500$ mm 时, 确定的风量 L 值应乘以修正系数 ϕ , ϕ 由表 7.4-10 查得。

b. 螺旋输送机

皮带输送机宽度与风量的修正系数 (φ)

表 7.4-10

皮带机宽度 (mm)	650	800	1000
φ	1.25	1.50	1.75

螺旋输送机一般不设排风。但当落料高差大于1.5m时宜设排风,排风口速度控制在0.5m/s之内。抽风量按500~1000m³/h选用。

c. 斗式提升机

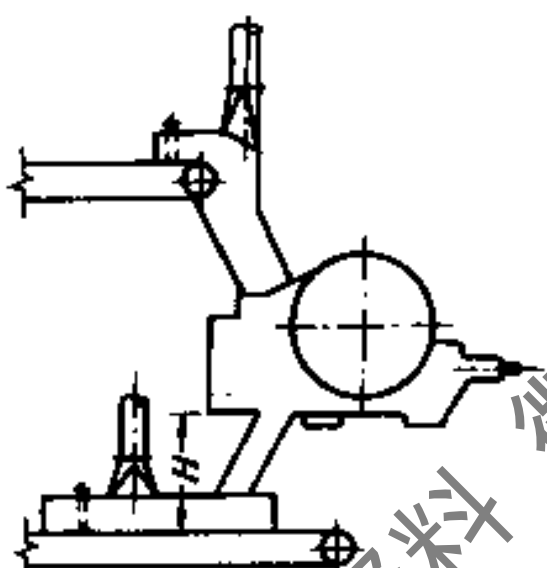
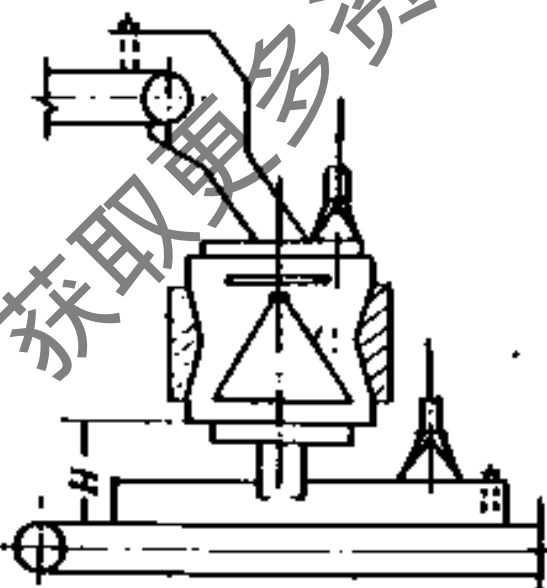
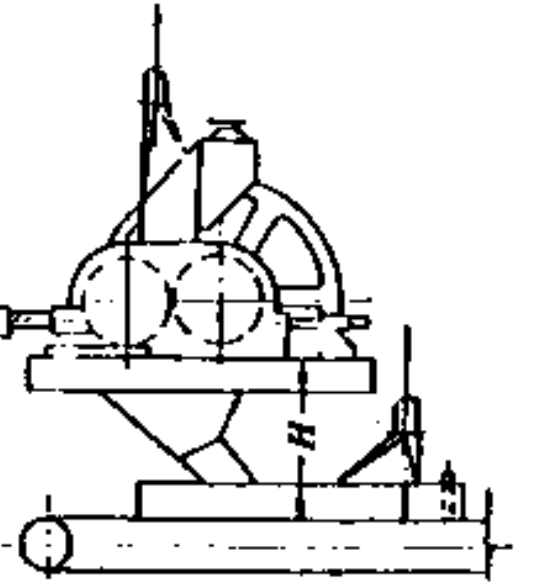
斗式提升机排风量按斗宽每1mm排风3~4m³/h计算。

(2) 破碎、磨碎设备的排风

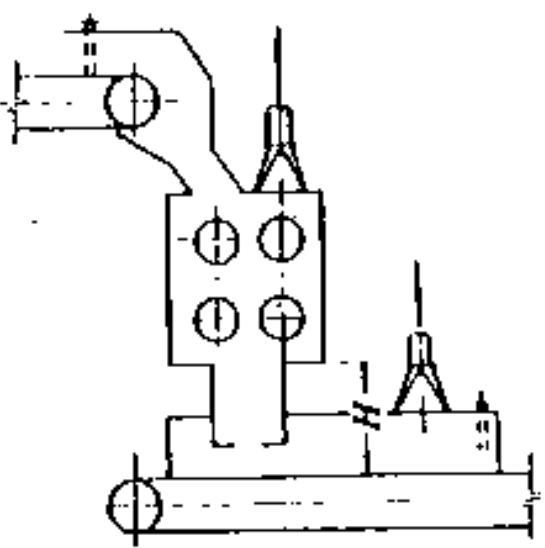
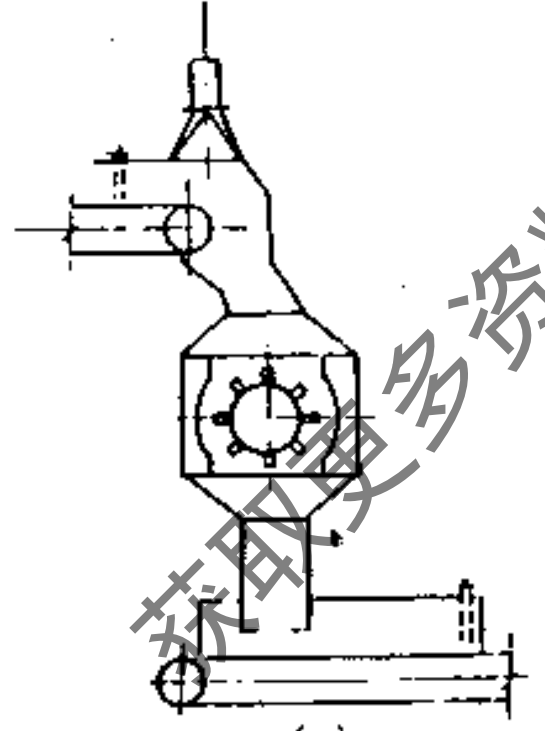
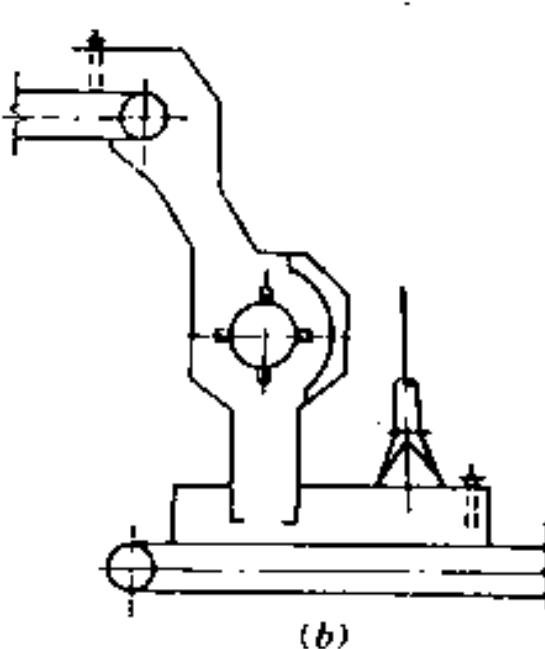
a. 破碎机的排风量,见表7.4-11。

破碎机排风量

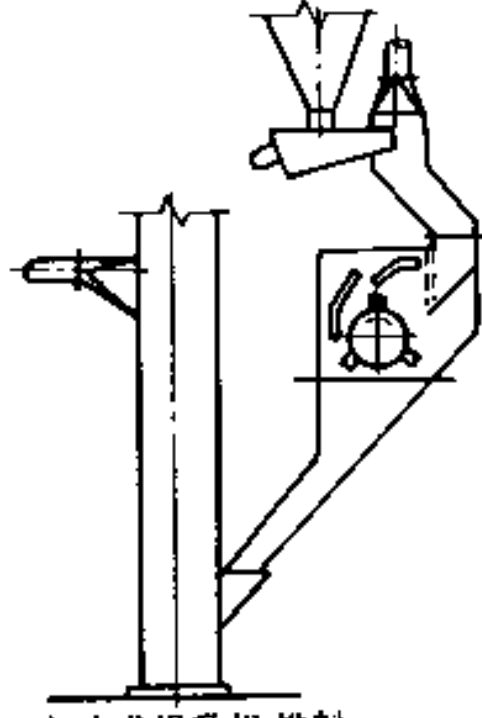
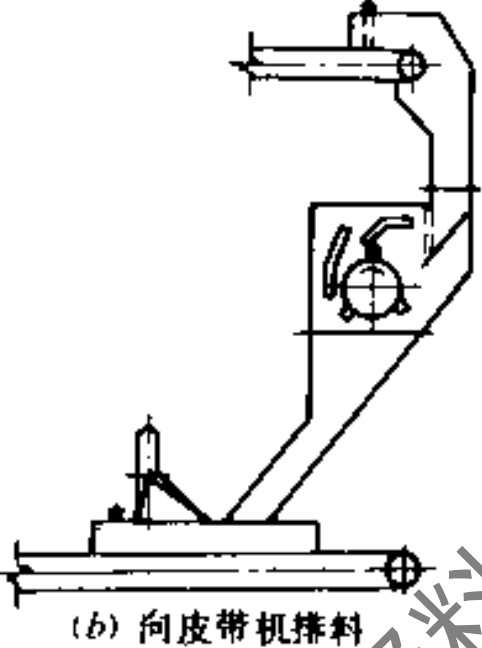
表 7.4-11

序号	设备名称	排风示意图	设备规格 (mm)	上部排风量 (m ³ /h)	下部排风量(m ³ /h)		
					上部有排风	上部无排风	
1	颚式破碎机		150×250	80	当破碎机卸料至皮带机上时按表7.4-8中的L ₂ 选用	当破碎机卸料至皮带机上时按表7.4-8中的L ₁ +L ₂ 选用	
			250×350	1000			
			250×400	1200			
			400×600	1500			
			600×900	2000			
			900×1200	2500			
			1200×1500	3000			
1500×2100	4000						
2	圆锥破碎机		D600	1000	当破碎机卸料至皮带机上时按表7.4-8中的L ₂ 选用	当破碎机卸料至皮带机上时按表7.4-8中的L ₁ +L ₂ 选用	
			D900	1500			
			D1200	2000			
			D1650	3000			
			D1750	3000			
			D2100	4000			
			D2200	4000			
3	对辊破碎机		D200×125	—	当破碎机卸料至皮带机上时按表7.4-8中的L ₂ 选用	1400	
			D360×300	600~800			1000
			D600×400	1000			
			D750×500	1500			
			D1200×100	2000		—	

续表

序号	设备名称	排风示意图	设备规格 (mm)	上部排风量 (m ³ /h)	下部排风量(m ³ /h)	
					上部有排风	上部无排风
4	四辊破碎机		D750 × 500 D900 × 700	1000 1500	当破碎机卸料至皮带机上时按表7.4-8中的L ₂ 选用	
	齿辊破碎机	—	D450 × 500 D600 × 750 D900 × 900	1000 1500 2000	—	
5	可逆锤式破碎机	 (a)可逆锤式破碎机	D600 × 400 D1000 × 800 D1000 × 1000 D1430 × 1300	5000 ~ 6000 6000 ~ 8000 8000 ~ 10000 14000 ~ 16000	—	
	不可逆锤式破碎机	 (b)不可逆锤式破碎机	D400 × 175 D600 × 400 D800 × 600 D1000 × 800 D1300 × 1600 D1600 × 1600	2000 ~ 3000 3000 ~ 5000 4000 ~ 6000 5000 ~ 7000 9000 ~ 11000 12000 ~ 14000	—	

续表

序号	设备名称	排风示意图	设备规格 (mm)	上部排风量 (m ³ /h)	下部排风量(m ³ /h)	
					上部有排风	上部无排风
6	反击式 破碎机	 <p>(a) 向斗式提升机排料</p>	D500 × 400	800	1600	
			D1000 × 700	1500	3000	
			D1250 × 1000	2000	4000	
			D1250 × 1250	2500	5000	
		 <p>(b) 向皮带机排料</p>	D500 × 400		6000 ~ 8000	
			D1000 × 700		8000 ~ 10000	
			D1250 × 1000		10000 ~ 12000	
			D1250 × 1250		12000 ~ 14000	

b. 球磨机的排风量, 应根据球磨机的内部容积确定。当内部容积为 4 ~ 9 m³ 时, 宜取 1400 ~ 1600 m³/h。

(3) 振动筛的排风量可根据给料高度, 密闭状况, 物料性质和筛子规格等因素, 按每 m² 筛子面积 800 ~ 1200 m³/h 计算。小筛子在局部密闭时应取上限。在处理热的旧型砂时则采用 1800 m³/h。

(4) 给料设备

a. 电振给料机和槽式 (往复式) 给料机

排风量见表 7.4-12。卸落物料湿度较大时, 可只密闭不排风。

b. 圆盘给料机

排风量见表 7.4-13。当卸落湿料时, 可不设排风。

(5) 其他设备的排风

a. 犁式卸料器

排风量见表 7.4-14。

b. 滚筒筛

根据筛子的大端断面积计算, 一般每 m² 面积的排风量为 2300 m³/h。当工艺还要求在

电振给料机和槽式(往复式)给料机除尘抽风量

表 7.4-12

电振给料机		槽式(往复式)给料机		受料皮带机宽 (mm)	物料落差 (mm)	抽风量 (m ³ /h)
型号	槽子规格 宽×长×高 (mm)	型号	出料口 宽×高 (mm)			
DZ ₁	200×600×100	π ₁	400×400	300	200~400	500
DZ ₂	300×800×120	π ₄	600×500	300、400	200~400	600~700
DZ ₃	400×1000×150	—	—	400、500	200~500	800~1000
DZ ₄	500×1100×200	K-0	(长×宽) 1435×500	500、650	300~500	1000~1200
DZ ₅	700×1200×250	K-1	1435×750	650、800	300~500	1300~1500
DZ ₆	900×1500×300	K-2	1835×750	650、800	400~600	1500~1800
DZ ₇	1100×1900×350	K-3	2050×996	1000、1200	500~800	2200~2800
DZ ₈	1300×2000×400	K-4	2400×1246	1200、1400	600~1000	3000~5000
DZ ₉	1500×2200×450	—	—	1400	800~1500	4000~6000
DZ ₁₀	1800×2100×400	—	—	1400	—	4000~6000

圆盘给料机排风量

表 7.4-13

圆盘规格 (mm)	D									
	400	500	600	800	1000	1300	1500	2000	2500	3000
排风量(m ³ /h)	500~700	600~800	700~ 1000	800~ 1300	1000~ 1500	1300~ 1800	1500~ 2000	2000~ 2500	2500~ 3000	3000~ 4000

型式卸料刮板排风量排风量

表 7.4-14

皮带宽度B (mm)	400	500	650	800
单面卸料排风量 (m ³ /h)	800	1000	1500	2000
双面卸料排风量 (m ³ /h)	2×800	2×1000	2×1500	2×2000

过筛过程中排除无用细灰时,排风量应增加50%。

c. 砂轮机及抛光机的排风量L (m³/h)

$$L = KD \quad (7.4-8)$$

式中 D——磨轮直径, mm;

K——每1mm轮径的排风量, m³/(h·mm)

砂轮 K = 2;

毡轮 K = 4;

布轮 K = 6。

排风罩开口处的风速要求如下:

砂轮 v > 8m/s;

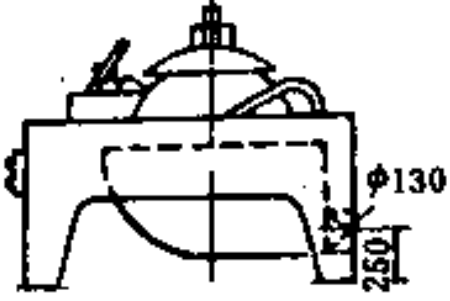
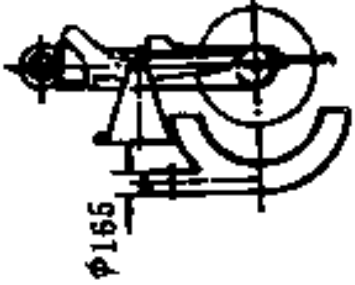
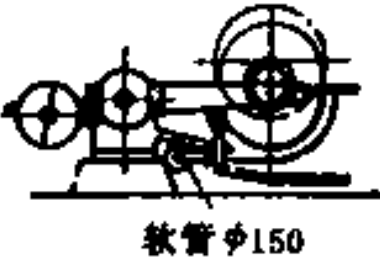
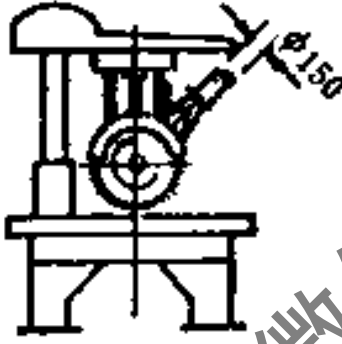
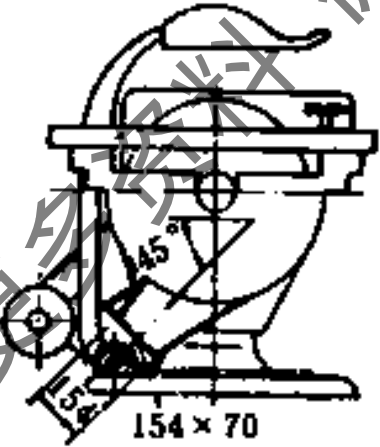
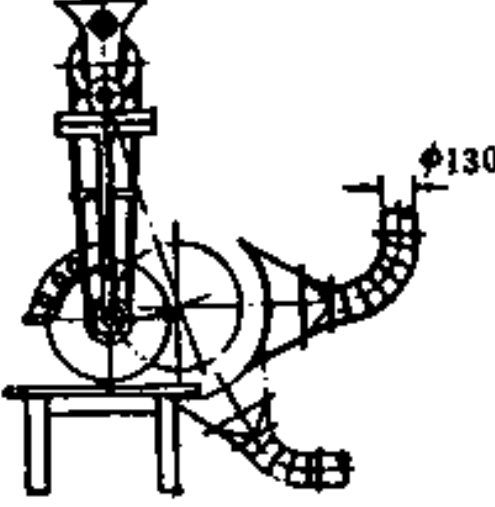
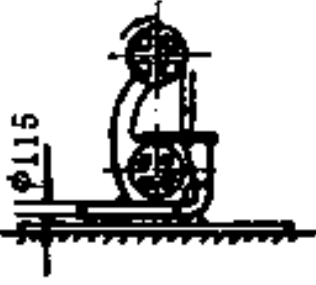
毡轮 v > 4m/s;

布轮 v > 6m/s。

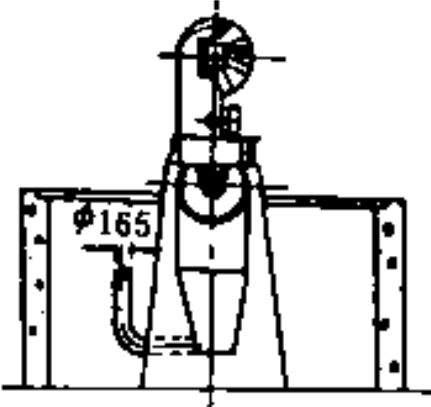
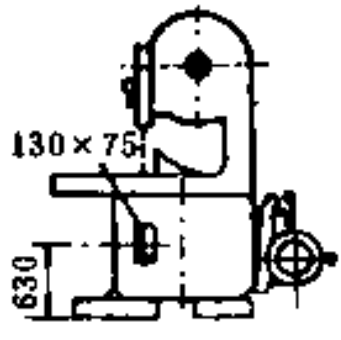
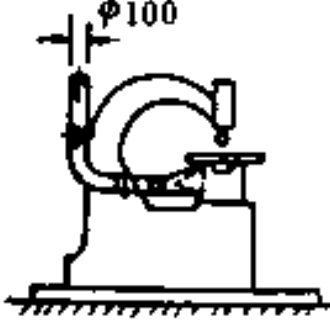
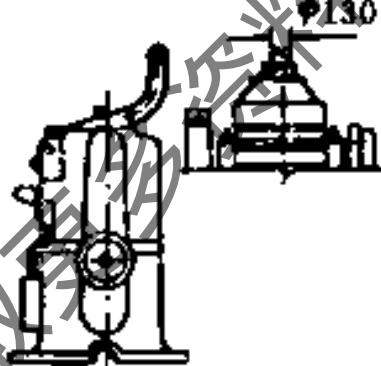
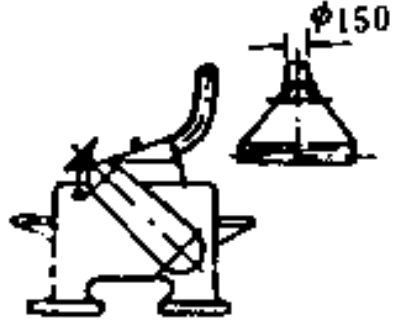
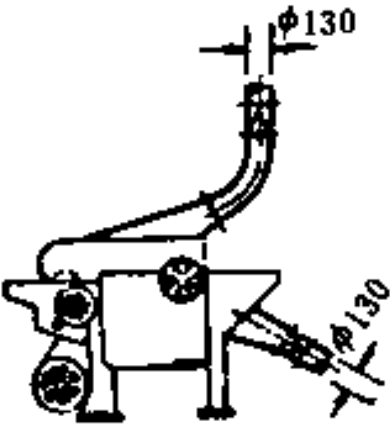
d. 木工机床的排风量, 见表7.4-15。

定型木工机床排风量

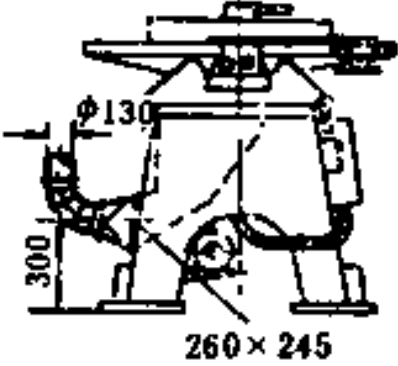
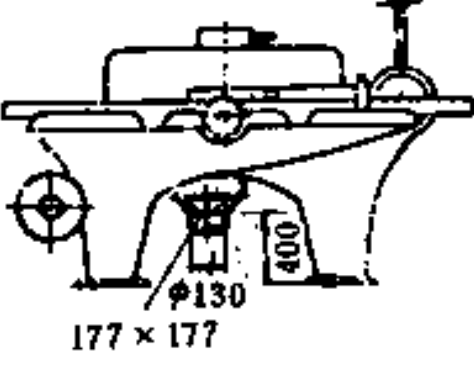
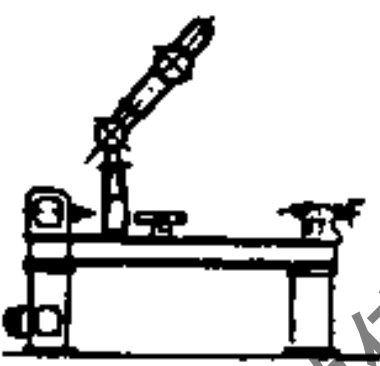
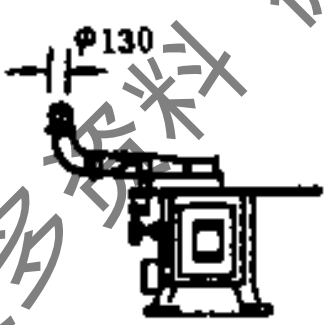
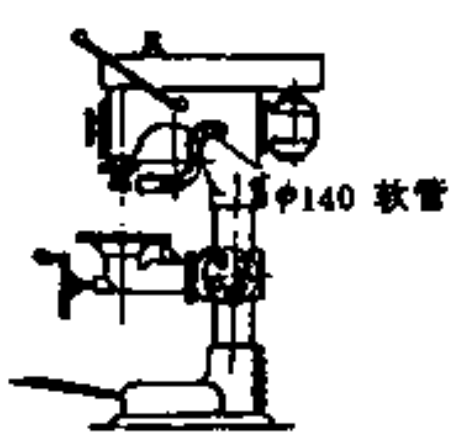
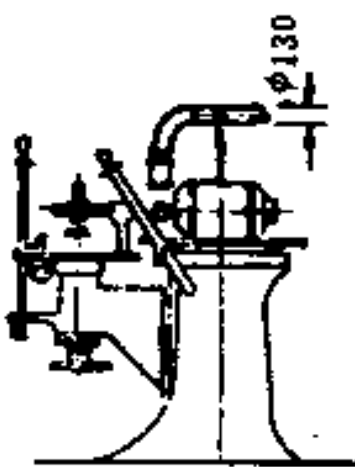
表 7.4-15

机床名称	型号	机床简图及吸尘罩位置	排风量 (m ³ /h)	接管 直径 (mm)	吸尘罩 局部阻 力系数	制造厂
手动进料 木工圆 锯机	MJ 104		760	130	1.5	上木 都江 牡木
	MJ 106		1020	150	1.5	
	MJ 109		1250	165	1.2	
平衡截 锯机	MJ 2010		1250	165	1.5	上木
	MJ 2015		1720	195	1.5	
脚踏截 锯机	MJ 217	 软管φ150	1020	150	1.5	都江
万能木工 圆锯机	MJ 224		1020	150	1.2	都江
万能木工 圆锯机	MJ 225		1020	150	1.8	牡木 都江
吊截锯	MJ 255		800	130	1.1	都江
	MJ 256		1020	150	1.1	
普通木工 带锯机	MJ 318		600	115	1.0	都武 沈木 沈木 都武
	MJ 318 A		650	120	1.0	
	MJ 3110		1250	165	1.0	


续表

机床名称	型号	机床简图及吸尘罩位置	排风量 (m ³ /h)	接管直径 (mm)	吸尘罩局部阻力系数	制造厂
台式木工带锯机	MJ 3310		1250	165	1.5	沈木
细木工带锯机	MJ 344		450	100	0.8	邵武
	MJ 346		450	100	0.8	邵武
	MJ 346 A		450	100	0.8	牡木
	MJ 348		650	120	1.0	邵武
线锯机 (线锯)	MJ 434		450	100	2.0	
单面木工压刨床	MB103		900	130	1.0	牡木 洛阳
	MB 106		1000	140	1.3	牡木 洛阳
单面木工压刨床	MB 106A		1200	150	1.3	牡木
双面木工压刨床	MB 204		上部: 900	130	1.3	洛阳
			下部: 1200	150	1.3	
	MB 206		上部: 860	130	1.5	洛阳
			下部: 1150	150	1.5	

续表

机床名称	型号	机床简图及吸尘罩位置	排风量 (m^3/h)	接管直径 (mm)	吸尘罩局部阻力系数	制造厂
木工平刨床	MB 502	 $\phi 130$ 300 260×245	800	130	1.0	牡木
	MB 503		800	130	1.0	邵武
	MB 503 A		800	130	1.0	邵武
木工平刨床	MB 504	 $\phi 130$ 400 177×177	940	140	1.0	牡木
	MB 504 A		940	140	1.0	牡木
	MB 506		1100	150	1.0	牡木
	MB 506 A		1100	150	1.0	牡木
普通木工车床	MC 614		1000	140	1.7	上木 牡木
	MC 616 A		1150	150	1.7	上木
立式单轴木工铣床	MX 518	 $\phi 130$	800	130	1.5	牡木
	MX 518 A		800	130	1.5	牡木
立式单轴木工钻床	MK 515	 $\phi 140$ 软管	940	140	1.5	牡木 上木
卧式木工钻床	MK 672	 $\phi 130$	800	130	1.5	牡木

续表

机床名称	型号	机床简图及吸尘罩位置	排风量 (m ³ /h)	接管直径 (mm)	吸尘罩局部阻力系数	制造厂
双盘式磨光机	MM128		750×2 合计1500	130×2	2.0	

7.4.4 除 尘 风 管

1. 除尘风管设计

(1) 除尘风管采用枝状或集合管式。集合管有水平、垂直两种型式(图7.4-2、3)。水平集合管内风速取3~4 m/s, 垂直集合管取6~10 m/s。枝状除尘风管宜垂直或倾斜布置, 必须水平布置时, 风管不宜过长, 且风速必须大于规定的最小风速(见表7.4-16)。

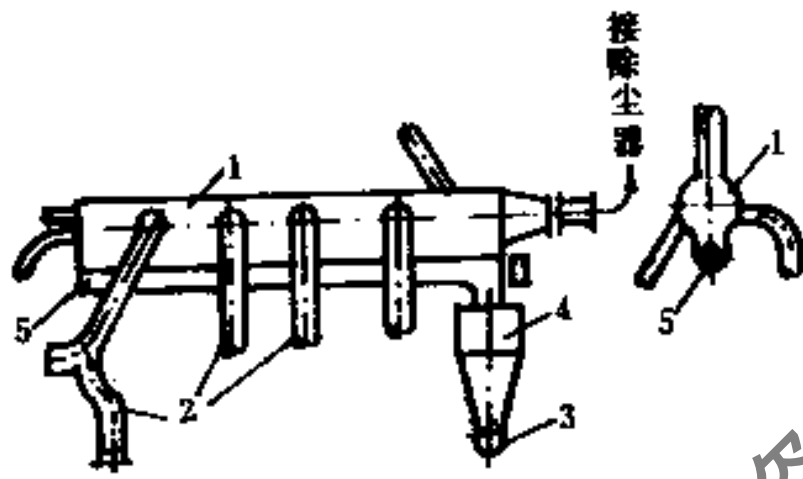


图 7.4-2 水平集合管
1--集合管; 2--支风管; 3--泄尘阀;
4--集尘箱; 5--螺旋输送机

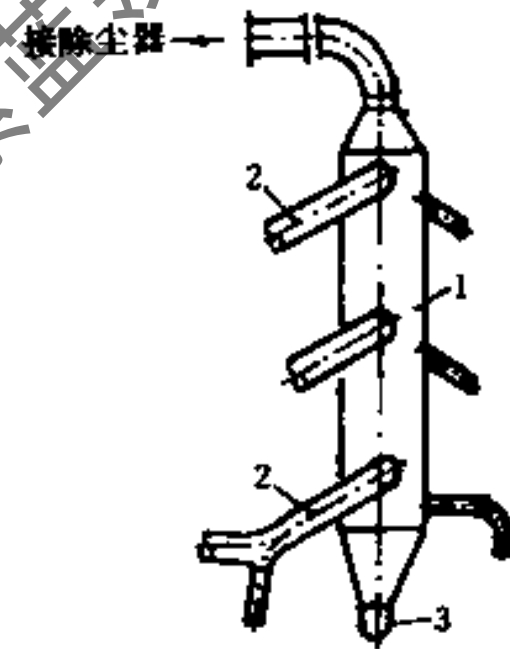


图 7.4-3 垂直集合管
1--集合管; 2--支风管; 3--泄尘阀

- (2) 除尘风管宜明设, 尽量避免地沟内敷设。
- (3) 为清扫方便, 在风管的适当部位应设清扫口。
- (4) 支风管应尽量从侧面或上部与主风管连接。三通的夹角一般取15~30°。
- (5) 除尘器后风速以8~10 m/s为宜。
- (6) 有可能发生静电积聚的除尘风管应设计接地措施。
- (7) 各支风管之间的不平衡压力差应小于10%。

2. 除尘风管计算采用表7.4-17

3. 除尘风管压力平衡计算

$$d_H = d_Q \left(\frac{\Delta P_C}{\Delta P_H} \right)^{0.225} \quad (7.4-9)$$

式中 d_Q 、 d_H ——调整前后的管径, mm;
 ΔP_C 、 ΔP_H ——调整前后的压力损失, Pa。

除尘风管的最小风速 (m/s)

表 7.4-16

粉尘类别	粉尘名称	垂直风管	水平风管	粉尘类别	粉尘名称	垂直风管	水平风管
纤维粉尘	干锯末、小刨屑、纺织尘	10	12	矿物粉尘	轻矿物粉尘	12	14
	木屑、刨花	12	14		灰土、砂尘	16	18
	干燥粗刨花、大块干木屑	14	15		干细型砂	17	20
	潮湿粗刨花、大块湿木屑	18	20		金刚砂、刚玉粉	15	19
	棉絮	8	10	金属粉尘	钢铁粉尘	13	15
	麻	11	13		钢铁屑	19	23
	石棉粉尘	12	18		铅尘	20	25
矿物粉尘	耐火材料粉尘	14	17	其它粉尘	轻质干燥尘末(木加工磨床粉尘、烟草灰)	8	10
	粘土	13	16		煤尘	11	13
	石灰石	14	16		焦炭粉尘	14	18
	水泥	12	18		谷物粉尘	10	12
	湿土(含水2%以下)	15	18				
	重矿物粉尘	14	16				

7.4.5 除尘设备

1. 除尘器选择时应注意下列各点

- (1) 含尘气体的化学成分、腐蚀性、温湿度、流量及含尘浓度;
- (2) 粉尘的化学成分、密度、粒径分布、腐蚀性、吸水性、硬度、比电阻、粘结性、纤维性、可燃性及爆炸性等;
- (3) 净化气体的排放标准;
- (4) 除尘器的分级效率、总效率及压力损失;
- (5) 粉尘的回收价值及回收利用形式;
- (6) 维护管理的繁简程度;
- (7) 各种除尘器的性能及使用范围可参见表7.4-18。

2. 除尘器效率

一级除尘
$$\eta = \frac{g_1 - g_2}{g_1} \times 100\% \quad (7.4-10)$$

式中 g_1 ——除尘器入口气体的含尘浓度, mg/m^3 ;

g_2 ——除尘器出口气体的含尘浓度, mg/m^3 。

二级除尘
$$\eta_{1-2} = \eta_1 + (1 - \eta_1)\eta_2 \quad (7.4-11)$$

式中 η_1, η_2 ——第一、二级除尘器效率, %。

各种除尘器的概略效率可参见表7.4-18。

3. 旋风除尘器的选用

- (1) 旋风除尘器除尘效率, 可参见表7.4-19。
- (2) 适用于净化密度大和粒径大于 $5\mu\text{m}$ 的粉尘。

动 压 (Pa)	风 速 (m/s)	外 径 D (mm)															上 行——风量(m ³ /h) 下 行——λ/d	
		220	240	250	260	280	300	320	340	360	380	400	420	450	480			
60.1	10.0	1331	1588	1725	1867	2169	2494	2841	3211	3604	4019	4456	4917	5649	6433			
72.7	11.0	0.0935	0.0838	0.0797	0.0759	0.0692	0.0635	0.0544	0.0544	0.0507	0.0474	0.0445	0.0419	0.0385	0.0350			
86.5	12.0	0.0927	0.0831	0.0790	0.0752	0.0686	0.0630	0.0581	0.0539	0.0503	0.0470	0.0441	0.0416	0.0382	0.0353			
101.5	13.0	0.0920	0.0825	0.0784	0.0747	0.0681	0.0625	0.0577	0.0535	0.0499	0.0467	0.0438	0.0413	0.0379	0.0350			
117.8	14.0	0.0914	0.0820	0.0779	0.0742	0.0677	0.0622	0.0574	0.0532	0.0496	0.0464	0.0436	0.0410	0.0377	0.0348			
135.2	15.0	0.0909	0.0815	0.0775	0.0738	0.0673	0.0618	0.0570	0.0529	0.0493	0.0461	0.0433	0.0408	0.0375	0.0346			
153.8	16.0	0.0904	0.0811	0.0771	0.0734	0.0669	0.0614	0.0567	0.0526	0.0491	0.0459	0.0431	0.0406	0.0373	0.0345			
173.6	17.0	0.0900	0.0807	0.0767	0.0731	0.0666	0.0612	0.0565	0.0524	0.0488	0.0457	0.0429	0.0404	0.0371	0.0343			
194.7	18.0	0.0893	0.0801	0.0761	0.0725	0.0661	0.0607	0.0560	0.0522	0.0486	0.0455	0.0427	0.0402	0.0370	0.0342			
216.9	19.0	0.0890	0.0798	0.0759	0.0722	0.0659	0.0605	0.0559	0.0518	0.0483	0.0452	0.0424	0.0400	0.0367	0.0339			
240.3	20.0	0.0887	0.0796	0.0756	0.0720	0.0657	0.0603	0.0557	0.0517	0.0482	0.0451	0.0423	0.0398	0.0366	0.0338			
265.0	21.0	0.0885	0.0794	0.0754	0.0718	0.0655	0.0601	0.0555	0.0515	0.0480	0.0449	0.0422	0.0397	0.0365	0.0337			
290.9	22.0	0.0882	0.0791	0.0752	0.0716	0.0653	0.0600	0.0554	0.0514	0.0479	0.0448	0.0421	0.0396	0.0364	0.0337			
317.8	23.0	0.0880	0.0790	0.0750	0.0715	0.0652	0.0598	0.0553	0.0513	0.0478	0.0447	0.0420	0.0395	0.0363	0.0336			
346.1	24.0	0.0878	0.0788	0.0749	0.0713	0.0650	0.0596	0.0551	0.0511	0.0476	0.0445	0.0418	0.0393	0.0361	0.0334			
375.5	25.0	0.0876	0.0786	0.0748	0.0712	0.0649	0.0595	0.0550	0.0510	0.0475	0.0444	0.0417	0.0392	0.0360	0.0333			
406.2	26.0	0.0875	0.0785	0.0746	0.0710	0.0648	0.0594	0.0549	0.0510	0.0475	0.0444	0.0417	0.0392	0.0360	0.0333			

动 压 (Pa)	风 速 (m/s)	外 径 D (mm)														
		500	530	560	600	630	670	700	750	800	850	900	950	1000		
60.1	10.0	6984	7823	8741	10040	11080	12540	13700	15740	17920	20240	22700	25300	28050		
		0.0339	0.0316	0.0296	0.0272	0.0256	0.0238	0.0225	0.0207	0.0192	0.0178	0.0166	0.0156	0.0146		
72.7	11.0	7682	8605	9615	11050	12190	13800	15070	17310	19710	22260	24970	27830	30850		
		0.0336	0.0313	0.0293	0.0269	0.0254	0.0236	0.0223	0.0205	0.0190	0.0177	0.0165	0.0154	0.0145		
86.5	12.0	8381	9387	10490	12050	13300	15050	16440	18880	21500	24280	27240	30360	33660		
		0.0333	0.0311	0.0291	0.0268	0.0252	0.0234	0.0222	0.0204	0.0189	0.0175	0.0164	0.0153	0.0144		
101.5	13.0	9079	10170	11369	13060	14400	16300	17810	20460	23290	26310	29510	32890	36460		
		0.0331	0.0309	0.0289	0.0266	0.0251	0.0232	0.0220	0.0203	0.0187	0.0174	0.0163	0.0152	0.0143		
117.8	14.0	9778	10950	12240	14060	15510	17560	19180	22030	25080	28330	31780	35420	39270		
		0.0329	0.0308	0.0288	0.0264	0.0249	0.0231	0.0219	0.0202	0.0186	0.0173	0.0162	0.0151	0.0142		
135.2	15.0	10480	11730	13110	15070	16620	18810	20540	23600	26870	30350	34050	37950	42070		
		0.0328	0.0306	0.0286	0.0263	0.0248	0.0230	0.0218	0.0201	0.0186	0.0172	0.0161	0.0151	0.0142		
153.8	16.0	11170	12520	13980	16070	17730	20070	21910	25180	28650	32380	36320	40490	44880		
		0.0326	0.0305	0.0285	0.0262	0.0247	0.0229	0.0217	0.0200	0.0185	0.0172	0.0160	0.0150	0.0141		
173.6	17.0	11870	13300	14860	17070	18840	21320	23280	26750	30460	34400	38590	43020	47880		
		0.0325	0.0303	0.0284	0.0261	0.0240	0.0226	0.0216	0.0199	0.0184	0.0171	0.0160	0.0150	0.0141		
194.7	18.0	12570	14080	15730	18080	19940	22570	24650	28320	32250	36430	40860	45550	50490		
		0.0324	0.0302	0.0283	0.0260	0.0245	0.0227	0.0216	0.0198	0.0183	0.0170	0.0159	0.0149	0.0140		
216.9	19.0	13270	14860	16610	19080	21050	23880	26020	29900	34040	38450	43130	48080	53290		
		0.0323	0.0301	0.0282	0.0259	0.0244	0.0227	0.0215	0.0198	0.0183	0.0170	0.0159	0.0149	0.0140		
240.3	20.0	13970	15650	17480	20090	22160	25080	27390	31470	35830	40470	45400	50610	56100		
		0.0322	0.0301	0.0281	0.0258	0.0243	0.0226	0.0214	0.0197	0.0182	0.0169	0.0158	0.0148	0.0139		
265.0	21.0	14670	16430	18360	21090	23270	26340	28760	33040	37620	42500	47670	53140	58900		
		0.0321	0.0300	0.0280	0.0258	0.0243	0.0225	0.0214	0.0196	0.0182	0.0169	0.0158	0.0148	0.0139		
290.9	22.0	15360	17210	19230	22100	24380	27590	30130	34620	39410	44520	49940	55670	61710		
		0.0320	0.0299	0.0279	0.0257	0.0242	0.0225	0.0213	0.0196	0.0181	0.0168	0.0157	0.0147	0.0138		
317.8	23.0	16060	17990	20100	23100	25480	28840	31500	36190	41200	46540	52210	58200	64510		
		0.0319	0.0298	0.0279	0.0256	0.0242	0.0224	0.0213	0.0196	0.0181	0.0168	0.0157	0.0147	0.0138		
346.1	24.0	16760	18770	20980	24100	26590	30100	32870	37760	43000	48570	54480	60730	67320		
		0.0319	0.0298	0.0278	0.0256	0.0241	0.0224	0.0212	0.0195	0.0180	0.0168	0.0157	0.0147	0.0138		
375.5	25.0	17460	19560	21850	25110	27700	31350	34240	39340	44790	50590	56750	63260	70120		
		0.0318	0.0297	0.0278	0.0255	0.0241	0.0223	0.0212	0.0195	0.0180	0.0167	0.0156	0.0146	0.0138		
406.2	26.0	18160	20340	22730	26110	28810	32610	35610	40910	46580	52610	59020	65790	72930		
		0.0318	0.0296	0.0277	0.0255	0.0240	0.0223	0.0211	0.0194	0.0180	0.0167	0.0156	0.0146	0.0137		

各种除尘器的性能及能耗指标

表 7.4-18

类 型	除尘效率 (%)	最小捕集粒径 (μm)	压力损失 (Pa)	能 耗 (kJ/m^3)
重力沉降室	<50	50~10	50~120	
惯性除尘器	50~70	20~50	300~800	
通用型旋风除尘器	60~85	20~40	400~800	0.8~6.0
高效型旋风除尘器	80~90	5~10	1000~1500	1.6~4.0
袋式除尘器	95~99	<0.1	800~1500	3.0~4.5
电除尘器	90~98	<0.1	125~200	0.3~1.0
喷 淋 塔	70~85	10	25~250	0.8
泡沫除尘器	85~95	2	800~3000	1.1~4.5
文氏管除尘器	90~98	<0.1	5000~20000	8.0~35.0
自激式除尘器	~99	<0.1	900~1800	4.0~4.5
卧式旋风水膜除尘器	~98	2~5	750~1250	3.0~4.0

旋风除尘器效率 (%)

表 7.4-19

粉尘粒径 (μm)	通用型	高效型	粉尘粒径 (μm)	通用型	高效型
<5	<50	50~80	25~40	80~95	95~99
5~20	50~80	80~90	>40	95~99	95~99

注：通用型，相对断面比 $K = 4 \sim 6$ ；高效型，相对断面比 $K = 6 \sim 13.5$ 。

(3) 性能相同的旋风除尘器一般不宜两级串联。

(4) 为避免堵塞，不适用于净化粘结性强的粉尘。当处理高温和高湿的含尘气体时，应防止结露。

4. 袋式除尘器的选用

(1) 袋式除尘器除尘效率高，对微细粉尘效率可达99%以上。

(2) 不宜净化含有油雾、凝结水和粉尘粘结度大的含尘气体，以及有爆炸危险或带有火花的烟气。

(3) 当含尘浓度大于 $10\text{g}/\text{m}^3$ 时，宜增设预净化除尘器。

(4) 袋式除尘器推荐的过滤风速见表7.4-20。

(5) 各种纤维的主要性能见表7.4-22。

5. 湿式除尘器的选用

(1) 除尘效率高，对细粉尘也有很高的效率。

(2) 不宜用于疏水性及水硬性粉尘的净化。

(3) 对产生的污水应有妥善处理措施。

(4) 寒冷地区需注意采取防冻措施。

6. 电除尘器的选用

(1) 电除尘器适用于捕集比电阻 $10^4 \sim 5 \times 10^{10} \Omega\text{-cm}$ 范围内的粉尘。常见粉尘的

袋式除尘器推荐的过滤风速 (m/min)

表 7.4-20

等级	粉 尘 种 类	清 灰 方 式		
		振打与逆 气流联合	脉冲喷吹	反 吹 风
1	炭黑 ^① , 氧化硅 (白炭黑), 铅 ^① , 锌 ^① 的升华物以及其他在气体中由于冷凝和化学反应而形成的气溶胶, 化妆粉, 去污粉, 奶粉, 活性炭, 由水泥窑排出的水泥 ^①	0.45~0.6	0.8~2.0	0.33~0.45
2	铁 ^① 及铁合金 ^① 的升华物, 铸造尘, 氧化铝 ^① , 由水泥磨排出的水泥 ^① , 碳化炉升华物 ^① , 石灰 ^① , 刚玉, 安福粉及其他肥料, 塑料, 淀粉	0.6~0.75	1.5~2.5	0.45~0.55
3	滑石粉, 煤, 喷砂清理尘、飞灰 ^① , 陶瓷生产的粉尘, 炭黑 (二次加工), 颜料, 高岭土, 石灰石 ^① , 矿尘, 铝土矿、水泥 (来自冷却器) ^① , 搪瓷 ^①	0.7~0.8	2.0~3.5	0.6~0.9
4	石棉, 纤维尘, 石膏、珠光石、橡胶生产中的粉尘, 盐, 面粉, 研磨工艺中的粉尘	0.8~1.5	2.5~4.5	—
5	烟草, 皮革粉, 混合饲料, 木材加工中的粉尘, 粗植物纤维 (大麻、黄麻等)	0.8~2.0	2.5~6.0	—

注: 带^①符号者指基本上为高温的粉尘, 多采用反吹风清灰。

比电阻见表7.4-4。

(2) 根据入口含尘浓度 (一般不大于 $30\sim 40\text{g}/\text{m}^3$) 和出口含尘浓度, 按公式(7.4-10) 计算所要求的除尘效率。

(3) 确定尘粒的有效驱进速度, 可按表7.4-21采取。

各种粉尘的有效驱进速度 (m/s)

表 7.4-21

粉 尘 名 称	范 围	平 均 值	粉 尘 名 称	范 围	平 均 值
电站锅炉飞灰	4~20	12	熔炼炉		2.0
煤粉炉飞灰	10~14	12	立 炉	5~14	9.5
纸浆及造纸锅炉	6.5~10	8.25	平 炉	5~6	5.5
石 膏	16~20	18	闪烁炉		7.6
硫 酸	6~8.5	7.25	冲天炉	3~4	3.5
热磷酸	1~5	3	多膛焙烧炉		8.0
水泥 (湿法)	9~12	10.5	高 炉	6~14	10.0
水泥 (干法)	6~7	6.5	催化剂粉尘		7.6
铁矿烧结灰尘	6~20	13	镁 砂		4.7
氧化亚铁 (FeO)	7~22	14.5	氧化锌、氧化铅		4.0
焦 油	8~23	15.5	氧化铝		6.4
石灰石	3~55	29	氧化铝熟料		13

表 7.4-22

各种纤维的主要性能

类别	原料或聚合物	商品名称	密度 (g/cm ³)	最高使用温度 (°C)	长期使用温度 (°C)	20°C以下的吸湿性 (%)		抗拉强度 (×10 ⁵ Pa)	断裂延伸率 (%)	耐磨性	耐热性		耐有机酸	耐无机酸	耐碱性	耐氧化剂	耐溶性
						φ = 65%	φ = 95%				干热	湿热					
天然纤维	纤维素	棉	1.54	95	75~85	7~8.5	24~27	30~40	7~8	较好	较好	较好	很差	较好	较好	一般	很好
	蛋白质	羊毛	1.32	100	80~90	10~15	21.9	10~17	25~35	较好	较好	较好	较好	很好	很差	较差	较好
	蛋白质	丝绸	1.39	90	70~80			38	17	较好	较好	较好	较好	较好	很差	较差	较好
合成纤维	聚酰胺	尼龙、锦纶	1.14	120	75~85	4~4.5	7~8.3	38~72	10~50	很好	较好	较好	很差	较好	较好	一般	很好
	芳香族聚酰胺	诺梅克斯	1.38	260	220	4.5~5		40~55	14~17	很好	很好	很好	较好	较好	一般	很好	
	聚丙烯腈	腈纶	1.14~1.16	150	110~130	4~5	4.5~5	23~30	24~40	较好	较好	较好	较好	较好	一般	很好	
	聚丙烯	聚丙烯	1.14~1.16	100	85~95	0.2	0	45~52	22~25	较好	较好	较好	很好	很好	很好	较好	
	聚乙烯醇	维尼纶	1.28	180	<100	3.4	0			较好	一般	一般	较好	很好	很好	一般	
	聚氯乙烯	氯纶	1.39~1.44	80~90	65~70	0.3	0.3	24~35	12~25	较差	较差	较差	很好	很好	很好	很好	
	聚四氟乙烯	特氟纶	2.3	280~300	220~260	0	0	33	13	较好	较好	较好	很好	很好	很好	很好	
	聚酯	涤纶	1.38	150	130	0.4	0.5	40~49	40~55	很好	很好	很好	较好	较好	较好	很好	
	无机纤维	铝硼硅酸盐玻璃	玻璃纤维	3.55	315	250	0.3		145~158	3~0	很差	很好	很好	很好	很好	差	很好
铝硼硅酸盐玻璃		经硅油、聚四氟乙烯处理的玻纤		350	260	0	0	145~158	3~0	一般	很好	很好	很好	很好	差	很好	
铝硼硅酸盐玻璃		经硅油、石蜡和聚四氟乙烯处理的玻纤		350	300	0	0	145~158	3~0	一般	很好	很好	很好	很好	较好	很好	

(4) 根据所要求的除尘效率和有效驱进速度,按下式求出比表面积:

$$\eta = 1 - e^{-vf} \quad (7.4-12)$$

式中 η ——所要求的除尘效率, %;
 v ——尘粒的有效驱进速度, m/s;
 f ——比表面积, $m^2 \cdot s/m^3$ 。

(5) 由比表面积和处理风量,计算尘板总面积 $F (m^2)$,选定型号:

$$F = Qf \quad (7.4-13)$$

式中 Q ——除尘器要求的处理风量, m^3/s ;
 f ——比表面积, $m^2 \cdot s/m^3$ 。

7.5 人防地下室的通风

7.5.1 设计原则

人防地下室的通风设计,应考虑平战结合,确保战时及平时所需的工作、生活条件。

平时通风可考虑自然通风、机械通风及空气调节。当有条件时,五、六级防空地下室可在外墙开设通风采光窗。

战时通风设防护通风系统。防护通风系统包括进风系统和排风系统,其功能包括:

1. 清洁式通风。

2. 过滤式通风,根据《人民防空地下室设计规范》规定,全国人防重点城镇的区以上指挥所、通信工程和各级医院、救护站、防空专业队伍掩蔽室的防护通风系统应具备过滤式通风的可能。一般人员掩蔽室可根据需要和可能,预留过滤式通风设施的位置。

3. 隔绝式通风。

7.5.2 设计参数

1. 新鲜空气量标准

各类人防地下室内部工作人员或掩蔽人员的战时新鲜空气量标准,按表7.5-1选用。

人防地下室平时所需新鲜空气量,根据不同的使用要求,可按同类地面建筑物的标准

各类人防地下室战时新鲜空气量标准

表 7.5-1

类 别	清洁式通风量 ($m^3/h \cdot 人$)	过滤式通风量 ($m^3/h \cdot 人$)
全国人防重点城镇的区以上指挥所、通信工程	10~20	3~5
医院、救护站	15~20	3~5
防空专业队伍的掩蔽室	10~15	2~3
人员掩蔽室	5~7	2~3

选取。

2. 隔绝防护时间和二氧化碳允许浓度

(1) 各类防空地下室的隔绝防护时间和二氧化碳允许浓度, 应按表7.5-2确定。

(2) 防空地下室实际能够达到的隔绝防护时间 t (h)

$$t = \frac{10V(C - C_0)}{NC_1} \quad (7.5-1)$$

式中 V ——防空地下室的有效容积, m^3 ;

C ——隔绝防护时, 防空地下室内二氧化碳的允许浓度(%), 按表7.5-2取;

C_0 ——隔绝防护前, 防空地下室内二氧化碳的初始浓度(%), 对于五、六级地下室按表7.5-3取;

C_1 ——每人每小时呼出的二氧化碳量, 掩蔽人员一般取 $20L/h \cdot 人$, 工作人员一般取 $25 \sim 30L/h \cdot 人$;

N ——防空地下室容纳人数。

3. 排风房间的换气次数

排风房间的换气次数按表7.5-4采取。

隔绝防护时间和二氧化碳允许浓度 表 7.5-2

类别		隔绝防护时间 (h)	二氧化碳允许浓度 (% , 按体积比)
名称	等级		
全国重点城镇的区以上指挥所, 通信工程	三	4	<2.0
	四	3	<2.0
医院	四	3	<2.0
	五、六	3	<2.0
救护站	五、六	3	<2.0
防空专业队伍的掩蔽室	四	3	<2.5
	五、六	3	<2.5
人员掩蔽室	四	3	<2.5
	五、六	3	<2.5

防空地下室 CO_2 的初始浓度

表 7.5-3

转入隔绝防护时机	对应的 C_0 (%)
清洁式通风转入隔绝防护	0.45~0.35
滤毒式通风转入隔绝防护	1.05~0.72

排风房间的换气次数

表 7.5-4

房间名称	换气次数 (1 h)	
水冲厕所	10~15	
污水池、污水泵房 水池、水泵房	1~2	
洗脸间、浴室	3~5	
柴油发电机房的贮油间	5~6	
配电室	5~8	
蓄电池室	封闭电池	2~3
	敞开电池	8~10
调酸、贮酸室	6	

4. 空气温度和相对湿度

战时清洁式通风时的防空地下室内空气的温度和相对湿度, 按表7.5-5采取。平时通风的温湿度, 根据不同的使用要求, 按地面同类建筑的标准选取。

5. 超压规定

在过滤式通风时, 防空地下室内部应保持 $30 \sim 50Pa$ 的超压, 并须设置维持超压的自动排气活门及测压装置(图7.5-1)。测压装置的压差计, 应设于通风机房内便于观察之处。

清洁式通风时地下室的温度和相对湿度

表 7.5-5

房间名称		夏季		冬季	
		温度 (°C)	相对湿度 (%)	温度 (°C)	相对湿度 (%)
人员掩蔽室和防空专业人员掩蔽室		自然温湿度			
医院救护站	手术室、急救室	≥28	≥75	<20	>75
	病房	16~30	≥80	<16	
指挥所的指挥室、工作室		16~30	≥80	<10	
通讯工程	通信机房	16~30	≥80	10~30	80~40
	载波机房	≥30	≥80	10~30	80~40
柴油发电机房	机组运行时 (人员直接操作)	≥35		≥35	
	机组运行时 (人员隔间操作)	≥38		≥38	
	机组不运行时	<5	≥80	<5	≥80

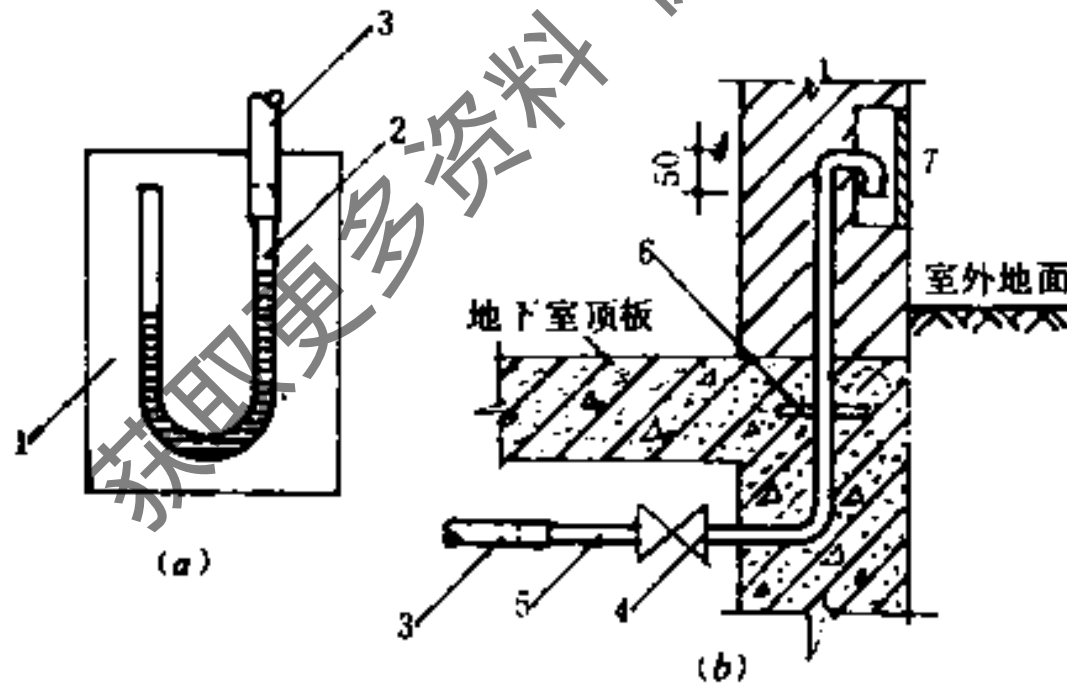


图 7.5-1 防空地下室内部测压装置示意图

(a) 测压板; (b) 测压管穿墙作法

1—测压板; 2—U形压差计; 3—软管; 4—阀门; 5— $\phi 15$ 镀锌钢管; 6—密闭盘; 7—百页

7.5.3 防护通风系统的设计

1. 进风系统

(1) 系统图式

防护通风的进风系统的图式如图7.5 2所示。

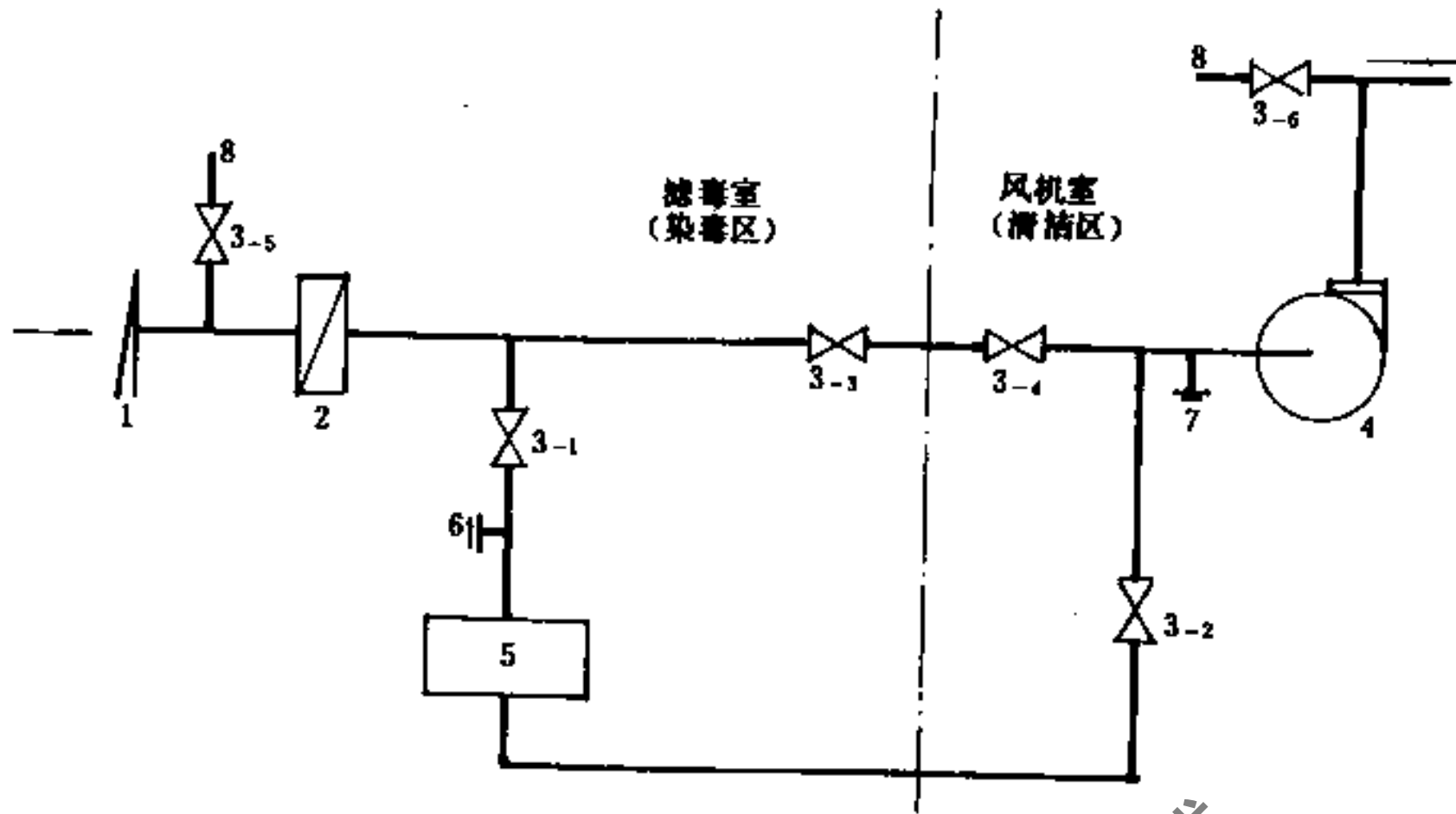


图 7.5-2 进风系统的原理示意图

1—消波系统；2—粗过滤器；3—密闭阀门；4—风机；5—过滤吸收器；6—换气堵头；7—堵头或插板；8—接平时通风系统

滤毒式通风时，开启阀3-1、3-2，关闭阀3-3、3-4；清洁式通风时，关闭阀3-1、3-2，开启阀3-3、3-4；隔绝式通风时，关闭所有阀门，开启堵头7。换气堵头6的作用是在更换过滤吸收器之后打开，把可能残存于滤毒室的毒气吸入系统。

平时通风的机械通风系统或空气调节系统可以单独设置，也可以与防护通风系统共用消波系统及风管系统。图7.5-2中的8即为平时通风系统的连接点。

(2) 进风系统的风量

过滤式通风的进风量，按照如下规定计算，并取其大值：

a. 按表7.5-1数据及掩蔽人数计算；

b. 按防毒通道 $30 \sim 50 \text{ h}^{-1}$ 换气所需风量与规定超压值下的漏风量之和。对钢筋混凝土整体结构，当超压值为 50 Pa 时，可按清洁区总容积的4%确定。

清洁式通风的进风量按表7.5-1的数据及掩蔽人数进行计算。当战时有温湿度要求时，还应按消除余热、余湿进行计算，并取其大值。

2. 排风系统

排风系统的典型图式见图7.5-3。

清洁式通风时，开启活门2，关闭活门3、4、5，启动风机7，室内空气经管道由消波活门排出。滤毒式通风时，开启活门3、4、5，关闭活门2，室内空气依靠进风形成的超压，通过自动排气阀6，活门3、4、5，流经洗消间、防毒通道、消波活门排出。排风机的风量按清洁式通风时的进风量确定。

当地下室面积较小、防护等级较低，风量较小时，排风系统可不设风机(见图7.5-4)。室内空气依靠超压，通过自动排气阀，活门2、3、4，流经洗消间、防毒通道及消波活门排出。

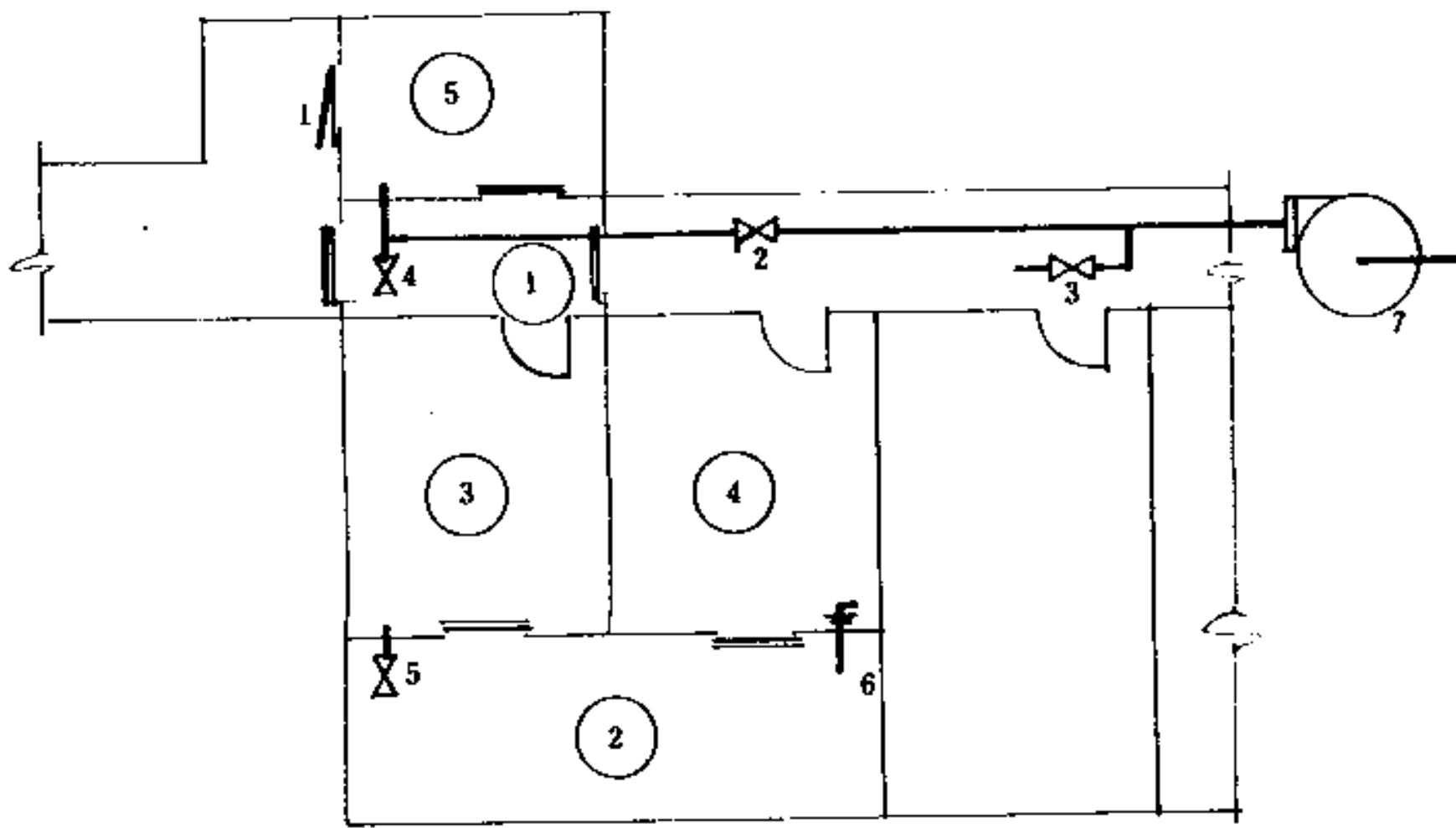


图 7.5-3 排风系统示意图 (一)

1—消波活门；2、3、4、5—密闭活门；6—自动排气阀；7—风机
 ①防毒通道；②洗消间；③更衣室；④穿衣室；⑤扩散室

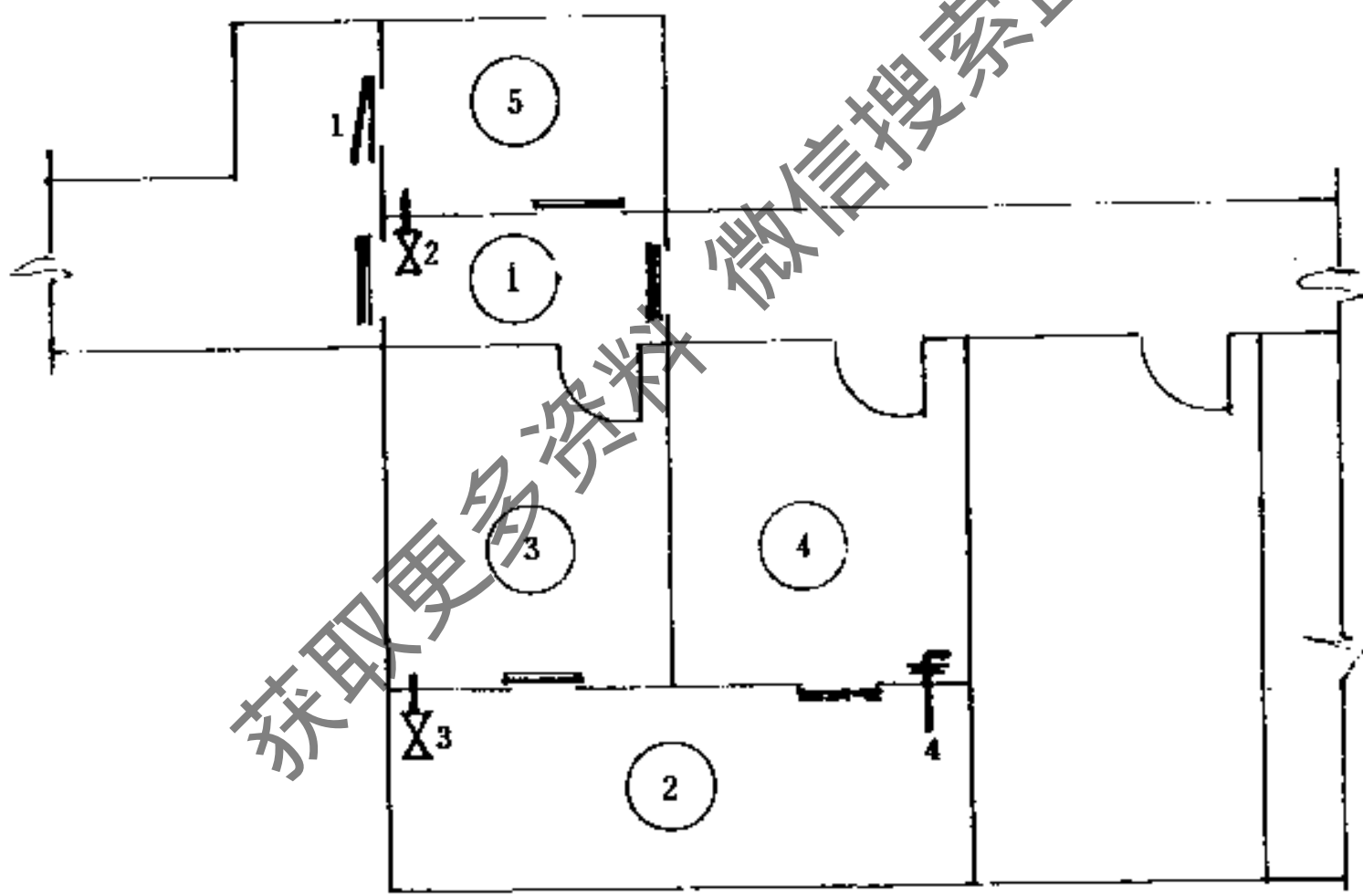


图 7.5-4 排风系统示意图 (二)

1—消波活门；2、3—密闭活门；4—自动排气阀
 ①防毒通道；②洗消间；③更衣室；④穿衣室；⑤扩散室

7.5.4 柴油发电机房的通风

1. 系统图式

柴油发电机房主要由机房、油库及控制室组成。控制室设于清洁区内，由地下室的防护通风系统送风。机房及油库设于染毒区，单独设置通风系统。其系统图式见图7.5-5。

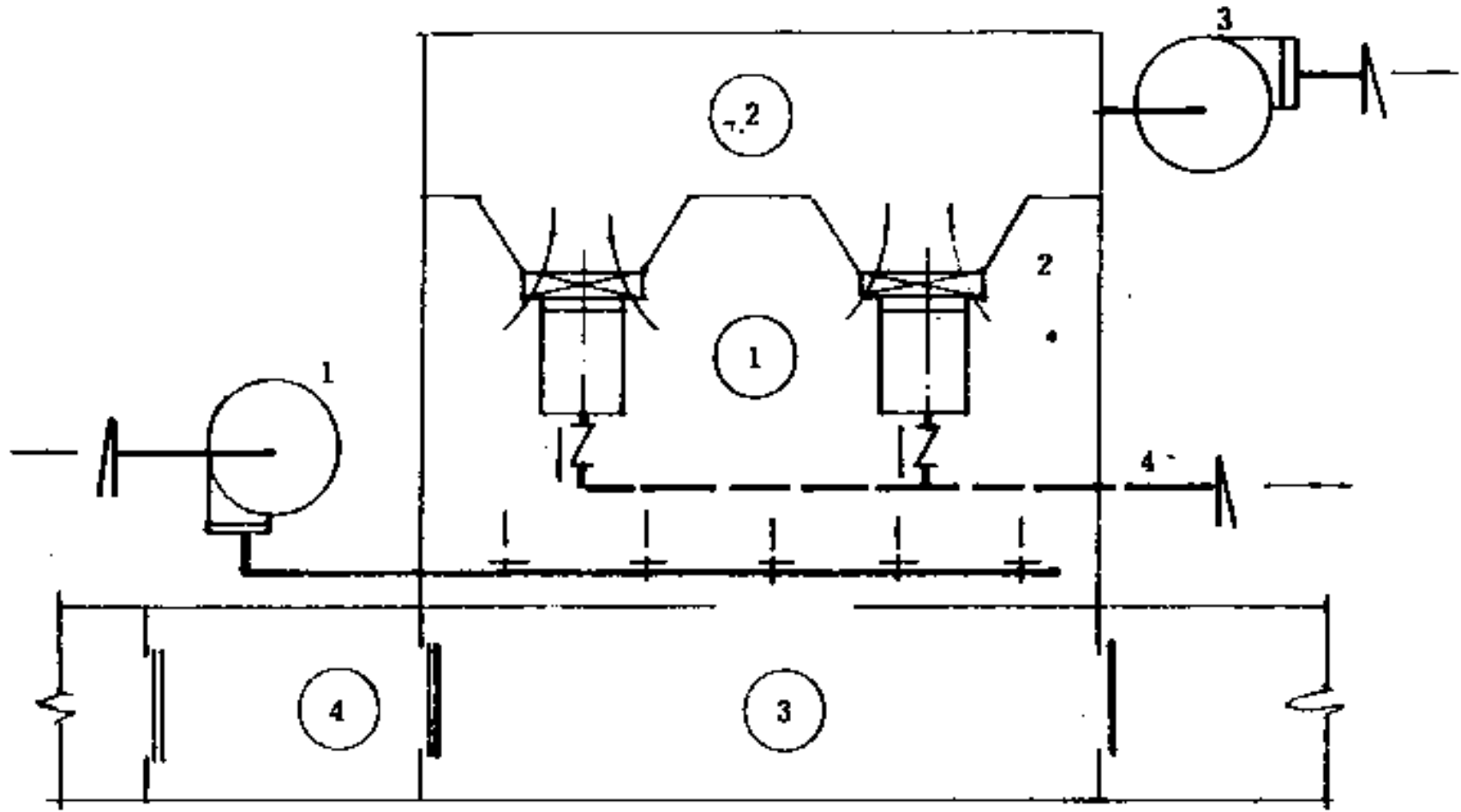


图 7.5-5 柴油发电机房通风系统

1—进风系统；2—发电机散热器连管；3—排风系统；4—排烟系统
①机房；②排风夹道；③缓冲通道；④防毒通道

2. 进风系统

进风系统风量，按消除余热及稀释有害气体计算，并取其大者。消除余热所需风量的计算见全面通风一节。稀释有害气体所需风量按 $10 \sim 15 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot \text{HP}$ 计算。当有条件时，进入空气可经冷却，以减少风量。进风可视具体情况自然进入、机械进入或利用地下室内部排风。

3. 排风系统

排风系统风量为进风量减去燃烧所需空气量。燃烧空气量按 $5 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot \text{HP}$ 计算。

4. 排烟系统

(1) 排烟量 $L (\text{m}^3 / \text{min})$

$$L = 0.785 d^2 S \frac{2n}{Z} i \quad (7.5-2)$$

式中 d ——气缸直径，m；
 S ——活塞行程，m；
 n ——柴油机转速，r/min；
 Z ——柴油机冲程数；
 i ——气缸数。

(2) 排烟管直径 $d (\text{m})$

$$d = \sqrt{\frac{L}{60 \times 0.785 v} \frac{273 + t}{273 + 20}} \quad (7.5-3)$$

式中 L ——排烟量， m^3 / min ；
 v ——烟气流速，支管 $20 \sim 25 \text{ m/s}$ ，干管 $8 \sim 15 \text{ m/s}$ ；
 t ——烟气温度的，支管按 400°C ，干管按 200°C 。

(3) 排烟管的设置

• 柴油机排烟口和排烟管的连接,宜采用柔性连接。当连接两台或两台以上机组时,排烟支管上宜装设单向阀门(见图7.5-5)。

• 排烟管的室内部分,应作保温处理,其表面温度不应超过60℃。

• 排烟管宜单独引出地面。

• 排烟管出口处宜作消声处理。

7.5.5 防护通风设备的选择

1. 消波系统

消波系统由消波活门、活门室、扩散室组成。消波系统的设计由结构专业在通风专业的配合下进行。通风专业应提供风量(平时及战时,择其大者)及防护通风设备的允许压力,见表7.5-6。

2. 过滤吸收器

过滤吸收器的主要技术指标,应符合表7.5-7的规定。

防护通风设备的允许压力 表 7.5-6

设备名称		允许压力 (kPa)
粗过滤器	油网过滤器(加固的)	50
	泡沫塑料过滤器	40
密闭活门		50
通风机		50
过滤吸收器		30
自动排气阀		50

过滤吸收器主要技术指标 表 7.5-7

项目	单位	技术指标	
		三、四级	五、六级
防沙林	h	>10	>4
防维埃克斯	h	>2	>2
油雾透过系数	%	>0.001	
抗核爆冲击波超压	kPa	<30	
通风量	m ³ /h	满足设计要求	
阻力	Pa	一般不大于700	

3. 通风机

进风系统的风机可根据战时电源保证情况,选用电动风机或手摇电动两用风机。所选风机在性能上应兼顾过滤式通风和清洁式通风时的风量及风压要求。当不能兼顾时,应分别选用风机。

排风系统风机一般选用电动风机。

4. 自动排气阀

自动排气阀在地下室超压达到规定值时,自动开启排风,以达到维持一定超压值的作用。

自动排气阀的数量 n (个)

$$n = \frac{L_j - L_1}{l}$$

(7.5-4)

式中 L_j ——过滤式通风的进风量, m³/h;

L_1 ——规定超压下的漏风量, m³/h, 按清洁区容积的4%计算;

l ——自动排气阀在规定的超压下的排气量, m³/h, 可由图7.5-6、7确定。

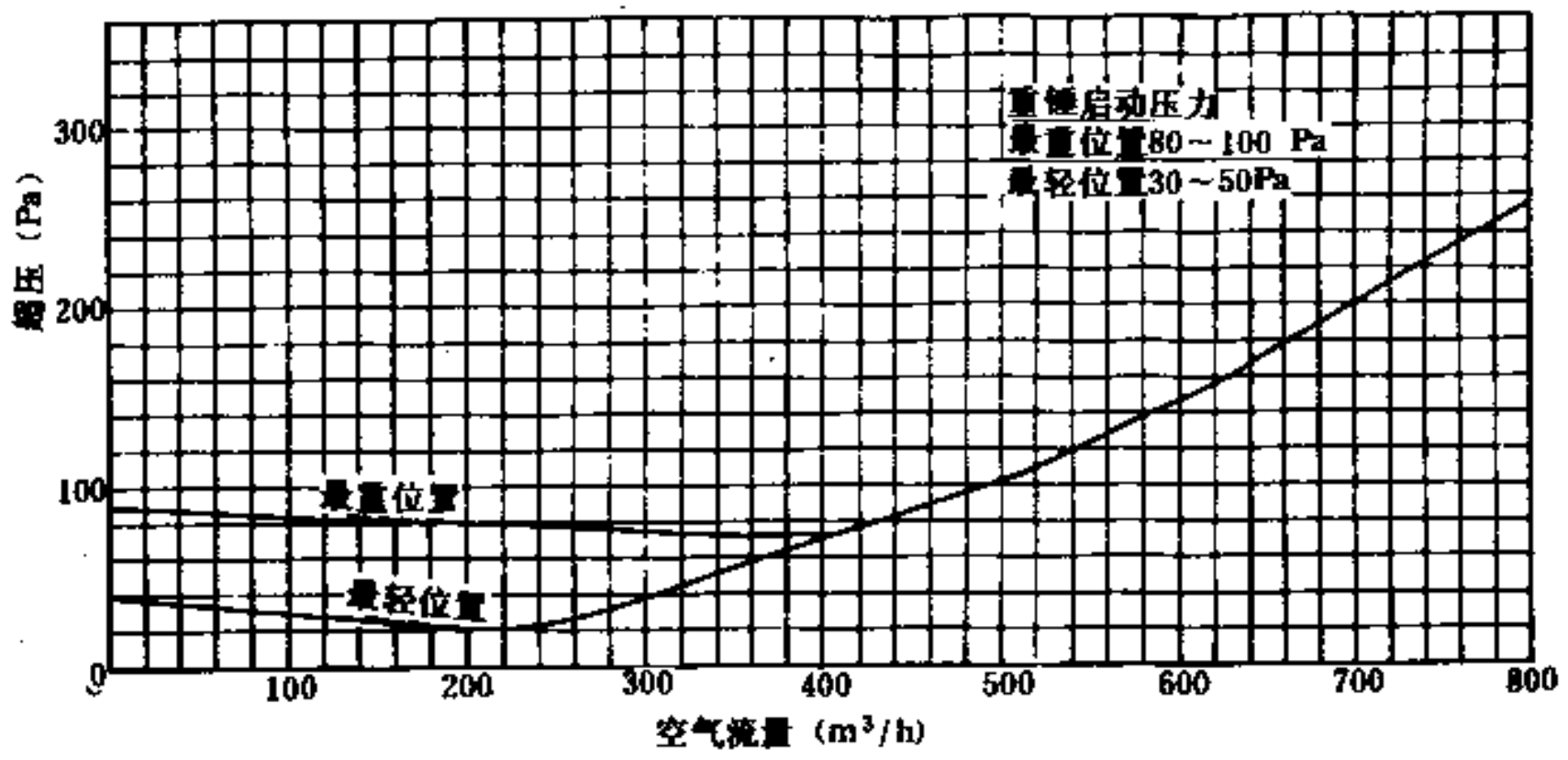


图 7.5-6 YF 型D 200自动排气阀特性曲线

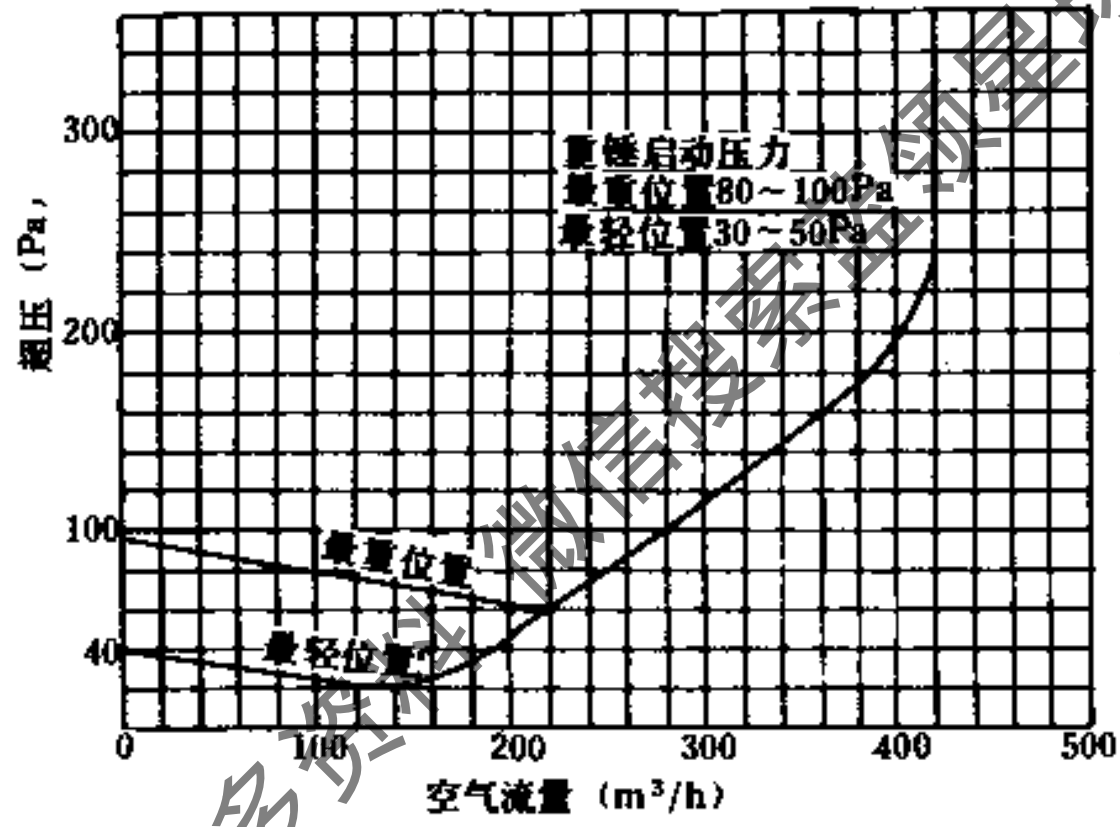


图 7.5-7 YF 型D 150自动排气阀特性曲线

第八章 通风管道设计

8.1 风管设计的基本知识

8.1.1 风管设计的基本内容

风管设计的基本任务

1. 确定风管的形状和选择风管的尺寸。

2. 计算风管的压力损失。通过对风管的沿程（摩擦）压力损失和局部压力损失的计算，最终确定风管的尺寸并选择风机。

风管的压力损失 ΔP (Pa):

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_j \quad (8.1-1)$$

式中 ΔP_m ——风管的沿程压力损失，详见本章8.2节，Pa；

ΔP_j ——风管的局部压力损失，详见本章8.3节，Pa。

8.1.2 风管的统一规格

圆形风管规格见表8.1-1；矩形风管规格见表8.1-2。钢制风管及配件采用的钢板厚度见表8.1-3。

圆形风管规格

表 8.1-1

外 径 D (mm)				外 径 D (mm)			
基 本 系 列		辅 助 系 列		基 本 系 列		辅 助 系 列	
100	500	80	480	220	1000	210	950
		90		220	1000	220	1000
		100		250	1120	240	1060
120	560	110	530	280	1250	260	1180
		120				560	280
140	630	130	600	320	1400	300	1320
		140				630	320
160	700	150	670	360	1600	340	1500
		160				700	360
180	800	170	750	400	1800	380	1700
		180				800	400
200	900	190	850	450	2000	420	1900
		200				900	450

矩形风管规格

表 8.1-2

外边长 (mm) (长×宽)		外边长 (mm) (长×宽)	
120×120	630×500	320×320	1250×400
160×120	630×630	400×200	1250×500
160×160	800×320	400×250	1250×630
200×120	800×400	400×320	1250×800
200×160	800×500	400×400	1250×1000
200×200	800×630	500×200	1600×500
250×120	800×800	500×250	1600×630
250×160	1000×320	500×320	1600×800
250×200	1000×400	500×400	1600×1000
250×250	1000×500	500×500	1600×1250
320×160	1000×630	630×250	2000×800
320×200	1000×800	630×320	2000×1000
320×250	1000×1000	630×400	2000×1250

风管和配件钢板厚度

表 8.1-3

圆形风管直径或矩形风管大边长 (mm)	钢板厚度 (mm)	
	一般风管	除尘风管
100~200	0.50	1.50
220~500	0.75	1.50
530~1400		2.00
560~1120	1.00	
1250~2000	1.20~1.50	
1500~2000		3.00

注：螺旋风管的钢板厚度可相应减小。

8.1.3 风管设计注意事项

1. 风管材料的选用 一般应采用钢板制作，其优点是不燃烧、易加工、耐久，也较经济。对洁净要求高或有特殊要求的工程，可采用铝板或不锈钢板制作。对于有防腐要求的工程，可采用塑料或玻璃钢制作。采用建筑风道时，宜用钢筋混凝土制作。

选用风管材料时，应优先选用非燃烧材料制作。保温材料也应优先考虑非燃烧材料。

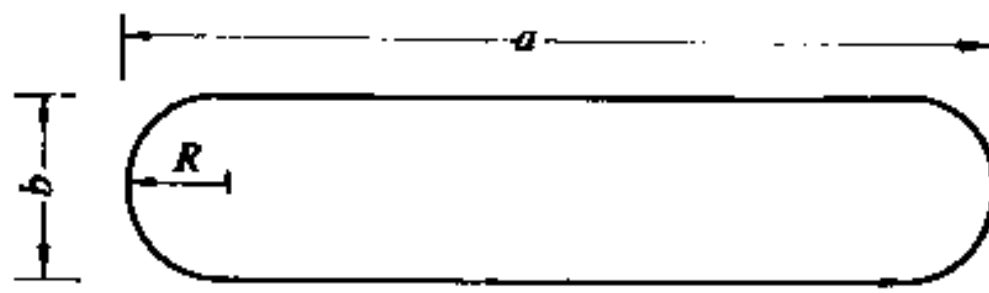
2. 风管形式的确定 风管的形式很多，一般采用圆形或矩形风管。圆形风管的强度大，耗材料少，但加工工艺复杂些，占用空间大，不易布置得美观，常用于暗装。矩形风管易布置，弯头及三通等部件的尺寸较圆形风管的部件小，且容易加工，因而使用较为普遍。矩形风管的宽高比宜小于 6，最大不应超过 10。

3. 螺旋风管是一种值得推荐的风管。该风管系机械化生产由钢带螺旋绕制而成。其特点是加工质量好、强度高、内表面光滑；连接技术简单、牢靠、漏损少；造型平整美观，适合于明装（也可暗装）。

螺旋风管有圆形、矩形。为了节省空间，大量的螺旋风管做成扁圆形。表 8.1-4 给出常

扁圆风管规格

表 8.1-4

表中为公称宽度 a (mm)

$$R = 1/2b$$

板厚 mm	扁圆管公称高度 b (mm)													
	75	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600
0.6	200													
	275	265			220									
	315	300												
	350	340	325	310	300		260							
	390	375	360	350	325		305							
	440	415	400	390	375		340							
		425	410	400	390		355							
		500	490	470	450		425							
0.8				525	510	490	475	460						
				550	540	520	500							
				625	610	600	575	565						
				700	690	675	660	650	615					
				790	775	760	735	725	700	665	635			
				860	840	830	815	800	775	750	715			
				890	875	860	850	830	805	775	750	715		
				940	925	910	890	885	860	825	800	765	735	
1.0				1020	1000	990	975	960	935	910	875	850	825	
				1100	1090	1070	1050	1035	1010	985	950	925	900	
					1160	1150	1135	1115	1085	1060	1035	1010	985	915
					1310	1300	1285	1275	1250	1215	1185	1160	1135	1075
1.2					1475	1455	1440	1435	1400	1375	1350	1315	1285	1225
					1625	1610	1600	1585	1560	1535	1500	1475	1450	1385
					1785			1750	1715	1685	1660	1635	1600	1550
				1940			1900	1875	1850	1815	1785	1760	1700	2000

见的扁圆管的规格。

4. 柔性风管系用薄铝带缠绕而成。质轻、性柔、运输方便。安装时可用手方便地弯曲、伸直，但价格高。常用的有铝质软风管和带超细玻璃棉保温的铝质软风管两种。其规格为 $DN75\text{mm}$ 至 $DN500\text{mm}$ 。

5. 风管的风速控制见表 8.1-5。这个建议的控制风速已综合考虑了风管的初投资、系统的运行费用和空气流动对周围环境的影响。

6. 风管各环路中压力的平衡 风管设计时各并联环路之间的压力损失的差值应保持在小于 15% 的范围内。

风管内的风速 (m/s) 表 8.1-5

风管类别	钢板及塑料风管	砖及混凝土风道
干管	6~14	4~12
支管	2~8	2~6

7. 矩形风管的弯管部分应尽量使用较大的曲率半径 (风管中心线处的曲率半径) 的弧形弯管, 常用的标准曲率半径为 $R = \frac{3}{2}b$ (b 为风管弯边的宽度)。其做法见图 8.1-1。

变宽度的弧形弯头做法见图 8.1-2。

当转弯半径 $R < \frac{3}{2}b$ 时, 应设置导流叶片, 如图 8.1-3 所示。导流叶片的设置方法如图 8.1-4 所示。可根据风管的大小设计 1~3 片导流叶片。其具体的设置位置可从图 8.1-5 中查出。

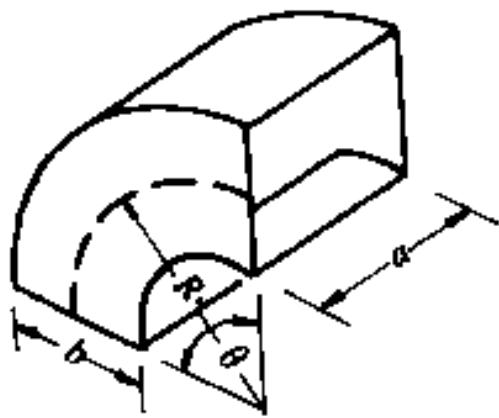


图 8.1-1 弧形弯头

(标准曲率半径 $R = \frac{3}{2}b$)

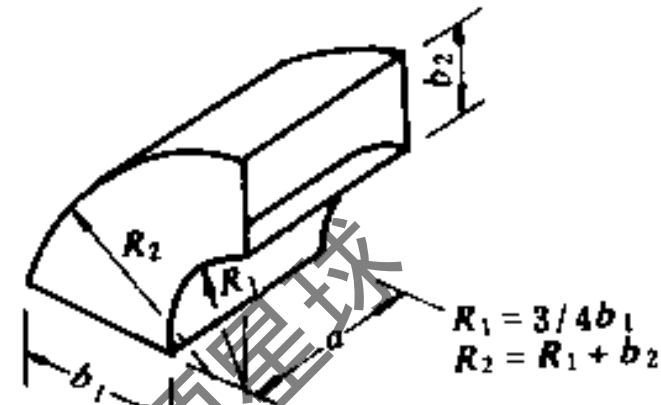


图 8.1-2 变宽度弧形弯头

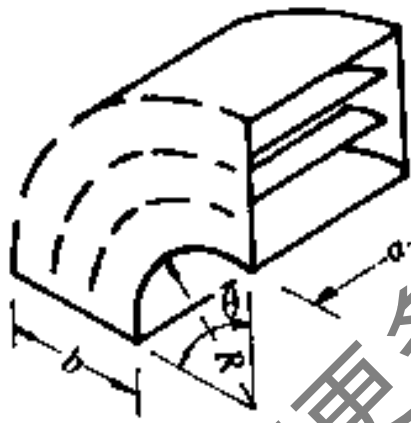


图 8.1-3 带导流叶片

的弧形弯头 ($R < \frac{3}{2}b$)

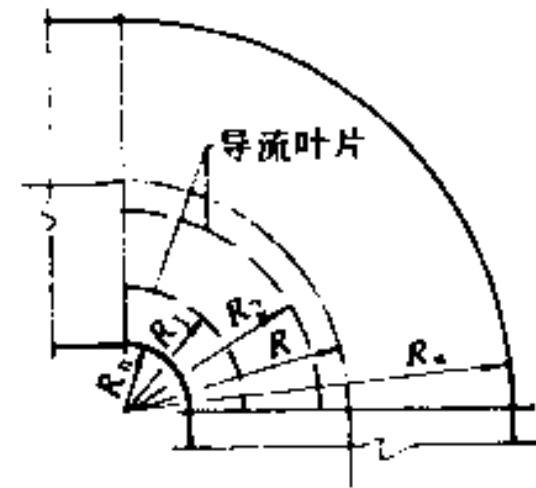


图 8.1-4 矩形弯管导流叶片的位置

【例】 有一个矩形风管的弯头, 弯头内径 $R_n = 50\text{mm}$, 弯头外径 $R_w = 500\text{mm}$, 拟设置 2 个导流叶片, 确定其具体位置。

【解】 查图 8.1-5, 已知弯头内径 $R_n = 50\text{mm}$, 弯头外径 $R_w = 500\text{mm}$, 用这两点联一直线, 和 No.1/2 及 No.2/2 相交的点就是导流叶片的位置。

第一片导流叶片的位置 $R_1 = 110\text{mm}$ 。

第二片导流叶片的位置 $R_2 = 235\text{mm}$ 。

当矩形风管不做弧形弯头, 也不设置导流叶片时, 应设置导叶片, 以改善气流, 如图 8.1-6 所示。若不设导叶片, 做成如图 8.1-7 所示的直角弯头时, 则应控制风管内的风速小于 2m/s 。导叶片的做法分为单层和双层两种, 具体做法见图 8.1-8 和图 8.1-9。带导叶片的直角弯管造价较弧形弯管高, 且压力损失也大些。

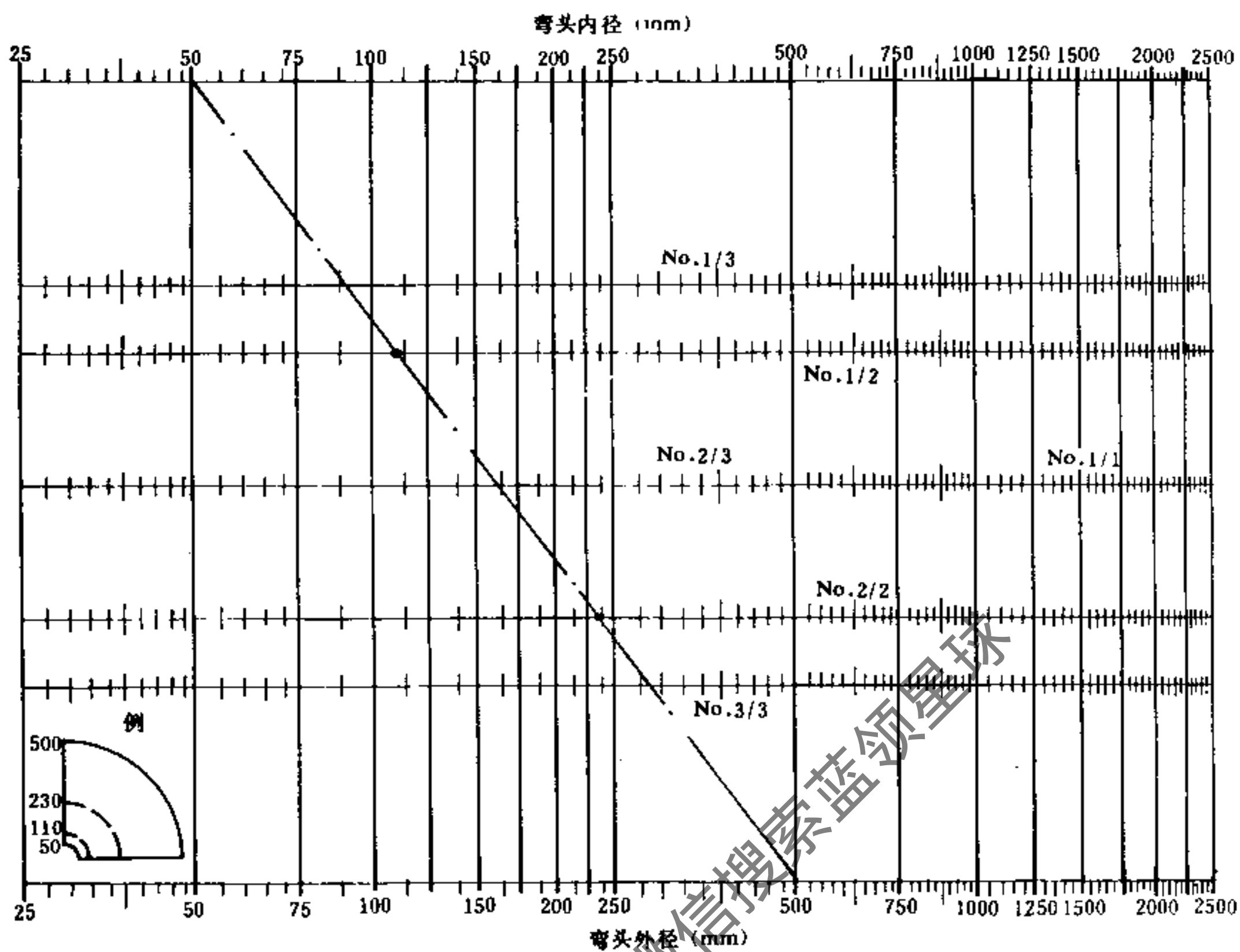


图 8.1.5 导流叶片的位置

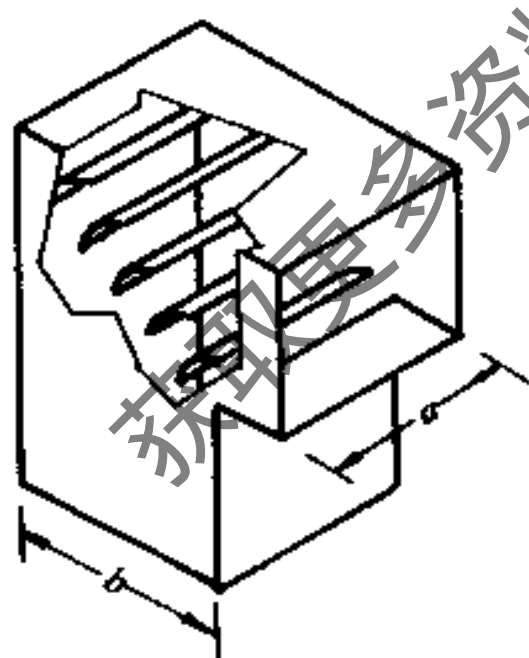


图 8.1.6 带导叶片的直角弯头

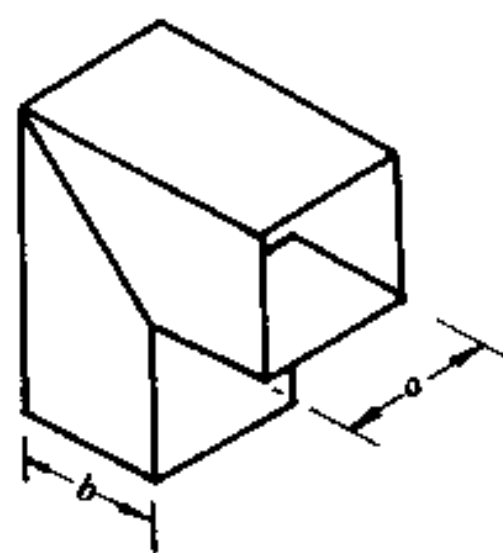


图 8.1.7 不带导叶片的直角弯头

8. 圆风管弯头

圆风管弯头宜做成弧形弯，曲率半径 $R = 1.5D$ ，如图 8.1-10 所示。

图 8.1-11 所示为三段式圆风管弯头，（ $R = 1.5D$ ），其压力损失较弧形圆弯头大。

图 8.1-12 所示为五段式圆风管弯头，压力损失比三段式圆弯头小，但造价较贵。

斜接弯头，当弯曲度小于 45° 时，可做成如图 8.1-13 所示。

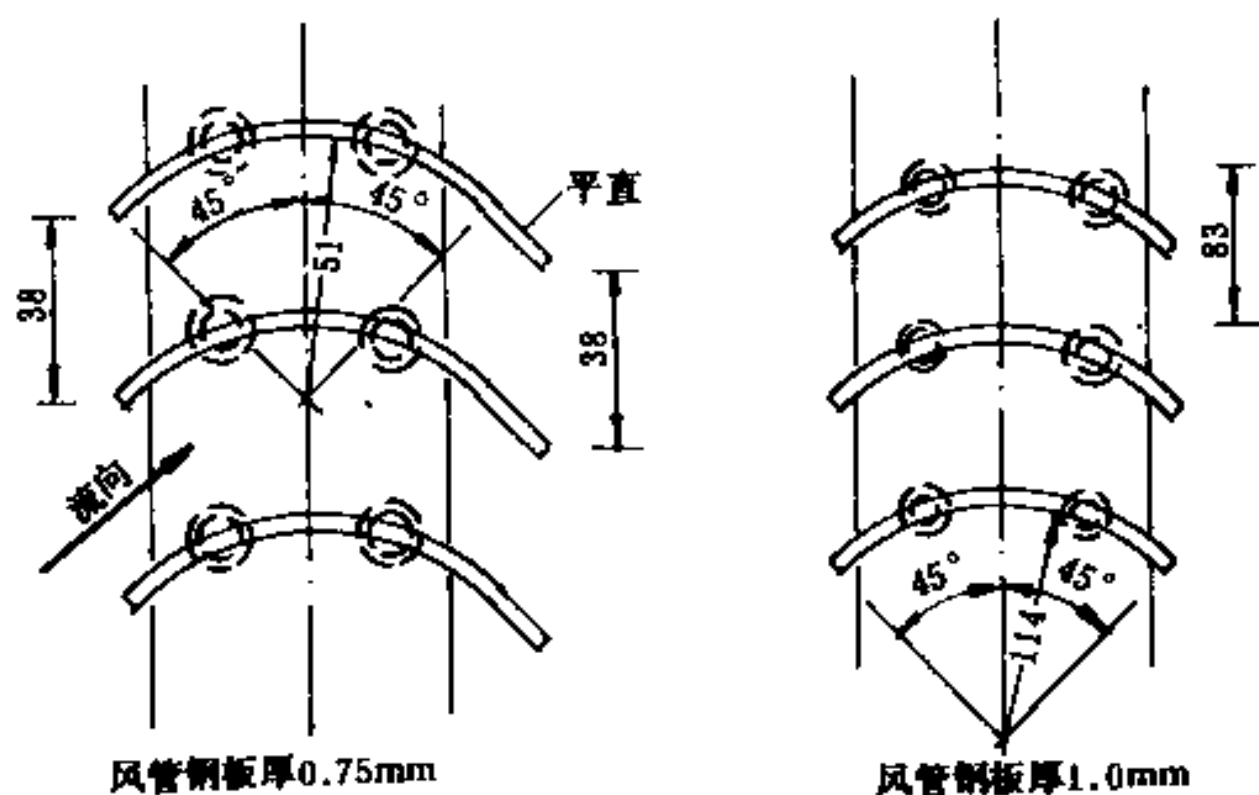


图 8.1-8 单层导叶片做法

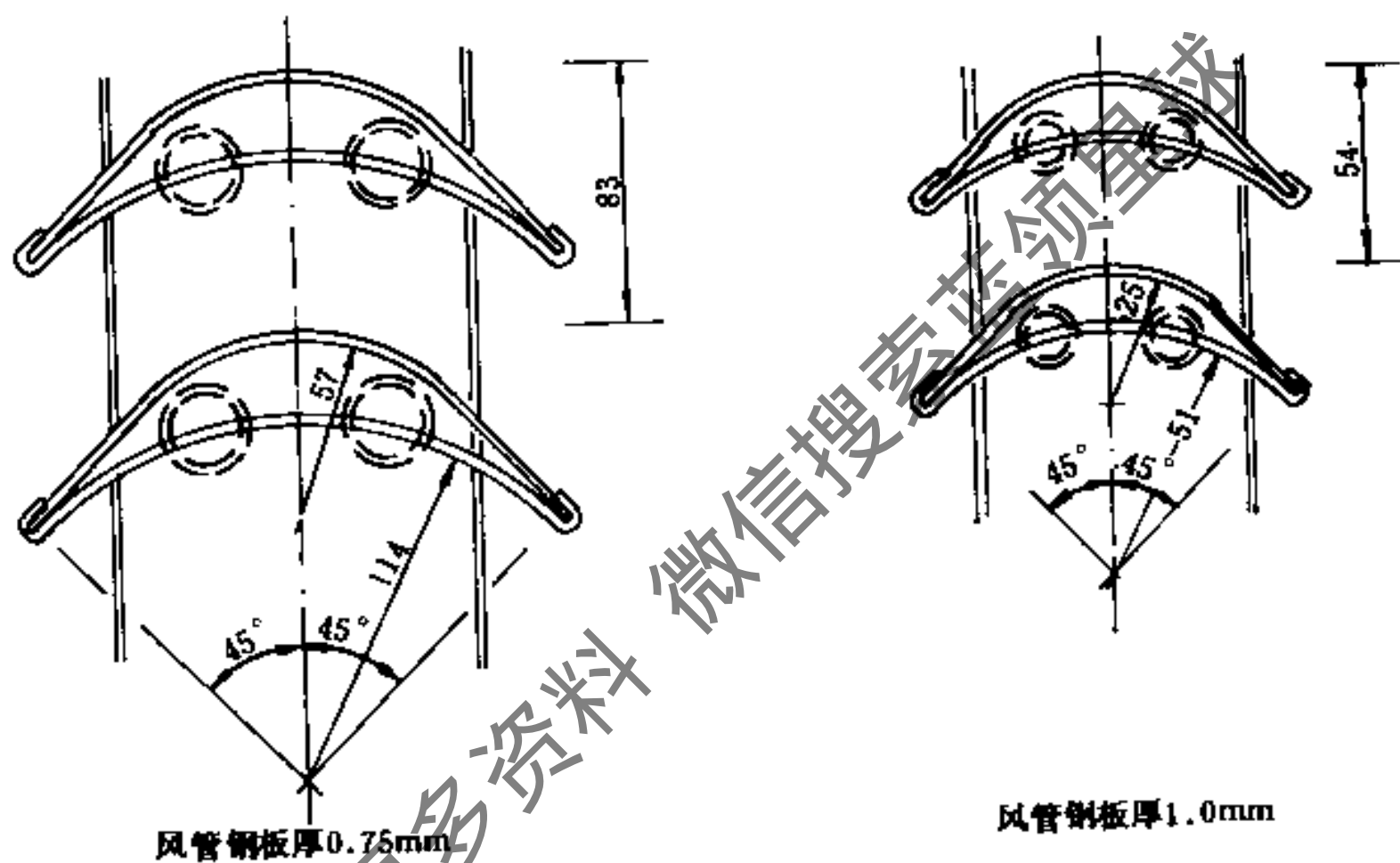


图 8.1-9 双层导叶片做法

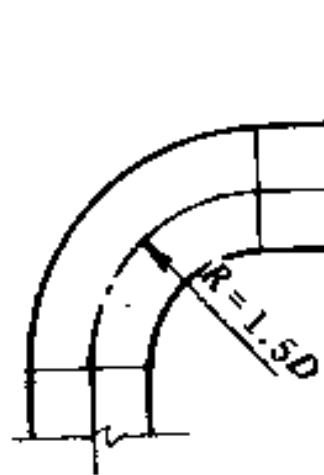


图 8.1-10 弧形圆弯头

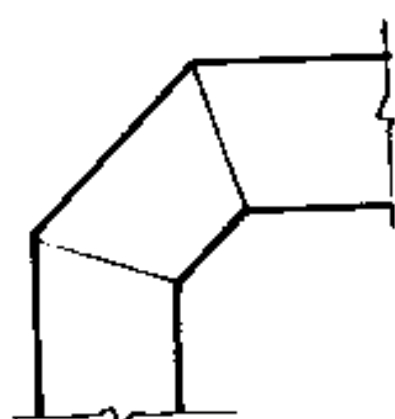


图 8.1-11 三段式90°圆弯头

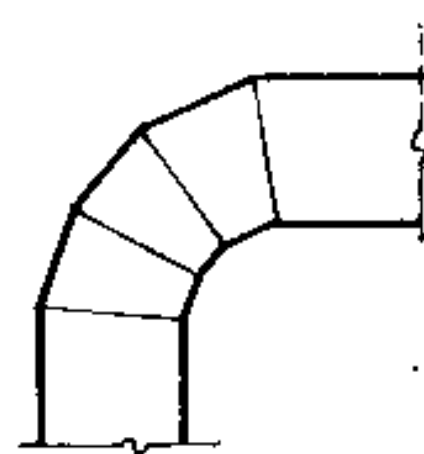


图 8.1-12 五段式90°圆弯头

9. 风管的升降

当 $\theta < 15^\circ$ 时，可做成角接，如图8.1-14所示。当 $\theta < 30^\circ$ 时，可做成斜接，如图8.1-15所示。当 $\theta > 30^\circ$ ，可做成双弧形来回弯，如图8.1-16所示。

风管的扩大或缩小，不应做成突扩或突缩，而宜做成渐扩或渐缩，如图8.1-17和图8.1-18所示。

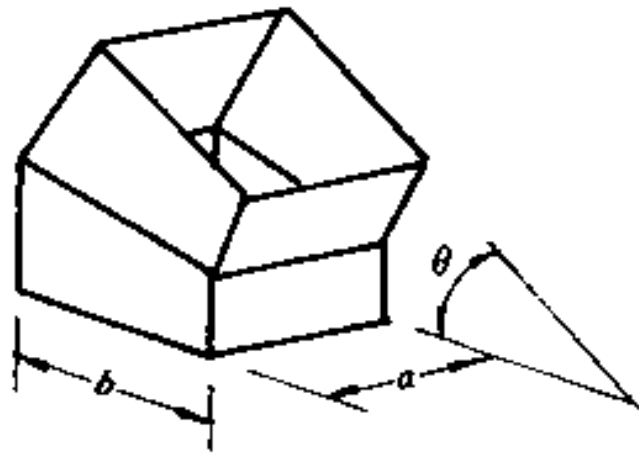


图 8.1-13 $<45^\circ$ 斜弯头

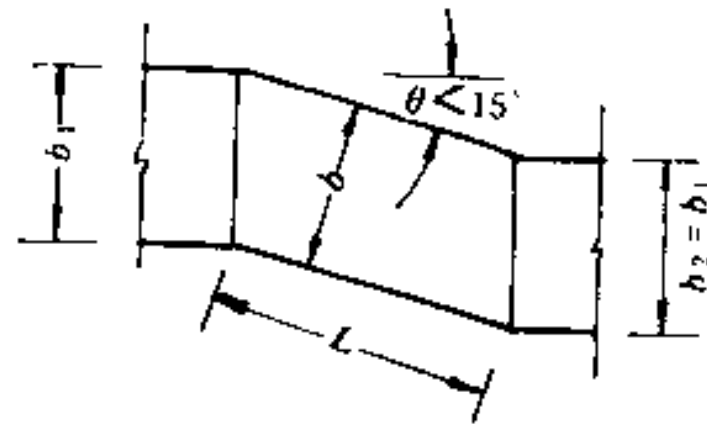


图 8.1-14 角接来回弯

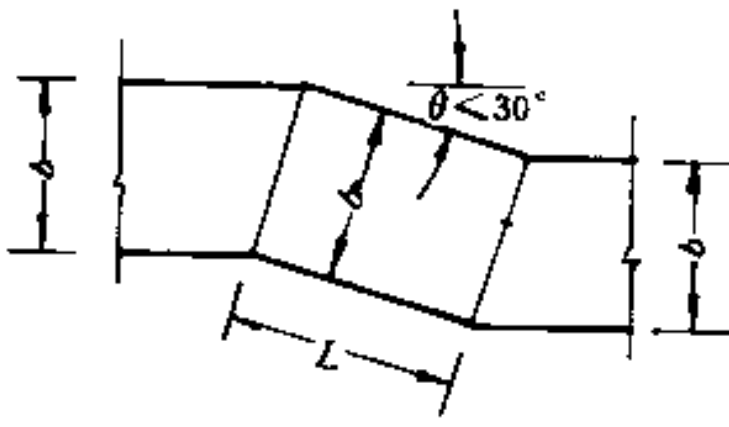


图 8.1-15 斜接来回弯

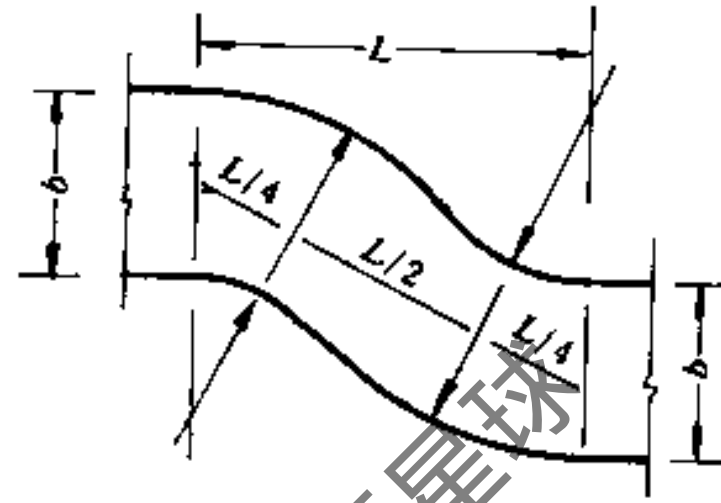


图 8.1-16 双弧形来回弯

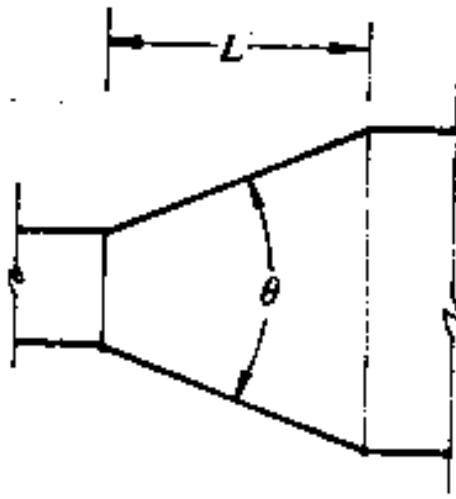


图 8.1-17 同心渐扩或渐缩
(渐扩时 $\theta < 45^\circ$ 、渐缩时 $\theta < 60^\circ$)

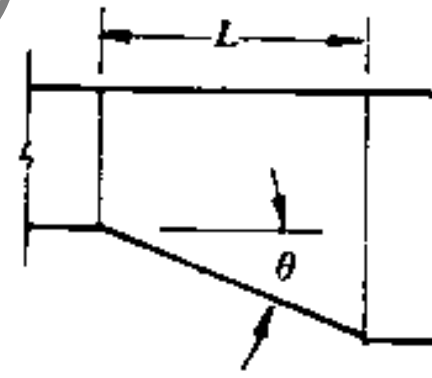


图 8.1-18 偏心渐缩或渐扩
($\theta < 30^\circ$)

8.1.4 风机与风管的连接

正确地安装风机，才能保证达到风机铭牌的性能，这包括风机入口和出口的连接。

1. 风机入口的连接

(1) 转弯或弯头的风管内边至风机入口的距离应大于风机入口的直径，以保证气流均匀进入风机叶片。当转弯半径不够时，应加导叶片，如图 8.1-19 所示。

(2) 当风管变径接入风机时，要求 $\theta < 45^\circ$ ，一般取 $\theta < 30^\circ$ 为佳，如图 8.1-20 所示。

(3) 当为双进风的风机时，应保证 $B > 1.25D$ ，如图 8.1-21 所示。

2. 风机出口的连接

(1) 在靠近风机出口处的转变，必须和风机的转动方向一致，使气流通畅均匀，避免不必要的能量损耗。

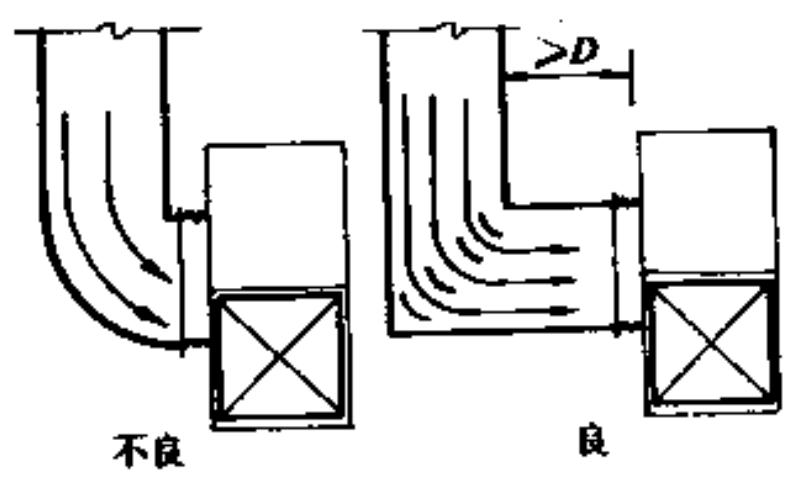


图 8.1-19 风机入口连接 (一)

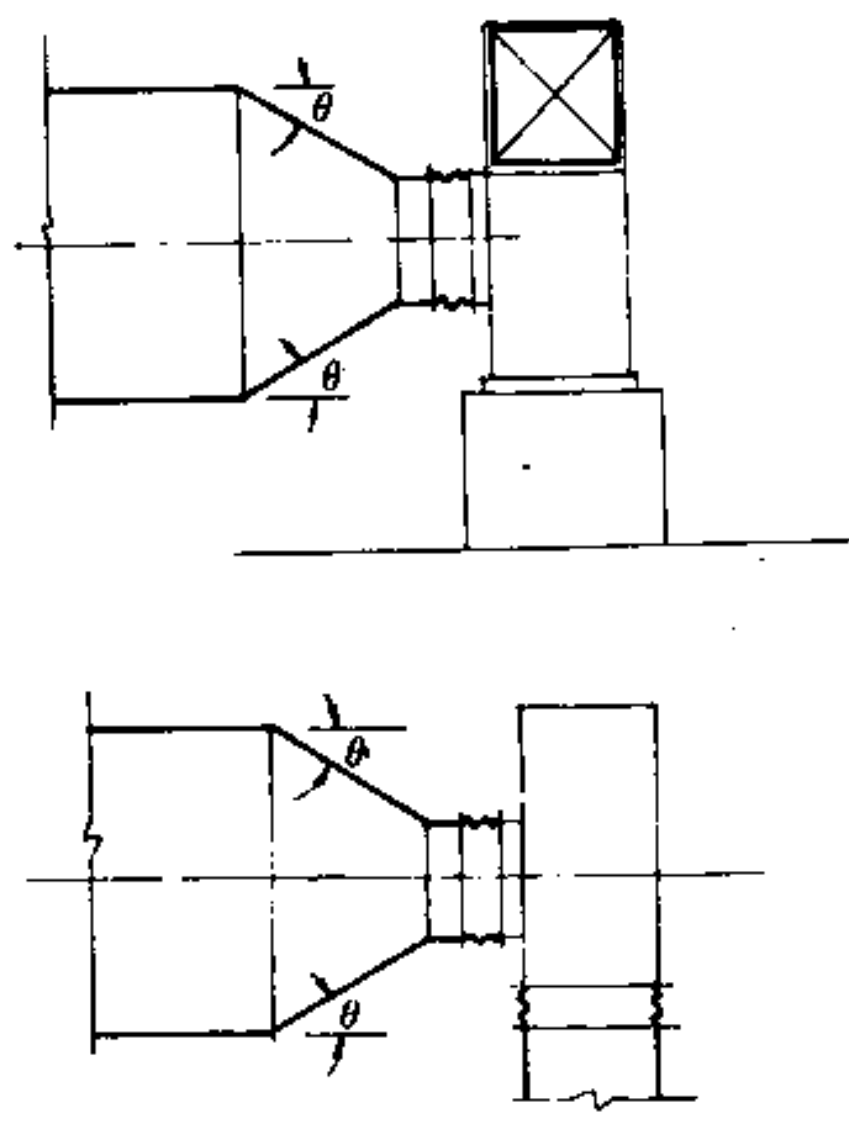
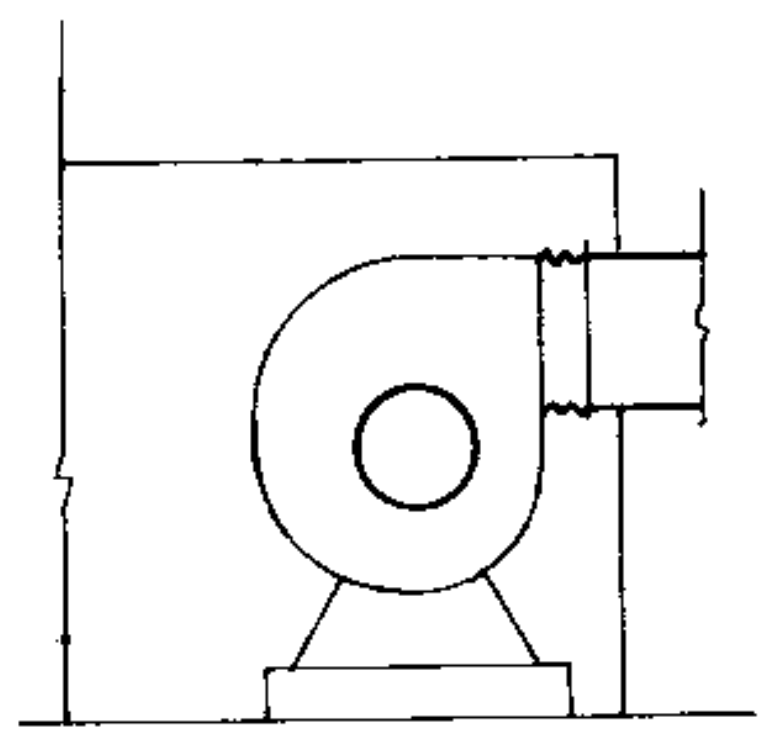


图 8.1-20 风机入口连接 (二)

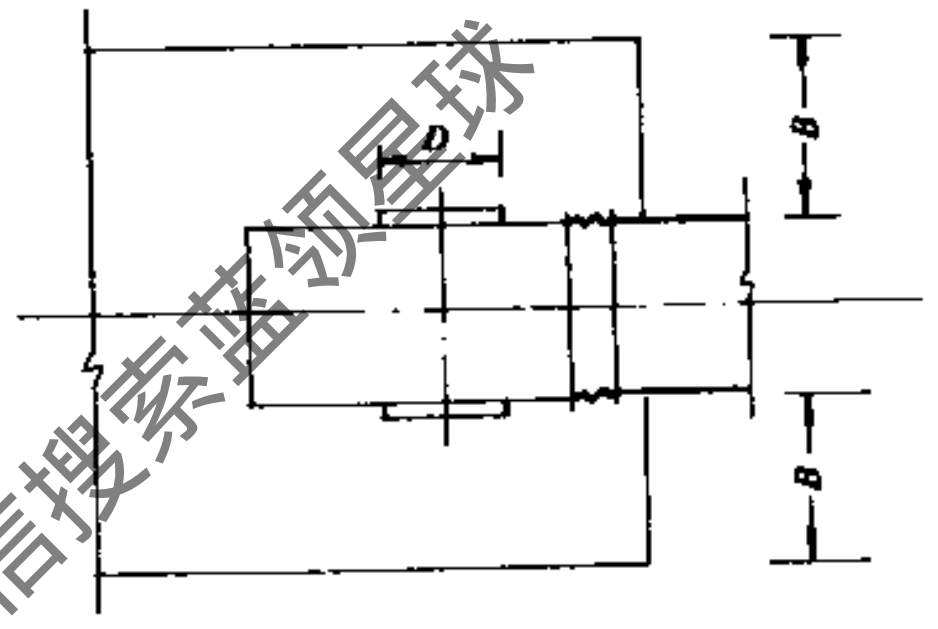


图 8.1-21 风机入口连接 (三)

(2) 风机出口到转弯处应有不小于 $3D$ (即 $A > 3D$, D 为风机入口直径)的直管段, 以免造成不必要的静压损失。出口连接见图8.1-22。

(3) 风机的入口和出口处应加软接头, 以减少振动的影响。具体做法见图8.1-23。软接头材料宜采用人造革或帆布。

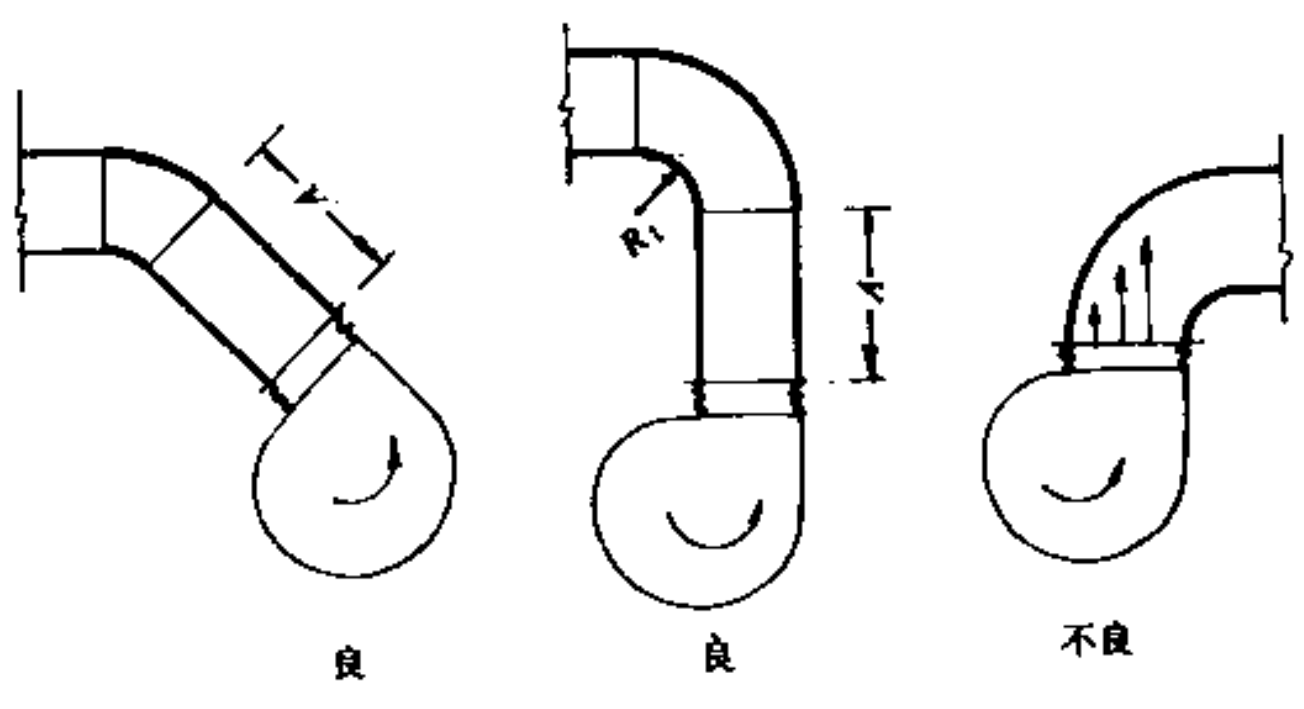


图 8.1-22 风机出口连接

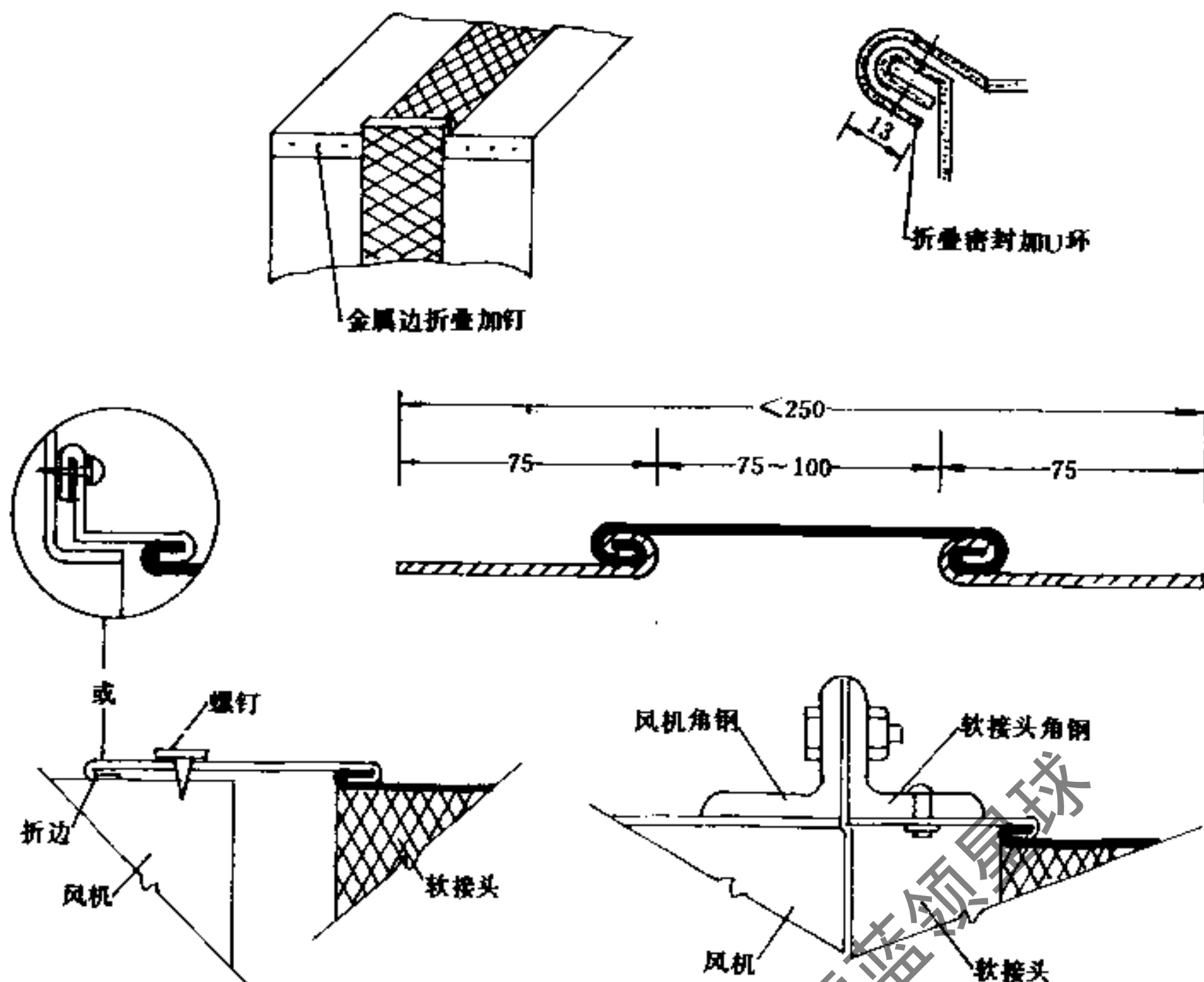


图 8.1-23 风机进出口软接头做法

8.2 风管的沿程压力损失

8.2.1 沿程压力损失的基本计算公式

1. 风量

(1) 通过圆形风管的风量 L (m^3/h) 按下式计算:

$$L = 900\pi d^2 v \quad (8.2-1)$$

式中 d ——风管内径, m ;

v ——风速, m/s 。

(2) 通过矩形风管的风量按下式计算:

$$L = 3600abv \quad (8.2-2)$$

式中 a, b ——风管断面净宽和净高, m 。

2. 沿程压力损失

长度为 l (m) 的风管沿程压力损失 ΔP_m (Pa) 可按下式计算:

$$\Delta P_m = \Delta P_{ml} \quad (8.2-3)$$

式中 ΔP_m ——单位管长沿程压力损失, Pa/m 。

3. 单位管长沿程压力损失

单位管长沿程压力损失 ΔP_m 可按下式计算:

$$\Delta P_m = \frac{\lambda}{d_e} \cdot \frac{v^2}{2} \rho \quad (8.2-4)$$

式中 λ ——摩擦阻力系数;
 ρ ——空气密度, kg/m^3 ;
 d_e ——风管当量直径, m 。

对于圆形风管:

$$d_e = d$$

对于矩形风管:

$$d_e = \frac{2ab}{a+b} \quad (8.2-5)$$

4. 摩擦阻力系数

摩擦阻力系数 λ 按下式计算:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{K}{3.71 d_e} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right) \quad (8.2-6)$$

式中 K ——风管内壁的当量绝对粗糙度, m ;
 Re ——雷诺数:

$$\text{Re} = \frac{v d_e}{\nu}$$

ν ——运动粘度, m^2/s 。

8.2.2 沿程压力损失的计算

沿程压力损失可按上述诸公式进行计算, 也可查表计算。

1. 制表数据的取用

(1) 风管断面尺寸: 对于标准风管, 采用《全国通用通风管道计算表》一书中规定的标准尺寸; 对于非标准矩形风管, 采用该书中的标准宽度和标准高度。

(2) 空气参数: 设空气处于标准状态, 即大气压力为 101325Pa , 温度为 20°C , 密度 $\rho = 1.2\text{kg}/\text{m}^3$, 运动粘度 $\nu = 15.06 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。

(3) 空气绝对粗糙度: 对于钢板, 取 $K = 0.15 \times 10^{-3}\text{m}$ 。

2. 风管单位长度沿程压力损失计算表

标准尺寸的钢板圆形风管计算表见表 8.2-1。

标准尺寸的钢板矩形风管计算表见表 8.2-2。

在使用矩形风管的场合, 往往受到空间的限制, 不得不尽量减小风管断面的高宽比。为了满足这种需要, 编制了部分扁形风管计算表试用。这部分非标准矩形风管计算表见表 8.2-3。

除尘风管的单位沿程阻力计算表见本书第 7 章。

塑料风管和混凝土风管的单位长度沿程压力损失可按《全国通用通风管道计算表》一书取用。

3. 绝对粗糙度的修正

当钢板风管内表面较粗糙时, 由计算表查得的单位长度沿程压力损失可乘以 1.05 的修正系数。

4. 空气状态的修正

当风管内的空气处于非标准状态时, 由计算表查得的单位长度沿程压力损失应乘以 $\rho/1.2$ 的修正系数, 其中 ρ 为实际状态下的空气密度, 主要取决于所在地点的大气压力和温度。

钢板圆形风管计算表

表 8.2-1

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面直径 (mm)								
		100	120	140	160	180	200	220	250	280
1.0	0.60	28	40	55	71	91	112	135	175	219
1.5	1.35	42	60	82	107	136	168	202	262	329
2.0	2.40	55	80	109	143	181	224	270	349	439
2.5	3.75	69	100	137	179	226	280	337	437	548
3.0	5.40	83	120	164	214	272	336	405	524	658
3.5	7.35	97	140	191	250	317	392	472	611	768
4.0	9.60	111	160	219	286	362	448	540	698	877
4.5	12.15	125	180	246	322	408	504	607	786	987
5.0	15.00	139	200	273	357	453	560	675	873	1097
5.5	18.15	152	220	300	393	498	616	742	960	1206
6.0	21.60	166	240	328	429	544	672	810	1048	1316
6.5	25.35	180	260	355	465	589	728	877	1135	1425
7.0	29.40	194	280	382	500	634	784	945	1222	1535
7.5	33.75	208	300	410	536	679	840	1012	1310	1645
8.0	38.40	222	320	437	572	725	896	1080	1397	1754
8.5	43.35	236	340	464	608	770	952	1147	1484	1864
9.0	48.60	249	360	492	643	815	1008	1215	1571	1974
9.5	54.15	263	380	519	679	861	1064	1282	1659	2083
10.0	60.00	277	400	546	715	906	1120	1350	1746	2193
10.5	66.15	291	420	574	751	951	1176	1417	1833	2303
11.0	72.60	305	440	601	786	997	1232	1485	1921	2412
11.5	79.35	319	460	628	822	1042	1288	1552	2008	2522
12.0	86.40	333	480	656	858	1087	1344	1620	2095	2632
12.5	93.75	346	500	683	894	1132	1400	1687	2183	2741
13.0	101.40	360	521	710	929	1178	1456	1755	2270	2851
13.5	109.35	374	541	737	965	1223	1512	1822	2357	2961
14.0	117.60	388	561	765	1001	1268	1568	1890	2444	3070
14.5	126.15	402	581	792	1036	1314	1624	1957	2532	3180
15.0	135.00	416	601	819	1072	1359	1680	2025	2619	3290
15.5	144.15	430	621	847	1108	1404	1736	2092	2706	3399
16.0	153.60	443	641	874	1144	1450	1792	2160	2794	3509
		36.74	29.17	24.02	20.32	17.54	15.38	13.71	11.70	10.17

续表

速 度 (m/s)	动 压 (Pa)	风管断面直径 (mm)								上行: 风量 (m^3/h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)	
		320	360	400	450	500	560	630	700	800	
1.0	0.60	287	363	449	569	703	880	1115	1378	1801	
		0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	
1.5	1.35	430	545	674	853	1054	1321	1673	2066	2701	
		0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	
2.0	2.40	574	727	898	1137	1405	1761	2230	2755	3601	
		0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	
2.5	3.75	717	908	1123	1422	1757	2201	2788	3444	4501	
		0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	
3.0	5.40	860	1090	1347	1706	2108	2641	3345	4133	5402	
		0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	
3.5	7.35	1004	1272	1572	1991	2459	3081	3903	4821	6302	
		0.49	0.42	0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.16	
4.0	9.60	1147	1454	1796	2275	2811	3521	4460	5510	7202	
		0.62	0.54	0.47	0.41	0.36	0.31	0.27	0.24	0.20	
4.5	12.15	1291	1635	2021	2559	3162	3962	5018	6199	8102	
		0.78	0.67	0.59	0.51	0.45	0.39	0.34	0.30	0.25	
5.0	15.00	1434	1817	2245	2844	3513	4402	5575	6888	9003	
		0.94	0.82	0.72	0.62	0.55	0.48	0.41	0.36	0.31	
5.5	18.15	1578	1999	2470	3128	3864	4842	6133	7576	9903	
		1.13	0.98	0.86	0.74	0.65	0.57	0.49	0.43	0.37	
6.0	21.60	1721	2180	2694	3412	4216	5282	6691	8265	10803	
		1.33	1.15	1.01	0.87	0.77	0.67	0.58	0.51	0.43	
6.5	25.35	1864	2362	2919	3697	4567	5722	7248	8954	11703	
		1.55	1.34	1.17	1.02	0.89	0.78	0.68	0.59	0.51	
7.0	29.40	2008	2544	3143	3981	4918	6163	7806	9643	12604	
		1.78	1.54	1.35	1.17	1.03	0.90	0.78	0.68	0.58	
7.5	33.75	2151	2725	3368	4266	5270	6603	8363	10332	13504	
		2.02	1.75	1.54	1.33	1.17	1.02	0.88	0.78	0.66	
8.0	38.40	2295	2907	3592	4550	5621	7043	8921	11020	14404	
		2.29	1.98	1.74	1.51	1.32	1.15	1.00	0.88	0.75	
8.5	43.35	2438	3089	3817	4834	5972	7483	9478	11709	15304	
		2.57	2.22	1.95	1.69	1.49	1.30	1.12	0.99	0.84	
9.0	48.60	2581	3271	4041	5119	6324	7923	10036	12398	16205	
		2.86	2.48	2.18	1.88	1.66	1.44	1.25	1.10	0.94	
9.5	54.15	2725	3452	4266	5403	6675	8363	10593	13087	17105	
		3.17	2.74	2.41	2.09	1.84	1.60	1.39	1.22	1.04	
10.0	60.00	2868	3634	4490	5687	7026	8804	11151	13775	18005	
		3.50	3.03	2.66	2.30	2.02	1.77	1.53	1.35	1.15	
10.5	66.15	3012	3816	4715	5972	7378	9244	11709	14464	18906	
		3.84	3.32	2.92	2.53	2.22	1.94	1.68	1.48	1.26	
11.0	72.60	3155	3997	4939	6256	7729	9684	12266	15153	19806	
		4.20	3.63	3.19	2.76	2.43	2.12	1.84	1.62	1.38	
11.5	79.35	3298	4179	5164	6541	8080	10124	12824	15842	20706	
		4.57	3.95	3.47	3.01	2.65	2.31	2.00	1.76	1.50	
12.0	86.40	3442	4361	5388	6825	8432	10564	13381	16530	21606	
		4.96	4.29	3.77	3.26	2.87	2.50	2.17	1.91	1.62	
12.5	93.75	3585	4542	5613	7109	8783	11005	13939	17219	22507	
		5.36	4.64	4.08	3.53	3.10	2.71	2.35	2.07	1.76	
13.0	101.40	3729	4724	5837	7394	9134	11445	14496	17908	23407	
		5.78	5.00	4.40	3.81	3.35	2.92	2.53	2.23	1.90	
13.5	109.35	3872	4906	6062	7678	9485	11885	15054	18597	24307	
		6.22	5.38	4.73	4.09	3.60	3.14	2.72	2.39	2.04	
14.0	117.60	4016	5087	6286	7962	9837	12325	15611	19286	25207	
		6.67	5.77	5.07	4.39	3.86	3.37	2.92	2.57	2.19	
14.5	126.15	4159	5269	6511	8247	10188	12765	16169	19974	26108	
		7.13	6.17	5.42	4.70	4.13	3.60	3.12	2.75	2.34	
15.0	135.00	4302	5451	6735	8531	10539	13205	16726	20663	27008	
		7.61	6.59	5.79	5.01	4.41	3.85	3.33	2.93	2.50	
15.5	144.15	4446	5633	6960	8816	10891	13646	17284	21352	27908	
		8.11	7.02	6.17	5.34	4.70	4.10	3.55	2.13	2.66	
16.0	153.60	4589	5814	7184	9100	11242	14086	17842	22041	28808	
		8.62	7.46	6.56	5.68	5.00	4.36	3.78	2.32	2.83	

续表

速 度 (m/s)	动 压 (Pa)	风管断面直径 (mm)			上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)					
		900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	
1.0	0.60	2280	2816	3528	4397	5518	7211	9130	11276	
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
1.5	1.35	3420	4224	5292	6595	8277	10817	13696	16914	
		0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	
2.0	2.40	4560	5632	7056	8793	11036	14422	18261	22552	
		0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	
2.5	3.75	5700	7040	8819	10992	13795	18028	22826	28190	
		0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	
3.0	5.40	6840	8448	10583	13190	16554	21633	27391	33828	
		0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	
3.5	7.35	7980	9856	12347	15388	19313	25239	31956	39465	
		0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	
4.0	9.60	9120	11265	14111	17587	22072	28845	36522	45103	
		0.18	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	
4.5	12.15	10260	12673	15875	19785	24831	32450	41087	50741	
		0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	
5.0	15.00	11400	14081	17639	21983	27590	36056	45652	56379	
		0.27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.13	0.12	0.10	
5.5	18.15	12540	15489	19403	24182	30349	39661	50217	62017	
		0.32	0.28	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	
6.0	21.60	13680	16897	21167	26380	33106	43267	54782	67655	
		0.38	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	
6.5	25.35	14820	18305	22930	28579	35867	46872	59348	73293	
		0.44	0.39	0.34	0.30	0.26	0.22	0.19	0.17	
7.0	29.40	15960	19713	24694	30777	38626	50478	63913	78931	
		0.50	0.44	0.39	0.34	0.30	0.25	0.22	0.19	
7.5	33.75	17100	21121	26458	32975	41385	54083	68478	84569	
		0.57	0.51	0.44	0.39	0.34	0.29	0.25	0.22	
8.0	38.40	18240	22529	28222	35174	44144	57689	73043	90207	
		0.65	0.57	0.50	0.44	0.38	0.33	0.28	0.25	
8.5	43.35	19381	23937	29986	37372	46903	61295	77608	95845	
		0.73	0.64	0.56	0.49	0.43	0.37	0.32	0.28	
9.0	48.60	20521	25345	31750	39570	49663	64900	82174	101483	
		0.81	0.72	0.63	0.55	0.48	0.41	0.35	0.31	
9.5	54.15	21661	26753	33514	41769	52422	68506	86739	107121	
		0.90	0.79	0.69	0.61	0.53	0.45	0.39	0.35	
10.0	60.00	22801	28161	35278	43967	55181	72111	91304	112759	
		0.99	0.88	0.76	0.67	0.59	0.50	0.43	0.38	
10.5	66.15	23941	29569	37042	46165	57940	75717	95869	118396	
		1.09	0.96	0.84	0.74	0.64	0.55	0.48	0.42	
11.0	72.60	25081	30978	38805	48364	60699	79322	100434	124034	
		1.19	1.05	0.92	0.80	0.70	0.60	0.52	0.46	
11.5	79.35	26221	32386	40569	50562	63458	82928	105000	129672	
		1.30	1.14	1.00	0.88	0.77	0.65	0.57	0.50	
12.0	86.40	27361	33794	42333	52760	66217	86534	109565	135310	
		1.41	1.24	1.08	0.95	0.83	0.71	0.62	0.54	
12.5	93.75	28501	35202	44097	54959	68976	90139	114130	140948	
		1.52	1.34	1.17	1.03	0.90	0.77	0.67	0.59	
13.0	101.40	29641	36610	45861	57157	71735	93745	118695	146586	
		1.64	1.45	1.27	1.11	0.97	0.83	0.72	0.63	
13.5	109.35	30781	38018	47625	59355	74494	97350	123260	152224	
		1.77	1.56	1.36	1.19	1.04	0.89	0.77	0.68	
14.0	117.60	31921	39426	49389	61554	77253	100956	127826	157862	
		1.90	1.67	1.46	1.28	1.12	0.95	0.83	0.73	
14.5	126.15	33061	40834	51153	63752	80012	104561	132391	163500	
		2.03	1.79	1.56	1.37	1.20	1.02	0.89	0.78	
15.0	135.00	34201	42242	52916	65950	82771	108167	136956	169138	
		2.17	1.91	1.67	1.46	1.28	1.09	0.95	0.83	
15.5	144.15	35341	43650	54680	68149	85530	111773	141521	174776	
		2.31	2.03	1.78	1.56	1.36	1.16	1.01	0.89	
16.0	153.60	36481	45058	56444	70347	88289	115378	146086	180414	
		2.45	2.16	1.89	1.66	1.45	1.23	1.07	0.95	

钢板矩形风管计算表

表 8.2-2

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面宽×高 (mm)				上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)				
		120 120	160 120	200 120	160 160	250 120	200 160	250 160	200 200	250 200
		1.0	0.60	50 0.18	67 0.15	84 0.13	90 0.12	105 0.12	113 0.11	140 0.09
1.5	1.35	75 0.36	101 0.30	126 0.27	135 0.25	157 0.25	169 0.22	210 0.19	212 0.19	264 0.16
2.0	2.40	100 0.61	134 0.51	168 0.46	180 0.42	209 0.41	225 0.37	281 0.33	282 0.32	352 0.28
2.5	3.75	125 0.91	168 0.77	210 0.68	225 0.63	262 0.62	282 0.55	351 0.49	353 0.47	440 0.42
3.0	5.40	150 1.27	201 1.07	252 0.95	270 0.88	314 0.87	338 0.77	421 0.68	423 0.66	528 0.58
3.5	7.35	175 1.68	235 1.42	294 1.26	315 1.16	366 1.15	394 1.02	491 0.91	494 0.88	616 0.77
4.0	9.60	201 2.15	268 1.81	336 1.62	359 1.49	419 1.47	450 1.30	561 1.16	565 1.12	704 0.99
4.5	12.15	226 2.67	302 2.25	378 2.01	404 1.85	471 1.83	507 1.62	631 1.45	635 1.40	792 1.23
5.0	15.00	251 3.25	336 2.74	421 2.45	449 2.25	523 2.23	563 1.97	702 1.76	706 1.70	880 1.49
5.5	18.15	276 3.88	369 3.27	463 2.92	494 2.69	576 2.66	619 2.36	772 2.10	776 2.03	968 1.79
6.0	21.60	301 4.56	403 3.85	505 3.44	539 3.17	628 3.13	676 2.77	842 2.48	847 2.39	1056 2.10
6.5	25.35	326 5.30	436 4.47	547 4.00	584 3.68	681 3.64	732 3.22	912 2.88	917 2.78	1144 2.44
7.0	29.40	351 6.09	470 5.14	589 4.59	629 4.23	733 4.18	788 3.70	982 3.31	988 3.19	1232 2.81
7.5	33.75	376 6.94	503 5.86	631 5.23	674 4.82	785 4.77	845 4.22	1052 3.77	1059 3.64	1320 3.20
8.0	38.40	401 7.84	537 6.62	673 5.91	719 5.44	838 5.39	901 4.77	1123 4.26	1129 4.11	1408 3.61
8.5	43.35	426 8.79	571 7.42	715 6.63	764 6.10	890 6.04	957 5.35	1193 4.78	1200 4.61	1496 4.06
9.0	48.60	451 9.80	604 8.27	757 7.39	809 6.80	942 6.73	1014 5.96	1263 5.32	1270 5.14	1584 4.52
9.5	54.15	476 10.86	639 9.17	799 8.19	854 7.54	995 7.46	1070 6.61	1333 5.90	1341 5.70	1672 5.01
10.0	60.00	501 11.97	671 10.11	841 9.03	899 8.31	1047 8.23	1126 7.28	1403 6.51	1411 6.28	1760 5.52
10.5	66.15	526 13.14	705 11.09	883 9.91	944 9.12	1099 9.03	1183 7.99	1473 7.14	1482 6.89	1848 6.06
11.0	72.60	551 14.36	738 12.12	925 10.83	989 9.97	1152 9.87	1239 8.74	1544 7.80	1552 7.54	1936 6.63
11.5	79.35	576 15.63	772 13.20	967 11.79	1034 10.86	1204 10.74	1295 9.51	1614 8.50	1623 8.20	2024 7.21
12.0	86.40	602 16.96	805 14.32	1009 12.79	1078 11.78	1256 11.65	1351 10.32	1684 9.22	1694 8.90	2112 7.83
12.5	93.75	627 18.34	839 15.48	1051 13.83	1123 12.74	1309 12.60	1408 11.16	1754 9.97	1764 9.63	2200 8.46
13.0	101.40	652 19.77	873 16.69	1093 14.91	1168 13.73	1361 13.59	1464 12.03	1824 10.75	1835 10.38	2288 9.13
13.5	109.35	677 21.25	906 17.94	1135 16.03	1213 14.76	1413 14.61	1520 12.93	1894 11.55	1905 11.16	2376 9.81
14.0	117.60	702 22.79	940 19.24	1178 17.19	1258 15.83	1466 15.67	1577 13.87	1965 12.39	1976 11.97	2464 10.52
14.5	126.15	727 24.38	973 20.59	1220 18.39	1303 16.94	1518 16.76	1633 14.84	2035 13.26	2046 12.80	2552 11.26
15.0	135.00	752 26.03	1007 21.98	1262 19.64	1348 18.08	1570 17.89	1689 15.84	2105 14.15	2117 13.67	2640 12.02
15.5	144.15	777 27.73	1040 23.41	1304 20.92	1393 19.26	1623 19.06	1746 16.88	2175 15.08	2188 14.56	2728 12.80
16.0	153.60	802 29.48	1074 24.89	1346 22.24	1438 20.48	1675 20.26	1802 17.94	2245 16.03	2258 15.48	2816 13.61

续表

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面宽×高 (mm)				上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)				
		320 160	250 250	320 200	400 200	320 250	500 200	400 250	320 320	500 250
1.0	0.60	180	221	226	283	283	354	354	363	443
1.5	1.35	270	331	339	424	424	531	531	544	665
2.0	2.40	360	441	451	565	566	707	708	726	887
2.5	3.75	450	551	564	707	707	884	885	907	1108
3.0	5.40	540	662	677	848	849	1061	1063	1089	1330
3.5	7.35	630	772	790	989	990	1238	1240	1270	1551
4.0	9.60	720	882	903	1130	1132	1415	1417	1452	1773
4.5	12.15	810	992	1016	1272	1273	1592	1594	1633	1995
5.0	15.00	900	1103	1129	1413	1414	1769	1771	1815	2216
5.5	18.15	990	1213	1242	1554	1556	1945	1948	1996	2438
6.0	21.60	1080	1323	1354	1696	1697	2122	2125	2177	2660
6.5	25.35	1170	1433	1467	1837	1839	2299	2302	2359	2881
7.0	29.40	1260	1544	1580	1978	1980	2476	2479	2540	3103
7.5	33.75	1350	1654	1693	2120	2122	2653	2656	2722	3325
8.0	38.40	1440	1764	1806	2261	2263	2830	2833	2903	3546
8.5	43.35	1530	1874	1919	2402	2405	3007	3010	3085	3768
9.0	48.60	1620	1985	2032	2544	2546	3184	3188	3266	3989
9.5	54.15	1710	2095	2145	2685	2687	3360	3365	3448	4211
10.0	60.00	1800	2205	2257	2826	2829	3537	3542	3629	4433
10.5	66.15	1890	2315	2370	2968	2970	3714	3719	3810	4654
11.0	72.60	1980	2426	2483	3109	3112	3891	3896	3992	4876
11.5	79.35	2070	2536	2596	3250	3253	4068	4073	4173	5098
12.0	86.40	2160	2646	2709	3391	3395	4245	4250	4355	5319
12.5	93.75	2250	2757	2822	3533	3536	4422	4427	4536	5541
13.0	101.40	2340	2867	2935	3674	3678	4598	4604	4718	5763
13.5	109.35	2430	2977	3048	3815	3819	4775	4781	4899	5984
14.0	117.60	2520	3087	3160	3957	3960	4952	4958	5081	6206
14.5	126.15	2610	3198	3273	4098	4102	5129	5136	5262	6427
15.0	135.00	2700	3308	3386	4239	4243	5306	5313	5444	6649
15.5	144.15	2790	3418	3499	4381	4385	5483	5490	5625	6871
16.0	153.60	2880	3528	3612	4522	4526	5660	5667	5806	7092
		14.35	11.75	11.99	10.86	10.18	9.98	9.09	8.66	8.24

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面宽×高 (mm)				上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)				
		400 320	630 250	500 320	400 400	500 400	630 320	500 500	630 400	800 320
1.0	0.60	454	558	569	569	712	716	891	896	910
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
1.5	1.35	682	836	853	853	1068	1073	1337	1344	1364
		0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07
2.0	2.40	909	1115	1137	1138	1424	1431	1782	1792	1819
		0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.10	0.10	0.11
2.5	3.75	1136	1394	1422	1422	1780	1789	2228	2240	2274
		0.23	0.23	0.21	0.20	0.17	0.19	0.15	0.16	0.17
3.0	5.40	1363	1673	1706	1706	2136	2147	2673	2688	2729
		0.32	0.32	0.29	0.28	0.24	0.26	0.21	0.22	0.24
3.5	7.35	1590	1951	1990	1991	2492	2504	3119	3136	3183
		0.43	0.43	0.38	0.37	0.33	0.35	0.28	0.29	0.32
4.0	9.60	1817	2230	2275	2275	2848	2862	3564	3584	3638
		0.55	0.55	0.49	0.47	0.42	0.44	0.36	0.37	0.40
4.5	12.15	2045	2509	2559	2560	3204	3220	4010	4032	4093
		0.68	0.68	0.61	0.59	0.52	0.55	0.45	0.46	0.50
5.0	15.00	2272	2788	2843	2844	3560	3578	4455	4481	4548
		0.83	0.83	0.74	0.72	0.63	0.67	0.55	0.56	0.61
5.5	18.15	2499	3066	3128	3129	3916	3935	4901	4929	5002
		0.99	0.99	0.89	0.86	0.76	0.80	0.65	0.67	0.73
6.0	21.60	2726	3345	3412	3413	4272	4293	5346	5377	5457
		1.17	1.17	1.04	1.01	0.89	0.94	0.77	0.79	0.86
6.5	25.35	2953	3624	3696	3697	4627	4651	5792	5825	5912
		1.36	1.36	1.21	1.18	1.03	1.10	0.90	0.92	1.00
7.0	29.40	3180	3903	3980	3982	4983	5009	6237	6273	6367
		1.57	1.56	1.40	1.35	1.19	1.26	1.03	1.06	1.15
7.5	33.75	3408	4181	4265	4266	5339	5366	6683	6721	6822
		1.78	1.78	1.59	1.54	1.36	1.44	1.17	1.21	1.31
8.0	38.40	3635	4460	4549	4551	5695	5724	7128	7169	7276
		2.02	2.01	1.80	1.74	1.53	1.63	1.33	1.36	1.48
8.5	43.35	3862	4739	4833	4835	6051	6082	7574	7617	7731
		2.26	2.25	2.02	1.96	1.72	1.82	1.49	1.53	1.67
9.0	48.60	4089	5018	5118	5119	6407	6440	8019	8065	8186
		2.52	2.51	2.25	2.18	1.92	2.03	1.66	1.71	1.86
9.5	54.15	4316	5297	5402	5404	6763	6798	8465	8513	8641
		2.80	2.78	2.49	2.42	2.13	2.25	1.84	1.89	2.06
10.0	60.00	4543	5575	5686	5688	7119	7155	8910	8961	9095
		3.08	3.07	2.75	2.67	2.34	2.49	2.03	2.09	2.27
10.5	66.15	4771	5854	5971	5973	7475	7513	9356	9409	9550
		3.36	3.37	3.02	2.93	2.57	2.73	2.23	2.29	2.49
11.0	72.60	4998	6133	6255	6257	7831	7871	9801	9857	10005
		3.70	3.68	3.30	3.20	2.81	2.98	2.44	2.50	2.72
11.5	79.35	5225	6412	6539	6541	8187	8229	10247	10305	10460
		4.03	4.01	3.59	3.48	3.06	3.25	2.65	2.73	2.97
12.0	86.40	5452	6690	6824	6826	8543	8586	10692	10753	10914
		4.37	4.35	3.90	3.78	3.32	3.52	2.88	2.96	3.22
12.5	93.75	5679	6969	7108	7110	8899	8944	11138	11201	11369
		4.73	4.70	4.22	4.09	3.59	3.81	3.11	3.20	3.48
13.0	101.40	5906	7248	7392	7395	9255	9302	11583	11649	11824
		5.10	5.07	4.55	4.41	3.88	4.11	3.36	3.45	3.75
13.5	109.35	6134	7527	7677	7679	9611	9660	12029	12097	12279
		5.48	5.45	4.89	4.74	4.17	4.42	3.61	3.71	4.04
14.0	117.60	6361	7805	7961	7964	9967	10017	12474	12546	12734
		5.88	5.85	5.24	5.08	4.47	4.74	3.87	3.98	4.33
14.5	126.15	6588	8084	8245	8248	10323	10375	12920	12994	13188
		6.29	6.26	5.61	5.44	4.78	5.07	4.14	4.26	4.63
15.0	135.00	6815	8363	8530	8532	10679	10733	13365	13442	13643
		6.71	6.68	5.99	5.81	5.11	5.41	4.42	4.55	4.95
15.5	144.15	7042	8642	8814	8817	11035	11091	13811	13890	14098
		7.15	7.12	6.38	6.19	5.44	5.77	4.71	4.84	5.27
16.0	153.60	7269	8920	9098	9101	11391	11449	14256	14338	14553
		7.60	7.57	6.78	6.58	5.78	6.13	5.01	5.15	5.60

续表

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面宽×高 (mm)					上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)				
		630 500	1000 320	800 400	630 630	1000 400	800 500	1250 400	1000 500	800 630	
1.0	0.60	1122	1138	1139	1415	1425	1426	1780	1784	1799	
		0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
1.5	1.35	1683	1707	1709	2123	2137	2139	2670	2676	2698	
		0.05	0.06	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	
2.0	2.40	2244	2276	2278	2831	2850	2852	3560	3568	3598	
		0.09	0.10	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	
2.5	3.75	2805	2844	2848	3538	3562	3565	4450	4460	4497	
		0.13	0.16	0.14	0.11	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	
3.0	5.40	3365	3413	3417	4246	4275	4278	5340	5351	5397	
		0.19	0.22	0.20	0.16	0.18	0.16	0.17	0.15	0.14	
3.5	7.35	3926	3982	3987	4953	4987	4991	6229	6243	6296	
		0.25	0.29	0.26	0.21	0.24	0.22	0.22	0.20	0.19	
4.0	9.60	4487	4551	4556	5661	5700	5704	7119	7135	7196	
		0.32	0.38	0.33	0.27	0.31	0.28	0.29	0.25	0.24	
4.5	12.15	5048	5120	5126	6369	6412	6417	8009	8027	8095	
		0.39	0.47	0.42	0.34	0.38	0.35	0.36	0.32	0.30	
5.0	15.00	5609	5689	5695	7076	7125	7130	8899	8919	8995	
		0.48	0.57	0.51	0.41	0.47	0.42	0.43	0.39	0.36	
5.5	18.15	6170	6258	6265	7784	7837	7843	9789	9811	9894	
		0.57	0.68	0.61	0.49	0.56	0.51	0.52	0.46	0.43	
6.0	21.60	6731	6827	6834	8492	8549	8556	10679	10703	10794	
		0.68	0.80	0.71	0.58	0.66	0.60	0.61	0.54	0.51	
6.5	25.35	7292	7396	7404	9199	9262	9269	11569	11595	11693	
		0.79	0.93	0.83	0.68	0.76	0.70	0.71	0.63	0.59	
7.0	29.40	7853	7964	7974	9907	9974	9982	12459	12487	12593	
		0.90	1.07	0.95	0.78	0.88	0.80	0.82	0.73	0.68	
7.5	33.75	8414	8533	8543	10614	10687	10695	13349	13379	13492	
		1.03	1.22	1.09	0.89	1.00	0.91	0.93	0.83	0.77	
8.0	38.40	8975	9102	9113	11322	11399	11408	14239	14271	14392	
		1.16	1.38	1.23	1.00	1.13	1.03	1.05	0.94	0.87	
8.5	43.35	9536	9671	9682	12030	12112	12121	15129	15163	15291	
		1.31	1.55	1.38	1.12	1.27	1.16	1.18	1.05	0.98	
9.0	48.60	10096	10240	10252	12737	12824	12834	16019	16054	16191	
		1.46	1.73	1.54	1.25	1.41	1.29	1.32	1.17	1.09	
9.5	54.15	10657	10809	10821	13445	13537	13547	16909	16946	17090	
		1.61	1.92	1.70	1.39	1.57	1.43	1.46	1.30	1.21	
10.0	60.00	11218	11378	11391	14153	14249	14260	17798	17838	17990	
		1.78	2.11	1.88	1.53	1.73	1.58	1.61	1.43	1.34	
10.5	66.15	11779	11947	11960	14860	14962	14973	18688	18730	18889	
		1.95	2.32	2.06	1.68	1.90	1.73	1.77	1.57	1.47	
11.0	72.60	12340	12516	12530	15568	15674	15686	19578	19622	19789	
		2.13	2.54	2.26	1.84	2.07	1.89	1.93	1.72	1.61	
11.5	79.35	12901	13084	13099	16276	16386	16399	20468	20514	20688	
		2.32	2.76	2.46	2.00	2.26	2.06	2.11	1.87	1.75	
12.0	86.40	13462	13653	13669	16983	17099	17112	21358	21406	21588	
		2.52	3.00	2.66	2.17	2.45	2.24	2.28	2.03	1.90	
12.5	93.75	14023	14222	14238	17691	17811	17825	22248	22298	22487	
		2.73	3.24	2.88	2.35	2.65	2.42	2.47	2.20	2.05	
13.0	101.40	14584	14791	14808	18398	18524	18538	23138	23190	23387	
		2.94	3.50	3.11	2.54	2.86	2.61	2.66	2.37	2.21	
13.5	109.35	15145	15360	15377	19106	19236	19251	24028	24082	24286	
		3.16	3.76	3.34	2.73	3.07	2.81	2.87	2.55	2.38	
14.0	117.60	15706	15929	15947	19814	19949	19964	24918	24974	25186	
		3.39	4.03	3.58	2.92	3.30	3.01	3.07	2.73	2.55	
14.5	126.15	16267	16498	16517	20521	20661	20677	25808	25866	26085	
		3.63	4.31	3.83	3.13	3.53	3.22	3.29	2.92	2.73	
15.0	135.00	16827	17067	17086	21229	21374	21390	26698	26757	26985	
		3.88	4.60	4.09	3.34	3.77	3.44	3.51	3.12	2.91	
15.5	144.15	17388	17636	17656	21937	22086	22103	27588	27649	27884	
		4.13	4.91	4.36	3.56	4.01	3.66	3.74	3.32	3.11	
16.0	153.60	17949	18204	18225	22644	22799	22816	28478	28541	28784	
		4.39	5.22	4.64	3.78	4.27	3.89	3.98	3.53	3.30	

续表

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面宽×高 (mm)			上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)			
		1250 1000	1600 800	2000 800	1600 1000	2000 1000	1600 1250	2000 1250
1.0	0.60	4473	4579	5726	5728	7163	7165	8960
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1.5	1.35	6709	6868	8589	8592	10745	10748	13440
		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2.0	2.40	8945	9157	11452	11456	14327	14330	17921
		0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
2.5	3.75	11181	11447	14314	14321	17908	17913	22401
		0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
3.0	5.40	13418	13736	17177	17185	21490	21495	26881
		0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
3.5	7.35	15654	16025	20040	20049	25072	25078	31361
		0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07
4.0	9.60	17890	18315	22903	22913	28653	28661	35841
		0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09
4.5	12.15	20126	20604	25766	25777	32235	32243	40321
		0.17	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12
5.0	15.00	22363	22893	28629	28641	35817	35826	44801
		0.21	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14
5.5	18.15	24599	25183	31492	31505	39398	39408	49281
		0.25	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17
6.0	21.60	26835	27472	34355	34369	42980	42991	53762
		0.29	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20
6.5	25.36	29071	29761	37218	37233	46562	46574	58242
		0.34	0.36	0.33	0.30	0.27	0.26	0.23
7.0	29.40	31308	32051	40080	40098	50143	50156	62722
		0.39	0.41	0.38	0.35	0.31	0.30	0.27
7.5	33.75	33544	34340	42943	42962	53725	53739	67202
		0.45	0.47	0.43	0.39	0.36	0.34	0.30
8.0	38.40	35780	36629	45806	45826	57307	57321	71682
		0.50	0.53	0.49	0.45	0.41	0.38	0.34
8.5	43.35	38016	38919	48669	48690	60888	60904	76162
		0.57	0.60	0.55	0.50	0.46	0.43	0.38
9.0	48.60	40253	41208	51532	51554	64470	64486	80642
		0.63	0.66	0.61	0.56	0.51	0.48	0.43
9.5	54.15	42489	43497	54395	54418	68052	68069	85122
		0.70	0.74	0.68	0.62	0.56	0.53	0.47
10.0	60.00	44725	45787	57258	57282	71633	71652	89603
		0.77	0.81	0.75	0.68	0.62	0.58	0.52
10.5	66.15	46961	48076	60121	60146	75215	75234	94083
		0.85	0.89	0.82	0.75	0.68	0.64	0.57
11.0	72.60	49198	50365	62983	63010	78797	78817	98563
		0.93	0.97	0.90	0.82	0.75	0.70	0.63
11.5	79.35	51434	52655	65846	65875	82378	82399	103043
		1.01	1.06	0.98	0.89	0.81	0.76	0.68
12.0	86.40	53670	54944	68709	68739	85960	85982	107523
		1.10	1.15	1.06	0.97	0.88	0.83	0.74
12.5	93.75	55906	57233	71572	71603	89542	89564	112003
		1.19	1.25	1.15	1.05	0.95	0.90	0.80
13.0	101.40	58143	59523	74435	74467	93123	93147	116483
		1.28	1.34	1.24	1.13	1.03	0.97	0.87
13.5	109.35	60379	61812	77298	77331	96705	96730	120964
		1.37	1.44	1.33	1.22	1.11	1.04	0.93
14.0	117.60	62615	64101	80161	80195	100287	100312	125444
		1.47	1.55	1.43	1.30	1.19	1.11	1.00
14.5	126.15	64851	66391	83024	83059	103868	103895	129924
		1.58	1.66	1.53	1.40	1.27	1.19	1.07
15.0	135.00	67088	68680	85887	85923	107450	107477	134404
		1.68	1.77	1.63	1.49	1.35	1.27	1.14
15.5	144.15	69324	70969	88749	88787	111031	111060	138884
		1.79	1.89	1.74	1.59	1.44	1.36	1.22
16.0	153.60	71560	73259	91612	91651	114613	114643	143364
		1.91	2.01	1.85	1.69	1.53	1.44	1.29

钢板非标准矩形风管计算表

表 8.2-3

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面宽×高 (mm)		上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)			
		320 120	400 120	400 160	500 160	630 200	800 200
1.0	0.60	134 0.11	168 0.10	225 0.08	282 0.07	445 0.05	565 0.05
1.5	1.35	201 0.23	252 0.21	338 0.16	423 0.15	667 0.11	848 0.10
2.0	2.40	269 0.38	336 0.35	451 0.27	564 0.25	889 0.19	1130 0.18
2.5	3.75	336 0.57	420 0.53	563 0.40	705 0.37	1112 0.28	1413 0.26
3.0	5.40	403 0.79	504 0.74	676 0.56	846 0.52	1334 0.39	1696 0.37
3.5	7.35	470 1.05	588 0.98	789 0.75	987 0.69	1556 0.52	1978 0.49
4.0	9.60	537 1.34	673 1.25	902 0.95	1128 0.89	1779 0.67	2261 0.63
4.5	12.15	604 1.67	757 1.56	1014 1.19	1269 1.10	2001 0.84	2544 0.78
5.0	15.00	672 2.03	841 1.90	1127 1.45	1410 1.34	2223 1.02	2826 0.95
5.5	18.15	739 2.43	925 2.26	1240 1.73	1551 1.61	2446 1.22	3109 1.14
6.0	21.60	806 2.86	1009 2.67	1352 2.03	1692 1.89	2668 1.43	3391 1.34
6.5	25.35	873 3.32	1093 3.10	1465 2.36	1834 2.20	2890 1.66	3674 1.56
7.0	29.40	940 3.82	1177 3.56	1578 2.72	1975 2.53	3113 1.91	3957 1.80
7.5	33.75	1007 4.35	1261 4.06	1690 3.10	2116 2.88	3335 2.18	4239 2.05
8.0	38.40	1074 4.91	1346 4.58	1803 3.50	2257 3.25	3557 2.46	4522 2.31
8.5	43.35	1142 5.51	1429 5.14	1916 3.92	2398 3.65	3780 2.76	4804 2.59
9.0	48.60	1209 6.14	1513 5.73	2028 4.37	2539 4.07	4002 3.08	5087 2.89
9.5	54.15	1276 6.81	1597 6.35	2141 4.85	2680 4.51	4224 3.42	5370 3.20
10.0	60.00	1343 7.51	1681 7.00	2254 5.35	2821 4.97	4447 3.77	5652 3.53
10.5	66.15	1410 8.24	1765 7.69	2367 5.87	2962 5.46	4669 4.13	5935 3.88
11.0	72.60	1477 9.00	1850 8.40	2479 6.41	3103 5.96	4891 4.52	6218 4.24
11.5	79.35	1544 9.80	1934 9.15	2592 6.98	3244 6.49	5114 4.92	6500 4.61
12.0	86.40	1612 10.63	2018 9.92	2705 7.57	3385 7.05	5336 5.34	6783 5.01
12.5	93.75	1679 11.50	2102 10.73	2817 8.19	3526 7.62	5558 5.77	7065 5.41
13.0	101.40	1746 12.40	2186 11.57	2930 8.83	3667 8.22	5781 6.23	7348 5.84
13.5	109.35	1813 13.33	2270 12.44	3043 9.50	3808 8.83	6003 6.69	7631 6.28
14.0	117.60	1880 14.30	2354 13.34	3155 10.18	3949 9.47	6225 7.18	7913 6.73
14.5	126.15	1947 15.30	2438 14.27	3268 10.90	4090 10.14	6448 7.68	8196 7.20
15.0	135.00	2015 16.33	2522 15.23	3381 11.63	4231 10.82	6670 8.20	8478 7.69
15.5	144.15	2082 17.39	2606 16.23	3493 12.39	4372 11.53	6892 8.74	8761 8.19
16.0	153.60	2149 18.49	2690 17.25	3606 13.17	4513 12.25	7115 9.29	9044 8.71

续表

速度 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面宽×高 (mm)			上行: 风量 (m ³ /h) 下行: 单位摩擦阻力 (Pa/m)			
		800 250	1000 250	1000 320	1250 320	1600 400	2000 500	2000 630
1.0	0.60	709	887	1138	1421	2280	3569	4504
1.5	1.35	1063	1330	1707	2131	3419	5354	6756
2.0	2.40	1417	1773	2276	2842	4559	7139	9008
2.5	3.75	1772	2216	2844	3552	5699	8924	11260
3.0	5.40	2126	2660	3413	4262	6839	10708	13512
3.5	7.35	2480	3103	3982	4973	7978	12493	15763
4.0	9.60	2835	3546	4551	5683	9118	14278	18015
4.5	12.15	3189	3989	5120	6394	10258	16062	20267
5.0	15.00	3543	4433	5689	7104	11398	17847	22519
5.5	18.15	3898	4876	6258	7815	12538	19632	24771
6.0	21.60	4252	5319	6827	8525	13677	21417	27023
6.5	25.35	4607	5762	7396	9235	14817	23201	29275
7.0	29.40	4961	6206	7964	9946	15957	24986	31527
7.5	33.75	5315	6649	8533	10656	17097	26771	33779
8.0	38.40	5670	7092	9102	11367	18236	28556	36031
8.5	43.35	6024	7536	9671	12077	19376	30340	38283
9.0	48.60	6378	7979	10240	12787	20516	32125	40535
9.5	54.15	6733	8422	10809	13498	21656	33910	42787
10.0	60.00	7087	8865	11378	14208	22796	35694	45039
10.5	66.15	7441	9309	11947	14919	23935	37479	47290
11.0	72.60	7796	9752	12516	15629	25075	39264	49542
11.5	79.35	8150	10195	13084	16339	26215	41049	51794
12.0	86.40	8504	10638	13653	17050	27355	42833	54046
12.5	93.75	8859	11082	14222	17760	28495	44618	56298
13.0	101.40	9213	11525	14791	18471	29634	46403	58550
13.5	109.35	9567	11968	15360	19181	30774	48187	60802
14.0	117.60	9922	12411	15929	19892	31914	49972	63054
14.5	126.15	10276	12855	16498	20602	33054	51757	65306
15.0	135.00	10630	13298	17067	21312	34193	53542	67558
15.	144.15	10985	13741	17636	22023	35333	55326	69810
16.0	153.60	11339	14185	18204	22733	36473	57111	72062
		7.02	6.61	5.22	4.92	3.72	2.84	2.28

8.3 风管的局部压力损失

8.3.1 局部压力损失

局部压力损失 ΔP_j (Pa):

$$\Delta P_j = \xi \frac{v^2 \rho}{2} \quad (8.3-1)$$

式中 ξ ——局部阻力系数;

v ——风管内该压力损失发生处的空气流速, m/s;

ρ ——空气的密度, kg/m³。

局部阻力系数, 通常可由8.3.2节中查出。

1. 对进风口、出风口、弯头、变径管, 其全压损失 $\Delta P_j = \xi_0 \frac{v_0^2 \rho}{2}$ 。 v_0 指计算局部压力损失处的断面风速。

对合流和分流三通 (图8.3-1):

主通道 $\Delta P_j = \xi_{12} \frac{v_1^2 \rho}{2}$

支通道 $\Delta P_j = \xi_{13} \frac{v_1^2 \rho}{2}$

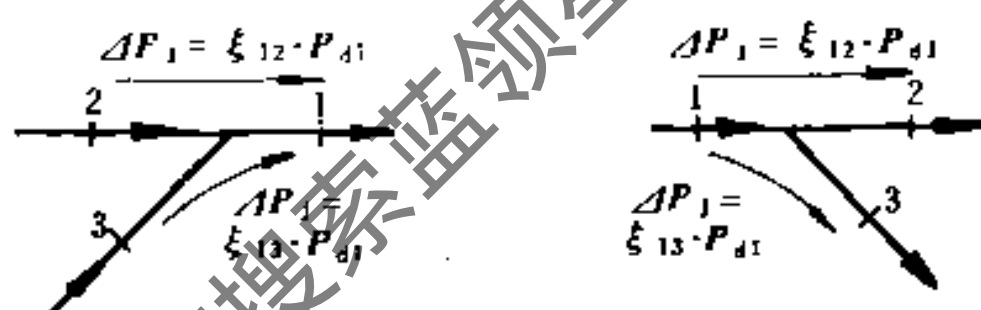


图 8.3-1

动压头 v_1 均指总管 1 处的动压头。

2. 当遇到以下情况时, 应对查出的数据进行修正。

(1) 对于不等于 90° 的弯头, 应乘以系数 ϵ_θ , 见表 8.3-1。

非 90° 弯头修正值

表 8.3-1

$\theta(^{\circ})$	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
ϵ_θ	0	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.0	1.13	1.20	1.28	1.40

(2) 对于在管件处带有网格的管件, 其局部阻力系数, 应按下式进行计算。

$$\xi_0 = \xi'_0 + \frac{\xi_s}{(A_1/A_0)^2} \quad (8.3-2)$$

式中 ξ_0 ——断面 0 处管件和网格的综合局部阻力系数;

ξ'_0 ——断面 0 处的管件的局部阻力系数;

ξ_s ——网格的局部阻力系数, 见 G·8 管件;

A_1 ——网格所在的断面 1 处的面积, m²;

A_0 ——断面 0 处的面积, m²。

对于断面不变的管件, 即 $A_1 = A_0$,

则式 (8.3-2) 可以改写成

$$\xi_0 = \xi'_0 + \xi_s \quad (8.3-3)$$

(8.3-3)

(3) 当雷诺数较小时, 应按表 8.3-2 进行修正。

雷诺数修正值

表 8.3-2

$Re \times 10^4$	1	2	3	4	6	8	10	>14
ϵ_{Re}	1.40	1.26	1.19	1.14	1.09	1.06	1.04	1.0

雷诺数的计算式如下:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

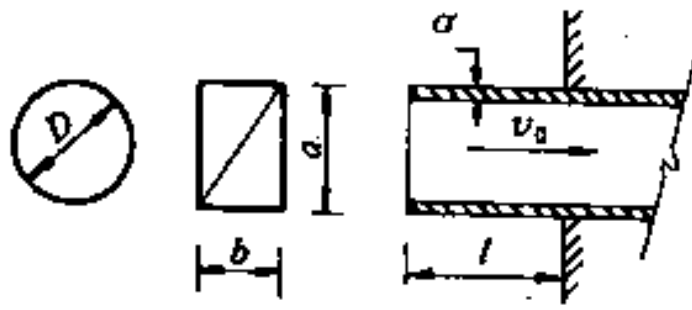
(8.3-4)

式中 ν ——风管中的流体即空气的运动粘度, m^2/s 。

8.3.2 局部阻力系数

管件 A 进风口的局部阻力系数

A-1 安装在墙上的风管



A-1

δ/D	ξ_0						
	l/D						
	0	0.002	0.01	0.05	0.2	0.5	>1.0
~ 0	0.50	0.57	0.68	0.80	0.92	1.0	1.0
0.02	0.50	0.51	0.52	0.55	0.66	0.72	0.72
>0.05	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

当风管为矩形时, D 为流速当量直径。

当这种管件的入口处装有网格时, 应进行修正。边壁较薄时, 即 $\delta/D < 0.05$ 时

$$\xi_0 = 1 + \xi_s$$

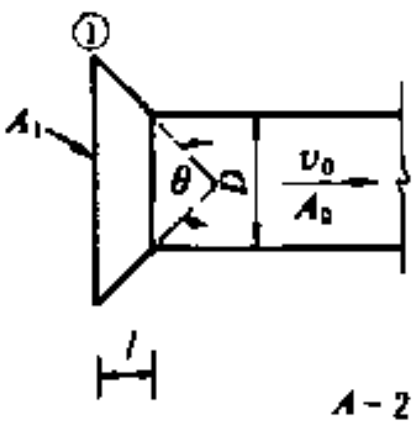
边壁较厚时, 即 $\delta/D > 0.05$ 时,

$$\xi_0 = \xi'_0 + \xi_s$$

式中 ξ'_0 ——管件的局部阻力系数, 见上表;

ξ_s ——网格的局部阻力系数, 见管件 G-8。

A-2 不安在端墙上的锥形渐缩喇叭口

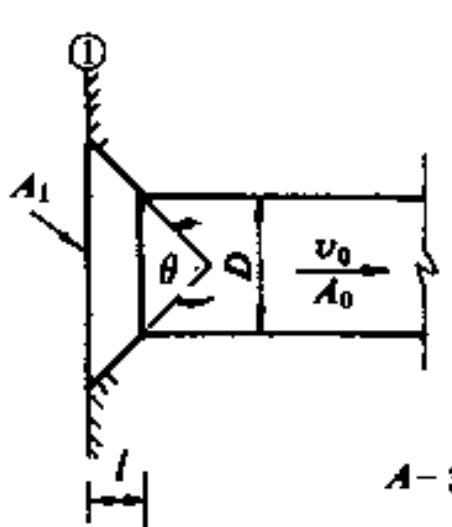


A-2

l/D	ξ_0								
	$\theta(^{\circ})$								
	0	10	20	30	40	60	100	140	180
0.025	1.0	0.96	0.93	0.90	0.86	0.80	0.69	0.59	0.50
0.05	1.0	0.93	0.86	0.80	0.75	0.67	0.58	0.53	0.50
0.10	1.0	0.80	0.67	0.55	0.48	0.41	0.41	0.44	0.50
0.25	1.0	0.68	0.45	0.30	0.22	0.17	0.22	0.34	0.50
0.60	1.0	0.46	0.27	0.18	0.14	0.13	0.21	0.33	0.50
1.0	1.0	0.32	0.20	0.14	0.11	0.10	0.18	0.30	0.50

当断面①处有网格时，按式 (8.3-2) 进行修正。

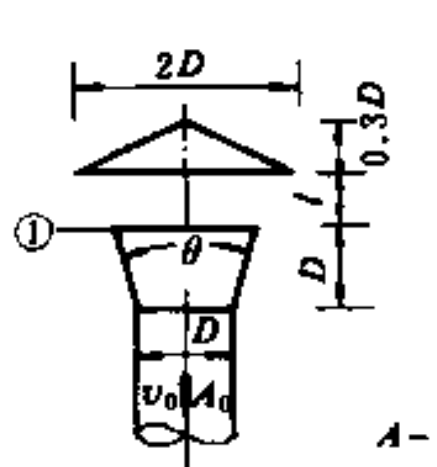
A-3 安装在端墙上的锥形渐缩喇叭口



$\frac{l}{D}$	ξ_0								
	$\theta(^{\circ})$								
	0	10	20	30	40	60	100	140	180
0.025	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.40	0.42	0.45	0.50
0.05	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33	0.30	0.35	0.42	0.50
0.075	0.50	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.30	0.40	0.50
0.10	0.50	0.39	0.32	0.25	0.22	0.18	0.27	0.38	0.50
0.15	0.50	0.37	0.27	0.20	0.16	0.15	0.25	0.37	0.50
0.60	0.50	0.27	0.18	0.13	0.11	0.12	0.23	0.36	0.50

当断面①处有网格时，应按式 (8.3-2) 修正。

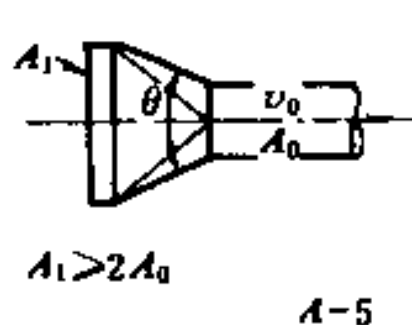
A-4 罩形进风口



$\theta(^{\circ})$	ξ								
	l/D								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.9
0	2.5	1.8	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1
15	1.3	0.77	0.60	0.48	0.41	0.30	0.29	0.28	0.25

若断面①处有网格时，应按式 (8.3-2) 进行修正。

A-5 带或不带凸边的渐缩型罩子。



圆 形 罩										
$\theta(^{\circ})$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
ξ_0	1.0	0.11	0.06	0.09	0.14	0.18	0.27	0.32	0.43	0.50

矩 形 罩										
$\theta(^{\circ})$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
ξ_0	1.0	0.19	0.13	0.16	0.21	0.27	0.33	0.43	0.53	0.62

对于矩形罩子， θ 系指大角。

管件 B 出风口的局部阻力系数

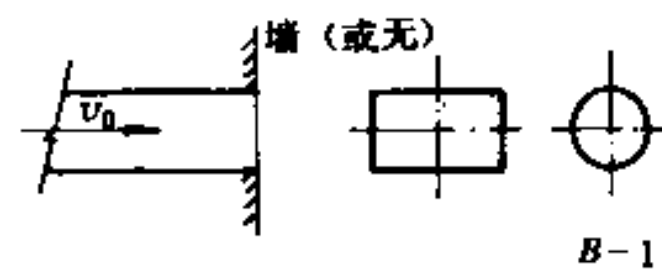
B-1 直管出风口

$$\xi_0 = 1.0$$

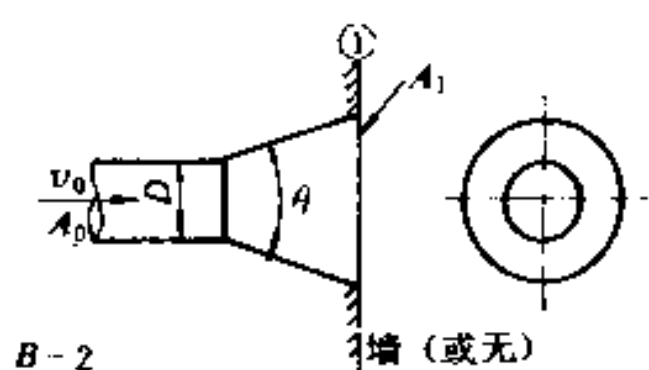
当出口断面处有网格时，应按式 (8.3-2)

进行修正。

B-2 锥形出风口，圆风管



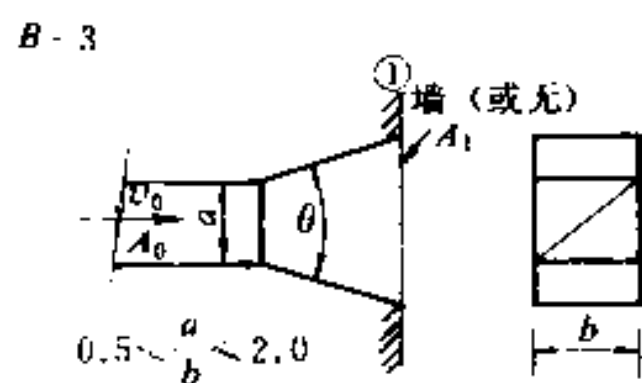
B-1



A_1/A_0	ξ_0						
	$\theta(^{\circ})$						
	14	16	20	30	45	60	>90
2	0.33	0.36	0.44	0.74	0.97	0.99	1.0
4	0.24	0.28	0.36	0.54	0.94	1.0	1.0
6	0.22	0.25	0.32	0.49	0.94	0.98	1.0
10	0.19	0.23	0.30	0.50	0.94	0.72	1.0
16	0.17	0.20	0.27	0.49	0.94	1.0	1.0

当断面①处有网格时，应按式(8.3-2)修正。

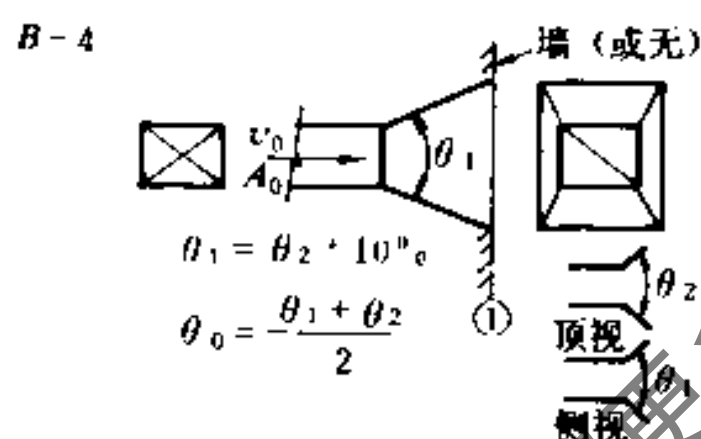
B-3 矩形平面扩散出风口



A_1/A_0	ξ_0					
	$\theta(^{\circ})$					
	11	20	30	45	60	>90
2	0.37	0.38	0.50	0.75	0.90	1.1
4	0.25	0.37	0.57	0.82	1.0	1.1
6	0.28	0.47	0.64	0.87	1.0	1.1

当断面①处有网格时，应按式(8.3-2)修正。

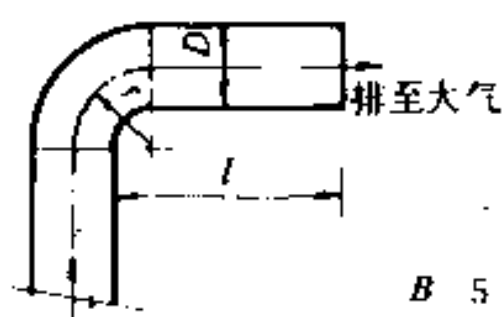
B-4 矩形锥形扩散出风口(靠墙或不靠墙)



A_1/A_0	ξ_0					
	$\theta_0(^{\circ})$					
	10	14	20	30	45	>60
2	0.41	0.58	0.70	0.86	1.0	1.1
4	0.31	0.48	0.61	0.76	0.94	1.1
6	0.29	0.47	0.62	0.74	0.94	1.1
10	0.26	0.45	0.60	0.73	0.89	1.0

当断面①处有网格时，应按式(8.3-2)修正。

B-5 通过90°弯头排至大气的出风口



r/b	ξ_0									
	l/b									
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	12.0
0.5	3.0	3.1	3.2	3.0	2.7	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0
0.75	2.2	2.2	2.1	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
1.0	1.8	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
1.5	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
2.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

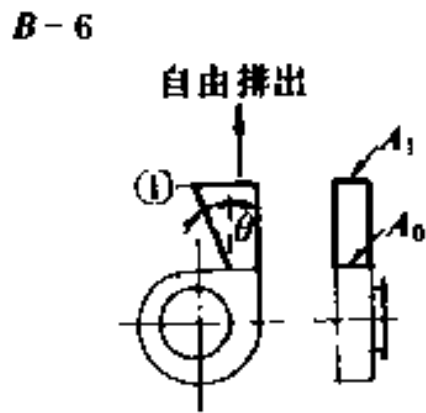
矩形风管的 ξ_0 值如上表。

对于圆形风道 ($r/D = 1.0$) 时

l/D	0.9	1.3
ξ_0	1.5	1.4

当出口处有网格时，应按式 (8.3-2) 进行修正。

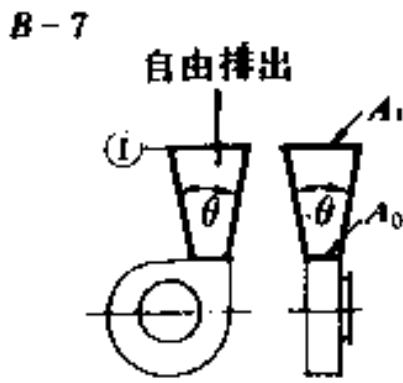
B-6 不接风管，风机出口为不对称的扩散出口



$\theta(^{\circ})$	ξ_0					
	A_1/A_0					
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
10	0.51	0.34	0.25	0.21	0.18	0.17
15	0.54	0.36	0.27	0.24	0.22	0.20
20	0.55	0.38	0.31	0.27	0.25	0.24
25	0.59	0.43	0.37	0.35	0.33	0.33
30	0.63	0.50	0.46	0.44	0.43	0.42
35	0.65	0.56	0.53	0.52	0.51	0.50

当断面①处有网格时，应按式 (8.3-2) 修正。

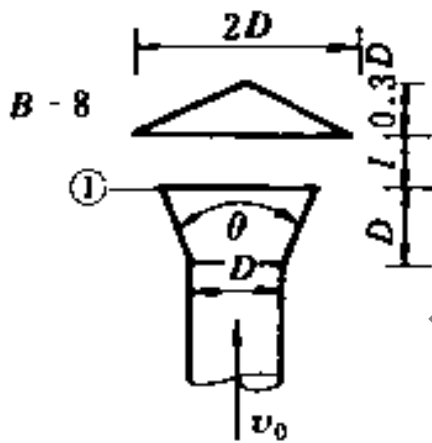
B-7 不接风管，风机出口为锥形扩散



$\theta(^{\circ})$	ξ_0					
	A_1/A_0					
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
10	0.54	0.42	0.37	0.34	0.32	0.31
15	0.67	0.58	0.53	0.51	0.50	0.51
20	0.75	0.67	0.65	0.64	0.64	0.65
25	0.80	0.74	0.72	0.70	0.70	0.72
30	0.85	0.78	0.76	0.75	0.75	0.76

当断面①处有网格时，应按式 (8.3-2) 修正。

B-8 排气罩

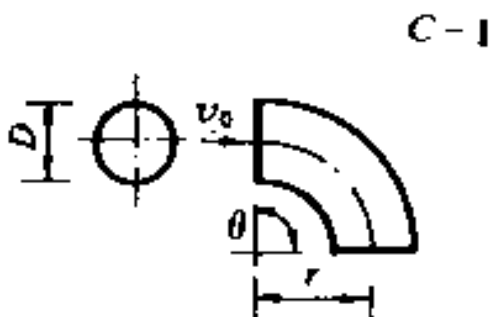


$\theta(^{\circ})$	ξ_0									
	l/D									
	0.1	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
0	4.0	2.3	1.9	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
15	2.6	1.2	1.0	0.80	0.70	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60

当断面①处有网格时，应按式 (8.3-2) 修正。

管件C 弯头的局部阻力系数

C-1 90°圆形弯头



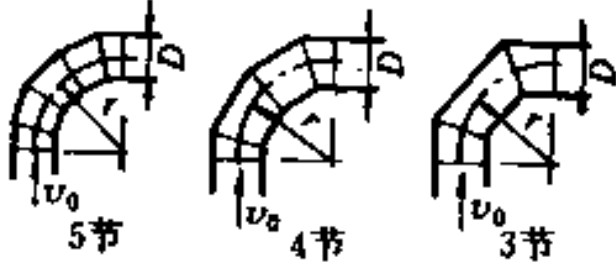
r/D	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
ξ_0	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12

上表 ξ_0 为 90° 弯头时的局部阻力系数，当弯头不是 90° 时，则要乘上修正系数 ϵ_0 ，其值

见表8.3-1。

C-2 3、4、5节90°圆弯头

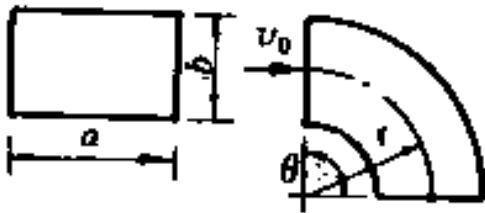
C-2



节数	ξ_0				
	r/D				
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
5	—	0.46	0.33	0.24	0.19
4	—	0.50	0.37	0.27	0.24
3	0.98	0.54	0.42	0.34	0.33

C-3 矩形风管不带导叶的弧形弯头

C-3



r/b	ξ'_0										
	a/b										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.5	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

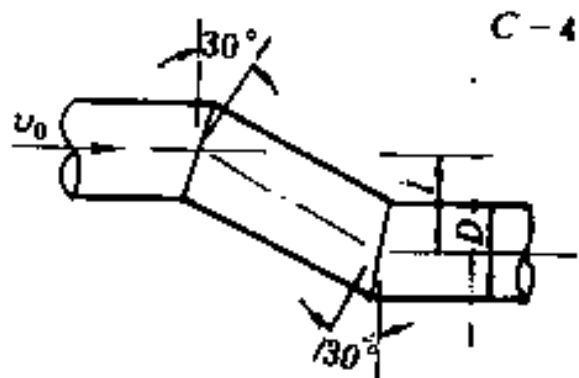
r/b	ε'_{Re}								
	$Re \times 10^4$								
	1	2	3	4	6	8	10	14	>20
0.5	1.40	1.26	1.19	1.4	1.09	1.06	1.04	1.0	1.0
>0.75	2.0	1.77	1.64	1.56	1.46	1.38	1.30	1.15	1.0

ξ'_0 为雷诺数 $Re \geq 20 \times 10^4$ 时的局部阻力系数，当 $Re < 20 \times 10^4$ 时，应按下式计算。

$$\xi_0 = \varepsilon'_{Re} \xi'_0$$

Re按式(8.3-4)计算

C-4 30°Z形圆风管弯头



l/D	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
ξ'_0	0	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16

$$\xi_0 = \varepsilon_{Re} \cdot \xi'_0$$

Re按式(8.3-4)计算， ε_{Re} 修正值见表8.3-2。

C-5 矩形风管带导流叶片光滑弯曲的弯头

(1) 一个导流叶片

$$\xi_0 = \varepsilon_0 \xi'_0$$

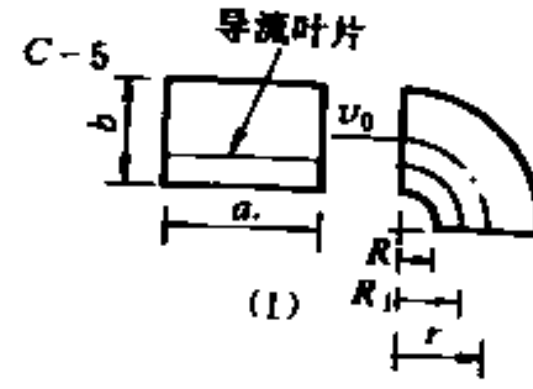
$$R_1 = R/CR$$

式中 R ——弯头的内半径, m;

R_1 ——导流叶片的弯曲半径, m;

CR ——弯曲的比值, 见下表;

ε_0 ——见表 8.3-1。



R/b	r/b	CR	ξ'_0										
			a/b										
			0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
0.05	0.55	0.218	0.52	0.40	0.43	0.49	0.55	0.66	0.75	0.84	0.93	1.0	1.1
0.10	0.60	0.302	0.36	0.27	0.25	0.28	0.30	0.35	0.39	0.42	0.46	0.49	0.52
0.15	0.65	0.361	0.28	0.21	0.18	0.19	0.20	0.22	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32
0.20	0.70	0.408	0.22	0.16	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21
0.25	0.75	0.447	0.18	0.13	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
0.30	0.80	0.480	0.15	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12
0.35	0.85	0.509	0.13	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
0.40	0.90	0.535	0.11	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
0.45	0.95	0.557	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
0.50	1.00	0.577	0.09	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05

(2) 两个导流叶片

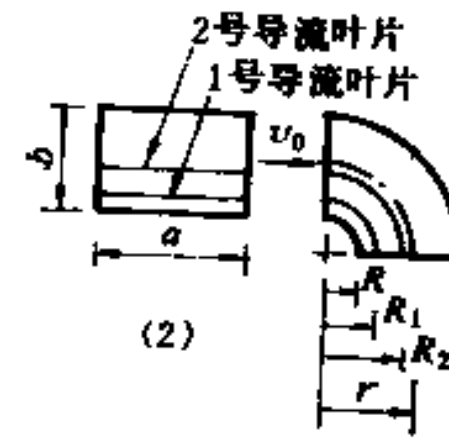
$$\xi_0 = C_0 \xi'_0$$

$$R_1 = R/CR$$

$$R_2 = R_1/CR = R/(CR)^2$$

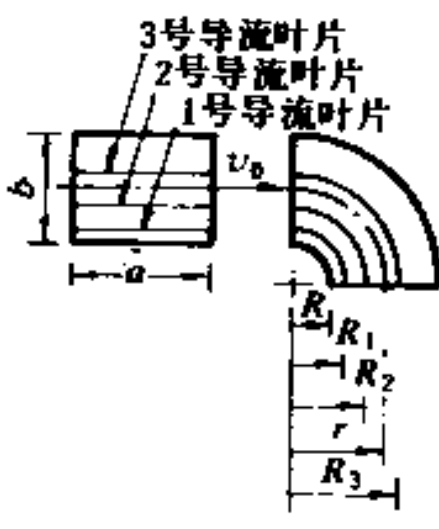
式中 R_2 ——2号导流叶片的弯曲半径, m;

其他符号说明同一个导流叶片。



R/b	r/b	CR	ξ'_0										
			a/b										
			0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
0.05	0.55	0.362	0.26	0.20	0.22	0.25	0.28	0.33	0.37	0.41	0.45	0.48	0.51
0.10	0.60	0.450	0.17	0.13	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21
0.15	0.65	0.507	0.12	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11
0.20	0.70	0.550	0.09	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
0.25	0.75	0.585	0.08	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.30	0.80	0.613	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
0.35	0.85	0.638	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.40	0.90	0.659	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.45	0.95	0.677	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.50	1.00	0.693	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

(3) 三个导流叶片



		ξ_0											
R/b	r/b	CR	a/b										
			0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
0.05	0.55	0.467	0.11	0.10	0.12	0.13	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23
0.10	0.60	0.549	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
0.15	0.65	0.601	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
0.20	0.70	0.639	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.25	0.75	0.669	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.30	0.80	0.693	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.35	0.85	0.714	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.40	0.90	0.731	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.45	0.95	0.746	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.50	1.00	0.760	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

$$\xi_0 = \epsilon_0 \xi'_0$$

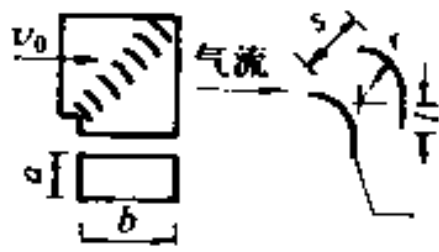
图中 R_3 ——3号导流叶片的弯曲半径, m;

$$R_3 = R_2 / CR = R / (CR)^2$$

其他符号说明同二个导流叶片的解释。

C-6 矩形风管斜接弯头带单层导流叶片

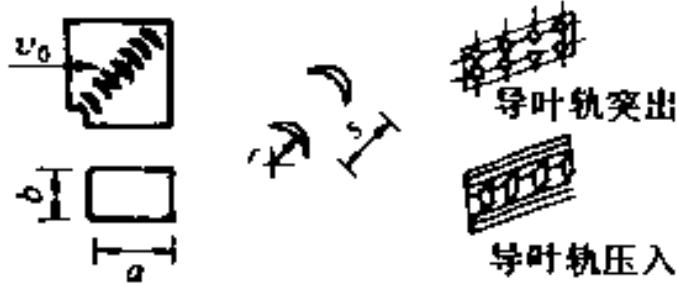
C-6



编 号	相 关 尺 寸 (mm)			
	r	s	l	ξ_0
2	50	40	20	0.12
3	110	60	0	0.15
3	110	80	40	0.18

C-7 矩形风管斜接弯头带双层导流叶片

C-7

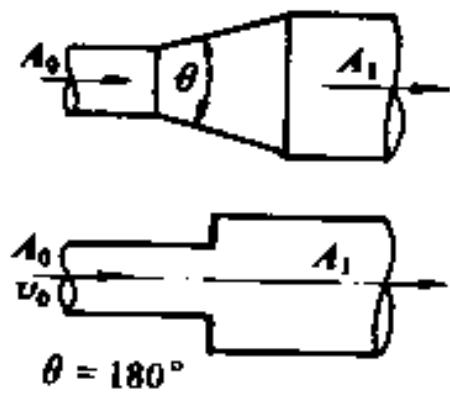


编号	ξ_0						备 注
	相关尺寸		速 度 (m/s)				
	r	s	5	10	15	20	
1	2.0	1.5	0.27	0.22	0.19	0.17	导叶轨突出
2	2.0	1.5	0.33	0.29	0.26	0.23	导叶轨压入
3	2.0	2.13	0.38	0.31	0.27	0.24	导叶轨突出
4	1.5	3.25	0.26	0.21	0.18	0.16	导叶轨突出

管件 D 渐扩变径管的局部阻力系数

D-1 圆风管锥形扩散管

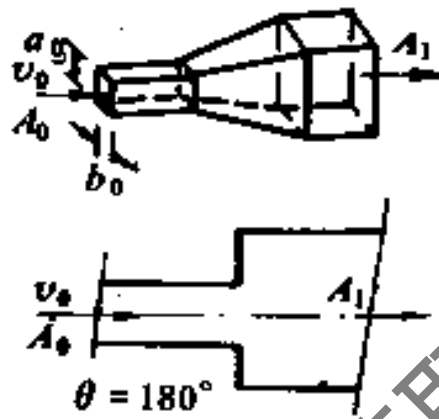
D-1



Re	A_1/A_0	ξ_0							
		$\theta(^{\circ})$							
		16	20	30	45	60	90	120	180
0.5×10^5	2	0.14	0.19	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
	4	0.23	0.30	0.45	0.61	0.68	0.64	0.63	0.62
	6	0.27	0.33	0.48	0.66	0.77	0.74	0.73	0.72
	10	0.29	0.38	0.59	0.76	0.80	0.83	0.84	0.83
	>16	0.31	0.38	0.60	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88
2×10^5	2	0.07	0.12	0.23	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26
	4	0.15	0.18	0.36	0.55	0.59	0.59	0.57	0.57
	6	0.19	0.28	0.44	0.90	0.70	0.71	0.71	0.69
	10	0.20	0.24	0.43	0.76	0.80	0.81	0.81	0.81
	>16	0.21	0.28	0.52	0.76	0.87	0.87	0.87	0.87
$>6 \times 10^5$	2	0.05	0.07	0.12	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
	4	0.17	0.24	0.38	0.51	0.56	0.58	0.58	0.57
	6	0.16	0.29	0.46	0.60	0.69	0.71	0.70	0.70
	10	0.21	0.33	0.52	0.60	0.76	0.83	0.84	0.83
	>16	0.21	0.34	0.56	0.72	0.79	0.85	0.87	0.89

D-2 矩形风管金字塔型扩散管

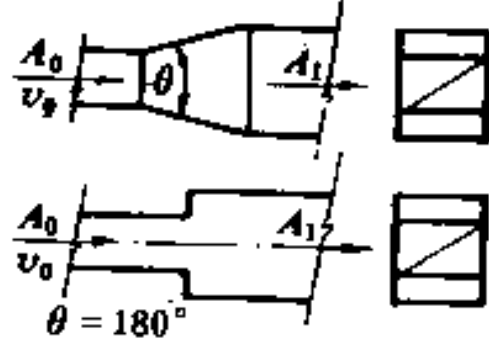
D-2



A_1/A_0	ξ_0							
	$\theta(^{\circ})$							
	16	20	30	45	60	90	120	180
2	0.18	0.22	0.25	0.29	0.31	0.32	0.33	0.30
4	0.35	0.43	0.50	0.56	0.61	0.63	0.63	0.63
6	0.42	0.47	0.58	0.68	0.72	0.76	0.76	0.75
>10	0.42	0.49	0.59	0.70	0.80	0.87	0.85	0.86

D-3 矩形风管平面扩散管

D-3



A_1/A_0	ξ_0						
	$\theta(^{\circ})$						
	14	20	30	45	60	90	180
2	0.09	0.12	0.20	0.34	0.37	0.38	0.35
4	0.16	0.25	0.42	0.60	0.68	0.70	0.66
6	0.19	0.30	0.48	0.65	0.76	0.83	0.80

D-4 天圆地方

按下述方法求出当量角 θ ，然后由管件 D-2 的表中查出 ζ_0 值。

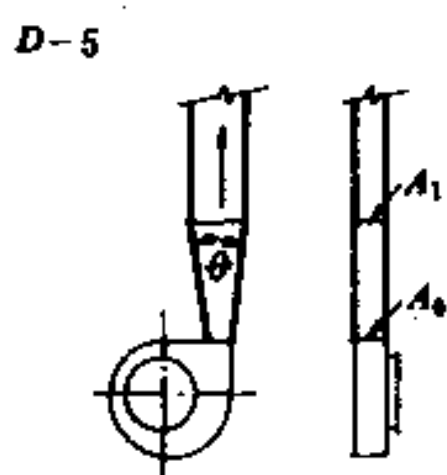
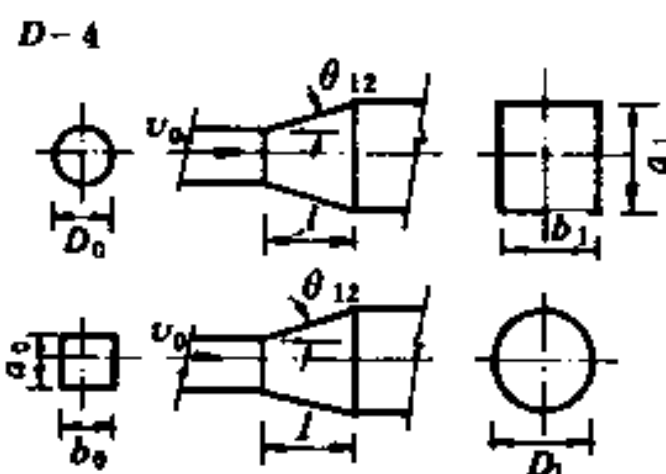
(1) 从圆形变成矩形

$$\tan(\theta/2) = (1.13\sqrt{a_1 b_1} - D_0) / 2l$$

(2) 从矩形变到圆形

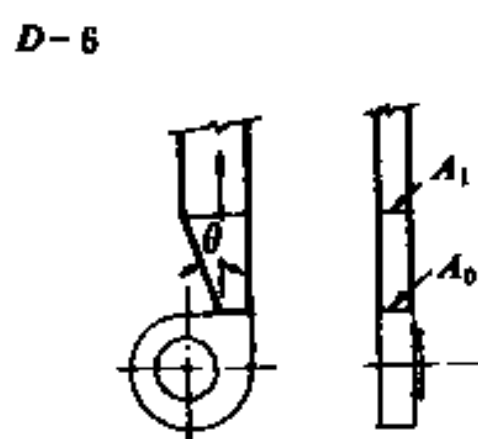
$$\tan(\theta/2) = (D_1 - 1.13\sqrt{a_0 \cdot b_0}) / 2l$$

D-5 风机出口接风管的平面对称扩散管



$\theta(^{\circ})$	ζ_0					
	A_1/A_0					
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
10	0.05	0.07	0.09	0.10	0.11	0.11
15	0.06	0.09	0.11	0.13	0.13	0.14
20	0.07	0.10	0.13	0.15	0.16	0.16
25	0.08	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23
30	0.16	0.24	0.29	0.32	0.34	0.35
35	0.24	0.34	0.39	0.44	0.48	0.50

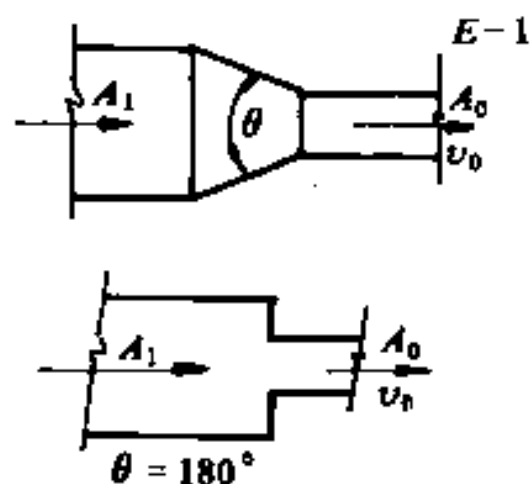
D-6 风机出口接风管的平面不对称扩散管



$\theta(^{\circ})$	ζ_0					
	A_1/A_0					
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
10	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11
15	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
20	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
25	0.15	0.18	0.21	0.23	0.25	0.26
30	0.18	0.25	0.30	0.33	0.35	0.35
35	0.21	0.31	0.38	0.41	0.43	0.44

管件 E 渐缩变径管的局部阻力系数

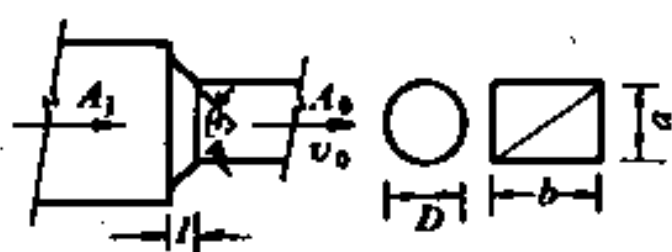
E-1 圆形风管和矩形风管的渐缩管



A_1/A_0	ζ_0						
	$\theta(^{\circ})$						
	10	15~40	50~60	90	120	150	180
2	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
4	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
6	0.05	0.04	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

E-2 圆形风管和矩形风管的锥形渐缩管

$$\zeta_0 = \varepsilon \cdot \zeta'_0$$



E-2

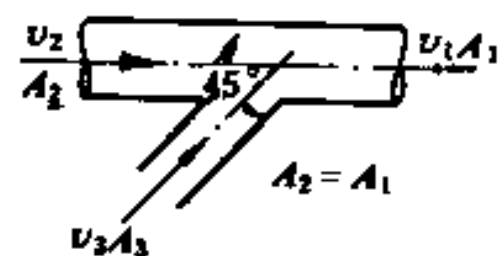
l/D	ξ								
	$\theta(^{\circ})$								
	0	10	20	30	40	60	100	140	180
0.025	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.40	0.42	0.45	0.50
0.05	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33	0.30	0.35	0.42	0.50
0.075	0.50	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.30	0.40	0.50
0.10	0.50	0.39	0.32	0.25	0.22	0.18	0.27	0.38	0.50
0.15	0.50	0.37	0.27	0.20	0.16	0.15	0.25	0.37	0.50
0.60	0.50	0.27	0.18	0.13	0.11	0.12	0.23	0.36	0.50

A_0/A_1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
ξ	1.0	0.85	0.68	0.50	0.30	0.18	0

管件 F 三通局部阻力系数

F-1 圆形风管 Y 形合流三通

F-1

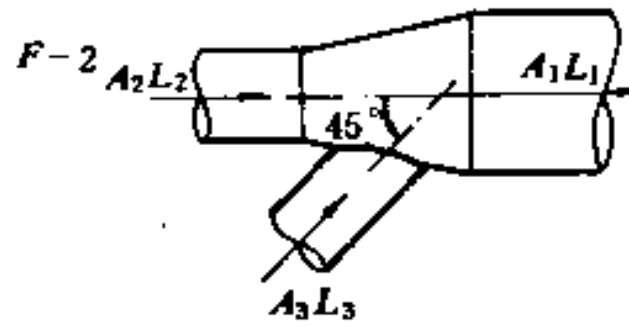


$\frac{v_3}{v_1}$	支通道 ξ_{13}						
	A_3/A_1						
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
0.4	-0.56	-0.44	-0.35	-0.28	-0.15	-0.04	0.05
0.5	-0.48	-0.37	-0.28	-0.21	-0.09	0.02	0.11
0.6	-0.38	-0.27	-0.19	-0.12	0	0.10	0.18
0.7	-0.26	-0.16	-0.08	-0.01	0.10	0.20	0.28
0.8	-0.21	-0.02	0.05	0.12	0.23	0.32	0.40
0.9	0.04	0.13	0.21	0.27	0.37	0.46	0.53
1.0	0.22	0.31	0.38	0.44	0.53	0.62	0.69
1.5	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8
2.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3
2.5	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4
3.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

$\frac{v_2}{v_1}$	主通道 ξ_{12}						
	A_3/A_1						
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
0.1	-8.6	-4.1	-2.5	-1.7	-0.97	-0.58	-0.34
0.2	-6.7	-3.1	-1.9	-1.3	-0.67	-0.36	-0.18
0.3	-5.0	-2.2	-1.3	-0.88	-0.42	-0.19	-0.05
0.4	-3.5	-1.5	-0.88	-0.55	-0.21	-0.05	0.05
0.5	-2.3	-0.95	-0.51	-0.28	-0.06	0.06	0.13
0.6	-1.3	-0.50	-0.22	-0.09	0.05	0.12	0.17
0.7	-0.63	-0.18	-0.03	0.04	0.12	0.16	0.18
0.8	-0.18	0.01	0.07	0.10	0.13	0.15	0.17
0.9	0.03	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13
1.0	-0.01	0	0	0.10	0.02	0.04	0.05

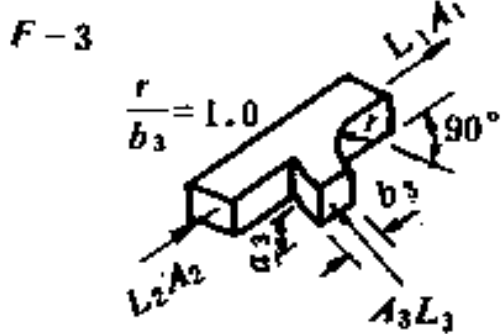
F-2 圓风管锥形合流三通

		支 通 道 ζ_{13}									
$\frac{A_2}{A_1}$	$\frac{A_3}{A_1}$	L_1/L_2									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.3	0.2	-2.4	-0.01	2.0	3.8	5.3	6.6	7.8	8.9	9.8	11
	0.3	-2.8	-1.2	0.12	1.1	1.9	2.6	3.2	3.7	4.2	4.6
0.4	0.2	-1.2	0.93	2.8	4.5	5.9	7.2	8.4	9.5	10	11
	0.3	-1.6	-0.27	0.81	1.7	2.4	3.0	3.6	4.1	4.5	4.9
	0.4	-1.8	-0.72	0.07	0.66	1.1	1.5	1.8	2.1	2.3	2.5
0.5	0.2	-0.46	1.5	3.3	4.9	6.4	7.7	8.8	9.9	11	12
	0.3	-0.94	0.25	1.2	2.0	2.7	3.3	3.8	4.2	4.7	5.0
	0.4	-1.1	-0.24	0.42	0.92	1.3	1.6	1.9	2.1	2.3	2.5
	0.5	-1.2	-0.38	0.18	0.58	0.88	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7
0.6	0.2	-0.55	1.3	3.1	4.7	6.1	7.4	8.6	9.6	11	12
	0.3	-1.1	0	0.88	1.6	2.3	2.8	3.3	3.7	4.1	4.5
	0.4	-1.2	-0.48	0.10	0.54	0.89	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
	0.5	-1.3	-0.62	-0.14	0.21	0.47	0.68	0.85	0.99	1.1	1.2
	0.6	-1.3	-0.69	-0.26	0.04	0.26	0.42	0.57	0.66	0.75	0.82
0.8	0.2	0.06	1.8	3.5	5.1	6.5	7.8	8.9	10	11	12
	0.3	0.52	0.35	1.1	1.7	2.3	2.8	3.2	3.6	3.9	4.2
	0.4	-0.67	-0.05	0.43	0.80	1.1	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1
	0.6	-0.75	-0.27	0.05	0.28	0.45	0.58	0.68	0.76	0.83	0.88
	0.7	-0.77	-0.31	-0.02	0.18	0.32	0.43	0.50	0.56	0.61	0.65
	0.8	-0.78	-0.34	-0.07	0.12	0.24	0.33	0.39	0.44	0.47	0.50
1.0	0.2	0.40	2.1	3.7	5.2	6.6	7.8	9.0	11	11	12
	0.3	-0.21	0.54	1.2	1.8	2.3	2.7	3.1	3.7	3.7	4.0
	0.4	-0.33	0.21	0.62	0.96	1.2	1.5	1.7	2.0	2.0	2.1
	0.5	-0.38	0.05	0.37	0.60	0.79	0.93	1.1	1.2	1.2	1.3
	0.6	-0.41	-0.02	0.23	0.42	0.55	0.66	0.73	0.80	0.85	0.89
	0.8	-0.44	-0.10	0.11	0.24	0.33	0.39	0.43	0.46	0.47	0.48
	1.0	-0.46	-0.14	0.05	0.16	0.23	0.27	0.29	0.30	0.30	0.29



主 通 道 ζ_{12}											
$\frac{A_2}{A_1}$	$\frac{A_3}{A_1}$	L_3/L_2									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.3	0.2	5.3	-0.01	2.0	1.1	0.34	-0.20	-0.61	-0.93	-1.2	-1.4
	0.3	5.4	3.7	2.5	1.6	1.0	0.53	0.16	-0.14	-0.38	-0.58
0.4	0.2	1.9	1.1	0.46	0.07	-0.49	-0.83	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7
	0.3	2.0	1.4	0.81	0.42	0.08	-0.20	-0.43	-0.62	-0.78	-0.92
	0.4	2.0	1.5	1.0	0.68	0.39	0.16	-0.04	-0.21	-0.35	-0.47
0.5	0.2	0.77	0.34	-0.09	-0.48	-0.81	-1.1	1.3	-1.5	-1.7	-1.8
	0.3	0.85	0.56	0.25	-0.03	-0.27	-0.48	-0.67	-0.82	-0.96	-1.1
	0.4	0.88	0.66	0.43	0.21	0.02	-0.15	-0.30	-0.42	-0.54	-0.64
	0.5	0.91	0.73	0.54	0.36	0.21	0.06	-0.06	-0.17	-0.26	-0.35
0.6	0.2	0.30	0	-0.34	-0.67	-0.96	1.2	-1.4	1.6	1.8	-1.9
	0.3	0.37	0.21	-0.02	-0.24	-0.44	-0.63	-0.79	-0.93	-1.1	-1.2
	0.4	0.40	0.31	0.16	-0.1	-0.16	-0.30	-0.43	-0.54	-0.64	-0.73
	0.5	0.43	0.37	0.26	0.14	0.02	-0.09	-0.20	-0.29	-0.37	-0.45
	0.6	0.44	0.41	0.33	0.24	0.14	0.05	-0.03	-0.11	-0.18	-0.25
0.8	0.2	-0.06	-0.27	0.57	-0.86	1.1	-1.4	-1.6	-1.7	-1.9	-2.0
	0.3	0	-0.08	-0.25	-0.43	-0.62	-0.78	-0.93	-1.1	-1.2	-1.3
	0.4	0.04	0.02	-0.08	0.21	-0.34	0.46	-0.57	-0.67	-0.77	-0.85
	0.5	0.06	0.08	0.02	-0.06	-0.16	-0.25	-0.34	-0.42	-0.50	-0.57
	0.6	0.07	0.12	0.09	0.03	-0.04	0.11	-0.18	-0.25	-0.31	-0.37
	0.7	0.08	0.15	0.14	0.10	0.05	-0.01	-0.07	-0.12	-0.17	-0.22
	0.8	0.09	0.17	0.18	0.16	0.11	0.07	0.02	0.02	-0.07	-0.11
	1.0	0.2	-0.19	-0.39	-0.67	-0.96	-1.2	-1.5	-1.6	-1.8	-2.0
1.0	0.3	-0.12	-0.19	-0.35	-0.54	-0.71	-0.87	-1.0	-1.2	-1.3	-1.4
	0.4	-0.09	-0.10	0.19	-0.31	-0.43	-0.55	-0.66	-0.77	-0.86	-0.94
	0.5	-0.07	-0.04	0.09	-0.17	-0.26	-0.35	-0.44	-0.52	-0.59	-0.66
	0.6	-0.06	0	-0.02	-0.07	-0.14	-0.21	-0.28	-0.34	-0.40	-0.46
	0.8	-0.04	0.06	0.07	0.05	0.02	-0.03	-0.07	-0.12	-0.16	-0.20
	1.0	-0.03	0.09	0.13	0.13	0.11	0.08	0.06	0.03	-0.01	-0.03

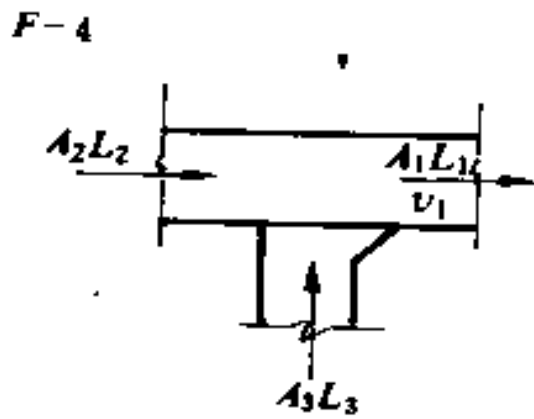
F-3 矩形风管Y形合流三通



支 通 道 ζ_{13}											
$\frac{A_1}{A_2}$	$\frac{A_3}{A_1}$	L_3/L_1									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.25	0.25	-0.50	0	0.50	1.2	2.2	3.7	5.8	8.4	11	
0.33	0.25	-1.2	-0.40	0.40	1.6	3.0	4.8	6.8	8.9	11	
0.5	0.5	-0.50	0.20	0	0.25	0.45	0.70	1.0	1.5	2.0	
0.67	0.5	-1.0	-0.60	-0.20	0.10	0.30	0.60	1.0	1.5	2.0	
1.0	0.5	-2.2	-1.5	-0.95	-0.50	0	0.40	0.80	1.3	1.9	
1.0	1.0	-0.60	-0.30	-0.10	-0.04	0.13	0.21	0.29	0.36	0.42	
1.33	1.0	-1.2	-0.80	-0.40	-0.20	0	0.16	0.24	0.32	0.38	
2.0	1.0	2.1	1.4	0.90	0.50	-0.20	0	0.20	0.25	0.30	

主 通 道 ξ_{12}										
A_2/A_1	A_3/A_1	L_3/L_1								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.75	0.25	0.30	0.30	0.20	-0.10	-0.45	-0.92	-1.5	-2.0	-2.6
1.0	0.5	0.17	0.16	0.10	0	-0.08	-0.18	-0.27	-0.37	-0.46
0.75	0.5	0.27	0.35	0.32	0.25	0.12	-0.03	-0.23	-0.42	-0.58
0.5	0.5	1.2	1.1	0.90	0.65	0.35	0	-0.40	-0.80	-1.3
1.0	1.0	0.18	0.24	0.27	0.26	0.23	0.18	0.10	0	-0.12
0.75	1.0	0.75	0.36	0.38	0.35	0.27	0.18	0.05	-0.08	-0.22
0.5	1.0	0.80	0.87	0.80	0.68	0.55	0.40	0.25	0.08	-0.10

F-4 矩形风管 45° 接入的合流 T 形三通



A_2/A_1	A_3/A_1
0.5	1.0
0.5	0.5

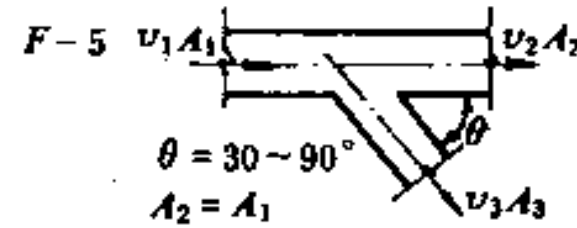
支 通 道 ξ_{13}										
v_1 (m/s)	L_3/L_1									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
< 6	-0.83	-0.68	-0.30	0.28	0.55	1.03	1.50	1.93	2.50	3.03
> 6	-0.72	-0.52	-0.23	0.34	0.76	1.14	1.83	2.01	2.90	3.63

主 通 道 ξ_{12}											
L_3/L_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
ξ_{12}	0	0.16	0.27	0.38	0.46	0.53	0.57	0.59	0.60	0.59	0.55

F-5 圆风管 Y 形分流三通

支通道 ξ_{13}

(1) $\theta = 30^\circ$



A_3/A_1	L_3/L_1									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.8	0.75	0.55	0.40	0.28	0.21	0.16	0.15	0.16	0.19	
0.7	0.72	0.51	0.36	0.25	0.18	0.15	0.16	0.20	0.26	
0.6	0.69	0.46	0.31	0.21	0.17	0.16	0.20	0.28	0.39	
0.5	0.65	0.41	0.26	0.19	0.18	0.22	0.32	0.47	0.67	
0.4	0.59	0.33	0.21	0.20	0.27	0.40	0.62	0.92	1.3	
0.3	0.55	0.28	0.24	0.38	0.76	1.3	2.0	—	—	
0.2	0.40	0.26	0.58	1.3	2.5	—	—	—	—	
0.1	0.28	1.5	—	—	—	—	—	—	—	

(2) $\theta = 45^\circ$

A_3/A_1	L_3/L_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.8	0.78	0.62	0.49	0.40	0.34	0.31	0.32	0.35	0.40
0.7	0.77	0.59	0.47	0.38	0.34	0.32	0.35	0.41	0.50
0.6	0.74	0.56	0.44	0.37	0.35	0.36	0.43	0.54	0.68
0.5	0.71	0.52	0.41	0.38	0.40	0.45	0.59	0.78	1.0
0.4	0.66	0.47	0.40	0.43	0.54	0.69	0.95	1.3	1.7
0.3	0.66	0.48	0.52	0.73	1.2	1.8	2.7	—	—
0.2	0.56	0.56	1.0	1.8	—	—	—	—	—
0.1	0.60	2.1	—	—	—	—	—	—	—

(3) $\theta = 60^\circ$

A_3/A_1	L_3/L_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.8	0.83	0.71	0.62	0.56	0.52	0.50	0.53	0.60	0.68
0.7	0.82	0.69	0.61	0.56	0.54	0.54	0.60	0.70	0.82
0.6	0.81	0.68	0.60	0.58	0.58	0.61	0.72	0.87	1.1
0.5	0.79	0.66	0.61	0.62	0.68	0.76	0.94	1.2	1.5
0.4	0.76	0.65	0.65	0.74	0.89	1.1	1.4	1.8	2.3
0.3	0.80	0.75	0.89	1.2	1.8	2.6	3.5	—	—
0.2	0.77	0.96	1.6	2.5	—	—	—	—	—
0.1	1.0	2.9	—	—	—	—	—	—	—

(4) $\theta = 90^\circ$

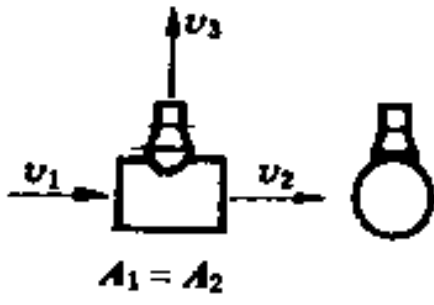
A_3/A_1	L_3/L_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.8	0.95	0.92	0.92	0.93	0.94	0.95	1.1	1.2	1.4
0.7	0.95	0.94	0.95	0.98	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6
0.6	0.96	0.97	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.7	2.0
0.5	0.97	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.8	2.1	2.5
0.4	0.99	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.4	—	—
0.3	1.1	1.4	1.8	2.3	—	—	—	—	—
0.2	1.3	1.9	2.9	—	—	—	—	—	—
0.1	2.1	—	—	—	—	—	—	—	—

主通道 ζ_{12}

v_2/v_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
ζ_{12}	0.35	0.28	0.22	0.17	0.13	0.09	0.06	0.02	0

F-6 圆风管 T形 90°锥形分流三通

F-6

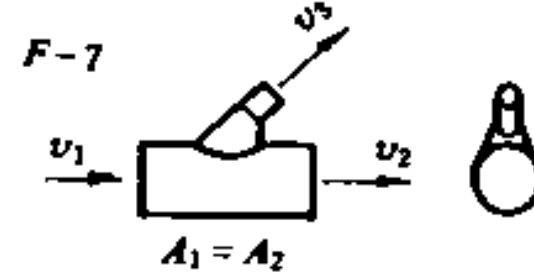


支 通 道											
v_3/v_1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ξ_{13}	1.0	0.85	0.74	0.62	0.52	0.42	0.36	0.32	0.32	0.37	0.52

主通道 ξ_{12} 见管件 F-5。

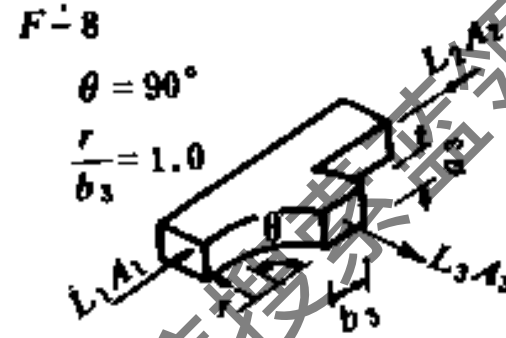
F-7 圆风管 T形 45°锥形分流三通

主通道 ξ_{12} 见管件 F-5。



支 通 道											
v_3/v_1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ξ_{13}	1.0	0.84	0.61	0.41	0.27	0.17	0.12	0.12	0.14	0.18	0.27

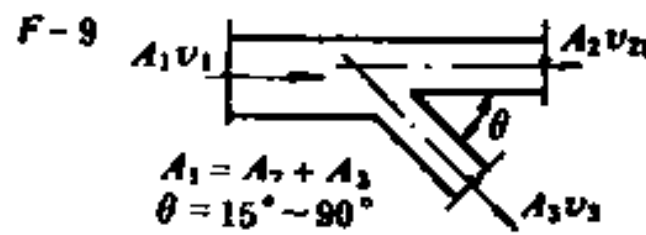
F-8 矩形风管 Y形分流三通



支 通 道 ξ_{13}											
$\frac{A_3}{A_2}$	$\frac{A_3}{A_1}$	L_3/L_1									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.25	0.25	0.55	0.50	0.60	0.85	1.2	1.8	3.1	4.4	6.0	
0.33	0.25	0.35	0.35	0.50	0.80	1.3	2.0	2.8	3.8	5.0	
0.5	0.5	0.62	0.48	0.40	0.40	0.48	0.60	0.78	1.1	1.5	
0.67	0.5	0.52	0.40	0.32	0.30	0.34	0.44	0.62	0.92	1.4	
1.0	0.5	0.44	0.38	0.38	0.41	0.52	0.68	0.92	1.2	1.6	
1.0	1.0	0.67	0.55	0.46	0.37	0.32	0.29	0.29	0.30	0.37	
1.33	1.0	0.70	0.60	0.51	0.42	0.34	0.28	0.26	0.26	0.29	
2.0	1.0	0.60	0.52	0.43	0.33	0.24	0.17	0.15	0.17	0.21	

主 通 道 ξ_{12}											
$\frac{A_3}{A_2}$	$\frac{A_3}{A_1}$	L_3/L_1									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.25	0.25	-0.01	-0.03	-0.01	0.05	0.13	0.21	0.29	0.38	0.46	
0.33	0.25	0.08	0	-0.02	-0.01	0.02	0.08	0.16	0.24	0.34	
0.5	0.5	-0.03	-0.06	-0.05	0	0.06	0.12	0.19	0.27	0.35	
0.67	0.5	0.04	-0.02	-0.04	-0.03	-0.01	0.04	0.12	0.23	0.37	
1.0	0.5	0.72	0.48	0.28	0.13	0.05	0.04	0.09	0.18	0.30	
1.0	1.0	-0.02	-0.04	-0.04	-0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38	
1.33	1.0	0.10	0.01	-0.03	-0.03	-0.01	0.03	0.10	0.20	0.30	
2.0	1.0	0.62	0.38	0.23	0.13	0.08	0.05	0.06	0.10	0.20	

F-9 矩形风管Y形分流三通

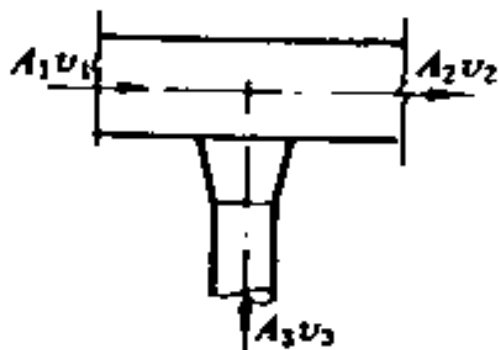


支 通 道 ζ_{11}													
$\theta(^{\circ})$	d_2/d_1												
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
15	0.81	0.65	0.51	0.38	0.28	0.20	0.11	0.06	0.14	0.30	0.51	0.76	1.0
30	0.84	0.69	0.56	0.44	0.34	0.26	0.19	0.15	0.15	0.30	0.51	0.76	1.0
45	0.87	0.74	0.63	0.54	0.45	0.38	0.29	0.24	0.23	0.30	0.51	0.76	1.0
60	0.90	0.82	0.79	0.66	0.59	0.53	0.43	0.36	0.33	0.39	0.51	0.76	1.0
90	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

主 通 道 ζ_{12}						
$\frac{d_2}{d_1}$	$\theta(^{\circ})$					
	15~60			90		
	A_2/A_1					
	0~1.0	0~0.4	0.5	0.6	0.7	>0.8
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.1	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
0.2	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
0.3	0.50	0.50	0.52	0.52	0.50	0.50
0.4	0.36	0.36	0.40	0.38	0.37	0.36
0.5	0.25	0.25	0.30	0.28	0.27	0.25
0.6	0.16	0.16	0.23	0.20	0.18	0.16
0.8	0.04	0.04	0.17	0.10	0.07	0.04
1.0	0	0	0.20	0.10	0.05	0
1.2	0.07	0.07	0.36	0.21	0.14	0.07
1.4	0.39	0.39	0.79	0.59	0.39	—
1.6	0.90	0.90	1.4	1.2	—	—
1.8	1.8	1.8	2.5	—	—	—
2.0	3.2	3.2	4.0	—	—	—

F-10 T形分流三通，矩形主通道至圆形支通道

F-10

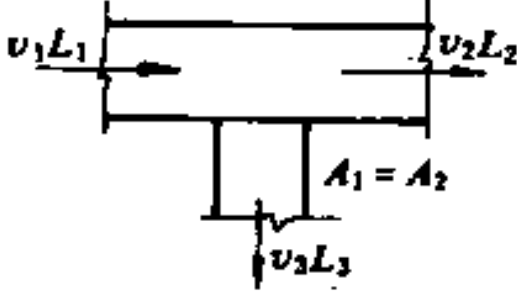


支 通 道						
d_2/d_1	0.40	0.50	0.75	1.0	1.3	1.5
ζ_{11}	0.80	0.83	0.90	1.0	1.1	1.4

主通道的局部阻力系数 ζ_{12} 见管件F-5。

F-11 T形分流三通，矩形主通道、支通道

F-11

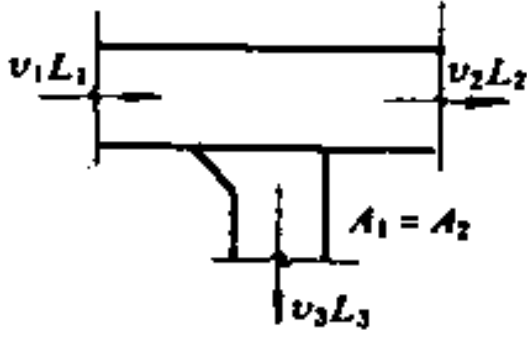


v_3/v_1	支通道 ζ_{13}								
	L_3/L_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	1.03								
0.4	1.04	1.01							
0.6	1.11	1.03	1.05						
0.8	1.16	1.21	1.17	1.12					
1.0	1.38	1.40	1.30	1.36	1.27				
1.2	1.52	1.61	1.68	1.91	1.47	1.66			
1.4	1.79	2.01	1.90	2.31	2.28	2.20	1.95		
1.6	2.07	2.28	2.13	2.71	2.99	2.81	2.09	2.20	
1.8	2.32	2.54	2.64	3.09	3.72	3.48	2.21	2.29	2.57

主通道的局部阻力系数 ζ_{12} 见管件 F-5。

F-12 T形分流三通，矩形主通道、支通道，45°斜接。

F-12

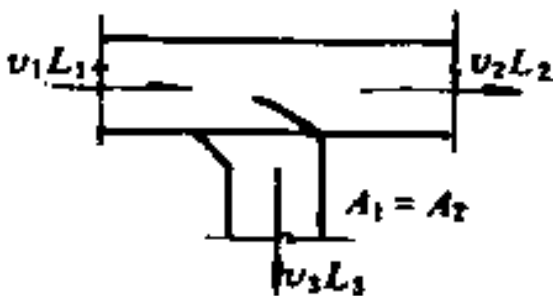


v_3/v_1	支通道 ζ_{13}								
	L_3/L_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.91								
0.4	0.81	0.79							
0.6	0.77	0.72	0.70						
0.8	0.78	0.73	0.69	0.66					
1.0	0.78	0.98	0.85	0.79	0.74				
1.2	0.90	1.11	1.16	1.23	1.03	0.86			
1.4	1.19	1.22	1.26	1.29	1.54	1.25	0.92		
1.6	1.35	1.42	1.55	1.59	1.63	1.50	1.31	1.09	
1.8	1.44	1.50	1.75	1.74	1.72	2.24	1.53	1.40	1.17

主通道的局部阻力系数 ζ_{12} 见管件 F-5。

F-13 T形分流三通，矩形主通道和支通道，45°斜接并带阀门

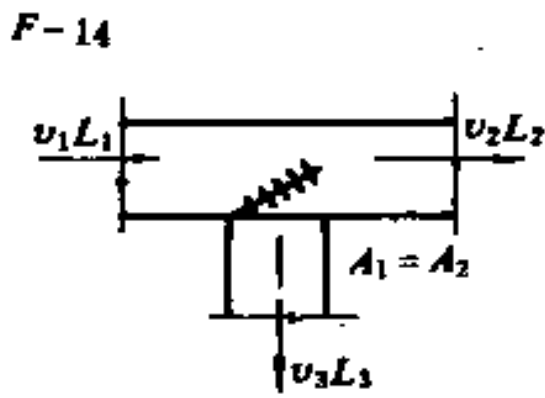
F-13



v_3/v_1	支通道 ζ_{13}								
	L_3/L_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.61								
0.4	0.46	0.61							
0.6	0.43	0.50	0.54						
0.8	0.39	0.43	0.62	0.53					
1.0	0.34	0.57	0.77	0.73	0.68				
1.2	0.37	0.64	0.85	0.98	1.07	0.83			
1.4	0.57	0.71	1.04	1.16	1.54	1.36	1.18		
1.6	0.89	1.08	1.28	1.30	1.69	2.09	1.81	1.47	
1.8	1.33	1.34	2.04	1.78	1.90	2.40	2.77	2.23	1.92

主通道的局部阻力系数 ζ_{12} 见管件 F-14。

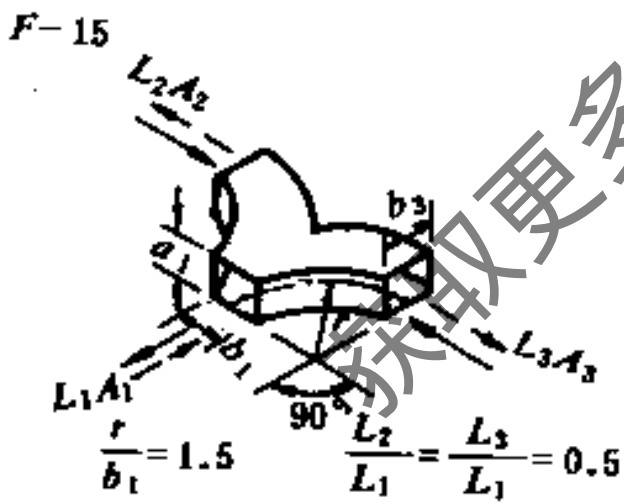
F-14 矩形风管, T形分流三通带分流板



支通道 ζ_{13}									
v_3/v_1	L_3/L_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.60								
0.4	0.62	0.69							
0.6	0.74	0.80	0.82						
0.8	0.99	1.10	0.95	0.90					
1.0	1.48	1.12	1.41	1.24	1.21				
1.2	1.91	1.33	1.43	1.52	1.55	1.64			
1.4	2.47	1.67	1.70	2.04	1.86	1.98	2.47		
1.6	3.17	2.40	2.33	2.53	2.31	2.51	3.13	3.25	
1.8	3.85	3.37	2.89	3.23	3.09	3.03	3.30	3.74	4.11

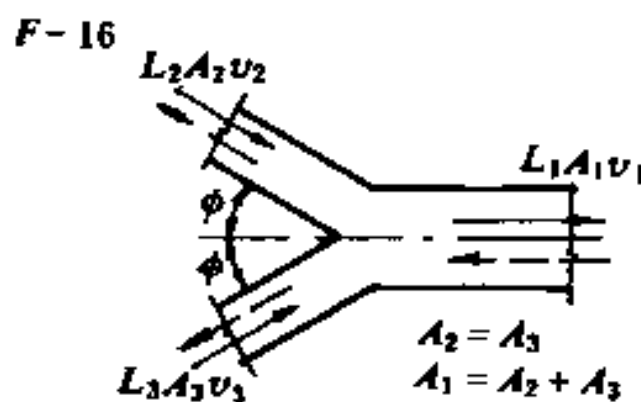
主通道									
v_3/v_1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
ζ_{12}	0.03	0.04	0.07	0.12	0.13	0.14	0.27	0.30	0.25

F-15 矩形风管 Y形对称裤衩三通



合流 (→)		
A_2/A_1 或 A_3/A_1	0.50	1.0
ζ_{12} 或 ζ_{13}	0.23	0.07
分流 (←)		
A_2/A_1 或 A_3/A_1	0.50	0.0
ζ_{12} 或 ζ_{13}	0.30	0.25

F-16 矩形或圆形风管 Y形三通



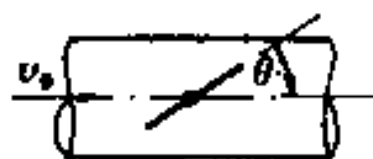
合 流 (→)											
ξ_{12} 或 ξ_{13}											
$\theta_2 = \theta_3$ (°)	L_2/L_1 或 L_3/L_1										
	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.0
15	-2.6	-1.9	-1.3	-0.77	-0.30	0.10	0.41	0.67	0.85	0.97	1.0
30	-2.1	-1.5	-1.0	-0.53	-0.10	0.28	0.69	0.91	1.1	1.4	1.6
45	-1.3	-0.93	-0.55	-0.16	0.20	0.56	0.92	1.3	1.6	2.0	2.3

分 流 (←)													
ξ_{12} 或 ξ_{13}													
$\theta_2 = \theta_3$ (°)	L_2/L_1 或 L_3/L_1												
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
15	0.81	0.65	0.51	0.38	0.28	0.20	0.11	0.06	0.14	0.30	0.51	0.76	1.0
30	0.84	0.69	0.56	0.44	0.34	0.26	0.19	0.15	0.15	0.30	0.51	0.76	1.0
45	0.87	0.74	0.63	0.54	0.45	0.38	0.29	0.24	0.23	0.30	0.51	0.76	1.0
60	0.90	0.82	0.79	0.66	0.59	0.53	0.43	0.36	0.33	0.39	0.51	0.76	1.0
90	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

管件 G 阻挡物的局部阻力系数

G-1 圆形蝶阀

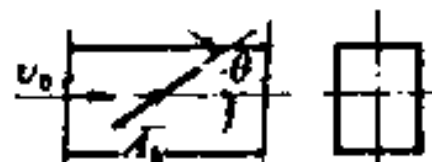
G-1



θ (°)	0	10	20	30	40	50	60
ξ_0	0.20	0.52	1.5	4.5	11	29	108

G-2 矩形蝶阀

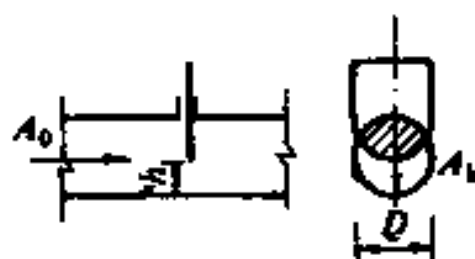
G-2



θ (°)	0	10	20	30	40	50	60
ξ_0	0.04	0.33	1.2	3.3	9.0	26	70

G-3 圆形插板阀

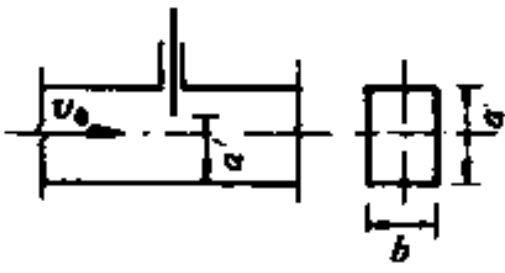
G-3



h/D	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
A_1/A_0	0.25	0.38	0.50	0.61	0.71	0.81	0.90	0.96
ξ_0	35	10	4.6	2.1	0.98	0.44	0.17	0.06

G-4 矩形插板阀

G-4



a/b	ζ_0						
	a'/a						
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.5	14	6.9	3.3	1.7	0.83	0.32	0.09
1.0	19	8.8	4.5	2.4	1.2	0.55	0.17
1.5	20	9.1	4.7	2.7	1.2	0.47	0.11
2.0	18	8.8	4.5	2.3	1.1	0.51	0.13

G-5 矩形风管流线型叶片蝶阀

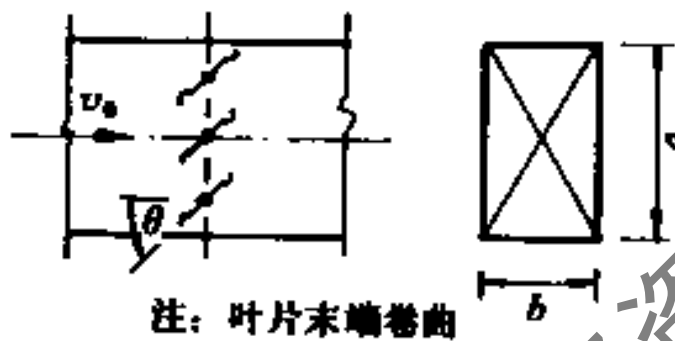
G-5



$\theta(^{\circ})$	0	10	20	30	40	50	60
ζ_0	0.50	0.65	1.6	4.0	9.4	24	67

G-6 矩形风管平行式多叶阀

G-6



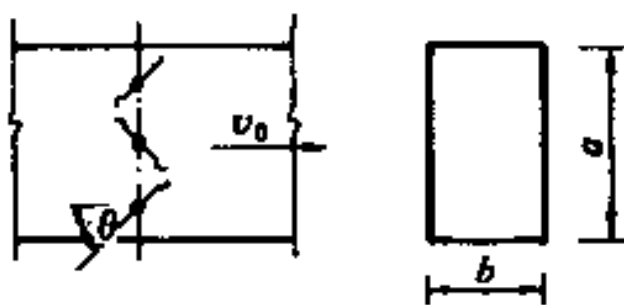
l/s	ζ_0								
	$\theta(^{\circ})$								
	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0.3	116	32	14	9.0	5.0	2.3	1.4	0.79	0.52
0.4	152	38	16	9.0	6.0	2.4	1.5	0.85	0.52
0.5	188	45	18	9.0	6.0	2.4	1.5	0.92	0.52
0.6	245	45	21	9.0	5.4	2.4	1.5	0.92	0.52
0.8	284	55	22	9.0	5.4	2.5	1.5	0.92	0.52
1.0	361	65	24	10	5.4	2.6	1.6	1.0	0.52
1.5	576	102	28	10	5.4	2.7	1.6	1.0	0.52

$$\frac{l}{s} = \frac{n \cdot b}{2(a+b)}$$

式中 l ——合计的阀门叶片总长度, mm;
 s ——风管的周长, mm;
 n ——阀门叶片的数量;
 b ——平行于叶片轴的风管尺寸, mm。

G-7 矩形风管对开式多叶阀

G-7



l/s	ζ_0								
	$\theta(^{\circ})$								
	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0.3	807	284	73	21	9.0	4.1	2.1	0.85	0.52
0.4	915	332	100	28	11	5.0	2.2	0.92	0.52
0.5	1045	377	122	33	13	5.4	2.3	1.0	0.52
0.6	1121	411	148	38	14	6.0	2.3	1.0	0.52
0.8	1299	495	188	54	18	6.6	2.4	1.1	0.52
1.0	1521	547	245	65	21	7.3	2.7	1.2	0.52
1.5	1654	677	361	107	28	9.0	3.2	1.4	0.52

l、s的说明见管件G-6。

G-8 风管中安有网格的矩形和圆形风管

G-8



n	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.0
ξ_0	6.2	3.0	1.7	1.3	0.97	0.75	0.58	0.44	0.32	0.14	0

$$n = \frac{A_{0r}}{A_0}$$

式中 n ——网格的过风面积比；
 A_{0r} ——网格的全部可流通面积， mm^2 ；
 A_0 ——风管断面积， mm^2 。

8.4 风管内的压力分布

8.4.1 单风机系统

图8.4-1为单风机系统风管内压力的变化，风管布置图包括一个轴流风机，送风管和回风管的通风布置，风管内压力的分布图，给出全压值 P_0 和静压值 P_s 相对于室外大气压力的变化斜率。

从图上可以看出，当风管断面不变时，全压和静压的损失是相等的，均是由于沿程摩擦损失造成的。

从扩张段③和⑦处可以看到，动压值 P_d 减小了，全压减小了，而静压值可能增大，这

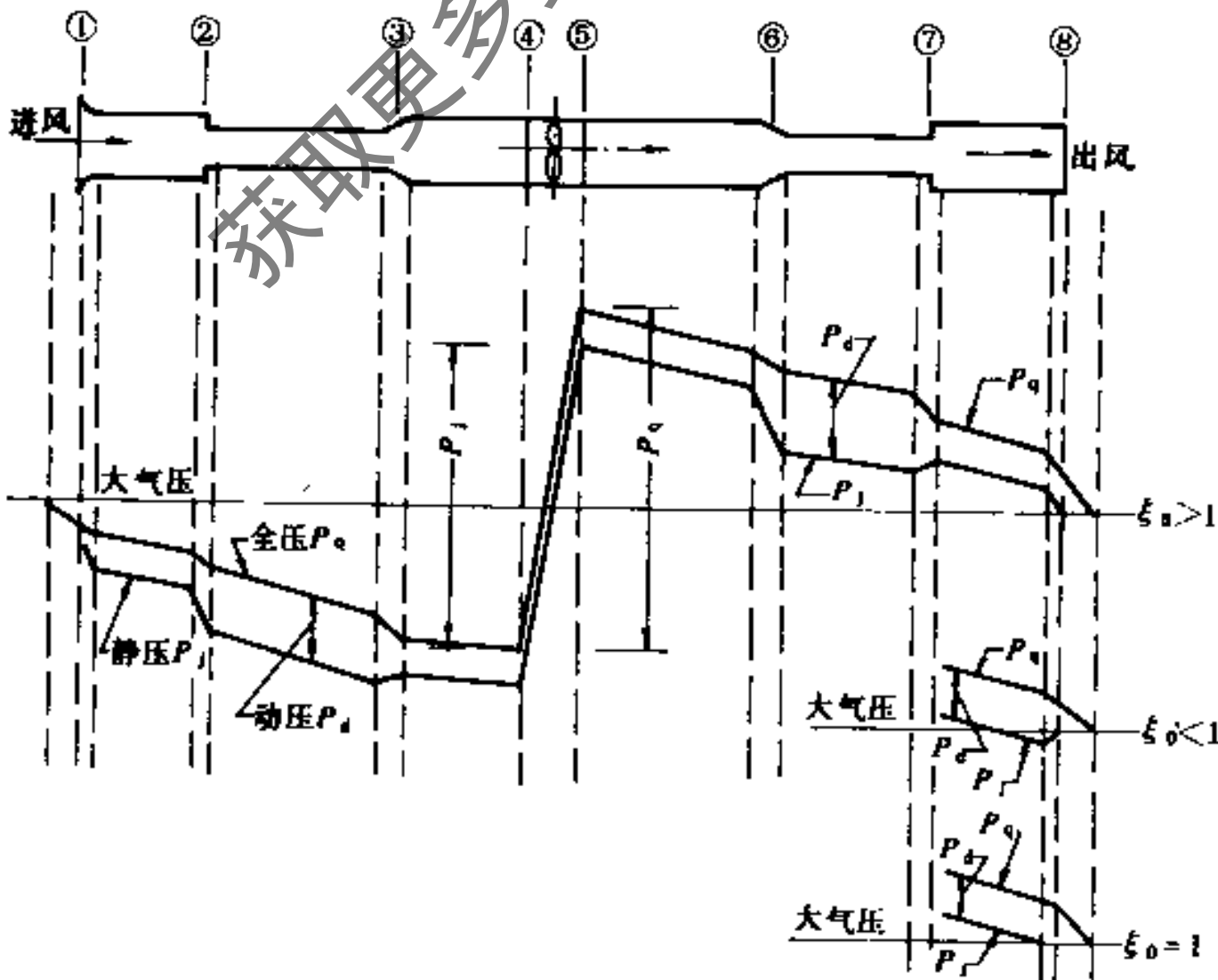


图 8.4-1 风管内的压力变化

些管段上所表示的静压值的增加就是大家所知道的静压复得。

在收缩段②和⑥，沿着空气的流动方向，动压值加大了，而全压值和静压值都减小了，但它们减小的值是不等的。

在出风口⑧处，全压的损失取决于出风口的形状和流动特性，其局部阻力系数值的变化可大于1、等于1或小于1，其全压和静压的变化就不一样了。

在进风口处，压力损失取决于进风口的形状。刚离开进风口处，其全压值为气流上方即进口处的大气压力和局部阻力之差。在进风口的进口处，静压值为0，刚离开进风口处其静压为负值。

从图上可以看出，不论在风管的哪个断面，全压值总是等于静压和动压之和（动压总是为正值）。

8.4.2 双风机系统

图8.4-2为双风机系统风管内压力变化图。对于双风机系统来说，要注意到零点的位置。从图中可以看到，在②~③段，由于回风机的加压，该处风管处于正压区，回风可以通过排风阀排出。③为零位阀，通过该阀处的风压应为零。而在风管③~④处，由于送风机的抽吸作用，处于负压区，新风和回风均可进来。

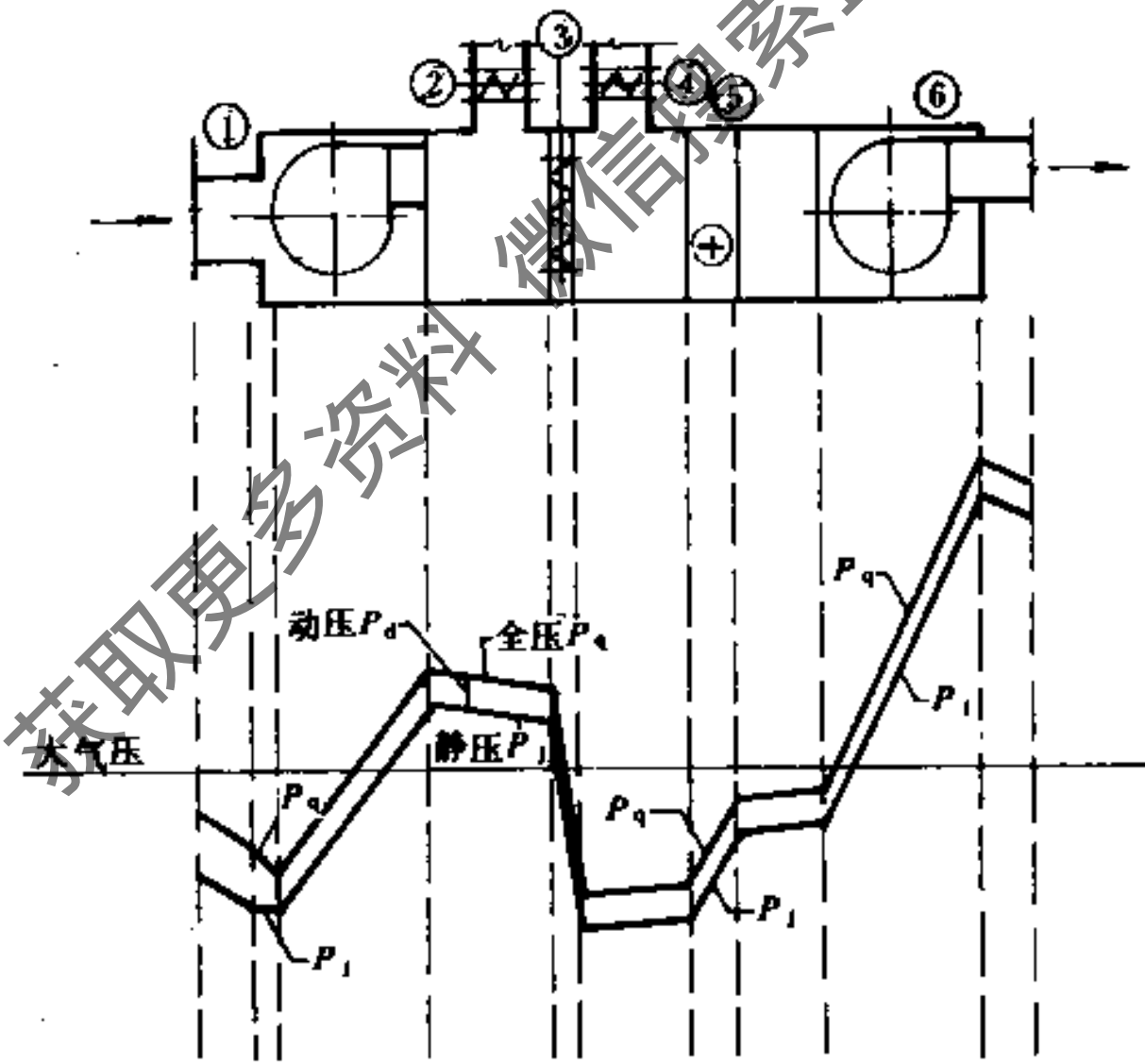


图 8.4-2 双风机系统风管内的压力变化

8.5 风管设计方法

8.5.1 一般设计方法

风管的水力计算方法较多，对于高速送风系统采用静压复得法，对于低速送风系统，

大多采用等压损法和假定速度法。

1. 等压损法 以单位长度风管的压力损失 P_m 相等为前提。在已知总作用压力的情况下, 取最长的环路或压力损失最大的环路, 将总的作用压力值平均分配给风管的各个部分, 再根据各部分的风量和所分配的压力损失值确定风管的尺寸, 并结合各环路间的压力损失的平衡进行调节, 以保证各环路间的压力损失的差值小于15%。一般建议的风管摩擦压力损失值为 $0.8 \sim 1.5 \text{ Pa/m}$ 。

2. 假定速度法 根据噪声和风管本身的强度, 并考虑到运行费用来进行设定。表 8.5-1 给出常用的风管的风速。

风管和设备内的风速

表 8.5-1

位 置	推荐值 (m/s)			最大值 (m/s)		
	住 宅	公共建筑	工 厂	住 宅	公共建筑	工 厂
风机吸入口	3.5	4.0	5.0	4.5	5.0	7.0
风机出口	5~8	6.5~10	8~12	8.5	7.5~11	8.5~14
干 管	3.5~4.5	5~6.5	6~9	4~6	5.5~8	6.5~11
支 管	3	3~4.5	4~5	3.5~5	4~6.5	5~9
从支管上接出的风管	2.5	3~3.5	4	3.25~4	4~6	5~8

表 8.5-2 给出暖通空调部件的典型设计风速, 供设计参考。

暖通空调部件的典型设计风速

表 8.5-2

部 件 名 称	面 风 速 (m/s)	部 件 名 称	面 风 速 (m/s)
百叶窗	A. 入口 $>10000 \text{ m}^3/\text{h}$ $<10000 \text{ m}^3/\text{h}$	<ii> 摺叠式 (中效) <iii> 高效	<3.8 1.3
	B. 出口 $>8000 \text{ m}^3/\text{h}$ $<8000 \text{ m}^3/\text{h}$		
喷水室	A. 喷雾排管 B. 高速喷雾排管	B. 可更换滤料	
过滤器	A. 平板过滤器	a. 粘性卷动幕	2.5
	a. 粘性材料	b. 干性卷动幕	1.0
	b. 干式 (表面展开) <i> 平板 (低效)	c. 电除尘器	
	同风管风速	<i> 电离子板式 <ii> 充不带电离子	1.5~2.5 1.3
		空气加热器 (蒸汽或热水)	2.5~3.0
		空气冷却器 (去湿)	2.5~3.0

8.5.2 简略的估算法

1. 对于一般通风系统, 风管压力损失值 ΔP (Pa) 可按下式估算

$$\Delta P = P_m \cdot l (1 + k) \quad (8.5-1)$$

式中 P_m ——单位长度风管的摩擦压力损失, Pa/m;

l ——到最远送风口的送风管总长度加上到最远回风口的回风管的总长度, m;

k ——局部压力损失与摩擦压力损失的比值。

弯头三通少时, 取 $k = 1.0 \sim 2.0$;

弯头三通多的场合, 可取到 $k = 3.0 \sim 5.0$ 。

2. 对于空调系统

要考虑到空气通过过滤器、喷水室（或表冷器）、加热器等空调装置的压力损失之和。
表 8.5-3 给出推荐的风机静压值。

推荐的送风机的静压值

表 8.5-3

种	类	风机静压值 (Pa)
通风设备	小型系统	100~250
	一般	300~400
空调装置	小型 (空调面积 300m ² 内)	400~500
	中型 (空调面积 2000m ² 内)	600~750
	大型 (空调面积大于 2000m ²)	650~1100
	高速系统 (中型)	1000~1500
	高速系统 (大型)	1500~2500

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第九章 水泵、通风机和电动机

9.1 水 泵

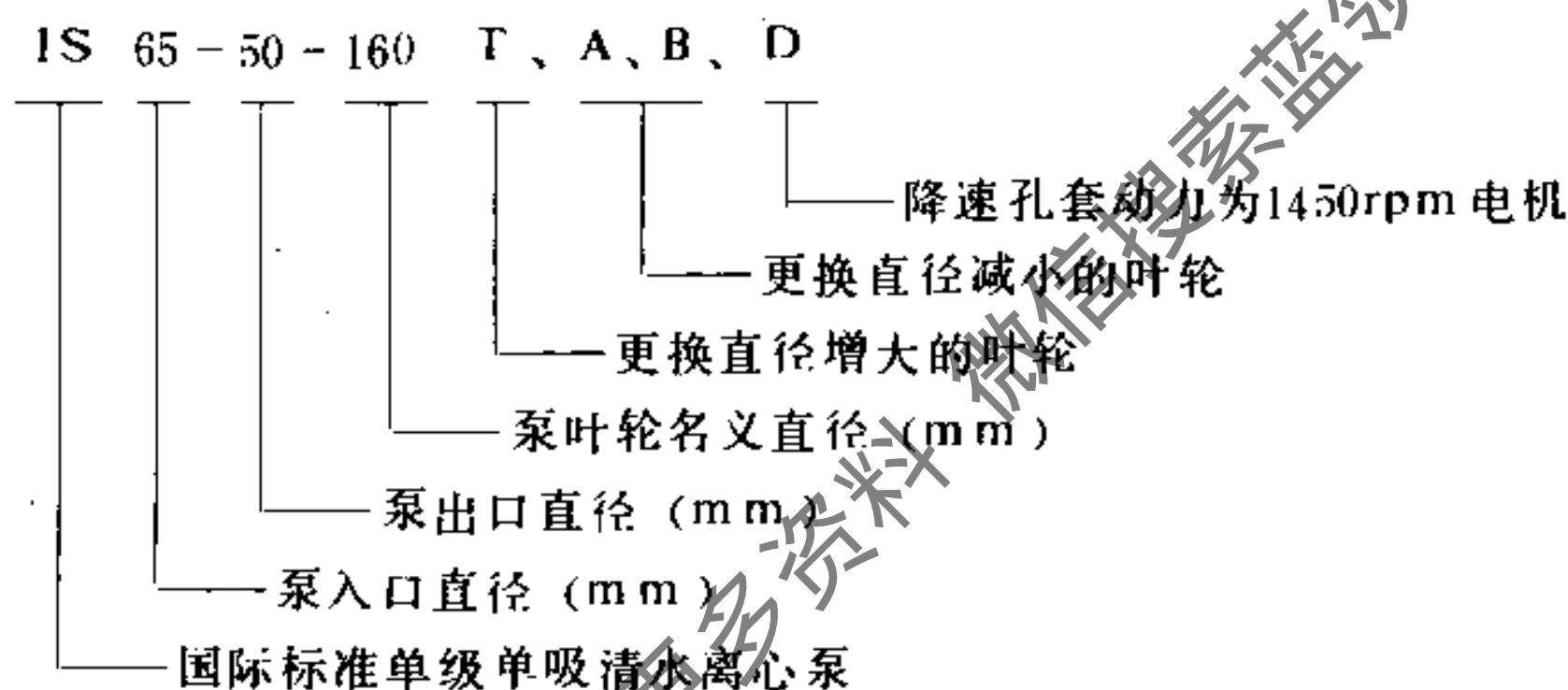
暖通空调工程中常用水泵有单级单吸清水离心泵和管道泵两种。当流量大时，也采用单级双吸离心泵；锅炉给水泵要求高扬程、小流量，一般采用多级泵。

根据“GB5657-85”规定，单级单吸清水离心泵的适用条件为：

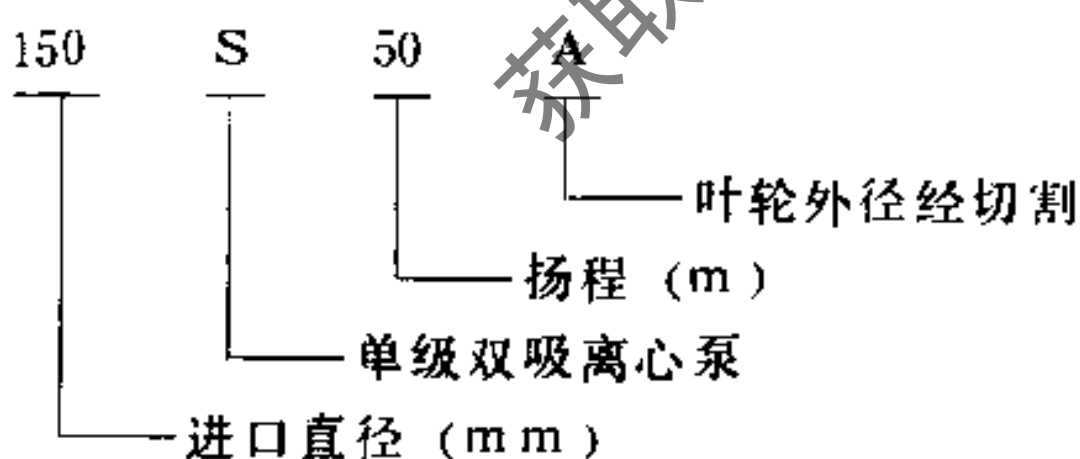
- 最高工作压力不大于1.6MPa，吸入压力不大于0.3MPa；
- 输送液体的温度 $0 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ；
- 输送液体不应含有体积超过0.1%和粒度大于0.2mm的固体杂质。

9.1.1 水泵型号示意

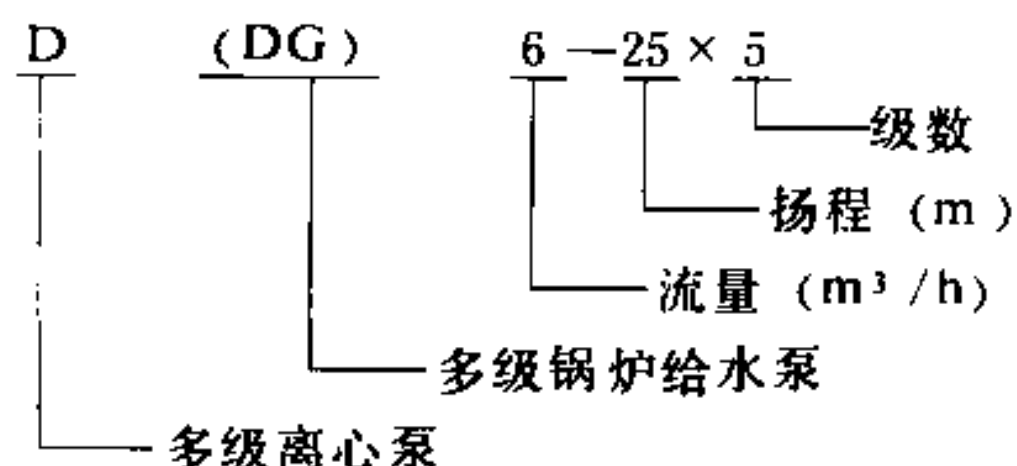
1. 单级单吸清水离心泵



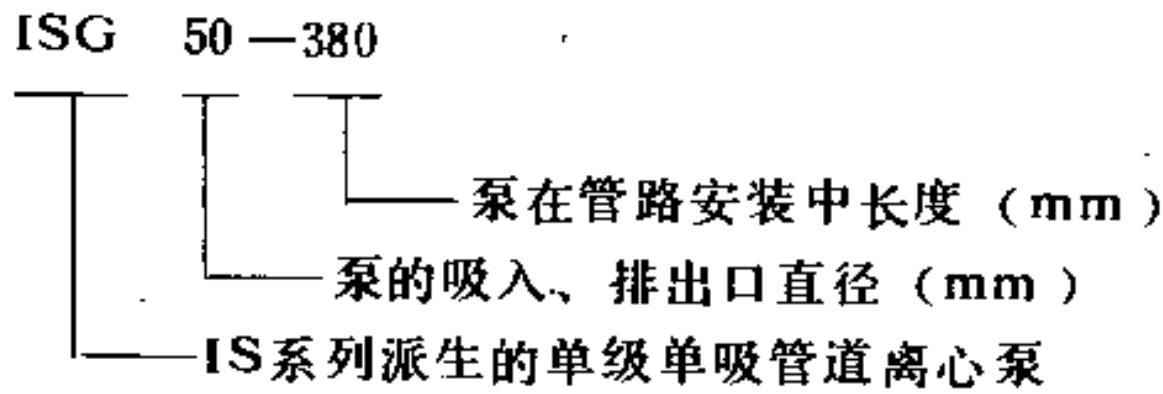
2. 单级双吸离心泵



3. 多级离心泵



4. 管道泵



9.1.2 单台水泵的工作特性

1. 水泵的性能曲线

离心泵的扬程曲线 ($G-H$ 曲线) 一般有三种类型, 如图9.1-1所示。

- 平坦型——流量变化很大时能保持基本恒定的压头;
- 陡降型——流量变化时, 压头的变化相对地较大;
- 驼峰型——当流量自零逐渐增加时, 相应的压头最初上升, 达到最高值后开始下降。

此种类型的泵, 在一定运行的条件下可能出现不稳定工作。

常用单级单吸离心泵的性能曲线如图9.1-2所示。

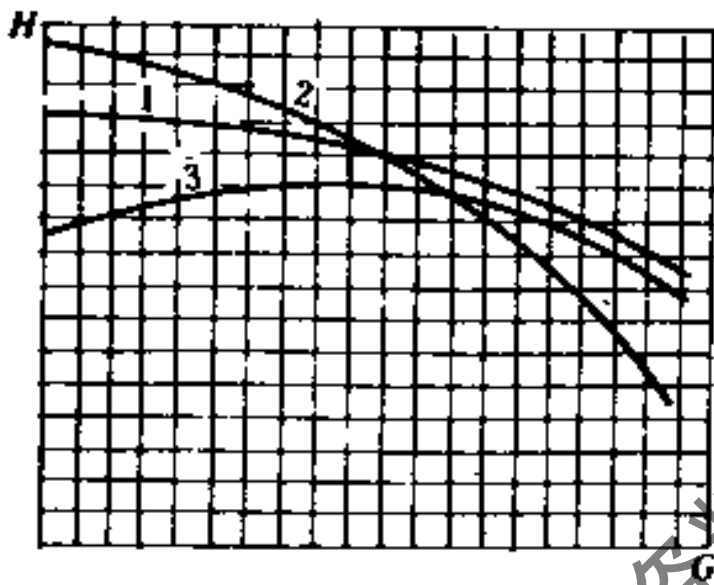


图 9.1-1 三种不同的 $G-H$ 曲线

1—平坦型; 2—陡降型; 3—驼峰型

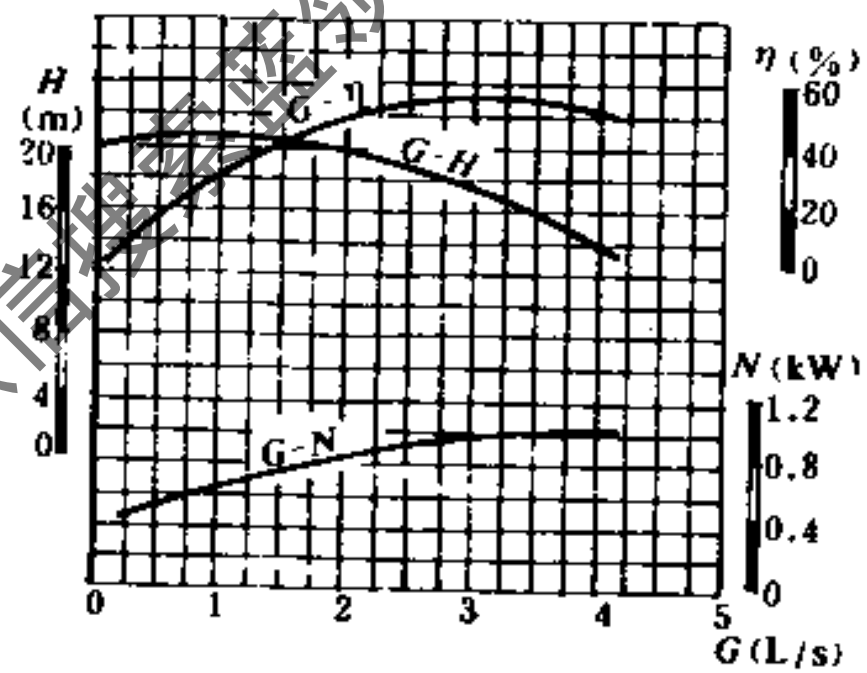


图 9.1-2 单级单吸离心泵的性能曲线

水泵的流量、扬程、轴功率和转速间的关系为:

$$G/G_1 = n/n_1; \quad (9.1-1)$$

$$H/H_1 = (n/n_1)^2; \quad (9.1-2)$$

$$N/N_1 = (n/n_1)^3; \quad (9.1-3)$$

式中 G, H, N ——叶轮转速为 n (r/min) 时的流量 (m^3/h)、扬程 (m) 和功率 (kW);

G_1, H_1, N_1 ——叶轮转速为 n_1 时的流量、扬程和功率。

作为一个系列的泵, 有其型谱图, 可覆盖一大片扬程、流量的区域, 如图9.1-3所示。

2. 管路的特性曲线

水泵总是与一定的管路相连接的, 在管路系统中工作状态不仅决定于泵本身的性能, 还和管路系统的状况有关。图9.1-4所示为管路特性曲线和泵的工作点。

$G-H$ ——泵的性能曲线

R ——管路特性曲线

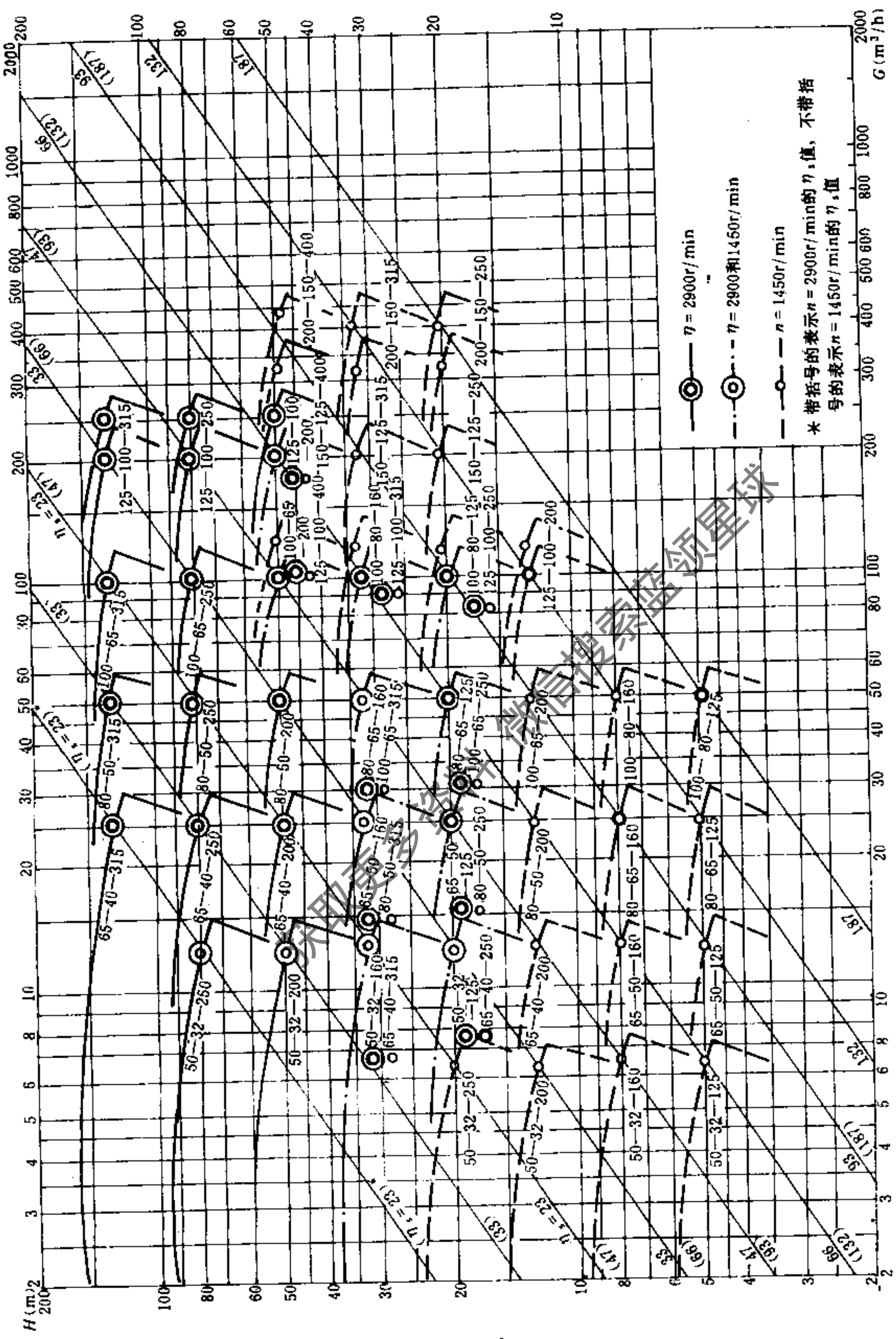


图 9.1.3 IS 型泵系列型谱图

$$H = H_1 + h$$

$$= H_1 + K G^2 \quad (9.1-4)$$

式中 H_1 ——整个系统的静扬程, m;

h ——总扬程, m;

$$h = \frac{\Sigma(\Delta P_m + \Delta P_j)}{\rho g} \quad (9.1-5)$$

式中 ΔP_m 、 ΔP_j ——整个管路(包括吸入管路和压出管路)的摩擦损失和局部阻力损失之和, Pa;

ρ ——流体的密度, kg/m³;

g ——重力加速度, m/s²。

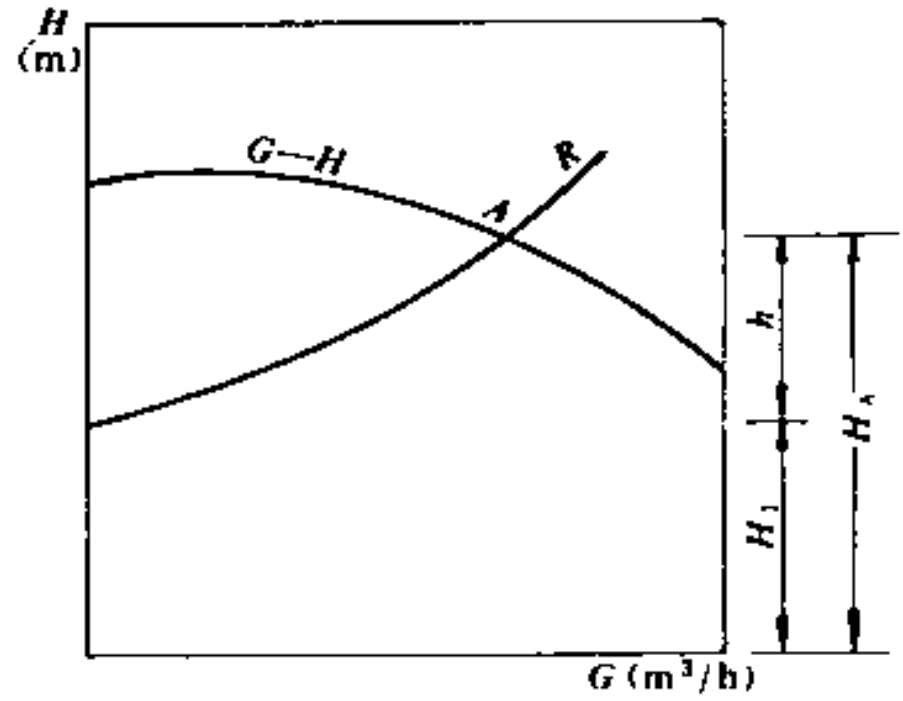


图 9.1-4 管路特性曲线

将泵的性能曲线和管路特性曲线按同一比例画在同一张图上, 两条曲线的交点 A 即为泵在系统中运行的工作点。

3. 泵的轴功率 N_z (kW)

$$N_z = \frac{\rho \cdot G \cdot H}{102 \cdot \eta} \quad (9.1-6)$$

式中 η ——水泵的效率, 一般为 0.5 ~ 0.6。

水泵配用的电机容量 N (kW)

$$N = K_A \cdot N_z \quad (9.1-7)$$

式中 K_A ——电机容量安全系数, 其值见表 9.1-1。

电机容量安全系数

表 9.1-1

水泵轴功率 (kW)	<1.0	1~2	2~5	5~10	10~25	25~60	60~100	>100
K_A	1.7	1.7~1.5	1.5~1.3	1.3~1.25	1.25~1.15	1.15~1.10	1.10~1.08	1.08~1.05

4. 允许吸上的真空高度 H_s

样本给出的允许吸上真空高度系指标准状态下(水温 20℃、水表面为一个标准大气压)运行时, 泵可能有的最大值。如果水泵处于非标准状况下工作, 其允许吸上真空高度 H'_s (m) :

$$H'_s = H_s - \left(10.33 - \frac{P_g}{\rho \cdot g}\right) + \left(0.24 - \frac{P_v}{\rho \cdot g}\right) \quad (9.1-8)$$

式中 P_g ——水泵安装地点的大气压力, Pa; 见表 9.1-2;

P_v ——不同水温下的汽化压力, Pa。见表 9.1-3。

5. 比转数 n_s

比转数是一个无因次相似准则数, 是叶片泵叶片的相似特性值, 其表达式为:

$$n_s = 3.65 \frac{n \cdot \sqrt{G}}{H^{0.75}} \quad (9.1-9)$$

当 $G = 0.075 \text{ m}^3/\text{s}$, $H = 1 \text{ m}$, 比转数在数值上等于它自身的转速, 即 $n_s = n$ 。

不同海拔高程的大气压力

表 9.1-2

海拔高程 (m)	-600	0	100	200	300	400	500	600	
大气压力 (MPa)	0.113	0.103	0.102	0.101	0.100	0.098	0.097	0.096	
海拔高程 (m)	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
大气压力 (MPa)	0.095	0.094	0.093	0.092	0.086	0.084	0.073	0.063	0.055

不同水温时的饱和蒸汽压力

表 9.1-3

水温 (°C)	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
饱和蒸汽压力 (kPa)	0.6	0.9	1.2	1.7	2.4	4.3	7.5	12.5	20.2	31.7	48.2	71.4	103.3

当水泵转速 n 一定时, 同样流量的水泵, n_s 越大, 扬程越低。同样扬程的水泵, n_s 越大, 流量也越大。

9.1.3 多台水泵的工作特性

1. 泵的并联

(1) 泵并联工作的可能性如图9.1-5所示。

图 示	工 作 状 况 分 析
图 a	表示两台相同型号水泵的并联曲线。因为两台泵的 $G-H$ 曲线完全叠加, 并联后的总和特性曲线为各单台泵等扬程下流量的叠加, 此种并联称之为特性曲线的完全并联
图 b	表示两台不同型号的水泵并联, 一台大, 一台小, 起始扬程不同, 但相差不大, 此种水泵的并联, 只能在 A 点以后才开始, 称为不完全并联 (局部并联)
图 c	表示两台扬程相差过大的水泵并联, 大泵任何时候的扬程都比小泵的起始扬程高, 在这样的情况下, 不能形成并联工作

(2) 并联工作的管路特性曲线

a. 型号相同水泵的并联工作, 如图9.1-6。

图中点 1 —— 两台水泵并联时的工作点;

点 2 —— 并联工作时, 每台水泵的工作点;

点 3 —— 一台水泵单独工作时的的工作点。

由图可以看出

$$G_{1+2} = 2G'_1 < 2G_1$$

$$G'_1 < G_1$$

这就说明, 一台泵单独工作时的流量, 大于并联工作时每台泵的流量。两台泵并联工

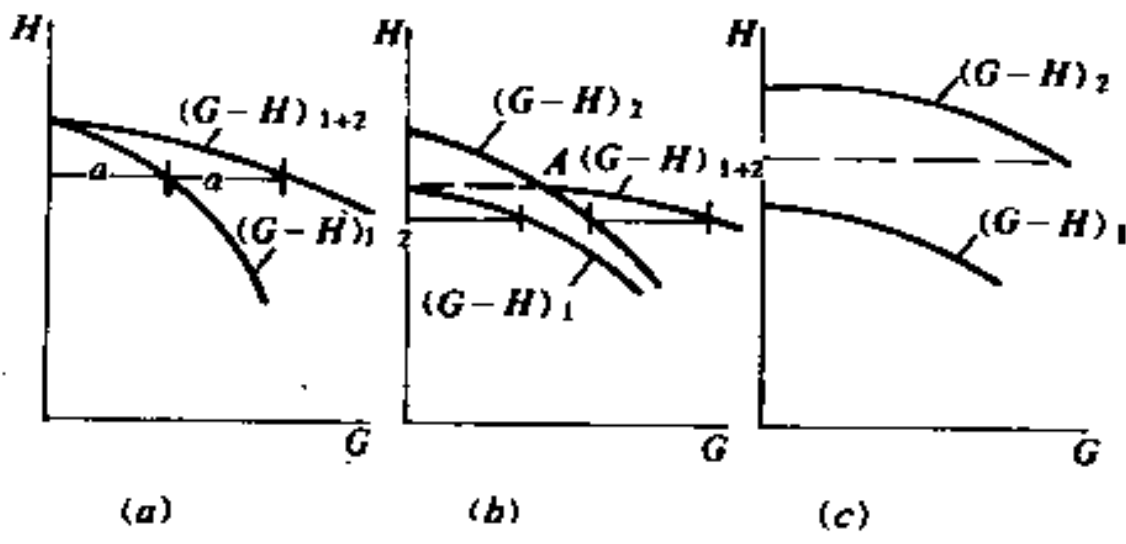


图 9.1-5 水泵并联的可能

(a) 完全并联; (b) 局部并联; (c) 不能并联

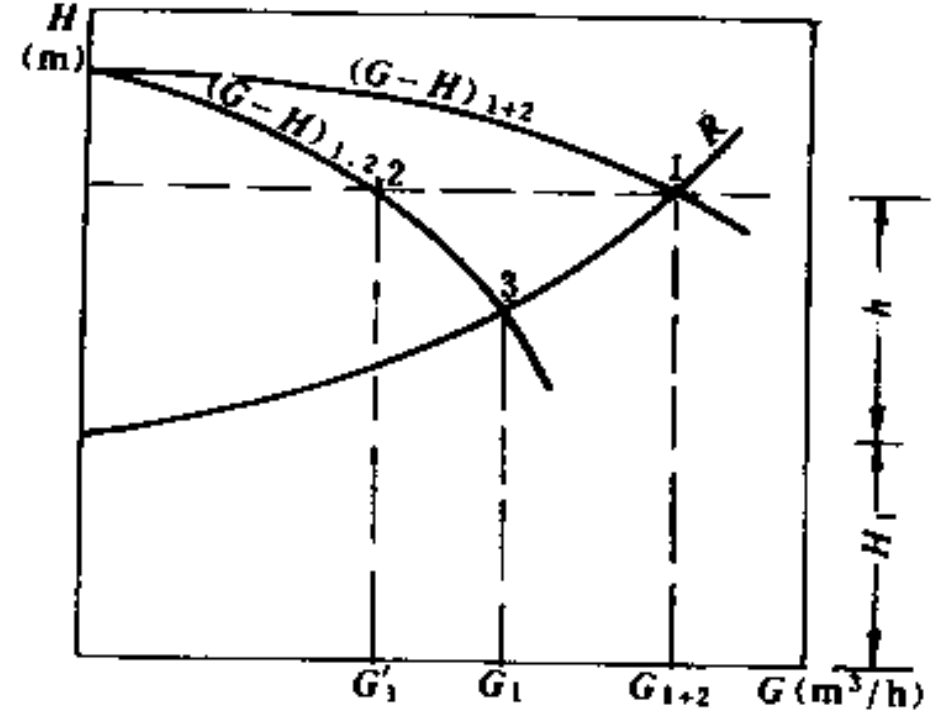


图 9.1-6 两台相同型号泵的并联

作时,其流量不能比单台泵工作时成倍增加。这在多台泵并联时就更明显,图9.1-7为五台同型号水泵并联的工作特性曲线。

b. 两台不同型号泵的并联,如图9.1-8。

由图中可看到,当工作扬程大于A点时,性能曲线同第1台泵,只有当扬程小于A点时,第2台泵才能投入工作。图中点1为并联工作时的的工作点,点2、点3为2台水泵在

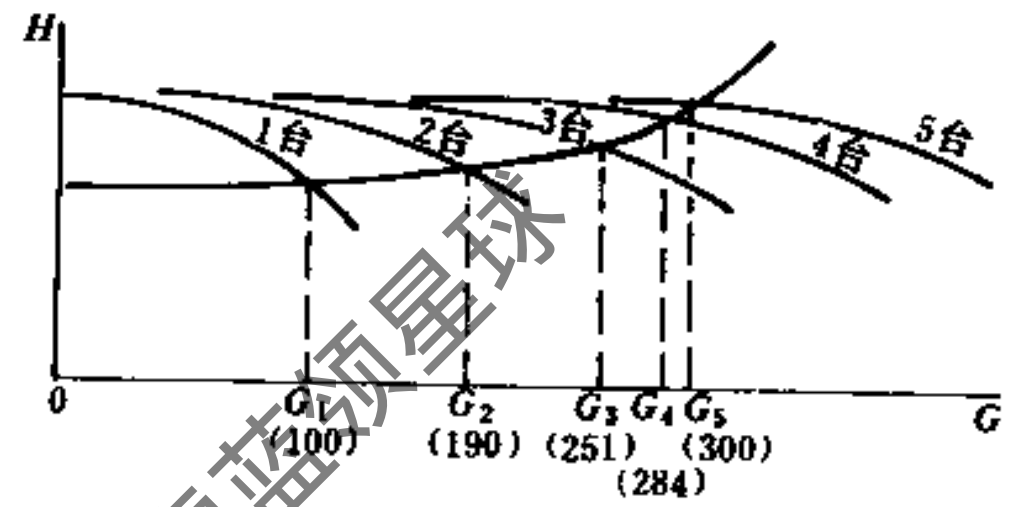


图 9.1-7 五台同型号水泵并联

泵台数	流量	流量的增加值	与单台泵运行比较流量的减少
1	100	90	0
2	190	61	-0.05
3	251	33	-0.16
4	284	16	-0.29
5	300		-0.40

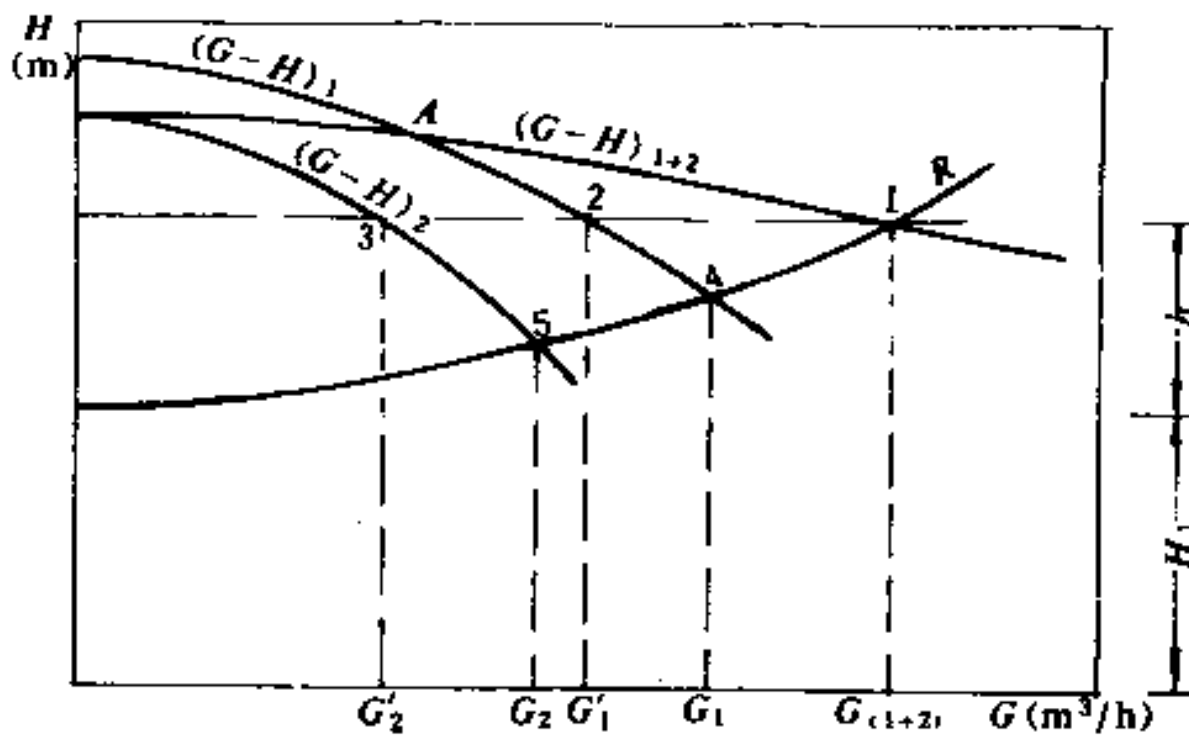


图 9.1-8 两台不同型号泵的并联

联合工作时的的工作点，点4、点5为2台水泵单独工作时的的工作点。

$$G_{(1+2)} = G'_1 + G'_2$$

在联合工作中泵的流量小于单台工作时的流量，即 $G'_1 < G_1$ ， $G'_2 < G_2$

$$G_{(1+2)} < G_1 + G_2$$

2. 泵的串联

当要求加大扬程时，可采用泵串联型式，其特性曲线见图9.1 9。串联运行水泵的总扬程等于2台泵在同一流量的扬程之和。

两台水泵串联工作时应注意下列事项：

- 两台水泵的流量应该相近，否则容量较小的一台会产生严重的超负荷。
- 串联在后面的水泵，构造必须坚固，否则易遭到损坏。

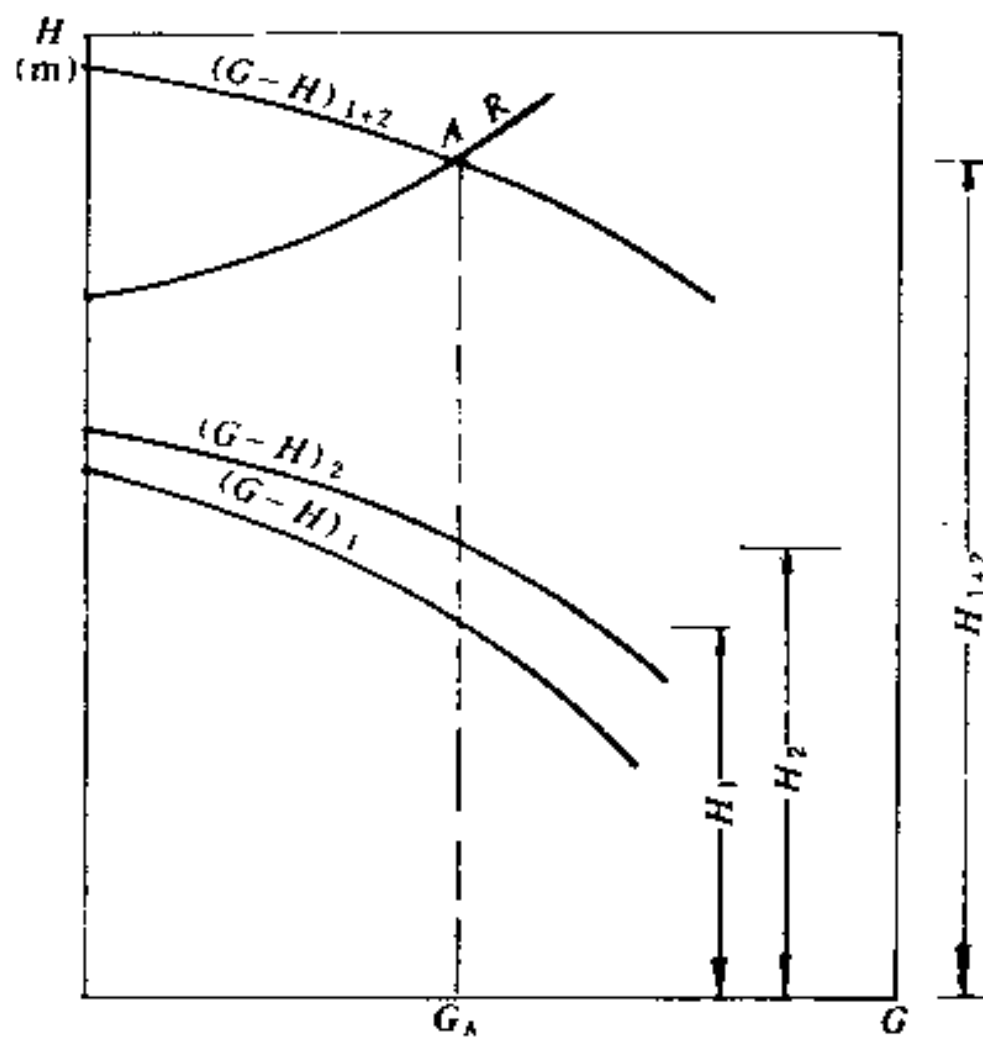


图 9.1 9 串联水泵的特性曲线

9.1.4 管道泵

管道泵用于暖通空调的水系统上，有其特殊优点。

- 泵的体积小，重量轻，进出水均在同一直线上，可以直接安装在回水干管上，不需设置混凝土基础，安装方便，占地少；
- 采用机械密封；其性能好，运行时不易泄漏；
- 泵的效率、耗电少、噪声低。

最常用的BG型管道泵的特性曲线见图9.1-10。

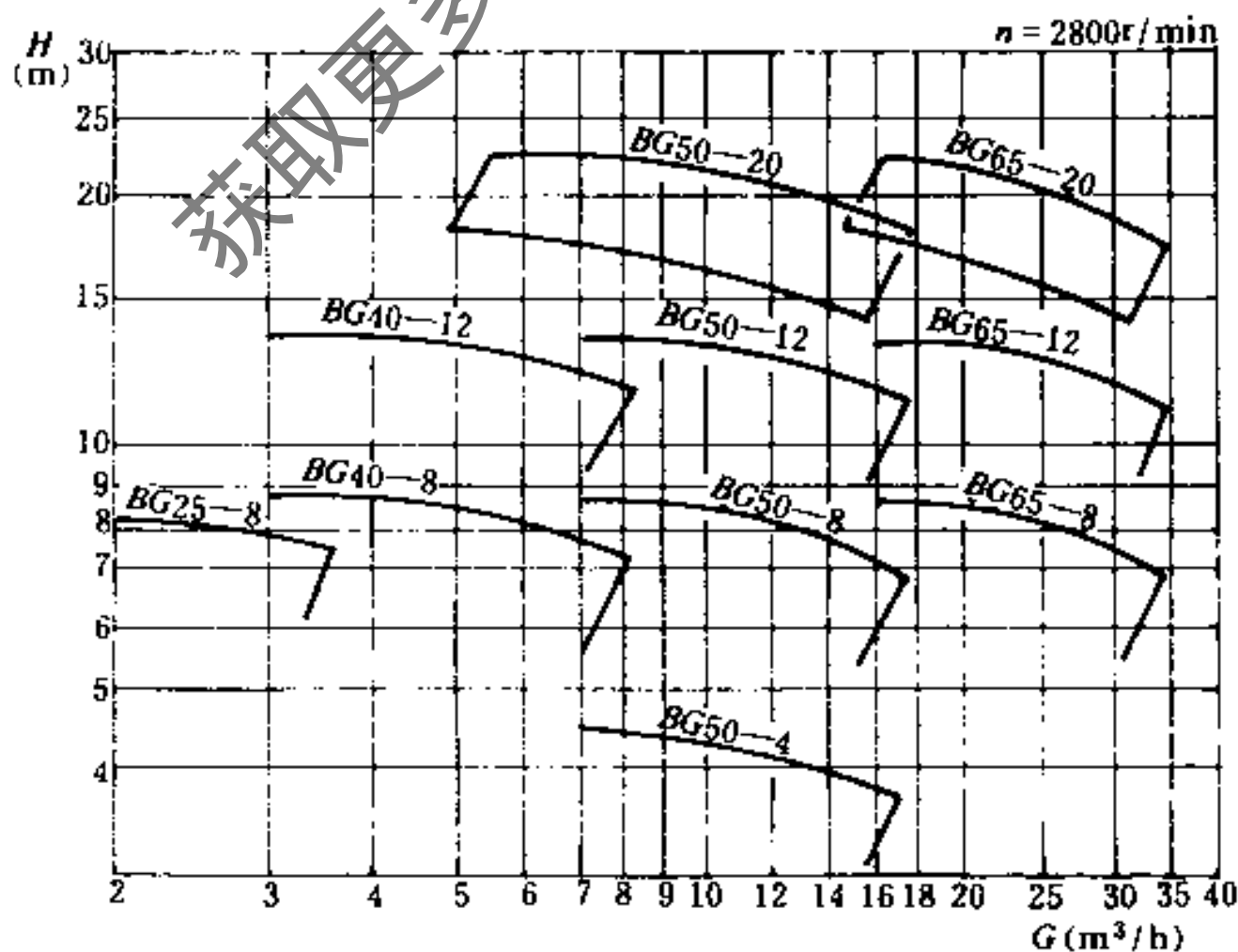


图 9.1-10 BG型管道泵系列型谱

9.1.5 水泵的选择

选择原则及注意事项:

- 首先要满足最高运行工况的流量和扬程,并使水泵的工作状态点处于高效率范围。
- 泵的流量和扬程应有10~20%的富裕量。
- 当流量较大时,宜考虑多台并联运行,并联台数不宜超过3台。
- 多台泵并联运行时,应尽可能选择同型号水泵。
- 选泵时必须考虑系统静压对泵体的作用,注意水泵壳体和填料的承压能力以及轴向推力对密封环和轴封的影响。高层建筑水系统采用闭式循环时,系统的静压力大大超过系统克服沿程摩擦和局部阻力损失所需的压力,在选用水泵时应注明所承受的静压值,必要时由制造厂家做特殊处理。

9.2 通 风 机

一般通风空调工程中常用的通风机,按其作用原理可分为离心式和轴流式两种。

9.2.1 通风机的全称

通风机的全称包括名称、型号、机号、传动方式、旋转方向和风口位置六部分。

1. 名称: 通风机的名称由三部分组成:

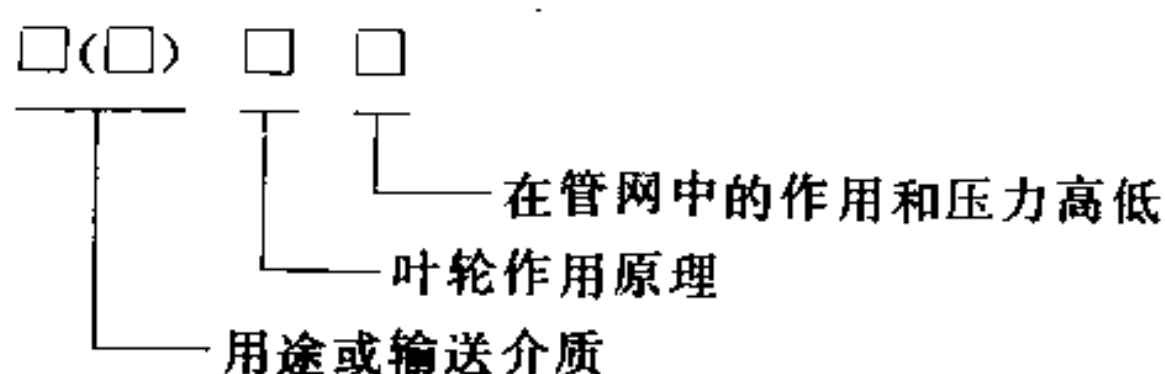
- 通风机的用途或输送介质,其称呼和代号见表9.2-1规定。
- 通风机叶轮的作用原理,有离心式、轴流式等。
- 通风机在管网中的作用和压力高低。

常用风机产品用途代号

表 9.2-1

用途类别	代 号	
	汉 字	简 写
1. 一般通用通风换气	通 用	T
2. 防爆气体通风换气	防 爆	B
3. 防腐气体通风换气	防 腐	F
4. 纺织工业通风换气	纺 织	FZ
5. 船舶用通风换气	船 通	CT
6. 矿井主体通风	矿 井	K
7. 隧道通风换气	隧 道	CD
8. 排尘通风	排 尘	C
9. 锅炉通风	锅 通	G
10. 锅炉引风	锅 引	Y

名称组成的顺序关系如下:



2. 型号: 型号组成的顺序 (见表9.2-2和表9.2-3)

离心式通风机型号组成顺序

表 9.2-2

型 号	
型 式	品 种

- 说明: 1. 用途代号按表9.2-1规定。
 2. 压力系数采用一位整数。个别前向叶轮的压系数大于1.0时, 亦可用一位整数表示。若用二叶轮串联结构则用2×压力系数表示。
 3. 比转数采用两位整数。若用二叶轮并联结构, 或单叶轮双吸入结构, 则用2×比转数表示。
 4. 若产品的型式中有重复代号或派生型时, 则在比转数后加注序号, 采用罗马数字体 I, II 等表示。
 5. 设计序号用阿拉伯数字“1”, “2”等表示。供对该型产品有重大修改时用。若性能参数、外形尺寸、地基尺寸, 易损件没有更动时, 不应使用设计序号。启用时应向沈阳鼓风机研究所申请备案。
 6. 机号用叶轮直径的dm数表示。

轴流式通风机型号组成顺序

表 9.2-3

型 号	
型 式	品 种

- 说明: 1. 叶轮数代号, 单叶轮可不表示, 双叶轮用“2”表示。
 2. 用途代号按表9.2-1规定。
 3. 叶轮毂比为叶轮底径与外径之比, 取两位整数。
 4. 转子位置代号卧式用“A”表示, 立式用“B”表示。产品无转子位置变化可不表示。
 5. 若产品的型式中有重复代号或派生型时, 则在设计序号前加注序号。采用罗马数字体 I, II 等表示。

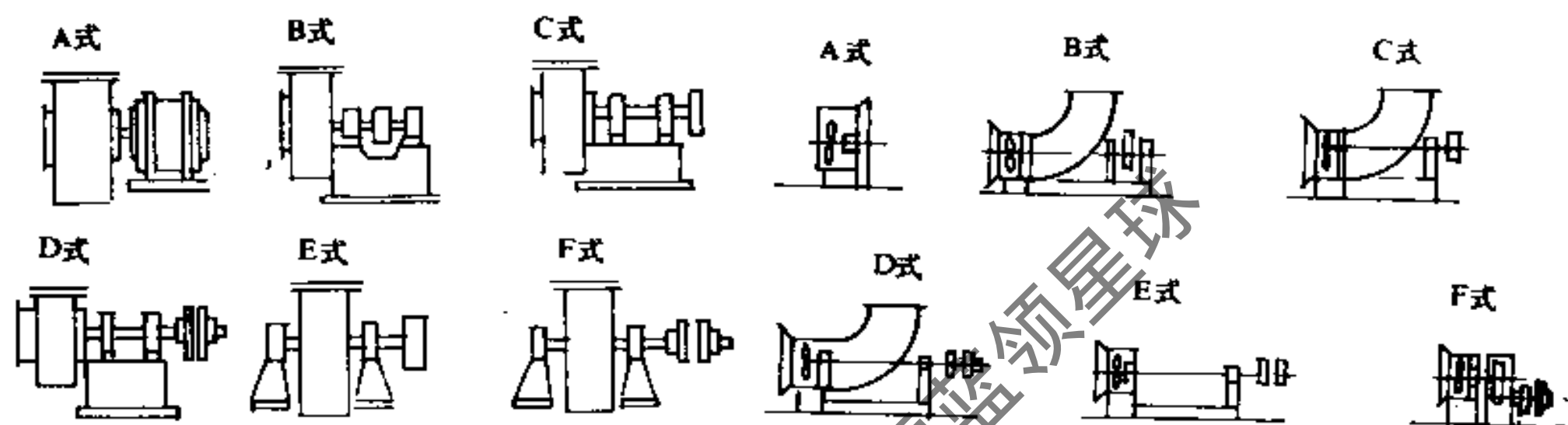
3. 机号: 以风机叶轮直径的dm值 (尾数四舍五入) 冠以符号“№.”表示。

4. 传动方式 (见表9.2-4和图9.2-1)

通风机的六种传动方式

表 9.2-4

代 号		A	B	C	D	E	F
传 动 方 式	离心通风机	无轴承, 电机直联传 动	悬臂支 承, 皮带轮 在轴承中间	悬臂支 承, 皮带轮 在轴承外侧	悬臂支 承, 联轴器 传动	双支承, 皮带在外侧	双支承, 联轴器传动
	轴流通风机	同上	同上	同上	悬臂支承 联轴器传动 (有风筒)	悬臂支承, 联轴器传动 (无风筒)	齿轮传动



(a) 离心通风机的传动方式

(b) 轴流通风机的传动方式

图 9.2-1 风机的传动方式

5. 旋转方向

从主轴槽轮或电动机位置看叶轮旋转方向, 顺时针者为“右”, 逆时针者为左。

6. 风口位置

离心通风机的风口位置, 以叶轮的旋转方向和进、出风口方向(角度)表示。

写法是:

右(左)出风口角度/进风口角度。其基本出风口位置为八个, 特殊用途可增加补充, 见图9.2-2和表9.2-5。

轴流通风机的风口位置, 用入(出)若干角度表示, 见图9.2-3。基本风口位置有四个, 特殊用途可增加, 见表9.2-6。

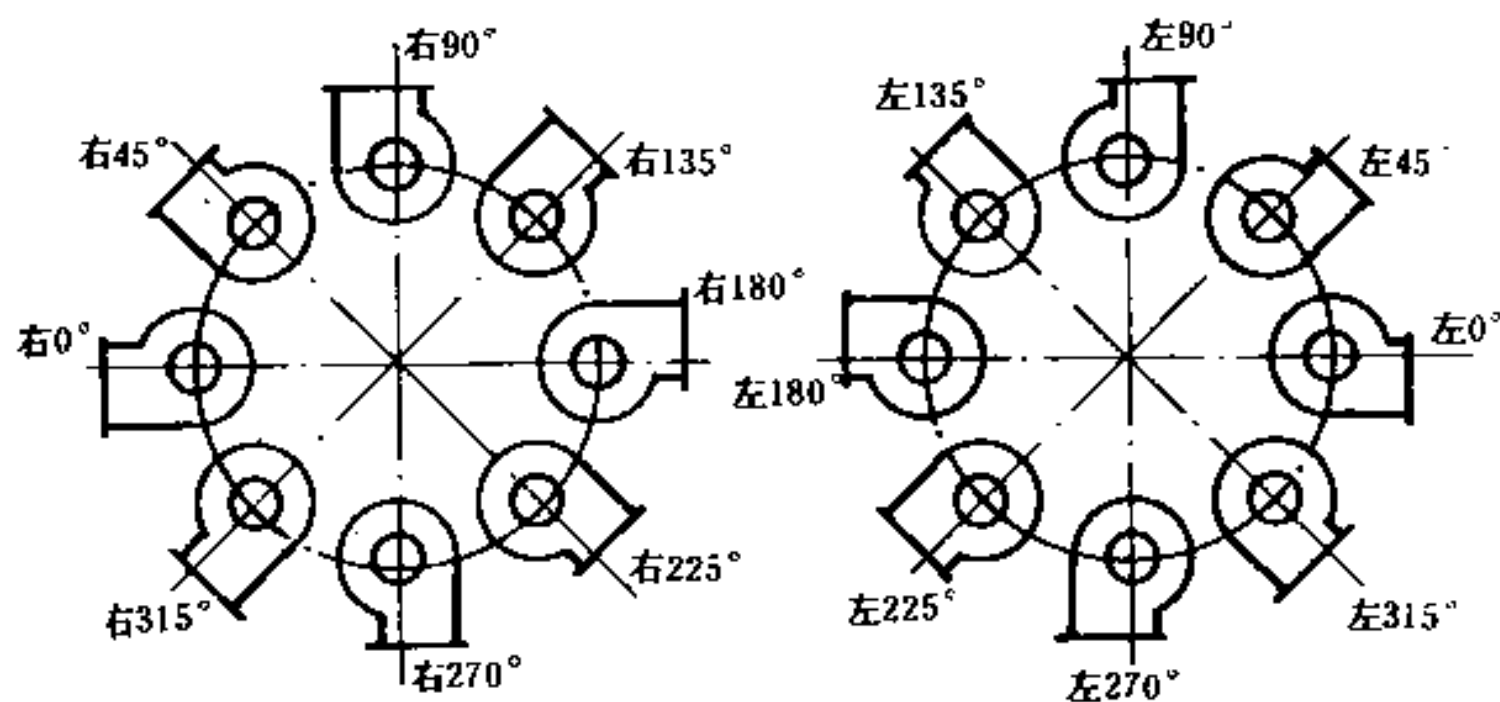

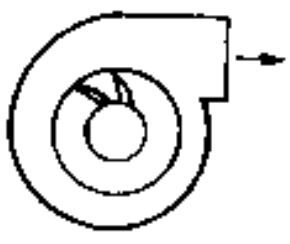



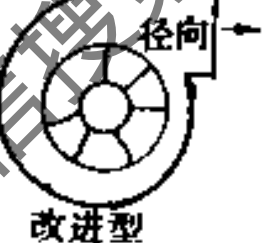



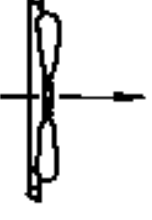

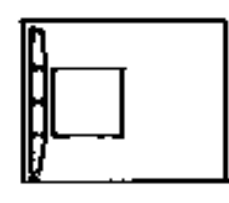

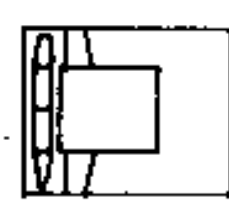

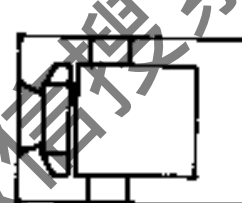




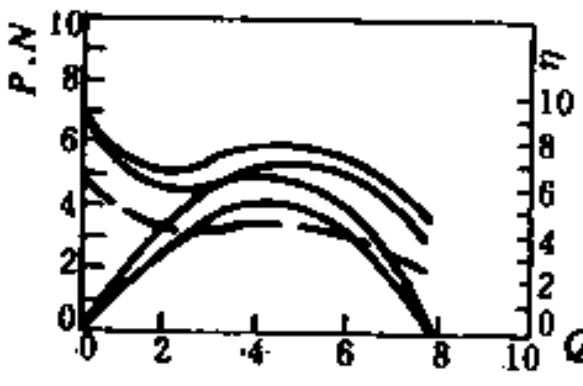
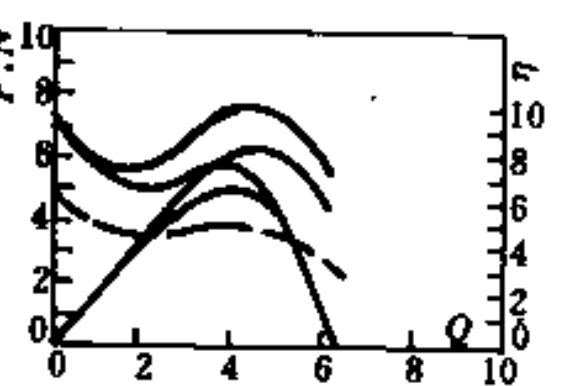
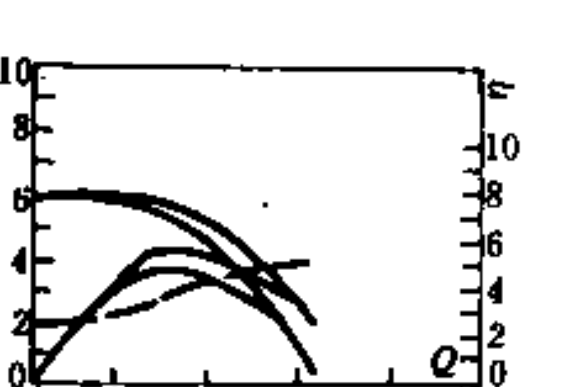
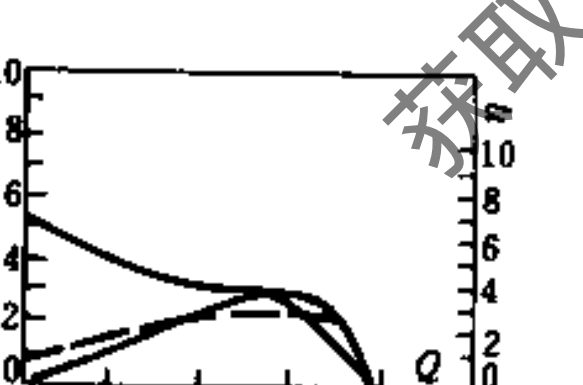
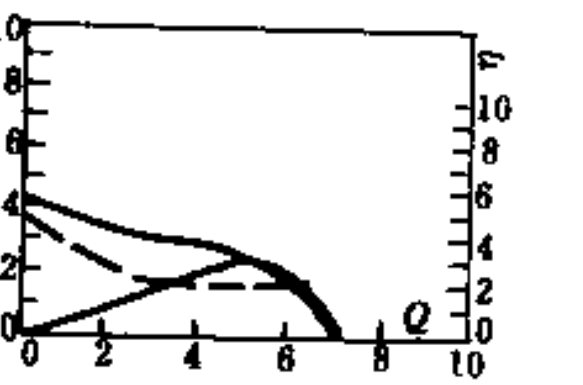


图 9.2-2 离心通风机出风口位置

	种类	叶轮设计	外壳设计
离心式 风机	流线型	 <p>离心风机中效率最高，一般设10~16枚叶片，按旋转方向成周边离心分布</p>	 <p>旋涡型，能有效的将动压变成静压。要求叶轮和入口喇叭的对中及间隙非常精确，以达到最高效率</p>
	后倾或后弯叶型	 <p>均匀厚度的后倾或后弯叶片。10~16枚叶片沿旋转方向布置，效率比流线型稍低</p>	 <p>同流线型</p>
	径向型	 <p>有6~10枚叶片，径向或带弧弯改进型的径向叶片。效率偏低，但有良好的机械强度，叶轮易更换。宜中速运行</p>	 <p>旋涡型。由于效率低些，对外壳的要求不像对流线型或后弯叶型严格</p>
	前弯叶型	 <p>效率比流线型或后弯叶型低。有20~64枚较小的前弯叶片。构造轻、造价低。空气离开叶轮时的速度大于叶片顶部处的速度。在相同性能时，在所有离心风机中其叶轮最小，运行速度最低</p>	 <p>旋涡型。叶轮和入口的配合不像对流线型和后弯叶型似的严格</p>
轴流 风机	螺旋桨型	 <p>构造简单、价廉。2片或更多的均厚叶片连接在叶轮上。能量的传递主要由动压头转换得来</p>	 <p>外壳为简单的圆筒，孔板或文丘里管。较好的设计应使圆筒尽可能靠近叶片顶部，使在叶轮处形成一个均匀的入口气流</p>

性能曲线	性能特性	应用范围
	<p>最高效率点在50~65%的流量范围处, 压力特性好, 耗功率也接近最大值。当压力降低并趋向无压时, 耗功率也因自身限制变小</p>	<p>低、中和高压系统, 特别是用在大系统中, 如大型通风、空调、净化系统, 其节能效果明显</p>
	<p>性能特性同流线型 最高效率比流线型稍低些</p>	<p>一般通风和空调系统。还可用在由于腐蚀, 不能采用流线型风机的场合</p>
	<p>风机的压头比前两种高, 在最高效率点的左边, 性能曲线有个拐点。随着风压降低, 风量加大, 风机的耗功率不断上升</p>	<p>主要用于原料输送和除尘系统。叶片是加固型, 且易于在现场修理、更换。很少在通风和空调系统中使用</p>
	<p>压力曲线不如下弯叶型陡, 该曲线在最高效率点的左边有个低谷。最高效率点在最高压力点的右边, 其流量为40~50%全流量时, 风机应在最高压力点的右边运行 注意: 耗功率随着风机运行趋向无压排出时而不不断上升, 选电机时要考虑此特性</p>	<p>用在低压的供暖、通风及空调系统中, 如住宅火炉供暖、中央空调和柜式空调系统、房间空调器及屋顶空调器</p>
	<p>风机的流量大, 压力低, 最高效率点出现在压头接近无压自由排出的状态。由于叶片的作用和缺少变直能力, 气流出口呈环状和旋涡状</p>	<p>用在大流量、低压头系统, 如在一个空间内的气流循环, 通过墙面不接风管的通风</p>

种类		叶轮设计	外壳设计
轴流风机	筒形轴流	 <p>4至8片流线型或均匀厚度叶片。轮毂小于50%叶片端部直径。效率比螺旋桨式略高些，且有可用的静压值</p>	 <p>圆筒型管子，叶轮顶端和套筒间隙紧凑，其性能优于螺旋桨型</p>
	叶片轴流	 <p>叶片设计良好，效率高，允许中高压时使用。叶片为流线型时效率最高。叶片可以是固定的，也可以是可调整角度的 轮毂多大于叶片顶部直径的50%</p>	 <p>圆筒紧靠叶片的顶部，并装有导流叶片。导流叶片将旋转的能量用来增加风压，提高效率</p>
专用风机	筒型离心式	 <p>通常采用流线型或后倾（后弯）型叶片，也有用混合型螺旋桨</p>	 <p>圆筒如叶片轴流风机，但叶轮外径不紧靠圆筒，空气从叶轮径向排出，并经由导流叶片改变流向90°后排出</p>
	屋顶通风器离心	 <p>多数设计采用流线型或后倾（后弯）叶片以达到低压头大风量。实际使用中还有各种特殊的离心螺旋桨如混流设计</p>	 <p>通常不带外筒，空气通过螺旋桨成360°排至大气</p>
	轴流	 <p>叶轮形式多种多样，以达到大流量低压头</p>	 <p>基本上是一个安装在基座上的螺旋桨推进器，上设防雨及安全罩，空气通过罩下部的环状空间排出</p>

性能曲线	性能特性	应用范围
	<p>高流量、低压头。由于螺旋桨式的旋转叶轮及缺少导流叶片，出来的环状气流呈旋转或旋涡型。从性能曲线看，最高压力点的左边有个凹谷，应避免</p>	<p>用于对下降气流要求不严格的中、低压供暖、通风和空调系统中。也用在工业中如干燥炉、喷漆柜和燃烧装置的排烟系统</p>
	<p>高压、中流量。从曲线可看到，在最高压力点左边有个由空气停止而引起的低谷，应避免。导流叶片将叶轮传给空气的旋转能量改变方向以增加压力和提高效率</p>	<p>用于供暖通风空调系统。其优点是空气直流，安装方便，下游的气流分布良好 同筒形轴流一样可用在工业建筑中，与离心风机相比，其安装地位紧凑</p>
	<p>性能类似于后弯叶型离心风机，但风压低、风量小。由于在筒内气流要转90°，其效率比后弯叶型风机低。有些设计的产品会出现如轴流似的低谷</p>	<p>主要用于暖通空调的低压回风系统。气流流型为直通式</p>
	<p>常用在不接风管的系统，低压头、大流量。这类产品仅表示静压和静压效率</p>	<p>用于一般工厂、厨房、仓库的低压排风以及商业上要求压力较小的系统。初投资及运行费低 离心式比下面提到的轴流式安静</p>
	<p>通常用在不接风管的系统，低压头、大流量。这类产品仅提供静压和静压效率</p>	<p>用于一般工厂、厨房、仓库的低压排风及商业上要求压力较小的场所。初投资及运行费低</p>

离心通风机出风口位置

表 9.2-5

基本的	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	(315°)
补充的	15° 30°	60° 75°	105° 120°	150° 165°	195° 210°	(240°) (255°)	(285°) (300°)	(330°) (345°)

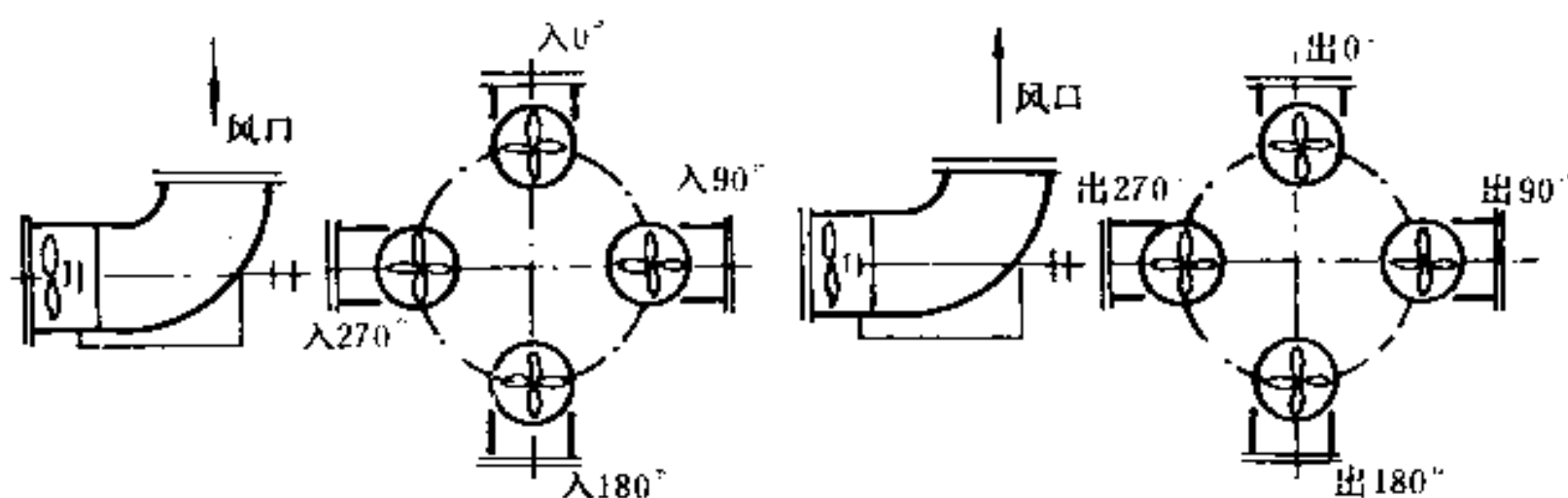


图 9.2-3 轴流通风机风口位置

轴流通风机风口位置

表 9.2-6

基本的	0°	90°	180°	270°
补充的	45°	135°	225°	315°

9.2.2 单台风机的工作特性

1. 风机的构造和性能曲线

本专业常用的离心风机、轴流风机和屋顶风机的构造、性能曲线及应用范围详见表9.2-7。

2. 风机的管网特性

从风机工作的通风系统看，在吸风口和送风口处存在有静压差外，管网的特性曲线取决于管网的总阻力和管网排出时的动压

$$P = SQ^2 \quad (9.2-1)$$

即管网的阻力特性曲线呈抛物线向上，随流量的增大而增大，如图9.2-4所示。风机特性曲线和管网特性曲线的交点即为该风机在管网中的工作点。

3. 风机的功率

风机所需的轴功率 N_z (kW)：

$$N_z = \frac{Q \cdot P}{3600 \eta \cdot \eta_m} \quad (9.2-2)$$

式中 Q ——风机所输送的风量， m^3/h ；
 P ——风机所产生的风压，Pa；
 η ——风机的全压效率；
 η_m ——风机的机械效率，见表9.2-8。

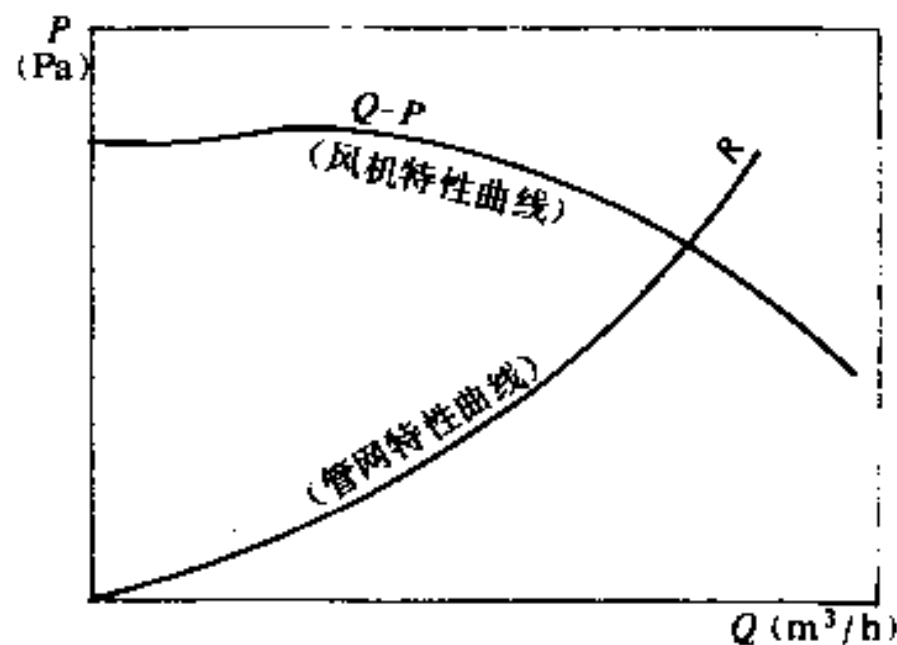


图 9.2-4 管网中风机的工作特性

风机的机械效率 η_m (%)

表 9.2-8

传动方式	电动机直联	联轴器连接	三角皮带传动
η_m	100	98	95

配用电机的功率 N ，可按下式计算

$$N = K \cdot N_z \quad (9.2-3)$$

式中 K ——电动机容量安全系数，见表9.2-9。

电动机容量安全系数 K

表 9.2-9

电动机容量 (kW)	0.5	0.5~1.0	1~2	2~5	>5
K	1.5	1.4	1.3	1.2	1.13

4. 风机的比转数

风机的比转数 n_s ，表示风机在标准状态下流量 Q 、压力 P 和转速 n 之间的关系，同一类型的风机，其比转数必然相等。

$$n_s = \frac{n}{\left(\frac{P}{Q}\right)^{0.5} \cdot P^{0.25}} \quad (9.2-4)$$

9.2.3 多台风机联合的工作特性

风机并联工作可以提高风量，串联工作可以提高风压；但联合运行与单台运行比较总会引起经济性和可靠性的降低，因此在非必要的情况下，应尽量不采用。

1. 并联工作

图9.2-5为两台相同风机并联运行。

$$Q_{1+2} = 2Q_1' < 2Q_1$$

图9.2-6为两台不同风机的并联运行。

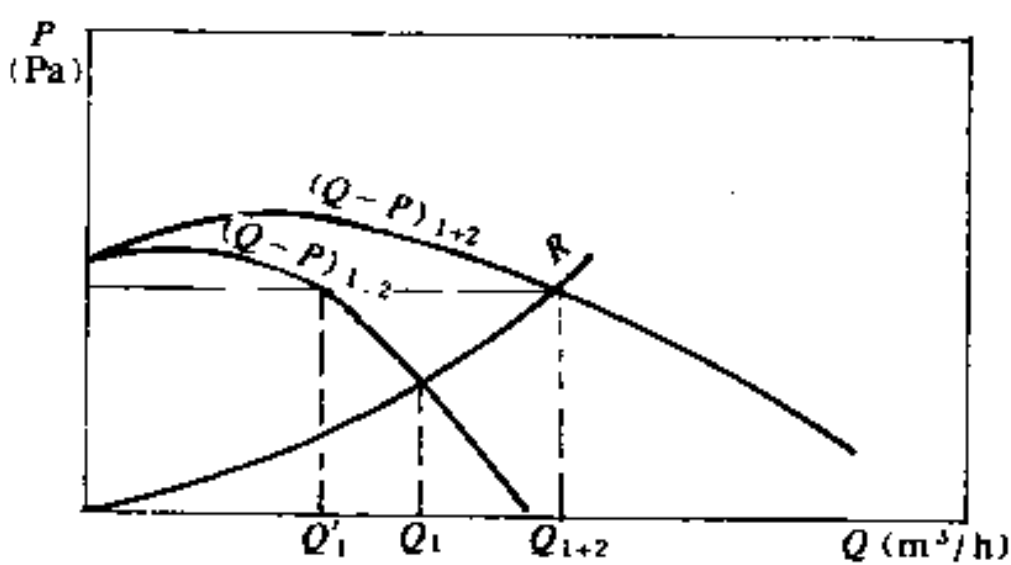


图 9.2-5 两台相同风机的并联运行

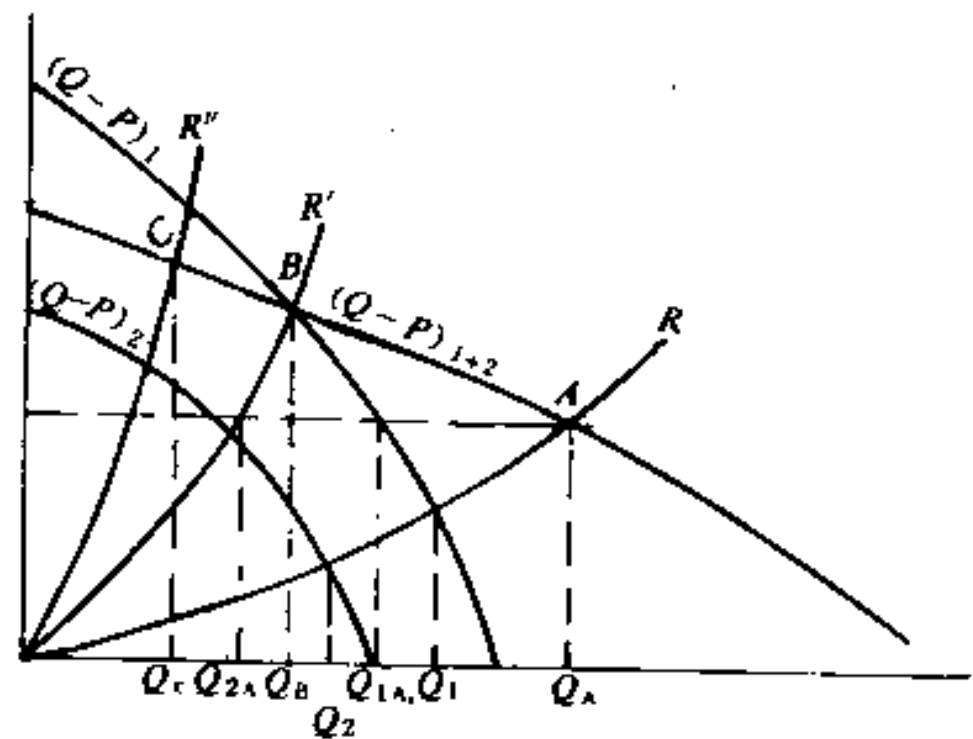


图 9.2-6 两台不同风机的并联运行

并联风机主要目的是加大风量，在 A 点并联运行工况是良好的。

$$Q_A = Q_{1A} + Q_{2A} < Q_1 + Q_2$$

风量小于两台风机单独运行时的风量之和，但大于单台风机时的风量。

B 、 C 点则不好，在 B 点，两台风机并联运行的风量等于 1 风机的风量；在 C 点，并联风机运行的风量小于 1 风机的风量。应注意避免并联风机在阻力大的情况下运行。

2. 串联工作

图 9.2-7 表示两台性能不同的风机串联运行的性能曲线。 B 点是串联运行的临界点，即串联运行的性能曲线和单台风机性能曲线的交点。工况点在 B 点的左方，串联运行可增加气体的压力和流量，离 B 点越远，串联运行的效果越好；反之，工况点在 B 点的右边，串联运行没有效果，气体的压力和流量比单台风机 2 单独工作时的流量和压力还小。因此，一定要经过综合性能分析后，再确定串联运行是否有效。

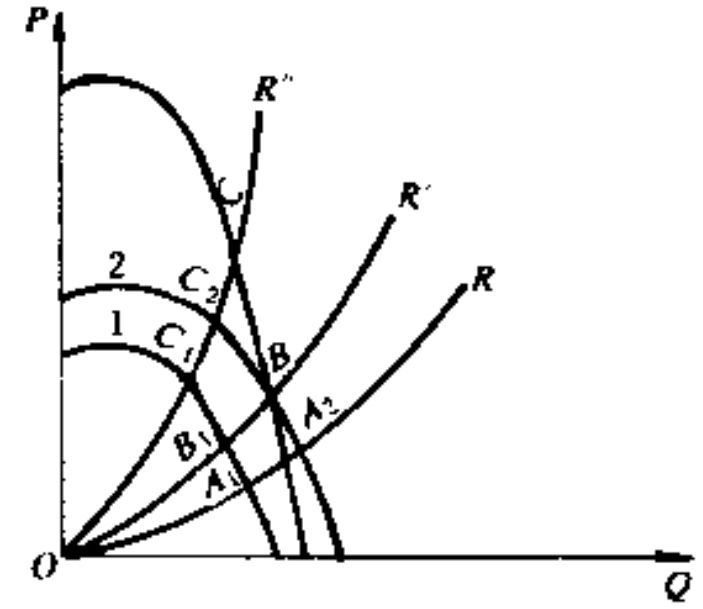


图 9.2-7 两台性能不同的风机串联运行的性能曲线

9.2.4 通风机的选择

选择风机时应注意，性能曲线和样本上给出的性能，均指风机在标准状态下（大气压力 101.3 kPa、温度 20℃、相对湿度 50%、密度 $\rho = 1.20 \text{ kg/m}^3$ ）的参数。如果使用条件改变，其性能应按下列各式进行换算，按换算后的性能参数进行选择。

• 改变介质密度 ρ 、转速 n 时

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_0 \cdot \frac{n}{n_0} \\ P &= P_0 \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \\ N &= N_0 \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \\ \eta &= \eta_0 \end{aligned} \right\} \quad (9.2-5)$$

• 当大气压力 P_0 及其温度 t 改变时

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_0 \\ P &= P_0 \cdot \frac{P_b}{P_{b0}} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t} \\ N &= N_0 \cdot \frac{P_b}{P_{b0}} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t} \\ \eta &= \eta_0 \end{aligned} \right\} \quad (9.2-6)$$

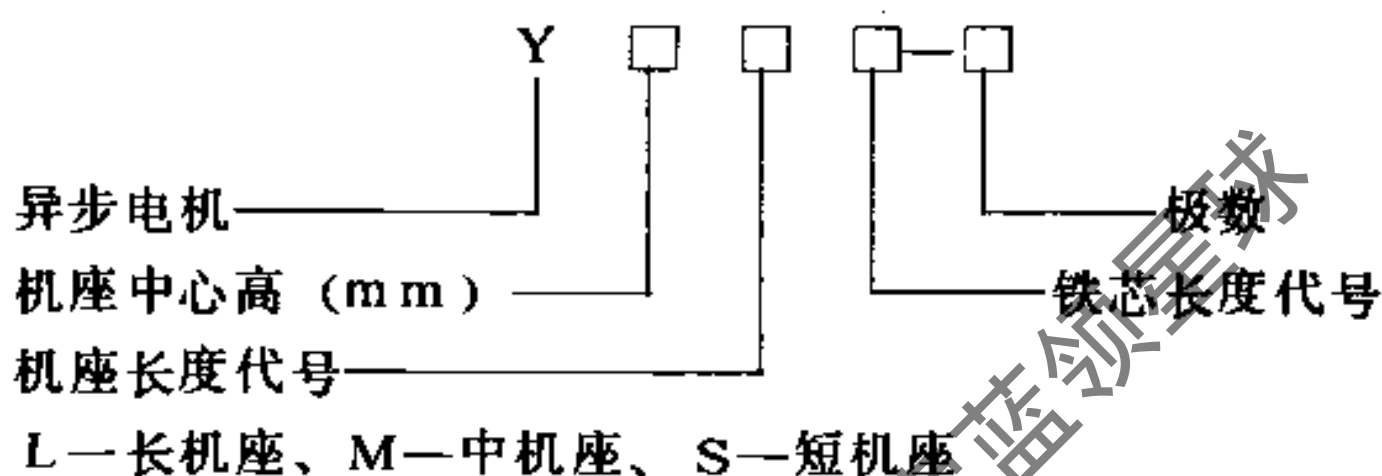
式中 Q_0 、 P_0 、 N_0 、 η_0 、 n_0 、 P_{b0} ——标准状态或性能表中的风量、风压、功率、效率、转数和大气压；

Q 、 P 、 N 、 η 、 n 、 P_b 、 t ——实际工作条件下的风量、风压、功率、效率、转数、大气压和温度。

9.3 电动机

暖通空调设备所配用的电动机绝大多数均为异步电动机，这种电机是基于气隙旋转磁场和转子绕组中感应电流相互作用产生电磁转矩，从而实现能量转换的一种交流电动机。异步电动机和其它类型电动机不同之处在于其转子绕组不需和其它电源相连接，而其定子电流直接取自交流电网。它和其它电动机比较，具有结构简单，制造、使用和维护方便，运行可靠以及重量较轻，成本较低等优点。三相异步电动机的重量和成本约为同功率、同转速的直流电动机的1/2和1/3。它还便于派生各种防护型式以适应不同环境条件的需要。异步电动机有较高的效率和较好的工作特性。

9.3.1 型号示意说明



【例】 Y132S1-2

Y——异步电动机；

132——机座中心高132mm；

S——短机座；

1——铁芯长度代号；

2——2极，电机转数 $n \approx 2900 \text{ r/min}$ 。

9.3.2 异步电动机分类

异步电动机的系列、品种、规格繁多。按转子绕组型式，一般可分为笼型和绕线型两类。笼型转子绕组本身自成闭合回路，整个转子形成一个坚实整体，其结构简单牢固，应用最为广泛。小型异步电动机大多为笼型。绕线型异步电动机，在其转子回路中通过集电环和电刷接入外加电阻，可以改善起动特性并在必要时可以调节转速。

异步电动机还可按电机的尺寸大小、防护型式、安装条件、绝缘等级和工作定额等进行分类，详见表9.3-1。

异步电动机有单相和三相两类。单相异步电动机一般为1kW以下的小功率电机。

异步电动机的派生和专用产品，一般是按工作环境或拖动特性或特殊性能要求分类，与本专业有关的详见表9.3-2。

主要派生和专用异步电动机的特点和适用范围见表9.3-3。

爆炸性危险场所级别详见表9.3-4。

三相异步电动机的主要分类

表 9.3-1

分类方式	类别		
转子绕组型式	笼型 (Y), 绕线型 (YR)		
电机尺寸 中心高 H (mm) (定子铁心外径 D_1 mm)	大型 >630 (>1000)	中型 355~630 (500~1000)	小型 80~315 (120~500)
防护型式	开启式 (IP11) 防护式 (IP22, IP23) 封闭式 (IP44)		
通风冷却方式	自冷式, 自扇冷式, 他扇冷式, 管道通风式		
安装结构型式	卧式, 立式 带底脚, 带凸缘		
绝缘等级	F级, B级, E级, H级		
工作定额	连续, 断续, 间歇		

异步电动机的主要派生和专用产品

表 9.3-2

序号	产品类型	主要用途	型号
1	防爆电动机	石油、化工、煤矿等有爆炸危险的场所	YA, YB, YF
2	深井泵用异步电动机	电机与长轴深井泵配套, 从深井提水作为工业用水农业灌溉之用	YLB
3	潜水异步电动机	电机分别与潜水泵或河流泵配套, 潜入井下或浅水中, 供灌溉提水之用	YQS, YQSY
4	屏蔽异步电动机	原子能、化工、石油等部门, 可以不泄漏地传送不含有颗粒的剧毒、易燃、放射性、腐蚀性液体	YP
5	电磁调速异步电动机	恒转矩和风机类型设备的无级调速	YCT

主要派生和专用异步电动机的特点和适用范围

表 9.3-3

序号	产品名称 (代号)	性能和结构特点	适用范围
1	防爆安全型异步电动机 YA	在正常运行时不产生火花、电弧或危险温度的电动机中, 采取适当措施, 如降低各部分的温升限度, 增强绝缘, 提高导体连接可靠性, 以及提高对固体异物与水的防护等级等, 以提高防爆安全性	适用于 Q2 和 Q3 有爆炸性危险的场所
2	隔爆型异步电动机 YB	封闭自扇冷式。增强外壳的机械强度, 并保证组成外壳的各零部件之间的各接合面上具有一定的间隙参数。一旦电机内部爆炸, 亦不致引起周围环境的爆炸性混合物爆炸	适用于石油、化工、煤矿井下有爆炸危险的场所

续表

序号	产品名称(代号)	性能和结构特点	适用范围
3	防爆通风充气型异步电动机 YF	电机与通风装置组合为一整体。在包括电机本身在内的整个系统内,连续通以不含有爆炸性混合物的新鲜空气或充以惰性(不燃性)气体,内部保持有一定的正压,以阻止爆炸性混合物从外部进入电机	同上
4	立式深井泵用异步电动机 YLB	立式,自扇冷,空心轴,泵轴穿过电机的空心轴在顶端以键相联,带有止逆装置,不允许逆转	专用于与长轴深井泵配套,组成深井电泵,供工农业灌溉提水用
5	井用潜水异步电动机(充水) YQS	电机外径因受井径限制,其外形细长,内腔充满清水,密封,下部有压力调节装置,轴伸端有防砂密封装置	专用于与潜水泵配套,组成潜水电泵,潜入井下供灌溉提水之用
6	屏蔽异步电动机 YP	电机较细长,定子转子分别用屏蔽套保护,机座与接线盒间相互密封隔开,轴承为滑动式,一般用石墨制成,并以被输液的一部分作为冷却和润滑用。电机与泵组合成为一密封整体,能在一定的压力和温度下保证无泄漏地输送液体	适用于原子能、化工、石油等部门,传送不含有颗粒的剧毒、易燃、放射性、腐蚀性液体
7	电磁调速异步电动机 YCT	由异步电动机和电磁转差离合器组合而成。通过控制器控制离合器的励磁电流来调节转速	适用于恒转矩和风机类型设备的无级调速
8	电动阀门异步电动机 YDF	短时工作制,机座无散热筋,无外风扇及端面出线结构,转子较细长,具有高起动转矩,低转动惯量。电机与阀门组合为一整体	适用于电站、石油、化工等部门作为自动开闭输油输气管线上阀门用,以调节管道内介质流量

具有气体或蒸气爆炸性混合物的危险场所级别表

表 9.3-4

级别	定义	防爆安全型	隔爆型	防爆通风充气型
Q-1	正常情况下即能形成爆炸性混合物的场所	不适用	适用	适用
Q-2	仅在不正常情况下才能形成爆炸性混合物的场所	适用	适用	适用
Q-3	即使在不正常情况下,形成爆炸性混合物的可能性也较小的场所	适用	适用	适用

9.3.3 Y系列小型鼠笼转子异步电动机

目前按国家下述的节能产品推广文件,风机和水泵配用的电动机基本上全是Y型电动

机。该系列电动机是全国统一设计的新系列产品，其功率等级和安装尺寸符合国际电工委员会（IEC）标准。适用于驱动无特殊性能要求的各种机械设备，电动机额定电压为380V，额定频率为50Hz。全系列共有65个规格、11个机座号、19个功率等级（0.55~90kW）。该型电动机和老产品JD型比较：提高效率0.415%；提高起动转矩30%；缩小体积15%；减轻重量12%。

< 3 kW的电动机定子绕组为Y接法，其他功率的电动机则为△接法。

电动机采用B级绝缘，外壳保护为IP44，即能防护大于1mm的固体异物侵入壳内，同时能防溅。冷却方式为IC0141，即全封闭自扇冷式。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第十章 高层民用建筑防火与防排烟

10.1 自然排烟

10.1.1 自然排烟孔口有效面积

自然排烟是利用外窗、阳台、凹廊或专用排烟口、竖井等将烟气排走或稀释烟气的浓度。在高层民用建筑中，可采用自然排烟的部位及排烟孔口有效面积见表10.1-1。

自然排烟部位及开口有效面积

表 10.1-1

序号	自然排烟部位	开口形式	开口有效面积
1	长度<60m的内走道	外窗(或排烟口)	>走道面积的2%
2	超过100m ² 需排烟的房间	外窗(或排烟口)	>房间面积的2%
3	靠外墙的防烟楼梯间前室或消防电梯前室	外窗	>2.0m ²
4	靠外墙的合用前室	外窗	>3.0m ²
5	靠外墙的防烟楼梯间	外窗	每5层开窗>2.0m ²
6	不靠外墙的防烟楼梯间前室或消防电梯前室	进风口 进风道	>1.0m ² 断面>2.0m ²
		排烟口 排烟竖井	>4.0m ² 断面>6.0m ²
7	不靠外墙的合用前室	进风口 进风道	>1.5m ² 断面>3.0m ²
		排烟口 排烟竖井	>6.0m ² 断面>9.0m ²
8	净高<12m的中厅	天窗或高侧窗	>地面面积的5%

注：建筑高度超过50m的一类公共建筑和超过100m的其它建筑的防烟楼梯间及其前室，消防电梯前室或合用前室不应采用可开启外窗的自然排烟措施（利用敞开的阳台或凹廊进行自然排烟的除外）。

10.1.2 自然排烟设计要点

1. 凡自然排烟口应设于房间净高的 $\frac{1}{2}$ 以上，宜设在距顶棚或顶板下800mm以内（以排烟口的下边缘计）。自然进风口应设于房间净高的 $\frac{1}{2}$ 以下（以进风口上边缘计）。
2. 内走道和房间的自然排烟口，至该防烟分区最远点应在30m以内。
3. 自然排烟窗、排烟口、送风口应由非燃材料制成，宜设置手动或自动开启装置，手

动开关应设在距地坪0.8~1.5m处。

4. 多层房间共用一个排烟竖井时，其排烟方式如图10.1-1所示。

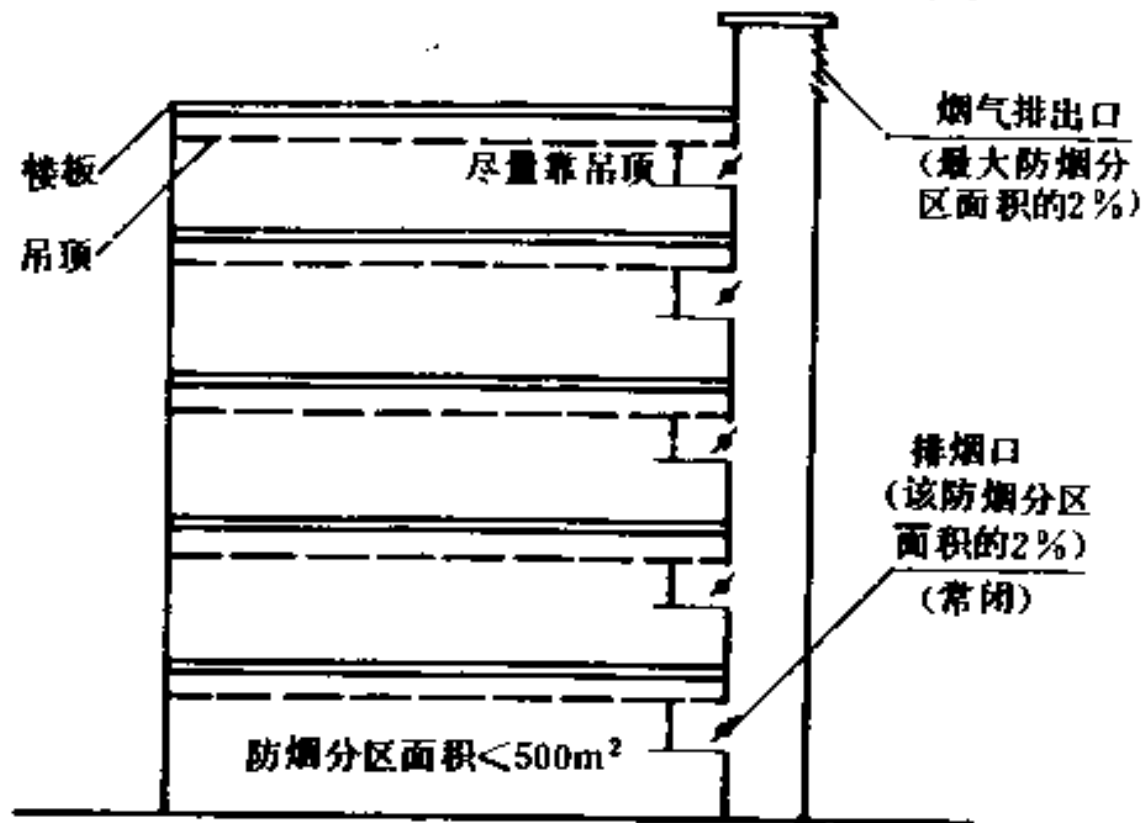


图 10.1-1 多层房间共用一个竖井的自然排烟方式

10.2 加压送风及机械排烟

10.2.1 设置加压送风及机械排烟的部位及设计条件

设置加压送风及机械排烟的部位及设计条件应遵照设计规范按表10.2-1确定。

加压送风及机械排烟部位及设计条件

表 10.2-1

序号	部位	设计机械防排烟的限定条件	防排烟方式
1	防烟楼梯间	1. 无直接采光窗或仅设固定窗时 2. 每5层可开启外窗有效面积小于 2m^2 时	加压送风
2	防烟楼梯间前室 或消防电梯前室	1. 无直接采光窗或仅设固定窗时 2. 开启外窗有效面积小于 2m^2 时	加压送风 (或排烟)
3	防烟楼梯间与消防电梯的合用前室	1. 无直接采光窗或仅设固定窗时 2. 开启外窗有效面积小于 3m^2 时	加压送风 (或排烟)
4	走道和地上房间	1. 内走道长度超过 20m ，且无直接采光窗或设固定窗时 2. 内走道，有直接采光窗，但长度超过 60m 时 3. 面积超过 100m^2 的无窗或设固定窗的房间且经常有人停留或可燃物较多时	排 烟
5	地下室房间	总面积超过 200m^2 ，或一个房间面积超过 50m^2 且经常有人停留或可燃物较多时	排 烟
6	室内中厅	净高超过 12m 时	排 烟
7	避难层	为全封闭式避难层时	加压送风

注：高度超过 50m 的一类公共建筑的防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室和合用前室，不论有无可开启的外窗，均应设计机械防排烟系统。

10.2.2 加压送风系统

1. 加压送风系统的方式

防烟楼梯间及其前室，消防电梯前室及合用前室的加压送风系统的方案及压力控制见表10.2-2。

防烟楼梯间及消防电梯间加压送风系统方式

表 10.2-2

序号	加压送风系统方式	图 示
1	仅对防烟楼梯间加压送风时(前室不加压)	
2	对防烟楼梯间及其前室分别加压	
3	对防烟楼梯间及有消防电梯的合用前室分别加压	
4	仅对消防电梯的前室加压	
5	当防烟楼梯间具有自然排烟条件, 仅对前室及合用前室加压	

注：图中“++”、“+”、“-”表示各部位静压力的大小。

2. 加压送风量的确定

(1) 压差法 采用机械加压送风的防烟楼梯间及其前室，消防电梯前室及合用前室其加压送风量按当门关闭时保持一定正压值计算，送风量 L_y (m^3/h)：

$$L_y = 0.827 f \Delta P^{\frac{1}{b}} \times 3600 \times 1.25 \quad (10.2-1)$$

式中 ΔP ——门、窗两侧的压差值。根据加压方式和部位取25~50Pa；

b ——指数,对于门缝及较大漏风面积取2,对于窗缝取1.6;

0.827——计算常数;

1.25——不严密处附加系数;

f ——门、窗缝隙的计算漏风总面积, m^2 。

四种类型标准门的漏风面积见表10.2-3。

四种类型标准门的漏风面积

表 10.2-3

门的类型	高×宽(m)	缝隙长(m)	漏风面积(m^2)
开向正压间的单扇门	2×0.8	5.6	0.01
从正压间向外开启的单扇门	2×0.8	5.6	0.02
双扇门	2×1.6	9.2	0.03
电梯门	2×2.0	8	0.06

注:对于大于表中尺寸的门,漏风面积按实际计算。

门缝宽度,疏散门0.002~0.004m,电梯门0.005~0.006m。

如防烟楼梯间有外窗,仍采用正压送风时其单位长可开启窗缝的最大漏风量($\Delta P = 50Pa$)据窗户类型直接确定:

单层木窗	15.3	$m^3/m \cdot h$
双层木窗	10.3	$m^3/m \cdot h$
单层钢窗	10.9	$m^3/m \cdot h$
双层钢窗	7.6	$m^3/m \cdot h$

(2) 风速法,采用机械加压送风的防烟楼梯间及其前室,消防电梯前室及合用前室,当门开启时,保持门洞处一定风速所需的风量 L_v (m^3/h):

$$L_v = \frac{nFv(1+b)}{a} \times 3600 \quad (10.2-2)$$

式中 F ——每个门的开启面积, m^2 ;

v ——开启门洞处的平均风速,取0.6~1.0m/s;

a ——背压系数,根据加压间密封程度取0.6~1.0;

b ——漏风附加率,取0.1~0.2;

n ——同时开启门的计算数量。当建筑物为20层以下时取2,当建筑物为20层及其以上时取3。

以上按压差法和风速法分别算出的风量,取其中大值作为系统计算加压送风量。

(3) 泄压阀开启面积的计算。单独的消防电梯前室加压送风系统,如按保持开启门洞处一定风速所需风量远大于保持正压所需风量时,可能造成消防电梯前室超压,宜考虑设置泄压阀,其阀板开启面积 F (m^2)按前室静压值不超过60Pa计算:

$$F = \frac{L_v - L_y}{3600 \times 6.41} \quad (10.2-3)$$

(4) 加压送风量控制标准

以基本公式为基础,综合确定出不同方式的加压送风量,供设计者直接选用,详见表10.2-4。

加 压 送 风 控 制 风 量

表 10.2-4

序 号	机 械 加 压 送 风 部 位		系 统 负 担 层 数 < 20 层		系 统 负 担 层 数 20 ~ 32 层	
			风 量 (m ³ /h)	风 道 断 面 (m ²)	风 量 (m ³ /h)	风 道 断 面 (m ²)
1	仅对防烟楼梯间加压(前室不送风)		25000~30000	0.46~0.55	35000~40000	0.65~0.74
2	对防烟楼梯间及其前室分别加压	楼 梯 间	14000~18000	0.26~0.33	18000~24000	0.33~0.44
		前 室	(10000~14000)	(0.19~0.26)	(14000~20000)	(0.26~0.38)
3	对防烟楼梯间及其合用前室分别加压	楼 梯 间	16000~20000	0.30~0.38	20000~25000	0.38~0.46
		合用前室	12000~16000	0.23~0.30	18000~22000	0.33~0.41
4	仅对消防电梯前室加压		15000~20000	0.27~0.38	22000~27000	0.41~0.50
5	仅对前室及合用前室加压(楼梯间自然排烟)		22000~27000	0.41~0.50	28000~32000	0.52~0.60
6	对全封闭的避难层(间)加压		按避难层间净面积每m ² 不小于30m ³ /h确定			

注：表中1~5按每个加压间为一幢双扇门计，当为单扇门时，表中风量乘以0.75，当有两幢双扇门时，风量乘以1.5~1.75。建筑层数超过32层时，宜分段设置加压送风系统。

3. 加压送风系统设计要点

(1) 加压送风机的全压，除计算系统风道压力损失外，尚有下列余压值：

- 防烟楼梯间为50Pa；
- 前室或合用前室为25Pa，
- 封闭式避难层为25Pa。

(2) 防烟楼梯间的加压送风口宜每隔2~3层设一个风口，风口应采用自垂式百叶风口或常开百叶式风口；当采用常开百叶式风口时，应在加压风机的压出管上设置止回阀。

(3) 前室的送风口应每层设置，每个风口的有效面积按 $\frac{1}{3}$ 系统总风量确定。当设计为常闭型时，发生火灾只开启着火层的风口。风口应设手动和自动开启装置，并应与加压送风机的启动装置连锁，手动开启装置宜设在距地面0.8~1.5m处；如每层风口设计为常开百叶式风口时，应在加压风机的压出管上设置止回阀。

(4) 加压空气的排出，可通过走廊或房间的外窗、竖井自然排出，也可利用走廊的机械排烟装置排出。

【例 10.2-1】 某29层综合贸易大楼，为一类建筑。其中一防烟楼梯间内共有29个1.5×2.1m的双扇防火门，楼梯间外墙上共有25个1.5×1.6m的双层钢窗。前室内有一个双扇防火门与走道相通。试计算确定加压送风量及风道、风口尺寸。

【解】 楼梯间内虽有外窗，因是高度超过50m的一类建筑，故在楼梯间设计机械加压送风系统，前室不送风。

用压差法(10.2-1)公式计算风量：

查表10.2-3，一个双扇门 $f=0.03\text{m}^2$ ，取 $\Delta P=50\text{Pa}$ ， $b=2$

$$L_{y1} = 0.827 f \Delta P^{\frac{1}{b}} \times 3600 \times 1.25 = 0.827 \times 29 \times 0.03 \times 50^{\frac{1}{2}} \times 3600 \times 1.25 = 22894\text{m}^3/\text{h}。$$

每个外窗可开启的缝隙长度为7.8m，按双层钢窗查得漏风量为 $7.6\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{h}$ ，外窗总漏风量为：

$$L_{y2} = 7.6 \times 7.8 \times 25 = 1482\text{m}^3/\text{h}。$$

$$L_y = L_{y1} + L_{y2} = 22894 + 1482 = 24376\text{m}^3/\text{h}$$

用风速法 (10.2-2)公式计算风量：

$$n = 3, F = 1.5 \times 2.1 = 3.15\text{m}^2, v \text{ 取 } 1.0, b \text{ 取 } 0.1, a \text{ 取 } 1.0。$$

$$L_v = \frac{nFv(1+b)}{a} \times 3600 = \frac{3 \times 3.15 \times 1.0 \times (1+0.1)}{1.0} \times 3600 = 37422\text{m}^3/\text{h}。$$

按风速法算出的风量大于按压差法算出的风量，并与表10.2-4控制风量相符，故最后确定的计算加压送风量为 $37422\text{m}^3/\text{h}$ 。

风道断面积参照表10.2-4可定为 0.7m^2 ，风速 $v = 14.9\text{m/s}$ 。共设10个风口，风速按 7.0m/s 计算，风口有效面积为 0.14m^2 ，选定 500×400 自垂式百叶风口。

10.2.3 机械排烟系统

1. 前室的机械排烟系统

防烟楼梯间前室、消防电梯前室或合用前室的机械排烟系统有机械排烟配以机械送风和机械排烟配以自然进风两种设计方式，如图10.2-1所示。风量及风口的设计标准见表10.2-5。

2. 走道和房间的机械排烟系统

(1) 走道和房间机械排烟系统布置

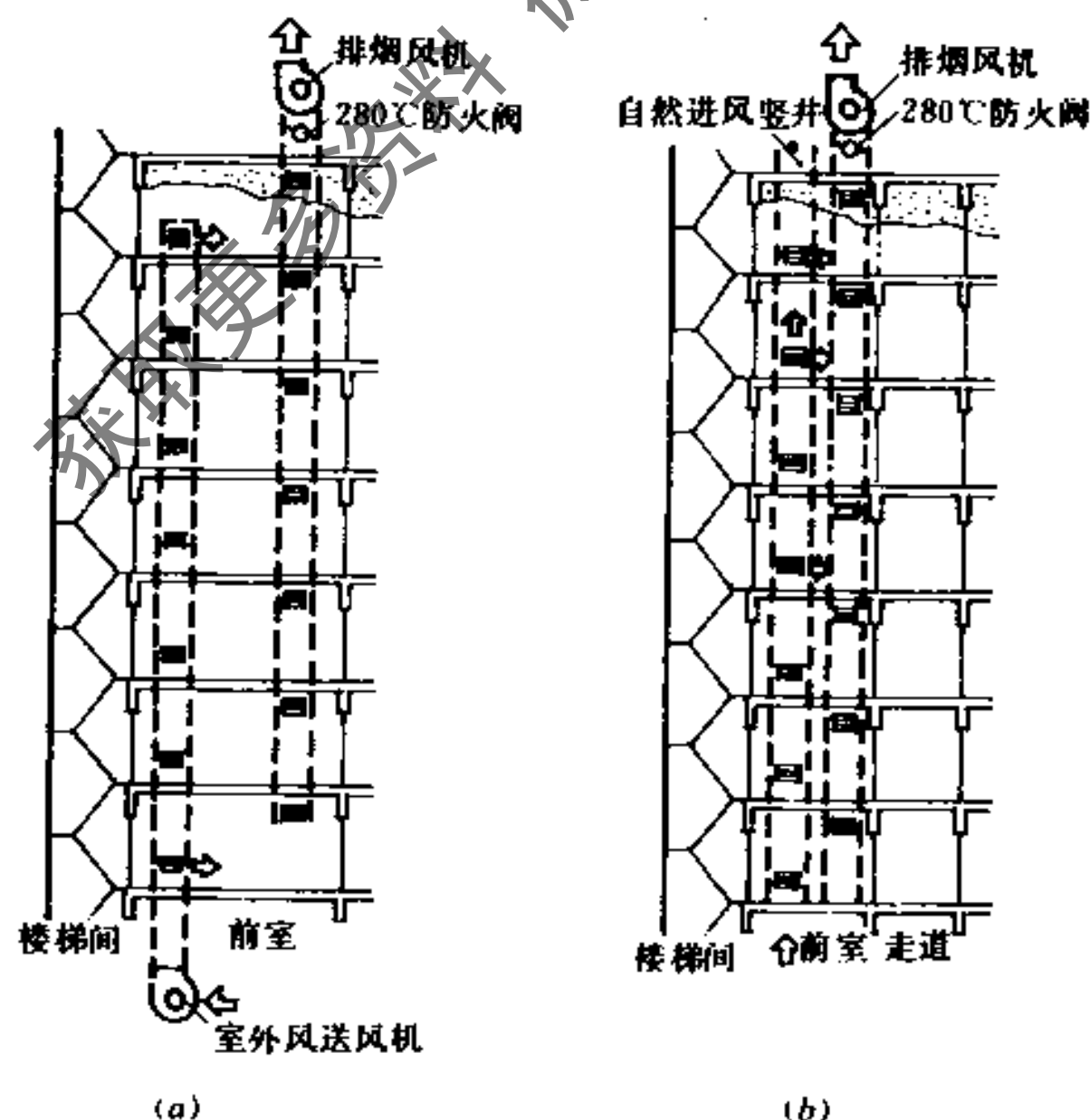


图 10.2-1 前室及合用前室机械排烟图示
(a) 前室机械送风，机械排风；(b) 前室机械排烟，自然进风

前室机械排烟设计标准

表 10.2-5

项 目 名 称	防烟楼梯间前室	消防电梯前室	合 用 前 室
排烟量 (m ³ /h)	>14400	>14400	>21600
排烟道断面 (m ²)	>0.27	>0.27	>0.4
自然进风口面积 (m ²)	>1.0	>1.0	>1.5
自然进风道断面 (m ²)	>2.0	>2.0	>3.0

注: 1. 机械送风量按略小于排烟量设计。

2. 带裙房的高层建筑防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室或合用前室, 如裙房以上部分利用可开启外窗进行自然排烟, 裙房部分不具备自然排烟时, 其前室或合用前室可设置局部的机械排烟设施, 其排烟量按前室每m²不小于60m³/h计算。

面积较大, 走道较长的排烟系统, 可将每个防烟分区, 划分成几个排烟系统, 并将竖风道布置在几处, 以便缩短水平风道, 提高排烟效果, 即所谓竖式布置, 如图10.2-2所示。

当需要排烟的房间较多且竖式布置有困难时, 可采用图10.2-3所示的水平式布置。

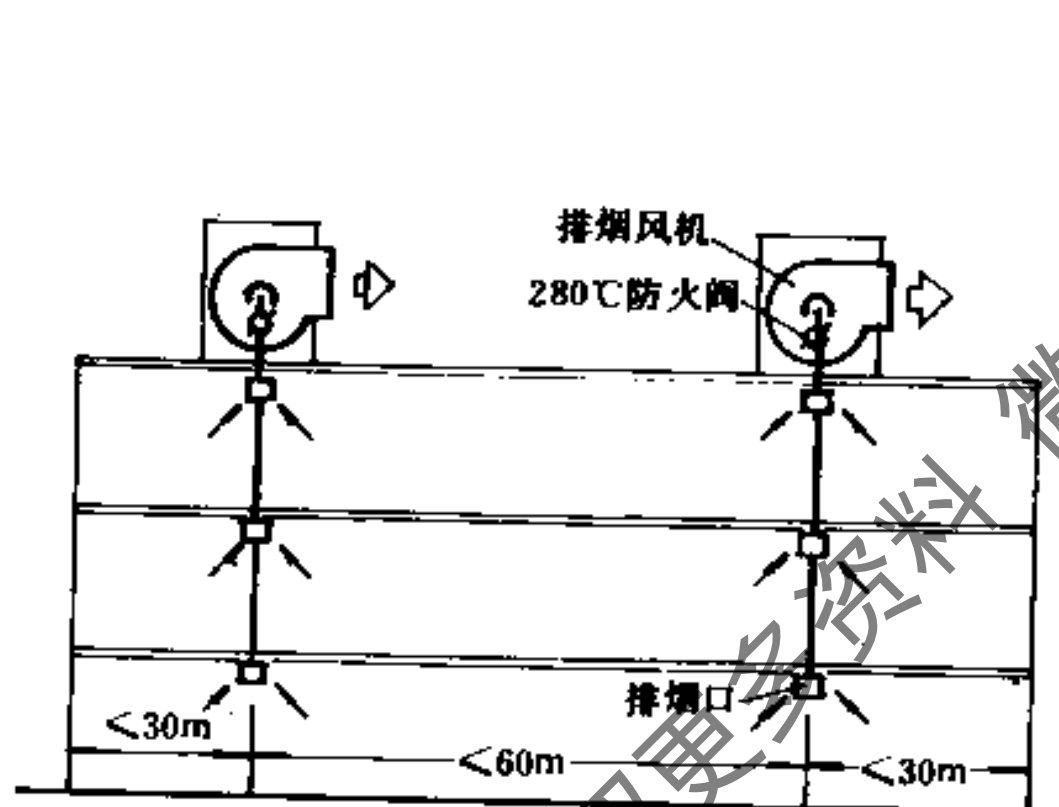


图 10.2-2 竖式布置的走道排烟系统

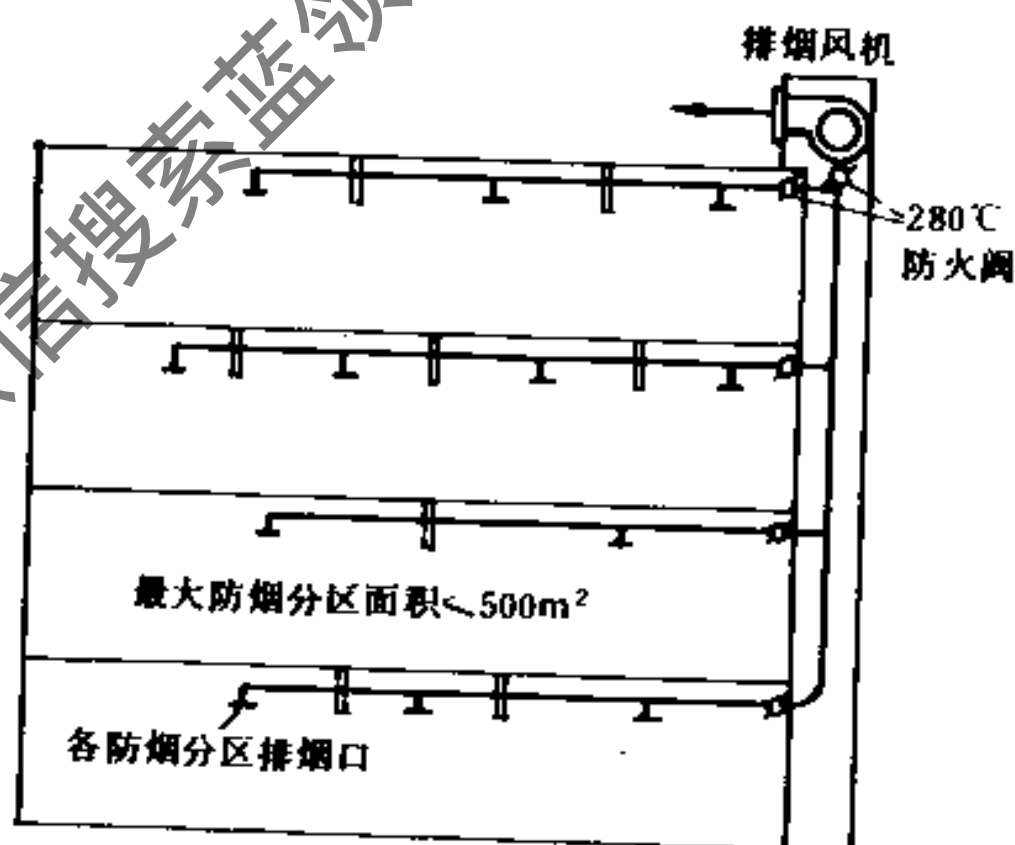


图 10.2-3 水平式布置的房间排烟系统

(2) 走道和房间的排烟量

设置机械排烟系统的内走道和房间, 其排烟量按表10.2-6及图10.2-4的原则确定。

走道和房间的排烟量标准

表 10.2-6

负 担 防 烟 分 区 个 数	排 烟 量 标 准
负担一个防烟分区排烟时 (包括净高大于6m的大空间房间)	按该防烟分区面积每m ² 不小于60m ³ /h计算, 且最少不小于7200m ³ /h
负担两个或两个以上防烟分区时	按最大一个防烟分区面积每m ² 不小于120m ³ /h计算, 且最大不宜超过60000m ³ /h

注: 1. 选择排烟风机时, 应考虑20%的漏风量。

2. 设机械排烟的地下室房间, 其机械补风量不宜小于排风量的50%。

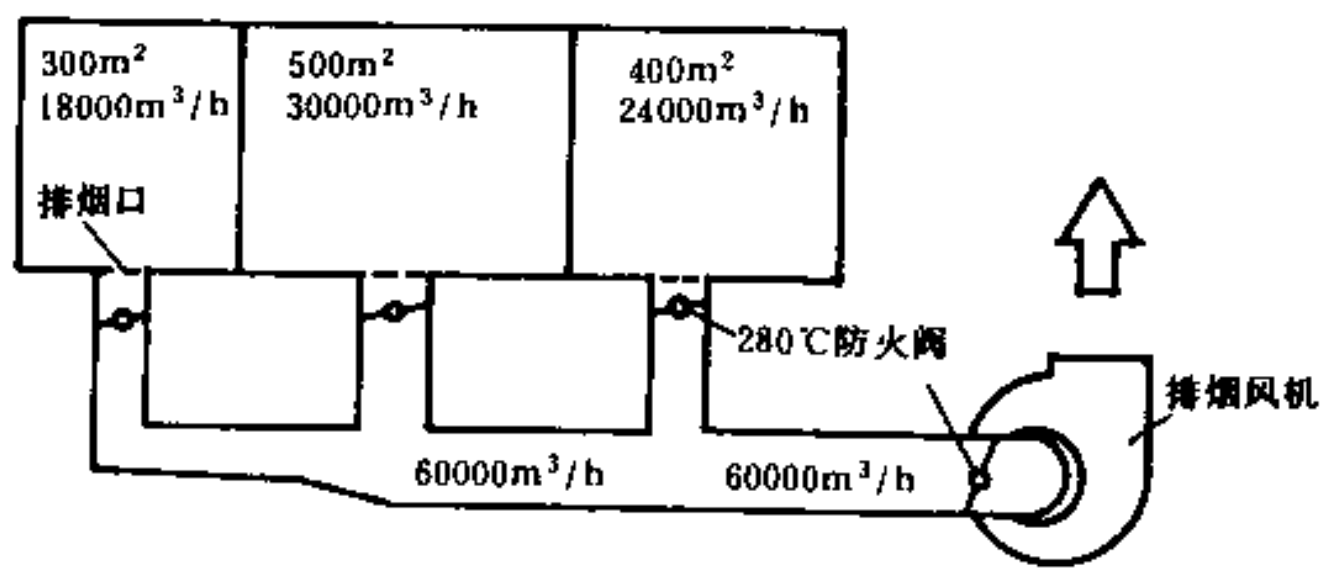


图 10.2-4 走道和房间排烟系统最大计算风量示图

(3) 挡烟垂壁

划分防烟分区的挡烟垂壁应用非燃材料制作，如钢板、夹丝玻璃、玻璃纤维板等。活动挡烟垂壁当由烟感探测器控制时，应能就地手动控制，见图10.2-5。活动挡烟垂壁落下时，其下端距地面的高度应大于1.8m。

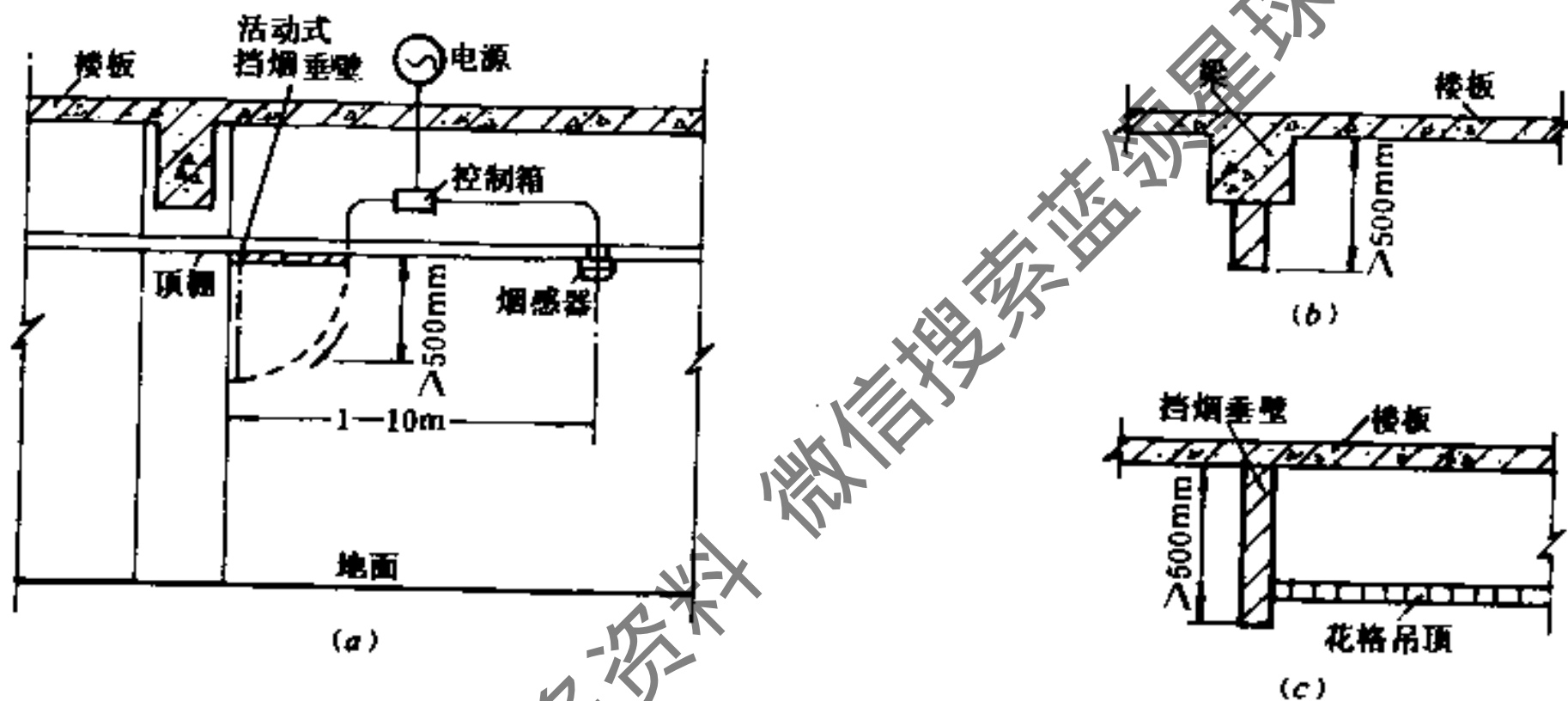


图 10.2-5 挡烟垂壁示例

3. 中庭机械排烟系统

(1) 中庭机械排烟原理及图示

通过二层或多层楼且顶部是封闭的筒体空间称为中庭。中庭与相连的所有楼层是相通的，一般设有采光窗。在中庭上部设置排烟风机，把中庭作为着火楼层的一个大排烟道，并使着火楼层保持负压，就能有效地控制烟气和火灾，其基本图示见图10.2-6。

(2) 中庭机械排烟量

中庭机械排烟量按其容积的换气次数确定排烟量，按表10.2-7选取。

(3) 中庭机械排烟的气流组织

中庭机械排烟口应设在中庭的顶棚上，或设在紧靠中庭顶棚的集烟区，排烟口的最低标高，应设在中庭最高部分门洞的上端。当中庭较低部位靠自然进风有困难时，可采

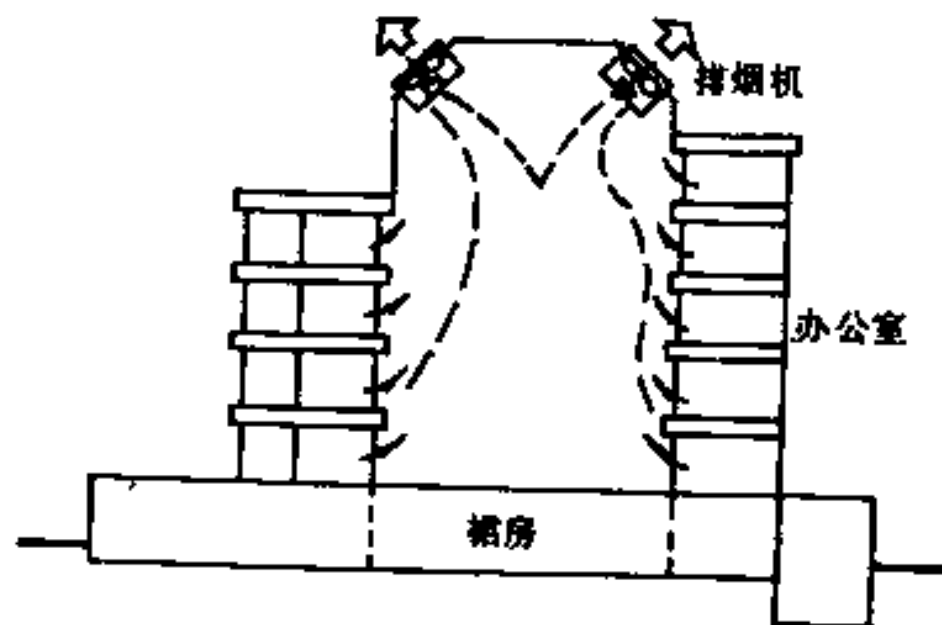


图 10.2-6 中庭排烟示意

室内中庭容积 (m^3)	排烟量标准 (每小时的换气次数)
< 17000	6 1/h
> 17000	4 1 h (且不小于 $68000m^3/h$)

用机械补风, 补风量按不小于排风量的50%确定。当高度超过6层的中庭, 或第二层以上与居住场所相通时, 宜从上层导入新鲜空气。

4. 机械排烟系统设计要点

(1) 设置机械排烟的前室、走道和房间的排烟口应设在顶棚或靠近顶棚的墙面上, 排烟口平时关闭, 当发生火灾时仅开启着火层的排烟口, 排烟口应设有手动、自动开启装置, 手动开启装置的操作部位应设置在距地面0.8~1.5m处。排烟口和排烟阀应与排烟风机连锁, 当任一排烟口或排烟阀开启时, 排烟风机即能启动。

(2) 排烟口距本防烟分区最远点的水平距离应不超过30m。

(3) 排烟风机可采用普通钢制离心式通风机或专用排烟轴流风机, 并应在风机入口总管及排烟支管上安装280℃时能自动关闭的防火阀。

(4) 机械排烟系统宜单独设置, 有条件时可与平时的通风排气系统合用。

(5) 机械防排烟系统的风管、风口、阀门及通风机等必须采用非燃材料制作, 安装在吊顶内的排烟管道应以非燃材料作保温, 并应与可燃物保持不小于15cm的距离。排烟管道的钢板厚度不应小于1.0mm。

(6) 所有机械防排烟系统的允许最大风速按表10.2-8采用。

(7) 机械防排烟系统应定期检修和运行, 以确保紧急情况下能及时启动。

机械防排烟系统允许最大风速 表 10.2-8

风道风口类别	允许最大风速(m/s)
金属风道	< 20
内表光滑的混凝土风道	< 15
排烟口	< 10
送风口	< 7

10.3 通风与空气调节系统的防火防爆设计要点

1. 通风与空气调节系统, 横向应按每个防火分区设置; 竖向不宜超过五层, 但排风管道设有防止回流措施以及各层设有自动喷水灭火装置时, 其新风和排风管道不受此限。垂直风管应设在管道井内, 该井壁应为耐火极限不低于1h的非燃烧体, 井壁上的检查门应采用丙级防火门。管道井应在每隔2~3层楼板处用相当于楼板耐火等级的非燃烧体作防火隔断。防火分区和空调系统的划分实例见图10.3-1。

2. 通风及空气调节系统的风管不宜穿过防火墙和变形缝, 如必须穿过时, 应在风管上设70℃能自动关闭的防火阀。防火阀处应有独立的支、吊架和防止风管变形影响关闭的措施。见图10.3-2。

3. 厨房、浴室和厕所的排风管与竖向风道相连接时, 可采用以下防止回流的措施:

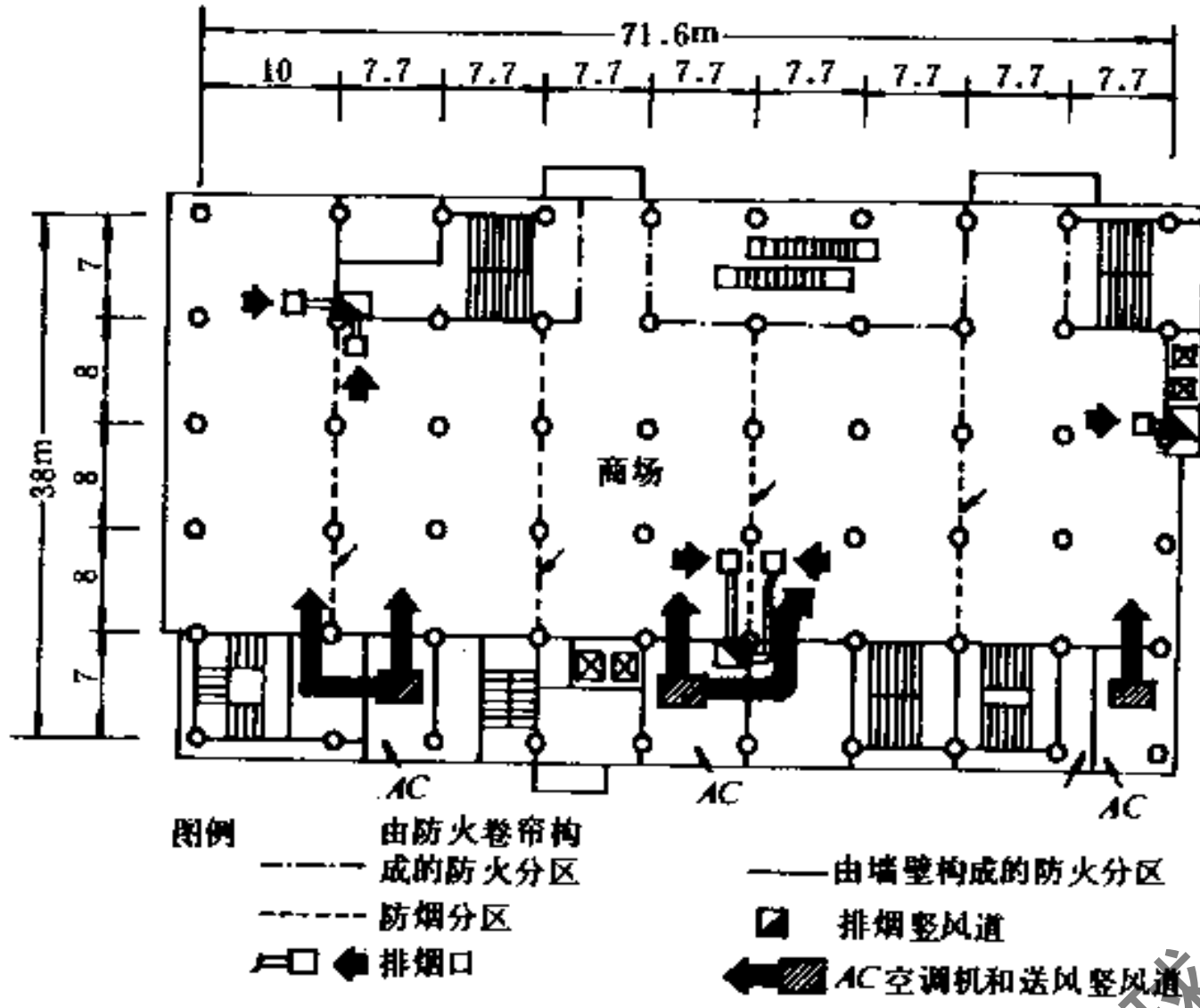


图 10.3-1 防火分区和空调系统划分的实例

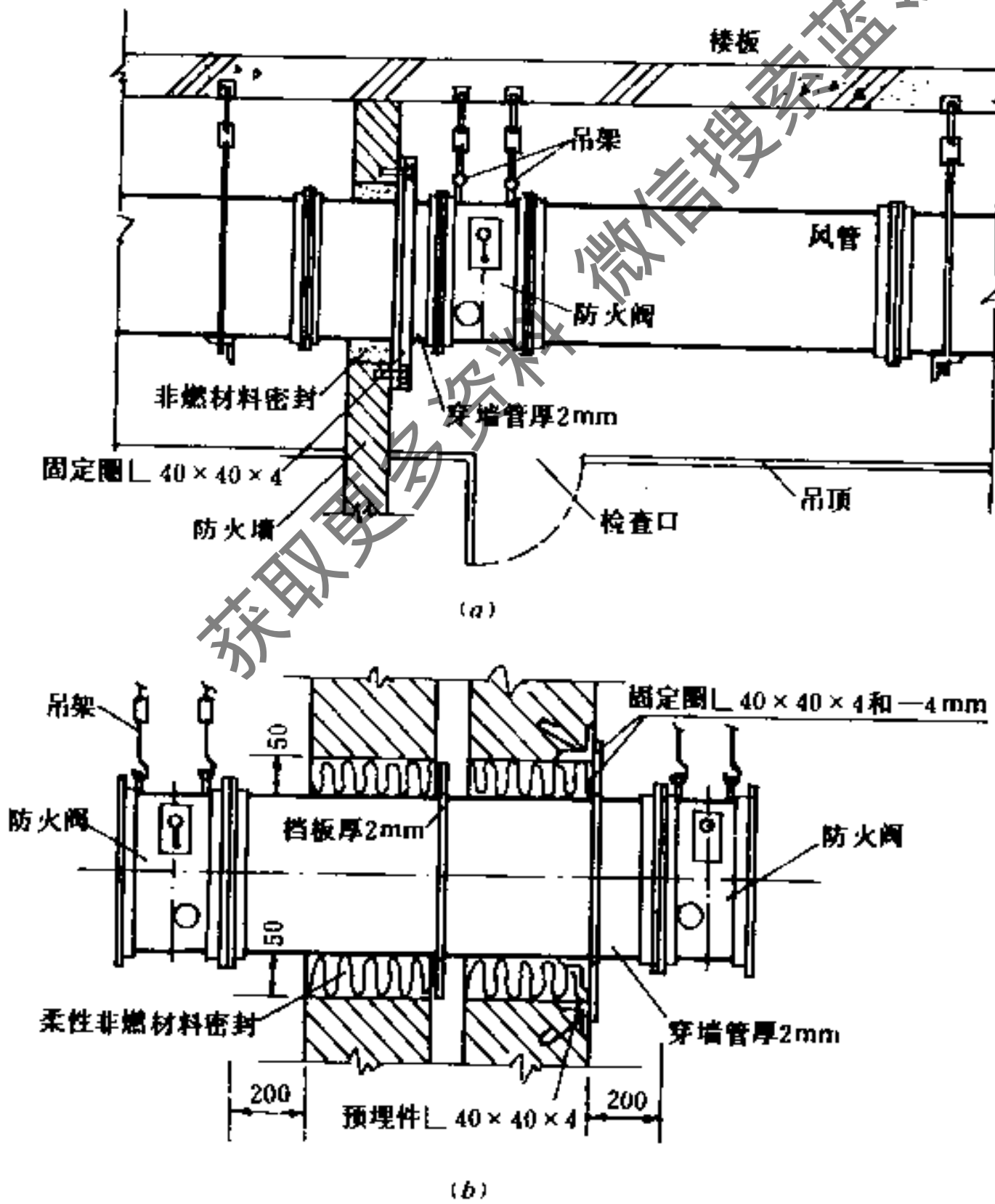


图 10.3-2 防火墙变形缝处的防火阀

(a) 防火墙处的防火阀; (b) 变形缝处的防火阀

(1) 增加各层垂直排风支管的高度,使各层排风支管穿越二层楼板,如图10.3-3(a)所示。

(2) 把排风竖管分成大小两个管道,总竖管直通屋面,小风管分层与总管连通。如图10.3-3(b)所示。

(3) 将支管顺气流方向插入排气竖管道,且支管到支管出口的高度不小于600mm。见图10.3-3(c)。

(4) 在支管上安装止回阀。

4. 风管内设有电加热器时,电加热器前后各800mm范围内的风管和穿过有火源等容易起火房间的风管均应采用非燃烧保温材料进行保温。电加热器应设置无风断电保护装置。

5. 通风与空气调节机房应与其他部分隔开。并分别采用耐火极限不低于3h和2h的隔墙和楼板,门应采用耐火极限不小于1.25h的甲级防火门。

6. 通风与空气调节系统的风管及通风机等应采用非燃烧材料制作。保温和消声材料应采用非燃或难燃材料。

7. 室内如含有可燃气体、蒸汽、粉尘和纤维的空气,均不应循环使用,且应设独立的通风系统。空气中含有容易起火或有爆炸危险物质的房间,其排送风系统应采用防爆型通风设备,风管应考虑导除静电的接地措施。

8. 通风和空气调节系统的送、回风总管,在穿越机房和重要的或火灾危险性较大的房间的隔墙、楼板以及垂直风管与每层水平风管交接处的水平支管上,均应设置70℃能自行关闭的防火阀,见图10.3-4。

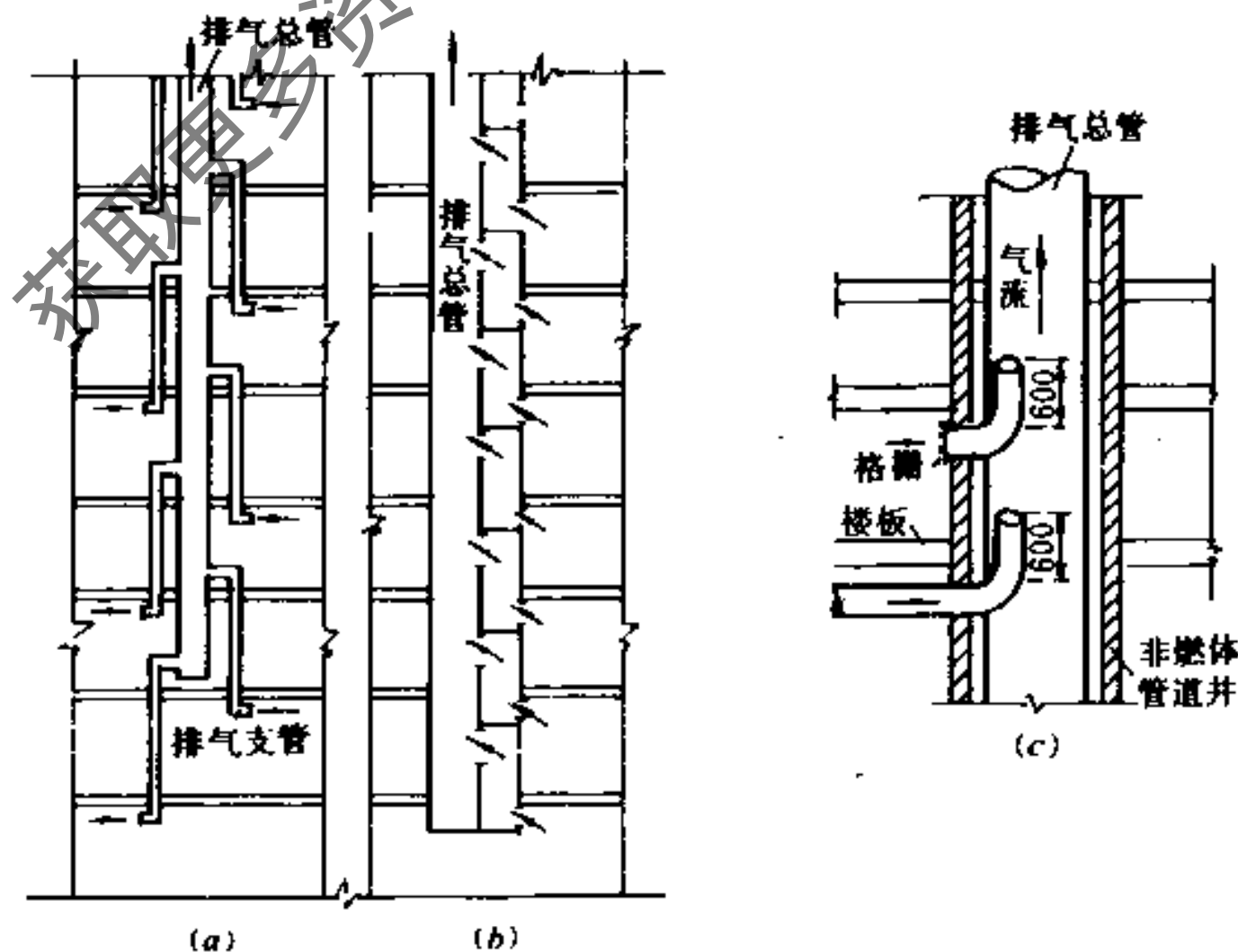


图 10.3-3 排气管防止回流示意图

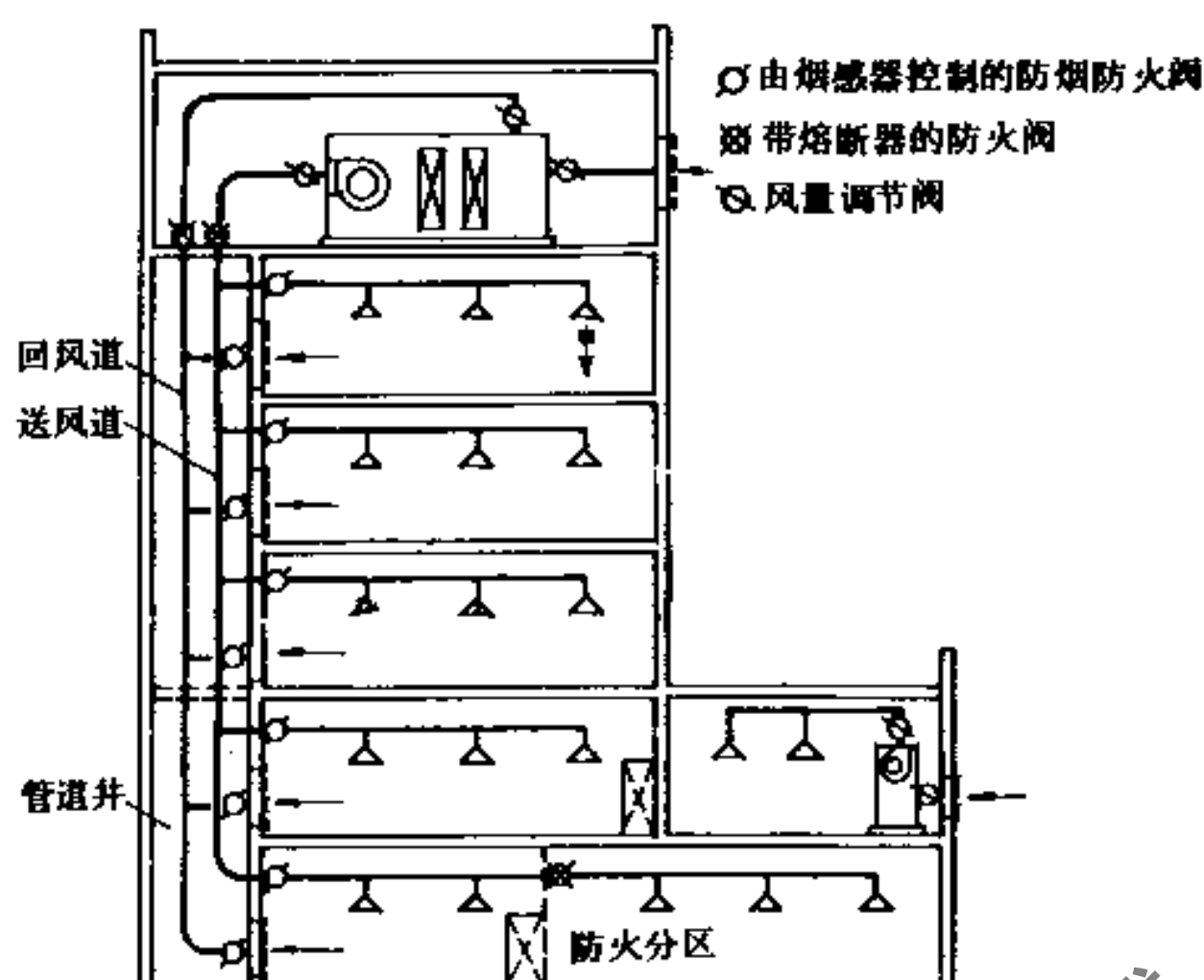


图 10.3-4 各种阀门设置示例

10.4 机械防排烟及空调、通风系统防火控制程序

10.4.1 不设消防控制室的机械防排烟和空调、通风系统防火控制程序

1. 只排烟口和排烟风机联锁，靠手动开启的基本控制程序见图10.4-1。

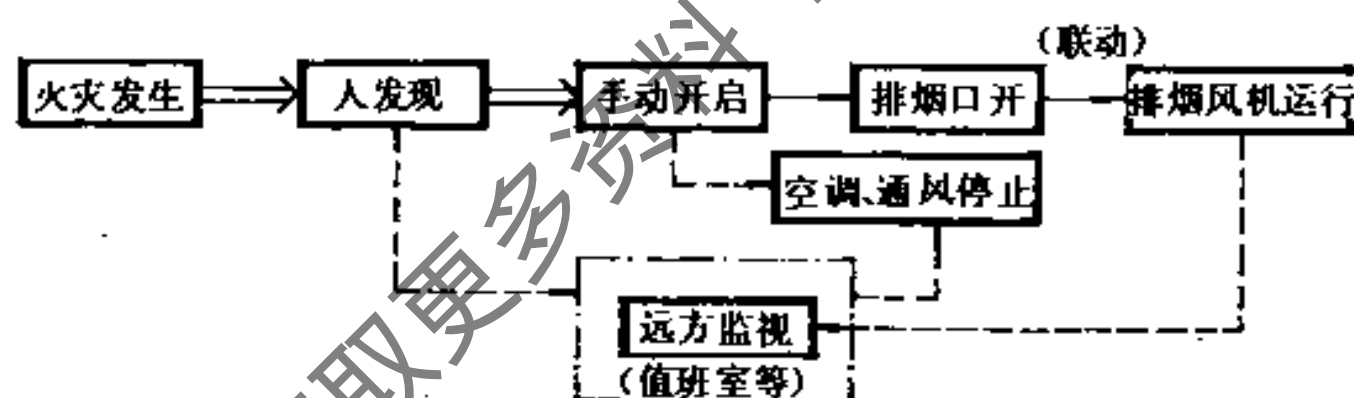


图 10.4-1 手动开启的基本排烟程序

2. 火灾报警器动作后，活动式挡烟垂壁动作，联动排烟口和排烟风机启动，并有信号到值班室，遥控空调、通风机停止，见图10.4-2。

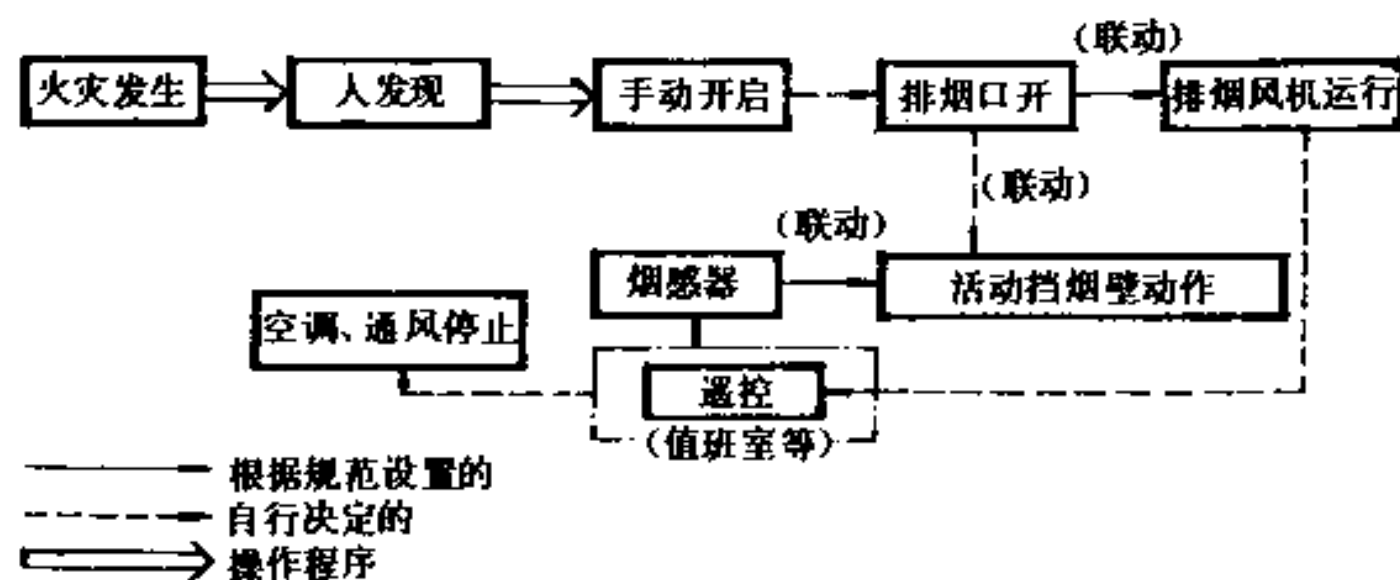


图 10.4-2 具有烟感器和联动方法的排烟程序

3. 火灾时，火灾报警器动作，同时风管内带易熔片的防火阀关闭，切断火源，空调、通风机停止，这种防止火势沿风管蔓延的控制程序见图10.4-3。

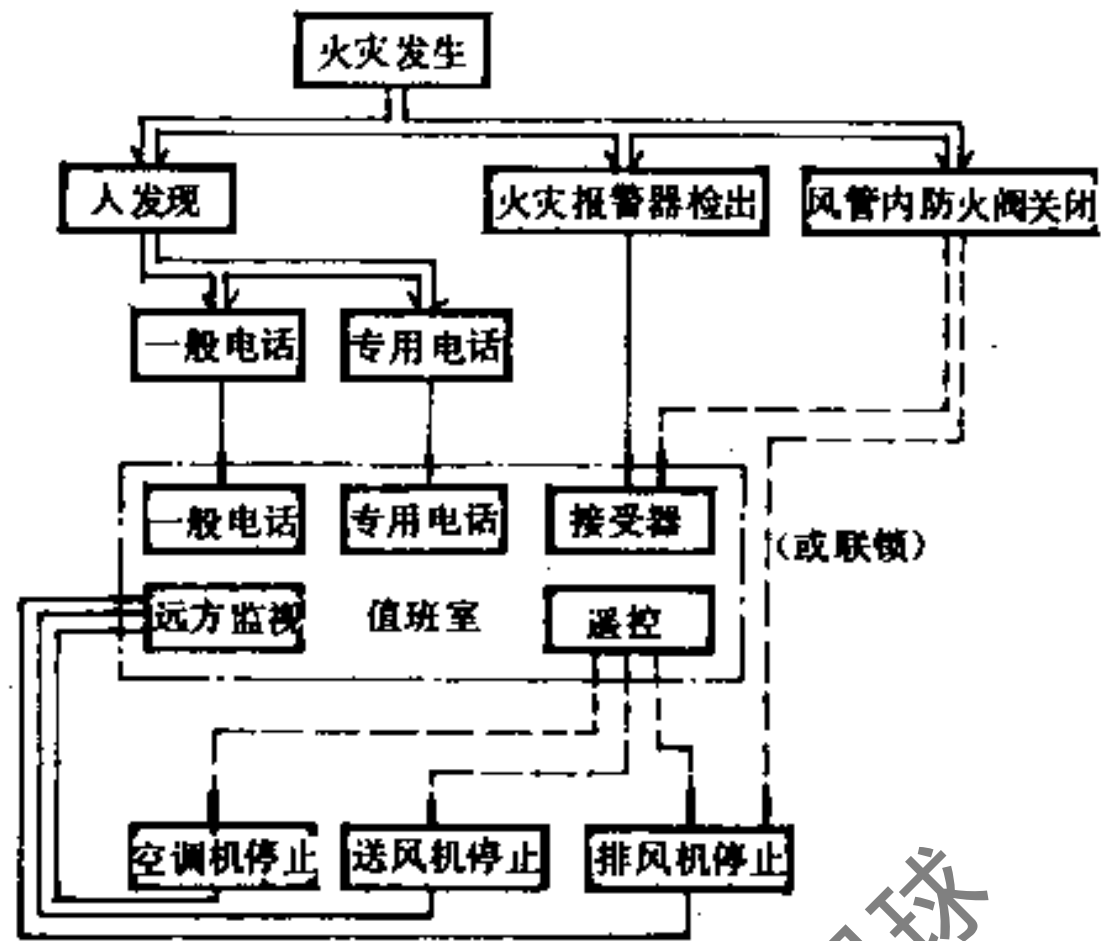


图 10.4-3 采用烟感器且风管内设有易熔片防火阀的控制程序

4. 火灾时，火灾报警器通过控制线路，关闭风管防火阀，并在值班室遥控空调、通风机等停止，该控制程序见图10.4-4。

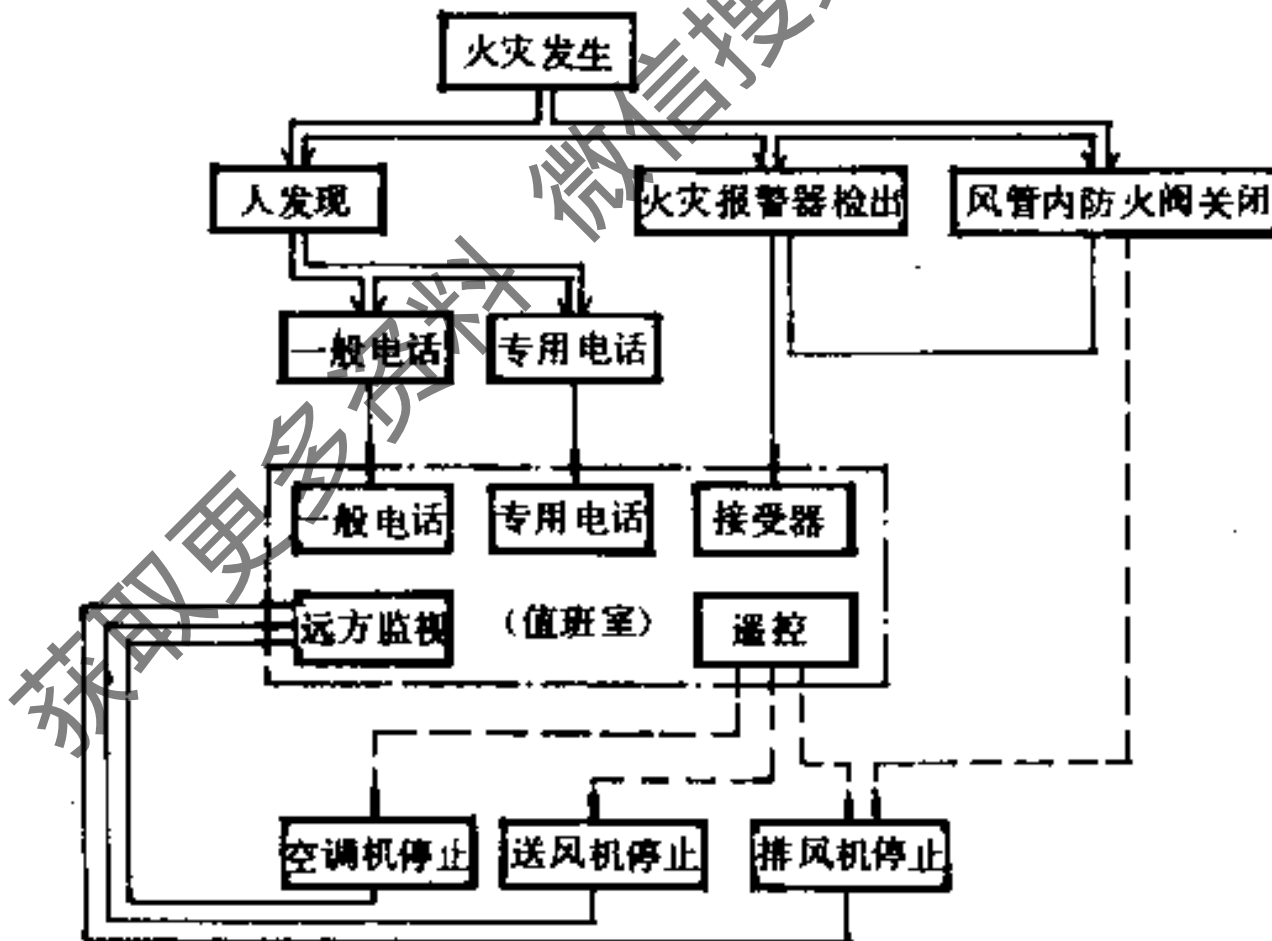


图 10.4-4 采用烟(温)感器直接控制防火阀的程序

10.4.2 设有消防控制室的机械防排烟和空调、通风系统防火控制程序

1. 火灾时，火灾报警器动作后，房间的排烟口及排烟风机、通风及空调系统的通风机均由消防控制室集中控制，如图10.4-5所示。

2. 火灾时，火灾报警器动作后，消防控制室控制房间排烟口开启，由排烟口的微动开关输出电信号，联动排烟风机、通风及空调系统的通风机开停。此控制程序见图10.4-6。

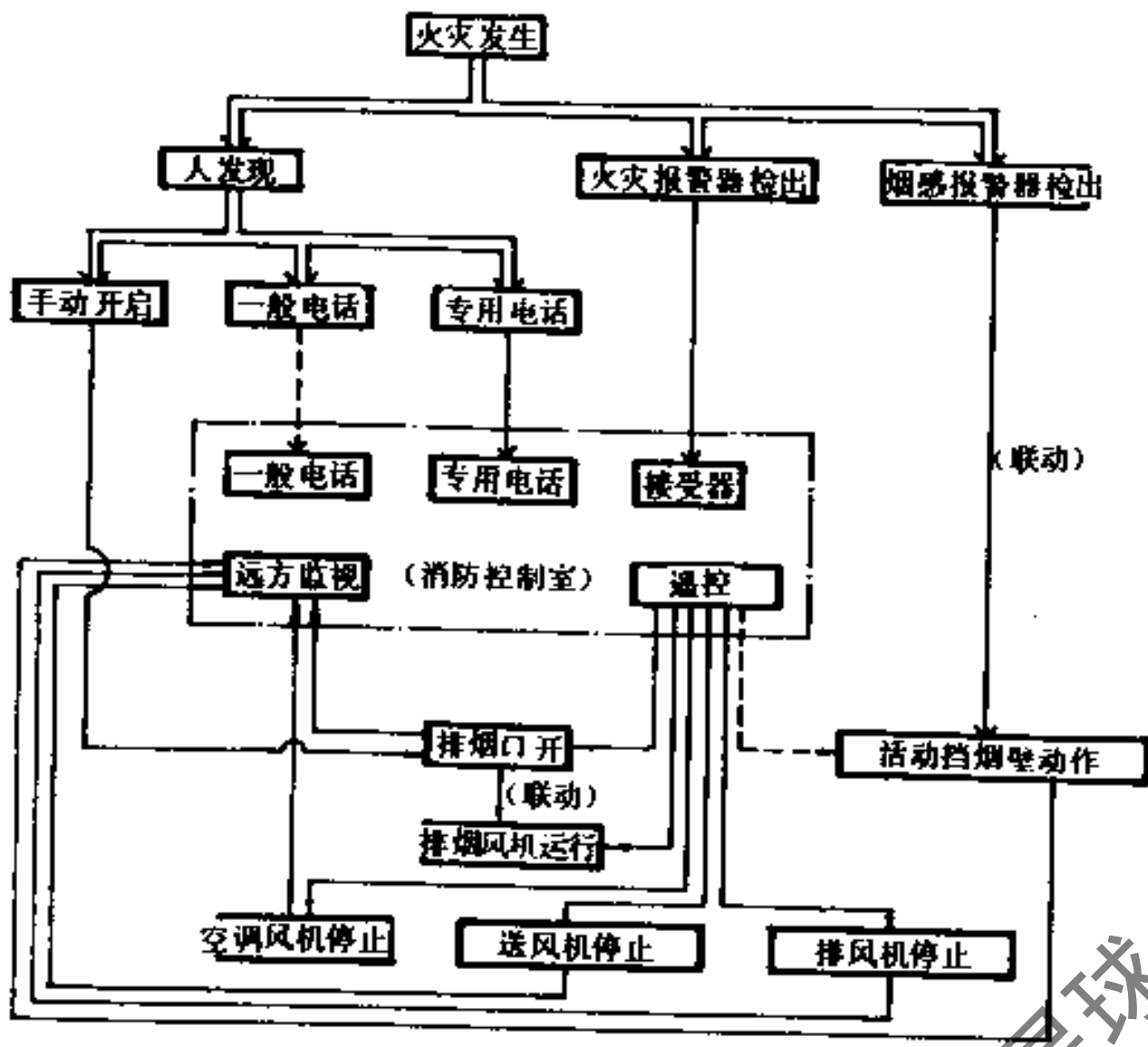


图 10.4-5 设有消防控制室的房间机械排烟控制程序 (一)

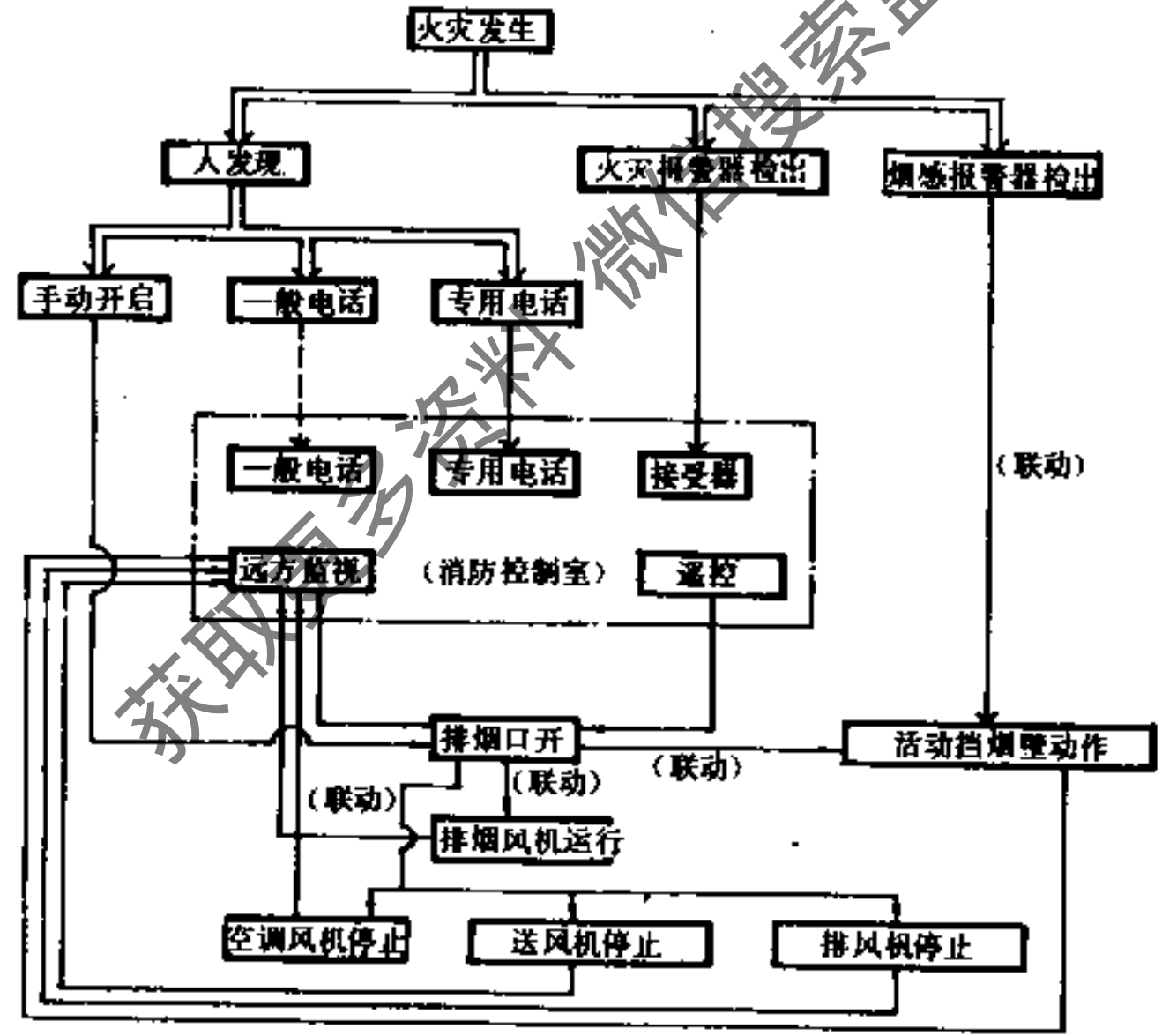


图 10.4-6 设有消防控制室的房间机械排烟控制程序 (二)

3. 由消防控制室集中控制的防烟楼梯间前室和消防电梯前室机械排烟控制程序见图 10.4-7。图中送风口指前室机械排烟、机械送风或机械排烟、自然送风的送风口。

4. 有消防控制室的防烟楼梯间前室、消防电梯前室和合用前室的加压送风的控制程序见图 10.4-8。图中送风口指“前室”的加压送风口, 送风机指加压送风机, 排烟口指与“前室”相通的走道内的排烟口, 排烟机指用于该走道的排烟机。

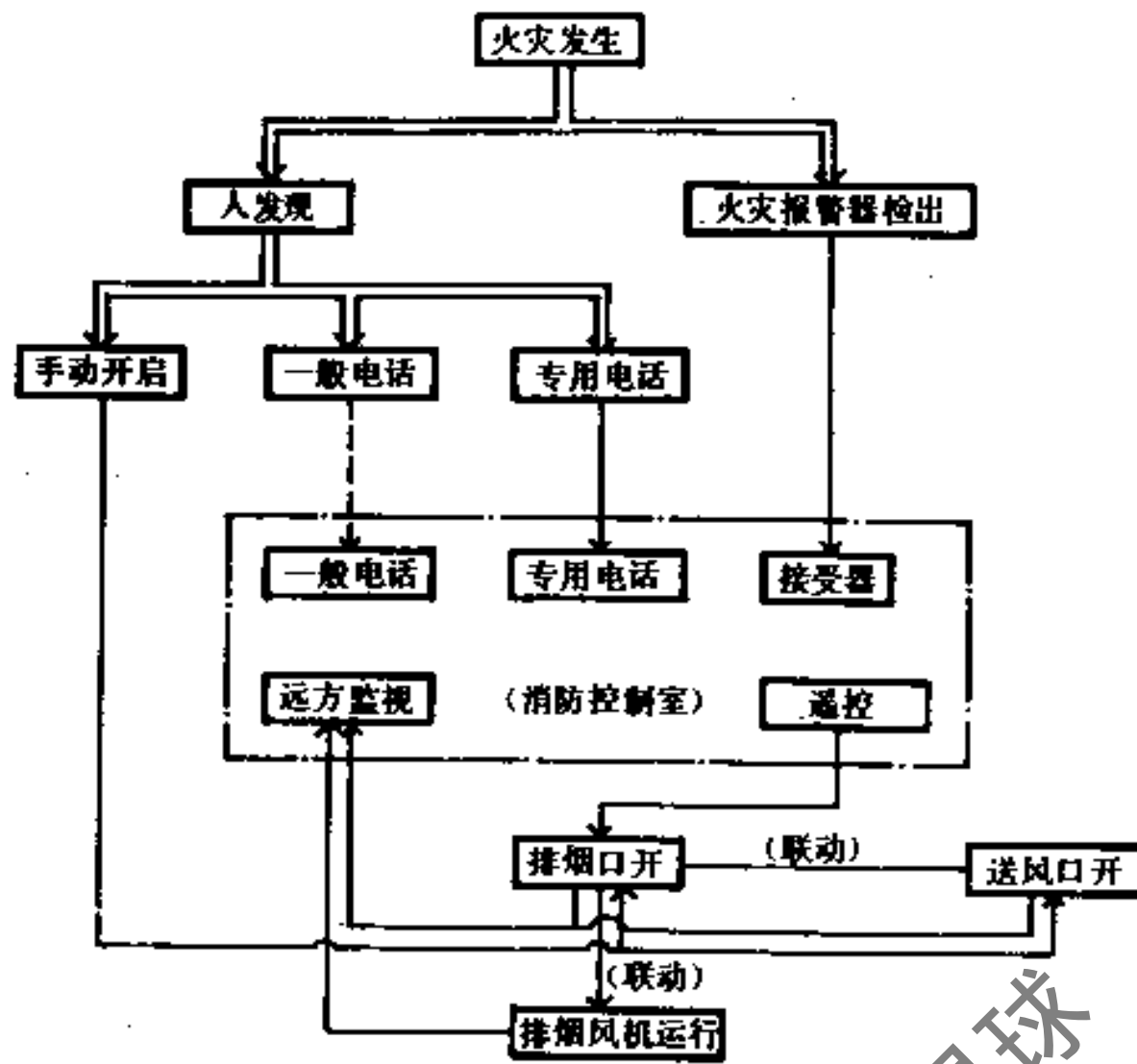


图 10.4-7 防烟楼梯间前室和消防电梯前室机械排烟控制程序

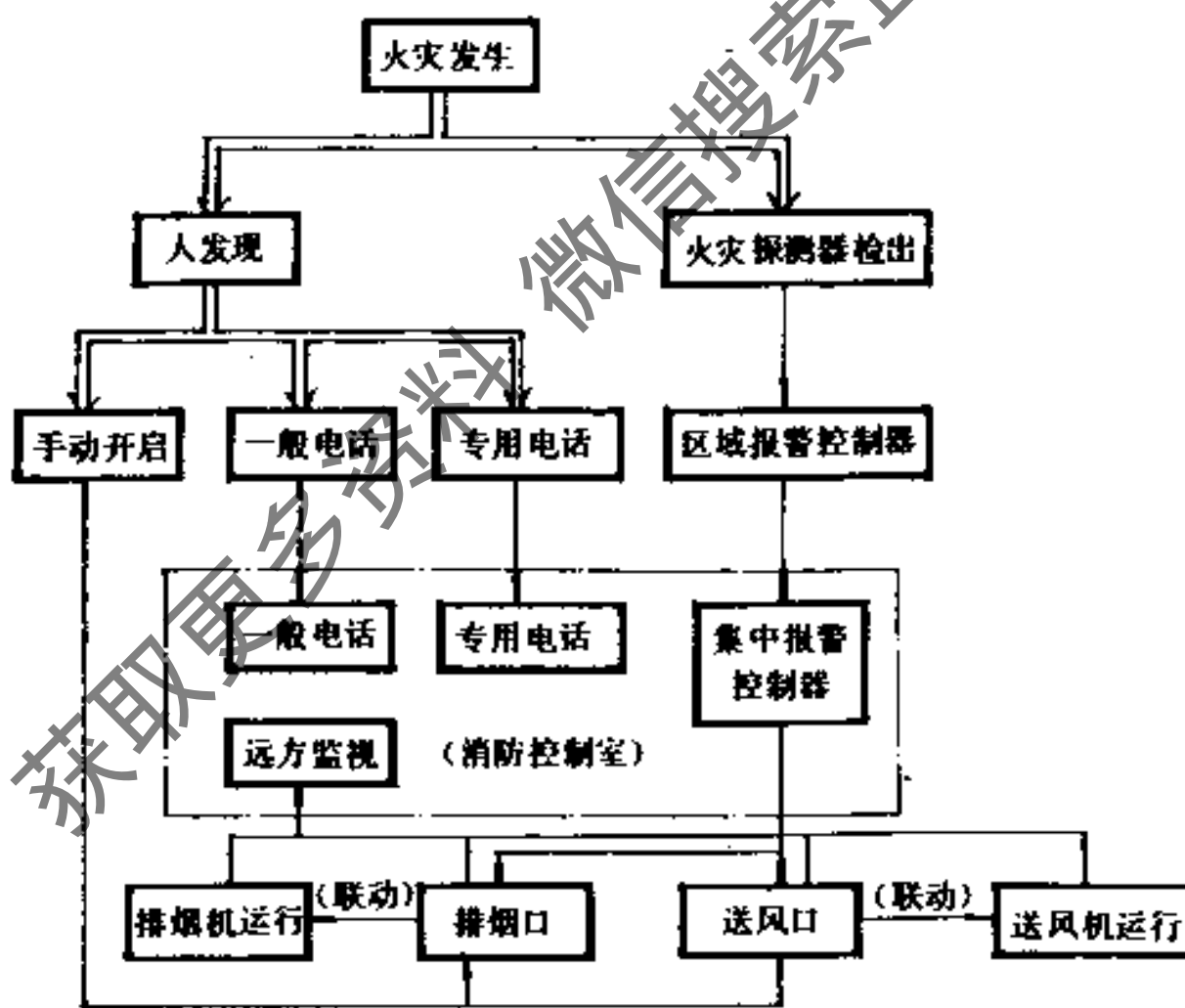


图 10.4-8 防烟楼梯间前室、消防电梯前室和合用前室的加压送风控制程序

10.5 防火、防排烟设备及部件

10.5.1 各种防火、防排烟阀口

1. 防火、防排烟阀口的分类

国内生产防火、防排烟阀口的厂家较多，表示性能特点的字母含义也不统一，其基本分类见表10.5-1。

防火、防排烟阀口基本分类表

表 10.5-1

类别	名称	性能及用途
防火类	防火阀	70℃温度熔断器自动关闭(防火),可输出联动讯号,用于通风空调系统风管内,防止火势沿风管蔓延
	排烟防火阀	靠烟感器控制动作,用电讯号通过电磁铁关闭(防烟),还可70℃温度熔断器自动关闭(防火)用于通风空调系统风管内,防止烟火蔓延
防烟类	加压送风口	靠烟感器控制,电讯号开启,也可手动(或远距离缆绳)开启,可设280℃温度熔断器重新关闭装置,输出动作电讯号,联动送风机开启,用于加压送风系统的风口,起赶烟、防烟作用
排烟类	排烟阀	电讯号开启或手动开启,输出开启电讯号联动排烟机开启,用于排烟系统风管上
	排烟防火阀	电讯号开启,手动开启,280℃靠温度熔断器重新关闭,输出动作电讯号,用于排烟风机吸入口处管道上
	排烟口	电讯号开启,手动(或远距离缆绳)开启,输出电讯号联动排烟机,用于排烟房间的顶棚或墙壁上。可设280℃时重新关闭装置
	排烟窗	靠烟感器控制动作,电讯号开启,还可缆绳手动开启,用于自然排烟处的外墙上

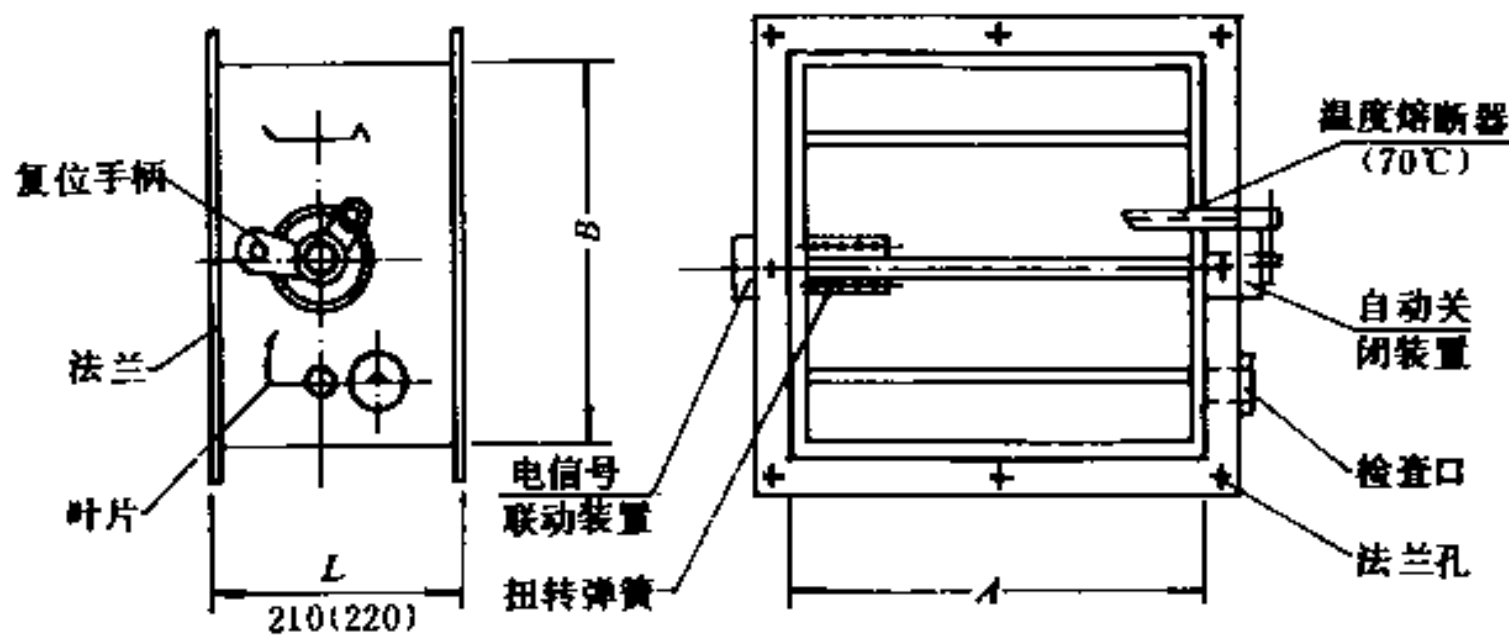
2. 常用防火、防排烟阀口性能及规格

常用防火、防排烟阀口的性能及规格列于表10.5-2中。型号表示方法为国内诸多产品之一例,其型号字母含义是:第一组字母为产品名称汉语拼音缩写,P—排,Y—烟,F—

防火、防排烟阀口性能及规格

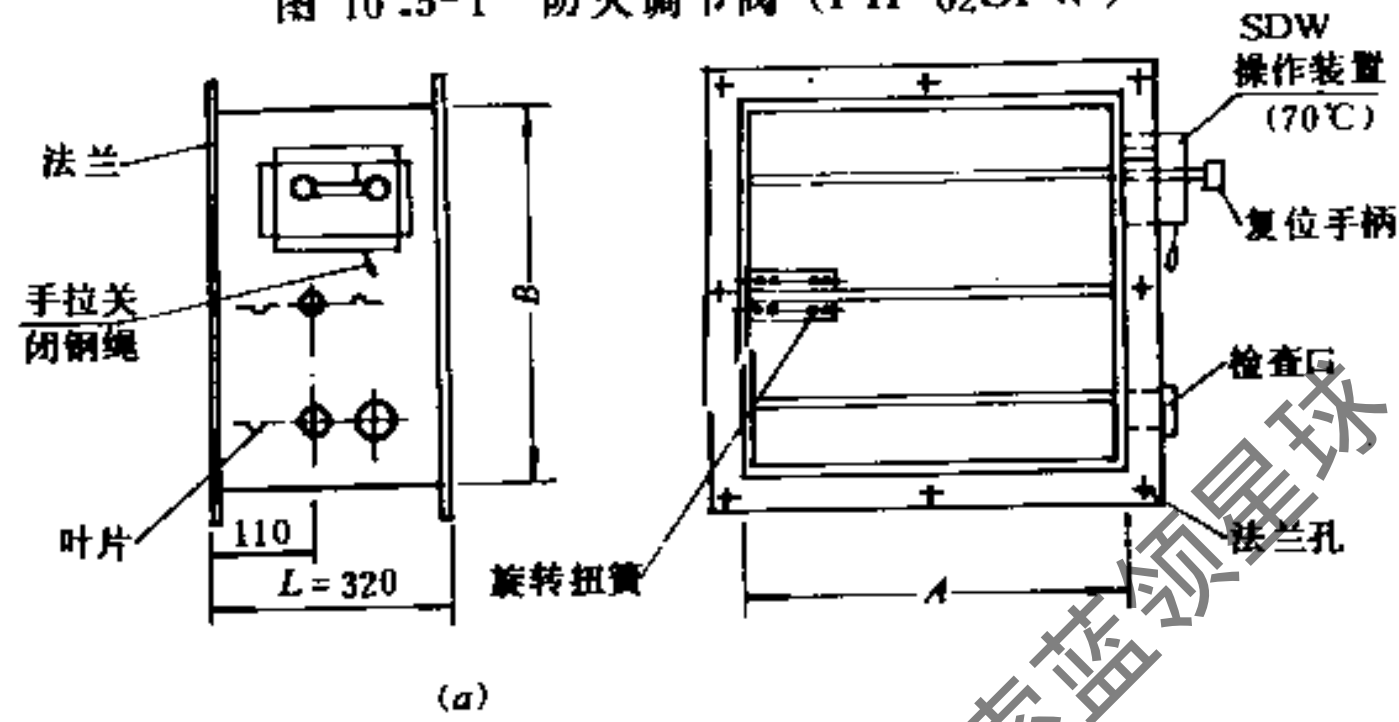
表 10.5-2

序号	名称	型号	功能特点	规格	图表号
1	防火调节阀	FH 02 SFW	70℃自动关闭,手动复位,0~90°无级调节,可以输出关闭电讯号	矩形>100×100×160 圆形>φ100×140	图10.5-1 表10.5-3,4
2	排烟防火阀	FYH-02 SDW	70℃自动关闭,电讯号DC 24V关闭,手动关闭,手动复位,输出关闭电讯号	矩形>250×250×320	图10.5-2
		FYH-03 SDFW	70℃自动关闭,电讯号DC 24V关闭,手动关闭,手动复位,0~90°无级调节,输出关闭电讯号	圆形>φ250×320	表10.5-3,4
3	排烟阀	PY 02 SD	电讯号DC 24V开启,手动开启,手动复位,输出开启电讯号	矩形>250×250×320	图10.5-3
		PY 02 YSD	电讯号DC 24V开启,远距离手动开启,远距离手动复位,输出开启电讯号		表10.5-5
4	排烟防火阀	PYFH 02 SDW	电讯号DC 24V开启,手动开启,280℃重新关闭,手动复位,输出动作电讯号	矩形>320×320×320	图10.5-4
		PYFH-02 YSDW	电讯号DC 24V开启,远距离手动开启,280℃重新关闭,手动复位,输出动作电讯号		表10.5-5
5	板式排烟口	PYK-02 YSD	电讯号DC 24V开启,远距离手动开启,远距离手动复位,输出开启电讯号	矩形>320×320	图10.5-5 表10.5-6
6	多叶排烟口	PSK 02 SD	电讯号DC 24V开启,手动开启,手动复位,输出开启电讯号	矩形>500×500	图10.5-6
		PSK-02 SDW	电讯号DC 24V开启,手动开启,280℃重新关闭,输出动作电讯号		表10.5-7
	PSK-02 YSDW	电讯号DC 24V开启,远距离手动开启,280℃重新关闭,手动复位,输出动作电讯号			

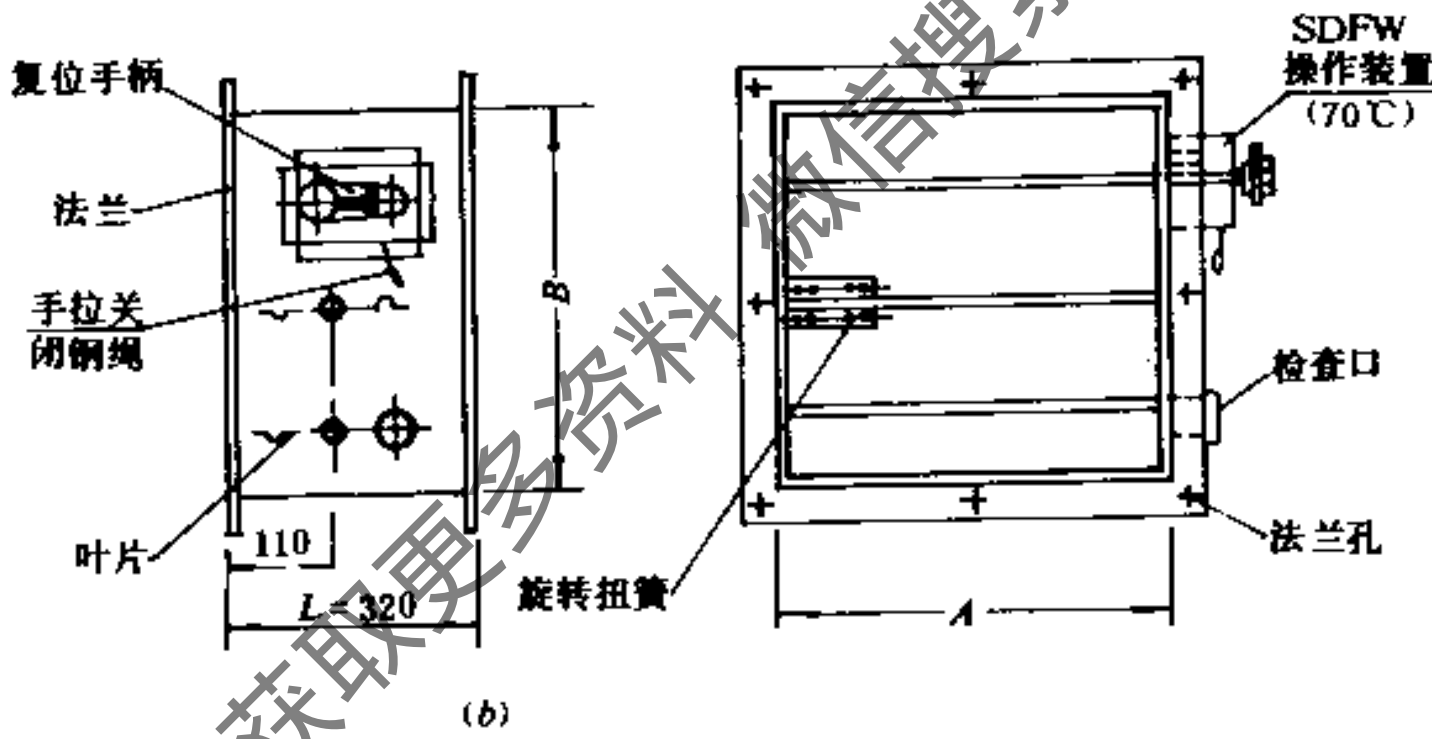


(矩形阀门示意图)

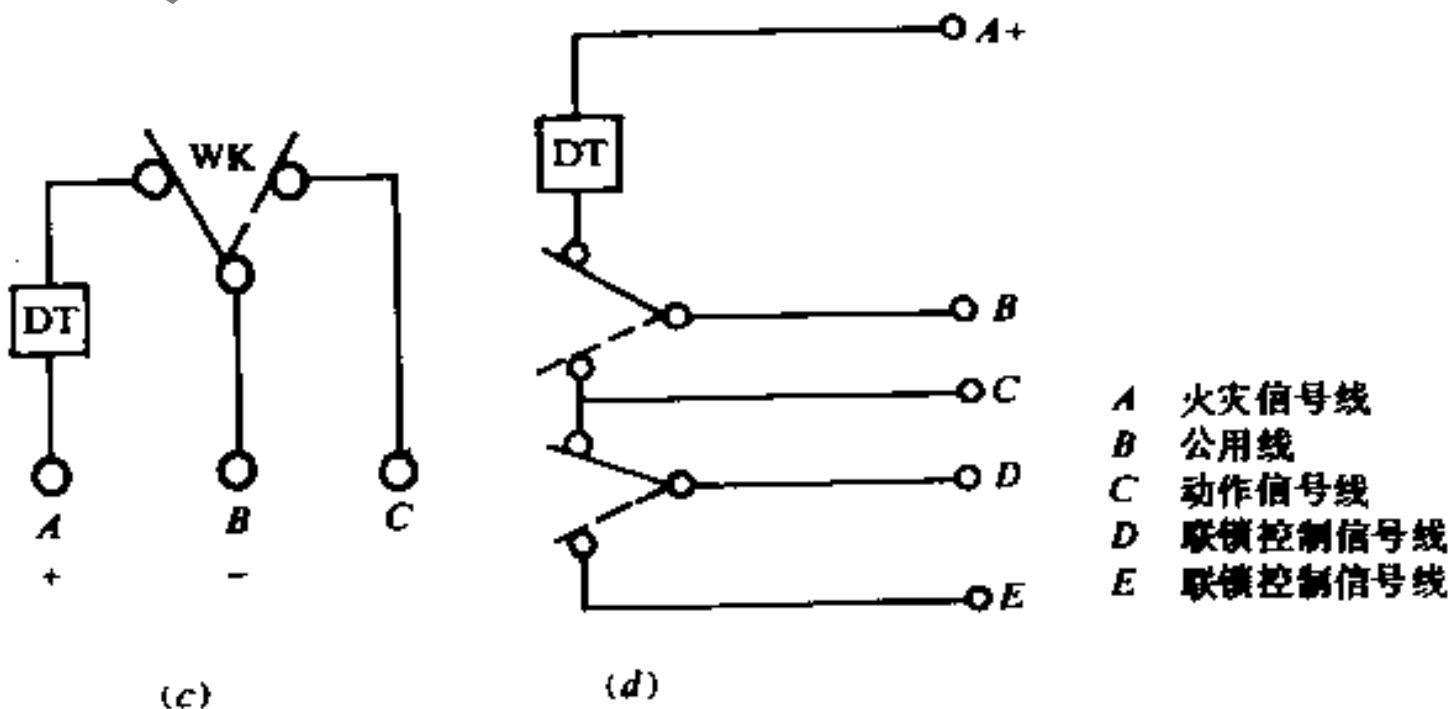
图 10.5-1 防火调节阀 (FH-02SFW)



(a)



(b)



(c)

(d)

图 10.5-2 防烟防火阀 (FYH-02SDW, FYH-03SDFW)

(a) FYH-02SDW型防烟防火阀; (b) FYH-03SDFW型防烟防火阀; (c) 单微动开关原理图; (d) 双微动开关原理图

矩形防火调节阀 (FH-02SFW)、防烟防火阀 (FYH-02SDW、FYH-03SDFW) 规格 表 10.5-9

规格 A、B (mm)	100 × 100	120 × 120	160 × 160 ↓	200 × 160 ↓	250 × 160 ↓	320 × 160 ↓	400 × 200 ↓	500 × 200 ↓	630 × 250	800 × 320	1000 × 400	1250 × 400	1600 × 500	2000 × 630							
		120 × 120 ↓	160 × 320	200 × 320	250 × 400	320 × 320	400 × 400	500 × 500	630 × 500	800 × 500	1000 × 500	1250 × 800	1600 × 800	2000 × 1000	250 × 500	320 × 500	400 × 500	500 × 500	630 × 630		
叶片组数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
操作机构数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
法兰规格	∠25 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3	∠30 × 3
阀体厚度																					
阻力系数																					
												防火阀 210(220)			防烟防火阀 320						
												∠0.5			(阀片全开)						

1. 此种规格仅是防火调节阀。
注：防火调节阀规格中B尺寸为630或1250时，厚度为220。

防, H—火, S—送, K—口; 第二组数字为产品的设计顺序号; 第三组字母为产品操作装置功能汉语拼音缩写, Y—远距离缆绳操作, S—手动, D—电讯号DC 24V动作, F—风量调节, W—温度熔断器动作。

各防火、防排烟阀口的外型见图10.5-1至图10.5-6; 具体规格尺寸见表10.5-3至表10.5-7。多叶及板式风口在墙上安装预埋件尺寸见图10.5-7。

圆形防火调节阀 (FH-02SFW)、防烟防火阀 (FYH-02SDW) 规格 表 10.5.4
FYH-03SDFW

规格 ϕ (mm)	120 ^L	160 ^L	180 ^L	200 ^①	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000
操作机构	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
法兰规格	/ 25×25×3				∠30×30×3				/ 35×35×4				∠40×40×5				
阀厚L	160	L = ϕ															
阻力系数	<0.5 (阀片全开)																

① 仅是防火调节阀。

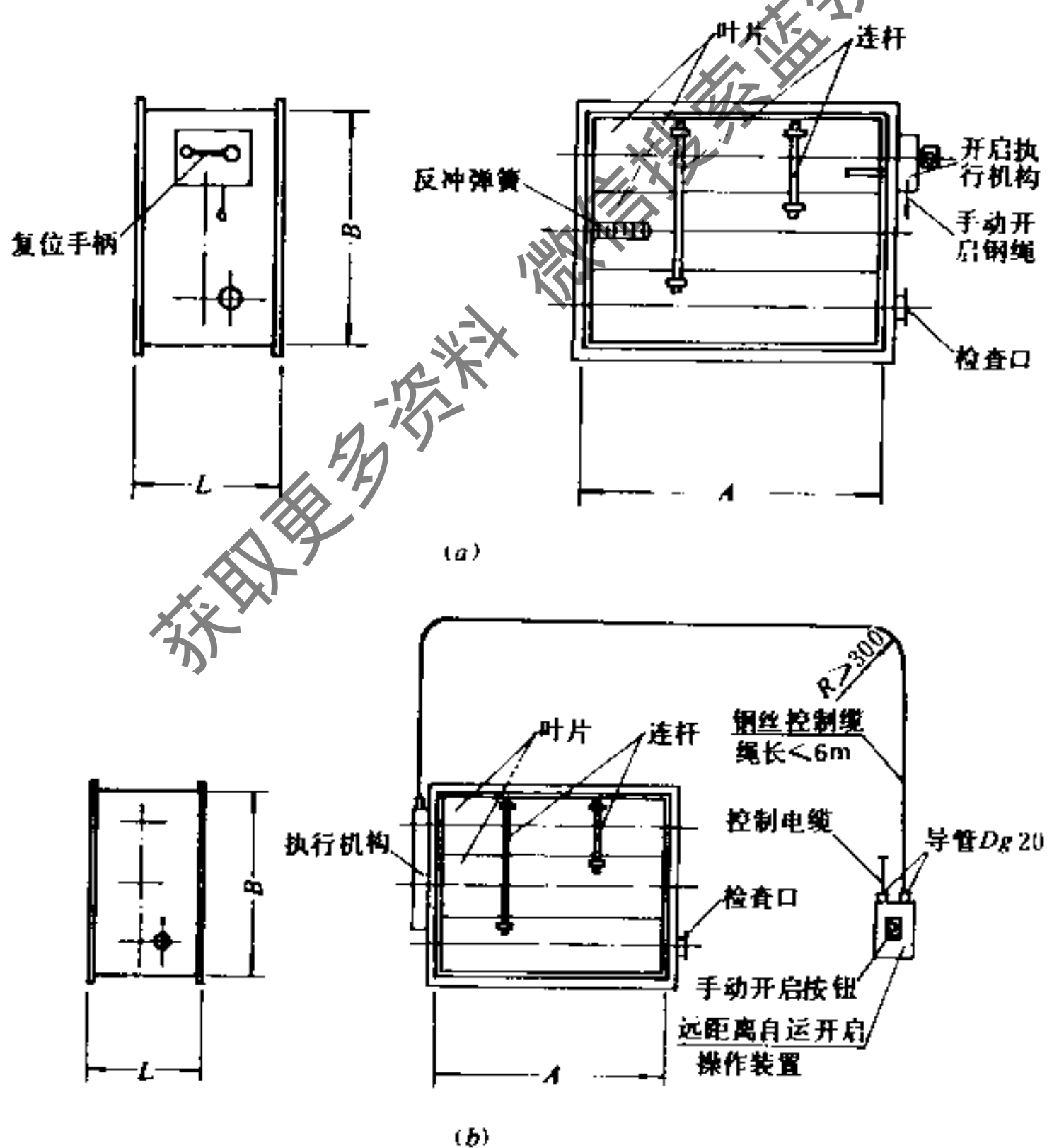
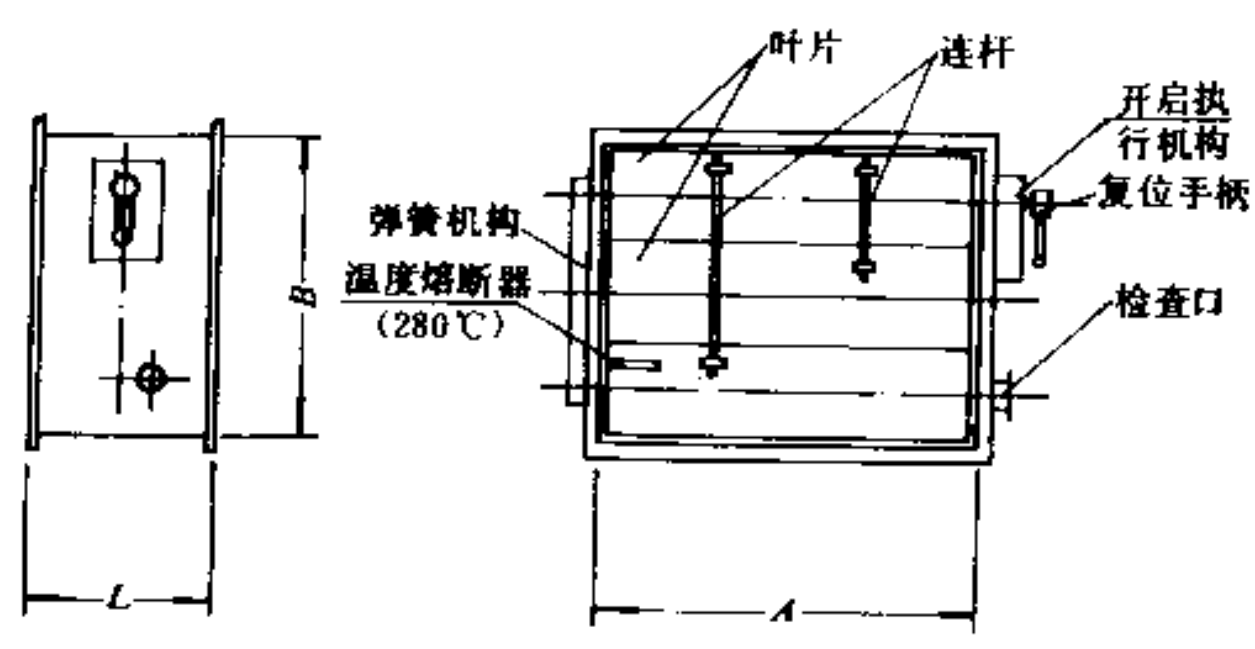
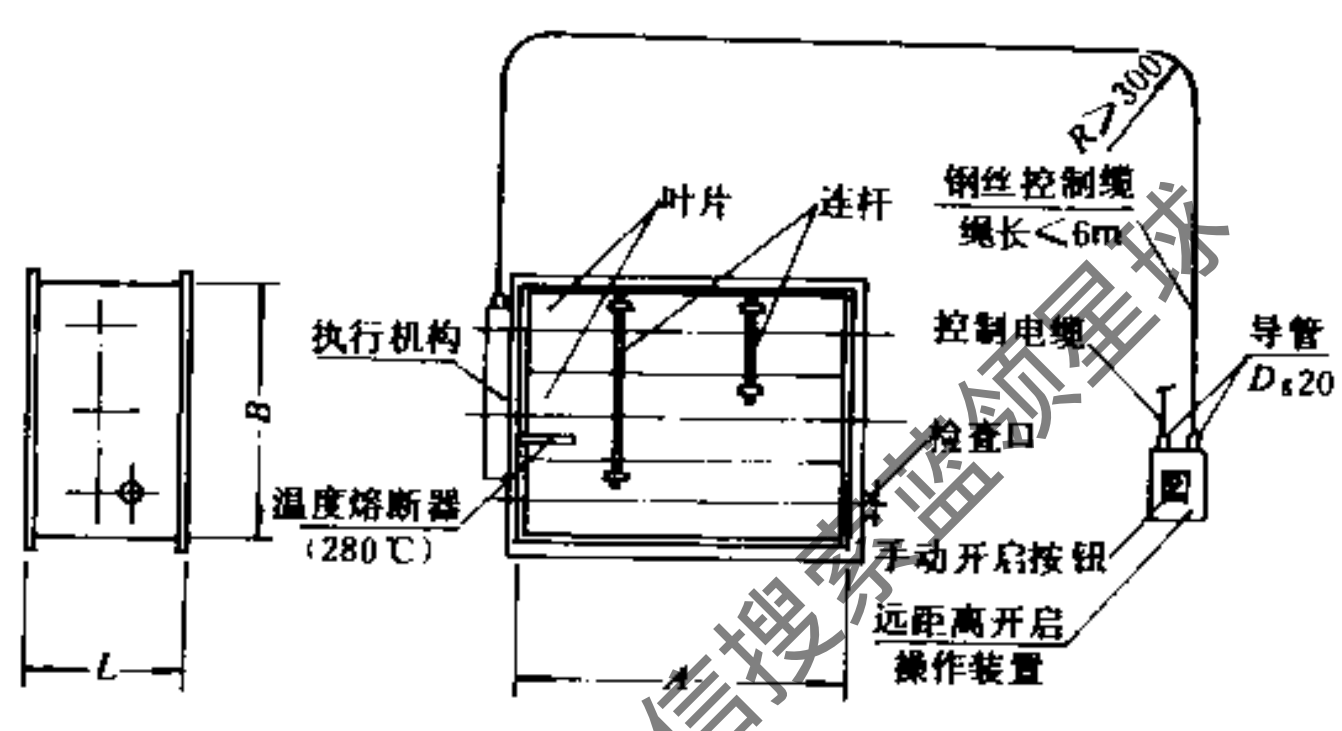


图 10.5-3 排烟阀 (PY-02SD, PY-02YSD)
(a) PY-02SD型排烟阀; (b) PY-02YSD型排烟阀



(a)



(b)

图 10.5-4 排烟防火阀 (PYFH-02SDWPYFH 02YSDW)
 (a) PYFH-02SDW 型排烟防火阀; (b) PYFH-02YSDW 型排烟防火阀

排烟阀 (PY-02SD, PY-02YSD)
 排烟防火阀 (PYFH-02SDW, PYFH-02YSDW) 规格

表 10.5 5

规格 A × B (mm)	320 × 320						
	400 × 320	400 × 400					
	500 × 320	500 × 400	500 × 500				
	630 × 320	630 × 400	630 × 500	630 × 630			
	800 × 320	800 × 400	800 × 500	800 × 630	800 × 800		
	1000 × 320	1000 × 400	1000 × 500	1000 × 630	1000 × 1000	1000 × 1000	
		1250 × 500	1250 × 500	1250 × 630	1000 × 800	1250 × 1000	
			1600 × 500	1600 × 630	1250 × 800	1600 × 1000	1600 × 1250
					1600 × 800	2000 × 1000	2000 × 1250
阀片组数	2	2	3	3	4	6	6
操作机构数	1	1	1	1	2	2	2
法兰规格	∠30 × 3	A < 800 时, ∠35 × 3, 其余 ∠40 × 3			∠40 × 3		∠45 × 3
阀体厚度 L (mm)	320						
阻力系数	< 0.5 阀片全开						
漏风量	< 1000 m ³ / m ² · h (压差 250 Pa), < 2000 m ³ / m ² · h (压差 1000 Pa)						

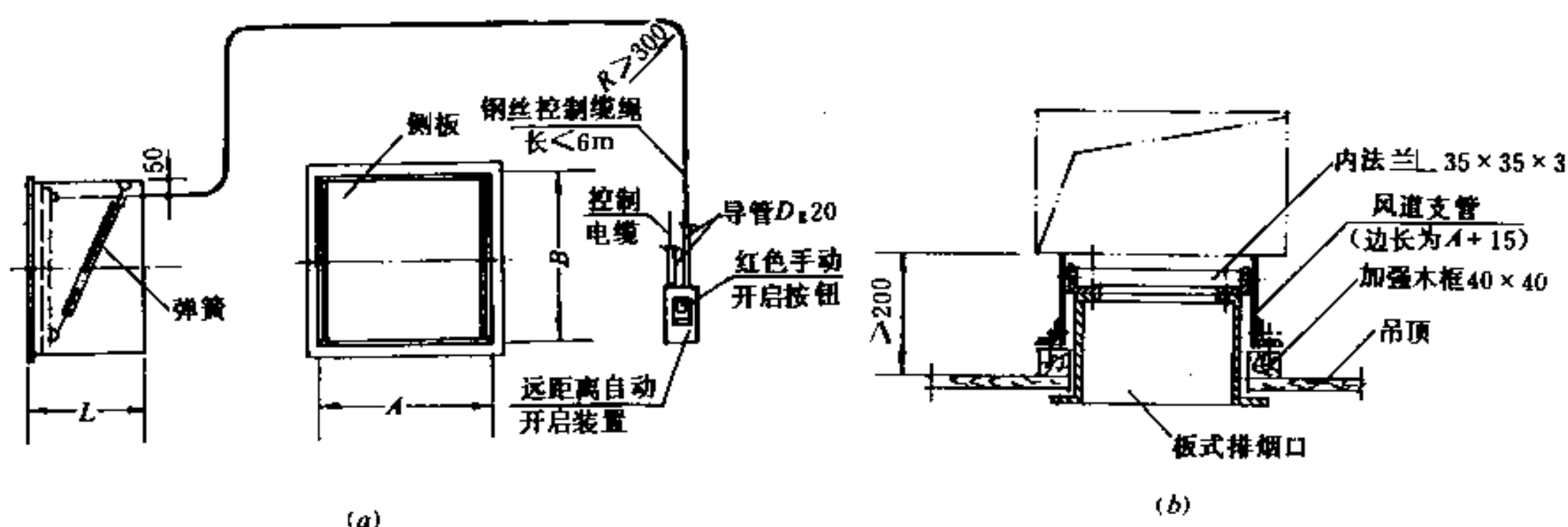


图 10.5-5 板式排烟口 (PYK-02YSD)
(a) 板式排烟口外形; (b) 板式排烟口在吊顶安装示意

板式排烟口 (PYK-02YSD) 规格

表 10.5-6

规格 $A \times B$ (mm)	320 × 320	400 × 400	500 × 500	630 × 630	700 × 700	800 × 800
阀体厚度 L (mm)	150	150	150	150	180	180
有效净面积 (m^2)	0.07	0.125	0.203	0.306	0.421	0.563
操作机构数	1					
阻力系数	<0.5					
漏风量	<150 $m^3/m^2 \cdot h$ (压差250Pa)、<300 $m^3/m^2 \cdot h$ (压差1000Pa)					

多叶排烟口
多叶送风口 (PSK-02SD、PSK-02SDW、PSK-02YSDW) 规格

表 10.5-7

规格 $A \times B$ (mm)	500 × 500	630 × 630	700 × 700	800 × 630	800 × 800	1000 × 630	1000 × 800	1250 × 630	1000 × 1000	1250 × 1000	1600 × 1000	
操作机构数 ^①	1						2					
阀体厚度 L (mm)	275											
阻力系数	<0.5											
漏风量 ($m^3/m^2 \cdot h$)	<1000 (压差250Pa) <2000 (压差1000Pa)											
有效净面积 (m^2)	$\approx 0.84 \times (A \times B)$											

① 操作机构栏中的数字为PSK-02SD型产品。如为PSK-02YSDW型产品均为1个操作机构, $B < 800$ 的PSK-02SDW型产品操作机构数为1, $B > 800$ 的PSK-02SDW型产品操作机构数为2。

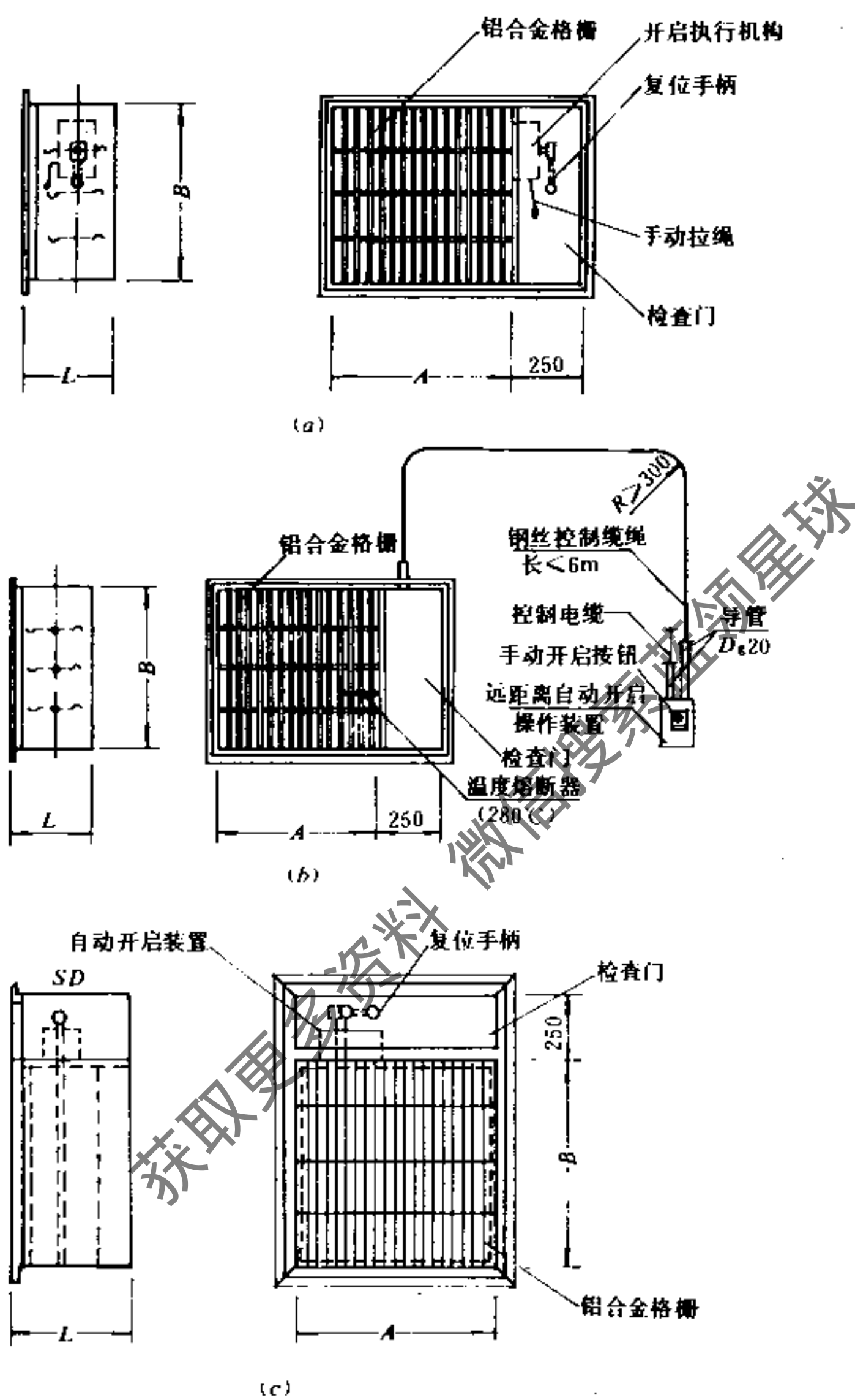
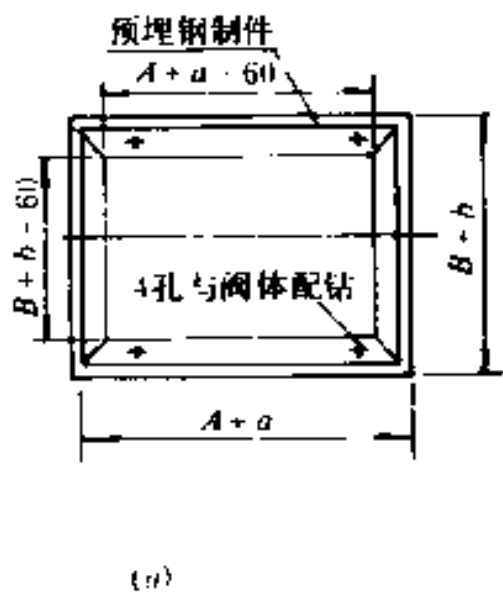
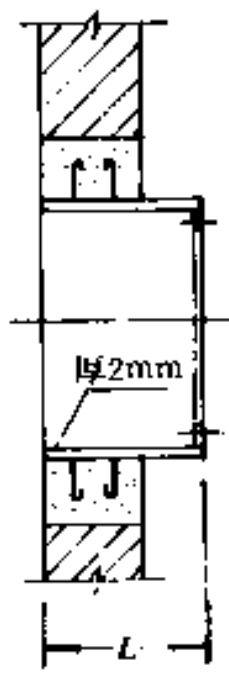


图 10.5-6 多叶排烟口, 送风口 (PSK-02SD、PSK-02SDW、PSK-02YSDW)

(a) PSK-02SD(W)[A] 型多叶排烟口、送风口; (b) PSK-02YSDW [A]

型多叶排烟口、送风口; (c) PSK-02SD(W)[B] 型多叶排烟口、送风口



预埋件尺寸选取表 (mm)

阀门型号	a	b
PSK [A]	265	15
PSK [B]	15	265
PYK (板式)	15	15

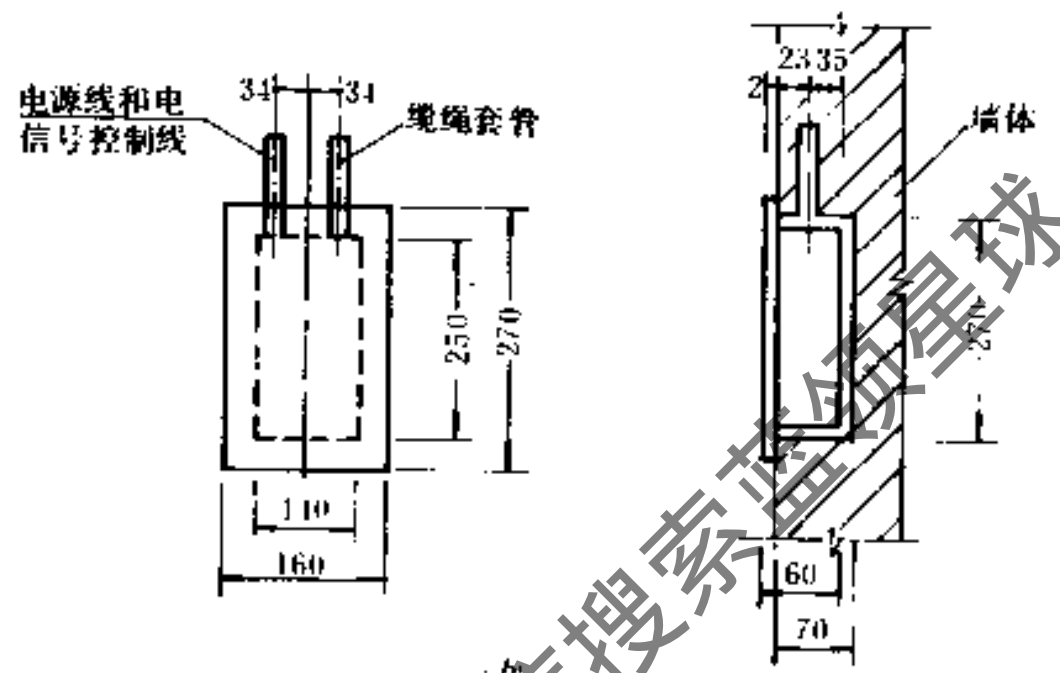


图 10.5-7 多叶及板式风口在墙上安装预埋件
(a) 阀体预埋件; (b) 远距离操作机构墙上留洞

10.5.2 防排烟通风机

1. 防排烟通风机选用原则

用于防排烟系统的通风机, 可采用普通钢制离心式通风机, 如T 4-72型、4-68型、C 6-48型等, 或采用防火排烟专用通风机, 如HTF型、PA型(电机在机壳外面)轴流式排烟风机、PW型排烟屋顶风机等。

2. 防火排烟专用通风机

(1) HTF型排烟风机, 是一种消防高温排烟专用风机。烟气温度小于150℃时可长时间运行, 温度在300℃时, 可连续运行40min。HTF型排烟风机的性能见表10.5-8, 外形见图10.5-8, 外形尺寸见表10.5-9。

HTF型消防高温排烟专用轴流风机性能

表 10.5-8

机号 No.	叶轮直径 (mm)	风量 (m ³ /h)	静压 (Pa)	转速 (r/min)	装机容量 (kW)	重量 (kg)
5	500	8000	505	2900	3.0	125
6	600	15000	510	2900	5.5	150
7	700	22000	460	1450	7.5	200
8	800	28000	420	1450	7.5	220

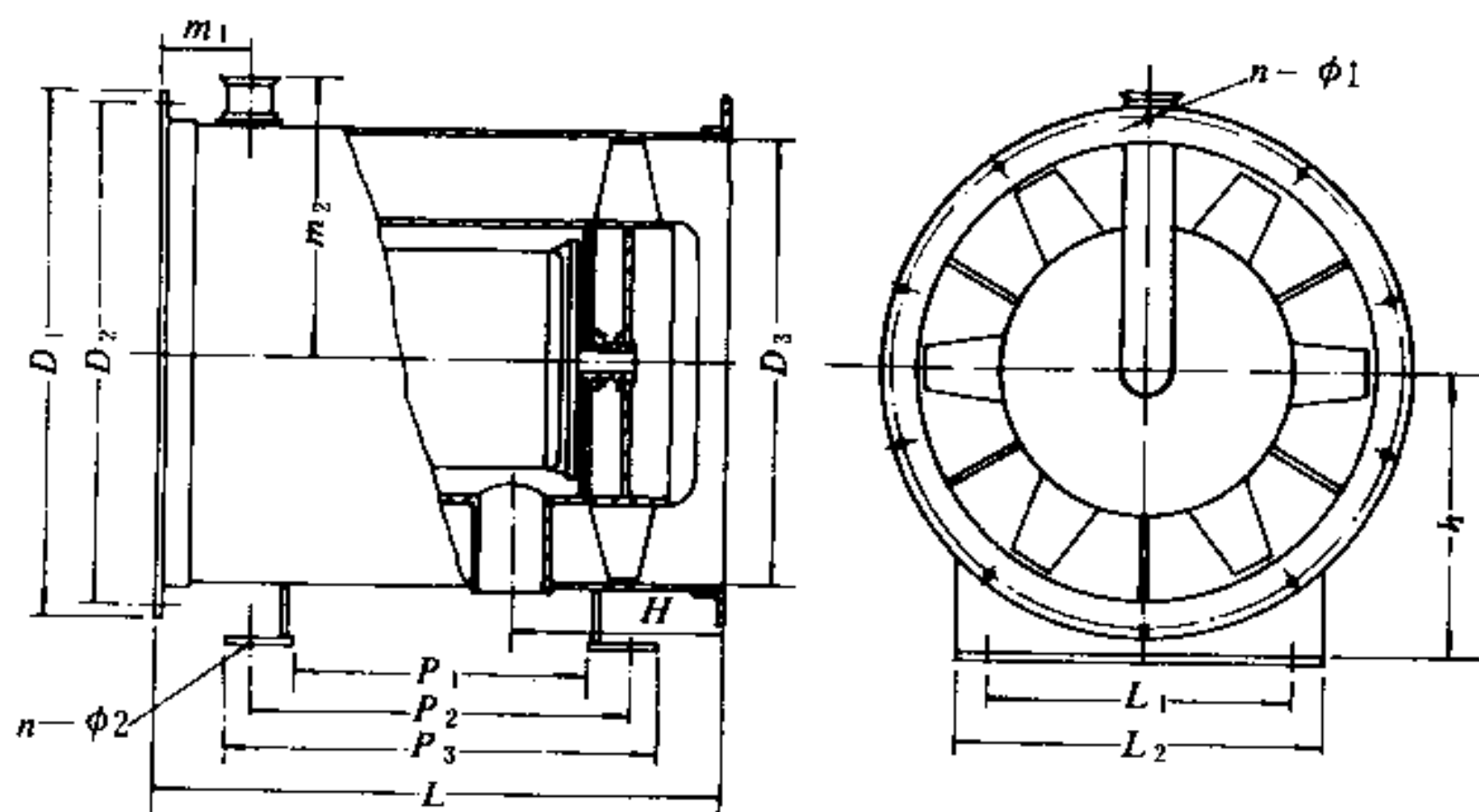


图 10.5-8 HTF 型消防高温排烟专用轴流风机外形图

HTF 型消防高温排烟专用轴流风机外形尺寸 (mm) 表 10.5-9

机号No.	D_1	D_2	D_3	m_1	m_2	L	L_1	L_2	P_1	P_2	P_3	H	h	$n-\phi_1$	$n-\phi_2$
5	595	550	506	130	353	800	300	400	400	540	380	227	347	10-10.5	2-10.5
6	695	655	606	130	403	830	400	500	589	729	769	220	397	10-10.5	2-14.5
7	800	770	706	130	453	975	500	600	540	690	730	300	447	10-10.5	2-14.5
8	898	870	806	130	503	956	500	600	540	690	730	300	497	12-10.5	2-14.5

(2) PA 型轴流式排烟风机, 结构上考虑了热胀的影响, 电机装于机壳之外, 能在 280℃ 高温下连续运转 30min, 作管道排烟风机时, 可设在机房或技术夹层内, 也可装于外墙外侧直接排烟。PA 型轴流式排烟风机性能见表 10.5-10, 外形见图 10.5-9, 外形尺寸见表 10.5-11。

PA 型轴流式排烟风机性能 表 10.5-10

机号 No.	风量 (m ³ /h)	风压 (Pa)	功率 (kW)	电压 (V)	转数 (r/min)	电机型号	噪声 [dB (A)]	重量 (kg)
4A	3000	100	0.12	220	1340	A ₁ 5642	52	30
4B	4000	80	0.37	380	1350	A ₁ 7124	54	32
4C	5100	230	0.55	380	1350	A ₁ 7134	57	34
5	11000	260	0.75	380	1400	A ₁ 7132	68	40
6	13000	200	1.10	380	1420	Y90S-1	65	45
6A	16000	210	1.5	380	1440	Y90L-4	68	47
7.1	23000	280	2.2	380	1440	Y100L ₁ -4	71	55
7A	26000	300	3.0	380	1440	Y100L ₂ -4	73	60
8	40000	300	5.5	380	1440	Y132S-4	79	80

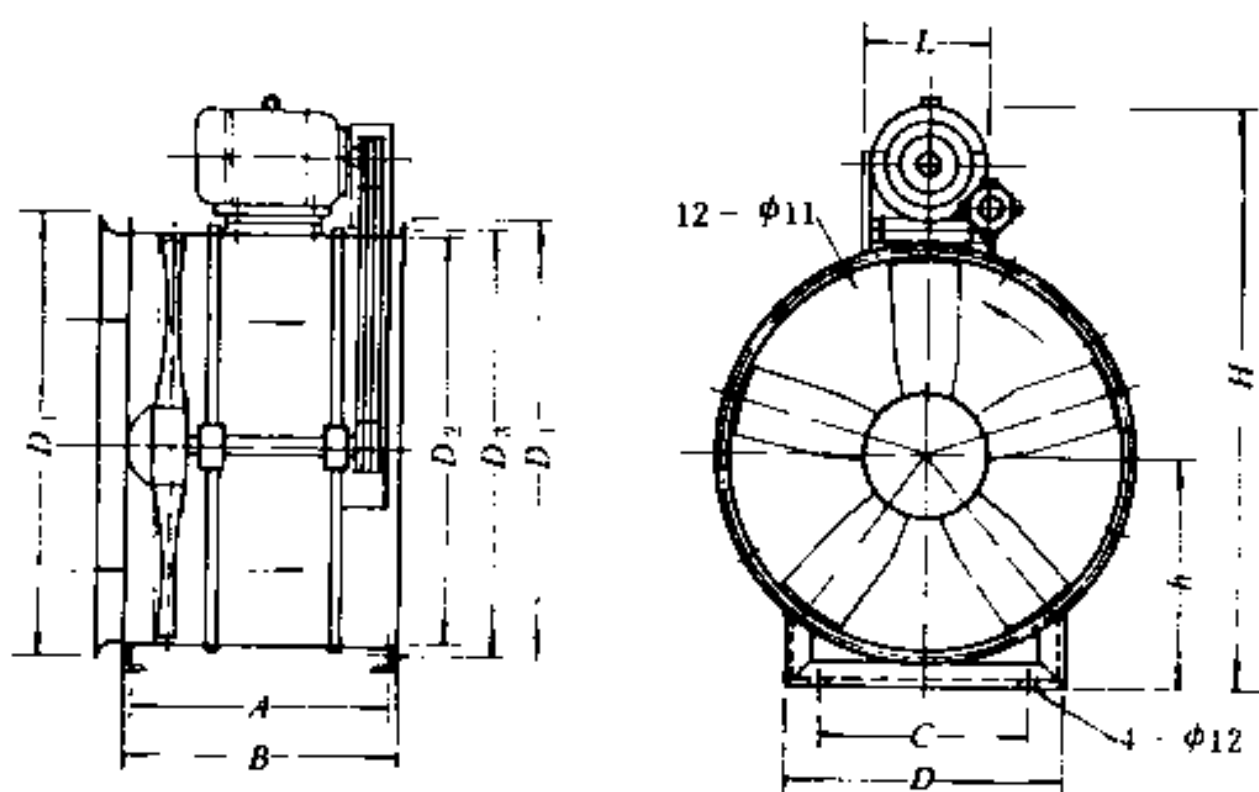


图 10.5-9 PA 型轴流式排烟风机外形图

PA 型轴流式排烟风机外形尺寸 (mm)

表 10.5-11

No.	D_1	D_2	D_3	D_4	A	B	C	D	h	H	L
4A	510	410	450	490	290	510	260	370	280	670	150
4B	510	410	450	490	290	510	260	370	280	670	150
4C	510	410	450	490	290	510	260	370	280	670	150
5	670	570	610	650	400	465	305	500	360	910	200
6	750	650	690	730	450	510	345	560	400	990	200
6A	750	650	690	730	450	510	345	560	400	990	200
7.1	910	770	810	850	450	510	510	600	440	1105	250
7A	910	770	810	850	450	510	510	600	440	1105	300
8	1100	870	910	950	500	560	560	600	500	1300	330

(3) PW 型排烟屋顶风机。该风机的电机在外,筒内噪声较低,适于从屋顶直接排除 100°C 以上的高温、高湿及烟气, 280°C 时能连续运转 30min 。其外形见图10.5-10、性

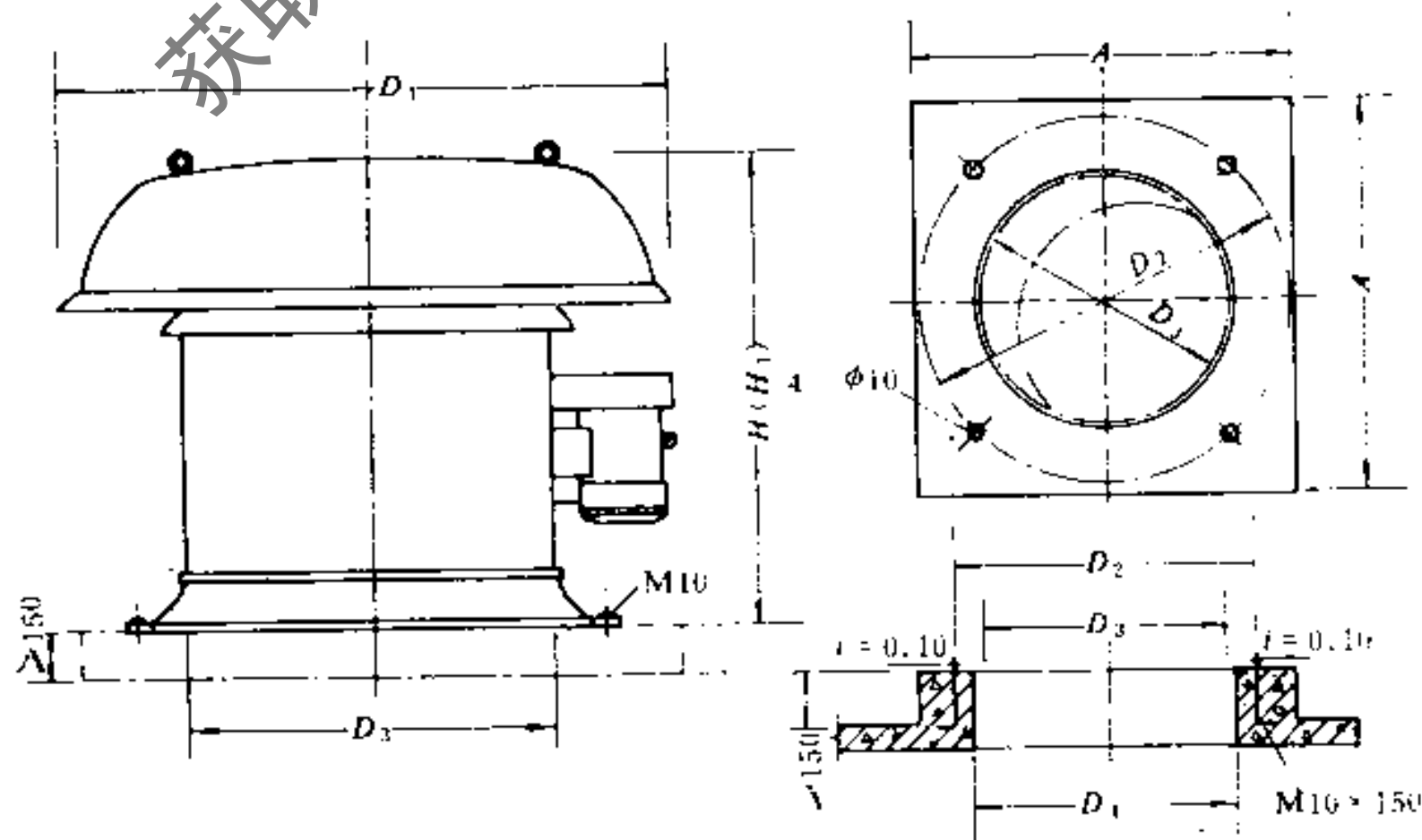


图 10.5-10 PW 型排烟屋顶风机外形图

能及外形尺寸见表10.5-12(表中功率kW₁和尺寸H₁用于厨房排除油烟时通风)。

PW型排烟屋顶风机性能及外形尺寸

表 10.5-12

机号 No.	风量 m ³ /h	风压 Pa	噪声 dB (A)	功率		重量 kg	外形尺寸 (mm)						
				kW	kW ₁		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	A	H	H ₁
4A	3000	100	52	0.37	0.55	35	840	570	470	490	700	600	1000
4B	4000	80	54	0.55	0.75	37	840	570	470	490	700	600	1000
4C	5000	230	57	0.75	1.1	39	840	570	470	490	700	600	1000
5	8000	240	63	1.1	1.5	45	840	740	630	660	870	800	1300
6	10000	200	65	1.1	1.5	45	1000	820	710	750	950	900	1500
6A	13000	200	65	1.5	2.2	50	1000	820	710	750	950	900	1500
6B	16000	160	68	2.2	2.2	53	1000	820	710	750	950	900	1500
7	23000	280	71	3.0	4.0	60	1100	980	870	910	1100	1000	1700
7A	26000	300	76	4.0	5.5	65	1100	980	870	910	1100	1000	1700
8	40000	330	80	5.5	7.0	90	1300	1200	1000	1300	1400	1300	1800

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第十一章 空气调节

11.1 空调设计中的一些基本问题

11.1.1 大气环境的质量标准

1. 质量分级

根据GB 3095—82的规定,我国将大气环境质量标准分为三级:

• 一级 为保护自然生态和人群健康,在长期接触情况下,不发生任何危害影响的空气质量要求。

• 二级 为保护人群健康和城市、乡村的动、植物,在长期和短期接触情况下,不发生伤害的空气质量要求。

• 三级 为保护人群不发生急、慢性中毒和城市一般动、植物(敏感者除外)正常生长的空气质量要求。

2. 不同等级的浓度限值(见表11.1-1)

空气污染物三级标准的浓度限值

表 11.1-1

污染物名称	取值时间	浓度限值 (mg/m ³)		
		一级	二级	三级
总悬浮微粒(T.S.P.)	日平均	0.15	0.30	0.50
	任一次	0.30	1.00	1.50
飘尘	日平均	0.05	0.15	0.25
	任一次	0.15	0.50	0.70
二氧化硫(SO ₂)	年日平均	0.02	0.06	0.10
	日平均	0.05	0.15	0.25
	任一次	0.15	0.50	0.70
氮氧化物(NO _x)	日平均	0.05	0.10	0.15
	任一次	0.10	0.15	0.30
一氧化碳(CO)	日平均	4.00	4.00	6.00
	任一次	10.00	10.00	20.00
光化学氧化剂(O ₃)	一小时平均	0.12	0.16	0.20

注: 日平均——任何一天的平均浓度不许超过的限值;
 任一次——任何一次采样测定不许超过的限值;
 年日平均——任何一年的日平均浓度均值不许超过的限值;
 总悬浮微粒——指100μm以下的微粒;
 飘尘——指10μm以下的微粒;
 光化学氧化剂——一小时平均值每月不得超过一次以上。

3. 环境质量区的划分(见表11.1-2)

大气环境质量区的划分及执行标准的规定

表 11.1-2

环境质量区	划 分 条 件	执行标准	备 注
一 类 区	国家规定的自然保护区、风景游览区、名胜古迹和疗养地等	一 级	由 国 家 确 定
二 类 区	城市规划中确定的居民区、商业交通居民混合区、文化区、名胜古迹和广大农村	二 级	由 当 地 政 府 确 定
三 类 区	大气污染程度比较严重的城镇和工业区以及城市交通枢纽、干线等	三 级	由 当 地 政 府 确 定

注：位于二类区内的工业企业，应执行二级标准；位于三类区内的非规划的居民区，应执行三类区的三级标准。

4. 污染物浓度的监测

总悬浮微粒：采取滤膜采样，重量法。

飘尘：采取石英压电晶体法。

二氧化硫：采取盐酸副玫瑰苯胺比色法。

氮氧化物（以二氧化氮计）：采取盐酸萘乙二胺比色法。

一氧化碳：采取红外分析、气相色谱法、汞置换法。

光化学氧化剂（O₃）：采取硼酸碘化钾法（要扣除同步监测的NO_x干扰）。

11.1.2 舒适感及室内设计条件

1. 影响舒适感的环境特性

- 干球温度——影响蒸发与对流
- 相对湿度——影响蒸发
- 空气流速——影响蒸发与对流
- MRT（平均辐射温度）——影响辐射

2. 新有效温度ET*

图11.1-1表示了ASHRAE舒适标准（ASHRAE comfort standard 55-74）中所建议的新舒适区。它的条件是：

干球温度：近似等于平均辐射温度（MRT）；

空气流速：小于0.23m/s；

衣着：clo = 0.5~0.7(clo——保暖程度的单位，其物理值为0.155m²·℃/W)；

工作性质：坐着工作；

停留时间：1h左右。

由图11.1-1可知，新有效温度舒适区处于23~25℃和20~60%之间所包围的区域。

3. 人体热平衡和舒适方程（Fanger方程）

(1) 热平衡方程式

$$S = M - W - E - R - C \quad (11.1-1)$$

式中 S ——人体蓄热率，W/m²；

M ——人体能量代谢率，W/m²；

W ——人体所作的机械功，W/m²；

E —— 蒸发热损失, W/m^2 ;

R —— 辐射热损失, W/m^2 ;

C —— 对流热损失, W/m^2 。

• 蒸发热损失 E (W/m^2)

$$E = L + E_{hu} + E_p + E_h$$

$$= 0.0014M(34 - t_n) + 1.72 \times 10^{-5}M(5867 - P_f)$$

$$+ 3.05 \times 10^{-3}(254 t_p - 3335 - P_f) + 0.42(M - W - 58.15) \quad (11.1-2)$$

式中 L —— 呼吸时的显热损失, W/m^2 ;

E_{hu} —— 呼吸时的潜热损失, W/m^2 ;

E_p —— 皮肤扩散蒸发热损失, W/m^2 ;

E_h —— 皮肤出汗造成的热损失, W/m^2 ;

t_n —— 人体周围的空气温度, $^{\circ}C$;

P_f —— 人体周围空气的水蒸汽分压力, Pa;

t_p —— 人体皮肤的平均温度, $^{\circ}C$ 。

$$t_p = 35.7 - 0.0275(M - W) \quad (11.1-3)$$

• 辐射热损失 R (W/m^2)

$$R = 3.95 \times 10^{-8} f_y [(t_y + 273)^4 - (MRT + 273)^4] \quad (11.1-4)$$

式中 f_y —— 穿衣人体的外表面积与裸体时外表面积之比;

t_y —— 衣着外表面的温度, $^{\circ}C$;

MRT —— 平均辐射温度, $^{\circ}C$ 。

当衣服热阻 $R_y < 0.078 m^2 \cdot ^{\circ}C/W$ 时:

$$f_y = 1.00 + 1.29R_y \quad (11.1-5)$$

当 $R_y > 0.078$ 时:

$$f_y = 1.05 + 0.645R_y \quad (11.1-6)$$

衣着外表面的温度 t_y , 按热平衡关系为:

$$t_y = t_p - R_y(R + C) \quad (11.1-7)$$

• 对流热损失 C (W/m^2)

$$C = f_y a_c (t_y - t_n) \quad (11.1-8)$$

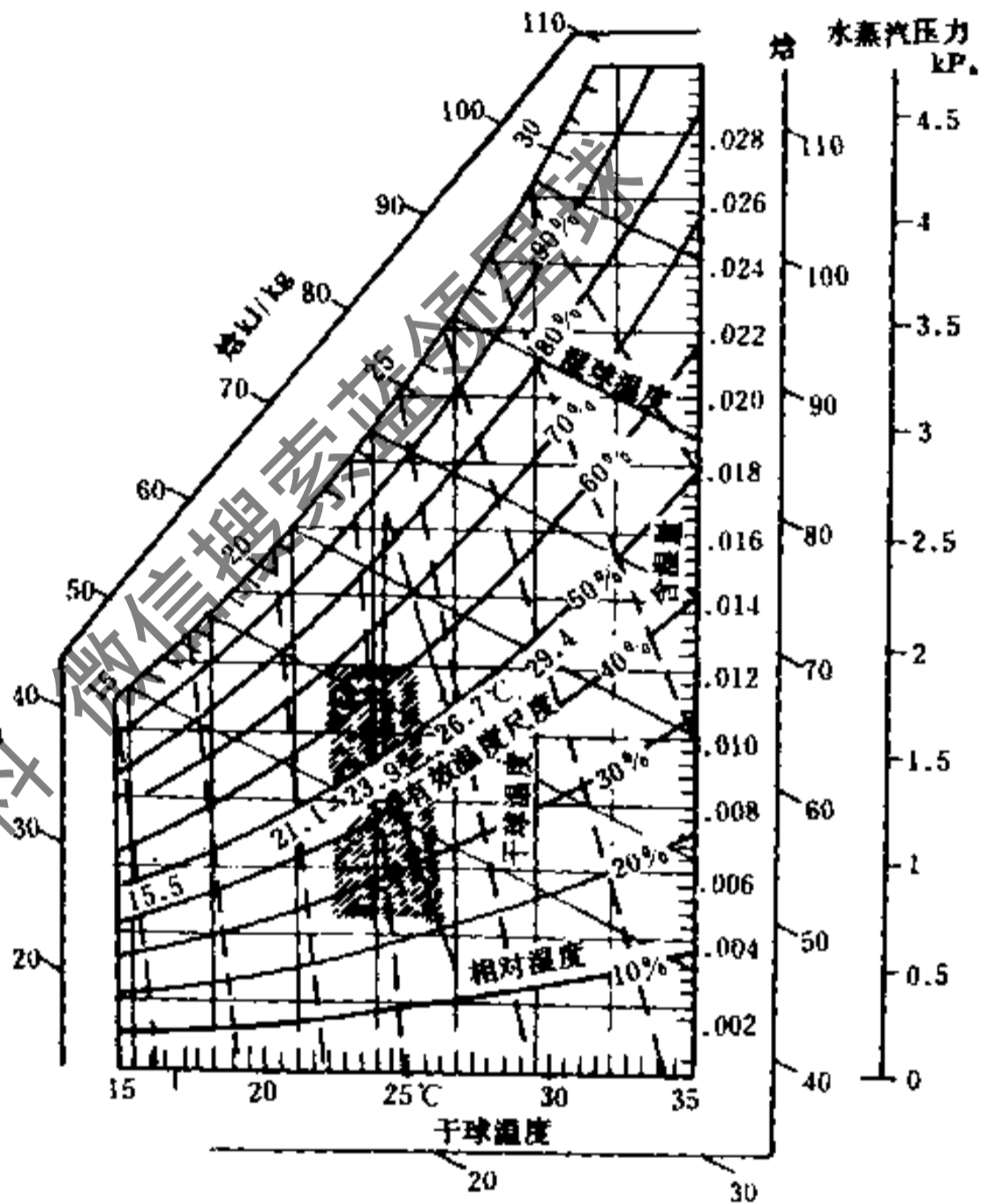


图 11.1-1 ASHRAE 舒适图

式中 a_c ——对流换热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$ 。

当 $2.38(t_y - t_n)^{0.25} > 12.1\sqrt{v}$ 时:

$$a_c = 2.38(t_y - t_n)^{0.25} \quad (11.1-9)$$

当 $2.38(t_y - t_n)^{0.25} < 12.1\sqrt{v}$ 时:

$$a_c = 12.1\sqrt{v} \quad (11.1-10)$$

式中 v ——空气的相对流速, m/s 。

当人体蓄热率 $S = 0$ 时, 得如下热舒适方程:

$$M - W - E - R - C = 0 \quad (11.1-11)$$

人体能量代谢率 M , 与耗氧量 V_{O_2} (L/min) 成正比, 它们间的关系如下:

$$M = (0.23RQ + 0.77) \times 5.86 \times V_{O_2} \times 60 / F_d \quad (11.1-12)$$

式中 RQ ——呼吸商, 人体 CO_2 产量与同时间内耗氧量之比 (V_{CO_2}/V_{O_2});

F_d ——人体的表面积, m^2 。一般可按Dubois公式计算: $F_d = 0.202G^{0.425} \cdot H^{0.725}$ (G ——体重, kg ; H ——身高, m)。

呼吸商 RQ , 与营养成分、活动强度等有关, 美国、日本静坐人体一般取 $RQ = 0.83$; 我国人体可取 $RQ = 0.85$ 。ISO7730标准中给出了不同活动强度时的能量代谢率, 详见表11.1-3所示。

能量代谢率 (ISO 7730)

表 11.1-3

活动强度	能量代谢率		活动强度	能量代谢率	
	W/m^2	met		W/m^2	met
躺着	46	0.8	站着活动(实验室、轻劳动、买东西)	93	1.6
坐着休息	58	1.0	站着活动(营业员、机加工人、家务劳动)	116	2.0
站着休息	70	1.2	中等活动(修理汽车、重机械加工)	165	2.8
坐着活动(办公室、学校、实验室、住房)	70	1.2			

注: met (metabolic rate) = $\frac{\text{某种活动强度时的能量代谢率}}{\text{静坐时的能量代谢率}}$ 。

ISO7730标准中给出的各种服装的热阻值 R_y 如表11.1-4所示。

各种服装的热阻 R_y

表 11.1-4

服装形式	R_y	
	$m^2 \cdot ^\circ C/W$	clo
裸体	0	0
短裤	0.015	0.1
典型的炎热季服装: 短裤、短袖开领衫、薄短袜和凉鞋	0.045	0.3
一般的夏季服装: 短裤、薄长裤、短袖开领衫、薄短袜和鞋子	0.08	0.5
薄的工作服装: 薄内衣、长袖棉工作衬衣、工作裤、羊毛袜和鞋子	0.11	0.7
典型的冬季室内服装: 内衣、长袖衬衫、裤子、茄克衫或长袖毛衣、厚袜和鞋子	0.16	1.0
厚的传统欧洲服装: 长袖棉内衣、衬衫、背带裤、茄克套装、羊毛袜和厚鞋子	0.23	1.5

人体服装的热阻,也可以根据各部分衣着的热阻(表11.1-5)按下列公式求出:

$$R_y = 0.82 \sum r_y \quad (11.1-13)$$

式中 r_y ——各种衣着的热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$ 。

各种衣着的热阻 r_y

表 11.1-5

衣 着	r_y		衣 着	r_y	
	$m^2 \cdot ^\circ C/W$	clo		$m^2 \cdot ^\circ C/W$	clo
短袜: 薄	0.005	0.03	裙子	0.034	0.22
厚	0.006	0.04	外衣: 薄	0.026	0.17
内衣: 紧身短衬裤	0.008	0.05	厚	0.098	0.63
半套	0.020	0.13	毛衣: 薄、短袖	0.026	0.17
全套	0.029	0.19	厚、长袖	0.057	0.37
短裤	0.008	0.05	茄克: 厚	0.076	0.49
汗衫	0.009	0.06	裤子: 薄	0.040	0.26
衬衫: T恤衫	0.014	0.09	中等厚薄	0.050	0.32
薄短袖衬衫	0.031	0.20	厚	0.068	0.44
薄长袖衬衫	0.043	0.28	鞋: 薄	0.006	0.04
厚短袖衬衫	0.039	0.25			

4. ISO标准中的热环境评价指标

ISO 7730标准中,以 PMV (Predicted Mean Vote)- PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)指标来描述和评价热环境,热舒适指标:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \{ M - W - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99(M - W) - P_f] - 0.42 [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - P_f) - 0.0014M (34 - t_n) - 3.96 \times 10^{-8} f_{y,c} [(t_y + 273)^4 - (MRT + 273)^4] - f_{y,a,c} (t_y - t_n) \} \quad (11.1-14)$$

PMV 指标的判断标准如下:

- $PMV = +3$ 热 (hot)
- $PMV = +2$ 暖和 (warm)
- $PMV = +1$ 稍暖和 (slightly warm)
- $PMV = 0$ 适中、舒适 (neutral)
- $PMV = -1$ 稍凉快 (slightly cool)
- $PMV = -2$ 凉快 (cool)
- $PMV = -3$ 冷 (cold)

注:计算 PMV 指标时,式(11.1-14)中的 a_c 和 t_y ,可用式(11.1-9)和(11.1-10)迭代求解得出。

表示对热舒适环境不满意的百分数的 PPD 指标,与 PMV 指标间的关系如式(11.1-15)和图11.1-2所示。

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)} \quad (11.1-15)$$

ISO 7730对 $PMV-PPD$ 指标的推荐值为:

$$PPD < 10\%$$

所以, PMV 的要求为:

$$-0.5 < PMV < +0.5 \quad (11.1-16)$$

对应上式的最舒适工作温度见图11.1-3。

ISO 7730标准对从事轻的、主要是坐着的活动(如办公室工作),提出了如下建议:

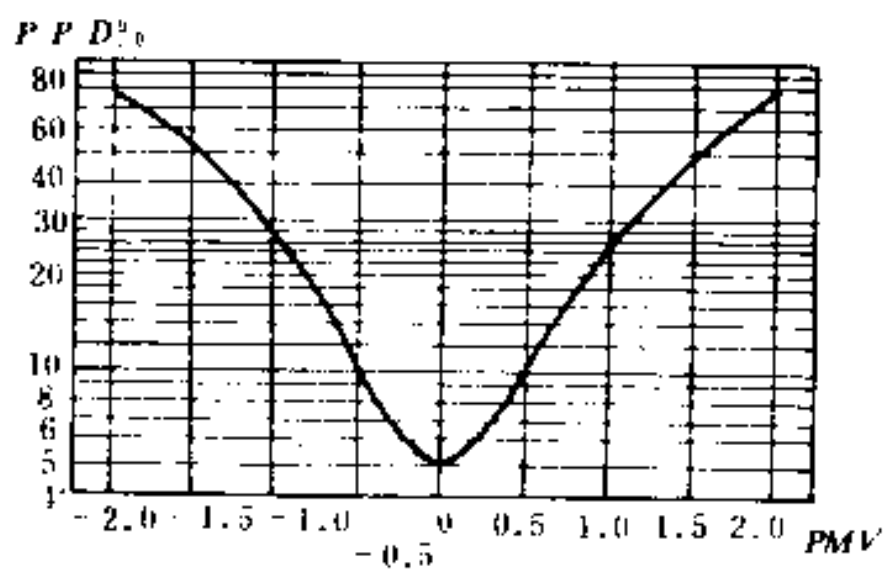


图 11.1.2 PPD 与 PMV 的关系

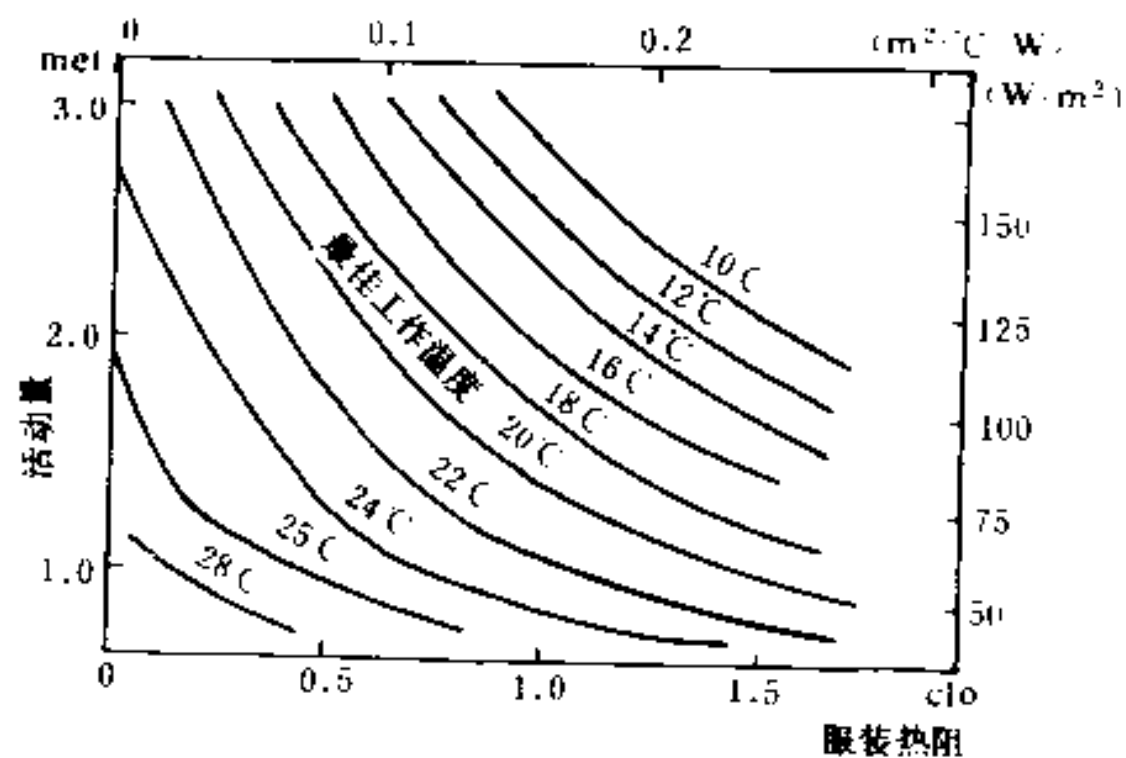


图 11.1.3 最舒适的工作温度

冬季

- 工作温度：20~24℃；
- 地面以上0.1~1.1m间的垂直温度差应小于3℃；
- 地表面温度：19~26℃（地板辐射供暖可按29℃设计）；
- 室内平均风速：<0.15m/s；
- 窗或其它冷垂直面与地面0.6m以上垂直平面间的辐射温度不对称性：<10℃；
- 平顶与地面0.6m以上水平平面间的辐射温度不对称性：<5℃。

夏季

- 工作温度：23~26℃；
- 室内平均风速：<0.25m/s；
- 地面以上0.1~1.1m间的垂直空气温度差：<3℃。

5. 国标规定的空调至适温度

国标《室内空调至适温度》(GB 5701-85)中规定的至适温度（以室内呼吸带高度的干球温度为指标）为：

- | | |
|----|--------|
| 夏季 | 24~28℃ |
| 冬季 | 19~22℃ |

注：适用条件为：

- (1) 室内清洁度（指通风换气量、二氧化碳含量、粉尘浓度及细菌数）符合常规卫生要求。
- (2) 室内工作人员体力劳动强度在《体力劳动强度分级》(GB 3869-83)规定的Ⅱ级以下（不含Ⅱ级）。
- (3) 劳动强度超过Ⅱ级时，每增加半级应降低气温1.5~2.0℃。
- (4) 室内风速，夏季不大于0.6m/s；冬季不大于0.15m/s。
- (5) 工作地点呼吸带高度的温度与地面0.1m高度的垂直温差应小于3℃。
- (6) 工作人员服装的隔热估算值：夏季为0.25~0.55clo；冬季为1.2~1.8clo。

根据GB 5701-85的规定，空调设计的计算温度(operative temperature) t_n ，是评价热环境的综合指标，它可根据干球温度 t_g (℃)、黑球温度 t_h (℃) 和风速 v (m/s) 的测定结果按下式求出：

$$t_n = A \cdot t_g + (1 - A) t_h$$

式中 A ——系数。

$v < 0.2\text{m/s}$ 时 $A = 0.50$

$v = 0.2 \sim 0.6\text{m/s}$ 时 $A = 0.60$

$v = 0.6 \sim 1.0\text{m/s}$ 时 $A = 0.70$

6. 民用建筑室内设计参数的推荐值 (见表 11.1-6)

民用建筑空调室内设计参数的推荐值

表 11.1-6

建筑类型 (房间名称)		夏季			冬季			新风量 (m^3/h)	噪声级 NC (dB)	空气中 含尘量 (mg/m^3)					
		v	φ	t	v	φ	t								
		(m/s)	(%)	($^{\circ}\text{C}$)	(m/s)	(%)	($^{\circ}\text{C}$)								
客房	一级	0.25	55	24	0.15	50	24	100	30	0.15					
	二级			25				40	23	80	35	0.30			
	三级			25				30	22	60	35	0.30			
	四级			26				—	22	30	50				
餐厅、宴会厅	一级	3.25	65	24	0.15	40	23		35	0.30					
	二级			25							21	$40\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$	40	0.30	
	三级			25							21	$25\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$	40	0.30	
	四级			26							20	$18\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$	50		
会议室、办公室、接待室	一级	0.25	55	25	0.15	50	24		30	0.15					
	二级			26							40	23	$50\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$	35	
	三级			27							30	22	$30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$	40	0.30
	四级			27							—	22		40	
商店、服务机构	一级	0.25	65	24	0.15	40	23		50	0.30					
	二级			25							21	$18\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$			
	三级			26							20				
	四级			27							20				
门厅、走道、中庭、四季厅	一级	0.30	65	25	0.30	30	20		40	0.30					
	二级			26					18		走道、中庭、四季厅为 $18\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$ 、 门厅为0	45			
	三级			27					17			45			
	四级			27					16			50			
美容、理发室		0.15	60	26	0.15	50	23	$30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$	35	0.15					

续表

建筑类型(房间名称)		夏季			冬季			新风量 (m ³ /h)	噪声级 NC (dB)	空气中 含尘量 (mg/m ³)	
		<i>v</i>	<i>φ</i>	<i>t</i>	<i>v</i>	<i>φ</i>	<i>t</i>				
		(m/s)	(%)	(°C)	(m/s)	(%)	(°C)				
旅游 馆	健身房	0.25	60	24	0.25	40	19	80m ³ /h·人	40	0.15	
	保龄球房	0.25	60	25	0.25	40	21	40m ³ /h·人	40	0.30	
	室内游泳池	0.15	65	26	0.15	50	24	30m ³ /h·人	40	0.15	
	弹子房	0.25	60	27	0.25	40	22	30m ³ /h·人	40	0.15	
	舞厅、酒吧	非跳舞时	0.15	60	26	0.15	40	23	18m ³ /h·人	40	0.30
		跳舞时	0.15	65	23	0.15	50	18	40m ³ /h·人		
	餐厅、宴会厅(非用餐时间)	0.15	60	25	0.15	40	21	18m ³ /h·人	40	0.30	
客房(晚间睡眠时)	0.15	60	26	0.15	50	22	分别减少20m ³ /h	30	0.30		
公 寓	卧室	高级	0.25	60	25	0.15	40	23	30m ³ /h·人	30	0.30
		一般	0.25	70	26	—	—	22	20m ³ /h·人	35	0.30
	起居室	高级	0.25	60	25	0.15	40	23	90m ³ /h·人	35	0.30
		一般	0.25	70	26	—	—	22	70m ³ /h·人	40	
医 院	高级病房、CT诊断	0.25	60	25	0.15	40	23	20m ³ /h·人	35	0.30	
	手术室	0.15	60	25	0.15	50	25	20m ³ /h·人	35		
大会堂、体育馆、展览厅		0.25	65	26	0.20	40	20	10m ³ /h·人	50		
办公大楼、银行		0.25	65	26	0.15	40	20	20m ³ /h·人	40		
商业中心、百货大楼、商场		0.25	70	27	0.25	35	18	10m ³ /h·人	55		
影剧院、剧院、候机厅		0.25	65	26	0.15	40	20	15m ³ /h·人	40		

7. 建筑内表面结露的防止 建筑内表面产生结露的必要条件是:

$$t_b < t_l$$

为此, 防止产生结露的条件是:

$$t_l < t_b$$

$$t_b = t_n - \frac{K}{a_n} (t_n - t_w) \quad (11.1-17)$$

式中 t_b ——围护结构的内表面温度, °C;

t_l ——空气的露点温度, °C;

t_n ——室内空气温度, °C;

t_w ——室外空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

a_n ——内表面的换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$;

K ——围护结构的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

为了避免烦琐的验算, 编制了表面结露判断图, 见图11.1-4。

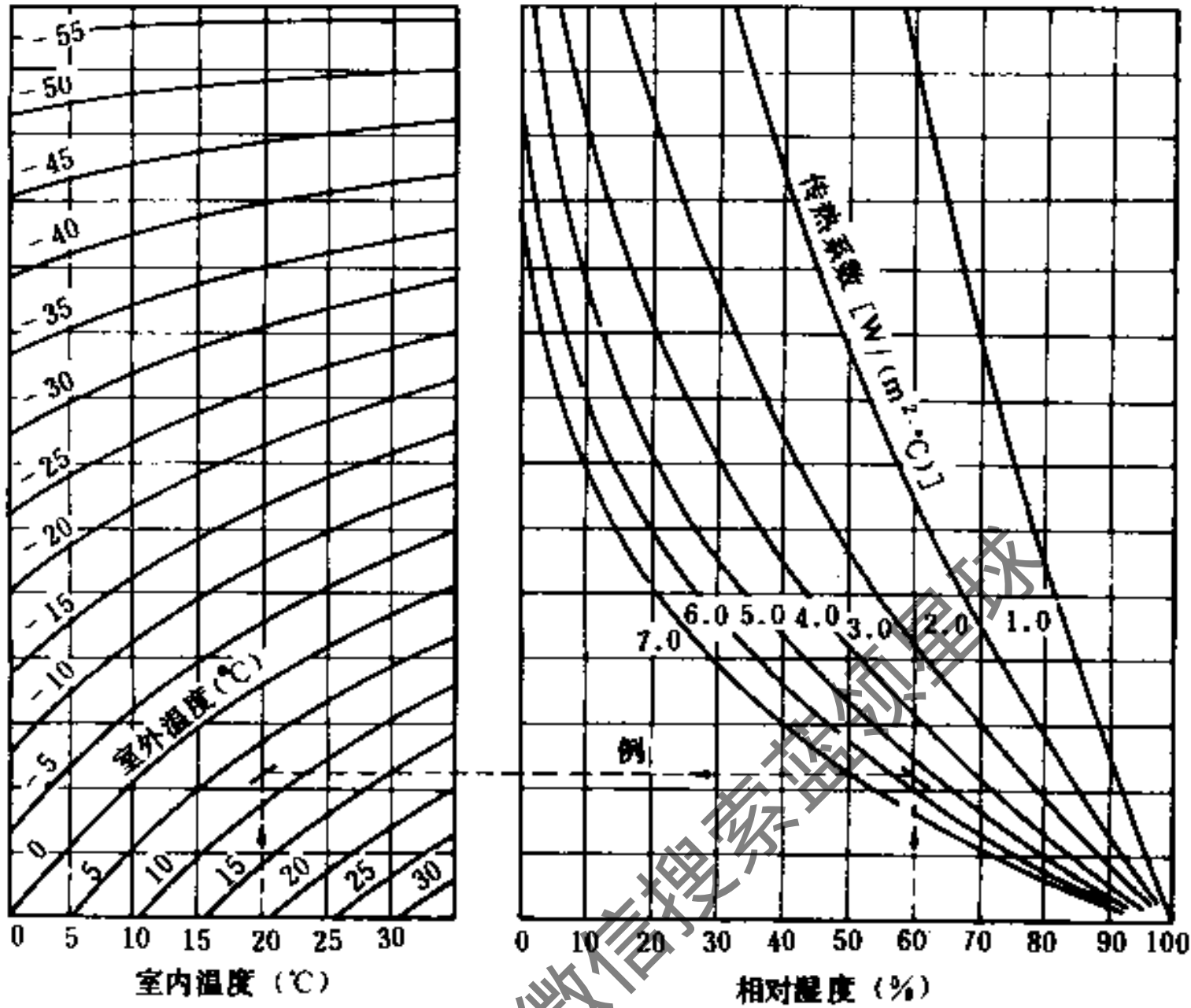


图 11.1-4 表面结露判断图

实践中可按图进行判断; 例如当 $t_n = 20^{\circ}\text{C}$ 、 $\phi_n = 80\%$ 时, 若外窗的传热系数 $K = 5.6\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, 则当室外温度 $t_w > 8.8^{\circ}\text{C}$ 时, 表面不会产生结露; 反之, 若 $t_w < 8.8^{\circ}\text{C}$ 时, 表面将产生结露。这时, 应提高窗户的保温性能, 或降低室内空气的温度和相对湿度。

注意图11.1-4给出的数值, 系结露的临界值; 为了安全起见, 实用上应留有一定范围的裕量。

11.1.3 空调系统的划分和技术层的设置

1. 划分原则

空调系统划分的基本原则, 如表11.1-7所示。

2. 设备技术层的设置

(1) 设备技术层的设置原则

- 单层与多层建筑, 应尽可能不设置专门的技术层。
- 20层以内的高层建筑, 宜设上部或下部一个技术层。
- 20层以上、30层以内的高层建筑, 宜分设上部与下部两个技术层。
- 30层以上的高层建筑, 宜设上、中、下三个技术层。
- 制冷机、锅炉等既大又重的设备, 宜布置在下部技术层内。
- 为了防止换热器、空调器、水箱等设备承受过大的静水压力, 宜布置在中、上层技

空调系统划分的基本原则

表 11.1-7

依 据	划 分 的 原 则
负 荷 特 性	1. 按不同朝向划分为不同的系统; 2. 根据室内发热量的大小分成不同的区域, 分别设置系统; 3. 根据室内热湿比大小, 将相同或相近的房间划分为一个系统
使用时间与功能	1. 按使用时间的不同进行划分, 将使用时间相同或接近相同的对象划分为一个系统; 2. 按房间的功能、用途、性质, 将基本相同的划为一个区域或组成一个系统
建筑平面位置	将临外墙的房间和不临外墙的房间区分为“外区”与“内区”, 分别配置空调系统
建筑层数	在高层建筑中, 根据设备、管道、配件等的承压能力, 沿建筑高度方向上划分为低区、中区、高区, 分别配置空调系统 有时, 为了使用灵活, 也可按高度方向将若干层组合成一个系统, 分别设置空调系统
设计基数	将室内温、湿度基数, 洁净度和噪声等要求相同或相近的房间划分为一个系统
空调精度	根据空调控制精度, 将室内温、湿度允许波动范围相同或相近者划分为一个系统; 室温允许波动范围为 $\pm 0.1 \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 的房间, 宜设单独系统

注: 室内有消声要求的房间, 不宜和产生噪声的房间划分为同一系统。

术层内。

(2) 设备技术层的设置实例, 见图11.1-5。

(3) 技术层内的空调设备、水管、风管、电线电缆等, 宜由下向上顺序布置。在机房技术层, 一般可参考以下原则进行划分:

- 离地 $h < 2.0\text{m}$ 布置空调设备、水泵等。
- $h = 2.5 \sim 3.0\text{m}$ 布置冷水管道。
- $h = 3.6 \sim 4.6\text{m}$ 布置通风、空调管道。
- $h > 4.6\text{m}$ 布置电线电缆。

(4) 技术层的层高 一般可参考表11.1-8确定。

设备技术层层高估算表

表 11.1-8

建筑面积 (m^2)	技术层(含制冷 机、锅炉)层高 (m)	泵房、水池、变 配电、发电机室 (m)	建筑面积 (m^2)	技术层(含制冷 机、锅炉)层高 (m)	泵房、水池、变 配电、发电机室 (m)
1000	4.0	4.0	15000	5.5	6.0
3000	4.5	4.5	20000	6.0	6.0
5000	4.5	4.5	25000	6.0	6.0
10000	5.0	5.0	30000	6.5	6.5

注: 若设备技术层内无锅炉和制冷机, 层高一般可降为2.2m。

3. 旅馆建筑中新风系统的配置

当旅馆建筑采用“风机盘管机组加新风”的空调方式时, 新风系统的配置方式可以有多种形式供选择, 详见图11.1-6。

根据系统服务客房的多少和送风量的大小, 新风系统可分为大、小两种类型, 它们各有利弊, 详见表11.1-9所示。设计中应根据具体情况和工程要求通过比较确定。

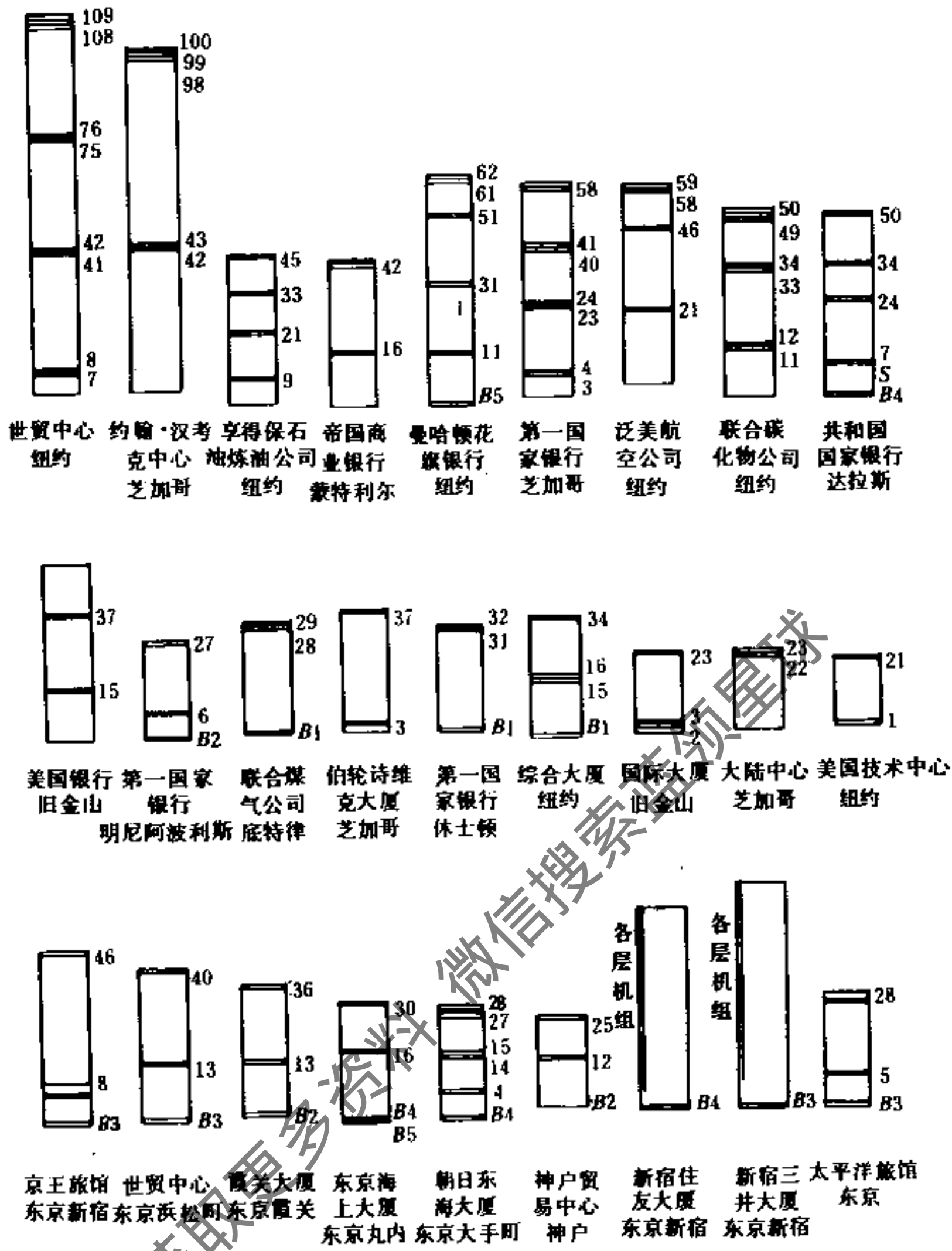


图 11.1-5 技术层设置实例

大、小新风系统的利弊比较

表 11.1-9

类型	服务客房数	风量 (m ³ /h)	利	弊
小	<50间	<5000	漏风损失小; 便于风量平衡与调节; 使用灵活, 可以停止部分客房的送风, 减少经常费用的支出; 出现故障时, 影响面小	所占机房面积多; 初投资高; 维护管理工作分散
大	>150间	>10000	所占机房面积少; 初投资低; 维护管理工作集中	漏风损失大; 风量平衡调节较困难; 使用灵活性差; 不能关闭部分客房的送风; 出现故障时, 影响面大

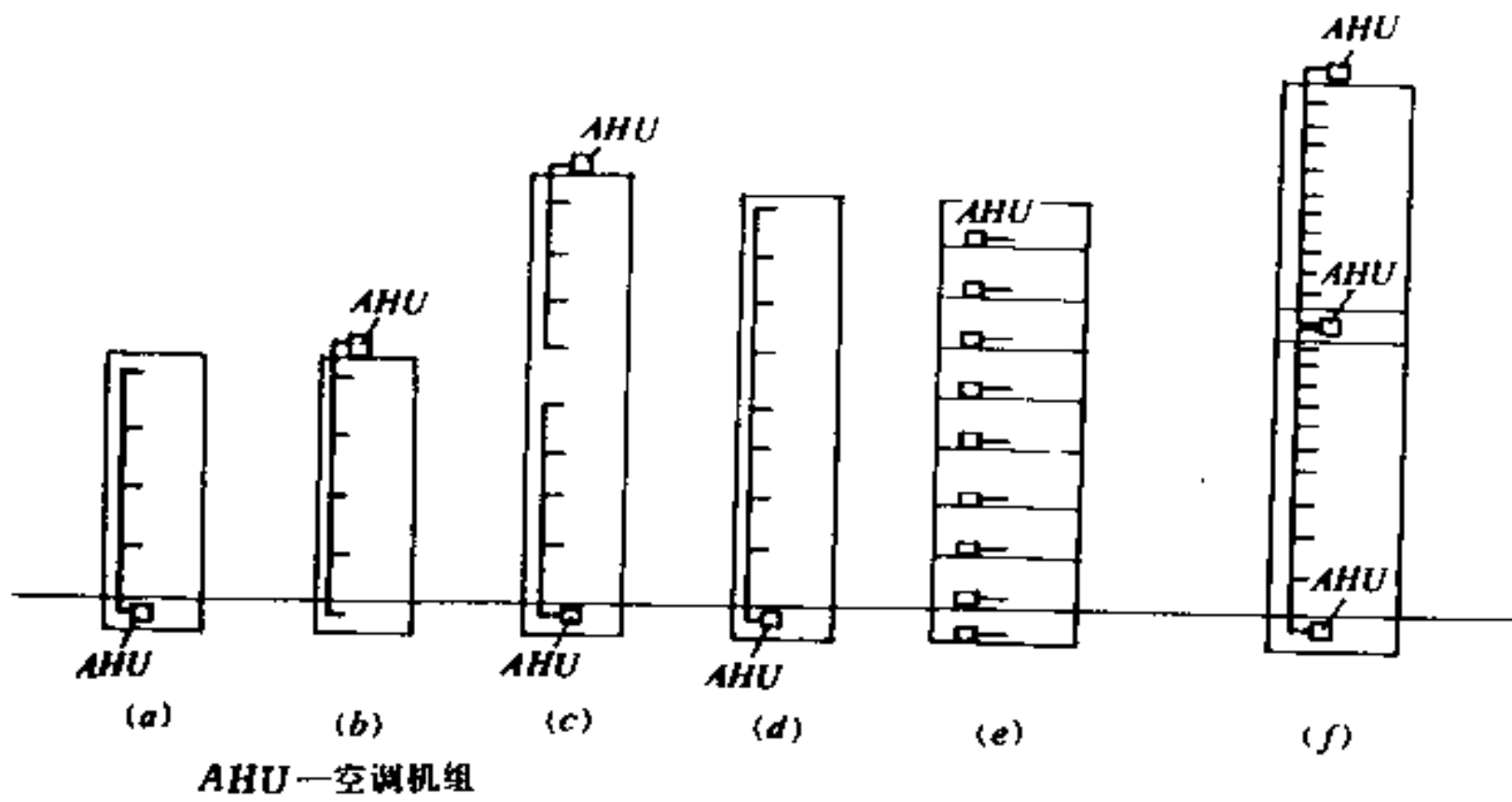


图 11.1-6 新风系统的配置形式

11.1.4 部分实用设计指标汇编

1. 冷、热源设备容量的设计指标

(1) 高层旅游旅馆 根据国内50多个旅馆的统计, 单位建筑面积空调制冷设备容量的设计指标 R (W/m^2)的最大变化范围为 $R = 65 \sim 132$ ($R = 75 \sim 110 W/m^2$ 的旅馆约占总统计数的75%), 其均值为 $R = 89 W/m^2$ 。

注: 我国《旅游旅馆节能设计标准》(征求意见稿)规定: $R = 58 \sim 93 W/m^2$ 。

(2) 国外的参考指标 见表11.1-10。

冷、热源设备容量的参考值 (W)

表 11.1 10

建筑类型	冷源设备 (W)	热源设备 (W)	备注
办公楼: 多层 高层	$R = 105.5F + 17585$ $R = 103.1F + 174795$	$B = 112.2F + 225860$ $B = 79.4F + 1453750$	
旅馆、饭店	$R = 83.4F + 140680$	$B = 204F + 360530$	含生活热水、厨房用热
医院	$R = 111.1F + 105510$	$B = 313.4F$	含生活热水、洗衣、消毒、厨房用热
商店	$R = 165F + 175850$	$B = 91.6F + 697800$	

注: 表中的 F 表示建筑面积, m^2 。本资料引自日本《空气调和·卫生工学便览》(第10版)。

(3) 空调面积占建筑面积的百分比 一般如表11.1-11所示。

不同类型建筑空调面积的百分比 (%)

表 11.1-11

建筑类型	空调面积占建筑面积的百分比
旅游旅馆、饭店	70 ~ 80
办公、展览中心	65 ~ 80
剧院、电影院、俱乐部	75 ~ 85
医院	15 ~ 35
百货商店	50 ~ 65

2. 空调冷负荷设计指标

(1) 国内部分建筑空调冷负荷的设计指标 见表11.1-12。

国内部分建筑空调冷负荷设计指标的统计值

表 11.1-12

顺序	建筑类型及房间名称	冷负荷指标 (W/m ²)	顺序	建筑类型及房间名称	冷负荷指标 (W/m ²)
1	旅游旅馆: 客房 (标准层)	80~110	20	商场、百货大楼: 营业室	150~250
2	酒吧、咖啡	100~180	21	影剧院: 观众席	180~350
3	西餐厅	160~200	22	休息厅 (允许吸烟)	300~400
4	中餐厅、宴会厅	180~350	23	化妆室	90~120
5	商店、小卖部	100~160	24	体育馆: 比赛馆	120~250
6	中庭、接待	90~120	25	观众休息厅 (允许吸烟)	300~400
7	小会议室 (允许少量吸烟)	200~300	26	贵宾室	100~120
8	大会议室 (不许吸烟)	180~280	27	展览厅、陈列室	130~200
9	理发、美容	120~180	28	会堂、报告厅	150~200
10	健身房、保龄球	100~200	29	图书阅览室	75~100
11	弹子房	90~120	30	科研、办公	90~140
12	室内游泳池	200~350	31	公寓、住宅	80~90
13	舞厅 (交谊舞)	200~250	32	餐馆	200~350
14	舞厅 (迪斯科)	250~350			
15	办公	90~120			
16	医院: 高级病房	80~110			
17	一般手术室	100~150			
18	洁净手术室	300~500			
19	X光、CT、B超诊断	120~150			

(2) 日本公布的空调冷负荷指标概算值 见表11.1-13。

日本公布的空调冷负荷指标概算值

表 11.1-13

建筑类型	冷负荷概算指标 (W/m ²)		建筑类型	冷负荷概算指标 (W/m ²)		
	一般系统	节能系统		一般系统	节能系统	
一般办公楼: 整体	93~116	70~93	商店: 整体	209~244	175~198	
	顶层	116~151		一层	279~314	233~256
	标准层	99~128		二层以上	186~233	151~186
高层办公楼	105~145	81~128	医院	112~140	84~112	
旅馆、饭店	70~93	52~70	计算中心	233~291	209~267	
			剧场 (观众席)	233~349	175~233	

注: 本资料引自日本《空调设备实务知识》改订第三版 (1986年)。

(3) 英国公布的空调冷负荷指标概算值 见表11.1-14。

英国公布的空调冷负荷指标概算值

表 11.1-14

建筑类型	冷负荷指标 (W/m ²)	送风量指标 [m ³ /(m ² ·h)]	建筑类型	冷负荷指标 (W/m ²)	送风量指标 [m ³ /(m ² ·h)]
办公室: 外区	97.84	18~32	计算机房	190~380	36~72
	133.64	18~32	旅馆: 单人卧室	每间1759W	每间 85~120
内区	151.21	18~32		每间2462W	每间120~200
	84.41	15~18		公用室	112.5~190
会议室	151~190			餐厅	151~264
			小酒店	151~190	45~63

续表

建筑类型	冷负荷指标 (W/m ²)	送风量指标 (m ³ /(m ² ·h))	建筑类型	冷负荷指标 (W/m ²)	送风量指标 (m ³ /(m ² ·h))
百货大楼(二层或以上)	95~134	27~36	超级市场	95~134	
商店	151	27~36			
银行大厅	134~169	36	公寓和套间	77.4~95	
剧院、会堂	176W/人	34m ³ /人	保龄球	每条球道 3520~5280	

(4) 台湾省公布的空调冷负荷指标概算值 见表11.1-15。

台湾省公布的空调冷负荷指标概算值(室外空气的干球温度 $t_w = 34^\circ\text{C}$) 表 11.1-15

建筑类型与房间名称	冷负荷指标 (W/m ²)	换气次数	窗面积 地面积 (%)	每人占地面积 (m ² /人)	照·明 (W/m ²)
一般办公室: 无窗	顶层	158	0	5	20
	中间层	116			
	北向 顶层	179	1	20	20
	中间层	127			
西向	顶层	257	20	5	20
	中间层	186			
一般商店: 人流较多		197	40	3	40
	人流较少	176			
饭店客房或医院病房: 南向		127	20	10	20
	西向	186			
茶室、咖啡室: 无排风		257	10	1.7	10
	有排风	330	4		
餐厅: 南向 (窗户小)		288	10	1.7	20
	(窗户大)	317	40	1.7	20
	西向 (窗户小)	317	10	1.7	20
	(窗户大)	404	40	1.7	20
酒吧: 无排风		211			
	有排风	281	10	1.7	10
美容	317	1	20	5	20
理发	257	1	20	5	20
照相	127	1	10	5	20
住宅: 楼房	顶层	204	30	33	10
	中间层	158			
日式平房	南向	243	40	33	0
	北向	179	20	33	10
洋房	南向	207	30	33	0
	西向	257			

3. 国外部分高层建筑空调实例汇编 (见表11.1-16)

4. 国内部分高层建筑空调实例汇编 (见表11.1-17)

国外部分高层建筑空调实例汇编 表 11.1-16

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	设备层位置 (层)	空调方式		制冷机	
					周边	内区	容量(USRT)×台数	位置
1	纽约泛美航空公司 (Pan-Am)	58	220,000	21,46,57,58	I.D.	各层机组 (高速)	3000×3	57
2	纽约曼哈顿花旗银行 (Chase Manhattan)	B 5+60	208,000	B 5,11,31,51,61,62	I.D.	S.D.(高速)	3500×2 1100×2	11 31
3	纽约联合碳化物公司 (Union Carbide)	B 3+62	150,000	12,13,34,35,51,52	I.D.	S.D.(高速)	1000×3 1000×2	B 51
4	纽约希尔顿旅馆 (Hilton hotel)	47	2700间	B,47	F.C.(三管)		1500×2	2
5	纽约世界贸易中心 (World trade center)	B 4+110	1,000,000	B 4,B 3,7,41,75, 108,109,110	I.D.	S.D.	7000×7	B 3
6	纽约百老汇大厦 (Broadway)	B 4+48	232,000	B 2,48	I.D.	S.D.	3700×2	B 2
7	芝加哥约翰·汉考克中心 (John Hancock center)	B 1+100	275,000	B 1,16,17,42,43, 99,99,100	I.D.	S.D.	550×2;2000×2 650×2;250×1	B 1,42 98
8	芝加哥第一国家银行 (First National Bank)	B 4+60	204,000	B 4,3,23 40,58,59	D.D.	D.D.	3500×2 1500×2	3 4
9	芝加哥伊利诺斯贝尔电话公司 (Illinois Bell telephone)	B 2+31	902,000	B 2,3,21,31	I.D.	D.D.	100×1;500×2 1000×2	B 2
10	达拉斯国家银行 (Republic National Bank)	B 1+50		B 4,6,7,24,34,50	I.D.(高速)	D.D.	1000×2	B 4
11	休斯顿亨保尔石油及炼油公司 (Humble Oil & Refining)	B 3+45	101,000	9,21,33,45	I.D.	S.D.	1050×4	45
12	休斯顿壳牌石油公司 (One Shell Plaza)	B 4+50	148,000	各层机组(每层2台)	D.D.	D.D.	3	50
13	旧金山美国银行 (Bank of America)	B 2+54	167,000	B 2,B 7,15,37,54	I.D.	S.D.	1750×3	B 2 37
14	底特律密歇根州联合煤气公司 (Michigan Consolidated)	B 1+30	404,000	B 28,29,30	S.D.	S.D.	750×2 150×1	
15	时代杂志与生活杂志大楼 (Time & Life)	34	130,000	B 3,10,35,47	I.D.	S.D.	5850	

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	设备层位置 (层)	空调方式		制冷机	
					周边	内区	容量(USRT)×台数	位置
16	利物浦拜尔药厂大楼(Bayer)	B 3 + 31	42,000	B 3, 13, 14, 30, 31	I. D.	S. D.	360 × 3	B 3
17	霍夫大厦	B 2 + 36	153,225	B 2, 13, 36	I. D.	S. D.	4520	B 2 36
18	富士胶片	B 3 + 18	20,441	B 3, R 1, R 2	I. D.	S. D.	650	B 3
19	神户贸易中心	B 2 + 26	50,368	B 2, 12, 13	I. D. (三管)	S. D.	1880	B 2, 25
20	日本世界贸易中心	B 3 + 40	153,841	B 3, 13, 40	I. D.	S. D.	3800	
21	朝日东海大厦(HR)	B 4 + 29	50,618	B 4, 4, 29	I. D.	S. D.	1620	4, 29
22	东京IBM大厦(HR)	B 2 + 22	38,000	B 2, 21	F. C. (四管)	S. D.	1200	21
23	NHK广播中心(HR)	B 1 + 23	64,900	B 1	F. C. (四管)	S. D.	1800	B 1
24	大阪大林大厦(HR)	B 3 + 32	50,292	B 3, 15, 16,	F. C. (四管)	S. D.	820	B 3
25	大阪国际大厦(AS)	B 3 + 32	66,029	B 3, 18, 22	F. C.	S. D.	1850	B 3, 32
26	东京三和大厦(HR)	B 4 + 25	94,577	B 4, 13, 24	F. C.	S. D.	2400	B 4
27	新宿住友大厦	B 4 + 52	176,500	B 4	F. C.	F. U. S. D.	5000	区域供热
28	新宿三井大厦	B 3 + 55	179,671	B 3	S. D.	VAV	5600	区域供热
29	京王广场旅馆	B 3 + 47	116,236	B 3, 8, 46	F. C. + F. A.		2500	区域供热
30	新大谷饭店(新楼)	B 1 + 40	88,680	B 1	F. C. + F. A.		2020	
31	东京太平洋旅馆	B 3 + 30	87,990	B 3, 5, 28	F. C. + F. A.		1840	B 3, 5
32	大正海上总公司大楼(节能型大楼)	B 3 + 25	75,610	B 3, 25	每层(标准层)设6台空调机组(分区空调)其它层, F. C. + F. A.		620USRT双效吸收机2台, 热回收型离心机400USRT 1台, 往复式120USRT 1台	

注: R—屋顶, B—地下室, HR—热回收, AS—空气热源热泵, I. D.—单风管全空气, D. D.—双风管全空气, F. U.—各层机组, F. A.—新风系统, VAV—变风量系统, 1USRT=3517W。

国内部分高层建筑空调实例汇编 表 11.1-17

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW)×台数	位置
1	武汉武钢外招	B 1+12	23,021	F.C.+F.A.	S.D.	8AS-170 4AV-170		独立
2	无锡湖滨饭店	10	9,332	F.C.	S.D.	8AS-12.5	582×2	独立
3	苏州饭店	B 1+9	16,156	F.C.	S.D.	FLZ-500	582×3	独立
4	石家庄河北省外宾饭店	B 1+9	16,050	F.C.+F.A.	S.D.	6AW-12.5	465×4	独立
5	郑州中州宾馆	B 1+14	20,345	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-1000A	1163×2	独立
6	南宁邕江饭店	B 1+12	18,931	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-1000 FLZ-500	930×1 582×2	独立
7	西安宾馆(一期加二期)(两幢)	B 1+16	40,940	F.C.+F.A.	S.D.	TRANE (离心机)	450USRT×2	独立
8	西安唐城宾馆	B 1+13	46,892	F.C.+F.A. (立柱式)	S.D. V.A.V.	FLZ-1000A FLZ-500	1163×2 582×2	独立
9	西安东方大酒店	B 1+18	33,280	F.C.+F.A.	S.D.	YORK (离心机)	330USRT×2 (一台变频变速)	B 1
10	西安西北饭店(41楼)	B 1+12	11,655	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-1000A ×2 FLZ-500× 2	1163×2 582×2	独立 (负担全区)
11	上海大厦	B 1+19	33,950	F.C.+F.A.	F.C. +F.A.	FJZ-30A	349×7	独立
12	上海国际饭店	B 2+22	12,000	F.C.	F.C. +F.A.	FLZ-1000A	1163×2	独立

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW)×台数	位置
13	上海华侨饭店	19	10,000	F.C.	S.D.	FJZ-30A	349×3	独立
14	福州闽江饭店	17	19,480	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-500	582×4	独立
15	广州白天鹅宾馆	B1+33	91,530	F.C.+F.A.	F.C. S.D. V.A.V.	CTE-46 (三菱离心机)	440USRT×4	独立
16	武汉晴川饭店	B1+25	23,741	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-1000A FLZ-500	1163×2 582×1	独立
17	济南齐鲁饭店	B1+9	18,290	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-1000A	1163×2	独立
18	上海龙柏饭店	6	12,000	F.C.+F.A.	S.D.	FJZ-30A	349×4	独立
19	福州外贸中心旅馆	7	11,946	F.C.+F.A.	V.A.V.	FJZ-30A	349×3	独立
20	南京钟山饭店	B1+16	34,920	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-1000A	1163×3	独立
21	洛阳友谊宾馆(新楼)	B1+12	11,500	F.C.+F.A.	S.D.	FJZ-40A	465×3	独立
22	长沙枫林宾馆	B1+15	16,448	F.C.+F.A.	S.D.			
23	广州白云宾馆	B1+33	58,600	F.C.+F.A.	S.D.	FLZ-1000	1,104×4	独立
24	北京西苑饭店	B3+27	62,000	F.C.+F.A. (四管)	S.D.	YORK (离心机)	600USRT×3	B1
25	北京民族饭店	B1+13	46,400	F.C.+F.A. (四管)	S.D.	YORK (离心机)	600USRT×3	B1
26	北京长城饭店	B1+22	80,400	F.C.+F.A. (四管)	V.A.V. C.A.V.	TRANE ABTD-064	650USRT×3	B1

续表

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW)×台数	位置
27	北京丽都饭店	5	101,200	F.C.+F.A. (四管)	S.D.	双效吸收	330USRT×3	独立
28	上海联谊大厦	B1+30	37,500	F.C.+F.A.	S.D.	YORK (离心机)	650USRT×2	B1
29	上海华亭宾馆	B1+28	78,000	F.C.+F.A. (四管)	C.A.V. V.A.V.	CARRIER (双效吸收) 离心机	670USRT×3 350USRT×1	B1
30	上海静安希尔顿饭店	B1+43	70,390	F.C.+F.A.	空调机组	CARRIER (离心机)	550USRT×4	B1
31	南京金陵饭店(水系统沿竖向分两个区)	B1+37	49,800	F.C.+F.A. (四管)	S.D. V.A.V.	三菱 (离心机)	530USRT×3	B1
32	深圳国贸大厦	B3+50	97,000	F.C.+F.A.	S.D. V.A.V.	CARRIER (离心机) 热泵冷水机组	650USRT×4 400USRT×1 233×2	B
33	广州中国大酒店(总建筑面积:168,000m ²)	18	105,630	F.C.+F.A. (四管)	S.D. V.A.V.		4000USRT	
34	广州花园酒店(Y型两幢)	B1+24	169,000	F.C.+F.A.	V.A.V.	三菱 (离心机)	550USRT×8 400USRT×1	独立
35	深圳亚洲大酒店	B1+33	62,250	F.C.+F.A.	S.D. V.A.V.	离心机	5050USRT×3	B1
36	深圳发展中心大厦(6—14层办公楼)	B1+31	40,000	外区 C.A.V.	内区 V.A.V.		5,000	

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW)×台数	位置
37	深圳上步购物中心	B2+24	77,745	F.C.+F.A.	S.D.	离心机	700USRT×3	
38	洛阳旋宫大厦(水系统竖向分两区)	B1+21	21,212	F.C.+F.A.	F.C. 柜式空调机	JZS-KF (螺杆式)	930×2	独立
39	上海物资贸易中心	30	39,147	F.C.+F.A.	F.C. S.D.	双效吸收式	500USRT×2	独立
40	大连国际饭店	B1+25	19,000	F.C.+F.A.	S.D.	离心机	1000×2	B1
41	上海金沙江大酒店	B1+28	22,297	F.C.+F.A.	S.D.	三菱约克 (双效吸收)	650USRT	独立
42	杭州工业大厦	B1+29	36,696	F.C.+F.A.	F.C.(大型) +F.A.	JZS-KF (螺杆式)	1675×2	
43	郑州宾馆(Y形)	B1+26	29,000	F.C.+F.A.	S.D. V.A.V.		650USRT	独立
44	香港华润大厦(China resources building)	B3+50	130,000		V.A.V.	离心机	800USRT×6	
45	香港合和中心大厦(热回收)	B1+64	112,900	内区V.A.V. 外区V.A.V.	F.C. C.A.V.	离心机(4) 往复(6)	3300USRT	9,11、
46	大连富丽华大酒店(转轮热回收)	B1+22	41,031	F.C.+F.A.	S.D.	TRANE 离心机	350USRT×3	B1
47	郑州环球大酒店	B1+34	54,712	F.C.+F.A.	S.D. V.A.V.	离心机(2) 往复机(2)	4,419	
48	蛇口南海酒店	B1+11	42,000	VALANCE 空调器	F.C.+ F.A. S.D.	TRANE (离心机)	340USRT×3	B1

续表

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW) × 台数	位置
49	北京昆仑饭店 (热管热回收)	B2+28	80,000	F.C.+F.A. (四管)	C.A.V.	YORK (离心机)	275USRT × 3 400USRT × 3	B1
50	中山市中山国际饭店	22	25,000	F.C.+F.A.	C.A.V.	CARRIER (离心机)	350USRT × 3	
51	成都峨山饭店 (转轮热回收)	B1+21	28,000	F.C.-F.A.	V.A.V.	YORK-三菱 (双效吸收)	270USRT × 3	B1
52	上海锦纶文华大酒店	30	56,417	F.C.-F.A.	空调机组	CARRIER (离心机)	550USRT × 3	B1
53	上海新虹桥大厦	24	26,000	F.C.-F.A.	F.C.	YORK (离心机)	500USRT × 2	独立
54	上海太平洋大酒店	27	67,750	F.C.+F.A.	空调机组	YORK (离心机)	415USRT × 3	独立
55	上海城市酒家	26	18,562	F.C.+F.A.	空调机组	CARRIER (离心机)	350USRT × 2	1
56	上海远洋宾馆	23	51,000	F.C.+F.A.	空调机组		400USRT × 4	独立
57	上海虹桥宾馆	31	57,000	F.C.-F.A.	S.D.	CARRIER JS-854	460USRT × 3	
58	上海银河宾馆	34	70,000	F.C.+F.A.	S.D.	YORK MDX 45C	450USRT × 4	
59	西安国安大酒店	B1+17	46,575	F.C.+F.A.	S.D. V.A.V.	CARRIER (双效吸收)	680USRT × 2	独立

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW)×台数	位置
60	西安止园饭店 (*3楼)	B1+12	16,900	F.C.+F.A.	S.D. V.A.V.	YORK (离心机)	300USRT × 2	独立
61	西安古都大厦	B1+14	47,200	F.C.+F.A.	S.D.	离心机	400USRT × 3	B1
62	兰州金城宾馆 (二期工程)	B1+14	12,600	F.C.+F.A.	F.C. S.D.	日立RCU 150SY1	375 × 2	1
63	上海建国饭店	23	37,000	F.C.+F.A.	S.D.	YORK (离心机)	350USRT × 3	
64	杭州新侨饭店	B1+20	28,559	F.C.+F.A.	F.C.(立式) 空调机组	FLZ 1000A	1,163 × 3	B1
65	浙江医科大学*3楼(教学实验楼)	B1+19	21,100	主楼 F.C.+F.A.	裙房 S.D.	JZS-KF 12.5-20 (螺杆式)	214 × 3	B1
66	北京兆龙饭店	B3+18	27,000	F.C.+F.A. (四管)	F.C.+F.A. (两管)	FLZ-50	581 × 3	B1
67	北京中央彩电中心工程	B2+24	81,500		F.C.+F.A. C.A.V. 整体式空调机	BF1000 (离心机)	1,163 × 4 (一期)	B1
68	深圳金融中心大厦	B1+31	120,000		S.D. V.A.V. F.C.+F.A.	FRANE (离心机) CARRIER (离心机)	360USRT × 2 500USRT × 2 440USRT × 4	B1
69	北京国际饭店	B3+29	94,700	F.C.+F.A.	S.D.	离心机	高层 2台 低层 3台	B1

续表

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW)×台数	位置
70	北京京城大厦	B1+52	135,000	办公、公寓 F.C.+F.A.	S.D.	双效吸收式	400USRT×3	B4
71	济南市第一百货商场(一期)	B1+8	11,700	办公 F.C.	V.A.V.	JZS-KF 12.5-30 (螺杆式)	349×2	B1
72	海南旅游局海口宾馆	B1+9	19,000	F.C.+F.A.	S.D.	CARRIER 30HR160 (活塞式机组)	130USRT×4	1-2层之间
73	杭州友好饭店	B1-21	16,950	F.C.+F.A.	S.D.	YORK (离心机)	175USRT×3	B1
74	烟台毓璜顶宾馆	B2+14	10,000	F.C.+F.A.	S.D. 整体式 空调机	日立 (螺杆式)	468×1 565×1	
75	北京新华社业务楼	B4+28	48,037		F.C.+F.A. S.D. C.A.V.	TRANE (离心机)	350USRT×3	B
76	北京发展大厦(全热交换器热回收)	B2+24	51,490	外区 C.A.V.	内区 V.A.V.	TRANE (离心机)	400USRT×3	B1
77	香港汇丰银行	B6+46	100,000	外区 C.A.V.	内区 V.A.V.	CARRIER (离心机)	3,125×5 (一台为备用)	B2
78	北京中国国际信托投资公司大厦	B2+29	47,000	敞式办公:S.D. 标准层:公寓办公: F.C.+F.A.	餐厅:F.C. +C.A.V. 计算机:C.A. V.	CARRIER (离心机)	1,163×4	地下独立

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		类型	容量(kW) × 台数	位置
				客房	公用			
78	北京长富宫中心: 饭店(热回收) 办公楼	B2+25	94,355 (含公寓楼)	F.C. + F.A.	S.D. F.C.	(吸收式)	680 USRT × 3	
		B2+8		F.C. + F.A.				
80	北京中国国际贸易中心: 中心办公楼与四季厅办公楼 国际宾馆和会议厅、展览厅 国际公寓 国内旅馆 职工宿舍	B2+38	496,000			离心机	12500 USRT	设4个区 域制冷站
		B2+38		内区 AHU	外区 F.C.		4000 USRT	
		B2-21		F.C. + F.A.	AHU		4000 USRT	
		B1+31		F.C. + F.A.			1500 USRT × 2	
				F.C. + F.A.			700 USRT	
81	西安新闻大厦	B1+12	31,000	F.C. + F.A. (四管)	S.D.	carrier 热水吸收式 (18JHO73)	1400 × 2	B1
82	成都四川电子大厦	B2+25	44,000	F.C. + F.A.	S.D. (1-3层)	离心机	1163 × 2	B2
83	成都珠峰宾馆	B1+15	20,000	F.C. + F.A.	S.D. (大型F. C.)	离心机	465 × 2	B1

续表

编号	名称	层数	建筑面积 (m ²)	空调方式		制冷机		
				客房	公用	类型	容量(kW)×台数	位置
84	成都银河王朝大酒店	B2+22	47,000	F.C.+F.A.	S.D. F.C.+F.A.	carrier 离心机 日本吸收式	880×2 880×2	B2
85	深圳联华大厦	B1+25	22,378	F.C.+F.A.	S.D.	离心机 FLZ-1000A	1163×3	B1
86	深圳四川大厦	B1+34	42,000	F.C.+F.A.	S.D.	离心机 FLZ-1000A	1163×5	B1
87	北京四川大厦	B3+29	97,000	F.C.+F.A.	S.D.	YORK 离心机	500×1USRT 700×2USRT	B2
88	海口海南内江大厦	B1+14	12,000	F.C.(新风自然 渗透)	大型F.C. +F.A.	离心机	465×1 349×2	B1
89	厦门水仙大厦	B1+23	29,690	F.C.+F.A.	S.D.	螺杆机	580×2 232×1	B1
90	重庆煤炭公司	B1+24	29,288	F.C.+F.A. (4~23层)	S.D. (1~3及24层)	离心机	1163×2 581×1	B1
91	深圳西丽大厦	B1-21	18,350	F.C.+F.A.	S.D.	离心机	1163×2	B1
92	成都水电部七局综合楼	B2+18	20,000	F.C.+F.A.	S.D.	螺杆机	349×1 558×2	B2

注: B—地下室, F.C.—风机盘管机组, F.A.—新风系统, S.D.—单风道全空气, C.A.V.—变风量全空气系统, V.A.V.—变风量全空气系统, AHU—空调机组, USRT—3517W。

5. 制冷机的冷却水、电和汽消耗量指标 (见表11.1-18)。

制冷机的冷却水、电和汽消耗量参考指标

表 11.1-18

制 冷 机 类 型	冷却水耗量 [m ³ /(kW·h)]	耗 电 量 (kW/kW)	耗 汽 量 [kg/(kW·h)]
活塞式冷水机组	0.22~0.26	0.25~0.30	—
离心式冷水机组	0.20~0.28	0.20~0.28	—
溴化锂吸收式冷水机组:			
单效	0.26~0.35	0.005~0.01	2.0~2.60
双效	0.25~0.30	0.004~0.015	1.20~1.50
直燃	0.28~0.30	0.004~0.01	1.10
螺杆式冷水机组	0.20~0.26	0.18~0.25	—

6. 机房建筑面积概算指标

根据对我国已建成使用的部分旅游旅馆的统计, 可得出高层旅游旅馆建筑面积与制冷机房、锅炉房和空调机房面积的关系, 大致如图11.1-7至图11.1-9所示。

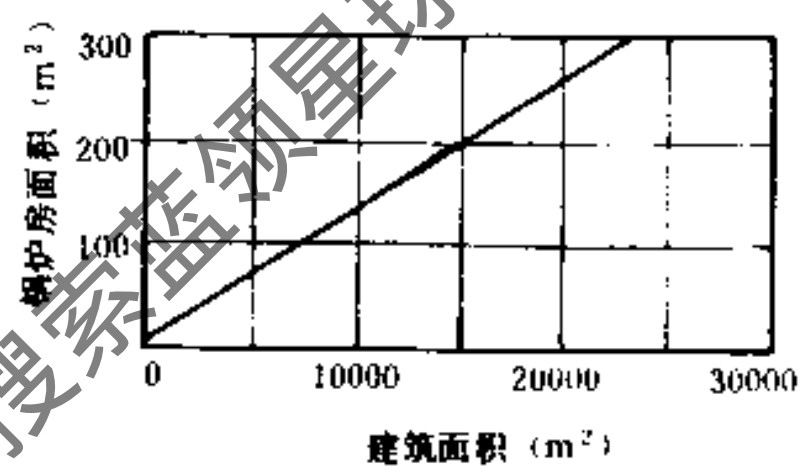
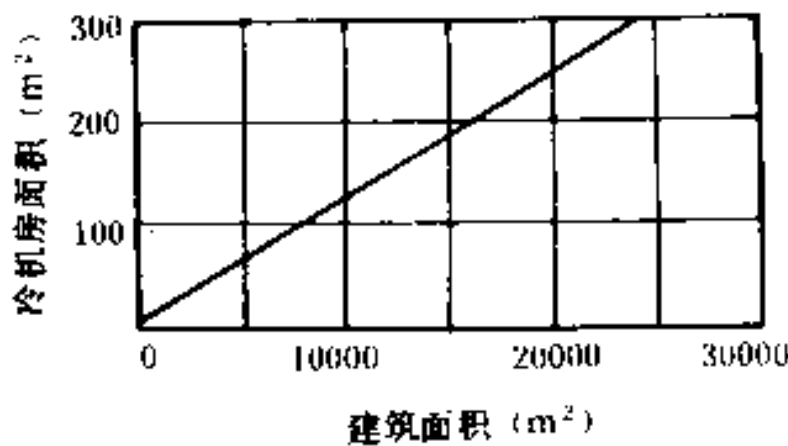


图 11.1-7 建筑面积与制冷机房面积的关系

图 11.1-8 建筑面积与锅炉房面积的关系

经回归整理后, 可得出经验方程如下:

制冷机房 $f_1 = 0.0086F$

锅炉房 $f_2 = 0.01F$

空调机房 $f_k = 0.0098F$

式中 f_1 、 f_2 、 f_k ——制冷机房、锅炉房、空调机房的面积, m²;

F ——建筑面积, m²。

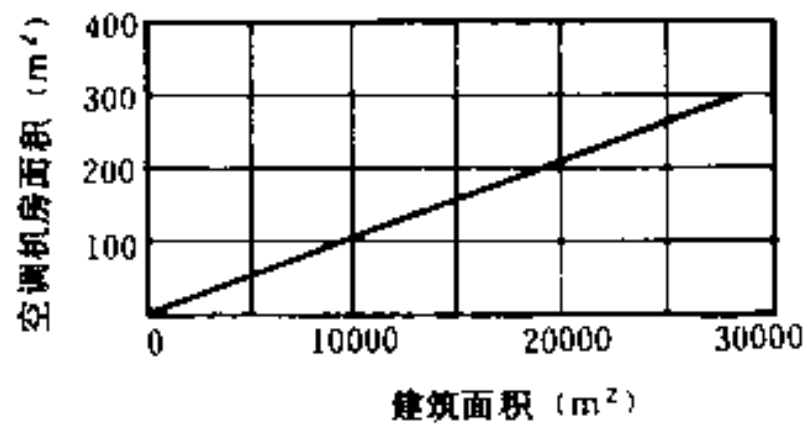


图 11.1-9 建筑面积与空调机房面积的关系

表11.1-19给出了国外资料提供的概算指标。

空调机房建筑面积概算指标 (%)

表 11.1-19

空调建筑面积 (m ²)	分楼层单风道 (全空气系统)	风机盘管机组 加 新 风 (分楼层单风道)	双 风 道 (全空气系统)	柜式机组	
				柜式机组	平均估算值
1000	7.5	4.5	7.0	5.0	7.0
3000	6.5	4.0	6.7	4.5	6.5
5000	6.0	4.0	6.0	4.2	5.5
10000	5.5	3.7	5.0	—	4.5
15000	5.0	3.6	4.0	—	4.0

续表

空调建筑面积 (m ²)	分楼层单风道 (全空气系统)	风机盘管机组 加新风 (分楼层单风道)	双风道 (全空气系统)	柜式机组	平均估算值
20000	4.8	3.5	3.5	—	3.8
25000	4.7	3.4	3.2	—	3.7
30000	4.6	3.0	3.0	—	3.6

注: 1. 本指标系指机房面积占空调建筑面积的百分比, 供初步设计估算用。
2. 制冷机和水泵所需建筑面积, 约占空调机房面积的1/4~1/3。
3. 高层建筑中, 通风空调的整风道, 约占建筑物总面积的2~3% (不含各层机组方式)。

11.1.5 各种空调系统投资、寿命等的比较

1. 各种空调系统相对投资的比较 (表11.1-20)

各种空调系统相对投资比较

表 11.1-20

系统	两管制周 边诱导器	四管制周 边诱导器	风机盘管 加新风	变风量加 周边供暖	双风道 全空气	低速单风 道全空气
上限	1.30	1.50	1.40	1.50	1.70	1.45
下限	0.70	0.80	0.80	0.70	1.00	1.25
平均	1.00	1.15	1.10	1.10	1.35	1.35

注: 引自W. P. Jones; 《Air conditioning applications and design》1980。

2. 各种部件所占投资的百分比 (表11.1-21)

各种部件所占投资的百分比

表 11.1-21

设备部件	两管制周 边诱导器	双风道	风机盘管 加风道送风	风机盘管 加局部送风	低速风道 送风
制冷机和冷却塔	19.1	16.3	20.7	23.6	18.4
空气处理机及其控制	7.6	13.7	7.4	2.1	17.7
水泵	1.1	0.5	0.6	1.4	0.5
管道等	5.5	1.8	5.7	6.5	2.1
设备、管道保温	4.5	1.5	7.3	8.3	1.4
散流器、格栅风口	23.0	44.6	27.0	14.3	51.5
末端机组	21.6	8.5	22.2	33.3	—
末端机组的控制	8.3	4.0			
空压机及辅助装置	0.5	0.4			
锅炉	2.6	3.3	3.1	3.6	2.8
电线、开关	6.2	5.4	6.0	6.9	5.6

注: 引自W. P. Jones; 《Air conditioning applications and design》1980。

3. 各种空调方式的综合比较 (表11.1-22)

各种空调方式的综合比较

表 11.1-22

空调方式	设备费	维护管理	室内温度控制	室内湿度控制	房间分隔变 化灵活性	管道空间
整体式空调器	A	B	B	B	(C)	A
单风道低速送风	A	A	D	C	(A)	D
单风道高速送风	B	A	D	C	(A)	C

续表

空调方式	设备费	维护管理	室内温度控制	室内湿度控制	房间分隔变化灵活性	管道空间
风机盘管	B	C	A	C	C	A
风机盘管加新风	B	C	A	A	A	B
诱导器	B	B	A	A	A	B
区域机组	C	B	C	C	(B)	(B)
双风道	B	B	A	B	A	D
辐射供冷	D	A	B	C	(A)	C

注: A、B、C……序列按有利至不利排列;带()者为处理得当时可以达到的序列。

4. 空调制冷设备的平均使用寿命 (表11.1-23)

空调制冷设备的平均使用寿命 (a)

表 11.1-23

名称	平均寿命	名称	平均寿命
窗式空调器	10	离心式冷水机组	23
空气热泵 (住宅用)	10	吸收式冷水机组	23
分体式空调器	15	离心式通风机	23
水冷式空调器	15	水泵 (安装在基座上)	20
水热源热泵 (商业用)	19	镀锌钢板冷却塔	20
空气热源热泵 (商业用)	15	通风管道	20
安装在屋顶上的空气处理机	15	空气冷却盘管	20
往复式冷水机组	20		

注:“使用寿命”是指新设备在正常维护和使用条件下,从投入使用起直至虽经修理也不能正常保证出力(允许波动在一定范围之内)或正常工作的时间周期。

11.1.6 通过风管、风机和水泵的得热与失热

1. 通过风管的得热与失热 $Q(W)$

$$Q = cG\Delta t \quad (11.1-18)$$

式中 c —— 空气的比热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$;

G —— 空气量, kg/s ;

Δt —— 通过风管时的温升 (降), $^\circ C$ 。

对于 Δt 值的确定,一般可按下列简化公式计算:

$$\text{矩形} \quad \Delta t = \frac{uL}{cGR} (t_1 - t_2) \quad (11.1-19)$$

$$\text{圆形} \quad \Delta t = \frac{L}{cGR} (t_1 - t_2) \quad (11.1-20)$$

式中 u —— 风管保温后的平均周长, m ;

L —— 风管长度, m ;

R —— 风管的热阻, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;

t_2 、 t_1 —— 风管内、外的空气温度, $^\circ C$ 。

图11.1-10和图11.1-11分别给出了圆形和矩形风管在管内外空气温度差 $t_1 - t_2 = 1^\circ C$ 时每10m长风管的温升 (降) 值。

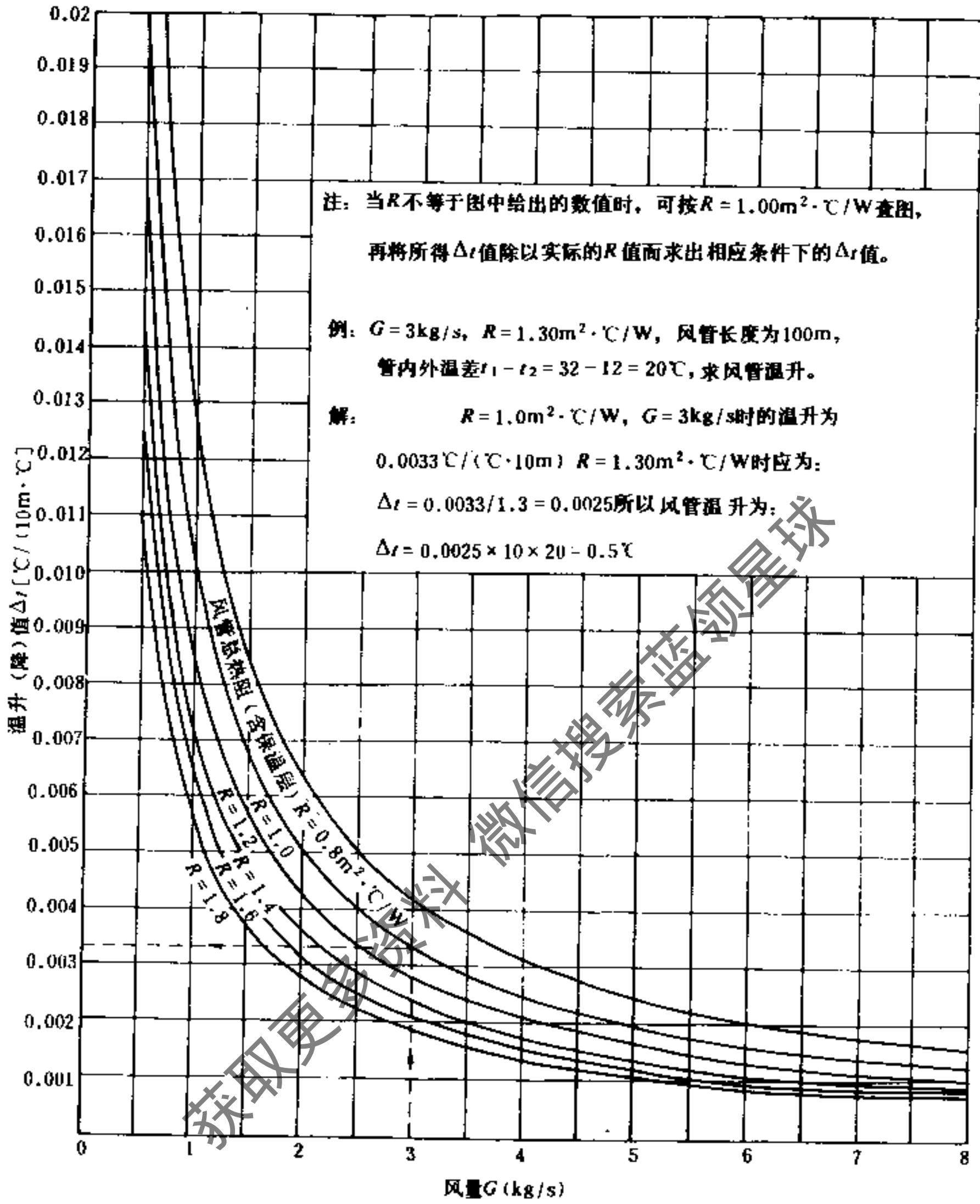


图 11.1-10 圆形风管的温升(降)计算图

2. 通风机的温升

通过通风机的温升 Δt ($^{\circ}\text{C}$), 可按下式计算:

$$\Delta t = \frac{P\eta}{\rho c \eta_1 \eta_2} \quad (11.1-21)$$

- 式中 P ——通风机的全压, Pa;
 η_1 ——通风机的全压效率;
 η_2 ——电动机的效率, 一般 $\eta_2 = 0.8 \sim 0.9$;
 ρ ——空气的密度, kg/m^3 ;

c ——空气的比热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$;

η ——电动机的安装系数, 当电动机安装在空调气流内时, $\eta = 1.0$; 在气流外时, $\eta = \eta_2$ 。

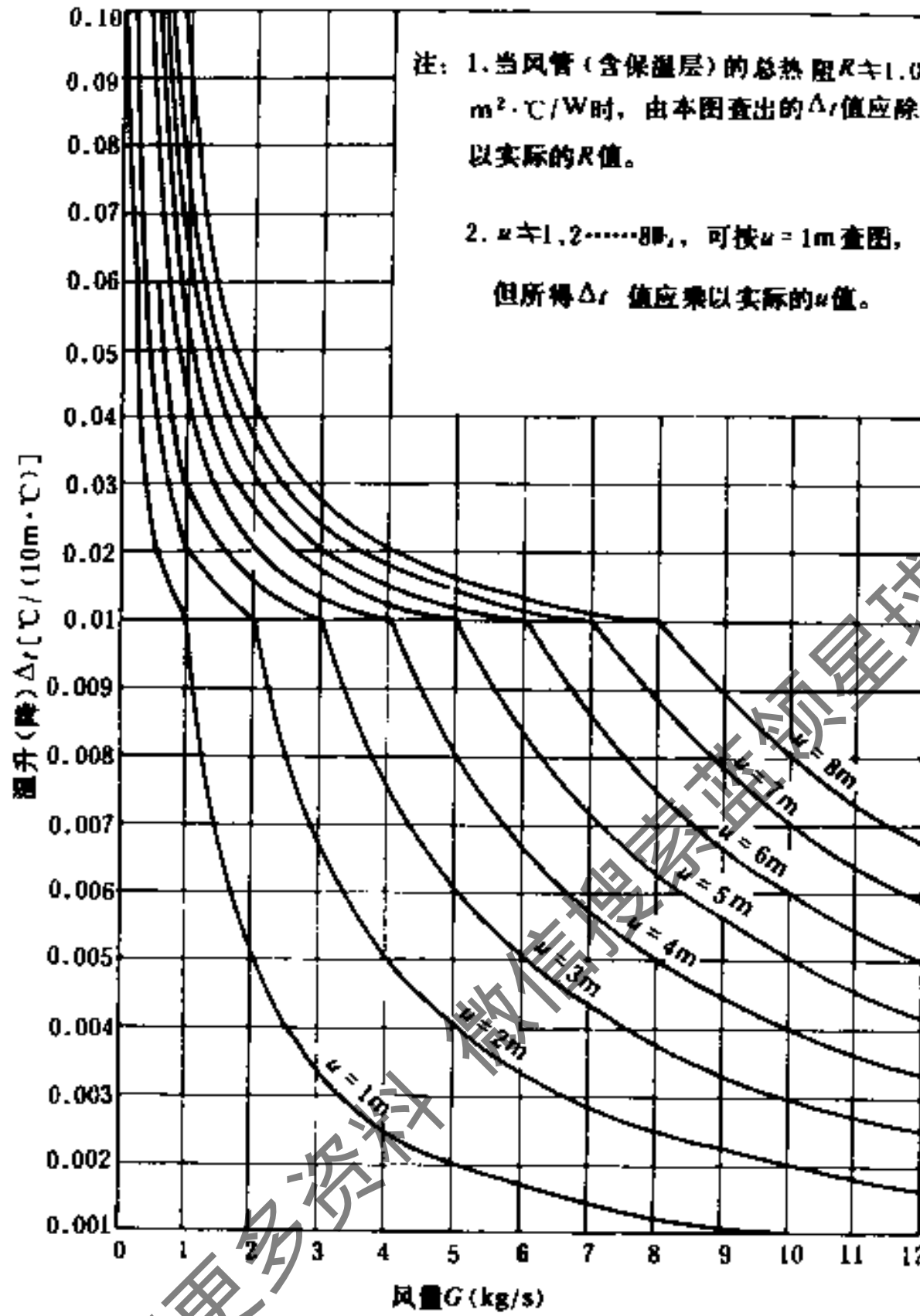


图 11.1-11 矩形风管的温升(降)计算图

式 (11.1-21) 只考虑了机械能转变为热能的部分, 通过风机壳体传热导致的冷损耗, 可按风管温升的计算方法进行计算。

通风机的温升, 一般也可按表11.1-24确定。

通风机的温升 ($^\circ C$)

表 11.1-24

通风机的全压 (Pa)	电动机装在气流外 ($\eta = \eta_2$)				电动机装在气流内 ($\eta = 1$)			
	$\eta_1 = 0.5$	$\eta_1 = 0.6$	$\eta_1 = 0.7$	$\eta_1 = 0.8$	$\eta_1 = 0.5$	$\eta_1 = 0.6$	$\eta_1 = 0.7$	$\eta_1 = 0.8$
300	0.49	0.41	0.35	0.31	0.58	0.48	0.41	0.36
400	0.65	0.54	0.47	0.41	0.77	0.65	0.55	0.48
500	0.82	0.68	0.58	0.51	0.97	0.81	0.69	0.60
600	0.98	0.82	0.70	0.61	1.16	0.97	0.82	0.73
700	1.14	0.95	0.82	0.71	1.35	1.13	0.96	0.85
800	1.31	1.09	0.93	0.82	1.55	1.29	1.10	0.97
900	1.47	1.23	1.05	0.92	1.74	1.45	1.24	1.09
1000	1.63	1.36	1.17	1.02	1.94	1.61	1.37	1.21
1200	1.96	1.63	1.40	1.23	2.32	1.94	1.65	1.45

3. 水系统的冷热损耗

(1) 冷水管道的温升 Δt ($^{\circ}\text{C}$)，一般可按式(11.1-20)计算确定。在估算时，则可按表11.1-25和表11.1-26进行。

冷水管道的近似温升值($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)

表 11.1-25

管道保温后的外径(mm)	50	70~80	100	150	200以上
近似温升($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)	0.15	0.10	0.07	0.05	0.03

冷水管道的近似冷损耗(W/m)

表 11.1-26

保温后的外径(mm)	管内外温差($^{\circ}\text{C}$)					
	15	20	25	30	35	40
60	2.44	3.14	3.95	4.65	5.47	6.28
80	3.14	4.19	5.23	6.28	7.33	8.37
100	3.95	5.23	6.51	7.79	9.19	10.47
150	5.93	7.09	11.36	11.75	13.72	15.70
200	7.09	10.47	13.03	15.70	18.26	19.31
250	9.77	13.03	16.28	19.65	22.79	26.05
300	11.63	15.58	19.65	23.38	27.45	31.17

(2) 水泵的温升 Δt ($^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta t = \frac{P}{c\rho\eta} \quad (11.1-22)$$

式中 P ——水泵压力, Pa;
 c ——水的比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$;
 ρ ——水的密度, kg/m^3 ;
 η ——水泵的效率。

不同水泵压力和效率下的温升值, 详见表11.1-27。

水泵的温升值($^{\circ}\text{C}$)

表 11.1-27

水泵效率	水泵压力(kPa)						
	100	150	200	250	300	350	400
0.5	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.16	0.19
0.6	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.16
0.7	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14
0.8	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12

11.1.7 空调过程的热、质平衡

空调房间或空调器中空气处理过程的热质平衡方程式(图11.1-12):

$$G_{i1} + q + W i_s = G_{i2} \quad (11.1-23)$$

$$Gd_1 + W = Gd_2 \quad (11.1-24)$$

$$\therefore G(i_2 - i_1) = q + Wi_s \quad (11.1-25)$$

$$G(d_2 - d_1) = W \quad (11.1-26)$$

$$\text{而} \quad \frac{i_2 - i_1}{d_2 - d_1} = \frac{q + Wi_s}{W} = \frac{q}{W} + i_s = \varepsilon \quad (11.1-27)$$

ε 值称为热湿比。

在欧美，往往用显热比 (SHF) (sensible heat factor) (或称显热系数) 取代热湿比。

$$SHF = \frac{q_x}{q_x + q_q} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{q_x}{W} \quad (11.1-28)$$

式中 G —— 空气量, kg/s;

i_1 、 i_2 —— 空气的初、终焓值, J/kg;

d_1 、 d_2 —— 空气的初、终含湿量, kg/kg;

W —— 加入或除去的水分, kg/s;

q —— 加入或除去的热量, W;

i_s —— 水分的焓值, J/kg;

q_x —— 加入或除去的显热量, W;

q_q —— 加入或除去的潜热量, W。

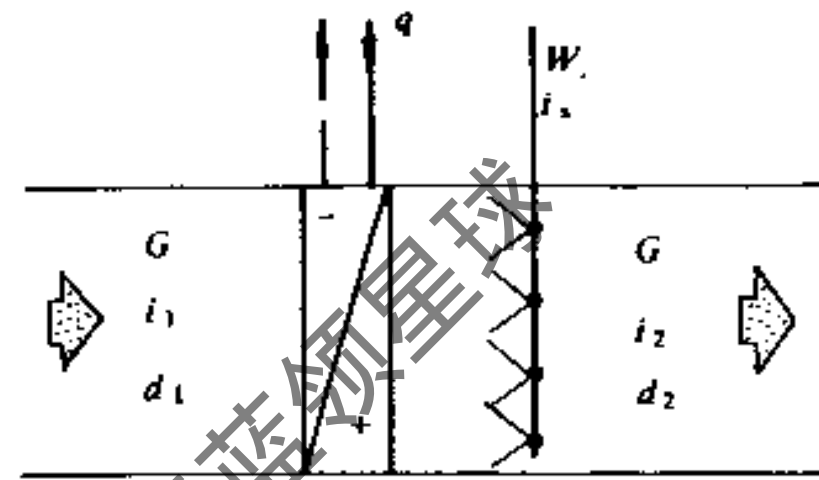


图 11.1-12 空气状态的变化

11.1.8 空调系统的优化设计

空调系统优化设计的方法较多，本节介绍两种比较方便而实用的方法。

1. 年经常费法 以系统的年经常费为判别依据，年经常费最低的方案即为最优设计。

年经常费 (YTC)，一般可近似按下式确定：

$$YTC = COF + COR \quad (11.1-29)$$

$$COF = D + I + T + INS$$

$$= \frac{C}{n} + \frac{1}{2}C(R + 0.8R_s) + INS \quad (11.1-30)$$

式中 COF —— 固定费；

COR —— 运行费；

D —— 设备折旧费；

I —— 利息；

T —— 税金；

INS —— 保险费；

C —— 设备费用；

n —— 补偿年限；

R —— 利率；

R_s —— 税率。

设备折旧的补偿年限，可参照下列原则确定：

• 小型 (制冷机容量小于 22kW) 空调设备 $n = 13$ 年

• 大型空调设备 $n = 15$ 年

运行费 COR , 可根据空调全年,(或某个期间)耗能量及单位能源价格求出; 有关空调全年耗电量的计算, 详见12.5节。

2. 等价均匀全年费用法 以等价均匀的全年费用 ($EUAC$) 为判别依据, $EUAC$ 值最低的方案, 即为最优设计。

等价均匀的全年费用, 可按下式计算:

$$EUAC = C_h \left\{ C_{ch}\phi + \sum_{j=1}^n \phi_j (C_w + C_{y_j} i_j + C_{w_j}) + S\phi \right\} \quad (11.1-31)$$

$$C_h = \frac{I(1+I)^n}{(1+I)^n - 1} \quad (11.1-32)$$

$$\phi = \frac{1}{(1+I)^n} \quad (11.1-33)$$

式中 C_h ——资本(投资)回收率;

C_{ch} ——规划、设计和建设的初期费用;

ϕ ——当年价格换算率;

ϕ_j —— j 年度的价格换算率;

C_w ——使用寿命期间的设备维修费;

C_{y_j} —— j 年度的年运行费(基础年的换算);

i_j —— j 年度的通货膨胀率(利率上升率);

C_{w_j} ——由基础年换算的 j 年度年维修费;

S ——报废处理费或剩余价值;

I ——利息。

11.2 空调房间的布置与热工要求

11.2.1 位置的选择与布置要求

1. 空调房间的位置, 不宜选在严重散发粉尘、烟气、腐蚀性气体和多风沙的地区, 应尽量远离铸造、锻造、冶炼、酸洗电镀、粉碎等车间和煤气站、锅炉房等站房, 且应位于其最多风向的上风侧。

2. 空调房间的布置要求:

(1) 应尽量集中。室内温湿度基数与允许波动范围、使用班次、隔振、消声和清洁度等要求相近的空调房间宜相邻布置, 对产生有害物质的设备应尽可能集中布置。

(2) 利用非空调房间包围空调房间或温度基数及允许波动范围要求低的房间包围要求高的房间。机房和生活间尽量设在空调房间的东、西、南向外围区。

(3) 建筑体型力求简单方正, 减少与室外空气邻接的暴露面。

(4) 优先选择南北朝向。

(5) 避免布置在有两面外墙的转角处和有伸缩缝、沉降缝的地方。

(6) 层高相同的空调房间, 应集中布置在同一层, 避免高低错落。

(7) 屋面应避免内排水。

(8) 要求噪声小的空调房间应远离声源,防止通过门窗和洞口传播噪声,充分利用走廊、套间和隔墙隔离噪声。

(9) 当工艺设计要求在工艺改变的同时,分隔墙能相应改变时,空调系统设计也应采取相应的措施。

(10) 机房应尽量布置在靠近负荷中心处。

3.在满足生产、建筑、气流组织、管道布置和舒适条件等要求的前提下,空调房间的高度应尽量降低。一般应考虑:工艺要求空调工作区高度、送风射流混合层高度、起重设备及其起吊高度、风道与风口安装位置高度、舒适条件和建筑物构造要求所必需的空间。

4.空调房间的外墙、外墙朝向及其所在的层次,可按表11.2-1确定。

外墙、外墙朝向及所在层次 表 11.2-1

室温允许波动范围(℃)	外 墙	外 墙 朝 向	层 次
>±1	宜减少外墙	宜北 向	宜避免顶层
±0.5	不宜有外墙	如有外墙时,宜北向	不宜在顶层
±0.1~0.2	不应有外墙	—	不应在顶层

注:本表中的“北向”,适用于北纬23.5°以北的地区,对于北纬23.5°以南的地区,可相应地采用南向。

5.空调房间的外窗、外窗朝向和外窗层数可按表11.2-2确定。

外窗、外窗朝向和外窗、内窗层数 表 11.2-2

室温允许波动范围(℃)	外 窗	外 窗 朝 向	外窗层数	内窗层数	
				窗两侧温差	
				>5℃	<5℃
>±1	应尽量减少外窗	>±1°应尽量北向 ±1°不应有东西向	双 层	双 层	单 层
±0.5	不宜有外窗	如有外窗时应北向	双 层	双 层	单 层
±0.1~0.2	不应有外窗	—		双 层	双 层

对东西向窗,应考虑采取外遮阳措施,也可以根据不同情况采用有效的内遮阳措施。各种遮阳装置的辐射热遮挡率和透过率见表11.2-3。

高大建筑物宜采用高侧窗,少采用低侧窗和屋面采光板。

几种典型遮阳装置的辐射热遮挡率及透过率 表 11.2-3

序 号	遮阳及窗户形式	辐射热遮挡率(%)	辐射热透过率(%)
一、	未设置遮阳的玻璃窗		
1.	单层玻璃窗	8	92
2.	双层玻璃窗	15	85
3.	双层中空保温玻璃窗	15	85
二、	遮阳设置在窗户内侧		
1.	暗色不透明织物窗帘	20	80

续表

序号	遮阳及窗户形式	辐射热遮挡率 (%)	辐射热透过率 (%)
2.	浅色织物窗帘	30	70
3.	浅色木百页	40	60
4.	轻金属百页	32	68
5.	浅色塑料百页	35	65
三、	遮阳设置在双层玻璃中间		
1.	暗色不透明亚麻布卷帘	45	55
2.	浅色透明亚麻布卷帘	60	40
3.	浅色木百页	65	35
4.	轻金属百页	38	62
5.	浅色塑料百页	50	50
四、	遮阳设置在窗户外侧		
1.	暗色不透明亚麻布卷帘	88	12
2.	浅色透明亚麻布卷帘	83	17
3.	浅色木百页	88	12
4.	轻金属百页	90	10
5.	浅色塑料百页	90	10
6.	帆布篷	75	25
五、	隔热玻璃		
1.	深绿色吸热玻璃	45	55
2.	浅绿色吸热玻璃	35	65
3.	灰色及赭色玻璃	28	72
4.	内贴反射性薄膜的玻璃	50	50

6. 空调房间的门和门斗可按表11.2-4确定。

门和门斗

表 11.2-4

室温允许波动范围(°C)	外门和门斗	内门和门斗
$> \pm 1$	不宜有外门, 如有经常开启的外门时, 应设门斗	门两侧温差 $> 7^{\circ}\text{C}$ 时, 宜设门斗
± 0.5	不应有外门	门两侧温差 $> 3^{\circ}\text{C}$ 时, 宜设门斗
$\pm 0.1 \sim 0.2$	严禁有外门	内门不宜通向室温基数不同或室温允许波动范围大于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的邻室

注: 门两侧温差 $> 7^{\circ}\text{C}$ 时, 应保温。当有两道门或有门斗时, 保温门宜设在保温墙围护结构上。外门应向内开启, 内门应朝向要求高的房间开启, 安全门应向外开启。外门门缝应严密。物料出入用外门的门斗应考虑物料停放与自然升温到要求温度的可能, 也可设升温门斗。对 $< \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 恒温房间和洁净室, 内门或内墙上宜设观察窗。

7. 顶棚和技术层

单层建筑物或设在顶层的空调房间, 宜设置顶棚。对于设计分层空调的高大建筑物, 一般可以不设顶棚。

当空调房间设置顶棚时, 宜采用设有通风窗的通风屋顶, 其保温层应设在顶棚上。通风窗夏季应开启, 冬季应关闭。炎热地区屋盖外表面宜采用浅色。不同色泽表面对太阳辐射热的反射率与吸收率见表11.2-5。

不同色泽表面对太阳辐射热的反射率与吸收率

表 11.2-5

材 料 及 色 泽	反 射 率 (%)	吸 收 率 (%)
石板、蓝灰色	15	85
大理石、白色	56	44
砂、细白	59	41
油漆、浅灰	25	75
油漆、红色	26	74
油漆、浅绿	50	50
油漆、浅黄	65	35
油漆、白色	75	25
石灰水刷白	80	20

8. 楼地面

(1) 保温楼板。符合下列情况者应作保温楼板:

- (a) 空调房间与非空调房间之间的楼板;
- (b) 空调房间与不经常使用的空调房间之间的楼板;
- (c) 上下层空调房间之间温差 $> 7^{\circ}\text{C}$ 时。

(2) 局部保温地面。

空调房间的地面一般可不作保温,但要求外墙保温层延伸至墙基防潮层处。符合下列情况者,可在靠近外墙 1 m 以内的地面设局部保温层:

(a) $< \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温室有外墙时;

(b) 夏季炎热或冬季严寒地区,工艺对地面温度有较高要求,须在靠外墙 1 m 范围内贴近地面操作者;

(c) $< 30\text{m}^2$ 的 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 恒温室,两边沿外墙者。

11.2.2 对建筑热工的要求

1. 围护结构的传热系数

空调房间围护结构的经济传热系数 K 值,应尽量根据技术经济比较确定。比较时应考虑室内外温差、恒温精度、保温材料价格与导热系数、空调制冷系统投资与运行维护费用等因素,通常可参照表 11.2-6 确定。

空调房间围护结构的传热系数 K 值

表 11.2-6

 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

围护结构名称	工 艺 性 空 气 调 节			舒适性空气调节
	室温允许波动范围($^{\circ}\text{C}$)			
	$\pm 0.1 \sim 0.2$	± 0.5	$> \pm 1.0$	
屋 盖	—	—	0.8(0.7)	1.0(0.9)
顶 棚	0.5(0.4)	0.8(0.7)	0.9(0.8)	1.2(1.0)
外 墙	—	0.8(0.7)	1.0(0.9)	1.5(1.3)
内墙和楼板	0.7(0.6)	0.9(0.8)	1.2(1.0)	2.0(1.7)

注: 1. 表中内墙和楼板的有关数值,仅适用于相邻房间的温差大于 3°C 时;

2. 确定围护结构的传热系数时,尚应符合围护结构最小传热阻的规定;

3. 一般情况下, $> \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的房间,只要在顶棚或屋盖上设置保温层,不必重复设置。

2. 围护结构热惰性指标

选用外围护结构的热惰性指标，不宜小于表11.2-7的规定。

围护结构最小热惰性指标

表 11.2-7

围护结构名称	室温允许波动范围 (°C)	
	±0.1~0.2	±0.5
外 墙	~	4
屋 盖 和 顶 棚	4	3

3. 围护结构隔汽层与防潮层

南方地区，冬夏两季室内外温差都小于10°C时，外墙一般不设隔汽层，对多雨潮湿地区，可在围护结构靠室外侧或保温层外侧设防潮层。北方与中原地区，冬季室内外温差在20~40°C之间时，可按冬季条件考虑，在围护结构靠室内侧或保温层内侧设隔汽层。

11.3 空调系统的分类与比较选择

11.3.1 空调系统的分类 见表11.3-1

空调系统的分类

表 11.3-1

分类	空调系统	系 统 特 征	系 统 应 用
按空气处理设备的设置情况分类	集中系统	集中进行空气的处理、输送和分配	单风管系统 双风管系统 变风量系统
	半集中系统	除了有集中的中央空调器外，在各自空调房间内还分别有处理空气的“末端装置”	末端再热式系统 风机盘管机组系统 诱导器系统
	全分散系统	每个房间的空气处理分别由各自的整体式空调器承担	单元式空调器系统 窗式空调器系统 分体式空调器系统 半导体空调器系统
按质来分类 按负担室内空调负荷所用的	全空气系统	全部由处理过的空气负担室内空调负荷	一次回风式系统 一、二次回风式系统
	空气—水系统	由处理过的空气和水共同负担室内空调负荷	再热系统和诱导器系统并用 全新风系统和风机盘管机组系统并用
	全水系统	全部由水负担室内空调负荷，一般不单独使用	风机盘管机组系统
	冷剂系统	制冷系统蒸发器直接放室内吸收余热余湿	单元式空调器系统 窗式空调器系统 分体式空调器系统

续表

分类	空调系统	系统特征	系统应用
按空气中系统处理的	封闭式系统	全部为再循环空气, 无新风	再循环空气系统
	直流式系统	全部用新风, 不使用回风	全新风系统
	混合式系统	部分新风, 部分回风	一次回风系统; 一、二次回风系统
按流速分类	低速系统	考虑节能与消声要求的矩形风管系统, 风管截面较大	民用建筑主风管风速低于10m/s; 工业建筑主风管风速低于15m/s
	高速系统	考虑缩小管径的圆形风管系统, 耗能多, 噪声大	民用建筑主风管风速高于12m/s; 工业建筑主风管风速高于15m/s

11.3.2 空调系统的比较选择

各种空调系统的概略比较, 见表11.3-2。

各种空调系统适用条件和使用特点, 见表11.3-3。

常用空调系统比较, 见表11.3-4。

各种空调系统比较

表 11.3-2

项目	系统分类 比较分级	集中式系统		半集中式系统		分散式系统
		单风管定风量	变风量	风机盘管	诱导器	单元式或房间空调器
初投资		B	C	B	C	A
节能效果与运行费用		A	A	B	C	B
施工安装		C	C	B	B	A
使用寿命		A	A	B	A	C
使用灵活性		C	C	B	B	A
机房面积		C	C	B	B	A
恒温控制		A	B	B	C	B
恒湿控制		A	C	C	C	C
消声		A	A	B	C	C
隔振		A	A	B	A	C
房间清洁度		A	A	C	C	C
风管系统		C	C	B	B	A
维护管理		A	B	B	B	C
防火、防爆、房间串气		C	C	B	A	A

注: 表中A—较好; B—一般; C—较差。

各种空调系统适用条件和使用特点

表 11.3-3

空调系统	适用条件	空 调 装 置	
		装置类别	使用特点
集中式	1. 房间面积大或多层、多室而热湿负荷变化情况类似; 2. 新风量变化大; 3. 室内温度、湿度、洁净度、噪声、振动等要求严格; 4. 全年多工况节能; 5. 采用天然冷源	单风管定风量直流式	房间内产生有害物质, 不允许空气再循环使用
		单风管定风量一次回风式	仅作夏季降温用或室内相对湿度波动范围要求严格, 且湿负荷变化较大
		单风管定风量一、二次回风式	室内散湿量较小, 且不允许选用较大送风温差
		变风量	室温允许波动范围 $t > \pm 1^{\circ}\text{C}$, 显热负荷变化较大
		冷却器	要求水系统简单, 但室内相对湿度要求不严格
		喷水室	1. 采用循环喷水蒸发冷却或天然冷源; 2. 室内相对湿度要求较严或相对湿度要求较大而又有较大发热量者; 3. 喷水室兼作辅助净化措施
半集中式	1. 房间面积大但风管不易布置; 2. 多层多室层高较低, 热湿负荷不一致或参数要求不同; 3. 室内温湿度要求 $t > \pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi > \pm 10\%$; 4. 要求各室空气不要串通; 5. 要求调节风量	风机盘管	1. 空调房间较多, 空间较小, 且各房间要求单独调节; 2. 建筑物面积较大但主风管敷设困难
		诱导器	多房间层高低, 且同时使用, 空气不允许互相串通, 室内要求防爆
分散式	1. 各房间工作班次和参数要求不同且面积较小; 2. 空调房间布置分散; 3. 工艺变更可能性较大或改建房屋层高较低且无集中冷源	冷风降温机组	仅用于夏季降温去湿
		恒温恒湿机组	房间全年要求恒温恒湿

常用空调系统比较

表 11.3-4

比较项目	集中式空调系统	单元式空调器	风机盘管空调系统
设备布置与机房	1. 空调与制冷设备可以集中布置在机房; 2. 机房面积较大, 层高较高; 3. 有时可以布置在屋顶上或安设在车间柱间平台上	1. 设备成套, 紧凑, 可以放在房间内, 也可以安装在空调机房内; 2. 机房面积较小, 只及集中系统的50%, 机房层高较低; 3. 机组分散布置, 敷设各种管线较麻烦	1. 只需要新风空调机房, 机房面积小; 2. 风机盘管可以安设在空调房间内; 3. 分散布置, 敷设各种管线较麻烦

续表

比较项目	集中式空调系统	单元式空调器	风机盘管空调系统
风管系统	<ol style="list-style-type: none"> 1. 空调送回风管系统复杂, 布置困难; 2. 支风管和风口较多时不易均衡调节风量 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 系统小, 风管短, 各个风口风量的调节比较容易达到均匀; 2. 直接放室内时, 可不接送风管, 也没有回风管; 3. 小型机组余压小, 有时难于满足风管布置和必需的新风量 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 放室内时, 不接送、回风管; 2. 当和新风系统联合使用时, 新风管较小
节能与经济性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以根据室外气象参数的变化和室内负荷变化实现全年多工况节能运行调节, 充分利用室外新风, 减少与避免冷热抵消, 减少冷冻机运行时间; 2. 对于热湿负荷变化不一致或室内参数不同的多房间, 不经济; 3. 部分房间停止工作不需空调时, 整个空调系统仍须运行, 不经济 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不能按室外气象参数的变化和室内负荷变化实现全年多工况节能运行调节, 过渡季不能用全新风。人多用电加热, 耗能大; 2. 灵活性大, 各空调房间可根据需要停用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 灵活性大, 节能效果好, 可根据各室负荷情况自行调节; 2. 盘管冬夏兼用, 内壁容易结垢, 降低传热效率; 3. 无法实现全年多工况节能运行调节
使用寿命	使用寿命长	使用寿命较短	使用寿命较长
安装	设备与风管的安装工作量大, 周期长	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安装投产快; 2. 对旧建筑改造和工艺变更的适应性强 	安装投产较快, 介于集中式空调系统与单元式空调器之间
维护运行	空调与制冷设备集中安设在机房, 便于管理和维修	机组易积灰与油垢, 清理比较麻烦, 使用二三年后, 风量、冷量将减少, 难以做到快速加热(冬天)与快速冷却(夏天), 分散维修与管理较麻烦	布置分散, 维护管理不方便。水系统复杂, 易漏水
温湿度控制	可以严格地控制室内温度和室内相对湿度	各房间可以根据各自的负荷变化与参数要求进行温湿度调节, 对要求全年须保证室内相对湿度允许波动范围 $< \pm 5\%$ 或要求室内相对湿度较大时, 较难满足。多数机组按 $17 \sim 21 \text{ kJ/kg}$ 的最大焓降设计, 对室内温度要求较低、室外湿球温度较高、新风量要求较多时, 较难满足	对室内温湿度要求较严时, 难于满足
空气过滤与净化	可以采用初效、中效和高效过滤器, 满足室内空气清洁度的不同要求。采用喷水室时, 水与空气直接接触, 易受污染, 须常换水	过滤性能差, 室内清洁度要求较高时难于满足	过滤性能差, 室内清洁度要求较高时难于满足
消声与隔振	可以有效地采取消声和隔振措施	机组安设在空调房间内时, 噪声、振动不好处理	必须采用低噪声风机, 才能保证室内要求

续表

比较项目	集中式空调系统	单元式空调器	风机盘管空调系统
风管互相串通	空调房间之间有风管连通,使各房间互相污染。当发生火灾时会通过风管迅速蔓延	各空调房间之间不会互相污染、串声。发生火灾时也不会通过风管蔓延	各空调房间之间不会互相污染

11.3.3 集中式空调系统

1. 系统划分原则 对多个空调房间考虑划分系统的原则见表11.3-5。

集中式空调系统划分原则

表 11.3-5

项目	空调系统合并	空调系统分开
$\geq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq \pm 5\% \phi$	1. 各室邻近,且室内温湿度基数、单位送风量的热湿扰量、使用班次和运行时间接近时; 2. 单位送风量的热扰量虽不同,但有室温调节加热器的再热系统	1. 房间分散; 2. 室内温湿度基数、单位送风量的热湿扰量、使用班次和运行时间差异较大时
± 0.1 ~ 0.2°C	恒温面积较小且附近有温湿度基数和使用班次相同的恒温房间时	恒温面积较大且附近恒温房间温湿度基数和使用班次不同时
清洁度	1. 产生同类有害物质的多个空调房间; 2. 个别房间产生有害物质,但可用局部排风较好地排除,而回风不致影响其他要求干净的房间时	1. 个别产生有害物质的房间不宜与其他要求干净的房间合一系统; 2. 有洁净室等级要求的房间不宜和一般空调房间合一系统
噪声标准	1. 各室噪声标准相近时; 2. 各室噪声标准不同,但可作局部消声处理时	各室噪声标准差异较大而难于作局部消声处理时
大面积空调	1. 室内温湿度精度要求不严且各区热湿扰量相差不大时; 2. 室内温湿度精度要求较严且各区热湿扰量相差较大时,可用按区分别设置再热系统的分区空调	1. 按热湿扰量的不同,分系统分别控制; 2. 负荷特性相差较大的内区与周边区,以及同一时间内须分别进行加热和冷却的房间,宜分区设置空调系统

2. 回风系统的选择

为了节约冷热量,根据不同条件,采用一次回风系统或一、二次回风系统,见表11.3-6。

3. 一次回风系统与一、二次回风系统的处理过程和计算方法 见表11.3-7。

一次回风系统与一、二次回风系统选用条件

表 11.3-6

一次回风系统	一、二次回风系统
1. 仅作夏季降温用的空调系统,送风温差可取较大值时; 2. 室内散湿量较大时	1. 室内散湿量较小,且不允许选用较大送风温差时; 2. 在1.的前提下,室温允许波动范围较小或送风相对湿度小于某一值,宜采用固定比例的一、二次回风; 3. 室内散湿量较小,且全年使用的集中式系统或室内温湿度允许波动范围较大,可以采用可能的最大送风温差时,宜用变动的一、二次回风比或采用旁通的可能性

系统		一 次 回 风 系 统	
项目	图式、过程、计算式	喷水系统 (含带喷水的冷却器系统)	空气冷却器系统
系统图		图11.3-1	图11.3-3
焓湿图		图11.3-2	图11.3-4
夏季过程与计算	处理过程		
	耗冷量计算 (kW)	$Q_0 = G(i_c - i_L)$	$Q_0 = G(i_c - i_L)$
	二次加热量计算 (kW)	$Q'_2 = G(i_s - i_L)$	$Q'_2 = G(i_s - i_L)$
冬季过程与计算	处理过程		
	一次加热量计算 (kW)	$Q_1 = G_w(i_{w_1'} - i_{w'})$	$Q_1 = G_w(i_{w_1'} - i_{w'})$
	二次加热量计算 (kW)	$Q_2 = G(i_{s'} - i_{L'})$	$Q_2 = G(i_{s'} - i_{L'})$
	加湿量计算 (g/s)	$W = G(d_{L'} - d_{C'})$	$W = G(d_{s'} - d_{S'})$
式中符号	G_w —新风量 (kg/s); G —总送风量 (kg/s); G_1 —一次回风与新风量之和 (kg/s); i —		

注：根据设计地点的冬季室外参数确定是否采用一次加热的空气预热器，可按下列式计算判别：

$$i_{w_1'} = i_{N'} - \frac{G}{G_w}(i_{N'} - i_{C'}) \text{ kJ/kg, 当 } i_{w'} < i_{w_1'} \text{ 时, 就要设空气预热器}$$

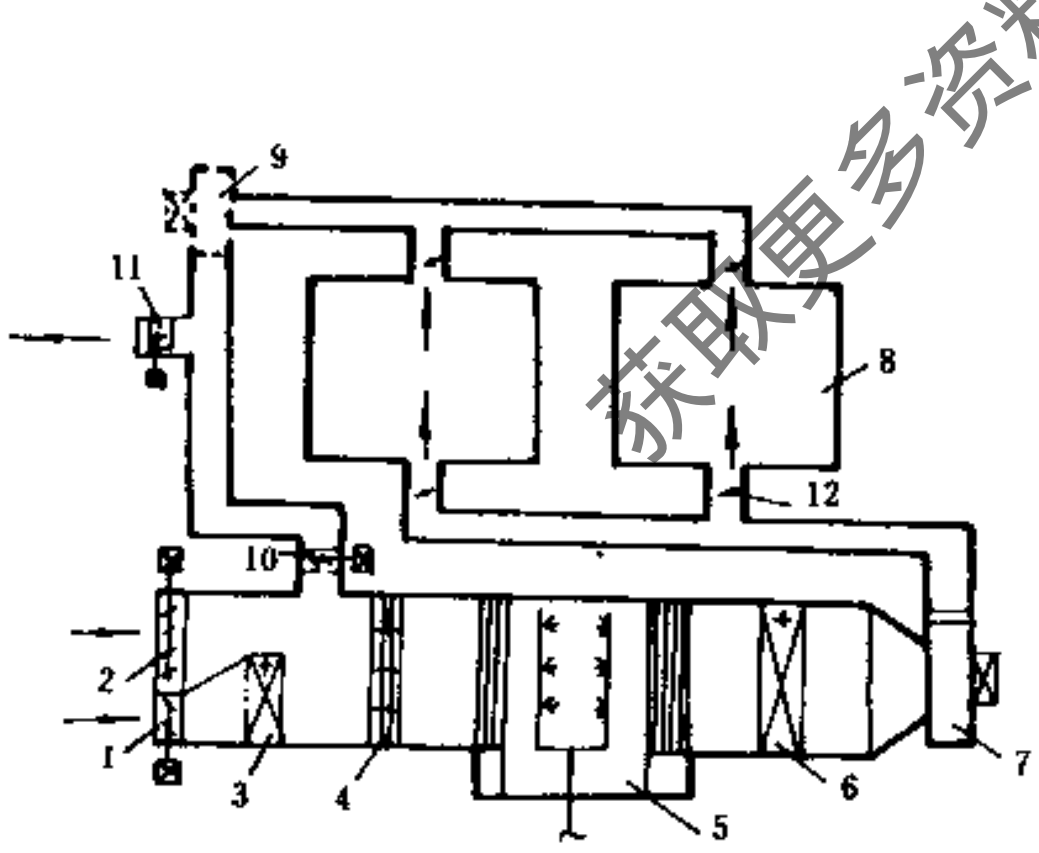


图 11.3-1 一次回风的喷水系统
 1—最小新风阀; 2—最大新风阀; 3—预热器 (第一次加热器); 4—过滤器; 5—喷水室; 6—第二次加热器; 7—送风机; 8—空调房间; 9—回风机; 10—一次回风阀; 11—排风阀; 12—调节阀门

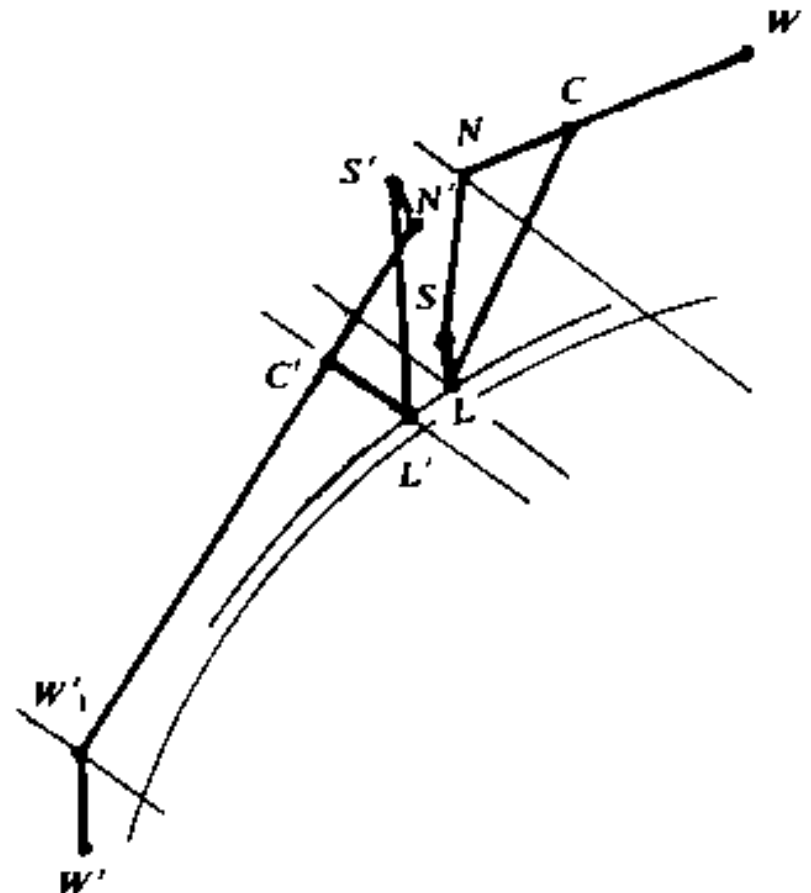


图 11.3-2 一次回风喷水系统的焓湿图
 (图中不带“'”的为夏季计算参数点, 带“'”的为冬季计算参数点)
 W, W' —室外参数点; N, N' —室内参数点; C, C' —一次回风和新风混合点; L, L' —经冷却或加湿后的“露点”; S, S' —送风参数点; W_1' —一次加热后的参数点

一、二次回风系统	
喷水系统 (含带喷水的冷却器系统)	空气冷却器系统
图11.3-5	图11.3-7
图11.3-6	图11.3-8
$Q_0 = G_1 (i_c - i_L)$	$Q_0 = G_1 (i_c - i_L)$
$Q'_2 = G (i_s - i_{C_1})$	$Q'_2 = G (i_s - i_{C_1})$
$Q_1 = G_w \cdot (i_{W'_1} - i_{w'})$	$Q_1 = G_w \cdot (i_{W'_1} - i_{w'})$
$Q_2 = G (i_{S'} - i_{C_1})$	$Q_2 = G (i_{S'} - i_{C_1})$
$W = G (d_L - d_c)$	$W = G (d_L - d_c)$

焓值 (kJ/kg); d—含湿量 (g/kg)

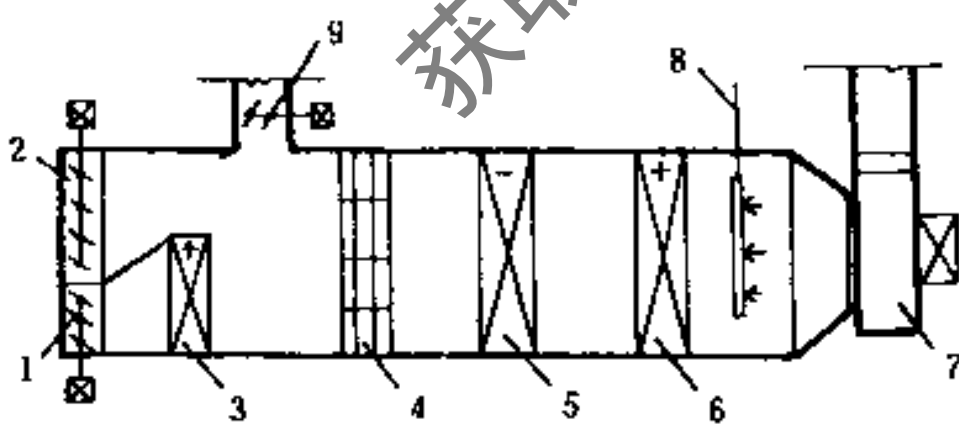


图 11.3-3 一次回风的空气冷却器系统

- 1—最小新风阀; 2—最大新风阀; 3—预热器 (第一次加热器); 4—过滤器; 5—空气冷却器; 6—第二次加热器; 7—送风机;
- 8—加湿器; 9—一次回风阀

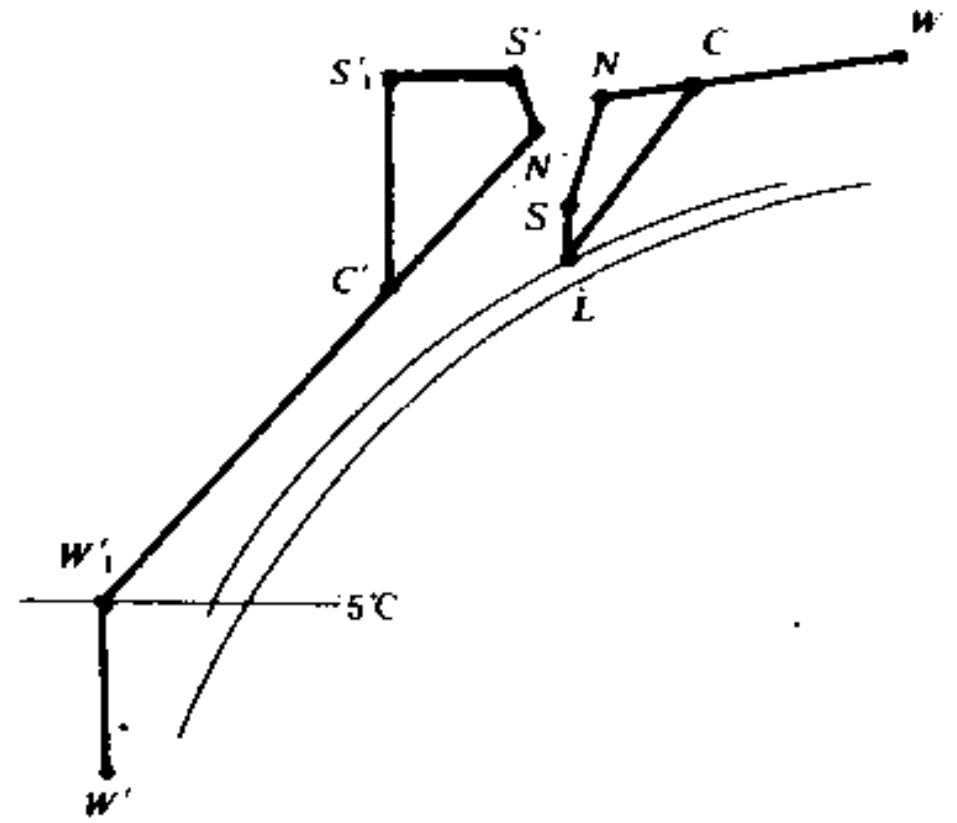


图 11.3-4 一次回风空气冷却器系统的焓湿图

(图中不带“'”的为夏季计算参数点,

带“'”的为冬季计算参数点)

- W、W'—室外参数点; N、N'—室内参数点;
- C、C'—一次回风和新风的混合点; L—经冷却后的“露点”; S、S'—送风参数点; W'_1—一次加热后的参数点; S'_1—二次加热后的参数点

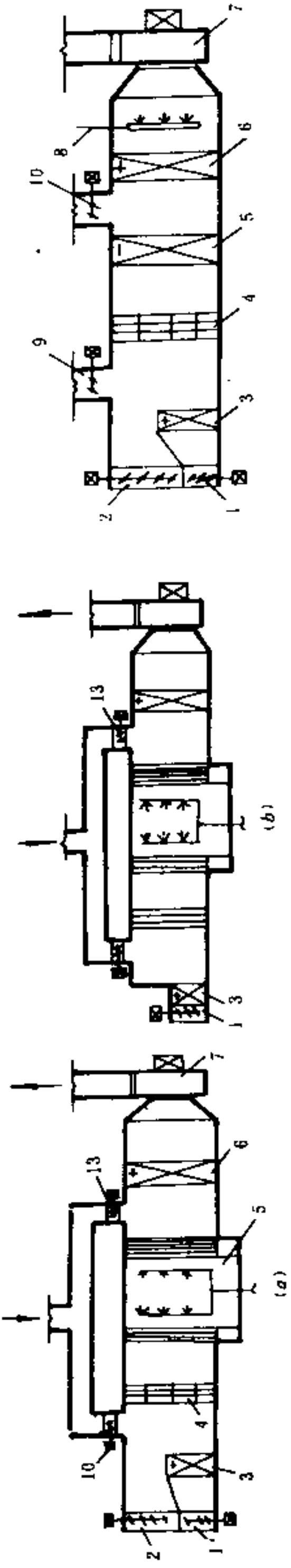


图 11.3-5 一、二次回风的喷水系统
 (a) 新风不变的; (b) 新风变化的
 13—二次回风阀; 其他符号与图11.3-1相同

图 11.3-7 一、二次回风的空气冷却器系统
 10—二次回风阀, 其他符号与图11.3-3相同

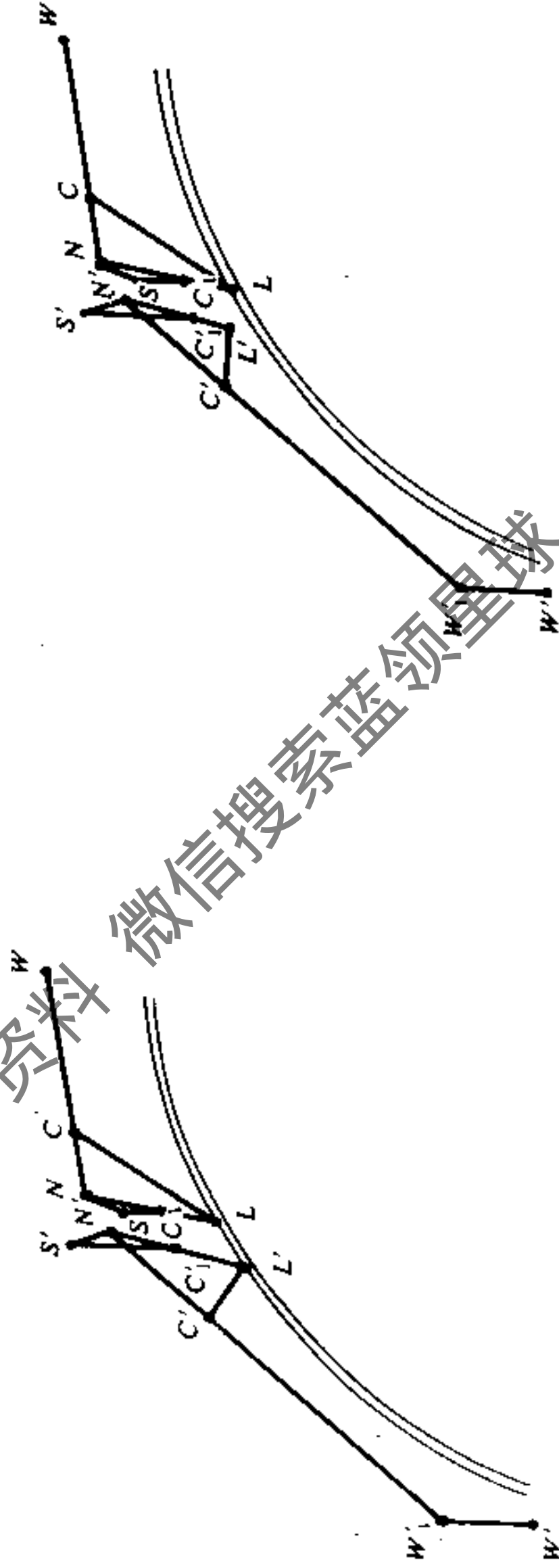


图 11.3-6 一、二次回风的喷水系统焓湿图
 (图中不带“'”的为夏季计算参数点, 带“'”的为冬季计算参数点)
 C₁, C₁'—二次混合点, 其他符号与图11.3-2相同

图 11.3-8 一、二次回风的空气冷却器系统焓湿图
 (图中不带“'”的为夏季计算参数点, 带“'”的为冬季计算参数点)
 C₁, C₁'—二次混合点, 其他符号与图11.3-4相同

4. 新风量

(1) 民用建筑宜按表11.3-8采用。

民用建筑最小新风量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$)

表 11.3-8

房 间 名 称	每人最小新风量	吸烟情况
影剧院、博物馆、体育馆、商店	8	无
办公室、图书馆、会议室、餐厅、舞厅、医院的门诊部和普通病房	17	无
旅馆客房	30	少量

(2) 生产厂房应按补偿排风(包括局部排风和冲淡有害物质的全面排风)、保持室内正压和保证每人不小于 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 的新风量等三项风量的最大值确定。前两项可按下列式计算:

$$L_w > L_p + L_z \quad \text{m}^3/\text{h}$$

式中 L_w ——新风量, m^3/h ;

L_p ——局部排风量和全面排风量之和, m^3/h ;

L_z ——保持正压所需的新风量, m^3/h 。

5. 新风口的设置

(1) 新风口宜装设能严密关闭的保温阀门。

(2) 当采用手动风阀时, 应考虑操纵方便。

(3) 一般宜分成最小新风阀和最大新风阀(最大新风阀作为过渡季进入大量新风时使用)。

(4) 最小新风阀在空调系统运行时可以不加控制, 只在空调系统停用时关闭。

(5) 当有回风机时, 可以不控制新风阀, 仅控制回风和排风阀, 调节新、回风比例。

(6) 当固定新、回风比时, 只需用一个新风阀, 但应有最小开度的限位。

新风口的位置, 应符合下列要求:

(1) 新风口处空气的清洁度应符合现行《工业企业设计卫生标准》的要求, 如无法符合时, 应进行专门处理。

(2) 应尽量设在排风口的上风侧且应低于排风口。当新风口和排风口两者水平距离大于 20 m 时, 可布置在同一高度上。

(3) 新风口的底部距室外地坪, 不宜低于 2 m , 当布置在绿化地带时, 不宜低于 1 m 。

(4) 尽量设在北向外墙上。

6. 单风机系统与双风机系统

单风机系统与双风机系统的适用条件和优缺点见表11.3-9。

单、双风机系统的适用条件和优缺点

表 11.3-9

系 统	单 风 机 系 统	双 风 机 系 统
适用条件	1. 全年新风量不变的系统; 2. 当使用大量新风时, 室内门窗可以排风, 不会形成大于 50 Pa 的过高正压; 3. 房间少、系统小、空调房间靠近空调机房, 空调系统的排风口必须靠近空调房间	1. 不同季节的新风量变化较大, 其它排风出路不能适应风量变化的要求时会导致室内正压过高; 2. 房间须维持一定的正压, 而门窗严密, 空气不易渗透, 室内又无排气装置; 3. 要求保证空调系统有恒定的回风量或恒定的排风量; 4. 仅有少量回风的系统; 5. 通过技术经济比较, 装设回风机合理时

续表

系统	单风机系统	双风机系统
优点	1.投资省; 2.经常耗电少; 3.占地小	1.空调系统可以采用全年多工况调节,节省能量; 2.可保证设计要求的室内正压和回风量; 3.风机风压低、噪声小; 4.使用于多房间的空调系统,易于调节
缺点	1.全年新风量调节困难; 2.当过渡季使用大量新风,室内又无足够的排风面积,会使室内正压过大,人耳膜会有痛感,门也不易开启; 3.风机风压高、噪声大; 4.由于空调器内有较大负压,缝隙处易渗入空气,使冬、夏季回风比达不到设计要求,冷、热耗量增大; 5.室内局部排风量小时,用单风机克服回风管的压力损失,不经济; 6.排风口位置必须靠近空调器时,会使室内正压过高; 7.空调系统供给多房间时,调节比较困难	1.投资高; 2.经常耗电多; 3.占地大; 4.当回风机选用不当而使风压过大时,会使新风口处形成正压,导致新风进不来
风机压力	风机负担整个空调系统全部压力损失	送风机负担由新风口至最远送风口压力损失。回风机负担最远回风口至空调器前的压力损失。一般回风机的压力仅为送风机压力的1/3~1/4(必须注意,排风口一定要处于回风机的正压段,新风口一定要处于送风机的负压段)

11.4 空调负荷计算

11.4.1 空调负荷计算的基本构成

1. 房间冷负荷的构成

空调房间的得热量由下列各项得热量组成:

- (1) 通过围护结构传入室内的热量;
- (2) 透过外窗进入室内的太阳辐射热量;
- (3) 人体散热量;
- (4) 照明散热量;
- (5) 设备、器具、管道及其他室内热源的散热量;
- (6) 食品或物料的散热量;
- (7) 渗透空气带入室内的热量;
- (8) 伴随各种散湿过程产生的潜热量。

确定房间计算冷负荷时,应根据上述各项得热量的种类和性质,以及房间的蓄热特性,分别逐时计算,然后逐时叠加,找出综合最大值。

2. 房间湿负荷的构成

房间散湿量由下列各项散湿量构成:

- (1) 人体散湿量;

- (2) 渗透空气带入室内的湿量;
- (3) 化学反应过程的散湿量;
- (4) 各种潮湿表面、液面或液流的散湿量;
- (5) 食品或其他物料的散湿量;
- (6) 设备散湿量。

确定房间计算湿负荷时,应根据上述湿源的种类,选用不同的群体系数、负荷系数和同时使用系数,分别逐时计算,然后逐时叠加,找出综合最大值。

3. 空调系统冷负荷的构成

空调系统的冷负荷,应根据所服务房间的同时使用情况、空调系统的类型及调节方式,按各房间逐时冷负荷的综合最大值或各房间计算冷负荷的累加值确定,并应计入新风冷负荷以及通风机、风管、水泵、冷水管和水箱温升引起的附加冷负荷。

11.4.2 房间负荷计算的准备工作

在利用表格进行空调负荷计算之前,需要预先知道空调房间各面围护结构的热工特性,并对空调房间及其所在地点适当进行归类。当窗户装有外遮阳板时,尚应对窗口进行阴影计算。

1. 围护结构的夏季热工指标

常用围护结构的夏季热工指标,见表11.4-1至表11.4-4。为正确使用这些表格,下面作几点简要说明。

(1) 表头符号

a_w ——围护结构外侧表面的综合换热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

a_n ——围护结构内侧表面的综合换热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

δ ——材料层厚度, mm;

K ——围护结构的传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

β ——当围护结构一侧空气介质作用一个周期为24小时的谐性温度波,而另一侧空气温度恒为此温度波的平均值时,传热温差的衰减倍数;

$$\beta = \frac{a_n}{K_v}$$

ν ——当周期为24小时的谐性温度波由围护结构一侧的空气介质传递至另一侧表面时,波幅的衰减倍数;

ξ ——上述情况下,波的延迟时间, h;

ν_r ——当周期为24小时的谐性辐射热波作用于空调房间围护结构内侧表面上时,该表面向房间谐性放热波幅的衰减倍数;

ξ_r ——上述情况下,波的延迟时间, h。

(2) 楼面放热指标

每种楼面的放热特性 ν_r 和 ξ_r 值有两组,上行一组对应于扰量作用在上表面的情况,即围护结构作为空调房间楼板的情况;下行一组对应于扰量作用在下表面的情况,即围护结构作为空调房间顶棚的情况。

(3) 屋面和楼面的承重层厚度

凡未标明厚度者, 均按折算厚度为70mm的钢筋混凝土实型板考虑。在其它情况下, 如计算上无特殊要求, 表中所有数据均可直接取用。

(4) 楼板地毯

如楼板上满铺织物地毯 (不包括地板胶) 时, 则不论该楼板构造如何, 均可视其属于 $v_f = 1.2$ 的轻型构造, 并且认为每10mm地毯厚度约使楼板总热阻增加 $0.19 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ 。

(5) 尺寸单位

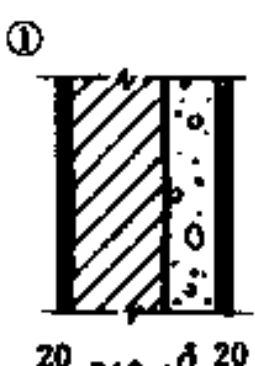

构造图上标注的尺寸单位为mm。

2. 房间的分类

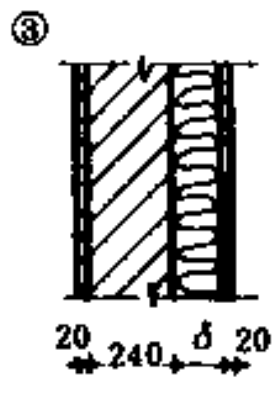
房间主要依据其各面围护结构的夏季热工指标, 特别是内墙和楼板的放热衰减倍数 v_f 进行分类。房间的具体分类指标见表11.4-5。

外墙的夏季热工指标 ($a_w = 18.6; a_n = 8.7$)

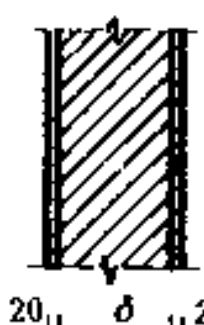
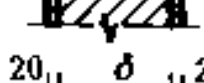
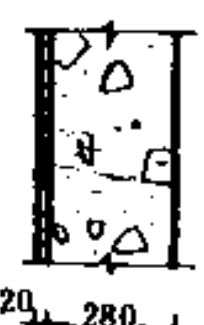
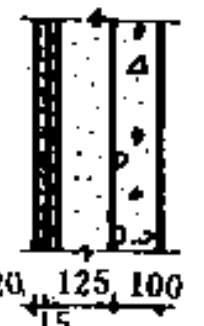

表 11.4-1

序号	构造	保温材料	δ	K	β	v	ξ	v_f	ξ_f
1	 <p>① 保温外墙 (一)</p> <p>1. 水泥砂浆抹灰加浅色喷浆 2. 砖墙 3. 保温层 4. 内粉刷加油漆</p>	加气混凝土	250	0.59	0.08	177.93	16.8	1.3	1.3
2			190	0.71	0.12	102.39	14.6	1.3	1.3
3			150	0.81	0.15	71.25	13.2	1.3	1.3
4			120	0.93	0.17	54.36	12.2	1.3	1.3
5			90	1.07	0.20	41.09	11.3	1.4	1.2
6			70	1.19	0.22	33.61	10.7	1.4	1.2
7		水泥膨胀珍珠岩	140	0.58	0.16	96.48	12.8	1.2	1.2
8			110	0.69	0.17	73.05	11.9	1.2	1.1
9			80	0.84	0.19	53.85	11.0	1.2	1.1
10			60	0.98	0.21	42.51	10.5	1.3	1.1
11			50	1.07	0.22	37.14	10.2	1.3	1.0
12			40	1.17	0.23	31.92	10.0	1.3	1.0
13		沥青膨胀珍珠岩	160	0.45	0.13	149.03	14.2	1.2	1.2
14			110	0.59	0.16	89.62	12.3	1.2	1.1
15			80	0.73	0.19	64.57	11.3	1.2	1.1
16			65	0.83	0.20	53.64	10.8	1.2	1.1
17			50	0.95	0.21	43.38	10.4	1.3	1.0
18			40	1.07	0.22	36.83	10.1	1.3	1.0
19	 <p>② 保温外墙 (二)</p> <p>1. 外粉刷加浅色喷浆 2. 砖墙 3. 保温层 4. 木丝板 5. 钢板网抹灰加油漆</p>	沥青矿渣棉毡	100	0.48	0.16	115.12	12.3	1.2	1.7
20			80	0.56	0.17	94.81	12.0	1.2	1.7
21			70	0.60	0.17	85.01	11.8	1.2	1.6
22			50	0.73	0.18	65.99	11.4	1.3	1.6
23			40	0.81	0.19	56.71	11.2	1.3	1.6
24			30	0.93	0.20	47.59	11.0	1.3	1.5


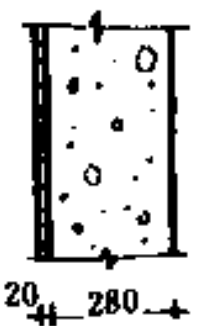


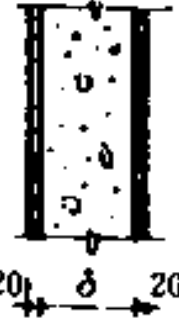
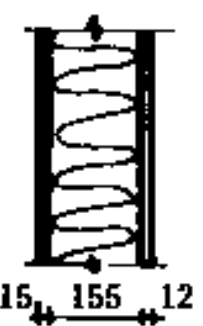


续表

序号	构造	保温材料	δ	K	β	ν	ξ	ν_r	ξ_r	
25		塑料袋装膨胀蛭石	100	0.48	0.16	114.28	12.2	1.2	1.7	
26			80	0.56	0.17	94.35	11.9	1.2	1.6	
27			70	0.60	0.17	84.68	11.7	1.2	1.6	
28			50	0.73	0.18	65.83	11.4	1.3	1.6	
29			40	0.81	0.19	56.61	11.2	1.3	1.6	
30			30	0.93	0.20	47.53	11.0	1.3	1.5	
31		塑料袋装	85	0.48	0.16	113.92	11.9	1.2	1.7	
32			60	0.59	0.17	85.70	11.6	1.2	1.6	
33			50	0.66	0.18	74.58	11.4	1.3	1.6	
34		膨珠膨胀岩珍珠粉	40	0.74	0.18	63.59	11.3	1.3	1.6	
35			30	0.86	0.19	52.74	11.1	1.3	1.5	
36			25	0.93	0.20	47.37	11.0	1.3	1.5	
37		沥青玻璃棉毡	85	0.48	0.16	114.17	12.0	1.2	1.7	
38			60	0.59	0.17	85.60	11.6	1.2	1.6	
39			50	0.66	0.18	74.51	11.4	1.3	1.6	
40			40	0.74	0.18	63.55	11.2	1.3	1.6	
41			30	0.86	0.19	52.71	11.1	1.3	1.5	
42		25	0.93	0.20	47.35	10.9	1.3	1.5		
43		塑料袋装脲醛泡沫塑料	70	0.47	0.16	114.40	11.5	1.2	1.7	
44			60	0.51	0.17	100.80	11.4	1.2	1.6	
45			50	0.58	0.17	87.27	11.3	1.2	1.6	
46			35	0.71	0.18	67.10	11.2	1.3	1.6	
47			25	0.84	0.19	53.76	11.0	1.3	1.5	
48			20	0.93	0.20	47.15	10.9	1.3	1.5	
49		③ 	沥青矿渣棉毡	110	0.49	0.17	106.20	11.5	1.2	1.3
50				80	0.60	0.18	78.82	10.9	1.2	1.3
51				50	0.83	0.20	52.90	10.4	1.2	1.2
52				40	0.93	0.21	44.48	10.3	1.3	1.2
53				30	1.08	0.22	36.17	10.1	1.3	1.2
54				25	1.17	0.23	32.05	9.9	1.4	1.2
55			塑料袋装膨胀蛭石	110	0.49	0.17	105.47	11.4	1.2	1.3
56				80	0.60	0.18	78.53	10.9	1.2	1.2
57				50	0.83	0.20	52.81	10.4	1.2	1.2
58				40	0.93	0.21	44.42	10.2	1.3	1.2
59				30	1.08	0.22	36.13	10.1	1.3	1.2
60				25	1.17	0.23	32.03	9.9	1.4	1.2

续表

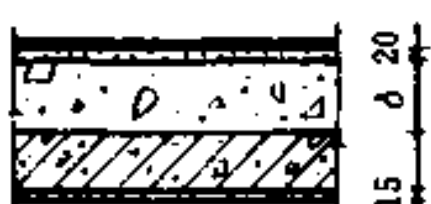
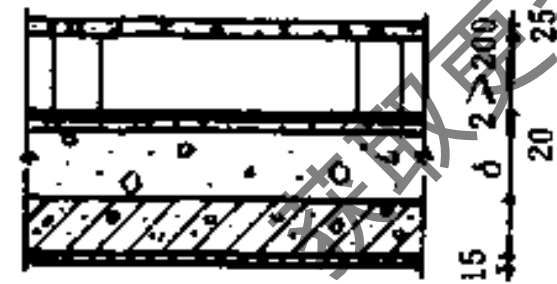
序号	构造	保温材料	δ	K	β	r	ξ	v_i	ξ_i
61		塑料袋装膨胀珍珠岩粉	95	0.47	0.17	107.25	11.1	1.1	1.3
62			70	0.59	0.18	81.22	10.7	1.2	1.2
63			50	0.73	0.19	60.91	10.4	1.2	1.2
64			40	0.85	0.20	50.89	10.3	1.2	1.2
65			30	0.99	0.22	40.97	10.1	1.3	1.2
66			25	1.08	0.23	36.04	10.0	1.3	1.2
67		沥青玻璃棉毡	95	0.47	0.17	107.03	11.1	1.1	1.2
68			70	0.59	0.18	81.13	10.7	1.2	1.2
69			50	0.73	0.20	60.87	10.4	1.2	1.2
70			40	0.85	0.20	50.87	10.3	1.2	1.2
71			30	0.99	0.22	40.95	10.1	1.3	1.2
72			25	1.08	0.23	36.03	10.0	1.3	1.2
73		塑料袋装脲醛泡沫塑料	75	0.48	0.18	103.86	10.6	1.1	1.2
74			65	0.52	0.18	91.40	10.5	1.1	1.2
75			55	0.59	0.19	78.99	10.4	1.2	1.2
76			40	0.73	0.20	60.44	10.3	1.2	1.2
77			30	0.87	0.21	48.13	10.2	1.2	1.2
78			25	0.97	0.22	42.01	10.1	1.3	1.2
79	 <p>砖墙 1. 外粉刷 2. 砖墙 3. 内粉刷</p>		370	1.49	0.15	38.6	12.7	2.0	1.5
80	 <p>20 δ 20</p>		240	1.94	0.35	12.9	8.5	2.0	2.0
81	 <p>陶粒页岩混凝土大板280 1. 外粉刷 2. 陶粒页岩混凝土 3. 大白浆</p> <p>20 280 20</p>			1.59	0.35	15.8	8.9	1.8	1.8
82	 <p>混凝土、加气混凝土复合板240 1. 外粉刷 2. 混凝土 3. 加气混凝土 4. 混凝土、大白浆</p> <p>20 125 100 15</p>	加气混凝土		1.30	0.47	14.4	7.1	2.0	3.0
83	 <p>填泡沫混凝土的钢筋混凝土墙 板180 1. 外粉刷 2. 钢筋混凝土空心板填充泡沫混凝土 3. 内粉刷</p> <p>20 130 20 25 25</p>	泡沫混凝土		1.45	0.60	10.0	6.5	1.5	2.6

续表

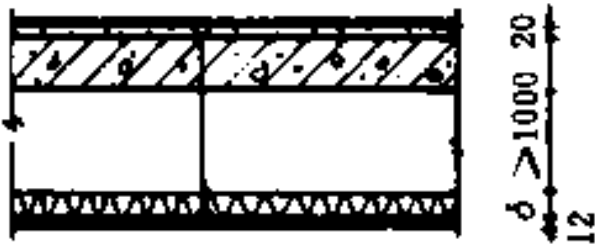
序号	构造	保温材料	δ	K	β	ν	ξ	ν_f	ξ_f
84	 <p>填泡沫混凝土的钢筋混凝土 墙板220 1.外粉刷 2.钢筋混凝土空心板填充 泡沫混凝土 3.内粉刷</p>	泡沫混凝土		1.26	0.49	14.2	7.9	1.7	2.6
85	 <p>膨珠混凝土大板280 1.外粉刷 2.膨珠混凝土 3.大白浆</p>			1.70	0.25	20.6	10.3	2.0	1.8
86	 <p>混凝土、加气混凝土 复合板280(一) 1.外粉刷 2.混凝土 3.加气混凝土 4.混凝土板、喷白浆</p>	加气混凝土		1.26	0.36	19.2	8.4	2.2	2.8
87	 <p>混凝土、加气混凝土 复合板280(二) 1.外粉刷 2.混凝土 3.加气混凝土 4.混凝土、喷白浆</p>	加气混凝土		1.14	0.41	18.8	8.3	2.1	2.9
88	 <p>纯加气混凝土大板 1.外粉刷 2.加气混凝土 3.内粉刷</p>	加气混凝土	200	0.86	0.68	15.0	5.9	1.2	1.6
89			175	0.95	0.75	12.2	5.1	1.2	1.6
90	 <p>矿棉轻质复合板182 1.钢丝网水泥板 2.矿棉板 3.石膏板</p>	矿棉板		0.41	0.88	24.1	3.5	1.0	0.6
91	 <p>矿棉轻质复合板98 1.石棉水泥板 2.矿棉板 3.石膏板</p>	矿棉板		0.73	0.98	12.2	1.3	1.0	0.4
92	 <p>钢筋混凝土剪力墙 1.釉面砖 2.水泥砂浆 3.钢筋混凝土 4.内粉刷</p>		400	2.15	0.14	29.49	12.0	2.6	1.7
93			350	2.30	0.18	20.97	10.7	2.7	1.9
94			300	2.48	0.24	14.90	9.4	2.6	2.2
95			250	2.67	0.31	10.58	8.1	2.5	2.5
96			200	2.92	0.40	7.47	6.8	2.2	2.8

屋面的夏季热工指标 ($a_w = 18.6; a_n = 8.7$)

表 11.4-2

序号	构造	保温材料	δ	K	β	ν	ξ	ν_f	ξ_f
1	保温屋面  <ol style="list-style-type: none"> 1. 防水层加小豆石 2. 水泥砂浆找平层 3. 保温层 4. 隔汽层 5. 承重层 6. 内粉刷 	加气混凝土	200	0.79	0.31	35.03	10.1	2.1	2.7
2			170	0.90	0.37	26.68	9.0	2.1	2.8
3			140	1.02	0.42	20.37	8.0	2.0	2.9
4			110	1.20	0.47	15.50	7.0	1.9	3.0
5			90	1.36	0.50	12.8	6.4	1.9	3.0
6		水泥膨胀珍珠岩	200	0.49	0.33	52.91	10.1	2.0	2.8
7			150	0.63	0.42	33.51	8.3	2.0	2.9
8			120	0.74	0.46	25.45	7.3	1.9	2.9
9			90	0.93	0.50	18.91	6.5	1.9	2.9
10			70	1.10	0.52	15.15	5.9	1.8	2.9
11		60	1.22	0.54	13.36	5.7	1.8	2.9	
12		50	1.36	0.55	11.63	5.4	1.7	2.9	
13		沥青膨胀珍珠岩	160	0.49	0.37	47.36	9.3	2.0	2.8
14			120	0.63	0.44	31.57	7.8	1.9	2.9
15			90	0.79	0.48	22.96	6.8	1.9	2.9
16			70	0.94	0.51	18.10	6.2	1.8	2.9
17			60	1.05	0.52	15.83	5.9	1.8	2.9
18			50	1.19	0.54	13.65	5.6	1.8	2.9
19			40	1.24	0.56	11.54	5.3	1.7	2.9
20	通风屋面  <ol style="list-style-type: none"> 1. 细石混凝土板 2. 通风层 3. 防水层 4. 水泥砂浆找平层 5. 保温层 6. 隔汽层 7. 承重层 8. 内粉刷 	加气混凝土	200	0.63	0.20	70.15	12.2	2.1	2.6
21			170	0.70	0.24	53.05	11.2	2.1	2.6
22			140	0.77	0.28	40.12	10.1	2.1	2.7
23			110	0.86	0.33	30.30	9.0	2.1	2.8
24			90	0.94	0.37	25.08	8.3	2.0	2.8
25		水泥膨胀珍珠岩	200	0.43	0.22	94.82	12.4	2.0	2.7
26			150	0.52	0.28	59.30	10.6	2.0	2.8
27			120	0.60	0.33	44.61	9.6	2.0	2.8
28			90	0.71	0.37	33.14	8.6	2.0	2.9
29			70	0.81	0.40	26.77	7.9	2.0	2.9
30			60	0.87	0.42	23.89	7.6	1.9	2.9
31			50	0.94	0.44	21.19	7.3	1.9	2.9
32		沥青膨胀珍珠岩	160	0.43	0.25	82.92	11.7	2.0	2.7
33			120	0.52	0.31	54.55	10.1	2.0	2.8
34			90	0.63	0.35	39.40	9.0	2.0	2.8
35			70	0.72	0.39	31.19	8.3	2.0	2.9
36			60	0.78	0.41	27.51	7.9	1.9	2.9
37			50	0.86	0.42	24.08	7.5	1.9	2.9
38			40	0.94	0.44	20.86	7.2	1.9	2.9

续表

序号	构造	保温材料	δ	K	β	r	ζ	ν_r	ξ_r	
39	吊顶屋面 (一)  <ol style="list-style-type: none"> 1. 防水层加小豆石 2. 水泥砂浆找平层 3. 屋面板 4. 吊顶空间 5. 保温层 6. 隔汽层 7. 石膏板 	脲醛泡沫塑料	80	0.44	0.50	39.83	5.0	1.1	0.4	
40		脲醛泡沫塑料	60	0.53	0.51	31.89	4.9	1.1	0.4	
41		脲醛泡沫塑料	50	0.60	0.51	27.94	4.8	1.1	0.4	
42		脲醛泡沫塑料	40	0.70	0.52	23.99	4.8	1.1	0.4	
43		脲醛泡沫塑料	30	0.83	0.53	20.05	4.7	1.1	0.4	
44		膨胀珍珠岩粉	100	0.44	0.49	40.68	5.7	1.1	0.4	
45			膨胀珍珠岩粉	80	0.51	0.50	33.91	5.4	1.1	0.4
46			膨胀珍珠岩粉	60	0.63	0.51	27.35	5.1	1.1	0.4
47			膨胀珍珠岩粉	50	0.70	0.52	24.12	5.0	1.1	0.5
48			膨胀珍珠岩粉	40	0.79	0.53	20.92	4.9	1.1	0.5
49			膨胀珍珠岩粉	30	0.92	0.54	17.74	4.7	1.1	0.5
50		沥青玻璃棉毡	25	1.00	0.54	16.16	4.7	1.1	0.5	
51			沥青玻璃棉毡	100	0.44	0.49	40.58	5.6	1.1	0.4
52			沥青玻璃棉毡	80	0.51	0.50	33.86	5.3	1.1	0.4
53			沥青玻璃棉毡	60	0.63	0.51	27.33	5.1	1.1	0.4
54			沥青玻璃棉毡	50	0.70	0.52	24.11	5.0	1.1	0.4
55			沥青玻璃棉毡	40	0.79	0.53	20.91	4.8	1.1	0.5
56			沥青玻璃棉毡	30	0.92	0.54	17.74	4.7	1.1	0.5
57		膨胀蛭石	25	1.00	0.54	16.16	4.7	1.1	0.5	
58			膨胀蛭石	120	0.44	0.48	41.59	6.2	1.1	0.5
59			膨胀蛭石	90	0.53	0.50	32.61	5.6	1.1	0.5
60			膨胀蛭石	70	0.64	0.51	26.98	5.3	1.1	0.5
61			膨胀蛭石	60	0.70	0.52	24.24	5.1	1.1	0.5
62			膨胀蛭石	50	0.78	0.52	21.53	5.0	1.1	0.5
63			膨胀蛭石	40	0.87	0.53	18.84	4.9	1.1	0.5
64			膨胀蛭石	30	1.00	0.54	16.18	4.7	1.1	0.5
65	沥青矿渣棉毡	120	0.44	0.48	42.00	6.3	1.1	0.5		
66		沥青矿渣棉毡	90	0.53	0.50	32.77	5.7	1.1	0.5	
67		沥青矿渣棉毡	70	0.64	0.51	27.06	5.4	1.1	0.5	
68		沥青矿渣棉毡	60	0.70	0.51	24.29	5.2	1.1	0.5	
69		沥青矿渣棉毡	50	0.78	0.52	21.56	5.0	1.1	0.5	
70		沥青矿渣棉毡	40	0.87	0.53	18.86	4.9	1.1	0.5	
71		沥青矿渣棉毡	30	1.00	0.54	16.19	4.7	1.1	0.5	
72	脲醛泡沫塑料	80	0.44	0.48	41.34	6.0	1.1	1.3		
73		脲醛泡沫塑料	60	0.55	0.49	32.94	5.8	1.1	1.3	
74		脲醛泡沫塑料	50	0.62	0.49	28.77	5.8	1.1	1.3	
75		脲醛泡沫塑料	40	0.71	0.50	24.60	5.7	1.1	1.3	
76		脲醛泡沫塑料	30	0.84	0.51	20.44	5.6	1.2	1.3	

续表

序号	构造	保温材料	δ	K	β	r	ξ	v_1	S_1
77	吊顶屋面(二)	膨胀珍珠岩粉	100	0.44	0.47	42.35	6.6	1.1	1.3
78			80	0.52	0.48	35.16	6.3	1.1	1.3
79			60	0.64	0.49	28.20	6.0	1.1	1.3
80			50	0.71	0.49	24.78	5.9	1.1	1.3
81			40	0.81	0.50	21.39	5.7	1.2	1.3
82			30	0.94	0.51	18.03	5.6	1.2	1.4
83			25	1.02	0.52	16.35	5.5	1.2	1.4
84			沥青玻璃棉毡	100	0.44	0.47	42.24	6.6	1.1
85		80		0.52	0.48	35.10	6.3	1.1	1.3
86		60		0.64	0.49	28.17	6.0	1.1	1.3
87		50		0.71	0.50	24.76	5.9	1.1	1.3
88		40		0.81	0.50	21.38	5.7	1.2	1.3
89		30		0.94	0.51	18.02	5.6	1.2	1.4
90		25		1.02	0.52	16.35	5.5	1.2	1.4
91		膨胀蛭石		120	0.44	0.46	43.35	7.1	1.1
92	90		0.55	0.47	33.82	6.5	1.1	1.4	
93	70		0.65	0.49	27.84	6.2	1.1	1.4	
94	60		0.71	0.49	24.92	6.0	1.1	1.4	
95	50		0.79	0.50	22.05	5.9	1.2	1.4	
96	40		0.90	0.51	19.20	5.7	1.2	1.4	
97	30		1.02	0.52	16.39	5.6	1.2	1.4	
98	沥青矿棉毡		120	0.44	0.45	43.79	7.2	1.1	1.4
99		90	0.55	0.47	34.00	6.6	1.1	1.4	
100		70	0.65	0.48	27.93	6.2	1.1	1.4	
101		60	0.71	0.49	24.98	6.1	1.2	1.4	
102		50	0.79	0.50	22.09	5.9	1.2	1.4	
103		40	0.90	0.51	19.23	5.8	1.2	1.4	
104		30	1.02	0.52	16.40	5.6	1.2	1.4	
105		脲醛泡沫塑料	80	0.42	0.44	47.79	7.0	1.2	1.7
106	60		0.50	0.45	38.59	6.8	1.2	1.7	
107	40		0.64	0.46	29.47	6.6	1.2	1.7	
108	35		0.69	0.47	27.21	6.6	1.2	1.7	
109	25		0.81	0.48	22.69	6.5	1.2	1.7	
110	膨胀珍珠岩粉	95	0.43	0.43	47.30	7.6	1.2	1.8	
111		70	0.52	0.44	37.40	7.2	1.2	1.8	
112		55	0.60	0.45	31.67	6.9	1.2	1.8	
113		40	0.72	0.46	26.05	6.7	1.2	1.7	
114		30	0.83	0.47	22.36	6.6	1.2	1.7	
115		25	0.88	0.48	20.53	6.5	1.2	1.7	

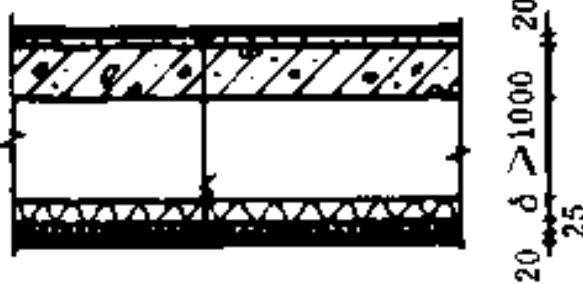
吊顶屋面(二)



20 δ > 1000 .20

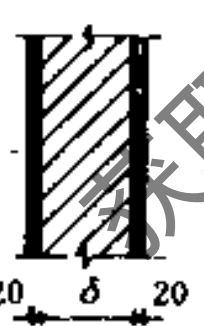

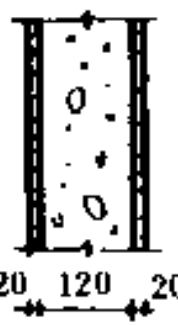
1. 防水层加小豆石
2. 水泥砂浆找平层
3. 屋面板
4. 吊顶空间
5. 保温层
6. 隔汽层
7. 钢板网抹灰油漆

续表

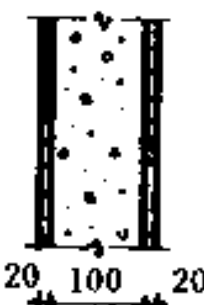

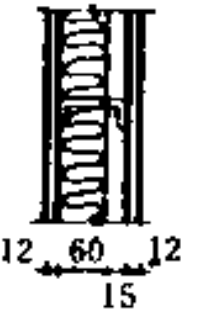
序号	构造	保温材料	δ	K	β	ν	ξ	ν_1	ξ_1
116	<p>吊顶屋面 (三)</p>  <p>1. 防水层加小豆石 2. 水泥砂浆找平层 3. 屋面板 4. 吊顶空间 5. 保温层 6. 隔汽层 7. 木丝板 8. 钢丝网抹灰油漆</p>	沥青玻璃棉毡	95	0.43	0.43	47.16	7.5	1.2	1.8
117			70	0.52	0.44	37.34	7.1	1.2	1.8
118			55	0.60	0.45	31.63	6.9	1.2	1.8
119			40	0.72	0.46	26.03	6.7	1.2	1.7
120			30	0.83	0.47	22.35	6.5	1.2	1.7
121			25	0.88	0.48	20.53	6.5	1.2	1.7
122		膨胀蛭石	115	0.43	0.42	48.98	8.0	1.2	1.8
123			85	0.52	0.44	38.31	7.5	1.2	1.8
124			65	0.62	0.45	31.66	7.1	1.2	1.8
125			50	0.71	0.46	26.85	6.9	1.2	1.8
126			40	0.79	0.47	23.70	6.7	1.2	1.8
127			30	0.88	0.48	20.60	6.5	1.2	1.7
128		沥青矿棉毡	115	0.43	0.41	49.56	8.2	1.2	1.8
129			85	0.52	0.43	38.55	7.6	1.2	1.8
130			65	0.62	0.45	31.79	7.2	1.2	1.8
131			50	0.71	0.46	26.92	6.9	1.2	1.8
132	40		0.79	0.47	23.75	6.7	1.2	1.8	
133	30		0.88	0.48	20.63	6.6	1.2	1.7	

内墙的夏季热工指标 ($\alpha_n = 8.7$)

表 11.4-3

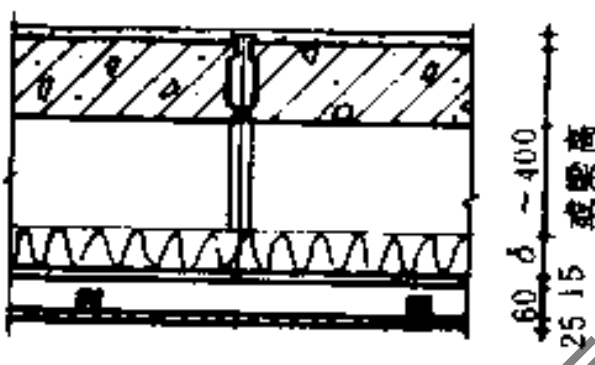
序号	构造	保温材料	δ	K	β	ν	ξ	ν_1	ξ_1
1	 <p>砖墙</p>		240	1.76	0.28	17.56	9.0	2.0	2.0
2			180	2.01	0.41	10.57	7.1	1.9	2.3
3			120	2.37	0.58	6.32	5.2	1.6	2.1
4	 <p>混凝土隔墙</p>		200	2.59	0.45	7.55	6.2	2.0	2.9
5			180	2.70	0.50	6.50	5.6	1.9	2.9
6			140	2.95	0.62	4.79	4.5	1.6	2.8
7	 <p>粉煤灰砌块隔墙</p>			1.88	0.68	6.78	4.9	1.4	2.1

续表

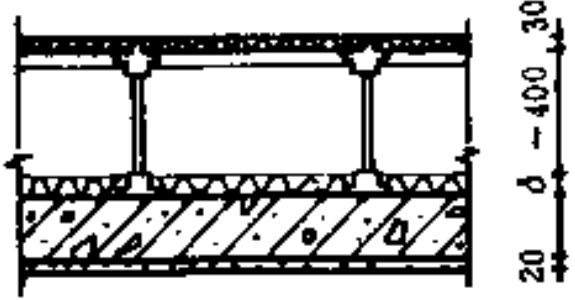

序号	构造	保温材料	δ	K	β	v	ξ	r_1	s_1
8	 加气混凝土板	加气混凝土		1.34	0.83	7.86	3.8	1.1	1.5
9	 四层石膏板轻质隔墙(中空)			1.74	0.98	5.10	1.0	1.0	0.5
10	 石膏板夹矿棉板轻质隔墙	矿棉板		0.74	0.98	11.84	1.2	1.0	0.4

楼面的夏季热工指标 ($\alpha_n = 8.71$)




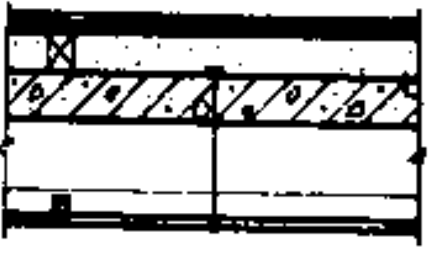
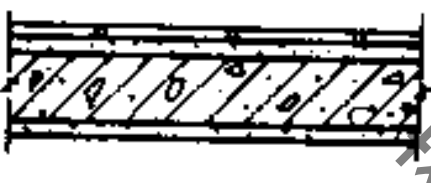


表 11.4-4

序号	构造	保温材料	δ	K	β	v	ξ	r_1	s_1
1	 1. 楼面面层、按房间要求 2. 钢筋混凝土楼板 3. 吊顶空间 4. 保温层 5. 稀铺木板上加油毡一层 6. 主、次木筋 7. 钢板网抹灰、油漆	袋装膨胀珍珠岩	40	0.65	0.40	33.30	7.7	2.0	3.0
2		袋装膨胀珍珠岩	30	0.73	0.42	28.87	7.5	1.3	1.8
3		袋装膨胀珍珠岩	25	0.72	0.42	29.15	7.4	2.0	3.0
4		袋装膨胀珍珠岩	25	0.72	0.42	29.15	7.4	1.3	1.8
5		沥青玻璃棉毡	40	0.65	0.11	33.27	7.7	2.0	3.0
6		沥青玻璃棉毡	30	0.73	0.12	28.84	7.5	1.3	1.8
7		袋装膨胀蛭石	50	0.64	0.40	34.39	7.9	2.0	3.0
8		袋装膨胀蛭石	35	0.73	0.41	28.68	7.6	1.3	1.8
9		袋装膨胀蛭石	25	0.83	0.42	24.98	7.4	2.0	3.1
10		袋装膨胀蛭石	25	0.83	0.47	22.64	6.4	1.3	1.7
11		袋装膨胀珍珠岩	15	0.69	0.45	28.03	6.7	1.2	1.4
12		袋装膨胀珍珠岩	30	0.81	0.47	22.30	6.5	1.9	2.9
							1.2	1.4	
							1.9	2.9	
							1.2	1.4	
							1.9	2.9	
							1.2	1.4	
							1.9	2.9	

续表

序号	构造	保温材料	δ	K	β	v	s	v_r	s_r
13	 <p>1. 活动地板 2. 支座空间 3. 保温层 4. 钢筋混凝土楼板 5. 抹灰、油漆</p>	浙青玻璃棉毡	45	0.69	0.45	28.01	6.1	1.2 1.9	1.4 2.9
14			30	0.84	0.17	22.30	6.5	1.2 1.9	1.4 2.9
15			25	0.91	0.47	20.42	6.4	1.2 1.9	1.4 2.9
16			50	0.72	0.45	26.93	6.8	1.2 1.9	1.4 2.8
17			膨胀蛭石	40	0.80	0.46	23.69	6.6	1.2 1.9
18		30		0.91	0.47	20.50	6.5	1.2 1.9	1.4 2.9
19		50		0.72	0.45	27.00	6.8	1.2 1.9	1.4 2.8
20		浙青矿渣棉毡	40	0.80	0.46	23.74	6.7	1.2 1.9	1.4 2.9
21			30	0.91	0.47	20.53	6.5	1.2 1.9	1.4 2.9
22			170	0.30	0.23	123.45	10.7	1.8 2.1	2.9 2.7
23	 <p>1. 面层 2. 细石钢筋混凝土 3. 保温层上下水泥砂浆找平层 4. 钢筋混凝土承重层(楼板) 5. 粉刷</p>	浙青膨胀珍珠岩块	80	0.57	0.27	56.82	9.1	1.8 2.1	2.9 2.7
24			50	0.81	0.29	37.12	8.7	1.8 2.1	2.9 2.8
25			160	0.57	0.21	72.93	11.8	1.9 2.2	2.8 2.6
26	水泥膨胀珍珠岩块	90	0.87	0.27	37.01	9.6	1.9 2.2	2.9 2.9	
27		50	1.24	0.32	22.07	8.5	1.8 2.1	2.9 2.8	
28		190	0.78	0.18	62.71	12.7	2.0 2.3	2.7 2.5	
29	加气混凝土块	110	1.12	0.26	30.00	10.0	2.0 2.2	2.8 2.6	
30		80	1.33	0.30	22.09	9.1	1.9 2.2	2.8 2.7	

续表

序号	构造	保温材料	δ	K	β	r	δ	v_r	δ_r
31	 <p>1. 面层 2. 钢筋混凝土楼板 3. 粉刷</p>			3.13	0.64	4.35	4.1	1.5	2.8
								1.5	2.6
32	同上, 但铺羊毛地毯			1.44	0.44	13.65	5.2	1.2	0.5
								2.0	2.7
33	 <p>1. 面层 2. 钢筋混凝土楼板 3. 吊顶空间 4. 钢板网抹灰、油漆</p>			1.83	0.55	8.72	5.3	1.7	3.0
								1.3	1.8
34	 <p>1. 席纹地板 2. 松木垫板 3. 白灰焦渣 4. 钢筋混凝土楼板 5. 吊顶空间 6. 白灰吊顶粉刷</p>	白灰渣		0.91	0.21	46.45	9.7	1.4	1.0
								1.4	0.8
35	 <p>1. 水磨石 2. 找平层 3. 焦渣层 4. 钢筋混凝土楼板 5. 吊顶空间 6. 五夹板、油漆</p>	白灰渣		1.06	0.23	35.42	9.2	1.7	2.2
								1.4	0.6
36	 <p>1. 水磨石预制块 2. 砂浆找平层 3. 钢筋混凝土楼板 4. 粉刷</p>			2.72	0.50	6.40	5.3	1.8	2.7
								1.8	2.6
37	同上, 但铺羊毛地毯			1.35	0.33	19.72	6.4	1.3	0.4
38	 <p>1. 面层</p>	木丝板	50	1.65	0.18	10.89	5.6	1.9	3.0
								1.3	1.0
39	同上	木丝板	25	2.21	0.56	7.06	4.6	1.7	2.9
								1.1	1.2
40	 <p>1. 面层 2. 钢筋混凝土楼板 3. 反贴保温层</p>	聚苯乙烯泡沫塑料	25	1.20	0.49	14.85	1.7	1.9	2.9
								1.2	0.4

当实际计算的房间与表11.4-5所列的三类典型房间不同时, 应将实际楼板和内墙的放热衰减倍数与典型房间相应的放热衰减倍数加以比较, 其数值接近某一类型, 就认为该房间属于这一类型。如果楼面上满铺织物地毯 (不包括地板胶), 则不论楼板构造如何, 均视该房间为轻型。如果楼板和内墙分别属于相邻的不同类型, 则视该房间为较轻的那一类型。如果楼板和内墙分别属于轻、重两个类型, 则视该房间为中型。

房间的分类

表 11.4-5

房间类型	围护结构的放热衰减倍数 ψ	
	内 墙	楼 板
轻 型	1.2	1.4
中 型	1.6	1.7
重 型	2.0	2.0

3. 城市的分区

全国主要城市的分区情况见表11.4-6。计算围护结构冷负荷时, 应根据所在城市对应的代表城市查找有关计算表格, 然后根据表注中给出的数值进行修正。

城市的分区

表 11.4-6

计算区编号	代表城市	适用城市
I	北 京	哈尔滨、长春、乌鲁木齐、沈阳、呼和浩特、天津、银川、石家庄、太原、济南、西宁、兰州
II	西 安	郑州、成都
III	上 海	南京、合肥、武汉、杭州、拉萨、重庆、南昌、长沙、福州、台北
IV	广 州	贵阳、桂林、昆明、南宁

4. 有外遮阳板的窗口直射面积的计算

设窗口及外遮阳板关系尺寸如图11.4-1所示。此时窗口受太阳直接照射的面积 F_1 (m²), 可按下列各式计算:

(1) 当 $mM < g$ 且 $lL < f$ 时,

$$F_1 = BH \quad (11.4-1)$$

(2) 当 $mM < g$ 但 $f < lL < H + f$ 时,

$$F_1 = B(H + f - lL) \quad (11.4-2)$$

(3) 当 $lL < f$ 但 $g < mM < B + g$ 时,

$$F_1 = (B + g - mM)H \quad (11.4-3)$$

(4) 当 $f < lL < H + f$ 且 $g < mM < B + g$ 时,

$$F_1 = (B + g - mM)(H + f - lL) \quad (11.4-4)$$

(5) 当 $mM > B + g$ 或 $lL > H + f$ 时,

$$F_1 = 0 \quad (11.4-5)$$

式中 B ——窗洞宽度, m;

H ——窗洞高度, m;

l ——水平遮阳板对于窗面的突出长度, m;

城市	窗朝向	下列时刻的L值 (水平遮阳板)									下列时刻的M值 (垂直对称遮阳板)									窗朝向					
		8	10	12	14	16	18	8	10	12	14	16	18	8	10	12	14	16	18						
哈尔滨、长春、沈阳、呼和浩特、乌鲁木齐	南	6.50	2.45	2.14	2.45	6.50		9.11	1.40	0	1.40	9.11											南		
	西南			3.02	1.44	0.91	0.52																	东南	
	西				1.75	0.71	0.27																	东	
	西北				8.64	1.13	0.30																	东北	
北京、天津、石家庄、济南、太原、银川、兰州、西宁	南	20.0	3.41	2.87	3.41	20.0		27.7	1.88	0	1.88	27.7											南		
	西南			4.06	1.67	0.98	0.48																	东南	
	西				1.81	0.72	0.24																	东	
	西北				5.47	1.06	0.26																	东北	
西安、郑州、合肥、南京	南		5.22	4.10	5.22																			南	
	西南			5.80	4.94	1.06	0.43																	东南	
	西				1.85	0.72	0.21																	东	
	西北				4.07	0.99	0.23																	东北	
上海、杭州、南昌、长沙、武汉、重庆、成都、拉萨	南		7.39	5.36	7.39																			南	
	西南			7.53	2.11	1.10	0.41																	东南	
	西				1.87	0.72	0.19																	东	
	西北				3.54	0.95	0.21																	东北	
贵阳、昆明、桂林、福州、台北	西南			13.5	2.42	1.15	0.36																	东南	
	西				1.89	0.71	0.17																	东	
	西北				2.97	0.89	0.18																	东北	
广州、南宁	西南			32.0	2.70	1.20	0.32																	东南	
	西				1.89	0.70	0.15																	东	
	西北				2.64	0.85	0.16																	东北	
	时刻	16	14	12	10	8	6	16	14	12	10	8	6	16	14	12	10	8	6	16	14	12	10	8	6
	时刻																								

注: 表中空白处为阴影区 (影长L或M可视为无限大), 外窗不受太阳直接照射。

- m ——垂直遮阳板对于窗面的突出长度, m;
- f ——水平遮阳板到窗口边的距离, m;
- g ——垂直遮阳板到窗口边的距离, m;
- L ——水平遮阳板单位影长, 可查表11.4-7;
- M ——垂直遮阳板单位影长, 可查表11.4-7。

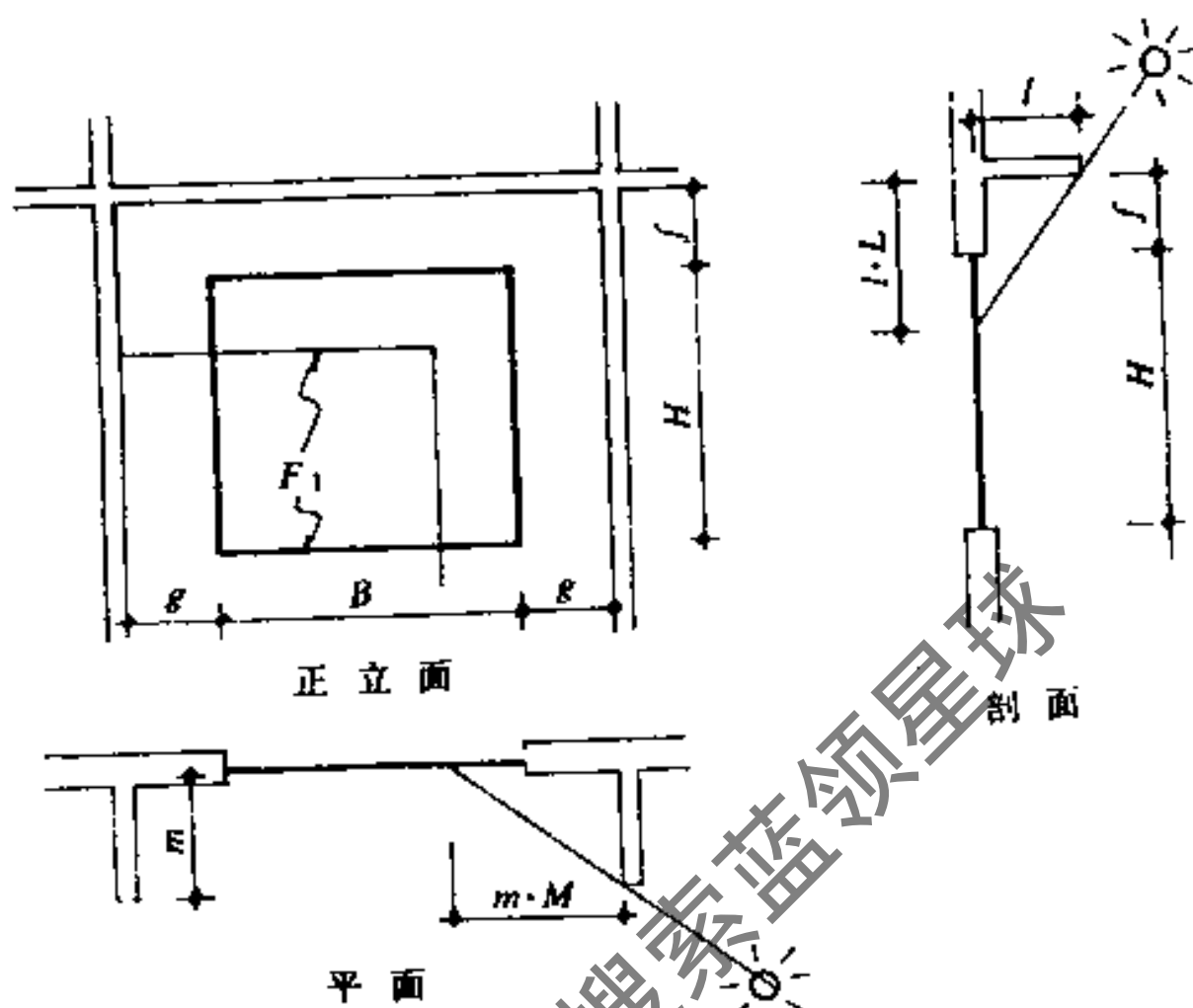


图 11.4-1 窗口及遮阳板尺寸关系

11.4.3 外墙和屋面传热冷负荷计算

外墙或屋面传热形成的计算时刻冷负荷 Q_{τ} (W), 可按下式计算:

$$Q_{\tau} = K F \Delta t_{\tau-\xi} \quad (11.4-6)$$

式中

F ——计算面积, m^2 ;

τ ——计算时刻, 点钟;

$\tau-\xi$ ——温度波的作用时刻, 即温度波作用于外墙或屋面外侧的时刻, 点钟;

$\Delta t_{\tau-\xi}$ ——作用时刻下, 通过外墙或屋面的冷负荷计算温差, 简称负荷温差, $^{\circ}C$,

对于常用外墙, 可查表11.4-8; 对于屋面, 可查表11.4-9。

注: 例如对于延迟时间为5小时的外墙, 在确定16点房间的传热冷负荷时, 应取计算时刻 $\tau = 16$, 时间延迟为 $\xi = 5$, 作用时刻为 $\tau - \xi = 16 - 5 = 11$ 。这是因为计算16点钟外墙内表面由于温度波动形成的房间冷负荷是5小时之前作用于外墙外表面温度波动产生的结果。

当外墙或屋顶的衰减系数 $\beta < 0.2$ 时, 可用日平均冷负荷 Q_{pj} 代替各计算时刻的冷负荷 Q_{τ} :

$$Q_{pj} = K F \Delta t_{pj} \quad (11.4-7)$$

式中 Δt_{pj} ——负荷温差的日平均值, $^{\circ}C$, 见表11.4-8和11.4-9。

11.4.4 外窗的温差传热冷负荷

通过外窗温差传热形成的计算时刻冷负荷 Q_{τ} 可按式计算:

$$Q_{\tau} = KF\Delta t_{\tau} \quad (11.4-8)$$

式中 Δt_{τ} ——计算时刻下的负荷温差, $^{\circ}\text{C}$, 见表11.4-10;

K ——传热系数, 双层窗可取2.9, 单层窗可取5.8, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

11.4.5 外窗太阳辐射冷负荷

透过外窗的太阳辐射形成的计算时刻冷负荷 Q_{τ} ,应根据不同情况分别按下列各式计算:

1. 当外窗无任何遮阳设施时

$$Q_{\tau} = FX_g X_d J_{w\tau} \quad (11.4-9)$$

式中 X_g ——窗户的构造修正系数, 见表11.4-11;

$J_{w\tau}$ ——计算时刻下, 透过无遮阳设施外窗的太阳总辐射负荷强度, 见表11.4-13, W/m^2 ;

X_d ——地点修正系数, 见表11.4-13的表注。

外 墙 负 荷 温 差 表

表 11.4-8

北京市墙体的负荷温差

衰减系数 β	朝 向	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 Δt_{D1}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.15~0.30	零	2	2	2	2	3	3	4	4	4	3	3	3	3
	南	6	5	6	7	9	9	10	9	9	8	7	6	8
	西南	7	6	7	8	9	11	12	12	11	10	9	8	9
	西	7	7	7	8	9	11	12	12	12	11	9	8	9
	西北	6	6	6	6	7	9	10	10	9	9	8	7	8
	北	4	4	5	5	6	7	7	7	7	6	5	5	6
	东北	6	7	8	8	9	9	9	9	8	7	6	6	8
	东	7	8	10	10	11	11	11	11	10	9	8	7	9
	东南	7	8	9	10	11	11	11	10	10	9	8	7	9
0.31~0.40	零	2	2	2	2	3	3	4	4	4	3	3	3	3
	南	5	4	5	7	9	10	10	10	9	8	7	6	8
	西南	6	6	6	7	9	11	13	13	12	10	9	7	9
	西	7	6	6	7	7	11	13	13	13	11	10	8	9
	西北	6	5	5	6	7	9	11	11	10	9	8	7	8
	北	4	4	4	5	6	7	7	8	7	6	5	4	6
	东北	5	6	7	8	9	10	10	9	8	7	6	5	8
	东	6	8	10	11	12	12	12	11	10	9	7	6	9
	东南	6	7	8	10	11	12	12	11	10	9	7	6	9

北京市墙体的负荷温差

续表

衰减系数 β	朝 向	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 Δt_{pj}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.41~0.60	零	1	1	1	2	3	4	5	5	5	4	3	2	3
	南	3	3	4	7	10	12	12	11	10	8	6	4	8
	西南	4	4	4	6	9	13	15	15	13	11	8	6	9
	西	5	4	4	5	8	12	16	16	14	12	9	7	9
	西北	4	3	4	5	7	10	13	13	12	10	7	6	8
	北	3	3	4	5	6	8	9	9	8	6	5	4	6
	东北	4	6	8	9	10	11	11	10	8	7	5	4	8
	东	4	7	10	12	13	13	13	11	10	8	6	4	9
	东南	4	5	8	11	13	13	13	12	10	8	6	4	9
0.61~0.70	零	1	1	1	2	3	4	5	5	5	4	3	2	3
	南	2	2	4	7	11	13	13	12	10	7	5	4	8
	西南	4	3	3	6	10	14	17	16	13	10	8	5	9
	西	4	3	4	5	8	13	18	17	15	11	8	6	9
	西北	3	3	3	5	7	10	14	14	12	9	7	5	8
	北	2	2	3	5	7	8	9	9	8	6	5	3	6
	东北	3	5	8	10	11	11	11	10	8	7	5	3	8
	东	3	6	11	14	14	14	13	11	9	7	5	4	9
	东南	3	5	9	12	14	14	13	12	9	7	5	4	9

注: 1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时, 本表适用的城市及修正值如下:

城市名称	西 宁	呼 和 浩 特	哈 尔 滨	长 春	太 原	沈 阳	天 津	乌 鲁 木 齐	石 家 庄	济 南
修正值 ($^\circ\text{C}$)	-8	-4	-3	-3	-2	-1	0	1	1	3

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时, 表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ 。

西安市墙体的负荷温差

续表

衰减系数 β	朝 向	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 Δt_{pj}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.15~0.30	零	4	4	4	4	5	5	6	6	6	6	5	5	5
	南	7	7	7	8	9	10	10	10	10	9	8	7	9
	西南	8	8	8	9	10	12	12	12	12	11	10	9	10
	西	9	8	8	9	11	12	13	13	13	12	11	10	11
	西北	8	7	7	8	9	11	12	12	11	10	9	9	9
	北	6	6	7	7	8	9	9	9	9	8	7	7	8
	东北	8	8	9	10	11	11	11	11	10	9	8	8	9
	东	9	9	11	12	12	13	12	12	11	10	9	8	11
	东南	8	8	10	11	11	12	12	11	11	10	9	8	10

西安市墙体的负荷温差

续表

衰减系数 β	朝向	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 Δt_{p1}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.31~0.40	零	4	4	4	4	5	6	6	6	6	6	5	5	5
	南	6	6	6	8	9	11	11	11	10	9	8	7	9
	西南	8	7	7	8	10	13	14	14	14	12	11	9	11
	西	7	7	7	8	10	12	13	13	13	11	10	9	10
	西北	7	7	7	7	9	11	12	13	12	11	10	8	9
	北	6	6	6	7	8	9	10	10	9	8	7	6	8
	东北	7	8	9	10	11	11	12	11	10	9	8	7	9
	东	8	9	10	12	13	13	13	12	11	10	9	8	11
	东南	7	8	9	11	12	12	12	12	11	10	9	8	10
0.41~0.60	零	3	3	3	4	5	6	7	7	7	6	5	4	5
	南	5	4	5	8	10	12	13	12	11	9	7	6	9
	西南	6	5	5	7	10	14	16	15	14	12	9	7	10
	西	6	5	6	7	10	14	17	17	15	13	10	8	11
	西北	6	5	5	7	9	12	14	15	13	11	9	7	9
	北	5	5	5	7	8	10	11	11	10	9	7	6	8
	东北	5	7	9	11	12	13	13	12	11	9	7	6	9
	东	6	8	11	13	14	15	14	13	11	10	8	6	11
	东南	5	6	9	12	13	14	14	13	11	9	8	6	10
0.61~0.70	零	3	2	3	4	5	6	7	7	7	6	5	4	5
	南	4	4	5	8	11	13	13	12	11	9	7	5	9
	西南	5	4	5	7	11	15	17	16	14	11	9	7	10
	西	5	5	5	7	10	15	18	18	15	12	10	7	11
	西北	5	4	5	7	9	13	16	16	14	11	9	6	9
	北	4	4	5	7	9	11	12	11	10	8	7	5	8
	东北	4	6	9	11	13	13	13	12	10	9	7	5	9
	东	5	7	11	14	15	15	15	13	11	9	7	5	11
	东南	4	6	9	12	14	15	14	13	11	9	7	5	10

注: 1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时, 本表适用的城市及修正值如下:

城市名称	成都	郑州
修正值 ($^\circ\text{C}$)	-3	0

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时, 表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ 。

上海市墙体的负荷温差

续表

衰减系数 β	朝 向	下列作用时刻的逐时值 Δt_{r-t}												平均值 Δt_{Dj}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.15~0.30	零	3	3	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4
	南	5	5	6	7	8	8	8	8	8	7	7	6	7
	西南	7	7	7	8	9	10	11	11	10	10	9	8	9
	西	8	7	7	8	9	11	12	12	12	11	10	9	10
	西北	7	7	7	7	8	10	10	10	10	9	9	8	9
	北	5	5	6	6	7	7	8	8	7	7	6	6	7
	东北	7	8	9	9	10	10	10	9	9	8	7	7	9
	东	8	9	10	11	11	11	11	11	10	9	8	8	10
	东南	7	8	9	9	10	10	10	10	9	8	8	7	9
0.31~0.40	零	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	4	4	4
	南	5	5	5	6	8	8	9	9	8	7	6	6	7
	西南	7	6	6	7	9	11	12	12	11	10	9	8	9
	西	7	7	7	7	8	11	13	13	12	11	10	9	10
	西北	7	6	6	7	9	10	11	11	11	10	9	8	9
	北	5	5	5	6	7	8	8	8	8	7	6	5	7
	东北	6	7	9	9	10	10	10	10	9	8	7	6	9
	东	7	8	10	11	12	12	12	11	10	9	8	7	10
	东南	6	7	8	10	11	11	11	10	9	8	7	6	9
0.41~0.60	零	3	3	3	3	4	5	5	5	5	5	4	3	4
	南	4	4	5	6	8	10	10	9	8	7	6	5	7
	西南	5	5	5	6	9	12	14	13	12	10	8	6	9
	西	6	5	5	6	9	12	15	15	14	12	9	7	10
	西北	5	5	5	6	8	11	13	13	12	10	9	7	9
	北	4	4	5	6	7	8	9	9	8	7	6	5	7
	东北	5	7	9	10	11	11	11	10	9	8	6	5	9
	东	5	7	11	13	13	13	13	11	10	8	7	5	10
	东南	5	6	8	11	12	12	12	11	9	8	6	5	9
0.61~0.70	零	3	2	2	3	4	5	6	6	5	5	4	3	4
	南	3	3	4	7	9	10	14	10	8	7	6	4	7
	西南	4	4	5	6	9	13	15	14	12	10	8	6	9
	西	5	4	5	6	9	13	17	16	14	11	9	7	10
	西北	5	4	5	6	8	11	14	14	12	10	8	6	9

上海市墙体的负荷温差

续表

衰减系数 β	朝向	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 Δt_p
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.61~0.70	北	4	4	5	6	8	9	10	9	8	7	6	4	7
	东北	4	7	10	11	12	12	11	10	9	7	6	4	9
	东	4	7	11	14	14	14	13	11	9	8	6	5	10
	东南	4	6	9	12	13	13	12	11	9	7	6	5	9

注: 1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时, 本表适用的城市及修正值如下:

城市名称	拉萨	台北	福州	南京	合肥	武汉	杭州	重庆	南昌	长沙
修正值($^\circ\text{C}$)	-11	0	1	2						

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时, 表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ 。

广州市墙体的负荷温差

续表

衰减系数 β	朝向	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 Δt_p
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.15~0.30	零	3	3	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4
	南	5	5	5	6	7	7	7	7	7	6	6	5	6
	西南	7	6	7	7	8	9	10	10	9	9	8	7	8
	西	8	7	7	8	9	11	12	12	11	10	9	8	9
	西北	7	7	7	8	9	10	11	11	10	10	9	8	9
	北	6	6	6	7	7	8	8	8	8	7	7	6	7
	东北	7	8	9	10	10	10	10	10	9	8	8	7	9
	东	8	9	10	10	11	11	11	10	10	9	8	7	9
	东南	7	7	8	9	9	10	9	9	9	8	7	7	8
0.31~0.40	零	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	4	4	4
	南	5	4	5	6	7	7	8	8	7	7	6	5	6
	西南	6	6	6	7	8	10	10	11	10	9	8	7	8
	西	7	7	7	7	9	11	13	13	12	11	10	8	9
	西北	7	6	6	7	8	10	12	12	11	10	9	8	9
	北	5	5	6	7	7	8	9	9	8	7	7	6	7
	东北	6	7	9	10	10	11	11	10	9	8	7	6	9
	东	7	8	10	11	11	12	11	11	10	9	8	7	9
	东南	6	6	8	9	10	10	10	10	9	8	7	6	8
0.41~0.60	零	3	3	3	3	4	5	5	5	5	5	4	3	4
	南	4	4	4	6	7	8	9	8	8	7	5	4	6
	西南	5	4	5	6	8	11	12	12	11	9	8	6	8
	西	6	5	5	6	9	12	15	15	13	11	9	7	9
	西北	5	5	5	6	8	11	14	14	12	10	8	7	9

广州市墙体的负荷温差

续表

衰减系数 β	朝向	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 $\Delta t_{(p)}$
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.41~0.60	北	4	5	5	7	8	9	10	10	9	7	6	5	7
	东北	5	6	9	11	12	12	12	11	9	8	6	5	9
	东	5	7	10	12	13	13	12	11	10	8	7	5	9
	东南	4	5	8	10	11	11	11	10	9	7	6	5	8
0.61~0.70	零	3	2	2	3	4	5	5	6	5	5	4	3	4
	南	3	3	4	6	8	9	9	9	8	6	5	4	6
	西南	4	4	5	6	9	12	14	13	11	9	7	5	8
	西	5	4	5	6	9	13	16	16	13	11	8	6	9
	西北	5	4	5	6	9	12	15	14	12	10	8	6	9
	北	4	4	9	7	8	10	10	10	9	7	6	5	7
	东北	4	6	9	12	12	12	12	11	9	7	6	5	9
	东	4	7	11	13	14	14	13	11	9	8	6	5	9
	东南	4	5	8	10	14	12	11	10	9	7	6	5	8

注: 1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时, 本表适用的修正值如下:

城市名称	昆明	贵阳	桂林 南宁
修正值($^\circ\text{C}$)	-7	-4	0

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时, 表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ 。

屋面负荷温差

表 11.4-9

北京市屋面的负荷温差

吸收系数 ρ	衰减系数 β	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 $\Delta t_{(p)}$
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.90 (深色)	0.2	12	13	15	17	19	20	20	20	18	17	15	13	17
	0.3	10	11	13	17	20	22	22	21	19	17	14	11	
	0.4	8	9	13	18	22	25	25	22	19	16	12	9	
	0.5	6	6	10	16	23	27	27	24	20	16	12	9	
	0.6	5	4	8	16	24	29	30	26	21	16	11	8	
	0.7	3	3	8	16	25	31	32	27	21	15	10	6	
0.75 (中等)	0.2	10	11	12	14	16	17	17	17	15	14	12	11	14
	0.3	8	9	11	14	17	19	19	18	16	14	12	9	
	0.4	6	7	10	15	19	21	21	19	16	13	10	8	
	0.5	5	5	8	13	19	23	23	21	17	14	10	7	
	0.6	4	3	7	13	20	24	25	22	18	13	10	6	
	0.7	2	2	6	13	21	26	27	23	17	12	8	5	

北京市屋面的负荷温差

续表

吸收系数 ρ	衰减系数 β	下列作用时刻的逐时值 $t_{\tau-t}$												平均值 \bar{t}_{ρ}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.45 (浅色)	0.2	6	6	7	8	9	10	10	10	9	8	7	6	8
	0.3	5	5	6	8	10	11	12	11	10	9	7	5	
	0.4	3	4	6	8	11	13	13	12	10	8	6	4	
	0.5	3	2	4	8	11	14	14	13	11	9	6	4	
	0.6	2	1	3	7	12	15	16	14	11	9	6	4	
	0.7	1	0	3	7	13	16	17	15	11	8	5	3	

注: 1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时, 本表适用的城市及修正值如下:

城市名称		西宁	呼和浩特	哈尔滨 长春	银川	兰州	太原 沈阳	天津	石家庄	乌鲁木齐	济南
修正值 ($^\circ\text{C}$)	$\rho=0.90$	-7	-3	-4	-2	-3	-2	-1	0	1	3
	$\rho=0.75$	-7	-4	-4	-2	-3	-2	-1	0	1	3
	$\rho=0.45$	-7	-4	-4	-3	-3	-2	0	0	1	3

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时, 表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ 。

西安市屋面的负荷温差

续表

吸收系数 ρ	衰减系数 β	下列作用时刻的逐时值 $t_{\tau-t}$												平均值 \bar{t}_{ρ}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.90 (深色)	0.2	13	14	15	17	19	21	21	20	19	17	15	14	17
	0.3	11	12	14	17	21	22	23	22	20	17	15	12	
	0.4	9	10	13	18	23	25	25	23	20	16	13	10	
	0.5	8	7	11	17	23	27	27	24	21	17	13	10	
	0.6	6	5	9	16	24	29	30	26	21	17	12	9	
	0.7	5	4	8	17	26	31	32	27	21	16	11	7	
0.75 (中等)	0.2	11	11	13	15	16	18	18	17	16	15	13	12	15
	0.3	9	10	12	15	17	19	19	19	17	15	13	10	
	0.4	8	8	11	15	19	21	21	19	17	14	11	9	
	0.5	6	6	9	14	19	23	23	21	18	15	11	9	
	0.6	5	5	8	13	20	25	25	13	19	14	11	8	
	0.7	4	3	7	14	22	27	27	24	18	14	10	6	
0.45 (浅色)	0.2	7	7	8	9	11	11	12	11	11	10	9	8	10
	0.3	6	6	7	9	11	12	13	12	11	10	8	7	
	0.4	5	5	7	10	12	14	14	13	11	10	8	6	
	0.5	4	4	5	9	12	15	15	14	12	10	8	6	
	0.6	3	3	4	8	13	16	17	15	13	10	7	5	
	0.7	5	2	4	8	14	17	18	16	13	9	7	4	

注: 1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时, 本表适用的城市及修正值如下:

城市名称	成都	郑州
修正值 ($^\circ\text{C}$)	-3	0

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时, 表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ 。

上海市屋面的负荷温差

续表

吸收系数 ρ	衰减系数 β	下列作用时刻的逐时值 $\Delta t_{\tau-t}$												平均值 Δt_{p1}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.90 (深色)	0.2	12	13	15	17	19	20	20	19	18	16	14	13	16
	0.3	10	11	13	17	20	22	22	20	18	16	14	12	
	0.4	8	9	13	18	22	24	24	21	18	15	12	10	
	0.5	7	7	10	16	22	26	26	23	19	16	12	9	
	0.6	6	5	9	16	23	28	29	25	20	15	11	8	
	0.7	4	4	8	16	25	31	31	26	19	14	10	7	
0.75 (中等)	0.2	10	11	12	14	16	17	17	16	15	14	12	11	14
	0.3	9	9	11	14	17	18	18	17	16	14	12	10	
	0.4	7	8	11	15	18	20	20	18	16	13	11	8	
	0.5	6	6	9	14	19	22	22	20	16	13	10	8	
	0.6	5	4	7	13	19	24	24	21	17	13	10	7	
	0.7	4	3	7	14	21	26	26	22	17	12	9	6	
0.45 (浅色)	0.2	6	7	8	9	10	10	11	10	10	9	8	7	9
	0.3	5	6	7	9	10	11	12	11	10	9	7	6	
	0.4	4	5	6	9	11	13	13	12	10	8	7	5	
	0.5	4	3	5	8	12	14	14	13	11	9	7	5	
	0.6	3	2	4	8	12	15	15	14	11	9	6	4	
	0.7	2	2	4	8	13	16	17	14	11	8	6	4	

注: 1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时, 本表适用的城市及修正值如下:

城市名称		拉萨	台北	福州	杭州 长沙	南京	武汉 重庆	南昌	合肥
修正 值 ($^\circ\text{C}$)	$\rho = 0.90$	-7	0	1		2		3	3
	$\rho = 0.75$	-8	0	1		2		3	3
	$\rho = 0.45$	-9	0	1		2		2	3

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时, 表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ $^\circ\text{C}$ 。

广州市屋面的负荷温差

续表

吸收系数 ρ	衰减系数 β	下列作用时刻的逐时值 Δt_{r-t}												平均值 Δt_{p_i}
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0.90 (深色)	0.2	12	12	14	16	18	19	19	19	17	16	14	13	16
	0.3	10	11	13	16	19	21	21	20	18	16	13	11	
	0.4	8	9	12	17	21	23	23	21	18	15	12	9	
	0.5	7	6	10	16	22	26	25	22	19	15	12	9	
	0.6	5	5	8	15	23	28	28	24	19	15	11	8	
	0.7	4	3	8	16	24	30	30	25	19	14	10	7	
0.75 (中等)	0.2	10	10	12	14	15	16	16	16	15	13	12	11	13
	0.3	8	9	11	14	16	18	18	17	15	13	11	9	
	0.4	7	7	10	14	18	20	19	18	15	13	10	8	
	0.5	6	5	8	13	18	22	22	19	16	13	10	8	
	0.6	4	4	7	13	19	23	23	21	17	13	9	7	
	0.7	3	3	6	13	20	25	25	21	16	12	8	6	
0.45 (浅色)	0.2	6	6	7	8	10	10	10	10	9	8	8	7	8
	0.3	5	5	7	8	10	11	11	11	10	9	7	6	
	0.4	4	4	6	9	11	12	12	11	10	8	7	5	
	0.5	3	3	5	8	11	14	14	12	10	8	7	5	
	0.6	3	2	4	8	12	15	15	13	11	8	6	4	
	0.7	2	1	3	8	13	16	16	14	11	8	5	4	

注：1. 当 $t_n = 26^\circ\text{C}$ 时，本表适用的城市及修正值如下：

城市名称		昆明	贵阳	南宁	桂林
修正值 ($^\circ\text{C}$)	$\rho = 0.90$	-7	-3	0	1
	$\rho = 0.75$	-7	-3	0	1
	$\rho = 0.45$	-7	3	0	0

2. 当 $t_n \neq 26^\circ\text{C}$ 时，表中各值应加上一个差值 $26 - t_n$ $^\circ\text{C}$ 。

表 11.4-10

玻璃窗传热的负荷温差

代表城市	房间类型	下列计算时刻的逐时值 Δt_f												昼夜平均值	适用城市及修正值(°C)
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24				
		上海、广州 ($t_{wp}=30^{\circ}\text{C}$)	轻	1.2	2.3	4.2	5.8	6.9	7.1	6.4	5.0	3.6	2.6		
合肥、杭州 (32°C)	中、重	1.5	2.4	4.0	5.4	6.3	6.7	6.2	5.0	3.9	3.0	6	南京-1		
	轻	2.9	4.2	6.2	8.0	9.1	9.3	8.6	7.0	5.6	4.5				
武汉、南昌 (32°C)	中、重	3.3	4.3	6.0	7.5	8.5	8.9	8.3	7.1	5.4	4.9	6	天津-3 成都-4 贵阳-6 重庆+1		
	轻	2.7	4.1	6.2	8.1	9.3	9.6	8.7	7.1	5.6	4.4				
长沙 (32°C)	中、重	3.1	4.2	6.4	7.6	8.7	9.1	8.5	7.2	5.9	4.8	6	沈阳-3 济南+1		
	轻	2.5	4.0	6.2	8.2	9.5	9.8	8.9	7.2	5.6	4.3				
南宁、桂林、台北、福州 (30°C)	中、重	2.9	4.1	6.0	7.7	8.8	9.3	8.6	7.2	5.9	4.7	4	哈尔滨、长春-3		
	轻	0.3	1.9	4.3	6.4	7.7	8.0	7.1	5.2	3.5	2.2				
北京 (29°C)	中、重	0.7	2.0	3.9	5.8	7.0	7.4	6.8	5.3	3.9	2.7	3	石家庄-1		
	轻	-0.9	0.8	3.3	5.5	6.9	7.2	6.2	4.3	2.5	1.1				
郑州 (31°C)	中、重	-0.4	0.8	2.9	4.9	6.2	6.6	5.9	4.1	2.9	1.6	6	石家庄-1		
	轻	0.9	2.6	5.3	7.6	9.1	9.5	8.4	6.4	4.5	3.0				
西安 (31°C)	中、重	1.4	2.7	4.9	7.0	8.3	8.8	8.1	6.5	4.9	3.5	5			
	轻	0.7	2.5	5.3	7.8	9.3	9.7	8.6	6.4	4.5	2.9				
银川、太原 (26°C)	中、重	1.2	2.6	4.9	7.1	8.5	9.0	8.2	6.5	4.9	3.4	0			
	轻	-4.7	-2.7	0.3	3.0	4.7	5.1	3.9	1.6	-0.6	-2.3				
乌鲁木齐 (30°C)	中、重	-1.2	-2.6	0.1	2.3	3.8	4.4	3.6	1.7	-0.1	-1.7	4	拉萨-12		
	轻	-0.9	1.2	4.4	7.2	8.9	9.4	8.1	5.6	3.4	1.6				
呼和浩特 (25°C)	中、重	-0.4	1.3	3.9	6.1	8.0	8.6	7.7	5.7	3.9	2.2	1	兰州+1		
	轻	-6.1	-4.0	0.6	2.3	4.1	4.6	3.3	0.7	-1.6	-3.5				
西宁 (21°C)	中、重	5.5	3.8	1.1	1.5	3.2	3.8	2.9	0.8	1.1	-2.9	5			
	轻	10.3	8.1	4.6	1.6	0.3	0.8	0.6	3.2	5.7	7.6				
	中、重	9.7	7.9	5.1	2.4	0.7	0	1.0	3.1	5.2	6.9				

窗户的构造修正系数 X_1 表 11.4-11

窗玻璃层数及厚度		钢 框	木 框
单 层	3 mm 普通玻璃	1.00	0.76
	5 mm 普通玻璃	0.93	0.71
	6 mm 普通玻璃	0.90	0.68
	3 mm 吸热玻璃	0.96	0.74
	5 mm 吸热玻璃	0.88	0.68
	6 mm 吸热玻璃	0.83	0.63
双 层	3 mm 普通玻璃	0.76	0.55
	5 mm 普通玻璃	0.69	0.50
	6 mm 普通玻璃	0.66	0.48

内遮阳系数 X_2 表 11.4-12

内遮阳材料及颜色		X_2
涤棉平纹布	白 色	0.50
	浅 绿	0.55
	浅 兰	0.55
尼 龙 绸	白 色	0.55
	浅 绿	0.55
	浅 兰	0.60
密 织 布	深黄、深绿、紫红	0.65
活动铝百叶帘	灰白色	0.60

透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度 (W/m^2) 表 11.4-13
北京市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度 (W/m^2)

遮阳情况	房间类型	朝 向	下列计算时刻的逐时值 J_{nr}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施，沿窗面送风	轻	南	17	58	161	238	194	89	39	12	6
		西南	20	58	87	166	333	350	187	32	16
		西	21	58	87	100	297	448	335	45	21
		西北	19	57	87	100	125	297	287	32	15
		北	59	59	87	100	94	71	77	9	5
		东北	217	306	159	116	102	75	35	9	6
		东	237	434	354	145	114	81	38	12	7
		东南	115	312	355	218	117	82	38	12	7
	中	南	19	55	150	219	181	90	49	22	15
		西南	23	57	82	157	309	326	180	50	34
		西	26	58	84	95	278	414	312	63	42
		西北	22	56	82	94	119	277	266	44	30
		北	57	56	81	94	90	70	77	16	10
		东北	206	280	148	117	106	81	43	19	13
		东	227	397	326	146	124	93	51	24	17
		东南	111	288	326	206	124	93	51	24	17
	重	南	21	55	146	212	176	89	49	26	19
		西南	27	58	82	153	300	316	175	51	37
		西	29	60	84	94	271	403	303	64	46
		西北	26	57	81	93	117	270	258	45	32
		北	57	55	79	92	88	68	75	17	13
		东北	203	271	144	115	106	81	45	22	17
		东	223	386	316	143	124	95	56	30	22
		东南	110	280	316	200	122	94	55	29	22

北京市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度 (W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{ext}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施、非沿窗面送风	轻	南	16	52	146	225	196	101	49	17	9
		西南	19	53	84	152	310	342	203	49	24
		西	19	55	84	97	269	425	345	67	32
		西北	17	53	82	97	119	275	287	50	26
		北	50	57	82	96	94	73	75	15	8
		东北	180	289	171	122	106	80	42	14	8
		东	197	403	355	165	123	88	46	17	10
		东南	95	284	342	230	129	89	46	17	10
	中	南	17	49	130	197	176	102	61	34	23
		西南	24	52	75	138	274	305	195	74	50
		西	27	55	78	89	242	374	311	94	63
		西北	23	51	75	88	110	246	255	67	45
		北	48	50	74	87	89	72	75	23	16
		东北	166	248	153	124	111	88	53	28	20
		东	182	348	312	166	138	106	66	37	26
		东南	90	248	299	212	138	106	65	36	26
	重	南	20	48	124	188	168	100	63	37	28
		西南	29	53	75	133	261	174	188	77	57
		西	32	57	78	88	255	356	297	95	70
		西北	27	52	74	86	107	234	242	67	49
		北	46	49	71	84	85	70	74	27	20
		东北	159	237	146	121	110	89	58	34	26
		东	176	331	297	161	138	109	72	45	34
		东南	89	237	284	203	136	108	71	44	32
无内遮阳设施	轻	南	14	45	124	201	189	111	64	29	17
		西南	21	51	79	135	274	317	212	67	39
		西	24	53	81	97	233	379	334	86	49
		西北	19	49	78	95	114	244	271	63	35
		北	37	48	73	90	93	79	79	22	12
		东北	132	251	167	123	113	92	59	28	17
		东	146	343	328	174	135	106	68	36	24
		东南	73	238	306	229	138	106	67	34	23

北京市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{w1}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
无内遮阳设施	中	南	17	37	92	155	167	123	84	52	37
		西南	29	46	67	106	147	264	220	117	77
		西	34	50	71	85	172	293	305	150	96
		西北	28	41	60	77	82	75	74	39	27
		北	24	35	52	66	71	65	64	34	23
		东北	82	190	166	131	118	100	74	48	35
		东	97	252	289	202	158	126	93	61	45
		东南	52	172	248	224	160	126	92	60	13
	重	南	20	36	81	136	150	119	90	63	48
		西南	36	48	64	96	180	232	204	129	96
		西	43	53	67	79	153	254	270	157	118
		西北	31	44	61	74	89	162	203	110	84
		北	28	38	56	71	78	73	73	43	31
		东北	75	161	148	131	123	108	82	57	43
		东	85	212	252	196	169	143	109	78	58
		东南	50	116	215	205	164	138	107	74	56

注: 本表适用的城市及修正系数如下:

城市名称		哈尔滨	长春	乌鲁木齐	沈阳	呼和浩特	天津	银川	石家庄	太原	济南	西宁	兰州
修正系数 X_c	南	1.22	1.14	1.18	1.01	1.07	0.89	0.94	0.86	0.87	0.83	0.85	0.79
	东南、西南	1.04	1.02	1.10	0.91	1.05	0.93	1.02	0.92	0.96	0.93	1.01	0.93
	东、西	0.95	0.97	1.07	0.91	1.04	0.99	1.06	0.96	1.01	0.99	1.10	1.00
	东北、西北	0.92	0.96	1.07	0.90	1.04	1.01	1.08	0.97	1.03	1.01	1.16	1.02
	北	0.93	0.94	0.84	0.92	1.01	0.79	0.93	0.90	0.90	0.94	0.92	0.91

西安市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{n1}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施、沿窗面送风	轻	南	14	56	119	173	142	79	31	9	5
		西南	15	57	89	136	273	285	143	27	13
		西	15	57	89	103	274	392	262	38	19
		西北	15	57	89	103	145	281	230	30	14
		北	19	60	89	103	97	72	67	9	5
		东北	166	281	176	119	106	75	31	9	6
		东	179	374	320	112	111	80	34	10	6
		东南	84	254	290	174	114	79	32	10	6

西安市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{nr}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施，沿窗面送风	中	南	15	52	111	159	133	79	37	17	12
		西南	19	56	84	128	251	255	139	41	27
		西	21	57	84	97	258	363	246	53	36
		西北	19	56	84	97	138	266	215	41	28
		北	48	57	84	96	93	71	67	16	10
		东北	159	259	162	119	108	81	39	19	13
		东	172	342	295	140	121	89	45	23	16
		东南	82	231	267	165	117	86	43	21	15
	重	南	16	52	109	154	129	78	38	20	14
		西南	21	56	82	125	247	259	136	42	31
		西	24	58	85	96	251	353	239	55	41
		西北	21	56	82	95	135	259	208	42	30
		北	48	56	81	94	90	70	67	17	13
		东北	155	252	158	117	107	81	42	22	16
		东	169	333	285	137	121	81	49	28	21
		东南	81	229	259	160	115	87	46	26	19
有内遮阳设施，非沿窗面送风	轻	南	12	50	110	164	143	85	39	14	7
		西南	14	52	85	126	254	280	159	39	20
		西	15	53	85	100	249	374	275	57	27
		西北	14	52	84	101	136	266	234	44	21
		北	42	57	85	100	97	75	70	15	8
		东北	138	266	183	124	108	80	38	14	8
		东	148	346	319	158	122	87	42	16	10
		东南	70	232	280	183	121	86	41	15	9
	中	南	14	45	97	144	130	85	48	26	17
		西南	20	50	77	115	226	249	153	60	41
		西	22	52	78	92	225	329	251	81	55
		西北	20	50	77	90	125	238	211	61	42
		北	39	51	75	90	90	73	70	24	16
		东北	128	229	164	124	113	88	50	28	20
		东	138	298	280	157	132	101	59	35	24
		东南	67	202	245	169	125	96	56	31	22

西安市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{ST}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施, 非沿窗面送风	重	南	15	45	93	137	124	82	49	29	22
		西南	23	51	75	111	216	238	148	64	46
		西	28	55	78	89	215	314	240	82	60
		西北	23	51	74	88	121	227	202	63	45
		北	39	50	73	87	87	72	68	27	20
		东北	123	218	155	121	111	89	55	34	24
		东	135	284	266	151	131	104	65	42	31
		东南	66	193	233	162	123	97	60	38	28
无内遮阳设施	轻	南	10	42	94	147	139	93	52	23	13
		西南	16	46	78	115	225	261	171	55	31
		西	20	50	80	99	218	336	273	74	42
		西北	16	46	78	97	126	238	229	57	31
		北	31	49	75	94	96	80	74	22	12
		东北	101	227	176	124	114	92	56	27	17
		东	110	292	293	165	131	103	64	32	22
		东南	53	194	251	183	128	99	59	29	19
	中	南	13	34	71	115	123	96	66	42	29
		西南	23	42	65	93	171	218	179	96	63
		西	29	46	68	84	161	263	256	129	84
		西北	22	42	64	81	103	183	203	100	64
		北	24	42	61	78	85	78	73	39	27
		东北	65	171	166	130	118	100	72	46	34
		东	72	213	254	183	148	119	86	57	42
		东南	39	139	203	180	139	113	80	52	37
	重	南	15	31	64	102	111	93	70	49	36
		西南	29	42	60	85	151	191	166	106	79
		西	37	49	65	78	144	229	230	137	103
		西北	29	42	60	75	95	162	180	103	78
		北	24	38	57	72	79	74	71	43	31
		东北	59	144	147	129	122	107	80	56	42
		东	66	180	220	176	157	132	100	71	53
		东南	38	119	176	166	142	121	92	64	48

注: 本表适用的城市及修正系数如下:

城市名称		郑 州	成 都
修正系数 X_c	南	0.98	0.83
	东南, 西南	1.00	0.94
	东, 西	1.00	0.99
	东北, 西北	0.99	1.03
	北	0.91	1.06

上海市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{nt}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施，沿窗面送风	轻	南	10	46	93	136	110	64	24	7	3
		西南	12	48	75	109	251	281	142	26	13
		西	13	48	77	88	274	411	278	39	19
		西北	12	48	75	88	150	305	246	31	15
		北	51	56	77	88	84	64	68	9	5
		东北	177	307	189	108	92	65	26	8	5
		东	190	394	327	130	101	70	28	9	6
		东南	85	252	273	146	97	67	27	9	5
	中	南	12	44	86	119	102	64	29	14	9
		西南	15	46	71	103	233	260	136	38	26
		西	17	49	73	84	258	379	259	56	37
		西北	16	48	72	84	143	284	229	43	29
		北	50	51	72	84	79	63	67	15	10
		东北	169	281	175	110	97	72	35	17	13
		东	182	362	300	131	110	80	41	22	15
		东南	82	232	251	139	102	74	37	19	13
	重	南	13	43	84	122	100	63	30	15	12
		西南	17	48	71	101	227	253	133	39	29
		西	22	50	73	84	251	369	252	57	41
		西北	19	48	71	82	139	276	222	44	31
		北	50	51	70	81	78	61	67	16	12
		东北	166	273	169	108	96	73	37	21	16
		东	179	351	290	128	110	82	44	27	20
		东南	81	226	242	135	101	75	39	22	16
有内遮阳设施，非沿窗面送风	轻	南	9	42	85	129	110	68	30	10	6
		西南	12	44	71	102	232	273	155	38	19
		西	13	45	72	86	248	390	290	59	28
		西北	12	44	72	86	139	285	251	18	22
		北	43	53	73	86	82	65	68	14	7
		东北	147	288	197	115	96	70	32	13	8
		东	158	365	327	148	109	77	36	15	9
		东南	71	230	264	157	104	73	34	13	8

上海市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{nt}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施，非沿窗面送风	中	南	10	38	75	114	100	68	37	21	14
		西南	16	42	65	94	206	242	148	57	38
		西	21	45	67	79	223	343	262	84	56
		西北	17	43	65	79	128	253	224	64	43
		北	42	48	66	78	77	64	68	22	15
		东北	136	247	175	118	103	80	45	27	19
		东	146	316	287	150	123	93	55	32	23
		东南	67	200	231	147	111	85	49	28	20
	重	南	12	37	72	108	96	66	38	23	17
		西南	21	44	64	90	196	231	143	59	44
		西	26	48	67	78	213	326	251	85	61
		西北	22	44	65	77	123	241	213	65	48
		北	41	46	63	75	74	63	67	24	17
		东北	131	234	167	115	103	81	50	31	23
东		142	299	273	145	123	96	60	39	30	
东南		66	190	219	142	109	86	52	34	26	
无内遮阳设施	轻	南	8	34	72	116	109	74	42	17	10
		西南	15	39	67	95	204	252	165	51	30
		西	20	44	70	86	213	347	285	77	43
		西北	15	41	67	85	125	252	242	60	34
		北	32	46	65	81	82	70	72	20	12
		东北	108	246	189	117	103	82	50	24	16
		东	117	310	302	158	121	93	57	31	21
		东南	53	191	237	159	111	86	51	26	17
	中	南	9	28	55	90	96	77	52	32	22
		西南	21	36	56	78	152	206	171	90	59
		西	28	43	60	74	155	268	267	132	86
		西北	22	37	57	72	100	190	215	103	66
		北	24	39	55	68	73	67	68	36	24
		东北	68	183	179	130	113	93	66	44	31
东		75	225	263	182	143	113	80	55	39	
东南		38	137	194	162	124	100	70	46	34	

上海市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝 向	下列计算时刻的逐时值 J_{wr}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
无内遮阳设施	重	南	12	26	50	80	87	74	55	38	28
		西南	27	37	52	71	135	181	157	99	74
		西	37	45	58	68	138	231	237	140	106
		西北	29	39	55	66	90	167	189	107	81
		北	24	36	50	64	68	65	66	38	29
		东北	63	154	158	129	118	101	75	53	39
		东	70	189	229	176	153	126	95	68	51
		东南	37	117	167	150	128	108	81	57	45

注: 本表适用的城市及修正系数如下:

城市名称		南京	合肥	武汉	杭州	拉萨	重庆	南昌	长沙	福州	台北
修正系数 X_d	南	1.10	1.11	0.95	0.97	0.99	0.91	0.87	0.87	0.80	0.88
	东南, 西南	1.04	1.09	0.98	0.95	1.23	0.98	1.00	0.97	0.91	0.88
	东, 西	1.02	1.07	0.99	0.95	1.36	1.00	1.06	1.02	0.98	0.91
	东北, 西北	1.01	1.06	0.99	0.96	1.45	1.02	1.09	1.05	1.04	0.99
	北	1.06	1.05	0.98	1.06	1.20	1.03	1.00	1.03	1.09	1.31

广州市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝 向	下列计算时刻的逐时值 J_{nr}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施, 沿窗面送风	轻	南	9	52	86	103	95	68	23	7	3
		西南	10	53	86	102	201	234	109	21	10
		西	12	55	87	102	271	384	223	35	17
		西北	10	53	87	102	202	318	204	30	15
		北	43	78	89	103	96	87	64	10	6
		东北	136	306	237	126	107	74	27	9	6
		东	143	361	317	139	111	77	28	10	6
		东南	61	210	218	124	104	73	26	8	5
	中	南	9	49	79	96	90	67	27	13	8
		西南	13	51	81	95	188	218	106	31	21
		西	16	53	82	96	255	355	209	51	34
		西北	15	52	82	96	190	296	191	43	29
		北	43	72	84	96	92	86	64	17	12
		东北	131	281	218	125	110	81	36	20	14
		东	137	332	290	138	118	86	39	22	15
		东南	60	194	200	118	106	78	34	17	12

广州市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J _{nt}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
有内遮阳设施、沿窗面送风	重	南	10	49	78	93	88	66	27	14	10
		西南	15	52	80	94	182	212	103	34	24
		西	20	55	82	95	248	345	203	52	38
		西北	17	53	81	94	186	287	186	44	32
		北	43	71	81	94	89	84	64	19	14
		东北	129	273	211	123	109	82	39	23	17
		东	136	322	281	135	117	88	43	27	20
		东南	60	189	194	116	103	78	36	21	15
有内遮阳设施、非沿窗面送风	轻	南	8	48	80	100	95	72	29	10	6
		西南	9	49	81	99	186	227	122	31	15
		西	12	50	82	99	247	365	238	53	26
		西北	10	49	82	99	186	300	216	45	22
		北	36	72	86	100	95	87	68	16	8
		东北	113	283	239	136	111	80	35	14	8
		东	118	332	314	155	118	84	36	15	9
		东南	51	190	212	131	108	78	34	13	7
	中	南	9	42	71	88	87	70	35	19	13
		西南	14	45	73	88	167	204	117	48	32
		西	19	49	75	90	223	322	219	77	51
		西北	16	48	74	89	168	267	196	65	44
		北	35	64	77	90	89	85	68	26	17
		东北	106	245	210	135	117	90	49	29	20
		东	111	288	275	153	129	97	55	32	23
		东南	50	166	186	123	109	85	45	27	19
	重	南	10	42	67	85	84	67	35	21	15
		西南	17	46	71	86	160	195	114	50	37
		西	23	51	74	88	212	307	210	78	57
		西北	21	49	73	87	161	254	188	66	49
		北	36	61	74	87	86	82	67	28	21
		东北	102	232	200	130	116	92	53	35	26
		东	108	274	261	147	128	100	60	39	29
		东南	50	159	176	118	107	85	49	31	23

广州市透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度(W/m²)

续表

遮阳情况	房间类型	朝向	下列计算时刻的逐时值 J_{wt}								
			6	8	10	12	14	16	18	20	22
无 内 遮 阳 设 施	轻	南	6	37	70	92	93	77	41	16	9
		西南	12	42	73	93	167	212	132	43	24
		西	17	46	78	96	216	329	242	70	39
		西北	15	44	77	96	165	270	217	59	34
		北	28	61	77	94	95	90	75	23	13
		东北	84	239	223	138	118	94	53	27	17
		东	88	278	289	161	129	100	58	30	21
		东南	39	158	191	131	113	89	50	24	15
	中	南	8	29	53	74	81	73	50	31	21
		西南	17	36	59	77	129	174	140	75	50
		西	26	43	65	82	159	258	237	121	79
		西北	22	41	63	80	128	210	205	103	67
		北	22	50	65	80	85	84	75	42	28
		东北	56	174	197	148	126	104	73	49	35
		东	59	201	247	180	145	116	81	55	39
		东南	29	114	159	131	115	96	66	43	31
	重	南	10	28	49	67	74	70	51	35	26
		西南	22	36	56	71	116	154	130	82	61
		西	34	45	61	75	142	224	212	130	97
		西北	29	42	59	74	115	184	183	109	82
		北	23	45	59	74	80	80	73	45	34
		东北	52	147	172	144	132	114	84	59	44
		东	56	169	213	172	152	129	95	67	51
		东南	29	97	138	123	116	101	74	52	38

注：本表适用的城市及修正值如下：

城市名称		贵阳	桂林	昆明	南宁
修正系数 X_d	南	1.35	1.08	1.07	1.07
	东南, 西南	1.14	1.09	1.06	1.01
	东, 西	1.02	1.05	1.03	1.00
	东北, 西北	0.99	1.03	1.01	1.01
	北	1.22	1.00	1.01	1.07

2. 当外窗只有内遮阳设施时

$$Q_{\tau} = F X_g X_d X_z J_{nt} \quad (11.4-10)$$

式中 J_{nt} ——计算时刻下, 透过有内遮阳设施外窗的太阳总辐射负荷强度, 见表11.4-13, W/m^2 ;

X_z ——内遮阳系数, 见表11.4-12。

3. 当外窗只有外遮阳板时

$$Q_{\tau} = [F_1 J_{w\tau} + (F - F_1) J_{w\tau}^n] X_g X_d \quad (11.4-11)$$

式中 F_1 ——窗口太阳直射的面积, 算法见第11.4.2节, W/m^2 ;

$J_{w\tau}^n$ ——计算时刻下, 无内遮阳北向外窗的太阳总辐射负荷强度, 见表11.4-13, W/m^2 。

注: 对于北纬27度以南地区的南窗, 可不考虑外遮阳板的作用, 直接按式(11.4-9)计算。

4. 当窗口既有内遮阳设施, 又有外遮阳板时

$$Q_{\tau} = [F_1 J_{nt} + (F - F_1) J_{nt}^n] X_g X_d X_z \quad (11.4-12)$$

式中 J_{nt}^n ——计算时刻下, 有内遮阳北向外窗的太阳总辐射负荷强度, 见表11.4-13, W/m^2 。

注: 对于北纬27度以南地区的南窗, 可不考虑外遮阳板的作用, 直接按式(11.4-10)计算。

11.4.6 内围护结构的传热冷负荷

1. 当邻室为通风良好的非空调房间时, 通过内窗的温差传热负荷, 可按式(11.4-8)计算。

2. 当邻室为通风良好的非空调房间时, 通过内墙和楼板的温差传热负荷, 可按式(11.4-6)计算, 或按式(11.4-7)估算。此时负荷温差 $\Delta t_{\tau-\xi}$ 及其平均值 Δt_{pj} , 应按表(11.4-8)中“零”朝向的数据采用。

3. 当邻室有一定发热量时, 通过空调房间内窗、隔墙、楼板或内门等内围护结构的温差传热负荷, 可按下式计算:

$$Q = KF(t_{wp} + \Delta t_{is} - t_n) \quad (11.4-13)$$

式中 Q ——稳态冷负荷, 下同, W ;

t_{wp} ——夏季空气调节室外计算日平均温度, $^{\circ}C$;

t_n ——夏季空气调节室内计算温度, $^{\circ}C$;

Δt_{is} ——邻室温升, 可根据邻室散热强度, 按表11.4-14采用, $^{\circ}C$ 。

温差 Δt_{is} 值 表 11.4-14

邻室散热量	$\Delta t_{is} (^{\circ}C)$
很少 (如办公室和走廊等) < 23 W/m ³	0 ~ 2
23 ~ 116 W/m ³	3
	5

11.4.7 人体冷负荷

人体显热散热形成的计算时刻冷负荷 Q_{τ} , 可按下式计算:

$$Q_{\tau} = \varphi n q_1 X_{\tau-\tau} \quad (11.4-14)$$

式中 φ ——群体系数, 见表11.4-15;

n ——计算时刻空调房间内的总人数;

q_1 ——一名成年男子小时显热散热量, 见表11.4-16, W;

T ——人员进入空调房间的时刻, 点钟;

$\tau - T$ ——从人员进入房间时算起到计算时刻的时间, h;

$X_{\tau-T}$ —— $\tau - T$ 时间人体显热散热量的冷负荷系数, 见表11.4-17。

某些工作场所的群体系数

表 11.4-15

工作场所	群体系数	工作场所	群体系数
影剧院	0.89	体育馆	0.92
图书馆阅览室	0.96	百货大楼	0.89
旅馆、餐馆	0.93	纺织厂	0.90

注: 成年女子的散热、散湿量为成年男子的0.85; 儿童散热、散湿量为成年男子的0.75。

一名成年男子的散热量 (W) 和散湿量 (g/h)

表 11.4-16

名称	室 温 (°C)								
	20	21	22	23	24	25	26	27	28
静坐: 影剧院, 会堂, 阅览室									
显热 q_1	79	76	72	69	64	60	57	52	48
潜热 q_2	30	33	36	39	44	48	51	56	60
散湿 g	38	41	45	50	56	61	68	75	82
极轻劳动: 办公室, 旅馆, 体育馆, 手表装配, 电子元件制造									
显热 q_1	90	85	79	74	70	65	61	57	51
潜热 q_2	47	51	56	60	64	69	73	77	83
散湿 g	69	76	83	89	96	102	109	115	123
轻劳动: 商店, 化学实验室, 电子计算机房, 工厂轻台面工作									
显热 q_1	104	97	88	83	77	72	66	61	56
潜热 q_2	69	74	83	88	94	99	105	110	115
散湿 g	134	140	150	158	167	175	184	193	203
中等劳动: 纺织车间, 印刷车间, 机加工车间									
显热 q_1	118	112	104	97	88	83	74	67	60
潜热 q_2	118	123	131	138	147	152	161	168	175
散湿 g	175	184	196	207	219	227	240	250	260
重劳动: 炼钢, 铸造车间, 排练厅, 室内运动场									
显热 q_1	169	163	157	151	145	140	134	128	122
潜热 q_2	238	244	250	256	262	267	273	279	285
散湿 g	356	365	373	382	391	400	408	417	425

人体散热的冷负荷系数

表 11.4-17

房间类型	连续工作 总时数	工作开始后的小时数 $\tau-T$							
		2	4	6	8	10	12	14	16
轻	2	0.78	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	4	0.78	0.89	0.15	0.07	0.04	0.04	0.03	0.02
	6	0.79	0.89	0.93	0.17	0.08	0.04	0.03	0.02
	8	0.79	0.89	0.93	0.95	0.19	0.09	0.05	0.03
	12	0.80	0.90	0.94	0.96	0.97	0.98	0.20	0.10
	16	0.81	0.91	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99
中	2	0.70	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
	4	0.70	0.80	0.16	0.10	0.07	0.05	0.03	0.03
	6	0.71	0.80	0.86	0.21	0.13	0.09	0.06	0.05
	8	0.71	0.81	0.86	0.90	0.23	0.15	0.11	0.07
	12	0.73	0.82	0.88	0.91	0.94	0.95	0.27	0.18
	16	0.77	0.85	0.89	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98
重	2	0.67	0.09	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01
	4	0.68	0.76	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.03
	6	0.68	0.77	0.83	0.20	0.14	0.11	0.08	0.06
	8	0.69	0.78	0.83	0.87	0.23	0.17	0.13	0.10
	12	0.72	0.80	0.85	0.88	0.91	0.93	0.28	0.20
	16	0.73	0.83	0.87	0.90	0.93	0.95	0.96	0.97

11.4.8 灯光冷负荷

照明设备散热形成的计算时刻冷负荷 Q_T ，应根据灯具的种类和安装情况分别按下列各式计算：

1. 白炽灯和镇流器在空调房间外的荧光灯

$$Q_T = 1000n_i N X_{\tau-T} \tag{11.4-15}$$

2. 镇流器装在空调房间内的荧光灯

$$Q_T = 1200n_i N X_{\tau-T} \tag{11.4-16}$$

3. 暗装在吊顶玻璃罩内的荧光灯

$$Q_T = 1000n_0 N X_{\tau-T} \tag{11.4-17}$$

- 式中
- N ——照明设备的安装功率，kW；
 - n_0 ——考虑玻璃反射，顶棚内通风情况的系数，当荧光灯罩有小孔，利用自然通风散热于顶棚内时，取为0.5~0.6，荧光灯罩无通风孔时，视顶棚内通风情况取为0.6~0.8；
 - n_i ——同时使用系数，一般为0.5~0.8；
 - T ——开灯时刻，点钟；
 - $\tau-T$ ——从开灯时刻算起到计算时刻的时间，h；

$X_{\tau-T}$ —— $\tau-T$ 时间照明散热的冷负荷系数，见表11.4-18。

照明散热的冷负荷系数

表 11.4-18

房间类型	连续工作 总时数	开灯后的小时数 $\tau-T$							
		2	4	6	8	10	12	14	16
轻	2	0.73	0.13	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
	4	0.73	0.85	0.18	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02
	6	0.73	0.86	0.91	0.21	0.10	0.06	0.04	0.03
	8	0.74	0.86	0.91	0.94	0.23	0.11	0.07	0.04
	12	0.75	0.87	0.92	0.95	0.96	0.97	0.25	0.13
	16	0.77	0.89	0.93	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
中	2	0.61	0.13	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
	4	0.62	0.74	0.21	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03
	6	0.62	0.75	0.82	0.26	0.17	0.12	0.08	0.06
	8	0.63	0.75	0.83	0.88	0.30	0.20	0.13	0.09
	12	0.66	0.77	0.84	0.89	0.92	0.94	0.34	0.23
	16	0.70	0.80	0.87	0.91	0.93	0.95	0.96	0.97
重	2	0.60	0.10	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02
	4	0.61	0.70	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
	6	0.61	0.71	0.78	0.24	0.18	0.14	0.10	0.08
	8	0.63	0.72	0.78	0.83	0.28	0.21	0.16	0.12
	12	0.66	0.74	0.80	0.85	0.89	0.91	0.34	0.26
	16	0.72	0.79	0.84	0.88	0.91	0.93	0.95	0.96

11.4.9 设备冷负荷

热设备及热表面散热形成的计算时刻冷负荷 Q_{τ} ，可按下列式计算：

$$Q_{\tau} = q_s X_{\tau-T} \quad (11.4-18)$$

式中 T ——热源投入使用的时刻，点钟；

$\tau-T$ ——从热源投入使用的时刻算起到计算时刻的时间，h；

$X_{\tau-T}$ —— $\tau-T$ 时间设备、器具散热的冷负荷系数，见表11.4-19；

q_s ——热源的实际散热量，W。

设备、器具散热的冷负荷系数

表 11.4-19

房间类型	连续工作 总时数	投入使用后的小时数 $\tau-T$							
		2	4	6	8	10	12	14	16
轻	2	0.81	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	4	0.81	0.90	0.13	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01
	6	0.81	0.90	0.93	0.15	0.07	0.04	0.03	0.02
	8	0.82	0.90	0.94	0.95	0.16	0.08	0.05	0.03
	12	0.83	0.91	0.94	0.96	0.97	0.97	0.17	0.09
	16	0.84	0.92	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99

续表

房间类型	连续工作 总时数	投入使用后的小时数 $t-T$							
		2	4	6	8	10	12	14	16
中	2	0.75	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
	4	0.76	0.83	0.13	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02
	6	0.76	0.84	0.88	0.16	0.11	0.08	0.05	0.04
	8	0.77	0.84	0.89	0.92	0.19	0.12	0.09	0.06
	12	0.78	0.85	0.90	0.92	0.94	0.96	0.22	0.15
	16	0.81	0.88	0.91	0.94	0.95	0.97	0.97	0.98
重	2	0.72	0.09	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
	4	0.72	0.81	0.15	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03
	6	0.72	0.81	0.86	0.18	0.12	0.09	0.06	0.05
	8	0.73	0.81	0.86	0.90	0.21	0.14	0.10	0.08
	12	0.75	0.83	0.88	0.91	0.93	0.95	0.25	0.17
	16	0.79	0.86	0.90	0.92	0.94	0.96	0.97	0.98

电热、电动设备散热量的计算方法如下:

1. 电热设备散热量

$$q_s = 1000 n_1 n_2 n_3 n_4 N \quad (11.4-19)$$

2. 电动机和工艺设备均在空调房间内的散热量

$$q_s = 1000 n_1 a N \quad (11.4-20)$$

3. 只有电动机在空调房间内的散热量

$$q_s = 1000 n_1 a (1 - \eta) N \quad (11.4-21)$$

4. 只有工艺设备在空调房间内的散热量

$$q_s = 1000 n_1 a \eta N \quad (11.4-22)$$

式中 N ——设备的总安装功率, kW;

η ——电动机的效率, 对于Y系列电动机, 见表11.4-20;

n_1 ——同时使用系数, 一般可取0.5~1.0;

n_2 ——利用系数, 一般可取0.7~0.9;

n_3 ——小时平均实耗功率与设计最大功率之比, 一般可取0.5左右;

n_4 ——通风保温系数, 见表11.4-21;

a ——输入功率系数, 对于精密机床, 可查表11.4-22。

Y系列三相异步电动机的效率

表 11.4-20

功率 N (kW)	0.75	1.1~1.5	2.2~3.0	4.0~5.5	7.5~15	18.5~22
效率 η (%)	0.75	0.77	0.82	0.85	0.87	0.89

通风保温系数

表 11.4-21

保温情况	有局部排风时	无局部排风时
设备无保温	0.4~0.6	0.8~1.0
设备有保温	0.3~0.4	0.6~0.7

精密机床安装功率及输入功率系数

表 11.4-22

序号	机床名称	制造厂	安装功率 N (kW)	输入功率系数 a
1	T4240坐标镗床400×560	北京机床所	1.60	0.43
2	T4163坐标镗床630×1100	昆明机床厂	2.52	0.17
3	Y38A滚齿机 $\phi 800 \times 8$	天津第一机床厂	3.80	0.25
4	Y7520K丝杠磨床 $\phi 105 \times 1500$	上海机床厂	10.31	0.14
5	NRK螺纹磨床 $\phi 200 \times 700$	瑞士	5.08	0.35
6	US螺纹磨床 $\phi 250 \times 870$	瑞士	8.20	0.36
7	S114丝杠车床 $\phi 125 \times 1500$	沈阳第一机床厂	3.00	0.21
8	Y7520K丝杠磨床	上海机床厂	9.22	0.28
9	NRK螺纹磨床 $l - 450$	瑞士	5.07	0.40
10	F0-6滚齿机	捷克	3.73	0.40
11	精密丝杠车床 $\phi 100 \times 1500$	沈阳第一机床厂	3.13	0.19
12	T4240坐标镗床	自制	1.60	0.30
13	T4163单柱坐标镗床	昆明机床厂	7.05	0.22
14	BK-5外圆磨床	捷克	7.61	0.38
15	HSS30X齿轮磨	瑞士	4.73	0.56
16	Y7520螺纹磨床	上海机床厂	9.50	0.17
17	BL5坐标镗床	德国	5.33	0.12
18	No47蜗杆磨床	英国	4.52	0.10
19	MM582螺纹磨床	苏联	12.80	0.14
20	Y7131磨齿机	德国	4.57	0.20
21	C8955铲床	中国	3.60	0.38
22	Y7520螺纹磨床	上海机床厂	9.82	0.18
23	BuA 31万能磨床	捷克	8.90	0.18
24	J ₁ -014丝杠车床	济南第一机床厂	2.13	0.19
25	C618精加工车床	中国	3.50	0.29
26	滚柱研磨机	自制	1.12	0.31
27	Y7520螺纹磨床 $\phi 200 \text{ mm}$	上海机床厂	9.82	0.25
28	ZWF15滚齿机	德国	11.50	0.14
29	ZWF10滚齿机	德国	7.00	0.15
30	NRK蜗杆磨床	瑞士	5.08	0.19

续表

序号	机 床 名 称	制 造 厂	安 装 功 率 N (kW)	输 入 功 率 系 数 a
31	K96铲床	苏 联	3.00	0.21
32	Di xi 60坐标镗床	瑞 士	6.72	0.37
33	BL2坐标镗床	德 国	3.50	0.27
34	MM582螺纹磨床	苏 联	12.80	0.24
35	Y7520丝杠磨床 $\phi 200 \times 1500$	上海机床厂	7.08	0.15
36	Y7430高精度丝杠磨床 $\phi 300 \times 1000$	上海机床厂	6.75	0.10

11.4.10 渗透空气显热冷负荷

一般不考虑空气渗透冷负荷，只有在室内确实维持不了足够正压的情况下，才可参考本节介绍的方法进行估算。

1. 渗入空气量的计算

(1) 通过外门开启渗入室内空气量 G_1 (kg/h)，可按下式估算：

$$G_1 = n_1 V_1 \rho_w \quad (11.4-23)$$

式中 n_1 ——小时人流量；

V_1 ——外门开启一次的渗入空气量，见表11.4-23， m^3/h ；

ρ_w ——夏季空调室外干球温度下的空气密度， kg/m^3 。

外门开启一次的空气渗透量

表 11.4-23

每小时通过的人数	普通门		带门斗的门		转 门	
	单 扇	一扇以上	单 扇	一扇以上	单 扇	一扇以上
100	3.0	4.75	2.50	3.50	0.80	1.00
100~700	3.0	4.75	2.50	3.50	0.70	0.90
700~1400	3.0	4.75	2.25	3.50	0.50	0.60
1400~2100	2.75	4.0	2.25	3.25	0.30	0.30

(2) 通过房间门、窗渗入空气量 G_2 (kg/h)，可按下式估算：

$$G_2 = n_2 V_2 \rho_w \quad (11.4-24)$$

式中 n_2 ——每小时换气次数，见表11.4-24；

V_2 ——房间容积， m^3 。

2. 渗透空气的显冷负荷 Q (W)，可按下式计算：

$$Q = 0.28G(t_w - t_n) \quad (11.4-25)$$

式中 G ——单位时间渗入室内的总空气量， kg/h ；

t_w ——夏季空调室外干球温度， $^{\circ}C$ ；

t_n ——室内计算温度， $^{\circ}C$ 。

换 气 次 数 表 11.4-24

容积(m^3)	换气次数	注
500以下	0.7	本表适用于一面或二面有门、窗暴露面的房间。当房间有三面或四面门、窗暴露面时，表中数值应乘以系数1.15
500~1000	0.6	
1000~1500	0.55	
1500~2000	0.50	
2000~2500	0.42	
2500~3000	0.40	
3000以上	0.35	

11.4.11 食物的显热散热冷负荷

进行餐厅冷负荷计算时, 需要考虑食物的散热量。食物的显热散热形成的冷负荷, 可按每位就餐客人 9 W 考虑。

11.4.12 伴随散湿过程的潜热冷负荷

1. 人体散湿量和潜热冷负荷

(1) 人体散湿量可按下式计算

$$D = 0.001\varphi ng \quad (11.4-26)$$

式中 D ——散湿量, kg/h;

g ——一名成年男子的小时散湿量, 见表11.4-16, g/h。

(2) 人体散湿形成的潜热冷负荷 Q (W), 可按下式计算:

$$Q = \varphi n q_2 \quad (11.4-27)$$

式中 q_2 ——一名成年男子小时潜热散热量, 见表11.4-16, W;

φ ——群体系数, 见表11.4-15。

2. 渗入空气散湿量及潜热冷负荷

(1) 渗透空气带入室内的湿量 (kg/h), 可按下式计算:

$$D = 0.001G(d_w - d_n) \quad (11.4-28)$$

(2) 渗入空气形成的潜热冷负荷 (W), 可按下式计算:

$$Q = 0.28G(i_w - i_n) \quad (11.4-29)$$

式中 d_w ——室外空气的含湿量, g/kg;

d_n ——室内空气的含湿量, g/kg;

i_w ——室外空气的焓, kJ/kg;

i_n ——室内空气的焓, kJ/kg。

3. 食物散湿量及潜热冷负荷

(1) 餐厅的食物散湿量 (kg/h), 可按下式计算:

$$D = 0.012\varphi n \quad (11.4-30)$$

式中 n ——就餐总人数。

(2) 食物散湿量形成的潜热冷负荷 (W), 可按下式计算:

$$Q = 688D \quad (11.4-31)$$

4. 水面蒸发散湿量及潜热冷负荷

(1) 敞开水面的蒸发散湿量 (kg/h), 可按下式计算:

$$D = Fg \quad (11.4-32)$$

(2) 敞开水面蒸发形成的显热冷负荷 (W), 可按下式计算:

$$Q = 0.28rD \quad (11.4-33)$$

式中 F ——蒸发表面积, m^2 ;

g ——单位水面的蒸发量, 见表11.4-25;

r ——汽化潜热, kJ/kg, 见表11.4-25。

敞开水表面单位蒸发量 [kg/(m²·h)]

表 11.4 25

室温 (°C)	室内相对湿度 (%)	水 温 (°C)								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	40	0.286	0.676	1.610	3.270	6.020	10.48	17.80	29.20	49.10
	45	0.262	0.654	1.570	3.240	5.970	10.42	17.80	29.10	49.00
	50	0.238	0.627	1.550	3.200	5.940	10.40	17.70	29.00	49.00
	55	0.214	0.603	1.520	3.170	5.900	10.35	17.70	29.00	48.90
	60	0.190	0.580	1.490	3.140	5.860	10.30	17.70	29.00	48.80
	65	0.167	0.556	1.460	3.100	5.820	10.27	17.60	28.90	48.70
24	40	0.232	0.622	1.540	3.200	5.930	10.40	17.70	29.20	49.00
	45	0.203	0.581	1.500	3.150	5.890	10.32	17.70	29.00	48.90
	50	0.172	0.561	1.460	3.110	5.860	10.30	17.60	28.90	48.80
	55	0.142	0.532	1.430	3.070	5.780	10.22	17.60	28.80	48.70
	60	0.112	0.501	1.390	3.020	5.730	10.22	17.50	28.80	48.60
	65	0.083	0.472	1.360	3.020	5.680	10.12	17.40	28.80	48.50
28	40	0.168	0.557	1.460	3.110	5.840	10.30	17.60	28.90	48.90
	45	0.130	0.518	1.410	3.050	5.770	10.21	17.60	28.80	48.80
	50	0.091	0.480	1.370	2.990	5.710	10.12	17.50	28.75	48.70
	55	0.053	0.442	1.320	2.940	5.650	10.00	17.40	28.70	48.60
	60	0.015	0.404	1.270	2.890	5.600	10.00	17.30	28.60	48.50
	65	-0.033	0.364	1.230	2.830	5.540	9.950	17.30	28.50	48.40
汽化潜热 (kJ/kg)		2458	2435	2414	2394	2380	2363	2336	2303	2265

注：制表条件为，水面风速 $v = 0.3 \text{ m/s}$ ；大气压力 $B = 101325 \text{ Pa}$ ，当所在地点大气压力为 b 时，表中所列数据应乘以修正系数 B/b 。

11.4.13 空调房间、空调建筑物及空调系统的计算冷负荷

1. 空调房间计算冷负荷

空调房间计算冷负荷的确定方法是：将上述分各项冷负荷按各不同的计算时刻累加，得出房间冷负荷的逐时值，然后取其中的最大值。

2. 空调建筑物的计算冷负荷

建筑物计算冷负荷应按下列情况分别确定：

(1) 当空调系统末端装置不能随负荷变化而手动或自动控制时，应采用同时使用的所有房间最大冷负荷的累加值；

(2) 当空调系统末端装置能随负荷变化而手动或自动控制时，应将同时使用的所有房间各计算时刻冷负荷累加，得出建筑物冷负荷的时间序列，然后取其中的最大值；

3. 空调系统计算冷负荷

空调系统的计算冷负荷，应由下列各项组成：

(1) 建筑物的计算冷负荷；

(2) 新风计算冷负荷；

(3) 风系统通过送回风管和送回风机产生温升引起的附加冷负荷；

- (4) 供冷装置的附加冷负荷;
 (5) 水系统通过水管、水泵、水箱产生的附加冷负荷。

11.4.14 计算例题

下面列举一个假想的例子,目的是为了在计算过程中能出现较多的计算项目,以使读者尽可能多地使用上本节给出的计算表格。实际的设计计算过程,可在事先印制好并具有固定格式的空白计算表上进行。

【例】:假定济南地区有一顶层空调房间如图11.4-2所示。采用顶部风机盘管加新风系统,室内保持正压,不考虑空气渗透负荷。室内设计温度 $t_n = 27^\circ\text{C}$ 。房间南向有一5mm普通玻璃的单层钢框外窗,内挂尼龙绸白色窗帘,且室外有贯通的横向遮阳板, $f = 0.3\text{m}$, $g = 0$, $l = 0.5\text{m}$, $m = 0.18\text{m}$, $B = 2\text{m}$, $H = 2.5\text{m}$ (参见图11.4-1)。东外窗构造同南外窗,只是内侧装活动铝百叶帘。房间有两名男子工作,200W白炽灯照明,同时使用系数 $n_1 = 0.8$,500W用电设备,按电热设备考虑,同时使用系数 $n_1 = 0.7$,利用系数 $n_2 = 0.8$,负荷系数 $n_3 = 0.5$,通风保温系数 $n_4 = 1$ 。人员、设备与灯具的工作时间为:上午8:00~12:00,下午2:00~6:00。按表11.4-1至表11.4-4中给出的序号,各围护结构的构造如下:屋面为45号,表面为深色($\rho = 0.9$);外墙为16号;楼板为30号;内墙为5号。西邻通风良好的非空调房间,走廊有空调,楼下为散热量约 20W/m^3 的非空调房间。试求房间的逐时冷负荷与计算冷负荷。

【解】第一步先做些准备工作,之后计算分项负荷,最后,将各项负荷累加,求出房间冷负荷。

1. 准备工作

(1) 围护结构的夏季热工指标

各围护结构的夏季热工指标可从表11.4-1至表11.4-4中查到,其结果已列入表11.4-26中。

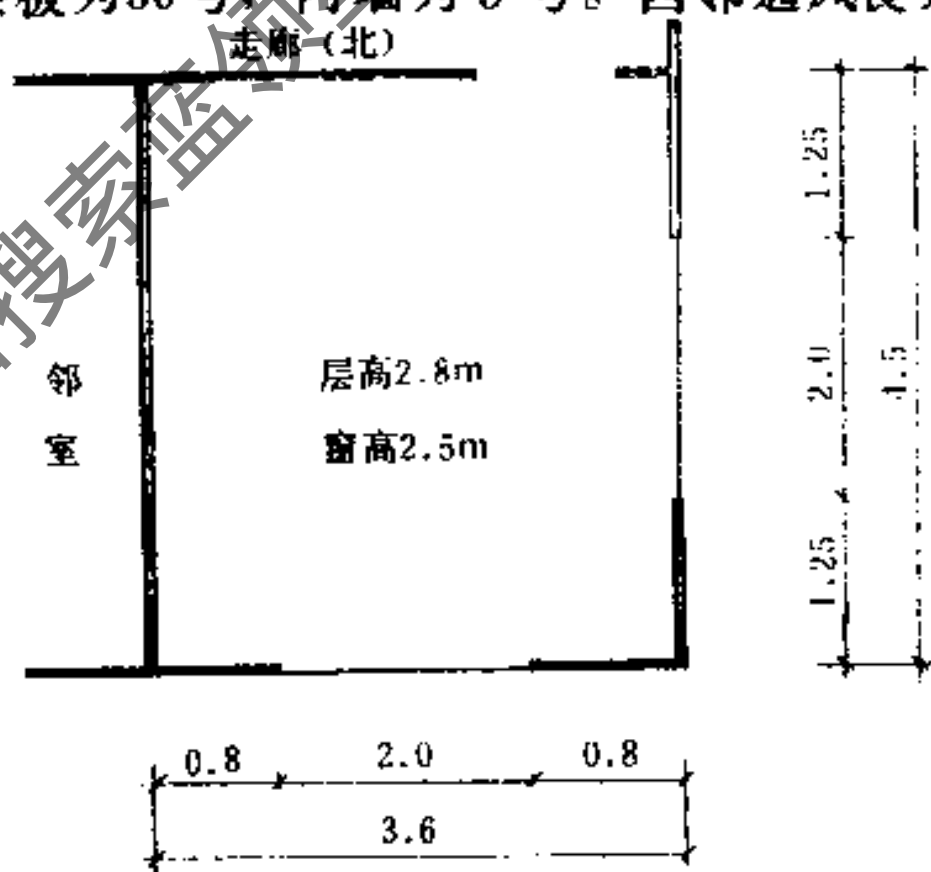


图 11.4-2 房间平面图

主要围护结构的夏季热工指标

表 11.4-26

名称	K	β	ξ	v_r	S_r
屋面45号	0.51	0.5	~5	1.1	0.4
外墙16号	0.83	0.2	~11	1.2	1.1
内墙5号	2.70	0.5	~6	1.9	2.9
楼板30号	1.33	0.3	~9	1.9	2.8

(2) 房间的分类

由上表看出,内墙与楼板均为 $v_r = 1.9$,与表11.4-5相对照,本例房间属于重型。

(3) 城市的分区

根据表11.4-6,济南属于第I计算区,以北京为代表城市。具体查表时,应注意不要忘记表注中给出的地区修正值。

(4) 南窗窗口太阳直射面积的计算

南窗外部虽然没有安装特设的垂直遮阳板,但与外墙面相比,窗面退进一个距离: $m=0.18$, $g=0$,因此,窗口也产生垂直遮阳作用,必须与水平遮阳作用同时考虑。根据图11.4-1,本例有 $B=2\text{m}$, $H=2.5\text{m}$,即 $F=5\text{m}^2$, $m=0.18\text{m}$, $g=0$, $f=0.3\text{m}$, $l=0.5\text{m}$, $H+f=2.8\text{m}$, $B+g=2\text{m}$ 。计算过程及计算结果已列入表11.4-27中。

南窗窗口直射面积与阴影面积的计算

表 11.4-27

项 目	计 算 时 刻 τ					备 注
	8	10	12	14	16	
L	20	3.41	2.87	3.41	20	查表11.4-7
lL	10	1.71	1.44	1.71	10	
M	27.7	1.88	0	1.88	27.7	查表11.4-7
mM	4.99	0.34	0	0.34	4.99	
F_1	-	-	2.73	-	-	$mM < g, f < lL < H+f$, 见式(11.4-2)
	-	1.82	-	1.82	-	$g < mM < B+g, f < lL < H+f$, 见式(11.4-4)
	0	-	-	-	0	$mM > B+g, lL > H+f$, 见式(11.4-5)
$F-F_1$	5	3.18	2.27	3.18	5	

2. 温差传热形成的冷负荷

各项温差传热冷负荷的计算过程和计算结果已列入表11.4-28中。表中符号 Δt 代表冷负荷温差 Δt 的总修正值,包括地区修正和室温修正两项。例如对于外墙,查北京负荷温差表11.4-8时,从表注1.中可知,济南市的地区修正值为 3°C ,又据表注2.,室温修正值 $26-t_n=26-27=-1^\circ\text{C}$,所以 $\Delta t=3-1=2^\circ\text{C}$ 。计算负荷 Q 时采用的 Δt 计算值,应等于表列 Δt 值加上总修正值 Δ 。

3. 太阳辐射形成的冷负荷

透过窗户的太阳辐射热形成的冷负荷计算过程见表11.4-29。其中窗户的构造修正系数 X_g 和内遮阳系数 X_l 分别见表11.4-11和11.4-12。

4. 室内发热量形成的冷负荷

室内热源形成的冷负荷计算过程见表11.4-30。其中单位人体的显热散热量 q_1 见表11.4-16。由于工作人员只有两名成年男子,故取群集系数 $\phi=1$ 。

5. 人体潜热冷负荷

人体潜热散热量形成的冷负荷计算公式见式(11.4-27)。

6. 人体散湿负荷

散湿源为两名成年男子,散湿量的计算公式见式(11.4-26)。取群集系数 $\phi=1$,人数 $n=2$,查表11.4-16知,单位人员散湿量 $g=115\text{g/h}$ 。

7. 房间总负荷

整个房间的全热冷负荷与湿负荷已汇总于表11.4-31中。由表中可以看出,房间计算冷负荷为 2223W ,计算湿负荷为 0.23kg/h ,对应的计算时刻为上午10点。

各项温差传热的逐时冷负荷计算

表 11.4-28

项 目		计 算 时 刻 τ									备 注	
		8	10	12	14	16	18	20	22	24		
南外墙 $K=0.83$ $\xi=11$ $F=5.08$ $\Delta=2$	$\tau-\xi$	21	23	1	3	5	7	9	11	13	查表11.4-8 见式(11.4-6)	
	$\Delta t_{\tau-t}$	7.5	6.5	6	5.5	5.5	6.5	8	9	9.5		
	Q_{τ}	40	36	34	32	32	36	42	46	48		
东外墙 $K=0.83$ $\xi=11$ $F=7.6$ $\Delta=2$	$\tau-\xi$	21	23	1	3	5	7	9	11	13	同 上	
	$\Delta t_{\tau-t}$	8.5	7.5	7	7.5	9	10	10.5	11	11		
	Q_{τ}	66	60	57	60	69	76	79	82	82		
屋 面 $K=0.51$ $\xi=5$ $F=16.2$ $\Delta=2$	$\tau-\xi$	3	5	7	9	11	13	15	17	19	查表11.4-9 见式(11.4-6)	
	$\Delta t_{\tau-t}$	6	8	13	19.5	25	27	25.5	22	18		
	Q_{τ}	66	83	124	178	223	240	227	198	165		
内 墙 $K=2.7$ $\xi=6$ $F=12.6$ $\Delta=2$	$\tau-\xi$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	查表11.4-8 见式(11.4-6)	
	$\Delta t_{\tau-t}$	1	1	1	2	3	4	5	5	5		
	Q_{τ}	102	102	102	136	170	204	238	238	238		
楼 板 $K=1.33$ $F=16.2$	$\Delta t_{\tau-t}$	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	查表11.4-14 见式(11.4-13)	
	Q_{τ}	157	157	157	157	157	157	157	157	157		
外 窗 $K=5.8$ $F=5$ $\Delta=2$	Δt_{τ}	2	3.9	5.8	7	7.4	6.8	5.3	3.9	2.7	查表11.4-10)见式(11.4-8)	
	Q_{τ}	南	116	171	226	261	273	255	212	171		136
		东	116	171	226	261	273	255	212	171		136
冷负荷小计 ΣQ_{τ}		663	780	926	1085	1197	1223	1167	1063	962		

透过玻璃外窗的太阳辐射逐时冷负荷计算
(5 mm普通玻璃单层钢框外窗, $X_g = 0.93$)

表 11.4-29

项 目		计 算 时 刻 τ									备 注
		8	10	12	14	16	18	20	22		
东 外 窗	$F=5$ $X_g=0.6$ $X_d=0.99$	J_{ext}	331	297	161	138	109	72	45	34	查表11.4-13
	Q_{τ}	914	820	445	381	301	199	124	94	见式(11.4-10)	
南 外 窗	$F=5$ $X_g=0.55$ $X_d=0.83$	F_1	0	1.82	2.73	1.82	0	0	0	0	查表11.4-27
	J_{ext}	48	124	188	168	100	63	37	28	查表11.4-13	
	$F_1 J_{\text{ext}}$	0	226	513	306	0	0	0	0		
	$F-F_1$	5	3.18	2.27	3.18	5	5	5	5		
	J_{ext}^n	49	71	84	85	70	74	27	20	查表11.4-13	
	$(F-F_1)J_{\text{ext}}^n$	245	226	191	270	350	370	135	100		
	Q_{τ}	104	192	299	245	149	157	57	42	见式(11.4-12)	
冷负荷小计 ΣQ_{τ}		1018	1012	744	626	450	356	181	136		

室内发热量形成的逐时冷负荷计算

表 11.4-30

项 目			计 算 时 刻 τ								备 注
			10	12	14	16	18	20	22	24	
人 体 $\phi = 1$ $n = 2$ $q_1 = 57$	上 午 $T = 8$ 连续工作 小时数 = 4	$\tau - T$	2	4	6	8	10	12	14	16	
		$X_{\tau-T}$	0.68	0.76	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.03	查表11.4-17
		$Q_{\tau 1}$	78	87	17	13	9	7	6	3	见式 (11.4-14)
	下 午 $T = 14$ 连续工作 小时数 = 4	$\tau - T$	—	—	0	2	4	6	8	10	
		$X_{\tau-T}$	—	—	—	0.68	0.76	0.15	0.11	0.08	查表11.4-17
		$Q_{\tau 2}$	—	—	—	78	87	17	13	9	见式 (11.4-14)
$Q_{\tau} = Q_{\tau 1} + Q_{\tau 2}$			78	87	17	91	96	24	19	12	
灯 光 $n_1 = 0.8$ $N = 0.2$	上 午 $T = 8$ 连续工作 小时数 = 4	$\tau - T$	2	4	6	8	10	12	14	16	
		$X_{\tau-T}$	0.61	0.70	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	查表11.4-18
		$Q_{\tau 1}$	98	112	29	21	16	13	10	8	见式 (11.4-15)
	下 午 $T = 14$ 连续工作 小时数 = 4	$\tau - T$	—	—	—	2	4	6	8	10	
		$X_{\tau-T}$	—	—	—	0.61	0.70	0.18	0.13	0.10	见表11.4-18
		$Q_{\tau 2}$	—	—	—	98	112	29	21	16	见式 (11.4-15)
$Q_{\tau} = Q_{\tau 1} + Q_{\tau 2}$			98	112	29	119	128	42	31	24	
设 备 $n_1 = 0.7$ $n_2 = 0.8$ $n_3 = 0.5$ $n_4 = 1$ $N = 0.5$	上 午 $T = 8$ 连续工作 小时数 = 4	$\tau - T$	2	4	6	8	10	12	14	16	
		$X_{\tau-T}$	0.72	0.81	0.15	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	查表11.4-19
		$Q_{\tau 1}$	101	113	21	13	10	7	6	4	式11.4-18~19
	下 午 $T = 14$ 连续工作 小时数 = 4	$\tau - T$	—	—	—	2	4	6	8	10	
		$X_{\tau-T}$	—	—	—	0.72	0.81	0.15	0.09	0.07	查表11.4-18
		$Q_{\tau 2}$	—	—	—	101	113	21	13	10	式11.4-18~19
$Q_{\tau} = Q_{\tau 1} + Q_{\tau 2}$			101	113	21	114	123	28	19	14	
冷负荷小计 ΣQ_{τ}			277	312	67	324	347	94	69	50	

房间冷负荷与湿负荷汇总

表 11.4-31

负 荷 项 目	计 算 时 刻 τ									备 注
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
传热负荷	663	780	926	1085	1197	1223	1167	1063	962	见表11.4-28
辐射负荷	1018	1012	744	626	450	356	181	136	—	见表11.4-29
室内发热负荷	—	277	312	67	324	347	94	69	50	见表11.4-30
人体潜热负荷	154	154	0	154	154	0	0	0	0	见式 (11.4-27)
房间全热冷负荷	1835	2223	1982	1932	2125	1926	1442	1268	1012	各项负荷累计
房间湿负荷	0.23	0.23	0	0.23	0.23	0	0	0	0	见式 (11.4-26)

11.5 $i-d$ 图的应用

1. 空气状态参数

空气的状态参数，主要有温度(t)，相对湿度(φ)，含湿量(d)，焓(i)等。若已知任意两个参数，在 $i-d$ 图上即可定出空气的状态点，其它参数也随之确定。

2. 确定不同状态空气的混合状态

G_1 (kg/h) 空气(状态参数 i_1 、 d_1)与 G_2 (kg/h) 空气(状态参数 i_2 、 d_2)混合后得 G_c (kg/h) 空气(状态参数 i_c 、 d_c)。可按下列式在 $i-d$ 图上得到混合空气状态点：

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{1-C}{C-2} = \frac{i_1-i_c}{i_c-i_2} = \frac{d_1-d_c}{d_c-d_2}$$

$$\frac{G_2}{G_c} = \frac{1-C}{1-2} = \frac{i_1-i_c}{i_1-i_2} = \frac{d_1-d_c}{d_1-d_2}$$

$$\frac{G_1}{G_c} = \frac{C-2}{1-2} = \frac{i_c-i_2}{i_1-i_2} = \frac{d_c-d_2}{d_1-d_2}$$

两种状态空气的混合过程见图11.5-1。

几种典型的空气状态变化过程见图11.5-2。

各种空气状态变化过程见图11.5-3。

空气状态变化过程和空气处理方法见表11.5-1。

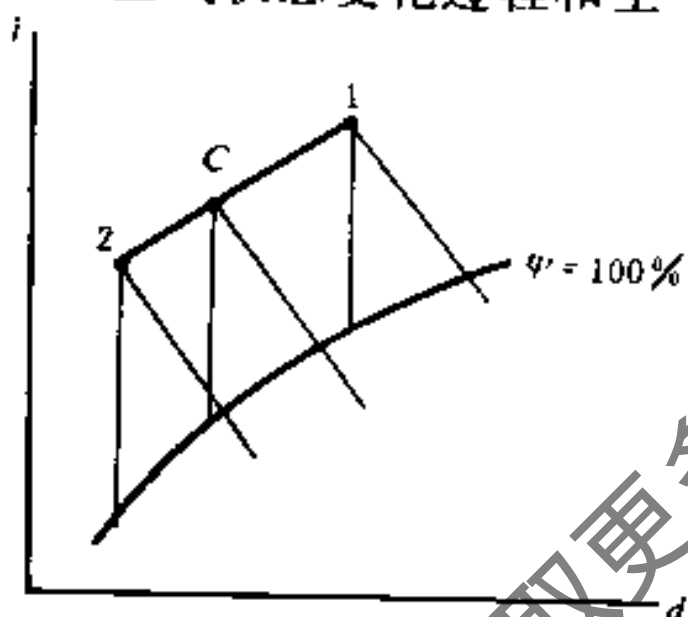


图 11.5-1 两种状态空气的混合过程

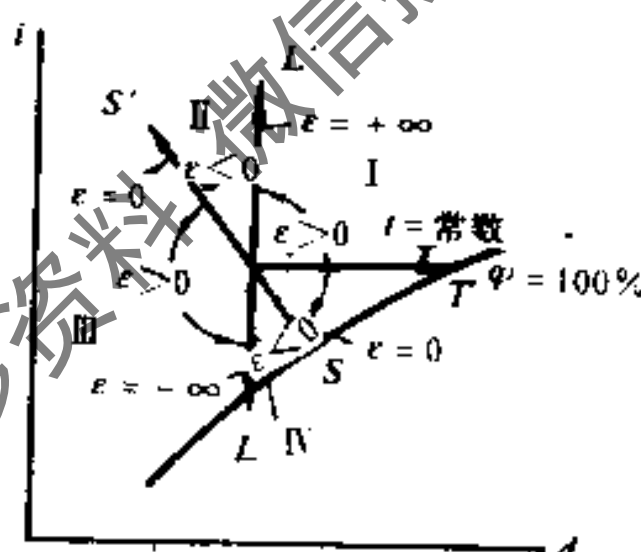


图 11.5-2 几种典型的空气状态变化过程

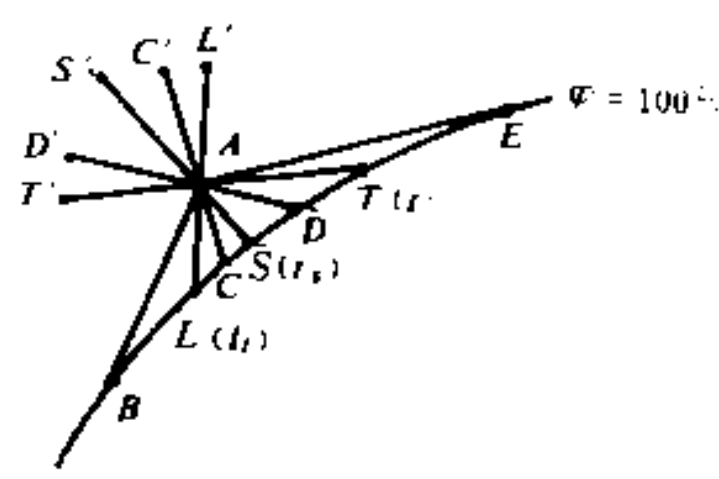


图 11.5-3 各种空气状态变化过程

空气状态变化过程和空气处理方法

表 11.5-1

空气处理过程线	象限	热湿比	空气状态变化	空气处理方法
A-D	I	$\epsilon > 0$	增焓加湿降温	喷水室冷却加湿, $t_s < t_w < t_A$
A-T	I ($t = \text{常数}$)	$\epsilon > 0$	增焓加湿等温	加湿器喷低压蒸汽等温加湿; 喷水室等温加湿 $t_w = t_A$
A-E	I	$\epsilon > 0$	增焓加湿升温	加湿器喷过热蒸汽升温加湿; 喷水室升温加湿 $t_w > t_A$
A-L'	$d = \text{常数}$	$\epsilon = +\infty$	增焓等湿升温	加热器干式加热(蒸汽, 热水, 电)
A-C'	II	$\epsilon < 0$	增焓降湿升温	制冷机除湿(热泵)
A-S'	$i = \text{常数}$	$\epsilon = 0$	等焓降湿升温	固体吸湿剂吸湿

续表

空气处理过程线	象限	热湿比	空气状态变化	空气处理方法
A-D'	Ⅲ	$\epsilon > 0$	减焓降湿升温	液体除湿剂喷淋除湿, t_y 稍高于 t_A
A-T'	Ⅲ ($t = \text{常数}$)	$\epsilon > 0$	减焓降湿等温	液体除湿剂喷淋除湿, $t_y = t_A$
A-B	Ⅲ	$\epsilon > 0$	减焓降湿降温	喷水室冷却干燥, $t_w < t_l$; 空气冷却器冷却干燥, 外表温度 $< t_l$; 直接蒸发式空气冷却器冷却干燥, $t_o < t_l$
A-L	$d = \text{常数}$	$\epsilon = -\infty$	减焓等湿降温	喷水室冷却, t_w 稍低于 t_l ; 空气冷却器干式冷却, t_w 稍低于 t_l ; 直接蒸发式空气冷却器干式冷却, t_o 稍低于 t_l
A-C	Ⅳ	$\epsilon < 0$	减焓加湿降温	喷水室冷却, $t_l < t_w < t_o$
A-S	$i = \text{常数}$	$\epsilon = 0$	等焓加湿降温	喷水室循环喷水, 绝热加湿

表中符号 t ——等温线与 $\phi = 100\%$ 相对湿度线交点
 t_s ——湿球温度, 等焓 (i) 线与 $\phi = 100\%$ 相对湿度线交点
 t_l ——露点温度, 等湿 (d) 线与 $\phi = 100\%$ 相对湿度线交点
 t_w ——水温
 t_{wa} ——平均水温
 t_o ——冷媒蒸发温度
 t_y ——液体除湿剂温度
 t_A ——A点空气温度

11.6 空气处理设备的选择计算

11.6.1 空气的过滤净化

1. 大气污染物的分类 (详见表11.6-1)

根据粒子大小的大致分类表

表 11.6-1

分类	名称	粒径 (μm)	备注
固体	粉尘 (dusts)	< 100	由于自然或人为过程如风化、破碎等造成的固体粒子; 在静电力的影响下会凝并, 在重力作用下会沉降
	烟尘 (fumes)	< 1	因升华或蒸气冷凝和随后的熔合所组成, 这些蒸气在常温常压下会冷凝成固态
	黑烟 (smokes)	< 1	部分燃烧形成的固态、液态和气态粒子的混合物, 从气流中清除这些粒子比较困难
液体	水雾及烟雾 (mists and fogs)	< 100	在常温常压下为液体的悬浮水珠, 其大小通常为 $15 \sim 35 \mu\text{m}$ 左右
	雨滴 (raindrops)	$500 \sim 5000$	
	气溶胶 (aerosols)		指气体中未稳定分散的细小液态或固态粒子, 它们可能凝并, 或在正常的重力、惯性力等的作用下, 沉降在一些表面上
气体	蒸汽和气体 (vapours and gases)		常温常压下为气相, 通过冷凝可除去蒸汽, 气体则不能。
有机物	有机粒子 (organic particles)	细菌 ($0.2 \sim 5$) 花粉 ($5 \sim 150$) 真菌 ($1 \sim 20$) 病毒 (< 1)	

2. 空气过滤器的性能

(1) 过滤效率 η (%)

$$\eta = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{c_2}{c_1}\right) \times 100\% \quad (11.6-1)$$

不同级别的过滤器串联使用时, 总过滤效率 η_0 可按下式计算:

$$\eta_0 = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)\cdots(1 - \eta_n) \quad (11.6-2)$$

式中 c_1, c_2 —— 过滤前、后空气的含尘浓度;

$\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ —— 第一、二直至 n 级过滤器的效率。

当含尘浓度以“ mg/m^3 ”计时, 其效率称为计重效率; 以“粒/L”计时, 称为计数效率; 当以某一粒径范围内的颗粒浓度“粒/L”计时, 称为粒径分组计数效率。

(2) 穿透率 K (%)

$$K = \frac{c_2}{c_1} \times 100\% = 1 - \eta \quad (11.6-3)$$

(3) 空气通过时的压力损失 ΔP (Pa)

$$\Delta P = av + bv^2 \quad (11.6-4)$$

式中 v —— 过滤器的迎风面速度, ms^{-1} ;

a, b —— 实验系数, 由制造单位提供。

随着使用时间的增长, 过滤器上的沾尘量逐渐增多, 压力损失也随之增大。通常将未使用时的压力损失称为“初阻力”; 将使用至必须更换时的压力损失称为“终阻力”。终阻力一般为初阻力的2.0~4.0倍。

(4) 容尘量 指额定风量下, 过滤器由初阻力变化至终阻力的过程中, 所容纳和截留的额定灰尘量。过滤器的容尘量越大, 使用寿命就越长。

3. 空气的净化计算

(1) 室外空气的含尘浓度 室外空气的含尘浓度, 随地区、季节、局部环境条件等有很大的变化, 应通过测试确定。在缺乏测试条件或资料时, 可参考表11.6-2确定。

室外空气含尘浓度的参考值

表 11.6-2

地区	重量浓度 (mg/m^3)	计数浓度 ($>0.5\mu\text{m}$) (个/L)	地区	重量浓度 (mg/m^3)	计数浓度 ($>0.5\mu\text{m}$) (个/L)
农村或远郊	0.2~0.8	3×10^4	市中心	0.8~1.5	12×10^4
近郊	0.4~1.0	4×10^4	轻工业区	1.0~1.8	18×10^4
住宅区	0.3~1.0	3.5×10^4	重工业区	1.5~3.0	25×10^4
商业区	0.6~1.2	10×10^4			

(2) 室内人员的发尘量 室内人员的发尘量大致如表11.6-3所示。

室内人员的发尘量(每人计)

表 11.6-3

吸烟情况	吸烟人数多	吸烟人数中等	吸烟人数少
发尘量 (mg/h)	15	10	5

(3) 过滤净化计算 (图11.6-1)。

房间的通风换气量 $L(\text{m}^3/\text{h})$:

$$L = L_x + L_h = L_x + RL \quad (11.6-5)$$

而
所以

$$K(L_x C_x + RL \cdot C) + M = C(RL + L_p)$$

$$K = \frac{C(RL + L_p) - M}{L_x C_x + CRL} \quad (11.6-6)$$

- 式中 L_x ——新风量, m^3/h ;
 L_h ——回风量, m^3/h ;
 L_p ——排风量, m^3/h ;
 C_x ——新风的含尘浓度, mg/m^3 ;
 C ——室内空气的允许浓度, mg/m^3 ;
 R ——回风比率, %;
 M ——室内的发生量, mg/h ;
 K ——穿透率, %。

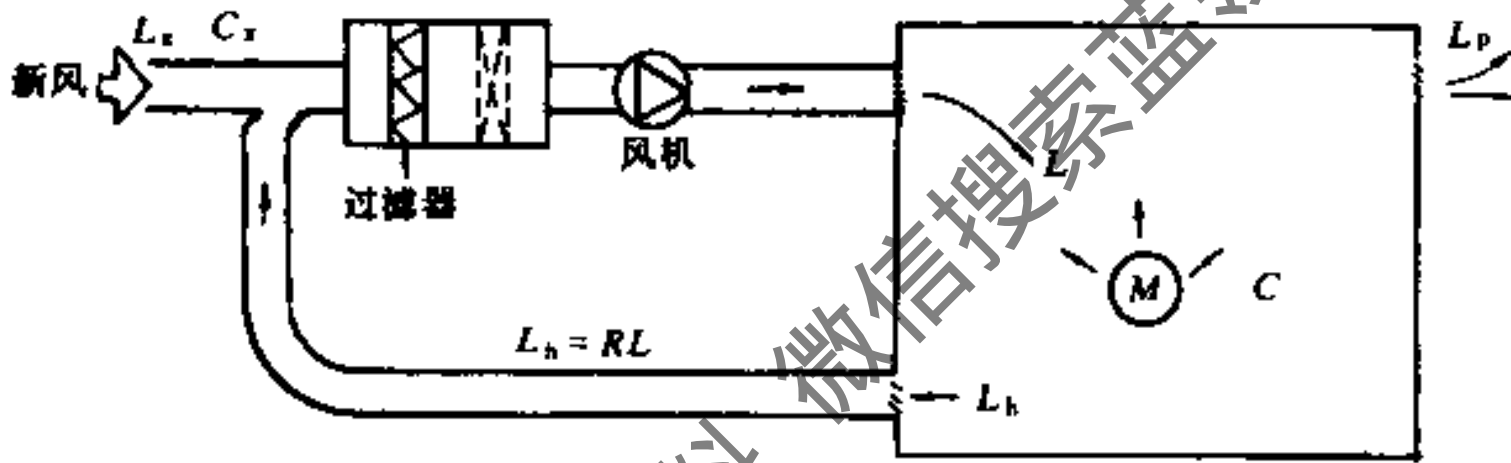


图 11.6-1 过滤净化示意图

4. 过滤器的分级及常用过滤器的主要性能

(1) 过滤器的分级 见表11.6-4。

过滤器的分级

表 11.6-4

分 级	入口浓度 (mg/m^3)	主要过滤粒径 (μm)	设计滤速 (m/s)	效率(%) 〔测试方法〕	阻 力 (Pa)		清洗或更换周期 (月) 〔按8h/d计〕
					初	终	
初 效	<10	>10	0.5~3	<90 〔计重法〕	30~50	<100	0.5~1
中 效	1~2	1~10	0.05~0.3	40~90 〔比色法〕	50~100	<200	2~4
高 效	<1	<1	0.01~0.03	99.9~99.99 〔计数法〕	~200	~400	~12

(2) 常用过滤器的技术性能 见表11.6-5。

(3) DV型滤料的技术性能 见表11.6-6。

5. 有害气体的过滤净化

(1) 空调新风中所含有害气体成分的浓度超过标准 (GB3095-82) 规定的限值时,

常用过滤器的技术性能表

表 11.6-5

类别	系列	型号	滤料	额定风量 (m ³ /h)	效率 (计重法) (%)	阻力(Pa)		容尘量 (g)	有效捕 集粒径 (μm)
						初	终		
初效 过滤器	自动 卷绕式	ZJK-I-1 ZJK-I-2 ZJK-I-3 ZJK-I-4 ZJK-I-5	DV化纤组合毡	8000~12000 12000~18000 18000~24000 24000~34000 34000~44000	99~99.5 (工业尘)	90	220	1500 g/m ²	>10
	YP	YP-X YP-D YP-D	泡沫塑料	200 200 300	>40 (大气尘)	65 50 90	130 100 180	>50 >90 >90	
	M	M III		2000	55 (大气尘)	100	200	1400	
	K	KZG I KZG II	无纺布	2000 2000	>35 >50	34 36			
高效 过滤器	GBD	GBD-D4Z GBD-01 GBD-03	玻璃纤维滤纸	330 1000 1500	>99.91 (大气尘计数)	58 140 120		~500 ~500 ~750	
	GB	GB-01 GB-03		1000 1500	>99.91 (钠焰法)	200~300 250~250		>500 >750	
	GX	GX-0B GX-0C GX-I GX-II GX-III		1000 1000 1000 1500	>99.96 (钠焰法)	~200 ~200 254 200		>500 >500 >500	
	GNF	GNF-01 GNF-03		1000 1500	>99.91	200 150		>500 >750	
	GNW	GNW-01 GNW-03		1000 1500	(大气尘计数)	200 150		>500 >750	
	GK	GK-8A GK-10A GK-10B GK-10C GK-10D GK-12A GK-12B GK-13A GK-15A GK-15B GK-15C GK-15D GK-20A GK-20B GK-22A GK-30A		超细玻璃 纤维滤纸	800 1000 1200 1300 1500 2000 2200 3000	优等品: I类 >99.998 II类 >99.995 一等品: >99.99 二等品: 99.95 (钠焰法)	直隔板 <240 斜隔板 <200	500 500 500 600 500 750 750 800 900 750 850 1000 1200 1200 1400 1600	
中效 过滤器	YB	YB-X YB-D YB-D	玻璃纤维	200 200 300	>60 (大气尘计重)	90 60 105	180 120 210	50 90 90	
	M	M-I M-II M-IV	泡沫塑料	2000 2000 1600	>70 (大气尘计重)	40	200	800 500 500	
	ZX	ZX-1		3000	>66 (大气尘计重)	60	200	300	
	W	WV WZ-1 WD-1	涤纶无纺布	2000	80 (人工尘计重)	40 40 38	200	460 575 690	
亚 高效 过滤器	ZKL	ZKL-01 ZKL-03	棉短绒纤维滤纸	1000 1500	>90 (钠焰法)	<100 <80			
	GZH	GZH-01 GZH-03	玻璃纤维滤纸	1000 1750	>95 (钠焰法)	<120			

DV型滤料的技术性能表

表 11.6-6

型 号	滤 速 (m/s)	阻 力 (Pa)		计重效率 (工业粉尘) (%)	容 尘 量 (g/m ²)
		初	终		
DV-1	1.0	90	220	99~99.5	1500
DV-2	2.0	40	90	45~57	2700
DV-3	2.0	150	400	80~90	3000
DV-5	2.0	80	300	65~80	3200

应对进风进行处理,使其降低至限值以内。

(2) 处理进风中所含有害气体成分的简单而有效的措施,是在空气处理机内设置活性炭过滤器。

(3) 活性炭的吸附性能与用量 见表11.6-7、表11.6-8和表11.6-9。

活性炭的吸附性能

表 11.6-7

序	名 称	分子式	吸附保持量 (%) ^①	序	名 称	分子式	吸附保持量 (%) ^①
1	氨	NH ₃	少量	7	一氧化碳	CO	少量
2	二氧化硫	SO ₂	10	8	吡啶(烟草燃烧生成)	C ₅ H ₅ N	25
3	氯	Cl ₂	15	9	丁基酸(汗、体臭味)	C ₅ H ₁₀ O ₂	35
4	二硫化碳	CS ₂	15	10	苯	C ₆ H ₆	24
5	臭氧	O ₃	能还原为O ₂	11	烹调味		~30
6	二氧化碳	CO ₂	少量	12	浴厕味		~30

① 吸附保持量是指在20℃、100kPa条件下,被吸附物质的保持量与活性炭质量之比(%)。

活性炭的用量与使用寿命(再生周期)

表 11.6-8

场 合	居住建筑	商业建筑	工业建筑
用 量 (kg/h×10 ³ m ³ 空气)	10	10~12	16
平均使用寿命 (年)	≥2	1~1.5	0.5~1.0

常用活性炭的型号、性能和用途

表 11.6-9

型 号	DX-15	DX-30	ZX-15	ZK-40	ZL-30	ZH-30
粒 径(mm)	φ1.5	φ3.0	φ1.5	φ4.0	φ3.0	φ3.0
水 份(%)	<3	<3	<5	<5	<5	<5
强 度(%)	>85	>90	>85	>90	>90	>90
CCl ₄ 吸附率(%)	>60	>60	对苯的防护时 间>40 min	>700	>800	>54
碘 值(mg/g)						
硫容量(mg/g)						
用 途	装填各种防毒面具及过滤器			净化空气中的 污染物	净化硫化氢及 其它硫化物	净化苯、甲 苯、醚、三氯甲 烷、碳氢化合物 等

注:本资料由北方工业总公司太原国营新华化工厂提供。

(4) 活性炭过滤性能的增强 在装填过滤层之前,将活性炭浸渍以某种药液,可以增强其过滤性能,兼具物理吸附与化学吸收的双重作用。常用浸渍活性炭的型号、性能和

用途如表11.6-10所示。

浸渍活性炭的性能和用途

表 11.6-10

型号	KZ15-1	KZ15-2	KZ15-3	KZ15-3-1	KZ15-4	KZ15-5	KZ07-1	KZ40-1	霍加拉特剂 (Hopcalite)
曾用名称	13号药	14号药	16号药	新16号药	21号药		19号药		15号药
机械强度 (%)	>73	>70	>70	>70	>70	>70	>73	>90	>73
水份 (%)	<3	<3	<5	<5	<5	<3	<3	<3	<1
防毒时间 (min)	氯乙烷>28 氢氰酸>45 氯化氰>28	氯乙烷>25 氢氰酸>36 苯 >46	一氧化碳 >120		氨 >40 硫化氢>16		氯乙烷>27 氢氰酸>48 氯化氰>42		
主要用途	清除氢氰酸及衍生物、砷化物	防酸性气体和蒸气、二氧化硫、硫化氢、氮的氧化物NO ₂	防一氧化碳、干燥剂	防一氧化碳的干燥剂	防硫化氢和氨	防汞蒸气	防各种有毒蒸气和气体(装填防毒面具及各种滤毒器)	脱除硫化氢和其它有机硫	防一氧化碳
粒径 (mm)	φ1.5	φ1.5	φ1.5	φ1.5	φ1.5	φ1.5	φ0.7	φ4.0	φ1~2.75

注：本资料由北方工业总公司太原新华化工厂提供。

(5) 活性炭过滤装置的设计要点：

- 结构设计应满足装炭与再生操作方便、通过炭层的空气分布均匀的要求。
- 空气通过炭层的面风速宜保持 $v = 0.10 \sim 0.50 \text{ m/s}$ 。
- 污染气体与活性炭的接触时间宜保持 $t = 0.20 \sim 0.40 \text{ s}$ 。
- 炭层厚度一般可按式确定：

$$H = V/F = \frac{Gv}{KL} \quad (11.6-7)$$

$$G = Z \cdot C \cdot L \cdot 3600 / (1000xm) = ZCL \cdot 3.6 / (xm) \quad (11.6-8)$$

式中 H ——炭层厚(高)度, m;
 V ——活性炭的容积, m³;
 G ——活性炭的重量, kg;
 F ——活性炭层的迎风面积, m²;
 v ——空气通过炭层的面风速, m/s;
 K ——活性炭的充填密度, kg/m³;
 L ——通过炭层的风量, m³/s;
 Z ——再生周期(累计吸附时间), h;
 C ——污染物的浓度, g/m³;
 m ——活性炭的再生效率, 一般 $m = 95\%$;
 x ——吸附比, g(污染物)/kg(炭)。

- 在炭层和净化后空气层内, 宜设温度检测和报警装置, 最好设自动喷水保护。
- 活性炭的吸附效率随时间的增加而降低, 如图11.6-2所示。
- 空气通过炭层的阻力, 见图11.6-3、图11.6-4和图11.6-5。

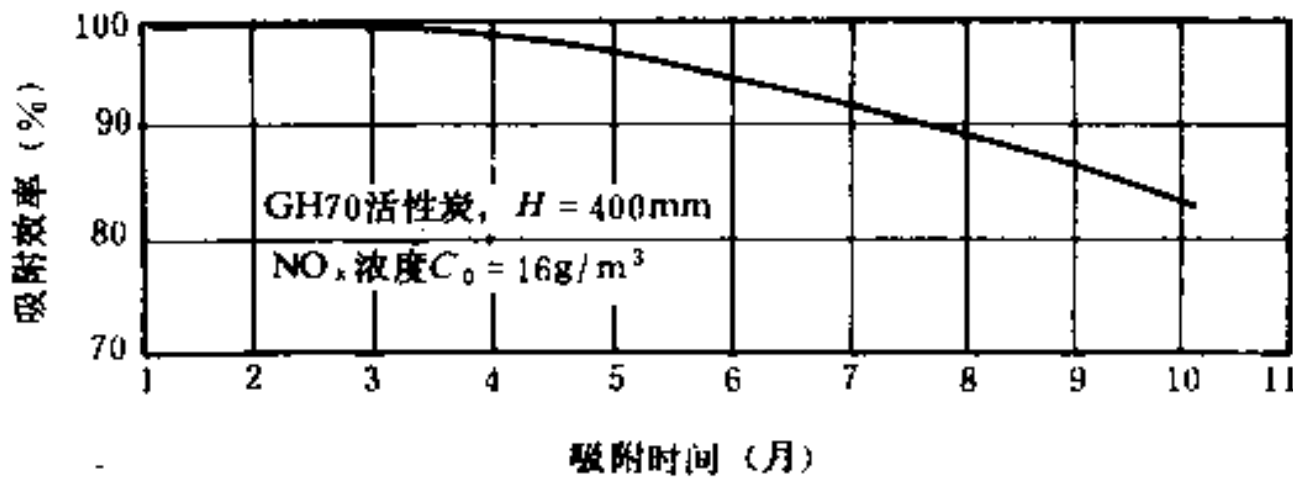


图 11.6-2 吸附效率与吸附时间的关系

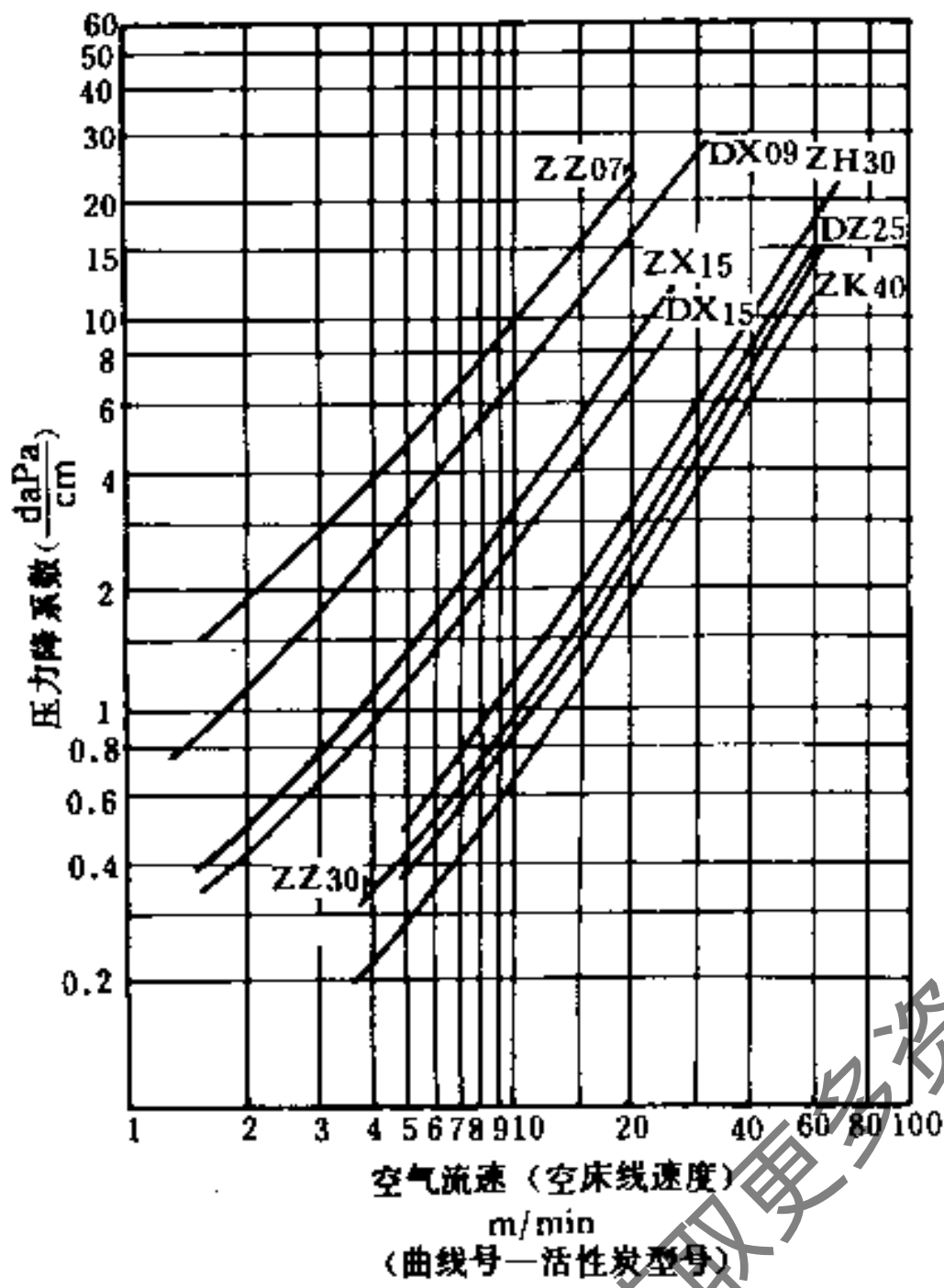


图 11.6-3 不同型号活性炭的阻力(20℃, 100kPa)

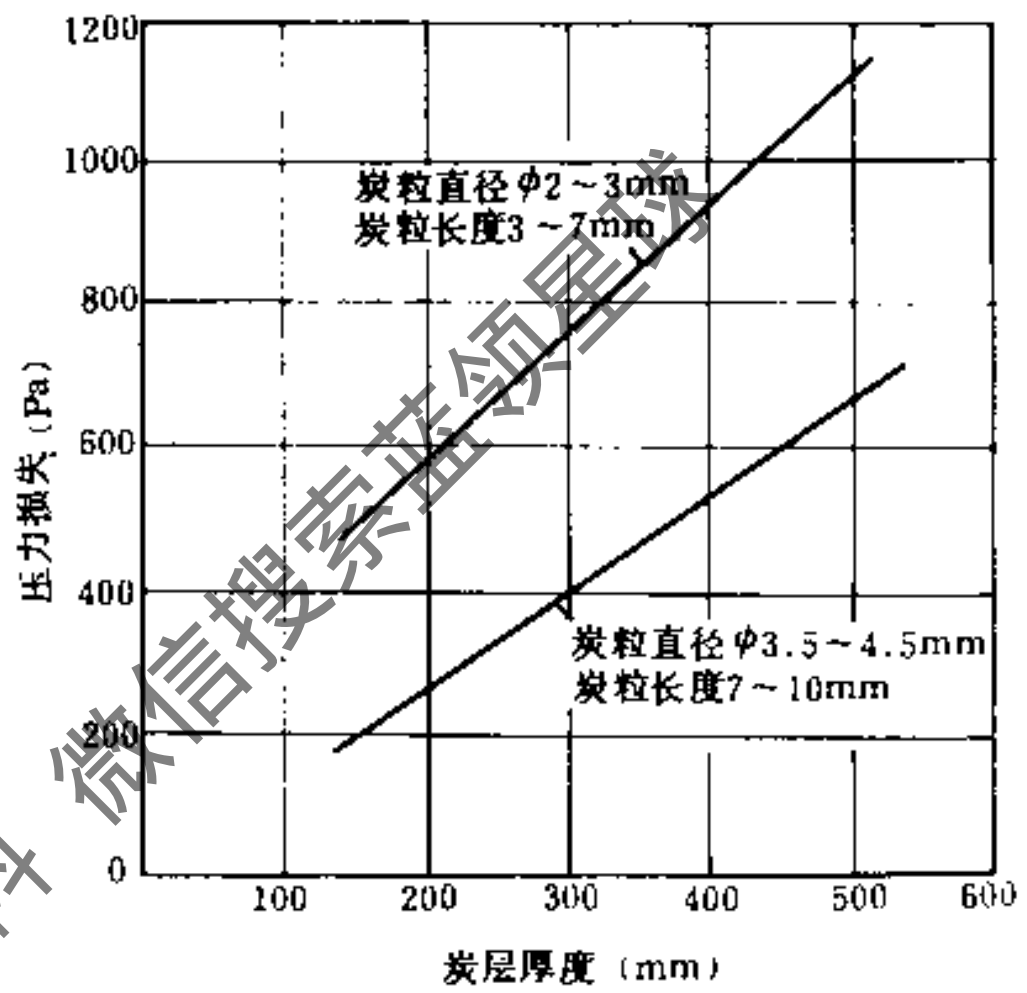


图 11.6-4 不同厚度时的阻力($v = 0.3 \text{ m/s}$)

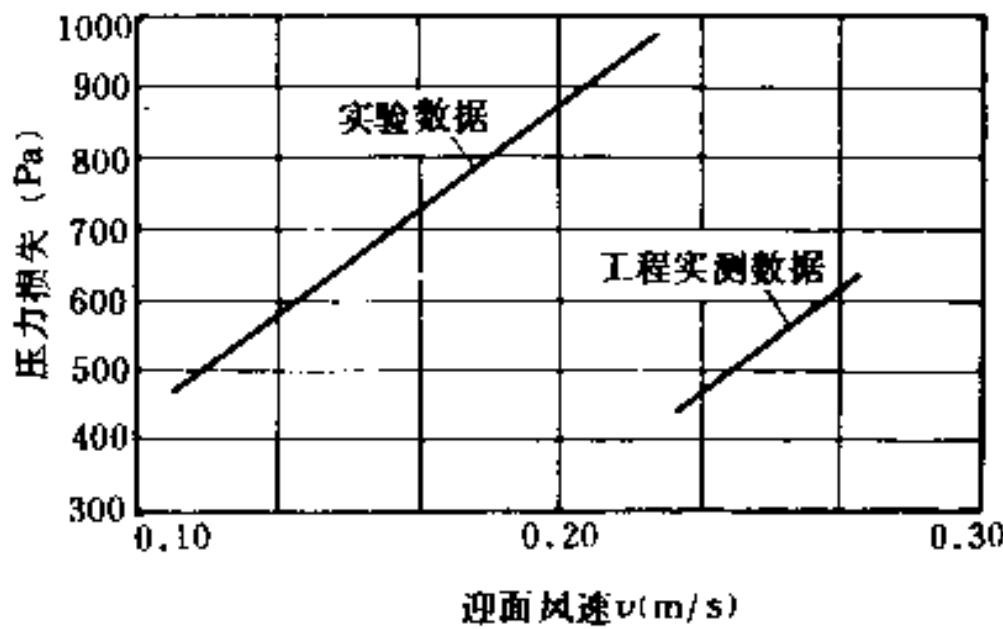


图 11.6-5 不同 v 值时的阻力(活性炭粒直径为 $\phi 2.5 \sim 6 \text{ mm}$, 炭层厚度 $H = 250 \text{ mm}$)

11.6.2 空气冷却器

1. 设计要点

(1) 空气冷却器，可以水平安装，也可以横向垂直安装或倾斜安装，但必须使冷却器凝水能顺肋片下流，以免肋片积水而降低传热性能和增加空气阻力。

(2) 空气冷却器的下部应安装滴水盘和泄水管；当冷却器叠放时，在两个冷却器之间应装设中间滴水盘和泄水管，泄水管应设水封，以防吸入空气，见图11.6-6。

(3) 按空气流动方向，空气冷却器可以并联或串联装置。通常，当通过空气量多时，宜采用并联；要求空气温降大时应串联。并联的空气冷却器，供水管也应并联；串联的空气冷却器，供水管也应串联。冷水与空气应逆向流动，见图11.6-7。

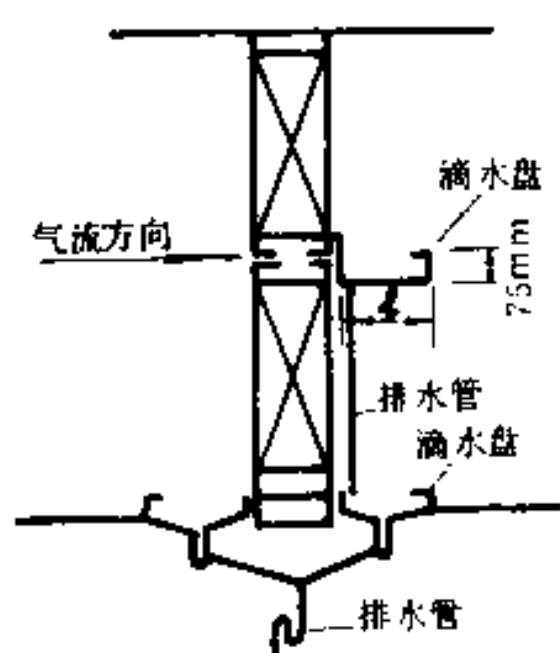


图 11.6-6 滴水盘的安装

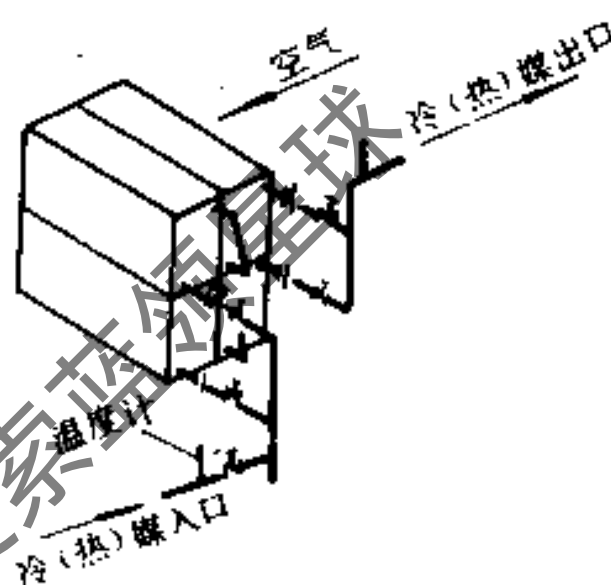


图 11.6-7 空气冷却器的配管

(4) 空气冷却器迎风面的质量流速，一般采用 $2.5 \sim 3.5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ，当质量流速大于 $3 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 时，在冷却器后宜增设挡水板。

(5) 空气冷却器的冷水入口温度，应比空气的出口干球温度至少低 3.5°C ，冷水温升宜采用 $2.5 \sim 6.5^\circ\text{C}$ 。

(6) 当空调房间对相对湿度的精度要求较严时，或者由于没有汽源而不能采用蒸汽加湿时，可以采用带喷淋的空气冷却器。

(7) 沿空气流向的冷却器排数，一般采用 $4 \sim 6$ 排，不宜超过 8 排。

(8) 在选用空气冷却器的时候，应考虑表面积灰，内壁结垢等因素而附加一定的安全系数，以增大传热面积。在运行过程中，也可以用降低水初温的办法来弥补传热系数的下降，比较简便。

(9) 根据各生产厂产品样本和热工计算来选择空气冷却器。部分国产空气冷却器的性能参数见表11.6-14。

2. 热工计算和压力损失计算

(1) 热工设计计算和压力损失计算 见表11.6-11。

已知条件：①空气量 G ，②空气初参数 t_{g1} 、 t_{s1} 、 i_1 、 φ_1 ，③空气终参数 t_{g2} 、 t_{s2} 、 i_2 、 φ_2 。

求解：①选择空气冷却器型号、台数、排数，②确定冷水温度和水量。

空气冷却器热工设计计算和压力损失计算

表 11.6-11

计算步骤	计算内容	计算公式和图表
1	接触系数	$\varepsilon_2 = 1 - \frac{t_{g2} - t_{s2}}{t_{g1} - t_{s1}}$ (11.6-9)
2	空气冷却器排数	按表11.6-13决定
3	空气冷却器型号与参数	1. 假定面风速 v'_y , 求所需冷却器迎风面积: $F'_y = \frac{G}{v'_y \rho} \quad \text{m}^2$ 2. 按 F'_y 和选定的冷却器排数, 查产品样本, 选择冷却器型号、并列台数、串联台数、每台冷却器的传热面积、迎风面积、通水截面积 f_w 3. 计算实际的迎面风速 v_y : $v_y = \frac{G}{F_y \rho} \quad \text{m/s}$ (11.6-10)
4	校核接触系数 ε_2	按冷却器型号、排数和实际的迎面风速 v_y , 由表11.6-12查出实际的接触系数 ε_2 , 若相差较大, 须改选别的型号
5	析湿系数 ξ	$\xi = \frac{i_1 - i_2}{c_p(t_{g1} - t_{g2})}$ (11.6-11)
6	传热系数 K	按冷却器的型号和排数, 由表11.6-13的相应公式计算出传热系数 K , 式中水流速 $w = 0.6 \sim 1.8 \text{m/s}$
7	冷水量 W	$W = f_w \times w \times 10^3 \quad \text{kg/s}$
8	热交换效率系数 ε_1	1. 计算传热单元数 $\beta = \frac{KF}{\xi G c_p}$ (11.6-12) 2. 计算水当量比 $\gamma = \frac{G c_p}{W c}$ (11.6-13) 3. 由 β, γ 查图11.6-8得 ε_1
9	初、终水温 t_{w1}, t_{w2}	1. $t_{w1} = t_{g1} - \frac{t_{g1} - t_{g2}}{\varepsilon_1}$ (11.6-14) 2. $t_{w2} = t_{w1} + \frac{G(i_1 - i_2)}{Wc}$ (11.6-15)
10	空气压力损失 ΔP 和水压力损失 Δh	查表11.6-13的相应公式算出 ΔP 和 Δh , 也可以查表11.6-15得出空气压力损失 ΔP , 查表11.6-16得出水压力损失 Δh

表中: t_{g1}, t_{g2} ——处理前后空气的干球温度, $^{\circ}\text{C}$;
 t_{s1}, t_{s2} ——处理前后空气的湿球温度, $^{\circ}\text{C}$;
 i_1, i_2 ——处理前后空气的焓值, kJ/kg ;
 ε_1 ——热交换效率系数;
 ε_2 ——接触系数;
 ξ ——析湿系数;
 t_{w1}, t_{w2} ——冷水初、终温, $^{\circ}\text{C}$;
 G ——空气量, kg/s ;
 v_y ——迎面风速, m/s ;
 F_y ——冷却器的迎风面积, m^2 ;
 ρ ——空气的密度, 1.2kg/m^3 ;
 c_p ——空气的定压比热 $\text{J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$;
 K ——湿工况下空气冷却器的传热系数, $\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$;
 W ——冷水量, kg/s ;
 f_w ——冷却器管道的通水截面积, m^2 ;
 w ——冷却器管道内的水流速度, m/s ;
 c ——水的比热, $4187 \text{J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$;
 β ——传热单元数;
 F_a ——每排空气冷却器的传热面积, m^2 ;
 F ——空气冷却器的总传热面积, $F = F_a \times \text{排数}$, m^2 ;
 γ ——水当量比;
 N ——排数;
 ΔP ——空气侧压力损失, Pa ;
 Δh ——水侧压力损失, kPa 。

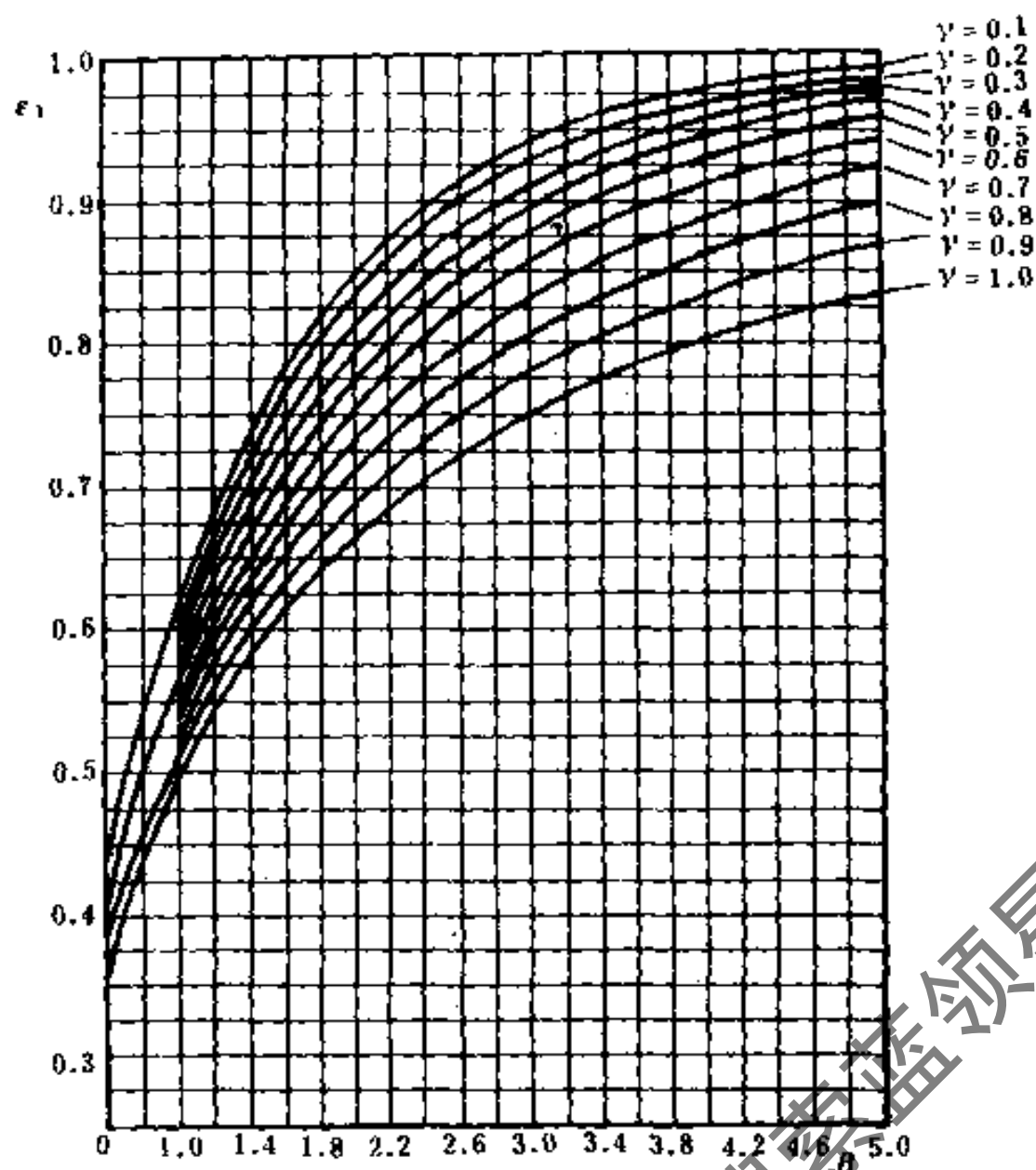


图 11.6-8 空气冷却器的热交换效率系数 ϵ_1 值线算图

部分空气冷却器的接触系数 ϵ_2

表 11.6-12

冷却器型号	排数 N	迎面风速 u_f (m/s)			
		1.5	2.0	2.5	3.0
U II 型 GL II 型	2	0.543	0.518	0.499	0.484
	4	0.794	0.767	0.748	0.733
	6	0.905	0.887	0.875	0.863
	8	0.957	0.946	0.937	0.930
JW 型	2	0.590	0.545	0.515	0.490
	4	0.845	0.797	0.768	0.745
	6	0.940	0.911	0.888	0.872
	8	0.977	0.964	0.954	0.945
SXL-B 型	2	0.826	0.780	0.760	0.740
	4	0.97	0.952	0.942	0.932
	6	0.995	0.989	0.986	0.982
	8	0.999	0.997	0.996	0.995
KL-1 型	2	0.466	0.440	0.423	0.408
	4	0.715	0.686	0.665	0.649
	6	0.848	0.800	0.806	0.792
	8	0.917	0.824	0.887	0.877
KL-2 型	2	0.553	0.530	0.511	0.493
	4	0.800	0.780	0.762	0.743
	6	0.909	0.896	0.886	0.870
KL-3 型	2	0.450	0.439	0.429	0.416
	4	0.700	0.685	0.672	0.660
	6	0.834	0.823	0.813	0.802
CR 型	2	0.768	0.696	0.661	0.625
	4	0.890	0.868	0.857	0.846
	6	0.949	0.940	0.936	0.932
	8	0.962	0.959	0.957	0.956
LT 型	4	0.940	0.927	0.914	0.901

空气冷却器的传热系数和压力损失试验公式

型号	排数	作为冷却用的传热系数 $K(W/m^2 \cdot ^\circ C)$	干冷时空气压力损失 ΔP_g 和 湿冷时空气压力损失 ΔP_s	水压力损失 $\Delta h(kPa)$	作为热水加热用的传热系数 K ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	试验用的型号
LT	4	$K = \left[\frac{1}{52.1 \rho^{0.439} \xi^{0.679}} + \frac{1}{219.7 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 15.11 \rho_y^{1.863}$ $\Delta P_s = 30.613 \rho_y^{1.673}$	$\Delta h = 17.59 w^{0.92}$		小型试验样品
B或 U-II型	2	$K = \left[\frac{1}{34.3 \rho_y^{0.781} \xi^{1.03}} + \frac{1}{207 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 20.97 \rho_y^{1.39}$			B-2R-6-27
B或 U-II型	6	$K = \left[\frac{1}{31.4 \rho_y^{0.637} \xi^{0.87}} + \frac{1}{281.7 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 29.75 \rho_y^{1.98}$ $\Delta P_s = 38.93 \rho_y^{1.84}$	$\Delta h = 64.68 w^{1.854}$		B-6R-8-24
GL或 GL-II型	6	$K = \left[\frac{1}{21.1 \rho_y^{0.845} \xi^{1.13}} + \frac{1}{216.6 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 19.99 \rho_y^{1.862}$ $\Delta P_s = 32.05 \rho_y^{1.693}$	$\Delta h = 64.68 w^{1.854}$		GL-6R-8-24
JW	2	$K = \left[\frac{1}{42.1 \rho_y^{0.62} \xi^{1.01}} + \frac{1}{332.6 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 5.68 \rho_y^{1.89}$ $\Delta P_s = 25.28 \rho_y^{0.893}$	$\Delta h = 8.18 w^{1.93}$ $K = 34.77 \rho_y^{0.4} w^{0.079}$		小型试验样品
JW	4	$K = \left[\frac{1}{39.7 \rho_y^{0.52} \xi^{1.03}} + \frac{1}{332.6 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 11.96 \rho_y^{1.72}$ $\Delta P_s = 42.8 \rho_y^{0.992}$	$\Delta h = 12.54 w^{1.93}$ $K = 31.87 \rho_y^{0.48} w^{0.08}$		小型试验样品
JW	6	$K = \left[\frac{1}{41.5 \rho_y^{0.32} \xi^{1.02}} + \frac{1}{325.6 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 16.66 \rho_y^{1.75}$ $\Delta P_s = 62.23 \rho_y^{1.24}$	$\Delta h = 14.5 w^{1.93}$ $K = 30.7 \rho_y^{0.485} w^{0.08}$		小型试验样品
JW	8	$K = \left[\frac{1}{35.5 \rho_y^{0.38} \xi^{1.0}} + \frac{1}{353.6 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 23.8 \rho_y^{1.64}$ $\Delta P_s = 70.56 \rho_y^{1.24}$	$\Delta h = 20.19 w^{1.93}$ $K = 27.3 \rho_y^{0.58} w^{0.073}$		小型试验样品
SXL-B	2	$K = \left[\frac{1}{27 \rho_y^{0.423} \xi^{0.74}} + \frac{1}{157 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 17.35 \rho_y^{1.54}$ $\Delta P_s = 35.28 \rho_y^{1.4} \xi^{0.183}$	$\Delta h = 15.48 w^{1.97}$ $K = \left[\frac{1}{21.5 \rho_y^{0.526}} + \frac{1}{319.8 w^{0.8}} \right]^{-1}$		
KL-1	4	$K = \left[\frac{1}{32.6 \rho_y^{0.57} \xi^{0.987}} + \frac{1}{350.1 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 24.21 \rho_y^{1.823}$ $\Delta P_s = 24.01 \rho_y^{1.913}$	$\Delta h = 18.03 w^{2.1}$ $K = \left[\frac{1}{28.6 \rho_y^{0.636}} + \frac{1}{286.1 w^{0.8}} \right]^{-1}$		
KL-2	4	$K = \left[\frac{1}{29 \rho_y^{0.622} \xi^{0.758}} + \frac{1}{385 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 27 \rho_y^{1.43}$ $\Delta P_s = 42.2 \rho_y^{1.2} \xi^{0.18}$	$\Delta h = 22.5 w^{2.1}$ $K = 11.16 \rho_y + 15.54 w^{0.276}$		KL-2-4-6-10/600
KL-3	6	$K = \left[\frac{1}{27.5 \rho_y^{0.718} \xi^{0.847}} + \frac{1}{460.5 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = 26.3 \rho_y^{1.75}$ $\Delta P_s = 63.3 \rho_y^{1.2} \xi^{0.13}$	$\Delta h = 27.9 w^{1.81}$ $K = 12.97 \rho_y + 15.08 w^{0.13}$		KL-3-6-10/600
CR	2~8	$K = B \cdot \left[\frac{1}{31.89 \rho_y^{0.422} \xi^{0.602}} + \frac{1}{180.74 w^{0.8}} \right]^{-1}$	$\Delta P_g = B_g \cdot 6.83 \rho_y^{1.743}$ $\Delta P_s = B_s \cdot 8.91 \rho_y^{1.748} \xi^{0.256}$	$\Delta h = 19 w^{1.23}$		

注: CR排数修正系数

	2	4	6	8
B	1.228	1.298	1.340	1.371
B _g	1.56	2.43	3.14	3.78
B _s	1.67	2.46	3.20	3.86

空气冷却器性能参数

表 11.6-14

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
型号	UⅡ	GLⅡ	JW	SXL-B	KL-2	PB	LT	CR	TSL	JKW	*	
肋片特性	材料	铜	钢	铝	铝	铝	铝	铝	铝	铝	铝	
	片型 (mm)	皱折片	皱折片	光滑片	镍片	轧片	轧片	波纹套片	条缝套片	平板套片	平板套片	
	片厚 (mm)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	
	片距 (mm)	3.2	3.2	3.0	2.32	2.5	3.5	3.2	3.5	2.5	2.43	2.29
管子特性	材料	铜	钢	钢	钢	铝	铝	铜	铜	铜	铜	
	外径 (mm)	16	18	16	25	20	26	16	16	16	16	
	内径 (mm)	14	14	12	19	16	20	14	15	14.5	14	
	管间距 (mm)	35.33	39	34	60	41	50	50.3	40	37.5	37	40
	排间距 (mm)	30.6	33.8	29.4	52.0	35.5	43.3	35.7	34.64	32.48	32	34.64
每m传热面积 (m ²)	0.55	0.64	0.45	1.825	0.775	0.63	0.94	0.766	0.841	0.867	1.072	
肋化系数	12.3	14.56	11.9	30.4	15.4	10.0	16.7	16.17	18.83	20.48	22.64	
肋通系数 α	15.8	15.8	12.3	28.5	19.3	12.7	18.71	19.14	22.42	23.42	26.8	
传热系数K (W/m ² ·℃)	59.7	58.2	69.4	37.6	60.8	64.2	47.3	57.2	48	38.5	43.8	
$K\alpha$	943.26	919.56	853.62	1071.6	1173.44	815.34	884.98	1094.81	1076.16	901.67	1173.84	
旁通系数	0.252	0.371	0.232	0.058	0.238	0.267	0.232	0.143	0.135	0.139	0.106	
焓降 Δi (kJ/kg)	16.5	16.6	15.0	17.2	19.4	15.1	15.3	17.8	17.6	15.4	18.4	
通水截面积 $\times 10^{-3}$ (m ²)	3.08	2.77	2.26	3.26	3.62	4.40	2.16	3.18	2.97	2.77	2.77	
水温升 (℃)	2.26	2.53	2.79	2.22	2.25	1.45	3.00	2.37	2.49	2.34	2.80	
水量 (kg/h)	10888	9976	8136	11736	13032	15833	7758	11451	10700	9976	9976	
水压力损失 (kPa)	44	44	12.8	15.8	22.1	23	19.8	19.3	8.5	51.7	8.76	
空气压力损失 ΔP (Pa)	161	175	109	137	132	121	112	126	99	120	136	
E_w	221	199	47	84	136	165	69	100	41	234	40	
E_A	337	367	227	287	276	254	234	251	207	250	285	
COP_A	87	80	100	106	124	106	116	125	150	109	114	
COP	52.2	51.8	96.2	81.7	82.9	63.5	89.2	89.8	125.0	56.1	99.7	
冷量Q (kW)	29.1	29.3	26.4	30.3	34.1	26.6	27.1	31.5	31.0	27.2	32.4	
单位体积冷量 Q_v (kW/m ³)	254	243	234	198	276	193	217	257	261	138	265	

注：第11项*，型号未定。

空气冷却器空气压力损失(Pa)

表 11.6-15(1)

型号	冷却过程	排深	迎面风速 v_f (m/s)										
			1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
JW	干冷	2	5.8	8.2	11.0	14.1	17.6	21.5	25.7	30.3	35.3	40.6	46.3
		4	12.2	16.7	21.8	27.4	33.5	40.2	47.4	55.0	63.1	71.7	80.7
		6	17.0	23.4	30.6	38.7	47.6	57.1	67.6	78.7	90.5	103.0	116.3
		8	24.3	33.4	43.6	55.1	67.6	81.2	95.8	111.5	128.1	145.8	164.4
	湿冷	2	25.8	30.4	34.9	39.3	43.7	48.0	52.3	58.5	60.7	64.8	69.0
		4	43.7	52.4	61.0	69.7	78.3	86.9	95.5	104.1	112.8	121.4	130.0
		6	63.5	77.6	91.9	106.5	121.2	136.1	151.2	166.3	181.7	197.1	212.6
		8	72.0	89.8	108.2	127.2	146.6	166.6	186.9	207.7	228.8	250.3	272.1
GL II	干冷	2	6.8	9.6	12.8	16.4	20.4	24.8	29.6	34.8	40.2	46.2	52.6
		4	13.6	19.2	25.6	32.8	40.8	49.6	59.2	69.6	80.4	92.4	105.2
		6	20.4	28.8	38.4	49.2	61.2	74.4	88.8	104.4	120.6	138.6	157.8
		8	27.2	38.4	51.2	65.6	81.6	99.2	118.4	139.2	160.8	184.8	210.4
	湿冷	2	10.9	14.8	19.2	24.2	29.6	35.4	41.4	48.0	55.0	62.4	70.2
		4	21.8	29.6	38.4	48.4	59.2	70.8	82.8	96.0	110.0	124.8	140.4
		6	32.7	44.4	57.6	72.6	88.8	106.2	124.2	144.0	165.0	187.2	210.6
		8	43.6	59.2	76.8	96.8	118.4	141.6	165.6	192.0	220.0	249.6	280.8
UII	干冷	2	10.1	14.6	19.8	25.6	32.4	40.0	48.2	57.2	67.2	77.4	89.2
		4	20.2	29.2	39.6	51.2	64.8	80.0	96.4	114.4	134.4	158.4	178.4
		6	30.3	43.8	59.4	76.8	97.2	120.0	144.6	171.6	201.6	232.2	267.6
		8	40.4	58.4	79.2	102.4	129.6	160.0	192.8	228.8	268.8	309.6	356.8
	湿冷	2	13.2	18.6	24.6	31.4	39.0	47.4	56.4	66.4	76.8	88.0	100.0
		4	26.5	37.2	49.2	62.8	78.0	94.8	112.8	132.8	153.6	176.0	200.0
		6	39.6	55.8	73.8	94.2	117.0	142.2	169.2	199.2	230.4	264.0	300.0
		8	53.0	74.4	98.4	125.6	156.0	189.6	225.6	265.6	307.2	352.0	400.0
KL-1	干冷	2	12.2	17.0	22.6	28.8	35.6	43.2	51.4	60.4	69.8	79.8	90.6
		4	24.4	34.0	45.2	57.6	71.2	86.4	102.8	120.8	139.6	159.6	181.2
		6	36.6	51.0	67.8	86.4	106.8	129.6	154.2	181.2	209.4	239.4	271.8
		8	48.8	68.0	90.4	115.2	142.4	172.8	205.6	241.6	279.2	319.2	362.4
	湿冷	2	12.2	17.4	23.2	30.0	37.6	46.0	55.2	65.2	76.0	87.4	99.8
		4	24.4	34.8	46.4	60.0	75.2	92.0	110.4	130.4	152.0	174.8	199.6
		6	36.6	52.2	69.6	90.0	112.8	138.0	165.6	195.6	228.0	262.2	299.4
		8	48.8	69.6	92.8	120.0	150.4	184.0	220.8	260.8	304.0	349.6	399.2
LT	干冷	4	15.1	21.3	28.5	36.6	45.7	55.7	66.7	78.6	91.3	105.0	119.6
	湿冷	4	30.6	41.5	53.8	67.2	81.8	97.6	114.5	132.4	151.4	171.4	192.4

空气冷却器空气压力损失(kPa)

表 11.6-15(2)

型号	冷却过程	排深 N	析湿系 数 ζ	迎面风速 v_f (m/s)										
				1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
SXL-B	干冷	2	1.0	9.0	12.0	15.2	18.6	22.2	26.2	30.4	34.6	39.2	44.0	48.8
		4		18.0	24.0	30.4	37.2	44.4	52.4	60.8	69.2	78.4	88.0	97.6
		6		27.0	36.0	45.6	55.8	66.6	78.6	91.2	103.8	117.6	132.0	146.4
		8		36.0	48.0	60.8	74.4	88.8	104.8	121.6	138.4	156.8	176.0	195.2
	湿冷	2	1.2	19.6	25.2	31.4	36.6	44.6	51.6	59.0	66.6	74.6	82.8	91.2
			2.4	22.2	28.8	37.8	41.6	50.6	60.4	67.0	75.8	84.8	94.0	103.6
		4	1.2	39.2	50.4	62.8	73.2	89.2	103.2	118.0	133.2	149.2	165.6	182.4
			2.4	44.4	57.6	75.6	83.2	101.2	120.8	134.0	151.6	169.0	188.0	207.2
6	1.2	58.8	75.6	94.2	109.8	133.8	154.8	177.0	199.8	223.8	248.4	273.6		
	2.4	66.6	86.4	113.4	124.8	151.8	181.2	201.0	227.4	254.4	282.0	310.8		
8	1.2	78.4	100.8	125.6	146.4	178.4	206.4	236.0	266.4	298.4	331.2	364.8		
	2.4	88.8	115.2	151.2	166.4	202.4	241.6	268.0	303.2	339.2	376.0	414.4		
KL-2	干冷	2	1.0	13.8	18.0	22.4	27.0	32.0	37.2	42.6	48.2	54.2	60.2	66.4
		4		27.6	36.0	44.8	54.0	64.0	74.4	85.2	96.4	108.4	120.4	132.8
		6		41.4	54.0	67.2	81.0	96.0	111.6	127.8	144.6	162.6	180.6	199.2
		8		55.2	72.0	89.6	108.0	128.0	148.8	170.4	192.8	216.8	240.8	265.6
	湿冷	2	1.2	22.2	27.4	32.6	37.8	43.2	48.8	54.2	59.8	65.6	71.2	77.0
			2.4	25.2	31.1	37.0	42.9	49.1	55.4	61.6	67.9	75.4	80.9	87.5
		4	1.2	44.4	54.8	65.2	75.6	86.4	97.6	108.4	119.6	131.2	142.4	154.0
			2.4	50.4	62.2	74.0	85.8	98.2	110.8	123.2	135.8	149.0	161.8	175.0
6	1.2	66.6	82.2	97.8	113.4	129.6	146.4	162.6	179.4	196.8	213.6	231.0		
	2.4	75.6	93.3	111.0	128.7	147.3	166.2	184.8	203.7	223.5	242.7	262.5		
8	1.2	88.8	109.6	130.4	151.2	172.8	195.2	216.8	239.2	262.4	284.8	308.0		
	2.4	100.8	124.4	148.0	171.6	196.4	221.6	246.4	271.6	298.0	323.6	350.0		
KL-3	干冷	2	1.0	8.9	12.2	16.0	20.4	25.0	30.0	35.4	41.2	47.4	54.0	61.0
		4		17.8	24.4	32.0	40.8	50.0	60.0	70.8	82.4	94.8	108.0	122.0
		6		26.8	36.6	48.0	61.2	75.0	90.0	106.2	123.6	142.2	162.0	183.0
		8		35.7	48.8	64.0	81.6	100.0	120.0	141.6	164.8	189.6	216.0	244.0
	湿冷	2	1.2	22.2	27.8	33.4	39.2	45.0	51.2	57.4	63.6	70.0	76.6	83.2
			2.4	24.6	30.8	37.0	43.4	49.8	56.7	63.5	70.4	77.5	84.8	92.1
		4	1.2	44.4	55.6	66.8	78.4	90.0	102.4	114.8	127.2	140.0	153.2	166.4
			2.4	49.2	61.6	74.0	86.8	99.6	113.4	127.0	140.8	155.0	169.6	184.2
6	1.2	66.6	83.4	100.2	117.6	135.0	153.6	172.2	190.8	210.0	229.8	249.6		
	2.4	73.8	92.4	111.0	130.2	149.4	170.1	190.5	211.2	232.5	254.4	276.3		
8	1.2	88.8	111.2	133.6	156.8	180.0	204.8	229.6	254.4	280.0	306.4	332.8		
	2.4	98.4	123.2	148.0	173.6	199.2	226.8	254.0	281.6	310.0	339.2	368.4		

空气冷却器水压力损失(kPa)

表 11.6-16

型号	排深 N	水 速 $w(m/s)$											
		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
JW	2	1.4	3.1	5.4	8.3	11.9	15.9	20.7	26.0	31.8	38.2	45.3	52.8
	4	2.2	4.8	8.3	12.8	18.2	24.4	31.7	39.8	48.8	58.6	69.4	79.6
	6	2.5	5.5	9.6	14.8	21.0	28.3	36.7	46.0	56.4	67.8	80.2	93.5
	8	3.5	7.7	13.4	20.6	29.3	39.3	51.1	64.1	78.5	94.3	111.7	130.2
UII GL II	2	4.0	8.5	14.5	22.0	30.8	41.1	52.6	65.4	79.5	94.9	111.5	129.1
	4	8.1	17.1	29.1	41.0	61.6	82.1	105.2	130.9	159.1	189.8	223.0	258.7
	6	12.1	25.6	43.6	66.0	92.4	123.2	157.7	196.3	238.6	284.7	334.6	388.1
	8	16.1	34.1	58.2	88.0	123.2	164.2	210.3	261.7	318.1	379.6	446.1	517.4
SXL-B	2	1.3	2.9	5.2	8.0	11.5	15.5	20.2	25.5	31.3	37.8	44.9	52.6
	4	2.6	5.9	10.3	16.0	22.9	31.0	40.4	50.9	62.7	75.6	89.8	105.1
	6	3.8	8.8	15.5	24.0	34.4	46.6	60.6	76.4	94.0	113.4	134.7	157.7
	8	5.1	11.7	20.6	32.0	45.8	62.1	80.8	101.9	125.4	151.3	179.6	210.2
KL-1	2	1.3	3.2	5.8	9.2	13.5	18.7	24.7	31.6	39.4	48.2	57.8	68.1
	4	2.7	6.3	11.5	18.4	27.0	37.3	49.4	63.2	78.9	96.4	115.7	136.9
	6	4.0	9.4	17.3	27.6	40.5	55.9	74.1	94.8	118.3	144.5	173.5	205.3
	8	5.4	12.6	23.0	36.8	54.0	74.6	98.7	126.4	157.8	192.7	231.4	273.7
KL-2	2	2.2	4.6	7.7	11.5	16.0	21.1	26.8	33.1	40.0	47.5	55.6	64.2
	4	4.4	9.2	15.4	23.0	32.0	42.2	53.6	66.2	80.1	95.1	111.2	128.4
	6	6.6	13.8	23.1	34.5	48.0	63.3	80.4	99.4	120.1	142.6	166.8	192.6
	8	8.8	18.4	30.8	46.0	64.0	84.4	107.2	132.3	160.2	190.2	222.4	256.9
KL-3	2	1.8	3.8	6.4	9.6	13.4	17.7	22.5	27.8	33.7	40.0	46.8	54.1
	4	3.7	7.6	12.8	19.2	26.7	35.3	44.9	55.6	67.3	80.0	93.6	108.3
	6	5.5	11.4	19.2	28.8	40.1	53.0	67.4	83.5	101.0	120.0	140.5	162.4
	8	7.3	15.3	25.7	38.4	53.4	70.6	89.9	111.2	134.6	160.0	187.3	216.5
LT	4	7.6	11.0	14.3	17.6	20.8	24.0	27.1	30.2	33.3	36.3	39.4	42.4

(2) 热工校核计算 见表11.6-17。

已知条件：①空气量 G ，②空气初参数 t_{g1} 、 t_{s1} 、 i_1 ，③冷水量 W 和冷水初温 t_{w1} ，④冷却器型号、排数。

求解：对空气进行冷却干燥时所能达到的空气终状态和水终温。

空气冷却器热工校核计算

表 11.6-17

计算步骤	计算内容	计算公式和图表
1	迎面风速 v_y 和水流速 w	1. 由空气冷却器样本查出迎风面积 F_y 、每排传热面积 F_d 和通水截面积 f_w 2. 计算迎面风速 $v_y = \frac{G}{F_y \cdot \rho} \quad \text{m/s} \quad (11.6-16)$ 3. 计算水流速 $w = \frac{W}{f_w \times 10^3} \quad \text{m/s} \quad (11.6-17)$
2	接触系数 ϵ_2	由表11.6-12，按迎面风速 v_y 、排数 N ，查得 ϵ_2

续表

计算步骤	计算内容	计算公式和图表
3	空气终状态 t_{k2} 、 t_{s2} 、 i_2	1. 先假定空气干球温度 $t_{k2} = t_{w1} + (4 \sim 6) \text{ } ^\circ\text{C}$ 2. 计算空气湿球温度 $t_{s2} = t_{k2} - (t_{k1} - t_{s1})(1 - \varepsilon_2) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11.6-18)$ 3. 查 $i-d$ 图, 得 i_2
4	析湿系数 ξ	$\xi = \frac{i_1 - i_2}{c_p(t_{k1} - t_{k2})} \quad (11.6-19)$
5	传热系数 K	由表 11.6-13 的相应公式算出传热系数 K
6	热交换效率系数 ε_1	1. 计算传热单元数 $\beta = \frac{KF}{\xi Gc_p} \quad (11.6-20)$ 2. 计算水当量比 $y = \frac{\xi Gc_p}{Wc} \quad (11.6-21)$ 3. 由 β 、 y , 查图 11.6-8 得 ε_1' 4. 计算 $\varepsilon_1 = \frac{t_{k1} - t_{k2}}{t_{k1} - t_{w1}} \quad (11.6-22)$ 5. 比较 ε_1' 与 ε_1 , 若接近, 可取用
7	水终温 t_{w2}	$t_{w2} = t_{w1} + \frac{G(i_1 - i_2)}{Wc} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11.6-23)$

符号同表 11.6-11。

11.6.3 喷水室

1. 设计要点

(1) 冷却去湿时, 每级喷水室的喷嘴, 一般采用两排对喷。两排之间的间距, 过去国内产品大多为 600mm, 目前有的国内产品已采用 1050~1200mm, 间距加大并不提高热交换效率。喷淋管与分风板和挡水板的距离一般采用 200~300mm。喷嘴密度, 目前国内低速喷水室 Y-1 型喷嘴为 13~24 个/ $\text{m}^2 \cdot \text{排}$, JS 型高速喷水室离心喷嘴则为 38~41 个/ $\text{m}^2 \cdot \text{排}$ 。

(2) 喷嘴的选用

常用的有 Y-1 型、FKT 型(仿 LUWA)、FL 型(仿 LTG)、BTL-1 型(仿 KRANTZ) 和 PY-1 型。喷嘴的装卸采用不锈钢卡环, 比较简便。

对于冷却去湿过程, 喷水压力一般为 100~150kPa (1~1.5 kg/cm^2), 不宜大于 250kPa。

(3) 通过喷水室断面的空气质量流速 $v\rho$ 一般可取 2.5~3.5 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。

(4) 喷水室中喷水段前后应分别设置分风板和挡水板, 挡水板与空调器壁间应保证严密, 并应考虑挡水板后气流中的带水量对处理后的空气参数的影响。常用的折板形挡水板, 当空气质量流速为 3.6 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时, 其局部阻力系数为 10.4~11.4。挡水板的过水量应不超过 0.4g/kg。

从瑞士罗瓦公司引进的波形挡水板, 当空气的质量流速为 4.2~7.8 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时, 其阻力系数为 3.8, 板材采用改性聚氯乙烯塑料。国内已生产 JS 型波形挡水板和在此基础上改

进的蛇形挡水板。

(5) 冷水温升一般采用 3 ~ 5 °C。据实测, 目前国产空调机组, 二排喷水室最大焓降可达 37.71 kJ/kg, 最大进回水温差可达 6.5 °C, 三排喷水室最大焓降可达 41.9 kJ/kg。

(6) 喷水室补充水量可按水量的 2 ~ 4 % 考虑。

(7) 制冷系统采用螺旋管式或直立管式蒸发器时, 喷水室的回水, 宜利用重力流回蒸发器的水箱。

(8) 二排或三排的单级喷水室喷嘴密度为 18 ~ 24 个/m²·排, 当在以下工况进行试验时: 进风干球温度 27 °C、进风湿球温度 19.5 °C、进口水温 7 °C、进出水温差 5 °C, 喷水段热交换效率应不小于表 11.6-18 规定。

喷水室热交换效率

表 11.6-18

迎面风速 v_f	kg/(m ² ·s)	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	>3.0
喷嘴直径	>4 mm	0.63	0.63	0.64	0.64	0.65	0.68
d	<4 mm	0.72	0.72	0.73	0.74	0.74	0.78

注: 喷嘴直径 >4 mm, 供水表压 117.7 kPa;
 喷嘴直径 2.5 ~ 3.5 mm, 供水表压 196.1 kPa;
 喷嘴直径 2 ~ 2.5 mm, 供水表压 345.8 kPa。

2. 热工计算和压力损失计算

(1) 热工设计计算 见表 11.6-19。

已知条件: ①空气量 G , ②空气初终状态 t_{g1} 、 t_{g2} 、 t_{s1} 、 t_{s2} 、 i_1 、 i_2 。

求解: ①喷水量 W , ②水的初终温度 t_{w1} 、 t_{w2} , ③喷水室结构。

喷水室热工设计计算

表 11.6-19

计算步骤	计算内容	计算公式
1	接触系数 η_1	$\eta_1 = 1 - \frac{t_{g2} - t_{s2}}{t_{g1} - t_{s1}} \quad (11.6-24)$
2	η_1 实验公式	1. 选用喷水室结构, 计算 $v\rho$ 2. 查取相应空气处理过程 η_1 的实验公式 $\eta_1 = A(v\rho)^m \mu^n \quad (11.6-25)$
3	求 μ 值	1. 使 η_1 的 (11.6-24) 与 (11.6-25) 两式相等 2. 求出 μ 值
4	求喷水量 W	$W = \mu G \quad \text{kg/h} \quad (11.6-26)$
5	热交换效率系数 η_2	$\eta_2 = 1 - \frac{t_{s2} - t_{w2}}{t_{s1} - t_{w1}} \quad (11.6-27)$
6	η_2 实验公式	查取相应空气处理过程 η_2 的实验公式 $\eta_2 = A'(v\rho)^{m'} \mu^{n'} \quad (11.6-28)$
7	热平衡方程式	$i_1 - i_2 = \mu C_w (t_{w2} - t_{w1}) \quad (11.6-29)$
8	水的初、终温度 t_{w1} 、 t_{w2}	联立式 (11.6-28) 和 (11.6-29), 求得 t_{w1} 、 t_{w2}

(2) 热工校核计算 见表 11.6-20。

已知条件: ①空气量 G , ②空气初状态 t_{g1} 、 t_{s1} 、 i_1 , ③水量 W , ④水初温 t_{w1} 。

求解: ①空气终状态 t_{g2} 、 t_{s2} 、 i_2 , ②水终温 t_{w2} 。

喷水室热工校核计算

表 11.6-20

计算步骤	计算内容	计算公式
1	水气比 μ	$\mu = \frac{W}{G} \quad (11.6-30)$
2	η_1, η_2	按选喷水室结构的相应空气处理过程的两个实验公式, 求出: $\eta_1 = A(v\rho)^m \mu^n \quad (11.6-31)$ $\eta_2 = A'(v\rho)^{m'} \mu^{n'} \quad (11.6-32)$
3	t_{s2}, t_{w2}	1. $\eta_2 = 1 - \frac{t_{s2} - t_{w2}}{t_{s1} - t_{w1}} \quad (11.6-33)$ 2. $a_1 t_{s1} - a_2 t_{s2} = c_w \mu (t_{w2} - t_{w1}) \quad (11.6-34)$ 3. 联立式 (11.6-33) 和式 (11.6-34) 求得 t_{s2}, t_{w2}
4	t_{s2}	$\eta_1 = 1 - \frac{t_{s2} - t_{s1}}{t_{s1} - t_{s1}}, \text{ 求得 } t_{s2} \quad (11.6-35)$
5	i_2	$i_1 - i_2 = c_w \mu (t_{w2} - t_{w1}), \text{ 求得 } i_2 \quad (11.6-36)$

表中符号

- G ——通过喷水室的空气量, kg/h;
- W ——喷水量, kg/h;
- t_{s1}, t_{s2} ——空气初、终状态干球温度, $^{\circ}\text{C}$;
- t_{s1}, t_{s2} ——空气初、终状态湿球温度, $^{\circ}\text{C}$;
- i_1, i_2 ——空气初、终状态的焓, kJ/kg;
- η_1 ——喷水室接触系数;
- η_2 ——喷水室热交换效率系数;
- μ ——水气比 (或喷水系数) $\mu = \frac{W}{G}$, kg/kg;
- 空气冷却干燥过程, 取 $\mu = 1 \sim 1.5$;
- 空气绝热加湿过程, 取 $\mu = 0.5 \sim 1$;
- c_w ——水的比热, 在常温下为 4.19 kJ/kg;
- v ——空气流速, m/s;
- ρ ——空气密度, kg/m³;
- A, A', m, m', n, n' ——实验得出的系数和指数;
- a ——空气的焓与湿球温度的比值, 见表 11.6-21。

空气的焓与湿球温度的比值

表 11.6-21

大气压力 (Pa)	湿球温度 t_s ($^{\circ}\text{C}$)					
	5	10	15	20	25	30
101325	3.73	2.93	2.81	2.87	3.06	3.21
99325	3.77	2.98	2.84	2.90	3.08	3.23
97325	3.90	3.01	2.91	2.97	3.14	3.28
95325	3.94	3.06	2.94	2.98	3.18	3.31

(3) 喷水室压力损失计算

一般按产品资料选用, 若无资料, 则可按表 11.6-22 估算。

喷水室压力损失计算

表 11.6-22

计算压力损失	计算公式
挡水板压力损失 ΔP_1	$\Delta P_1 = \zeta_d \frac{v^2 \rho}{2} \text{ Pa}$ (11.6-37)
分风板压力损失 ΔP_2	$\Delta P_2 = \zeta_r \frac{v^2 \rho}{2} \text{ Pa}$ (11.6-38)
喷水压力损失 ΔP_3	$\Delta P_3 = 11572 \zeta_p \mu P \text{ Pa}$ (11.6-39)

表中符号

- ζ_d, ζ_r ——挡水板、分风板阻力系数, 见表11.6-23;
- ζ_p ——喷水的阻力系数, 顺喷 $\zeta_p = 0$, 逆喷 $\zeta_p = 0.13$, 对喷 $\zeta_p = 0.075$;
- v ——空气在挡水板、分风板断面上的迎面风速, m/s;
- ρ ——空气密度, kg/m³;
- g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;
- μ ——水气比, kg/kg;
- P ——喷水压力, kPa。

挡水板和分风板的阻力系数

表 11.6-23

构造型式	挡水板		分风板	
	折数	ζ_d	折数	ζ_r
钢板制, 折角90°, 间距40mm	4	18	3	9
钢板制, 折角120°, 间距25mm	6	13	3	6
玻璃制, 折角120°, 间距30mm	6	12	3	6

11.6.4 空气的加热

1. 设计要点

(1) 空调系统的热媒, 宜采用热水或蒸汽。当某些房间的温湿度需要单独进行控制, 且安装和选用热水或蒸汽加热装置有困难或不经济时, 室温调节加热器可采用电加热器。对于工艺性空调系统, 当室温允许波动范围小于 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 时, 室温调节加热器应采用电加热器。

空调系统的热媒和加热器类型一般可按表11.6-24选用。

热媒和加热器类型

表 11.6-24

室温允许波动范围 (°C)	二次加热器	室温调节加热器
$> \pm 1$	高、低压蒸汽或热水	
$+1$ $< \pm 1$	高、低压蒸汽或热水 低压蒸汽或热水	低压蒸汽或热水 电加热器

(2) 空气加热器的热媒参数(压力、温度)应稳定; 采用蒸汽为热媒的二次加热器和室温调节加热器, 须按汽压大小, 使压力稳定在 $\pm 50 \sim 100 \text{ kPa}$ 。若为电加热器时, 则要求电压波动范围不超过 $\pm 10\%$, 否则应设稳压装置。

(3) 室外空气或室内、外混合空气的焓值 $i_w < 10.5 \text{ kJ/kg}$ 时, 宜设计新风预热器, 一般可预热到 $+5^\circ\text{C}$ 。当热媒为热水时, 应采取防冻措施。

(4) 空气加热器可以垂直或水平安装, 水平安装时, 应具有 $<1/100$ 的斜度, 以便排除凝结水。

(5) 被加热空气的温升大时, 宜采用串联安装; 通过空气量大时, 应采用并联安装。热媒是蒸汽时, 蒸汽管路与加热器之间应并联连接; 热媒是热水时, 热水管路与加热器之间并联、串联均可, 连接方法见图11.6-9~图11.6-11。

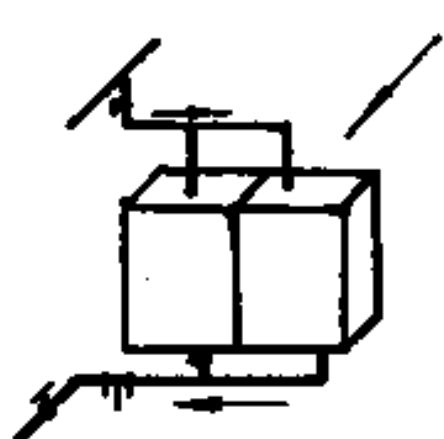


图 11.6-9 热水管路与加热器并联连接

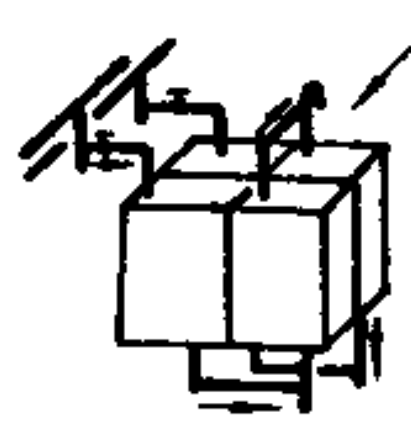
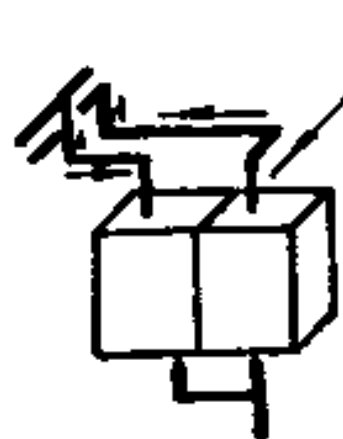
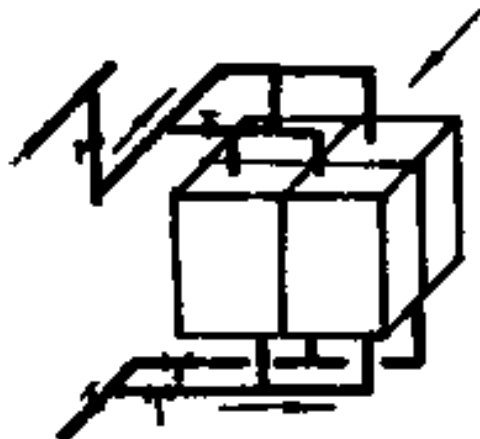


图 11.6-10 热水管路与加热器串联连接

(6) 蒸汽加热器入口的管路上, 应安装压力表和调节阀。在凝水管路上应安装疏水器。疏水器前后须安装截止阀, 疏水器后安装检查管。热水加热器的供回水管路上应安装调节阀和温度计, 加热器上还应安设放气阀。

(7) 考虑到空气加热器的结垢与积灰等因素, 传热面积宜附加 $10\sim 20\%$ 。此附加值在系统水力计算时可不计。

(8) 通过空气加热器的空气质量流速 v_p , 应采用使运行费和初投资的总和为最小的经济质量流速, 通常取 $v_p = 8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 左右。

(9) 热水加热器的传热系数 K 值受热水流速的影响, 增加热水流速 w 可以提高 K 值, 但 w 过大, K 值增加趋极限, 而水流阻力急剧增加, 因此, 一般低温热水($t < 100^\circ\text{C}$)加热系统中, 取 $w = 0.6 \sim 1.8 \text{ m/s}$ 较经济, 对高温热水, 可取 $w = 0.2 \text{ m/s}$ 左右。

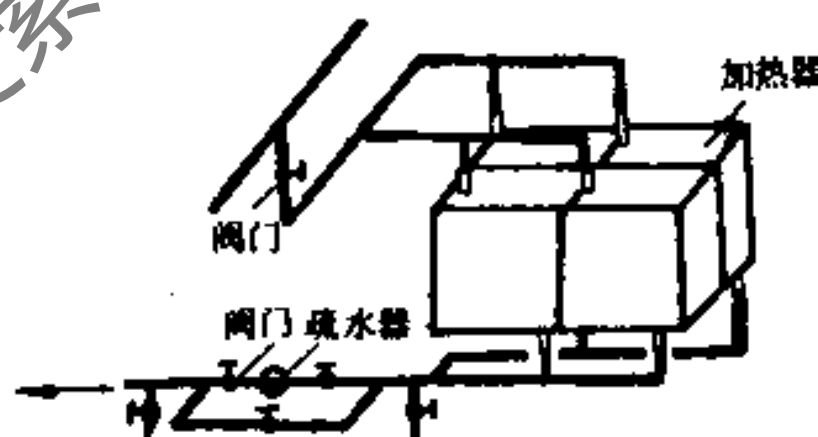


图 11.6-11 蒸汽管路与加热器并联连接

(10) 计算加热器压力损失时, 对空气侧须考虑 1.2 的安全系数。对于蒸汽系统, 加热器前的蒸汽压力, 应保持不小于 30 kPa (0.3 kg/cm^2)。

(11) 空气加热器内外介质的温差较大, 可以根据不同条件选用钢管钢片或铜管铝片。

(12) 对于冷、热两用的表面式换热器, 其热媒以用热水为宜, 热水温度应低于 65°C , 且应进行软化处理。

2. 空气加热器的选择计算 (见表11.6-25)

已知条件: ①空气量 G , ②空气初、终干球温度 t_{g1} 、 t_{g2} , ③热媒初参数。

求解: 选择空气加热器型号、规格和压力损失。

3. 电加热器

(1) 电加热系统的设计

空气加热器选择计算

表 11.6-25

计算步骤	计算内容	计算公式和图表
1	初选加热器型号	1. 假定 $(v\rho)' = 8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 2. 计算加热器有效截面积 $f' = \frac{G}{(v\rho)'} \text{ m}^2$ 3. 由 f' 查样本, 选择合适的空气加热器, 找得实际的每台有效截面积 f_1 , 加热面积 F_1 和并联台数 M 4. 由 G 、 f_1 、 M 计算实际的 $v\rho$ $v\rho = \frac{G}{f_1 M} = \frac{G}{f} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad (11.6-40)$
2	传热系数 K	由样本或表 11.6-26 确定加热器的传热系数 注: 蒸气加热器, 应代入 $v\rho$; 热水加热器, 应代入 $v\rho$ 与 w
3	加热面积 F 、台数 N	1. 计算需要的加热量 $Q = G c_p (t_{g2} - t_{g1}) \text{ W} \quad (11.6-41)$ 2. 确定加热面积为 $F = \frac{Q}{K \Delta t_p} \text{ m}^2 \quad (11.6-42)$ 3. 确定需要的加热器串联 (对空气) 台数 $N = \frac{F}{F_1 M} \quad (11.6-43)$
4	安全系数	$\frac{M N F_1 - F}{F} \times 100\% \approx 10\% \sim 20\%$
5	空气压力损失 ΔP 水压力损失 Δh	1. 查样本或表 11.6-26 查得加热器的空气压力损失和水压力损失经验公式 2. 空气压力损失公式内代入 $v\rho$ 求得 ΔP , 水压力损失公式内代入 w 求得 Δh

表中符号

- G ——空气量, kg/s ;
 $v\rho$ ——空气质量流速, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$;
 f, f', f_1 ——实际、计算、每台有效截面积, m^2 ;
 F, F_1 ——需要的、每台加热面积, m^2 ;
 M, N ——并联、串联排数;
 Q ——计算需要的加热量, W ;
 K ——传热系数, $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$;
 t_{g1}, t_{g2} ——空气初、终状态干球温度, C ;
 Δt_p ——热媒与空气之间的平均温差, C ;
 当热媒为热水时, $\Delta t_p = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - \frac{t_{g1} + t_{g2}}{2} \text{ C} \quad (11.6-44)$
 当热媒为蒸汽时, $\Delta t_p = t_g - \frac{t_{g1} + t_{g2}}{2} \text{ C} \quad (11.6-45)$

式中 t_{w1}, t_{w2} ——热水的初、终温度, C ; t_g ——蒸汽温度, C ; c_p ——空气定压比热, $c_p = 1010 \text{ J/kg} \cdot \text{C}$; ΔP ——空气压力损失, Pa ; Δh ——水压力损失, Pa 。

常用的电加热器有: 裸线式和管状两种。

为了确保安全, 设计电加热系统特别是采用裸线式电加热器时, 必须满足下述要求:

- 电加热器宜安设在风管中, 尽量不要放在空调器内。
- 电加热器应与送风机联锁。
- 安装电加热器的金属风管应有良好的接地。
- 电加热器前后各 0.8 m 范围内的风管, 其保温材料均应采用绝缘的非燃烧材料。

部分空气加热器的传热系数和压力损失计算公式

表 11.6-26

加热器型号	传热系数 $K(W/m^2 \cdot ^\circ C)$		空气压力损失 (Pa)	热水压力损失 (kPa)
	蒸 汽	热 水		
5、6、10D	$13.6(v\rho)^{0.49}$		$1.76(v\rho)^{1.998}$	D型: $15.2w^{1.96}$ ZX型: $19.3w^{1.83}$
5、6、10Z	$13.6(v\rho)^{0.49}$		$1.47(v\rho)^{1.98}$	
SRZ型 5、6、10×	$14.5(v\rho)^{0.532}$		$0.88(v\rho)^{2.12}$	
7D	$14.3(v\rho)^{0.51}$		$2.06(v\rho)^{1.17}$	
7Z	$14.3(v\rho)^{0.51}$		$2.94(v\rho)^{1.52}$	
7×	$15.1(v\rho)^{0.571}$		$1.37(v\rho)^{1.917}$	
SRL型 B×A/2 B×A/3	$15.2(v\rho)^{0.40}$ $15.1(v\rho)^{0.43}$	$16.5(v\rho)^{0.24*}$ $14.5(v\rho)^{0.29*}$	$1.71(v\rho)^{2.67}$ $3.03(v\rho)^{1.82}$	
SYA型 D Z X	$15.4(v\rho)^{0.297}$ $15.4(v\rho)^{0.297}$ $15.4(v\rho)^{0.297}$	$16.6(v\rho)^{0.36}w^{0.226}$ $16.6(v\rho)^{0.36}w^{0.226}$ $16.6(v\rho)^{0.36}w^{0.226}$	$0.86(v\rho)^{1.96}$ $0.82(v\rho)^{1.94}$ $0.78(v\rho)^{1.87}$	
I型 2C 1C	$25.7(v\rho)^{0.375}$ $26.3(v\rho)^{0.423}$		$0.80(v\rho)^{1.985}$ $0.40(v\rho)^{1.985}$	
GL或GL-II型	$19.8(v\rho)^{0.608}$	$31.9(v\rho)^{0.38}w^{0.5}$	$0.84(v\rho)^{1.862} \times N$	$10.8w^{1.834} \times N$
B、U型或U-II型	$19.8(v\rho)^{0.608}$	$25.5(v\rho)^{0.336}w^{0.0115}$	$0.84(v\rho)^{1.862} \times N$	$10.8w^{1.834} \times N$

注: (1) $v\rho$ ——空气质量流速, $kg/m^2 \cdot s$; w ——水流速, m/s ; N ——排数;
(2) *——用130℃过热水, $w=0.023 \sim 0.037 m/s$ 。

• 安装电加热器的风管与其前后段风管连接的法兰中间须加绝缘材料的衬垫, 同时也不要让连接螺栓输电。

• 暗装在吊顶内风管上的电加热器, 在相对于电加热器位置处的吊顶上应开设检修孔。

• 在电加热器后的风管中宜安设超温保护装置。

(2) 电加热器功率的确定

电加热器的功率 $P(kW)$, 可按下式计算:

$$P = \frac{L\Delta t}{3000\eta} \tag{11.6-46}$$

式中 L ——送风量, m^3/h ;

η ——电加热器的效率, $\eta=0.85 \sim 0.9$, 一般可取 $\eta=0.85$;

Δt ——经电加热器所要求的空气温升, $^\circ C$ 。

Δt 应由空调计算确定, 对于室温双位调节系统, 一般可按表11.6-27中的经验数据选用。该表适用于室内换气次数 $n < 20h^{-1}$ 。

电加热器温升的经验数据

表 11.6-27

室温允许波动范围 (°C)	控制内容	送风方式	
		侧面送风或散流器送风	孔板送风
±0.1	室温 送风收敛控制	$\Delta t = 1.5^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} + 0.5^\circ\text{C}$ $\Delta t = 2^\circ\text{C} + 4^\circ\text{C}$	$\Delta t = 1.5^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} + 0.5^\circ\text{C}$ $\Delta t = 2^\circ\text{C} + 4^\circ\text{C}$
±0.2	室温 送风收敛控制	$\Delta t = 2^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C}$ $\Delta t = 2^\circ\text{C} + 4^\circ\text{C}$	$\Delta t = 5^\circ\text{C} + 3^\circ\text{C} + 2^\circ\text{C}$
+0.5	室温	$\Delta t = 5^\circ\text{C} + 2.5^\circ\text{C} + 2.5^\circ\text{C}$	$\Delta t = 6^\circ\text{C} + 3^\circ\text{C}$
>±1	室温	$\Delta t = 8^\circ\text{C} + 4^\circ\text{C}$	$\Delta t = 8^\circ\text{C} + 4^\circ\text{C}$

注: 对采暖地区, 室温控制电加热器的总功率按过渡季的扰量计算来确定, 一般取 $\Delta t = 4 \sim 6^\circ\text{C}$ 。

电加热器采用手动控制时, 可按表中分组进行调节, 电加热器采用自动控制时, 表中分组可以减少一些, 电加热器也可以部分自控部分手动。

11.6.5 空气的加湿处理

1. 空气加湿的方法 (见表11.6-28)

空气加湿方法汇总

表 11.6-28

方法	处理过程	特征	使用例
等温加湿	<p>图11.6-12</p>	$t_1 = t_2 = \text{const}$, 没有显热交换, $d_2 > d_1$, 湿量增加的同时, 潜热 量增加, 故热焓由 i_1 增至 i_2	干蒸汽加湿、电极、电热加湿器等
等焓加湿	<p>图11.6-13</p>	加湿过程中虽有显热和潜热交换, 但由于进行的速度相等, 所以空气的 热焓保持不变, 即 $i_1 = i_2 = \text{const}$, 而空气的温度由 t_1 降至 t_2	喷水室 (循环水)、超声波和板面加湿器、透膜式加湿器等

方法	处理过程	特征	使用例
加热加湿	<p>图11.6-14</p>	<p>水温高于空气的干球温度，显热交换量大于潜热交换量；在d_1增至d_2的过程中，空气温度相应由t_1升至t_2</p>	<p>喷水室（热水-温度高于空气干球温度）</p>
冷却加湿	<p>图11.6-15</p>	<p>水温低于空气的湿球温度，但又高于空气的露点温度；空气与水的接触过程中，空气失去部分显热，其干球温度下降；水由于部分蒸发，从而空气的含湿量由d_1增至d_2</p>	<p>喷水室（水温低于空气的湿球温度，高于露点温度）</p>

2. 加湿方法的比较（见表11.6-29）

各种加湿方法的比较

表 11.6-29

序	方法	优点	缺点
1	干蒸汽加湿器	加湿迅速、均匀、稳定，效率接近100%；不带水滴、不带细菌；节省电能，运行费低；装置灵活、布置方便；既可设在空调器（机）内，也可布置在风管里	必须有汽源，并伴有输汽管道；设备结构比较复杂，初投资高
2	电极（热）加湿器	加湿迅速、均匀、稳定；控制方便、灵活；不带水滴、不带细菌；装置简单，无需汽源，无噪声	耗电量高，运行费高；不使用软化水或蒸馏水时，内部易结垢，清洗较困难
3	超声波加湿器	体积小，加湿强度大，加湿迅速，耗电量少；使用灵活，无需汽源；控制性能好；雾粒小而均匀，加湿效率高	可能带菌；单价较高；使用寿命短（振动子寿命约5000h）；加湿后尚需升温
4	喷水室	可以利用循环水，节省能源；不需汽源；装置简单，设备费与运行费低；稳定、可靠	可能带菌；水滴较大；存在冷热抵消

续表

序	方 法	优 点	缺 点
5	板面蒸发加湿器	加湿效果较好, 运行可靠, 费用低廉; 具有一定的加湿速度; 板面垫层兼有过滤作用	易产生微生物污染, 必须进行水处理
6	红外线加湿器	加湿迅速、不带水滴、不带细菌; 使用灵活、控制性能好; 装置较简单	耗电量大, 运行费高; 使用寿命不长(5000~7000h); 价格高
7	透膜式加湿器	构造简单, 运行可靠; 具有一定的加湿速度; 初投资和经常费都低	易产生微生物污染, 必须进行水处理

3. 各种加湿器的加湿能力 (见表11.6 30)

各种加湿器的加湿能力

表 11.6-30

类 型	加 湿 能 力 (kg/h)	耗 电 量 (kW/(kg·h))
1. 干蒸汽加湿器	100~300	—
2. 超声波加湿器	1.2~20	0.05
3. 电极式加湿器	4~20	0.78
4. 红外线加湿器	2~20	0.89
5. 喷水室	大容量	—

4. 干蒸汽加湿器应用须知

- 喷管组件应优先考虑布置在加热器与送风风机之间, 并尽可能靠近加热器。
- 当喷管组件必须布置在风管内时, 必须处于消声器之前, 并应在风管断面中心部位。

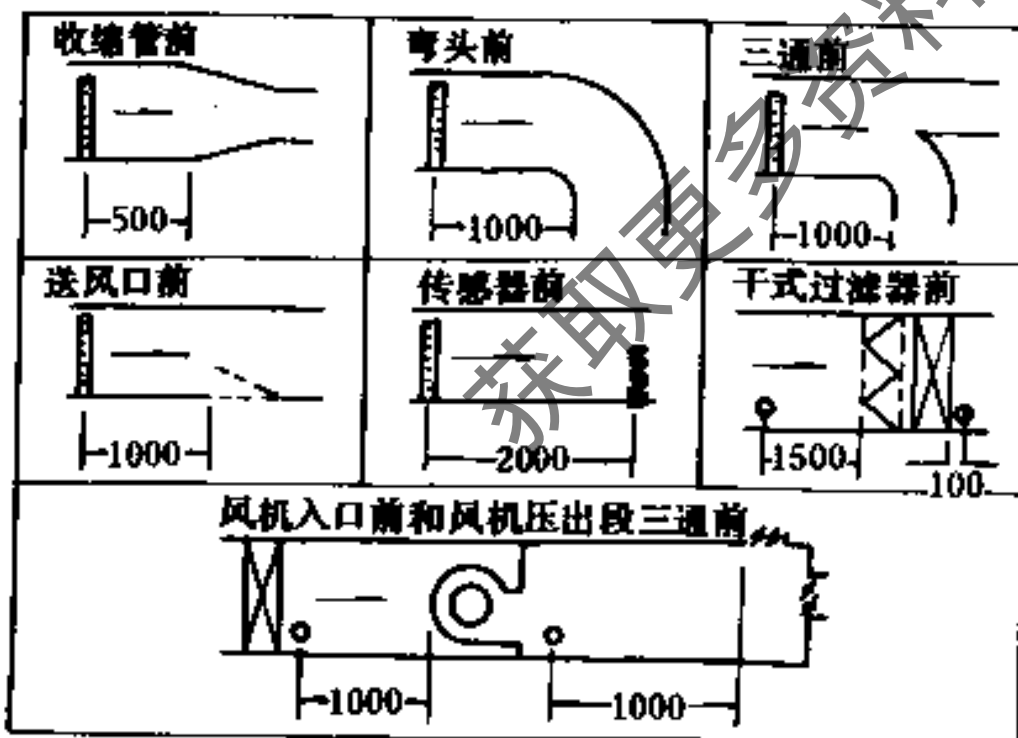


图 11.6-16 喷管前需保持的最小距离
(供汽压力50~100 kPa)

• 喷管出口与前方障碍物之间, 必须保持一定距离, 如图11.6-16所示。

• 加湿器宜水平安装 (即自动调节阀立置在风管外侧, 喷管组件水平安装在风管内), 必要时允许垂直安装, 详见图11.6-17所示。

• 接至加湿器的供汽管道, 必须从供汽干管的顶部引出, 接管长度越短越好。

• 加湿器的供汽管宜选用镀锌钢管。

- 减压阀和自动调节阀的前后, 均需安装压力表。
- 供汽管、凝水管和喷管组件应进行保温处理。
- 干蒸汽加湿器应与通风机、低温控制装置等联锁。

5. 电加湿器的应用

电极式和电热式加湿器的所需功率 $N(\text{kW})$ 可按下列式计算:

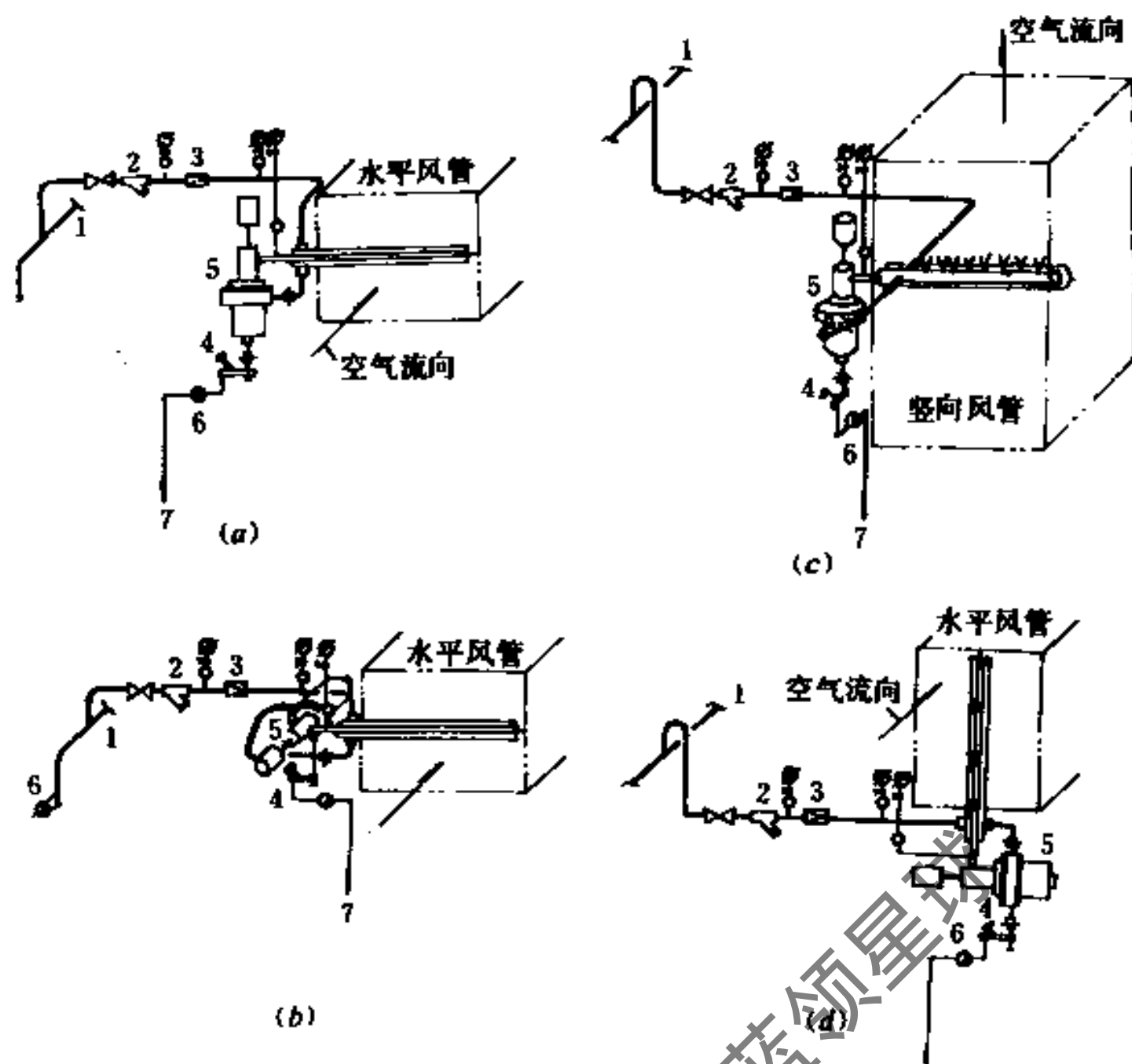


图 11.6-17 加湿器的配管

1—蒸汽干管；2—过滤器；3—减压阀；4—防止喷水的低温控制器；5—干蒸汽加湿器；
6—疏水器；7—接至室外或室内集水槽而溢入排水系统或接至供热凝结水管

$$N = \Delta i \phi c Q \quad (11.6-47)$$

式中 Δi ——供汽与进水间的焓差，一般取 $\Delta i = 2640 \text{ kJ/kg}$ ；

ϕ ——污垢修正系数，当应用蒸馏水时， $\phi = 1.05$ ，应用硬度较低的水时， $\phi = 1.10$ ，
应用硬度较高的水时， $\phi = 1.2$ ；

c ——安全裕量系数， $c = 1.05 \sim 1.35$ 。

应用电极式加湿器的注意事项：

- 电源上应装置电流表，以便调整水位和防止过载。
- 宜设供水专管，并装置电磁阀和手动阀门。
- 加湿器底部应连接排污管，并装置阀门。
- 必须妥善接地。
- 必须应用软化水，最好应用蒸馏水。
- 使用前应标定容器内的水位（根据最大允许电流）。
- 必须根据需湿量调整溢水管的高度，以减小湿度的波动幅度。
- 应定期进行排污，一般以8h一次为宜。
- 应定期洗刷电极和容器内壁。

注：电热式加湿器的应用注意事项，与电极式基本相同。

6. 超声波加湿器的应用

应用超声波加湿器时，必须注意以下事项：

- 单位加湿量的能耗指标很低（约等于电热加湿器的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ ）。
- 加湿过程是等焓，加湿后空气温度将下降，尚需进行升温处理。
- 加湿器雾化效果的好坏，与振动子振动频率的高低成正比。
- 实际工作频率常易发生一定飘移，选择加湿器时，应对其额定加湿能力乘以 0.8~0.9 的修正系数。
- 水温增高时，加湿能力增大；每提高 1℃，加湿能力约增大 6g/h。但温度的提高会影响高频大功率管和其它元件的散热，从而降低寿命；一般水温不宜高于 35℃。
- 水槽水位的高低，对加湿能力也有一定影响，安装时必须将水位调整至产品规定的高度。
- 超声波加湿器自身不带风机，必须安置在空调器或风管内气流场中。
- 加湿能力随风向和风速的改变而有明显的影响，应尽可能保持不偏离设计方向。

7. 室内直接加湿

在要求湿度高、散热量大、显热比也高的场合，若仅靠空调机组进行加湿处理，有时会导致夏季空调露点温度偏高、送风温差偏小、送风量偏大的弊端。解决这个矛盾的有效方法是仅利用空调机组进行冬季加湿处理，其它季节则采用室内直接加湿。

实用的室内直接加湿方法，是压缩空气喷雾。它是利用压缩空气通过喷雾喷嘴将水喷成雾状而扩散至室内空间的，其装置如图 11.6-18 所示。

在 $i-d$ 图上，喷雾加湿系一种等焓加湿过程，亦称绝热加湿。

设 G ——送风量，kg/s；

W ——加湿过程中蒸发的水分，kg/s。

由图 11.6-19 可知：

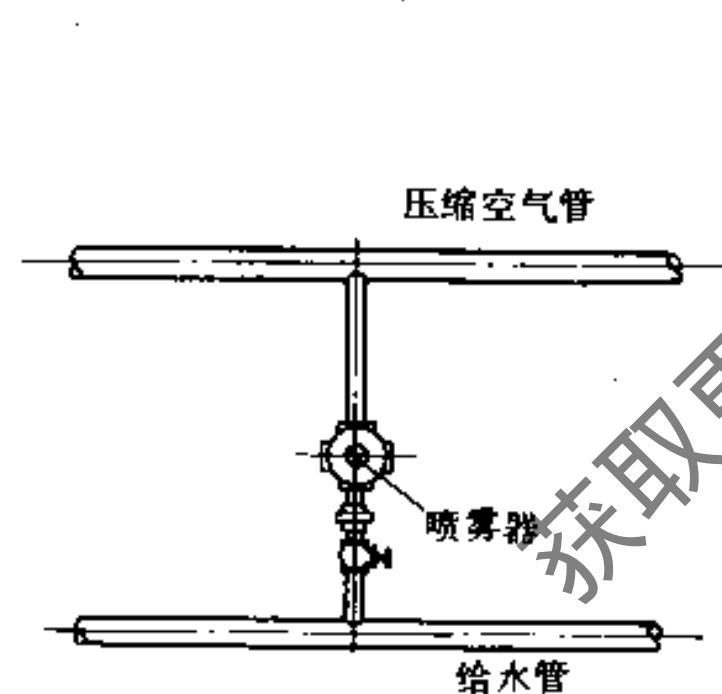


图 11.6-18 压缩空气喷雾装置

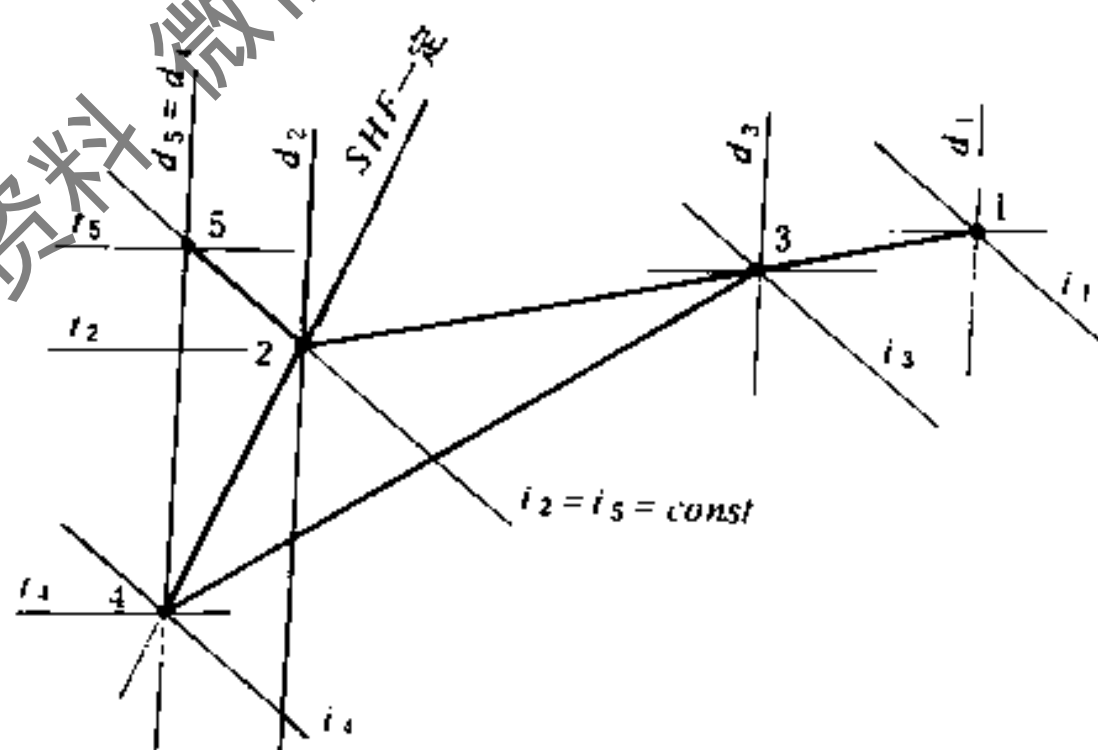


图 11.6-19 $i-d$ 图上的变化过程

$$W = G(d_2 - d_4) \quad (11.6-48)$$

在绝热变化过程中，送风空气由点 5 沿等焓线 ($i = const$) 变化至点 2，这也相当于把送风温度提高至点 5。所以

$$G = \frac{q_x}{1005 \times (t_5 - t_4)} \quad (11.6-49)$$

或

$$G = \frac{q_x - rW}{1005 \times (t_2 - t_4)} \quad (11.6-50)$$

这时，显热比为：

$$SHF = \frac{q_x - rW}{q_x - Wi} \quad (11.6-51)$$

热湿比为：

$$\varepsilon = \frac{q_x}{W} + i_s \quad (11.6-52)$$

式中 q_x ——显热得热量，W；

i_s ——喷雾水的焓值，J/kg；

r ——汽化热，一般取 $r = 2500000 \text{ J/kg}$ 。

当室内潜热得热 q_q 远远小于 q_x ，或允许忽略潜热得热时，均可按式 (11.6-49) 确定送风量。不过，一般室内总有潜热得热，因此

$$G(d_2 - d_4) = \frac{q_q}{r} + W \quad (11.6-53)$$

$$c_p G(t_2 - t_4) = q_x - rW \quad (11.6-54)$$

而

$$W = \frac{q_x(d_2 - d_4) - c_p \frac{q_q}{r}(t_2 - t_4)}{c_p(t_2 - t_4) + r(d_2 - d_4)} \quad (11.6-55)$$

这时

$$SHF = \frac{q_x - rW}{q_x + q_q + Wi} \quad (11.6-56)$$

式中 c_p ——空气的比热容，一般取 $c_p = 1005 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$ 。

压缩空气喷雾喷嘴的喷水（雾）量 L (L/h)，一般由制造厂提供。当缺乏这方面的数据时，可参考表 11.6-31 确定。

单个喷嘴的喷水量(L/h)

表 11.6-31

吸入高度 (mm)	压缩空气的压力(kPa)			
	30	40	60	80
100	4.3	5.0	5.6	6.0
150	3.8	4.6	5.2	5.6
200	3.3	4.2	4.7	5.2
250	2.3	3.3	3.8	4.3

压缩空气喷雾装置的配管尺寸，一般可按表 11.6-32 确定。

压缩空气喷雾装置的配管尺寸

表 11.6 32

喷嘴数	1~4	5~8	9~16	17~24	25~40	41~80	81~130
空气管公称直径(mm)	32	40	50	65	80	100	125
给水管公称直径(mm)	15	15	15	20	20	—	—

【例】室外条件： $t_1 = 32^\circ\text{C}$ ， $t_1' = 27^\circ\text{C}$ ；室内条件： $t_2 = 29^\circ\text{C}$ ， $t_2' = 23.7^\circ\text{C}$ ， $d_2 = 0.0164 \text{ kg/kg}$ ， $\varphi_2 = 65\%$ ；空调负荷： $q_x = 581500 \text{ W}$ ， $q_q = 23260 \text{ W}$ 。求送风量、喷雾水量和喷嘴数。

【解】

(1) 设喷水室空气的出口温度 $t_4 = 21^\circ\text{C}$ ， $d_4 = 0.015 \text{ kg/kg}$ 。

(2) 根据式 (11.6-55) 计算喷雾水量

$$W = \frac{q_x(d_2 - d_4) - c_p \frac{q_q}{r} (t_2 - t_4)}{c_p(t_2 - t_4) + r(d_2 - d_4)}$$

$$= \frac{581500(0.0164 - 0.015) - 1005 \times \frac{23260}{2500000} (29 - 21)}{1005(29 - 21) + 2500000(0.0164 - 0.015)}$$

$$= \frac{814.1 - 74.8}{8040 + 3500} = 0.064 \text{ kg/s}$$

(3) 将水量代入式 (11.6-53), 求送风量

$$G = \frac{\frac{q_q}{r} + W}{d_2 - d_4} = \frac{\frac{23260}{2500000} + 0.064}{0.0164 - 0.015} = \frac{0.0733}{0.0014}$$

$$= 52.4 \text{ kg/s}$$

或代入式 (11.6-54)

$$G = \frac{q_x - rW}{c_p(t_2 - t_4)} = \frac{581500 - 2500000 \times 0.064}{1005(29 - 21)} = \frac{421500}{8040}$$

$$= 52.4 \text{ kg/s}$$

(4) 假设水温 $t_s = 17^\circ\text{C}$, 则 $i_s = 71400 \text{ J/kg}$, 由式 (11.6-56) 得

$$SHF = \frac{q_x - rW}{q_x + q_q + i_s W} = \frac{581500 - 2500000 \times 0.064}{581500 + 23260 + 71400 \times 0.064}$$

$$= \frac{421500}{609300} = 0.69 \approx 0.7$$

(5) 连接图 11.6-19 中的点 2 和点 4, 即为显热比线, 由于 $0.69 \approx 0.7$, 可以认为满足要求。即说明起初假设的条件 ($t_4 = 21^\circ\text{C}$, $d_4 = 0.015 \text{ kg/kg}$) 符合设计要求。

(6) 设喷雾效率 $\eta = 0.80$, 取压缩空气的压力 $P = 30 \text{ kPa}$, 吸入高度 $h = 150 \text{ mm}$, 则由表 11.6-31 得单个喷嘴的喷水量 $w = 3.8 \text{ L/h}$, 故所需喷嘴数为

$$n = \frac{W \cdot 3600}{\eta w} = \frac{0.064 \times 3600}{0.80 \times 3.8} = 75.8 \approx 76 \text{ 个}$$

可以采用 4 个嘴的喷嘴 20 个。

11.6.6 空气的除湿

1. 典型除湿方法的对比 见表 11.6-33。

典型除湿方法的对比

表 11.6-33

方法	机 理	优 点	缺 点	备 注
升温除湿	通过显热交换, 在 $d = \text{const}$ 的条件下, 使温度升高, 相对湿度相应降低	简单易行, 投资和运行费用低	空气温度升高, 空气不新鲜	适用于对室温无要求的场合

续表

方法	机理	优点	缺点	备注
通风除湿	向潮湿空间输入含湿量小的室外空气,同时排出等量潮湿空气	经济、简单	保证率较低	适用于室外空气较干燥的地区
冷冻除湿	让湿空气流经低温表面,空气温度降至露点温度以下,湿空气中的水汽冷凝而析出	性能稳定,工作可靠;能连续工作	设备费和运行费较高;有噪声	适用于空气的露点温度高于4℃的场合
液体除湿	空气通过与蒸气分压力低、不易结晶、粘性小、无毒、无臭的溶液接触,依靠水汽的分压差吸收空气中的水份	除湿效果好,能连续工作,兼有清洁空气的功能	设备复杂,初投资高;需要有高温热源;冷却水耗量大	适用于室内显热比小于60%,空气出口露点温度低于5℃且除湿量较大的系统
固体除湿	利用某些固体物质表面的毛细管作用或相变时的蒸汽分压力差吸附或吸收空气中的水份	设备较简单,投资与运行费较低	减湿性能不太稳定,并随使用时间的加长而下降;需再生	适用于除湿量小,要求露点温度低于4℃的场合
干式除湿	湿空气通过含吸湿剂的纤维纸制的蜂窝状体(如转轮),在水蒸汽分压力差的作用下,水分被吸湿剂吸收或吸附	湿度可调,且能连续除湿,单位除湿量大,可以自动工作	设备较复杂,且需加热再生	特别适合于低温低湿状态应用
混合除湿	综合以上所列方法中的某几种而组成			

2. 冷冻除湿的选择计算步骤

(1) 根据设计条件在*i-d*图上确定室外空气的状态点*W* (图11.6-20)。

(2) 根据室内要求的温湿度条件,初步选定一状态点*N*,并初选一种除湿机。具体过程如下:

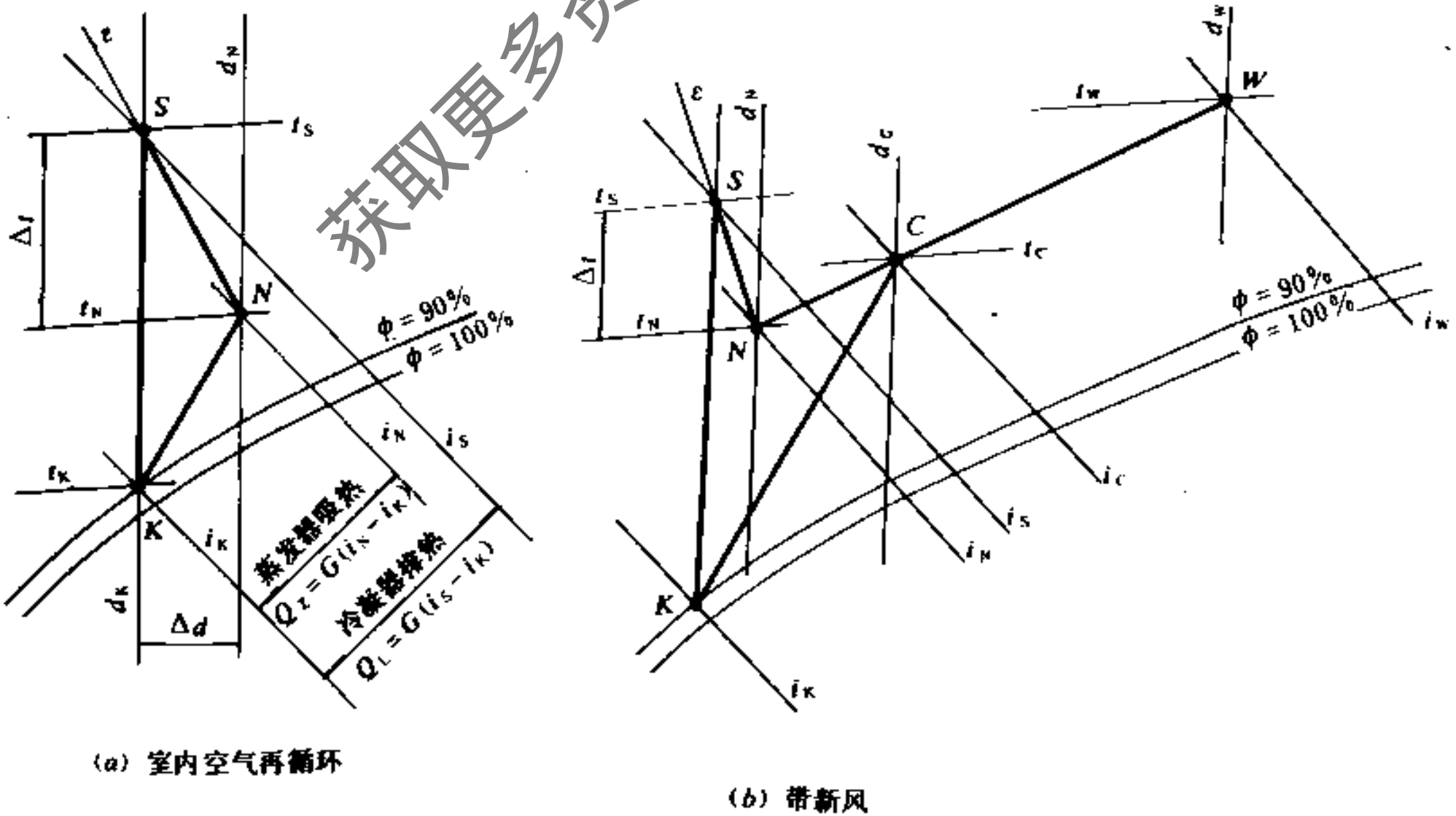


图 11.6-20 冷冻除湿过程

室内空气的含湿量 d_n (g/kg)

$$W = W_n + G_w \frac{d_w - d_n}{1000} \quad (11.6-57)$$

$$d_n = d_w - \frac{1000(W - W_n)}{G_w} \quad (11.6-58)$$

室内空气的热焓 i_n (kJ/kg)

$$Gc\Delta t = Q + 3600N + G_w(i_w - i_n) \quad (11.6-59)$$

$$i_n = i_w - \frac{Gc\Delta t - Q - 3600N}{G_w} \quad (11.6-60)$$

式中 W ——除湿机的除湿量, kg/h;

W_n ——室内的湿负荷, kg/h;

G_w ——新风量, kg/h;

d_w ——室外空气的含湿量, g/kg;

G ——除湿机的风量, kg/h;

Δt ——除湿机送风段的温降, 一般 $\Delta t = 2 \sim 5$ °C;

c ——空气的比热容, 一般 $c = 1.01$ kJ/(kg·°C);

Q ——室内的余热量, 取负值, kJ/h;

N ——压缩机的输入功率, 一般可取装机容量的75~85%, kW。

根据计算出的 d_n 、 i_n , 定出室内空气状态点, 得出对应的 t_n 、 φ_n , 若符合要求, 可以认为初选合适。若不符合要求, 则应重新选择, 并重复以上步骤, 直至符合要求为止。

(3) 计算除湿机的进风参数和除湿量

进风的热焓 i_c

$$i_c = i_n + \frac{G_w}{G}(i_w - i_n) \quad (11.6-61)$$

进风的含湿量 d_c

$$d_c = d_n + \frac{G_w}{G}(d_w - d_n) \quad (11.6-62)$$

根据求出的 i_c 、 d_c , 在除湿机性能曲线中找出其实际除湿量 W' 和实际输入功率 N' 。

(4) 按下式求出室内空气的实际含湿量 d'_n 和实际热焓值 i'_n

$$d'_n = d_n - \frac{1000(W' - W_n)}{G_w} \quad (11.6-63)$$

$$i'_n = i_w - \frac{Gc\Delta t - Q - 3600N'}{G_w} \quad (11.6-64)$$

根据 d'_n 、 i'_n , 在 $i-d$ 图上求出实际室内状态点, 检查其是否处于规定范围之内。若超出该范围, 则应重新选择除湿机并重复以上过程。

(5) 按下式求除湿机的实际进风参数

$$d'_c = d'_n + \frac{G_w}{G}(d_w - d'_n) \quad (11.6-65)$$

$$i'_c = i'_n + \frac{G_w}{G}(i_w - i'_n) \quad (11.6-66)$$

根据 d'_c 、 i'_c ，在 $i-d$ 图上确定除湿机的实际进风状态点 c' 。并据此由除湿机性能曲线图上求出其实际除湿量 W'' ，若 $W'' \approx W'$ ，则可以认为符合要求；否则，应重选除湿机和计算。

【例】地下工程，室内要求 $t_n \geq 28^\circ\text{C}$ ， $\varphi_n \geq 75\%$ ，新风量 $G_w = 2400\text{kg/h}$ ，余热 $Q = 30000\text{kJ/h}$ ，余湿 $W_n = 15\text{kg/h}$ ，大气压力 $P = 100\text{kPa}$ ，室外空气的 $t_w = 30^\circ\text{C}$ ， $d_w = 18.5\text{g/kg}$ ，试选择冷冻除湿机。

【解】

(1) 在 $i-d$ 图上作出室外状态点 W ，得： $i_w = 78\text{kJ/kg}$ 。

(2) 按 $W > W_n$ 的原则初选LC-20型除湿机，其额定除湿量 $W = 20\text{kg/h}$ ，风量 $G = 7200\text{kg/h}$ ，装机容量 $N = 13\text{kW}$ （铭牌功率）。

由此得：

$$d_n = d_w - \frac{1000(W - W_n)}{G_w} = 18.5 - \frac{1000 \times (20 - 15)}{2400} \\ = 16.4\text{g/kg}$$

$$i_n = i_w - \frac{Gc\Delta t - Q - 3600N}{G_w} = 78 - \frac{7200 \times 1.01 \times 4 + 30000 - 3600 \times 0.8 \times 13}{2400} \\ = 69\text{kJ/kg}$$

由 $d_n = 16.4\text{g/kg}$ 和 $i_n = 69\text{kJ/kg}$ ，在 $i-d$ 图上得室内状态点： $t_n = 27^\circ\text{C} (< 28^\circ\text{C})$ ； $\varphi_n = 74\% (< 75\%)$ 。说明满足设计条件，可以认为选型符合要求。

(3) 计算进风参数

$$i_c = i_n + \frac{G_w}{G}(i_w - i_n) \\ = 69 + \frac{2400}{7200} \times (78 - 69) = 72\text{kJ/kg}$$

$$d_c = d_n + \frac{G_w}{G}(d_w - d_n) \\ = 16.4 + \frac{2400}{7200} \times (18.5 - 16.4) = 17.1\text{g/kg}$$

据此，在 $i-d$ 图上得 $t_c = 28^\circ\text{C}$ ， $\varphi_c = 72\%$ 。

在LC-20除湿机的性能曲线图上得实际除湿量 $W' = 21\text{kg/h}$ ，实际功率 $N' = N = 13 \times 0.8 = 10.4\text{kW}$ 。

(4) 校核室内空气的状态参数

$$d'_n = d_w - \frac{1000(W' - W_n)}{G_w} = 18.5 - \frac{1000 \times (21 - 15)}{2400} = 16\text{g/kg}$$

$$i'_n = i_w - \frac{Gc\Delta t - Q - 3600N'}{G_w} = 78 - \frac{7200 \times 1.01 \times 4 + 30000 - 3600 \times 0.8 \times 13}{2400} \\ = 69\text{kJ/kg}$$

据此，在 $i-d$ 图上得 $t'_n = 28^\circ\text{C}$ ， $\varphi'_n = 67\%$ ，满足要求。

(5) 校核除湿机的进风状态参数

① 进风参数不同时，输入功率应相应改变。由于LC-20除湿机技术资料中未提供该项数据，故本例假定 $N' = N$ 。

$$i'_c = i'_n + \frac{G_w}{G}(i_w - i'_n)$$

$$= 69 + \frac{2400}{7200} \times (78 - 69) = 72 \text{ kJ/kg}$$

$$d'_c = d'_n + \frac{G_w}{G}(d_w - d'_n)$$

$$= 16 + \frac{2400}{7200} \times (18.5 - 16) = 16.8 \text{ g/kg}$$

根据以上参数,在*i-d*图上得: $t'_n = 28.5^\circ\text{C}$, $\phi'_n = 68\%$ 。这时,LC-20除湿机的除湿量为 $W'' = W' = 21 \text{ kg/h}$,大于要求的 15 kg/h ,所以,可以认为全部符合要求,计算至此结束。

3. 转轮除湿机的选择计算步骤

(1) 确定处理空气量 $L(\text{m}^3/\text{h})$

$$L = \frac{W}{[\Delta d - d(120 - t_3)]\rho} \quad (11.6-67)$$

式中 W ——要求除湿量(湿负荷), g/h ;

Δd ——单位除湿能力(由产品资料提供), g/kg ;

d ——再生温度不等于 120°C 时的修正系数, $\text{g}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

t_3 ——实际再生温度, $^\circ\text{C}$;

ρ ——处理前空气的密度, kg/m^3 。

(2) 计算再生空气量 $L'(\text{m}^3/\text{h})$

$$L' = \frac{1}{3}L \quad (11.6-68)$$

(3) 确定再生加热量 $Q(\text{kW})$

$$Q = L' \rho_w c (t_3 - t_w) \frac{1}{3600} \quad (11.6-69)$$

式中 ρ_w ——加热前再生空气的密度, kg/m^3 ;

c ——空气的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

t_w ——加热前再生空气(即室外空气)的温度, $^\circ\text{C}$ 。

(4) 确定再生电加热器的容量 $N(\text{kW})$

$$N = 0.8 \sim 0.9Q \quad (11.6-70)$$

(5) 计算处理后空气的状态参数

$$\text{含湿量} \quad d_2 = d_1 - [\Delta d - d(120 - t_3)] \quad (11.6-71)$$

$$\text{温度} \quad t_2 = t_1 + \Delta t \quad (11.6-72)$$

式中 d_1 ——处理前空气的含湿量, g/kg ;

t_1 ——处理前空气的温度, $^\circ\text{C}$;

Δt ——处理空气的温升, $^\circ\text{C}$, 见图 11.6-21;

Δd ——每 kg 空气的除湿能力, g/kg ; 见制造厂样本。

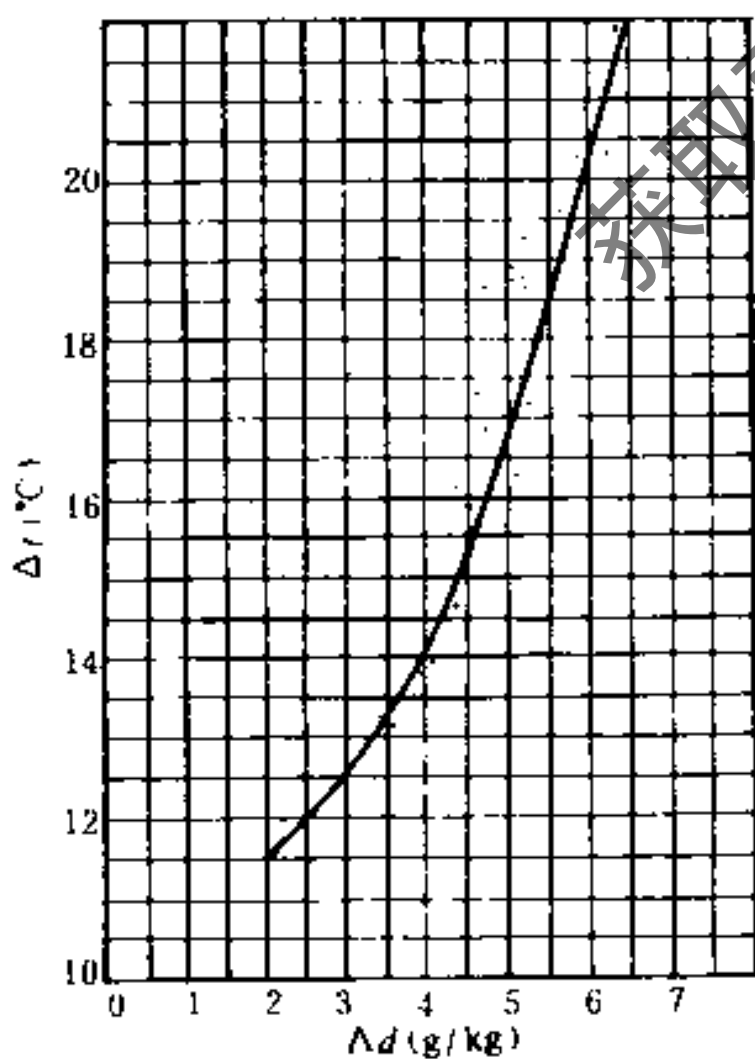


图 11.6-21 处理空气的温升曲线

(6) 计算再生后空气的状态参数

温度 $t_4 = t_3 - 3\Delta t$ (11.6-73)

含湿量 $d_4 = d_3 + 3[\Delta d - d(120 - t_3)]$ (11.6-74)

式中 d_3 ——再生前(室外)空气的含湿量, g/kg。

4. 固体除湿

(1) 常用固体除湿剂及其主要特性 见表11.6-34。

固体除湿剂的主要特性

表 11.6-34

分类	名称	分子式	主要特性
吸收式	氯化钙	CaCl ₂	无水氯化钙为白色多孔结晶体, 有苦咸味; 比重2.15; 熔点772℃; 吸收水分时放出的熔解热为680kJ/kg
	五氧化二磷	P ₂ O ₅	又名磷酸酐。白色软质粉末; 比重2.39; 升华温度347℃; 加压下于563℃熔解
	氢氧化钠	NaOH	又名苛性钠。无色透明的结晶体; 比重2.13; 熔点318.4℃
	硫酸铜	CuSO ₄	CuSO ₄ ·5H ₂ O俗称蓝矾, 蓝色三斜晶系结晶体, 加热至250℃时, 失去全部结晶水而成为绿白色粉末, 比重由2.286升至3.606
吸附式	硅胶	SiO ₂	无毒、无臭、无腐蚀性, 呈多孔结晶体, 吸湿率约为其重量的30%; 吸附1kg水份放出吸附热约为3276kJ/kg; 吸湿后可经150~180℃热空气再生。还原水份需热约为13000~17000kJ/kg
	分子筛		具有均一微孔结构而能将不同大小的分子分离的固体吸湿剂
	活性炭		一种多孔结构和对气体、蒸气或胶态固体有较强吸附能力的碳; 真比重1.9~2.1; 表现比重0.08~0.45; 含碳量最高达98%

(2) 固体除湿计算

a. 静态除湿 将吸湿剂平放在筛盘上, 置于需要除湿的室内, 盘下设收集液体的贮存容器。为使室内相对湿度降至50~70%, 并维持15天左右, 氯化钙的用量G(kg)可按下列式确定:

$$G = KV \quad (11.6-75)$$

式中 V——房间的容积, m³;

K——单位容积所需氯化钙量, kg/m³, 见表11.6-35。

K 值 表

表 11.6-35

除湿前空气的相对湿度(%)	<70	70~80	80~90	>90
K 值 (kg/m ³)	0.20~0.25	0.25~0.30	0.30~0.40	>0.50

氯化钙的放置厚度, 一般按每1m²筛盘放10kg计。

硅胶能使局部密闭空间内的相对湿度保持在15~20%之间。为使该空间保持上述相对湿度, 且维持7天左右, 每1m³空间需放硅胶1.0~1.2kg。

b. 动态除湿 借助机械通风系统, 让湿空气强制通过固体除湿剂层, 可以大大提高除湿效果。这时, 除湿剂的用量G(kg)

$$G = \frac{WZ}{q} \quad (11.6-76)$$

空气量 $L(\text{m}^3/\text{h})$

$$L = \frac{W}{\left(\frac{d_1 - d_2}{1000}\right) \rho} \quad (11.6-77)$$

需要的通风断面积 $F(\text{m}^2)$

$$F = \frac{L}{v \cdot 3600} \quad (11.6-78)$$

式中 W ——总散湿量, kg/h ;

Z ——再生周期, h ;

q ——平均除湿量, 硅胶 $q = 0.2 \sim 0.3 \text{ kg}/\text{kg}$; 工业纯氯化钙 ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) $q = 0.55 \text{ kg}/\text{kg}$;

d_1, d_2 ——空气进、出除湿装置时的含湿量, 一般取 $d_1 - d_2 = 2 \sim 4 \text{ g}/\text{kg}$;

ρ ——空气的密度, kg/m^3 ;

v ——空气流过除湿层时的流速, ms^{-1} ; 氯化钙时 $v = 0.6 \sim 0.8 \text{ ms}^{-1}$; 硅胶时 $v = 0.3 \sim 0.5 \text{ ms}^{-1}$ 。

空气通过除湿层的阻力 $\Delta P(\text{Pa})$

$$\Delta P_{\text{CaCl}_2} = \phi \delta v^2 \quad (11.6-79)$$

$$\Delta P_{\text{SiO}_2} = 35 \sim 40 \delta \phi v^2 \quad (11.6-80)$$

式中 ϕ ——试验系数, 抽屉式 $\phi = 2000$; 箱式 $\phi = 400$;

δ ——除湿剂的堆放厚度, 硅胶时一般 $\delta = 40 \sim 60 \text{ mm}$;

v ——空气流过除湿剂层的流速, ms^{-1} 。

11.6.7 组合式空调机组

1. 组合式空调机组的类型 见表11.6-36。

组合式空调机组的类型

表 11.6-36

项目	类型	特点
材 质	金属 钢板或镀锌、复合钢板、合金铝板、不锈钢板	<ol style="list-style-type: none"> 体积小、重量轻; 设计施工安装方便, 容易保证装配质量和施工进度; 可工厂化批量生产, 有利于提高制造质量和降低生产成本; 箱体、喷水室不易漏气、漏水; 改造工程时易移动; 合金铝板与不锈钢板空调器造价贵, 只有在特殊需要时才采用; 镀锌、复合钢板有利于防腐; 一般碳素钢板存在腐蚀问题
	非金属 玻璃钢	<ol style="list-style-type: none"> 节省钢材; 重量轻、比强度高、耐腐蚀、电绝缘; 制造简单; 喷水室不易漏水、不易腐蚀; 防火性能差

续表

项目	类 型		特 点
材 料	非 金 属	砖或钢筋混凝土	<ol style="list-style-type: none"> 1. 节省钢材; 2. 造价低廉; 3. 体积大、质量重; 4. 施工安装费时, 且不易保证质量; 5. 改造工程时不能移动; 6. 喷水室容易漏水; 7. 适用于大风量空调机组
		卧式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安装、使用、维护方便; 2. 适用于大风量空调机组
安 装 型 式	立式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 充分利用空间, 节省占地面积; 2. 安装、使用、维护不如卧式方便; 3. 适用于较小风量 	
	双重卧式 双重立式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安装、使用、维护不如卧式方便; 2. 空气压力损失比卧式与立式大; 3. 叠合布置充分利用空间、节省占地面积; 4. 适用于大风量空调系统 	
外 形	矩 形	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制造、安装、维护方便; 2. 造价比圆形低; 3. 安设在地上稳固性好 	
	圆 形	<ol style="list-style-type: none"> 1. 结构紧凑, 阻力小; 2. 喷水室热湿交换均匀; 3. 制造困难, 造价较高; 4. 安装在支架上稳固性差; 5. 适用于较小风量 	
结 构	框架式结构	<ol style="list-style-type: none"> 1. 型钢框架与钢板壁体组合成空调器; 2. 非标准构件规格多, 生产、安装、运输均不便, 提高成本; 3. 整体性与刚性较好; 4. 框架部分存在“热桥” 	
	板式结构	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采用模数制和组合构件标准化, 便于工业化、系列化批量生产, 安装与运输方便, 降低成本; 2. 无框架, 无加固件, 只靠板件搭接组合, 整体性与刚性比框架结构差 	
系 统	直 流 式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 处理的空气全部来自室外; 2. 适用于散发大量有害物而不能利用再循环空气的空调房间; 3. 宜采用热回收装置回收排风中的冷热量来加热或冷却新风 	
	封闭循环式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 处理的空气全部来自空调房间本身, 无新风; 2. 冷热耗量最省, 卫生条件最差; 3. 适用于很少有人进出的场所 	
	混 合 式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 部分回风与部分新风混合, 满足卫生要求, 经济合理; 2. 适用于绝大部分空调房间; 3. 根据不同要求, 选用一次回风或一、二次回风系统 	

续表

项目	类型	特点
冷却装置	喷水室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以实现空气的加热、冷却、加湿和减湿等多种空气处理过程，可以保证较严的相对湿度要求； 2. 耗金属少； 3. 水质要求高，水系统复杂； 4. 占地大； 5. 耗电多； 6. 采用金属空调机组时，易腐蚀
	表面冷却器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以实现等湿冷却或减湿冷却过程； 2. 难以保证较严的相对湿度要求； 3. 耗金属多； 4. 冷水不污染空气，水系统简单； 5. 节省机房面积30%，易施工； 6. 耗电少； 7. 目前国内常用铜管套铝片型式
过滤器	初效 自动卷绕过滤器，袋式过滤器，框式块状过滤器，干式浸油网格过滤器，自净油过滤器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有效的捕集$>5\mu\text{m}$直径的尘粒； 2. 适应的含尘浓度为$0.1\sim 7\text{mg}/\text{m}^3$； 3. 压力损失$30\sim 200\text{Pa}$； 4. 质量法过滤效率$70\sim 90\%$； 5. 容尘量$500\sim 2000\text{g}/\text{m}^2$； 6. 尽量不用浸油过滤器； 7. 作中效过滤器前的预过滤用
	中效 折叠或袋式过滤器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有效的捕集$<1\mu\text{m}$直径的尘粒； 2. 适应的含尘浓度为$0.1\sim 0.6\text{mg}/\text{m}^3$； 3. 压力损失$80\sim 250\text{Pa}$； 4. 质量法过滤效率$90\sim 96\%$； 5. 容尘量$300\sim 800\text{g}/\text{m}^2$； 6. 滤材实际面积与迎风面积之比大于$10\sim 20$倍
风机	离心风机	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可采用定风量或变风量离心风机； 2. 风机段常采用双进风风机； 3. 电动机最好放在箱体外； 4. 必须采用隔振基础，软接头； 5. 适用于较大风压的场所； 6. 噪声较小
	轴流风机	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以$2\sim 4$台并联，常采用变节距调节或改变叶片角度调节；根据空调负荷变化，实现变风量； 2. 体积小，长度短，可缩短机组长度； 3. 适用于较大风量、较小风压、要求减小机房长度的场所； 4. 噪声较大

2. 组合式空调机组型号

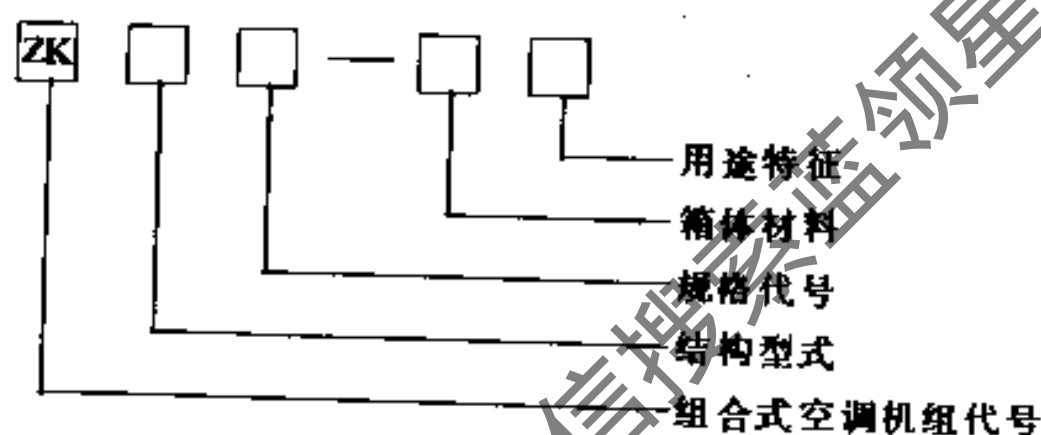
(1) 组合式空调机组的型式和代号见表11.6-37。

组合式空调机组型式和代号

表 11.6-37

型 式		代 号
1	结构型式 立式 卧式 混合式 吊挂式	L W H D
2	箱体材料 金属 玻璃钢 复合 其它	J B F Q
3	用途特征 新风机组 通用机组 变风量机组 净化机组 其它	X T B J O

(2) 组合式空调机组型号表示方法



型号示例

ZKB10-WT

表示组合式玻璃钢的卧式空调机组，额定风量10000 m³/h；

ZKJ6-LX

表示组合式金属的立式新风机组，额定风量6000 m³/h。

3. 组合式空调机组基本规格 (见表11.6-38)

组合式空调机组基本规格

表 11.6-38

规 格	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
额定风量 (m ³ /h)	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	15000	20000
规 格	25	30	40	50	60	80	100	120	140	160	
额定风量 (m ³ /h)	25000	30000	40000	50000	60000	80000	100000	120000	140000	160000	

4. 组合式空调机组噪声极限值

组合式空调机组声功率级噪声值(dB)应小于表11.6-39的规定。

5. 组合式空调机组的技术要求

(1) 组合式空调机组的额定风量、全压、供冷量、供热量等基本参数，在规定的试

组合式空调机组的噪声极限值(dB)

表 11.6-39

风量 (m ³ /h)	全压 (Pa)	带回风机组	净化机组	新风机组	带喷淋的机组
<10000	400	68	73	65	70
10000~20000	600	78	80	75	77
25000~50000	800	85	90	85	85
60000~100000	1000	90	93	90	90
120000~160000	1200	95	98	95	95

验工况下应符合下列规定:

a. 机组风量实测值不低于额定值的95%, 全压实测值不低于额定值的88%。

b. 机组额定供冷量的空气焓降应不小于17kJ/kg; 新风机组的空气焓降应不小于34kJ/kg。

c. 机组供热量的空气温升至少应不小于

蒸汽加热时 温升20℃;

热水加热时 温升15℃。

(2) 机组使用的冷、热水均应经软化处理。

(3) 新风机组在进气温度低于冰点运行时, 应有防止盘管冻裂措施。

(4) 机组应设排水口, 运行中排水应畅通, 无溢出和渗漏。

(5) 机组的风机出口应有柔性短管, 风机应设隔振装置。

(6) 为加强机组防腐性能, 箱体材料宜采用镀锌钢板或玻璃钢, 对于采用黑色金属制作的构件表面应作防腐处理, 玻璃钢箱体应采用氧指数不小于30的阻燃树脂制作。

(7) 机组内气流应均匀流经过滤器、换热器(或喷水室)和消声器, 以充分发挥这些装置的作用。机组横断面上的风速均匀度应大于80%。

(8) 在机组内静压保持700Pa时, 机组漏风率应不大于3%, 用于净化空调系统的机组, 机组内静压应保持1000Pa, 洁净度低于1000级时, 机组漏风率不大于2%; 洁净度高于等于1000级时, 机组漏风率不大于1%。

(9) 机组内宜设置必要的气温遥测点(包括新风、混合风、机器露点、送风等); 过滤器宜设压差检测装置; 各功能段根据需要设检查门和检测孔, 检查门应严密, 内外均可灵活开启, 并能锁紧。

11.6.8 风机盘管

1. 风机盘管类型

风机盘管的风量为250~2500m³/h, 其类型见表11.6-40。

风机盘管类型

表 11.6-40

分类	型式	特点	使用范围
风机类型	离心式风机	前向多翼型, 效率较高, 每台机组风机单独控制, 采用单相电容调速低噪声电机, 调节电机输入电压改变风机转速, 高、中、低三档变风量	宾馆客房、办公楼等
	贯流式风机	前向多翼型, 端面封闭, 全压系数较大, 效率较低($\eta=30\sim50\%$), 进、出风口易与建筑物相配合, 调节方法同上	为配合建筑布置时用

续表

分类	型式	特点	使用范围
结构型式	立式 L	暗装可安设在窗台下, 出风口向上或向前, 明装可安设在地面上, 出风口向上、向前或向斜上方。可省去吊顶	要求地面安装或全玻璃结构的建筑物和一些公共场所以及工业建筑。北方冬季停开风机作散热器用
	卧式 W	节省建筑面积, 可与室内建筑装饰布置相协调, 须用吊顶与管道间	宾馆客房、办公楼、商业建筑等
	立柱式 Z	占地面积小; 安装、维修、管理方便; 冬季可靠机组自然对流散热; 可节省管道间与吊顶。造价较贵	宾馆客房、医院等。北方冬季停开风机作散热器用
	顶棚式 D	节省建筑面积, 可与室内建筑装饰相协调。维护方便	办公室、商业建筑等
安装型式	明装 M	维护方便; 卧式明装机组吊在顶棚下, 可作为建筑装饰品; 立式明装安装简便, 不美观, 可加装饰面板成为立式半明装	卧式明装用于客房、酒吧、商业建筑等要求美观的场合; 立式明装用于旧建筑改造或要求省投资、施工快的场合
	暗装 A	维护麻烦, 卧式机组暗装在顶棚内, 送风口在前部, 回风口在下部或后部。立式机组暗装在窗台下, 较美观, 占地	要求整齐美观的房间

2. 风机盘管基本参数与允许噪声 (表 11.6-41)

风机盘管基本参数与允许噪声

表 11.6-41

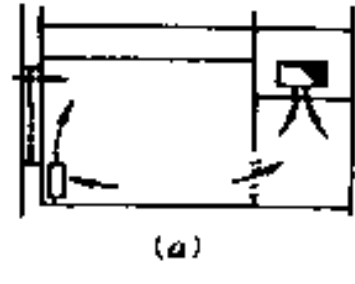
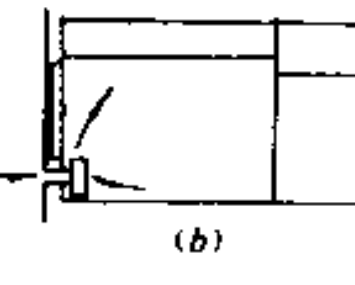
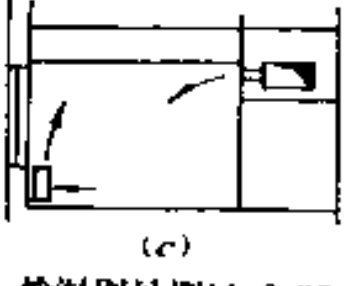
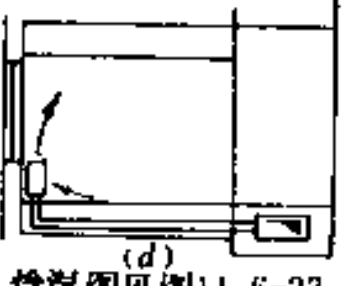
FP 代号	名义风量 (m ³ /h)	名义供冷量	名义供热量	单位风机功率 供冷量 (W)	水压力损失 (kPa)	允许声级 <dB(A)
		(W)				
FP-2.5	250	1400	2100	40	15	35
FP-3.5	350	2000	3000	45	20	37
FP-5	500	2800	4200	50	24	39
FP-6.3	630	3500	5250	55	30	40
FP-7.1	710	4000	6000	52	40	42
FP-8	800	4500	6750	50	44	45
FP-10	1000	5300	7950	45	54	46
FP-12.5	1250	6600	9900	47	34	47
FP-14	1400	7400	11100	45	38	48
FP-16	1600	8500	12750	45	40	50
FP-20	2000	10600	15900	40	50	54
FP-25	2500	13300	19950	—	—	—

- 注: 1. 上表参数系指风机转速为额定最高转速、进出口空气静压差为零 (Pa) 时的参数;
 2. 上表参数系被测风机盘管与测试室的空气静压差为 0 ± 2 Pa (无静压机组) 或静压值 ± 2 Pa (有静压机组) 时的参数;
 3. 名义风量指进口空气干球温度为 $14 \sim 27$ °C 时标准状态的风量;
 4. 名义供冷量指进口空气干球温度为 27 °C、湿球温度为 19.5 °C、进口水温为 7 °C、进出口水温差为 5 °C 时的参数;
 5. 名义供热量指进口空气干球温度为 21 °C、进口水温为 60 °C、供水量与名义供冷工况时的流量相同时的参数;
 6. 风机盘管允许声级指在消声室内, 在额定最高转速下进行噪声测量时, 其噪声的 A 声级最大允许值。

3. 风机盘管新风供给方式 (表11.6-42)

风机盘管新风供给方式

表 11.6-42

新风供给方式	示意图	特点	适用范围
房间缝隙自然渗入		<ol style="list-style-type: none"> 1. 无组织渗透风, 室温不均匀; 2. 简单; 3. 卫生条件差; 4. 初投资与运行费低; 5. 机组承担新风负荷, 长时间在湿工况下工作 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人少、无正压要求、清洁度要求不高的空调房间; 2. 要求节省投资与运行费用的房间; 3. 新风系统布置有困难或旧有建筑改造
机组背面墙洞引入新风		<ol style="list-style-type: none"> 1. 新风口可调节, 冬、夏季最小新风量, 过渡季大量新风量; 2. 随新风负荷的变化, 室内直接受到影响; 3. 初投资与运行费节省; 4. 须作好防尘、防噪声、防雨、防冻措施; 5. 机组长时间在湿工况下工作 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人少、要求低的空调房间; 2. 要求节省投资与运行费用的房间; 3. 新风系统布置有困难或旧有建筑改造; 4. 房高为 5 m 以下的建筑物
单设新风系统, 独立供给室内	 焓湿图见图11.6-22	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单设新风机组, 可随室外气象变化进行调节, 保证室内湿度与新风量要求; 2. 投资大; 3. 占空间多; 4. 新风口可紧靠风机盘管, 也可不在一处, 以前者为佳 	要求卫生条件严格和舒适的房间, 目前最常用
单设新风系统供给风机盘管	 焓湿图见图11.6-23	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单设新风机组, 可随室外气象变化进行调节, 保证室内湿度与新风量要求; 2. 投资大; 3. 新风接至风机盘管, 与回风混合后进入室内, 加大了风机风量, 增加噪声 	要求卫生条件严格的房间, 目前较少用

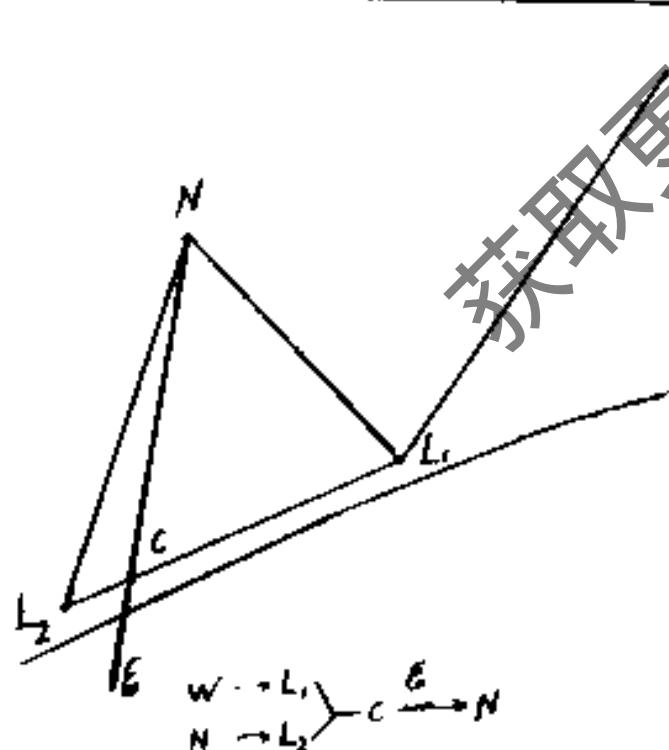


图 11.6-22 单设新风系统, 独立供给室内的焓湿图

W —室外空气参数; N —室内空气参数;
 ϵ —热湿比线; L_1 —新风经新风机组后的冷却减湿参数; L_2 —回风经风机盘管后的冷却减湿参数; C —新风与回风在送风口处混合后的参数

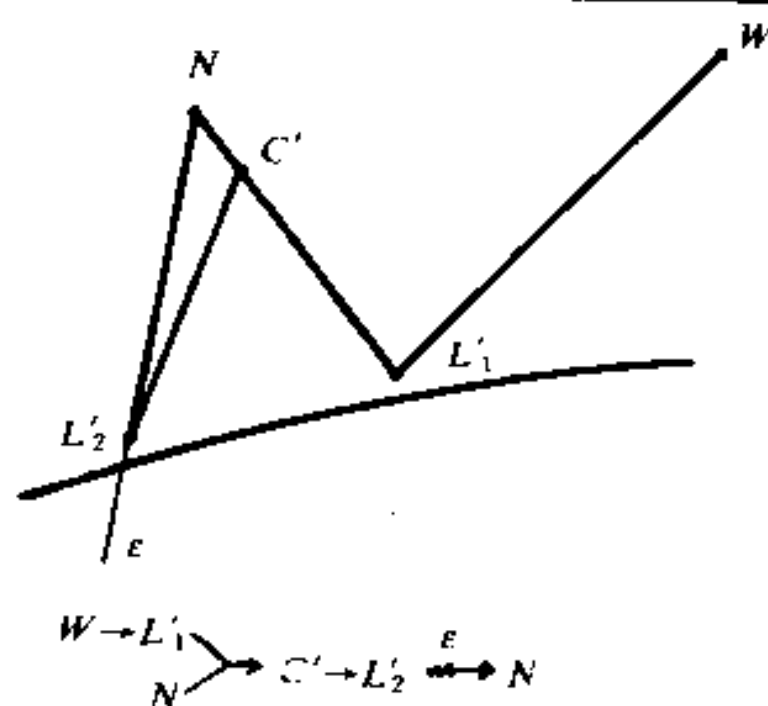


图 11.6-23 单设新风系统, 供给风机盘管的焓湿图

W —室外空气参数; N —室内空气参数;
 ϵ —热湿比线; L_1 —新风经新风机组后的冷却减湿参数; L_2 —新风与回风混合后经风机盘管冷却减湿参数; C' —新风与回风混合后的参数

4. 风机盘管水系统 (表11.6-43)

风机盘管水系统

表 11.6-43

水系统	特 点	使用范围
二 管	供回水管各一根, 夏季供冷水, 冬季供热水; 简便; 省投资; 冷热水量相差较大	全年运行的空调系统, 仅要求按季节进行冷却或加热转换; 目前用得最多
三 管	盘管进口处设有三通阀, 由室内温度控制装置控制, 按需要供应冷水或热水; 使用同一根回水管, 存在冷热量混合损失; 初投资较高	要求全年空调且建筑物内负荷差别很大的场合; 过渡季节有些房间要求供冷有些房间要求供热; 目前较少使用
四 管	占空间大; 比三管制运行费低; 在三管制基础上加一回水管或采用冷却、加热两组盘管, 供水系统完全独立; 初投资高	全年运行空调系统, 建筑物内负荷差别很大的场合; 过渡季节有些房间要求供冷有些房间要求供热, 或冷却和加热工况交替频繁时

水系统设计要点:

(1) 水系统一般采用两管制, 闭式系统; 对于全年运行的系统, 技术经济比较合理时, 才用四管制闭式系统。

(2) 水系统的竖向分区, 应根据设备和管道及附件的承压能力确定, 两管制系统尚应按建筑物朝向分区布置。为使水量分配比较均匀, 对压差悬殊的环路应设置平衡阀。

(3) 风机盘管凝结水盘的泄水管坡度, 不宜小于0.01。

(4) 风机盘管用于高层建筑时, 其水系统应采用闭式循环, 膨胀管应接在回水管上。

(5) 风机盘管的冷水入口温度, 一般选用7~10℃; 冷水温升取5℃左右; 热水入口温度, 一般选用50~60℃; 在可能条件下, 应尽量提高冷水入口温度和降低热水入口温度。

(6) 对于冷热两用的水系统, 循环水和补给水宜采用锅炉软化水。

(7) 风机盘管水系统水平管段和盘管接管的最高点, 应设排气装置, 最低点应设排污泄水阀。

(8) 为了防止盘管、水泵和水管堵塞, 应在水泵入口和风机盘管供水管道上装设过滤器; 在冲洗水系统干管时, 污水不准通过盘管。

(9) 为了对风机盘管进行检修和对系统水量进行初调平衡, 应在每一水平环路的供回水干管、垂直供回水主管的两端、机组供回水支管上装设调节阀门。

5. 风机盘管调节方法

为了适应房间负荷变化, 可采用表11.6-44所列方法进行调节。

风机盘管调节方法

表 11.6-44

调节方法	特 点	适用范围
风量调节	通过三速开关调节电机输入电压, 以调节风机转速, 调节风机盘管的冷热量; 简单方便; 初投资省; 随风量的减小, 室内空气分布不理想; 选择时宜按中档转速的风量与冷量选用	用于要求不太高的场所; 目前国内用得最广泛
水量调节	通过温度敏感元件、调节器和装在水管上的小型电动直通或三通阀自动调节水量或水温; 初投资高	用于要求较高的场所
旁通风门调节	通过敏感元件、调节器和盘管旁通风门自动调节旁通空气混合比; 调节负荷范围大(100~20%); 初投资较高; 调节质量好; 送风含湿量变化不大; 室内相对湿度稳定; 总风量不变, 气流分布均匀; 风机功率并不降低	用于要求高的场合, 可使室温允许波动范围达到±1℃, 相对湿度达到40~45%; 目前国内用得不多

6. 冷热负荷计算

选择风机盘管时，须根据不同的新风供给方式来计算冷热负荷。当单设独立新风系统时，若新风参数与室内参数相同，则可不计新风的冷热负荷，若新风参数夏季低于室内，冬季高于室内，则机组须扣除新风分担的负荷。若依靠渗透或墙洞引进新风，则应计入新风负荷。

由于盘管用久后管内积垢，管外积尘，影响传热效果，冷热负荷须按表11.6-45进行修正。

风机盘管冷热负荷修正系数

表 11.6-45

盘管使用条件	仅用于冷却干燥	仅用于加热升温	冷却、加热两用
修正系数	1.1	1.15	1.2

11.6.9 变风量末端装置

1. 变风量系统的特征和优缺点（见表11.6-46）

变风量系统的特征及优缺点

表 11.6-46

特 征	优 点	缺 点
<p>1. 变风量系统的送风参数保持不变，而是用改变风量来平衡负荷变化以保持室内参数不变</p> <p>2. 要保证最小新风量，并在最小风量时仍能保持气流组织设计的流型</p>	<p>1. 节省设备的初投资：选择设备时，不必取各种负荷的峰值叠加；一般允许取灯光、人体、太阳辐射和设备的同时使用系数为0.7，节省风机、水泵、制冷机、管道及保温的投资（一般节约的投资大于增加变风量末端装置和控制装置的投资）</p> <p>2. 节省运行费用：选用的设备小，安装功率小，且长时间在低负荷条件下运行；无人工作的区域，能自动关断。上述各点均可节约运行费用</p> <p>3. 为多房间提供经济的温度自动控制，灵活调节各个房间所需的冷热负荷</p> <p>4. 风量易平衡。根据各房间温度自行调节风量，不必对风量平衡进行预测</p> <p>5. 易于对原系统进行改扩建，只要改变后的总负荷不超过原设计的同时使用的峰值</p> <p>6. 大多数时间的运行风量小于额定值，减少吹风感，噪声也较低，安静</p> <p>7. 对中央设备不要求分区</p>	<p>1. 增加末端装置，新风量及最大最小风量的控制环节，技术复杂，投资增加</p> <p>2. 室内相对湿度控制的质量不如定风量再热系统那样准确。特别是无最大风量控制时，可能出现较高的相对湿度</p> <p>3. 当最小风量时，为保持室内的温度，需考虑补偿室内负荷的措施，如设置周边供暖</p>

2. 变风量末端装置

(1) 功能：

- 根据室温的变化，接受温控器发出的指令，自动调节送风量。
- 系统压力升高时，自动保持房间的送风量不超过设计的最大风量。
- 送风量变化时，能保持气流组织设计的流型。
- 房间负荷减少时，能控制最小风量，以满足最小新风量的要求。
- 具有一定的消声能力。
- 必要时能够完全关闭。

(2) 分类 见表11.6-47。

变风量末端装置分类表

表 11.6-47

分类依据	类型	特征	备注
变风量方法	旁通型	系统的总风量不变, 仅根据室内负荷的变化, 部分空气直接旁通回到吊顶上或回风道内, 而不直接进入房间。一般仅作为简单的控制温度的方法。使用在节能不是重要的考虑因素的小规模、初投资中等的系统	见图11.6-24
	节流型 1. 气囊型 2. 阀板型	由温控器给出信号, 控制气囊的胀缩, 直接调节送风口的风量(气囊风口型); 或控制阀板开度(气囊阀板型), 调节送至各个风口的风量, 以保持室内温度 由温控器给出信号, 通过一个可正反转的电机或用两个旋转方向相反的电机以调节阀板的位置, 调节送至各个风口的风量。该型装置可带一个或多个风口, 全由一个阀门控制其送风量。阀门有菱形阀门和阀板两种。 阀板的做法与普通风阀门不同, 其调节可做到线性关系	见图11.6-25 见图11.6-26 见图11.6-27 见图11.6-28
	诱导型	与其它的变风量方法相似, 在负荷低于额定值时, 可减少一次风量, 节约冷热负荷。可利用灯光作为再加热热源。但它要求的风量略大些, 要求的一次风静压也高些。其初投资和运行费用比节流型高。 为保持良好的声学环境, 一次风喷口处的静压不大于500 Pa。 吊平顶内的诱导风未经过滤处理	图11.6-29
动作能源	电动式	由温控器给出的信号经放大器放大信号后传给调节器, 以控制执行机构(阀板)的开大或关小。电动式的调节器由一个可正反转的电机或两个旋转方向相反的电机带动, 一般均用24V的低压电源	图11.6-30
	气动式	原理同电动式。调节器的能源为干燥、清洁的压缩空气, 气压约为140kPa	图11.6-31
	自力式	利用送风系统中有压的空气作为能源来使调节器动作, 以控制执行机构	图11.6-32

3. 送风口

常用的有孔板风口和条缝型散流器两种。分别见图11.6-33和图11.6-34。

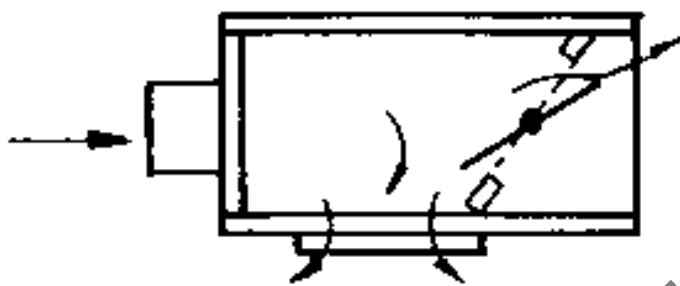


图 11.6-24 旁通型末端装置

孔板风口的中间有个小喷管, 直接接至主风道, 保证最小的新风量。主风道接管处有一阀板, 根据温控器的信号调节送风量。

风口与变风量末端装置间的连接多采用软管, 如图11.6-35。

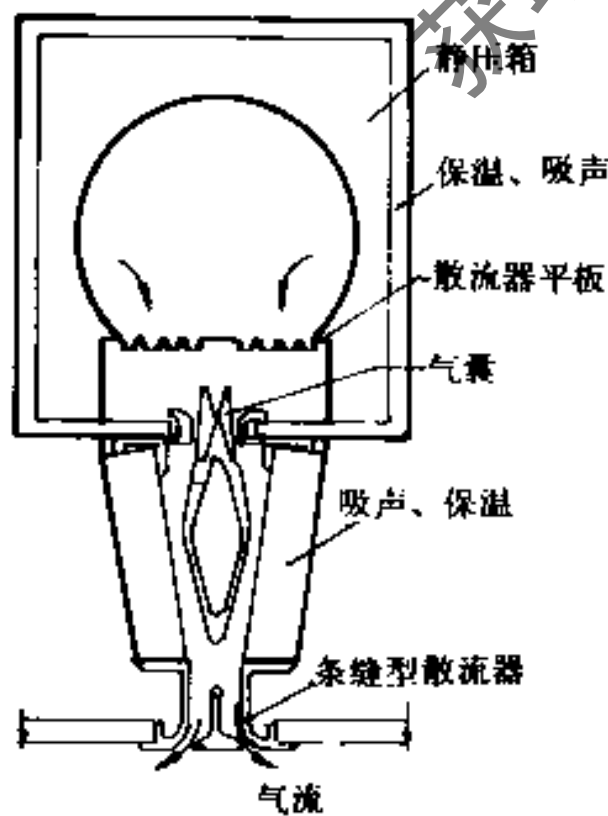


图 11.6-25 气囊式风口

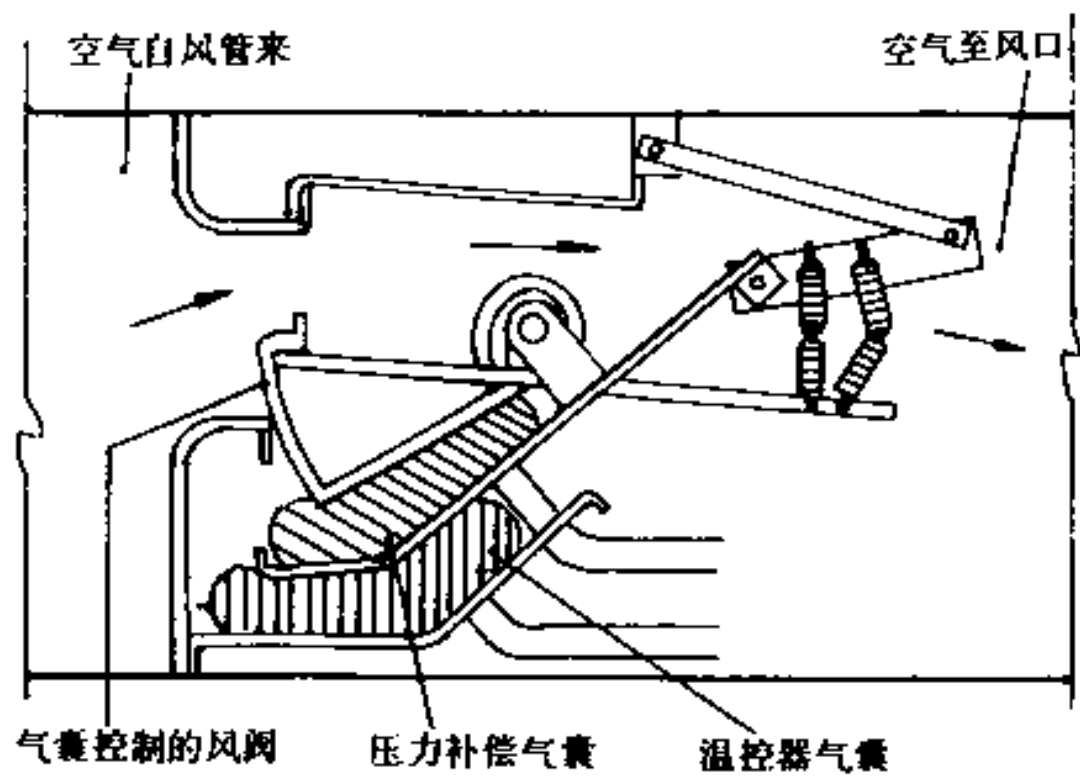


图 11.6-26 气囊式阀板

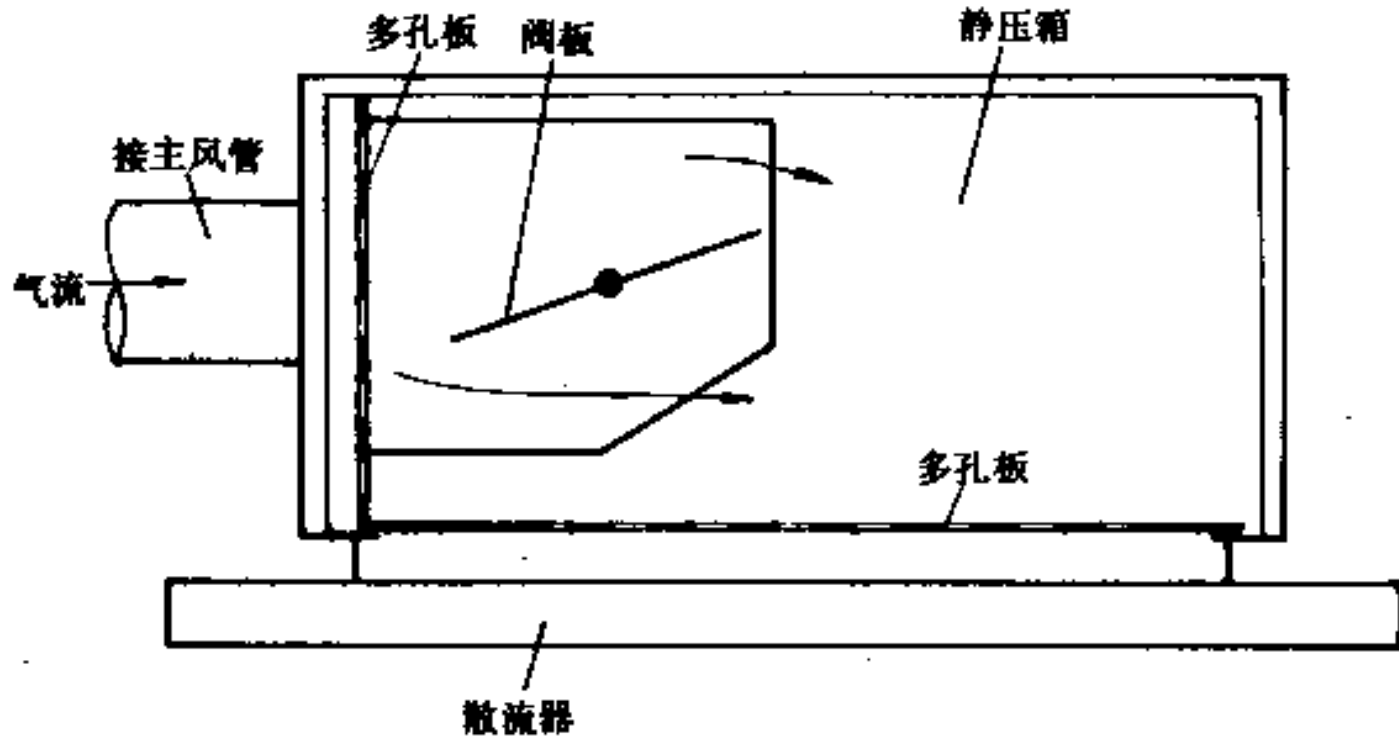


图 11.6-27 阀板型末端装置

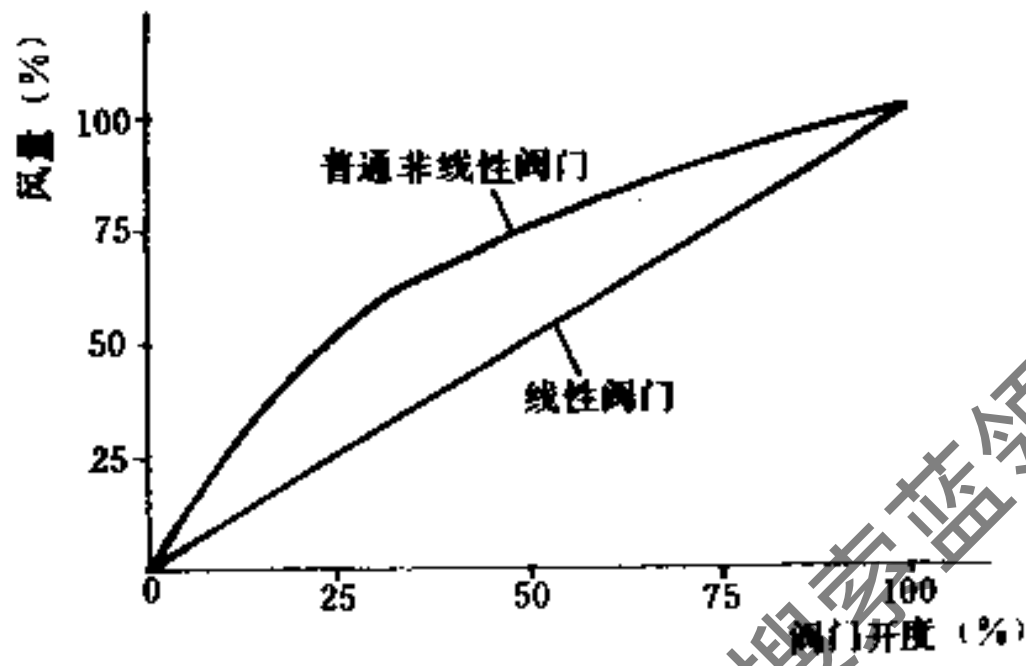


图 11.6-28 阀板调节特性

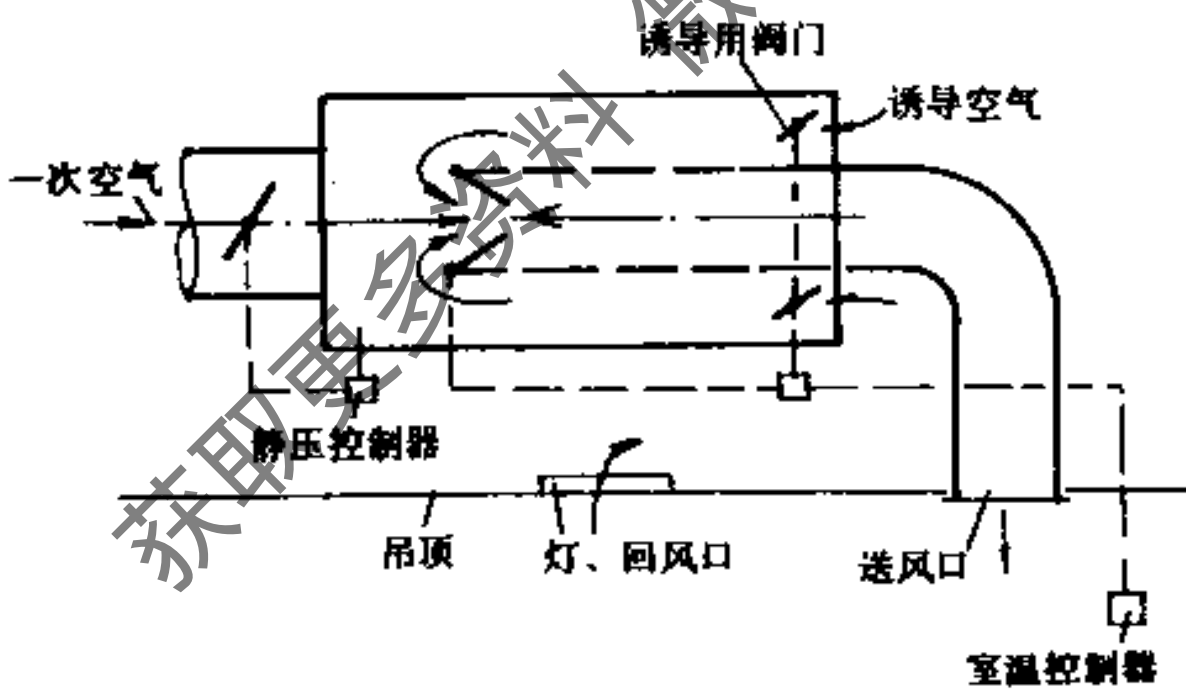


图 11.6-29 诱导型末端装置

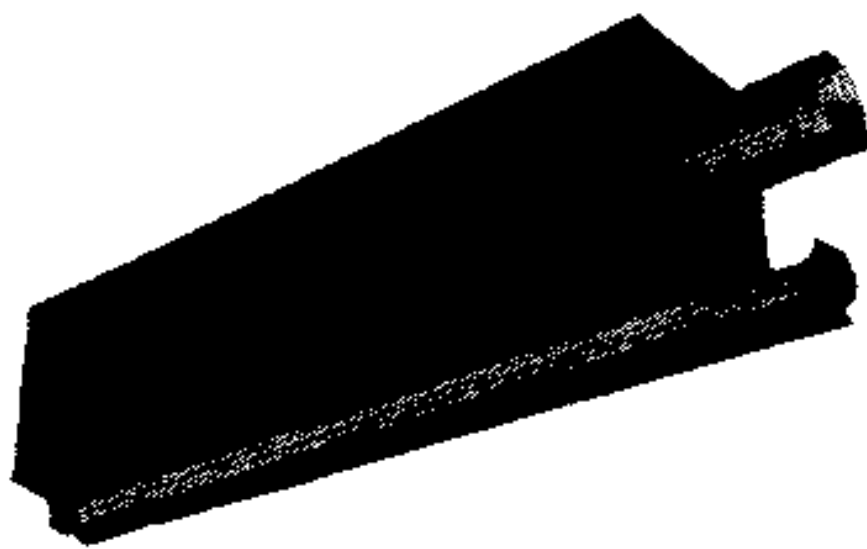


图 11.6-30 电动式调节器

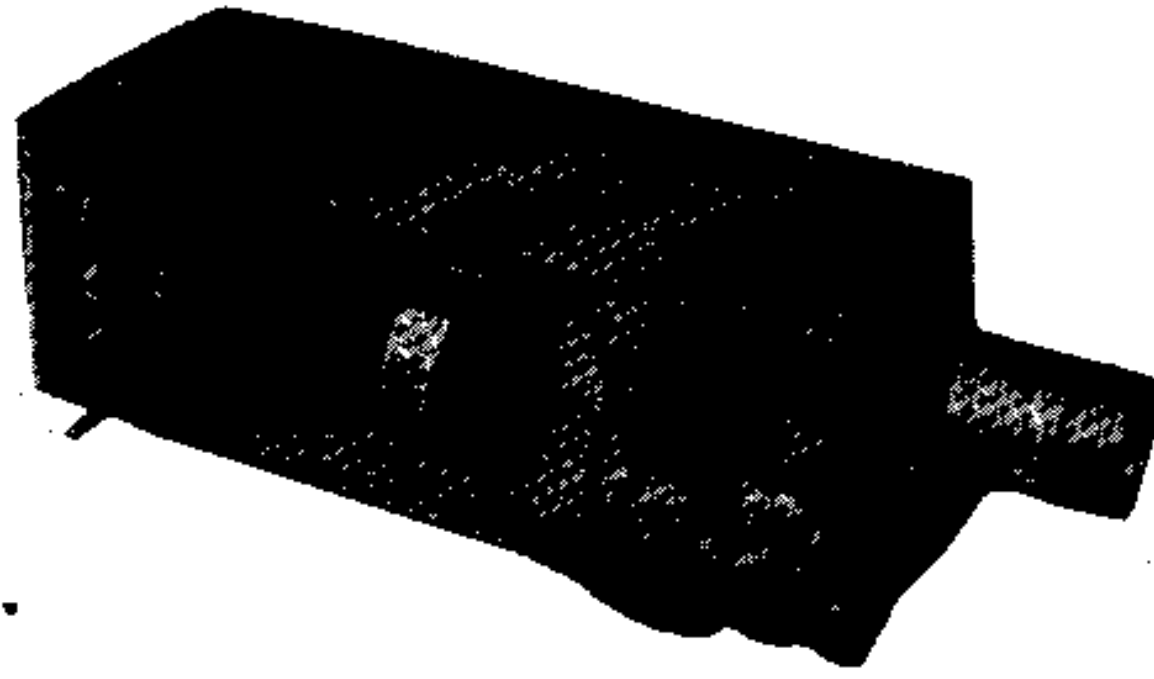


图 11.6-31 气动式调节器

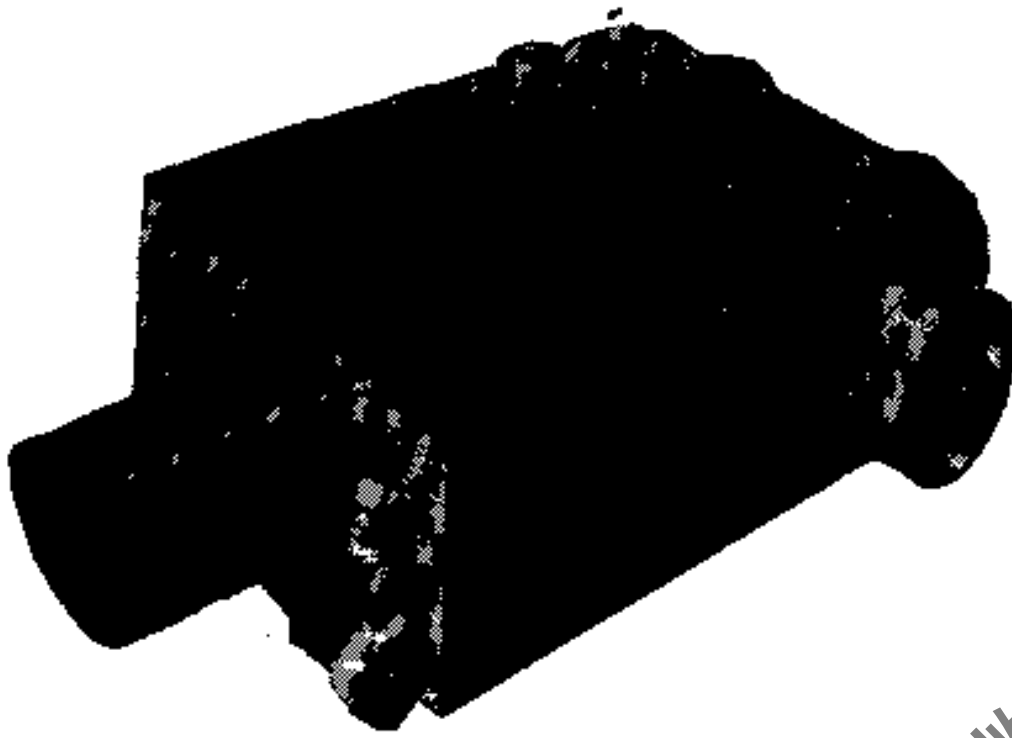


图 11.6-32 自力式调节器

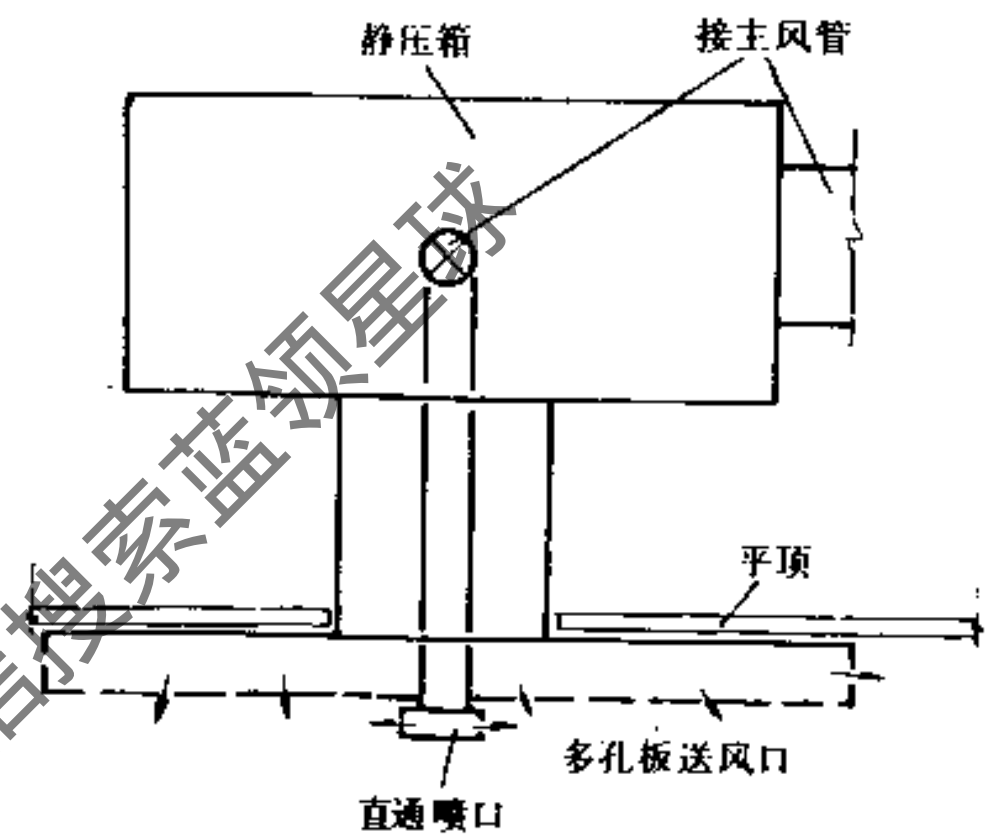


图 11.6-33 孔板风口

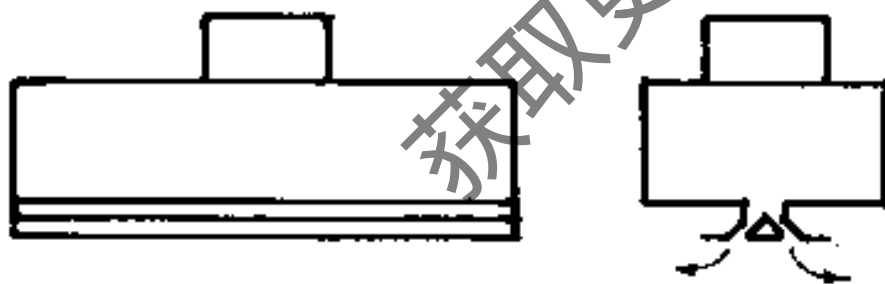


图 11.6-34 条缝型散流器风口

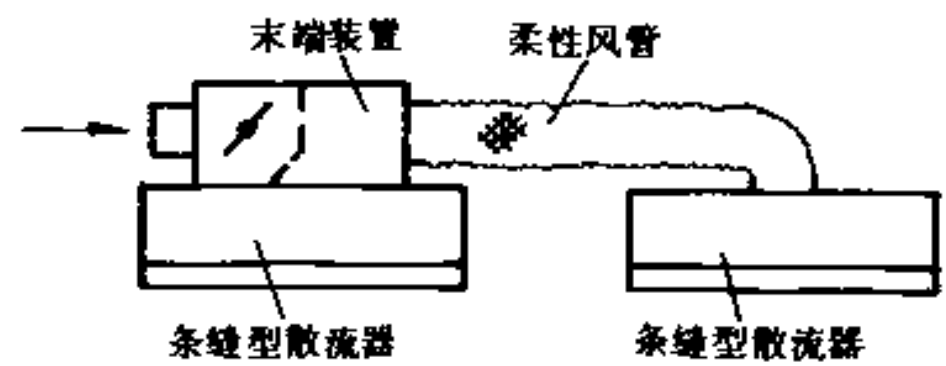


图 11.6-35 风口与变风量末端装置的连接

4. 风机变风量方法

设计变风量空调系统时，通风机必须采取相应的变风量调节措施。

常用的变风量方法有下列两类：

(1) 风机入口可变导向叶片

- 适用范围较广，能在50~100%的范围内调节风量。
- 节约耗电量，在风量为50~100%的范围内，耗电量和风量基本成正比。
- 初投资省。

一般不采用风机出口可变导向叶片，它使风机特性曲线变陡，易于进入喘振，节能效果也差。

(2) 变速装置 电动机改变转速，则与其联动的风机转速也改变了。

1) 有转差损耗的调速系统

a. 绕线性异步电动机转子串电阻调速，它是通过电刷使转子绕组与外电路附加电阻接通，进行调速。

b. 笼型异步电动机改变定子电压，进行调速。

c. 电磁调速电动机调速系统。该系统由笼型异步电动机、涡流式电磁转差离合器和直流励磁电源三部分组成。

这类系统当速度调低时都存在附加的转差损耗，这部分能量不能回收，而是以热能形式散失，故调速的效率不如无转差损耗的调速系统。

2) 无附加转差损耗的高效调速系统

a. 绕线型异步电动机串级调速。即在绕线型异步电动机的转子电路中串入一个附加电势，降低电动机的转速，以达到调速的目的。

b. 笼型异步电动机变频调速。改变异步电动机定子端输入电源的频率，可平滑地调节异步电动机的同步转速。一般常用的可控硅整流器调速即为此方法。交流电进入可控硅整流器变成脉冲直流电，通过直流滤波电抗器成为一个光滑平稳的直流电流输出，再送至功率逆变器，成为可变电压和频率的交流电输给感应电机。

c. 笼型异步电动机变极对数调速。改变电动机定子绕组产生旋转磁场的极对数，以达到有级调速的目的。

这类系统不存在附加的转差损耗，效率高，节能效果好，但装置技术复杂，价格较高，维护管理要求也高。

各种风机变风量方法的节能比较见图11.6-36。

风管系统静压力的控制点，宜选在送风干管的末端附近（风管总长的2/3至3/4处）。

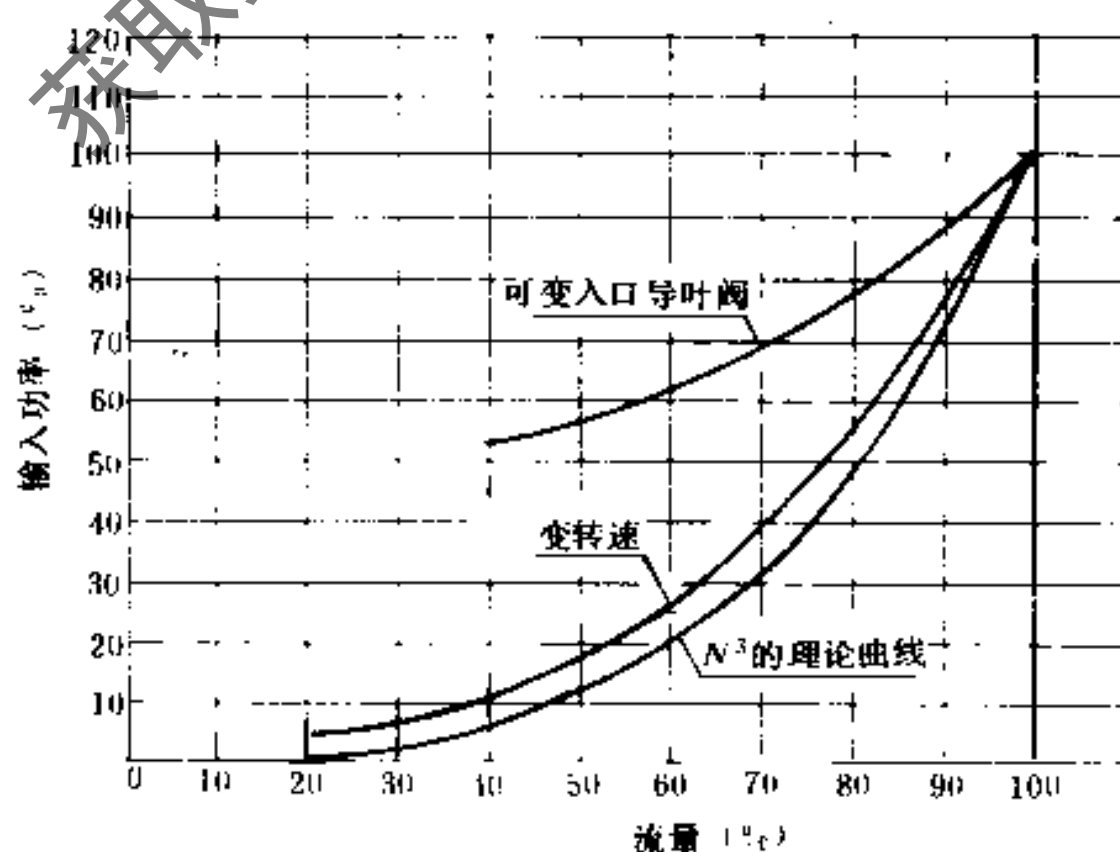


图 11.6-36 变风量的节能比较

11.7 空气调节器(机)

11.7.1 空气调节器(机)的分类

空气调节器(机)简称空调器(机),是一种带有制冷机、换热器(冷、热)、通风机等设备的整套空气处理机组。其分类如表11.7-1所示。

空调器的分类

表 11.7-1

分类依据	型式	特 征
容量大小	窗 式	容量与外形尺寸较小,制冷量一般在7000W以下,风量在1200m ³ /h以下,适合窗口或外墙上安装
	柜 式	容量与外形尺寸较大,制冷量大于7000W,风量大于1200m ³ /h,可直接置于空调房间内
	立 式	容量与外形尺寸中等,制冷量一般在10000W以下,风量在1500m ³ /h以下,类似立式风机盘管机组
冷却方式	水 冷 式	利用冷却水冷却冷凝器
	风 冷 式	利用室外空气冷却冷凝器
结构形式	整体式	制冷机(含冷凝器、蒸发器、压缩机等)、换热器、通风机、空气过滤器等组合安装在一个整体立柜内
	分体式	压缩机和冷凝器,蒸发器和送风机分别组成室外机组与室内机组两部分,各自独立安装
	组合式	压缩机和冷凝器独立组成压缩冷凝机组,蒸发器与送风机、加热器等独立组成空调机组,可以装在同一室内,也可分别安装在不同房间里
供热方式	电热式	以电加热器对空气进行加热
	热媒式	以蒸汽或热水供给空气加热器对空气进行加热
	热泵式	通过四通换向阀,实现冷凝器与蒸发器功能的转换而对空气进行加热
安装方式	固定式	整个设备安装于一个固定位置上,通过拆卸才能变更安装位置
	移动式	整个设备在使用过程中可以自由移动,一般带有排气软管

注:窗式、立式空调器也称房间空调器。

11.7.2 空气调节器的制冷量

空气调节器中压缩机向蒸发器提供的实际冷量 Q_1 (W),可按下式计算:

$$Q_1 = 0.9Q_k = 0.9KQ_0 \quad (11.7-1)$$

对于活塞式压缩机:

$$K = \frac{Q_k}{Q_0} = 1.72n_1 e^{0.0437t_1} \quad (11.7-2)$$

式中 K ——制冷量换算系数,见表11.7-2;

Q_k ——压缩机在空调设计工况下的制冷量, W;

Q_0 ——压缩机在标准工况($t_1 = 30^\circ\text{C}$, $t_2 = -15^\circ\text{C}$)下的制冷量, W;

n_1 ——冷凝温度系数，见表11.7-3；

t_z ——蒸发温度，℃。

制冷量换算系数 K

表 11.7-2

蒸发温度 (℃)	冷 凝 温 度 (℃)					
	25	30	35	40	45	50
-10	1.41	1.31	1.21	1.11	1.03	0.96
-8	1.54	1.43	1.32	1.21	1.12	1.04
-6	1.68	1.56	1.44	1.32	1.23	1.12
-4	1.83	1.70	1.57	1.44	1.34	1.24
-2	2.00	1.86	1.72	1.57	1.46	1.35
0	2.18	2.03	1.87	1.72	1.60	1.48
2	2.38	2.21	2.04	1.88	1.74	1.61
4	2.60	2.42	2.23	2.05	1.91	1.76
6	2.84	2.64	2.44	2.24	2.08	1.92
8	3.10	2.88	2.66	2.44	2.27	2.10
10	3.40	3.14	2.90	2.66	2.48	2.29

冷凝温度系数 n_1

表 11.7-3

冷凝温度(℃)	25	30	35	40	45	50
系数 n_1	1.27	1.18	1.09	1.00	0.93	0.86

11.7.3 冷凝温度和冷却水量

冷凝温度 t_1 (℃)，可根据不同的冷却方式按下列公式确定：

$$\text{水冷} \quad t_1 = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} + 4 \sim 8 \quad (11.7-3)$$

$$\text{风冷} \quad t_1 = t_k + 15 \quad (11.7-4)$$

式中 t_{w1} 、 t_{w2} ——冷却水的进、出水温度，℃；

t_k ——夏季空调室外计算干球温度，℃。

冷凝器需要的冷却水量 W (kg/s)，可按下列公式确定：

$$W = \frac{1.2Q_1}{c(t_{w2} - t_{w1})} = \frac{1.2Q_1}{c\Delta t_w} \quad (11.7-5)$$

式中 Q_1 ——压缩机的实际制冷量，kW；

c ——水的比热容，一般取 $c = 4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{℃})$ ；

Δt_w ——冷却水的温升，对卧式冷凝器，一般 $\Delta t_w = 4 \sim 8 \text{ ℃}$ 。

注意：进水温度偏高，冷凝器的水行程数较少时， Δt_w 宜取下限值；

进水温度偏低，冷凝器的水行程数较多时， Δt_w 宜取上限值。

11.7.4 蒸发器（直接蒸发式空气冷却器）的选择计算

1. 热工计算

热工计算一般可根据制造厂提供的热工性能试验数据进行选择计算。

当利用温度效率和接触系数（冷却效率）进行热工计算时，在 $i-d$ 图上的过程见图11.7-1。

(1) 湿球温度效率 E_s :

$$E_s = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_z} \quad (11.7-6)$$

由于 $i \approx 0.7t_s$

$$\text{所以 } E_s = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{t_{s1} - t_z} \quad (11.7-7)$$

$$\text{而 } t_z = t_{s1} - \frac{t_{s1} - t_{s2}}{E_s} \quad (11.7-8)$$

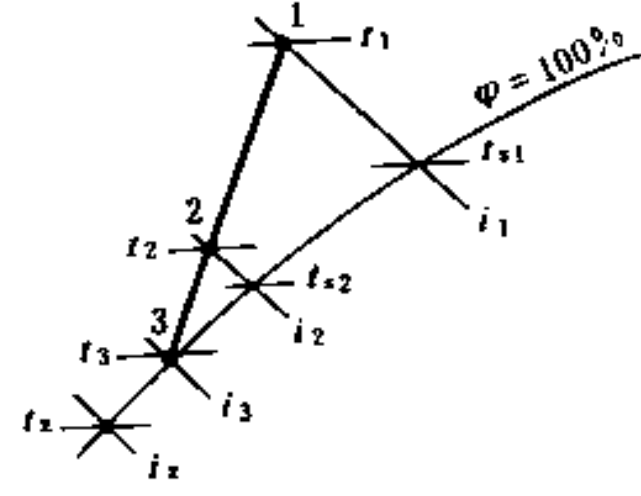


图 11.7-1 蒸发器热工计算时的 $i-d$ 图

式中 t_{s1} 、 t_{s2} ——空气初、终状态的湿球温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

i_1 、 i_2 ——空气初、终状态的焓， J/kg ；

t_z ——蒸发温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

• E_s 值与蒸发器的结构形式、排数 N 、迎面风速 v_y 、制冷剂种类等有关，一般由试验求得，由制造厂提供。

• 新蒸发器的 E'_s 值，见图 11.7-2。

• 考虑结垢、积灰等因素，必须对 E'_s 值乘以安全系数 $a = 0.94$ ，即

$$E_s = a E'_s = 0.94 E'_s$$

• 对一定型式的蒸发器来说，排数 N 和迎面风速 v_y 一定时， $E_s = f(t_z)$ 。

• t_z 越低，则 E_s 值越高，但制冷机的制冷量下降。一般宜取 $t_z = 0 \sim 7^{\circ}\text{C}$ 。

• 防止蒸发器表面结冰的最低蒸发温度，如表 11.7-4 所示。

防止结冰的最低蒸发温度 ($^{\circ}\text{C}$) 表 11.7-4

出蒸发器空气的 湿球温度 $t_{s,z}$ ($^{\circ}\text{C}$)	蒸发器的迎面风速 (m/s)		
	1.5	2.0	2.5
7.2	0	0	0
10.0	0	0	0
12.8	0	-0.6	-1.0
15.6	-2.8	-3.3	-4.0

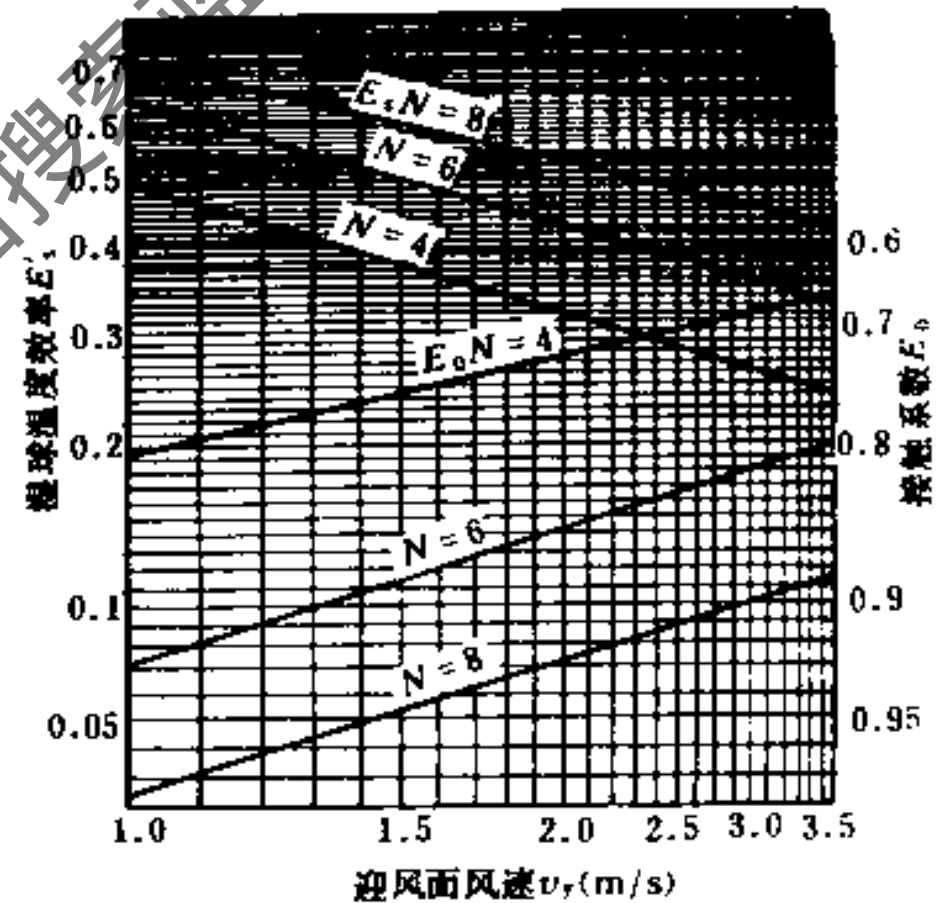


图 11.7-2 ZF24、ZF48 型蒸发器的 E'_s 、 E_0 值计算图

(2) 接触系数 E_0 :

$$E_0 = 1 - \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_3} \quad (11.7-9)$$

或近似地按下式计算 (将 $\phi = 100\%$ 的饱和曲线看作直线):

$$E_0 = 1 - \frac{t_2 - t_{s2}}{t_1 - t_{s1}} \quad (11.7-10)$$

$$\text{而 } t_2 = t_{s2} + (1 - E_0)(t_1 - t_{s1}) \quad (11.7-11)$$

式中 t_3 ——蒸发器的平均表面温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

• 蒸发器的 E_0 值，与蒸发器的结构形式、排数 N 、迎面风速 v_y 等有关，由试验求得。

• 国产 ZF24、ZF48 型蒸发器的 E_0 值，可由图 11.7-2 求得。结构类似的蒸发器，可参

照采用。

2. 蒸发器的空气阻力

对于等湿减焓过程（干式冷却），空气通过蒸发器时的压力损失 ΔP_g (Pa)，可按式确定：

$$\Delta P_g = A v_y^m \quad (11.7-12)$$

对于减湿减焓过程（湿式冷却），压力损失 ΔP_s (Pa)，可按式确定：

$$\Delta P_s = \psi \Delta P_g \quad (11.7-13)$$

式中 A 、 m ——与蒸发器形式有关的常数；

ψ ——修正系数。

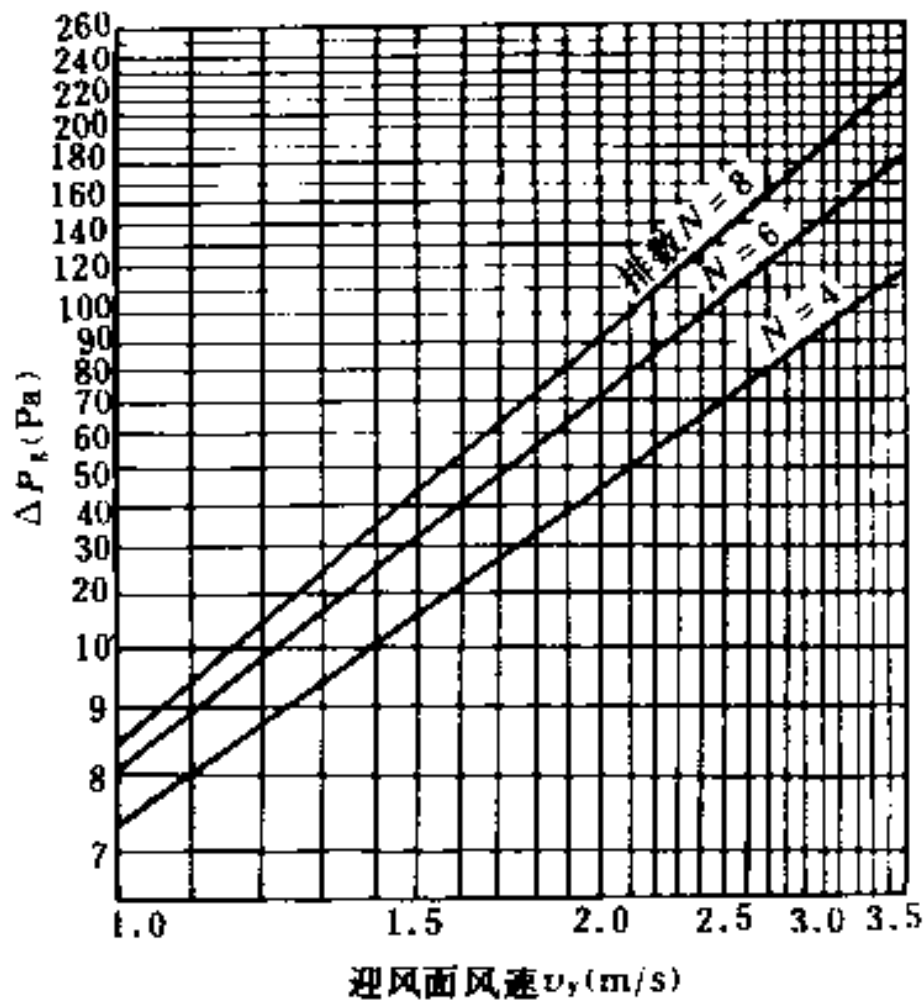


图 11.7-3 ZF24、ZF48型蒸发器的 ΔP_g 值

• ZF24、ZF48型蒸发器的 ΔP_g 值，也可由图11.7-3求出。

• 由图11.7-3求出的 ΔP_g 值，一般应乘以1.05~1.10安全系数。

• 湿式冷却时的修正系数 ψ ，可根据气流方向、迎面风速 v_y 由图11.7-4确定。

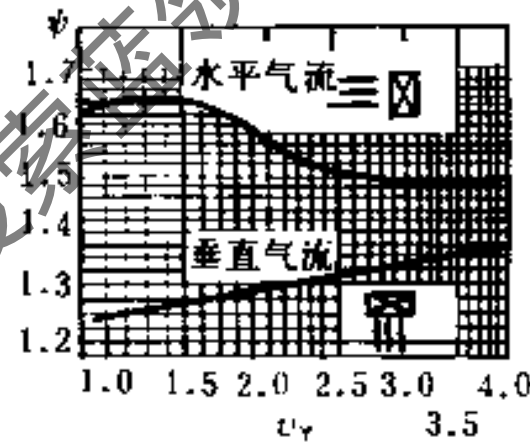


图 11.7-4 湿式冷却时的修正系数 ψ

11.7.5 空调器的热平衡计算

1. 空气处理 空气从蒸发器得到的冷量 Q_2 (kW)：

$$Q_2 = G(i_1 - i_2) = G\Delta i \quad (11.7-14)$$

取

$$b = \frac{i_1 - i_2}{t_{s1} - t_{s2}} = \frac{\Delta i}{\Delta t_s}$$

所以

$$Q_2 = Gb\Delta t_s \quad (11.7-15)$$

式中 G ——通过的空气量，kg/s；

i_1 、 i_2 ——蒸发器进、出口空气的焓，kJ/kg；

t_{s1} 、 t_{s2} ——蒸发器进、出口空气的湿球温度，℃；

b ——进出口空气的焓差与湿球温差之比，kJ/(kg·℃)。

工程实践中， $t_{s1} = 11 \sim 30$ ℃。这时，进出口空气的焓差与湿球温度差之比，可按式确定：

$$b = \frac{\Delta i}{\Delta t_s} = 1.754 C_B \Delta t_s^{0.126} \times e^{0.0388 t_{s1}} \quad (11.7-16)$$

式中 C_B ——大气压力修正系数，见表11.7-5。

大气压力修正系数 C_B

表 11.7-5

大气压力(kPa)	67	73	80	87	93	100	107	113	120	127
C_B	1.364	1.265	1.184	1.116	1.059	1.000	0.969	0.928	0.896	0.865

空调工程常用范围的 b 值, 见表11.7-6。

常用范围的 b 值表 [kJ/(kg·°C)]
(大气压力 $B=100\text{kPa}$)

表 11.7-6

进口空气的湿球温度 t_{s1} (°C)	进、出口空气的湿球温度差 Δt_s (°C)				
	4	6	8	10	12
8	2.000	1.908	1.837	1.789	1.741
10	2.166	2.063	1.985	1.934	1.882
12	2.343	2.231	2.147	2.092	2.036
14	2.534	2.414	2.323	2.263	2.202
16	2.740	2.610	2.512	2.447	2.382
18	2.961	2.820	2.715	2.644	2.574
20	3.197	3.045	2.931	2.855	2.779
22	3.462	3.298	3.174	3.091	3.009
24	3.742	3.564	3.430	3.341	3.252
26	4.037	3.845	3.700	3.604	3.508
28	4.361	4.153	3.998	3.894	3.790
30	4.711	4.490	4.322	4.210	4.097

将公式 (11.7-16) 代入式 (11.7-15), 则可得:

$$Q_2 = 1.754GC_B \Delta t_s^{0.874} \times e^{0.0388 t_{s1}} \quad (11.7-17)$$

2. 热平衡计算

制冷压缩机提供的实际冷量 Q_1 , 应等于处理空气从蒸发器得到的冷量 Q_2 , 即

$$Q_1 = Q_2$$

所以

$$\frac{n_1 Q_0}{\phi GC_B} = 1.02 \Delta t_s^{0.874} \times e^{0.0437 \Delta t_s / E_s} \quad (11.7-18)$$

式中 ϕ ——风量修正系数, 可按下列式计算:

$$\phi = 1.11 e^{-0.0049 t_{s1}}$$

说明: 当空气湿球温度 t_{s1} 由 11°C 变化至 30°C 时, ϕ 值由 1.053 变化至 0.959; 所以, 实践中可近似取 $\phi = 1$ 。

$\frac{n_1 Q_0}{\phi GC_B} = f(\Delta t_s, E_s)$ 的数值关系, 见表11.7-7。

 $\frac{n_1 Q_0}{\phi GC_B} = f(\Delta t_s, E_s)$ 表 (kJ/kg)

表 11.7-7

Δt_s (°C)	E_s 值								
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
2.0	2.59	2.40	2.33	2.27	2.23	2.19	2.16	2.14	2.12
2.5	3.27	3.10	2.98	2.89	2.82	2.77	2.72	2.68	2.65
3.0	4.12	3.87	3.69	3.56	3.46	3.37	3.31	3.25	3.21

续表

Δt_s (°C)	E_s 值								
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
3.5	5.08	4.72	4.47	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.79
4.0	6.15	5.65	5.31	5.06	4.87	4.71	4.59	4.49	4.40
4.5	7.33	6.67	6.22	5.89	5.63	5.44	5.28	5.14	5.03
5.0	8.63	7.78	7.19	6.77	6.45	6.19	5.99	5.83	5.69
5.5	10.08	8.99	8.25	7.72	7.32	7.01	6.76	6.55	6.38
6.0	11.69	10.31	9.39	8.73	8.24	7.86	7.55	7.30	7.10
6.5	13.50	11.80	10.66	9.85	9.25	8.78	8.41	8.11	7.86
7.0	15.50	13.40	12.01	11.03	10.31	9.75	9.31	8.95	8.65
7.5	17.70	15.14	13.46	12.29	11.43	10.76	10.24	9.82	9.47
8.0	20.17	17.07	15.06	13.67	12.65	11.87	11.25	10.76	10.35
8.5	22.80	19.11	16.74	15.10	13.90	13.00	12.29	11.71	11.25
9.0	25.79	21.39	18.59	16.67	15.27	14.22	13.40	12.74	12.20
9.5	29.11	23.89	20.60	18.36	16.74	15.52	14.58	13.82	13.21
10.0	32.74	26.59	22.75	20.15	18.28	16.89	15.81	14.94	14.24
10.5	36.76	29.54	25.08	22.07	19.93	18.34	17.11	16.13	15.33
11.0	41.06	32.67	27.52	24.09	21.65	19.84	18.45	17.35	16.46

11.7.6 选择计算举例

【例】已知：风量 $G=2.722\text{kg/s}$ ，大气压力 $B=100\text{kPa}$ 。冷却水的初、终温为： $t_{w1}=32^\circ\text{C}$ ， $t_{w2}=36^\circ\text{C}$ 。

要求：将初参数为 $t_1=24.4^\circ\text{C}$ ， $t_{s1}=18.2^\circ\text{C}$ ， $i_1=51.5\text{kJ/kg}$ 的空气处理到参数为 $t_2=11.8^\circ\text{C}$ ， $t_{s2}=11^\circ\text{C}$ ， $i_2=31.6\text{kJ/kg}$ 的终状态。试选择空调器，确定冷凝温度 t_1 、蒸发温度 t_2 和压缩机提供给蒸发器的冷量 Q_1 ，并校核空气要求达到的参数 t_2 。

【解】

1. 根据式 (11.7-3) 计算冷凝温度：

$$t_1 = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} + 6 = \frac{32 + 36}{2} + 6 = 40^\circ\text{C}$$

2. 确定空气要从蒸发器得到的冷量：

$$Q_2 = G(i_1 - i_2) = 2.722 \times (51.5 - 31.6) = 54.2\text{kW}$$

3. 根据要求风量与冷量，初选一种空调器，例如 LH48 型。从而知蒸发器的迎风面积 $f_y = 1.33\text{m}^2$ ，排数 $N = 6$ ，标准工况下的制冷量 $Q_0 = 32.6\text{kW}$ 。

4. 计算蒸发器的迎风面风速 v_y ：

$$v_y = \frac{G}{f_y \cdot \rho} = \frac{2.722}{1.33 \times 1.2} = 1.7\text{m/s}$$

注： ρ ——空气的密度， kg/m^3 。

5. 根据 $v_y = 1.7\text{m/s}$ 、 $N = 6$ 排，由图 11.7-2 得 $E'_s = 0.46$ 。所以， $E_s = 0.94E'_s = 0.94 \times 0.46 = 0.43$ 。同时得： $E_0 = 0.873$ 。

6. 根据 $\Delta t_s = t_{s1} - t_{s2} = 18.2 - 11 = 7.2^\circ\text{C}$ 和 $E_s = 0.43$ ，由式 (11.7-18) 得：

$$\frac{n_1 Q_0}{\phi G C_B} = 1.02 \Delta t_s^{0.874} \cdot e^{0.0437 \Delta t_s / E_s} = 1.02 \times 7.2^{0.874} \times e^{0.0437 \times 7.2 / 0.43} = 11.9\text{kJ/kg}$$

根据 $\Delta t_s = 7.2^\circ\text{C}$ ， $E_s = 0.43$ ，由表 11.7-7 也可得出： $\frac{n_1 Q_0}{\phi G C_B} = 11.9\text{kJ/kg}$ 。

7. 当 $t_1 = 40^\circ\text{C}$ 时，由表 11.7-3 得： $n_1 = 1.00$ 。同时，由表 11.7-5 可知，当 $B = 100\text{kPa}$ 时，

$C_B=1.00$ 。所以，可得：

$$\frac{1.00Q_0}{1.0 \times 2.722 \times 1.00} = 11.9 \text{ kJ/kg}$$

即

$$Q_0 = 11.9 \times 2.722 = 32.39 \text{ kW}$$

这与LH48型空调器的标准产冷量基本相等，所以，可以认为选型合适。

8. 由式 (11.7-8) 可计算出蒸发温度 t_z ：

$$t_z = t_{s1} - \frac{t_{s1} - t_{s2}}{E_s} = 18.2 - \frac{18.2 - 11}{0.43} = 1.5^\circ\text{C}$$

9. 由式 (11.7-2) 得制冷量换算系数 K ：

$$K = 1.72n_1 e^{0.0437 t_z} = 1.72 \times 1.00 \times e^{0.0437 \times 1.5} = 1.84$$

根据 $t_z = 1.5^\circ\text{C}$ 和 $t_1 = 40^\circ\text{C}$ ，由表11.7-2也可得出同样结果，即 $K = 1.84$ 。

10. 根据式 (11.7-1)，可求出压缩机提供的实际冷量 Q_1 ：

$$Q_1 = 0.9KQ_0 = 0.9 \times 1.84 \times 32.39 = 53.64 \text{ kW}$$

由于 $Q_2 = 54.2 \approx Q_1 = 53.64 \text{ kW}$ ，可以认为基本满意。

11. 校核空气的终状态温度，由式 (11.7-11) 得：

$$\begin{aligned} t_2 &= t_{s2} + (1 - E_0)(t_1 - t_{s1}) \\ &= 11 + (1 - 0.873)(24.4 - 18.2) = 11.79^\circ\text{C} \end{aligned}$$

与要求的终参数 $t_2 = 11.8^\circ\text{C}$ 基本相等。

12. 由式 (11.7-5) 得冷却水耗量：

$$W = \frac{1.2 \times Q_1}{c \Delta t_w} = \frac{1.2 \times 53.64}{4.2 \times 4} = 3.83 \text{ kg/s}$$

11.7.7 空调器应用范围的扩大——“循环混合”

1. “循环混合”的流程

- 国产空调器的设计焓降 Δi ，一般均为 $\Delta i < 20 \text{ kJ/kg}$ 。因此，新风比受到较大的限制。
- 应用“循环混合”法，能在一定范围内增大新风比，从而扩大空调器的应用范围。
- “循环混合”是利用已选定空调器的风量和冷量的裕量，在混合箱内以直接混合的方式对新风和回风进行预冷，然后再进行冷却处理，如图11.7-5所示。
- “循环混合”方式在 $i-d$ 图上的处理过程，如图11.7-6所示。

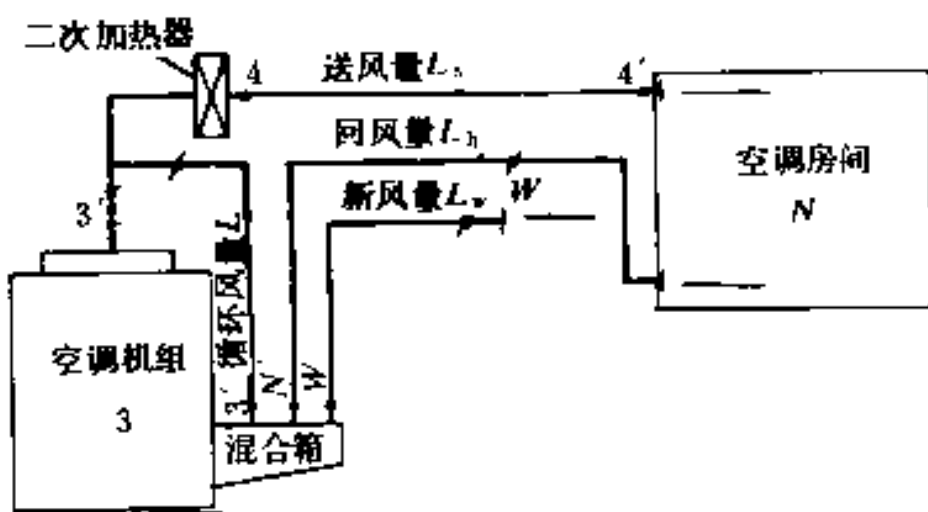


图 11.7-5 “循环混合”的流程
(二次加热器在空调器的外部)

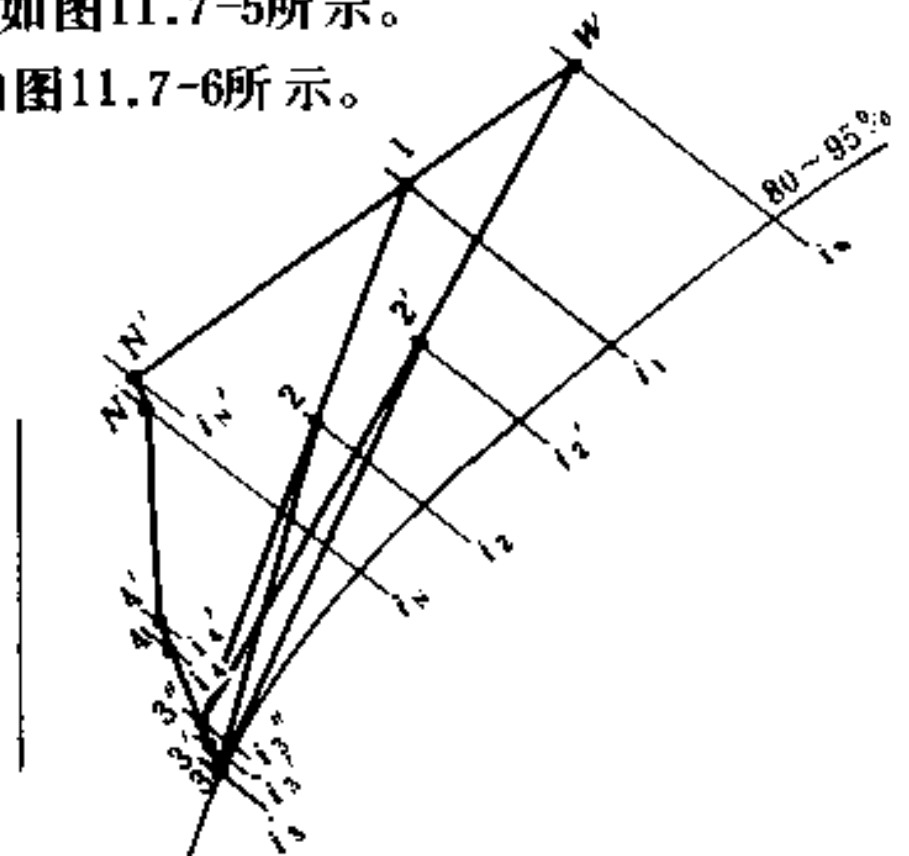


图 11.7-6 “循环混合”在 $i-d$ 图上的处理过程

回风(N')和新风(W)先混合至点1状态, 再与 $3''$ 状态的空气混合得点2; 进入空调器后, 由点2冷却至点3; 经风机温升至点 $3'$, 继经二次加热器升温升至点4, 最后经风管温升至点 $4'$ 进入房间而达到 N 点。

• 当采用全新风时, 则先混合至点 $2'$, 再冷却至点3; 以后过程与有一次回风时完全相同。

2. 空调器的风量平衡

$$L_z = L_x + L_s = L_h + L_w + L_x \quad (11.7-19)$$

$$L_s = L_h + L_w \quad (11.7-20)$$

式中 L_z ——通过蒸发器的风量, m^3/h ;

L_x ——循环混合风量, m^3/h ;

L_s ——室内送风量, m^3/h ;

L_h ——室内回风量, m^3/h ;

L_w ——新风量, m^3/h 。

注意: 通过蒸发器的风量 L_z , 不应大于空调器铭牌给出的风量。

3. 一些参数的计算 (图11.7-6、图11.7-7)

(1) 有一次回风时

$$i_1 = i_3'' + \frac{L_z}{L_s} (i_2 - i_3'') \quad (11.7-21)$$

$$t_1 = \frac{L_w}{L_s} t_w + \frac{L_h}{L_s} t_N = \frac{L_w}{L_s} t_w + \left(1 - \frac{L_w}{L_s}\right) t_N \quad (11.7-22)$$

$$\frac{L_w}{L_s} = \frac{i_1 - t_N}{t_w - t_N} \quad (11.7-23)$$

$$t_2 = t_3'' + \frac{L_s}{L_z} (t_1 - t_3'') \quad (11.7-24)$$

(2) 全新风时

$$\frac{L_w}{L_z} = \frac{i_2' - i_3''}{i_w - i_3''} = \frac{t_2' - t_3''}{t_w - t_3''} \quad (11.7-25)$$

(3) 当二次加热器在空调器内时, 若送风需要二次加热, 则全部风量 L_z 都必须先经加热, 然后才能“循环混合”, 如图11.7-7所示。

- 由于风管较短, 可不考虑风管温升。
- 有一次回风时的参数计算关系为:

$$i_1 = i_4 + \frac{L_z}{L_s} (i_2 - i_4) \quad (11.7-26)$$

$$t_1 = \frac{L_w}{L_s} t_w + \left(1 - \frac{L_w}{L_s}\right) t_N \quad (11.7-27)$$

$$\frac{L_w}{L_s} = \frac{i_1 - i_N}{i_w - i_N} \quad (11.7-28)$$

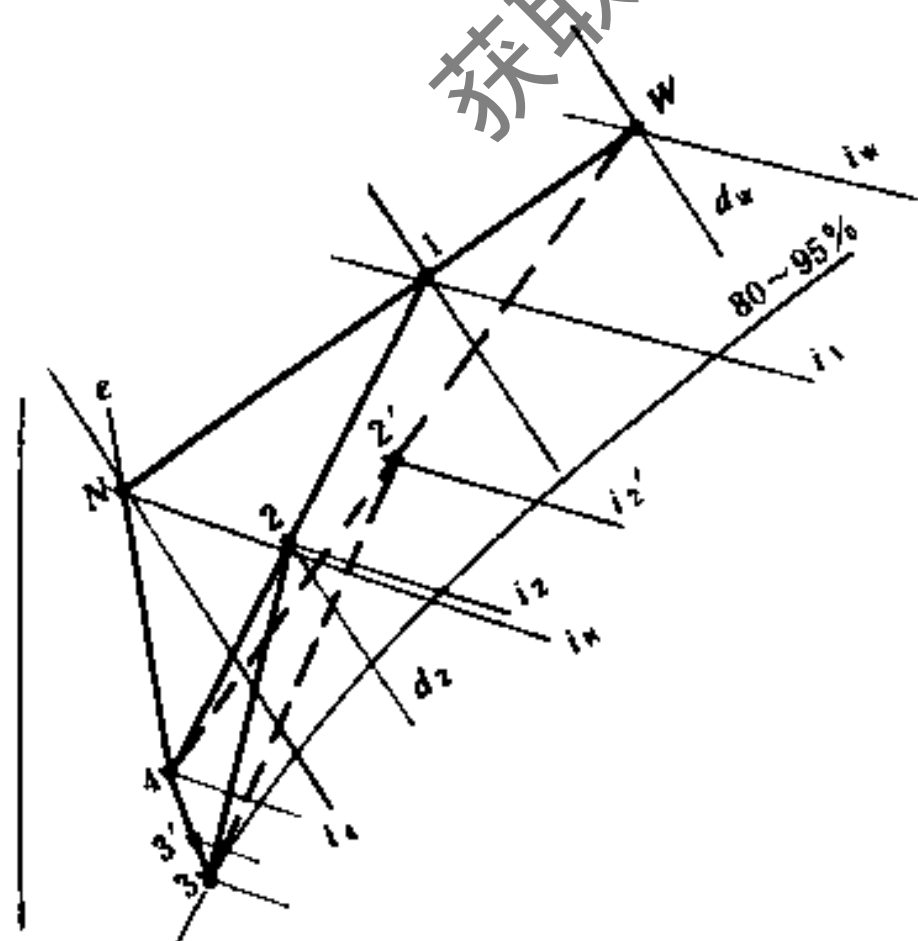


图 11.7-7 加热器在空调器内时处理过程的 $i-d$ 图

$$t_2 = t_4 + \frac{L_s}{L_z} (t_1 - t_4) \quad (11.7-29)$$

• 全新风时:

$$\frac{L_w}{L_z} = \frac{i'_2 - i_4}{i_w - i_4} = \frac{t'_2 - t_4}{t_w - t_4} \quad (11.7-30)$$

上列诸参数计算式中, t 为干球温度 ($^{\circ}\text{C}$), i 为焓值 (kJ/kg), 脚注为 $i-d$ 图上所在点的符号。

(4) 若不采用二次加热, 则: $t'_3 = t_4$, $i'_3 = i_4$ 。当不计回风管温升, 则: $t_N = t'_N$, $i_N = i'_N$ 。在上述条件下, 公式 (11.7-21) 至 (11.7-25) 分别可用式 (11.7-26) 至 (11.7-30) 代替。

11.7.8 空调器出口的合理连接方法

1. 单个出风口 (单风机) 空调器出口风管的合理连接, 如图 11.7-8 所示。
2. 两个出风口 (双风机) 空调器出口风管的合理连接, 如图 11.7-9 所示。
3. 三个出风口空调器出口风管的合理连接, 如图 11.7-10 所示。

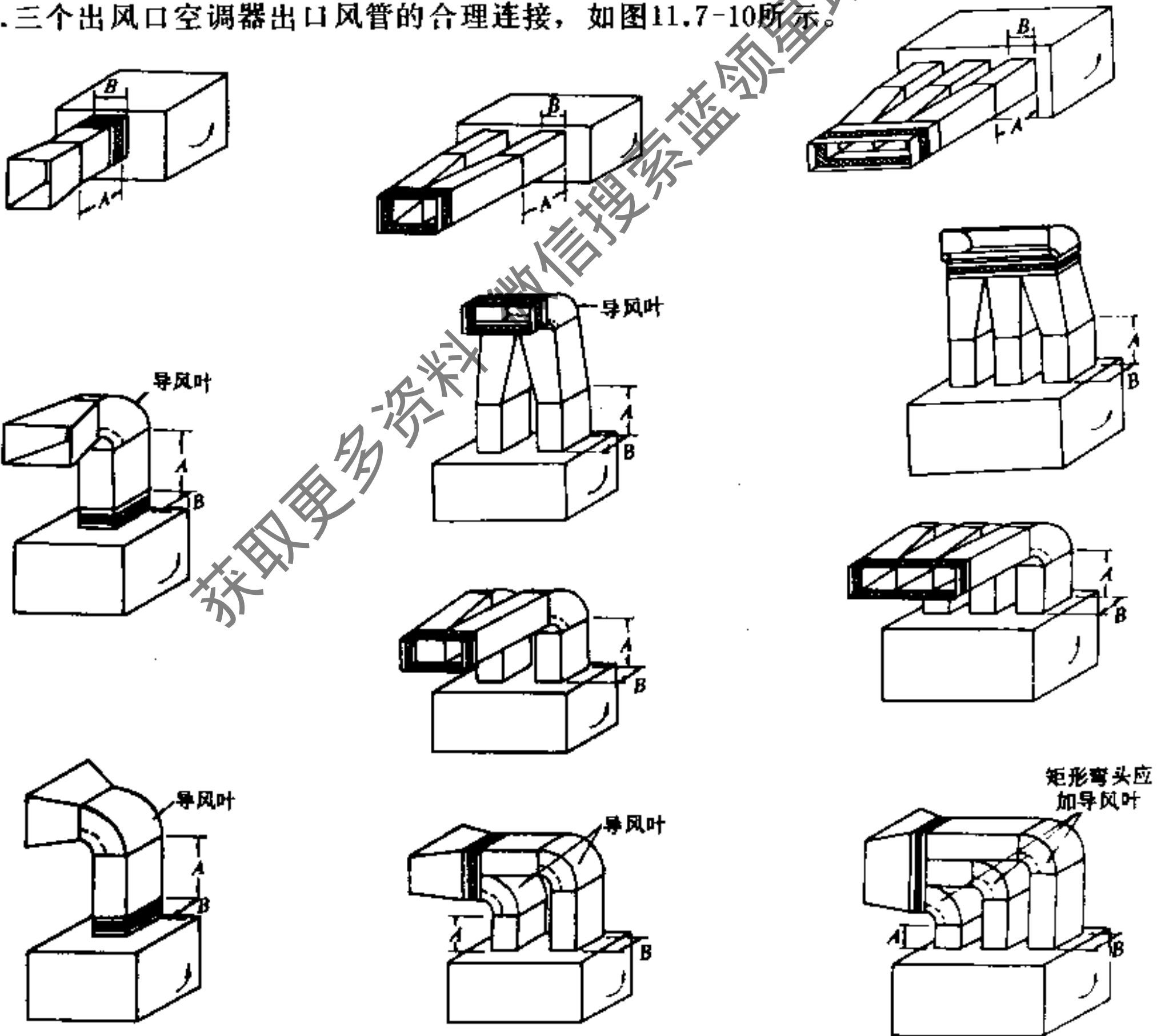


图 11.7-8 单出风口空调器的合理连接法

图 11.7-9 双出风口空调器的合理连接法

图 11.7-10 三出风口空调器的合理连接法

4. 配管连接要点

- 变径管的斜率, 最大为1:7。
- 尽可能以带导风叶的方弯代替圆弯头。
- 出口弯头的朝向, 必须与风机叶轮的转向相同, 必要时, 可改变风机出口方向。
- 变径管及其后面的风管, 应有可靠的支吊架, 以避免其重量传给软接头。
- 图11.7-8、11.7-9和11.7-10中的诸尺寸和符号的意义如下: B ——出口长边的长度; $R_1 = 150\text{mm}$; R_2 ——按叶片设计确定; $A = 1.5 \sim 2.5B$ 。

11.8 空调水系统

11.8.1 空调水系统的类型及优缺点

空调水系统包括冷水系统和冷却水系统两个部分, 它们可以设计成不同的类型, 兹将各种类型水系统的特征及优缺点摘要汇编于表11.8-1内。

水系统的类型及其特征和优缺点

表 11.8-1

类 型	特 征	优 点	缺 点
闭 式	管路系统不与大气相接触, 仅在系统最高点设置膨胀水箱	1. 管道与设备的腐蚀机会少 2. 不需克服静水压力, 水泵压力、功率均低 3. 系统简单	与蓄热水池连接比较复杂
开 式	管路系统与大气相通	与蓄热水池连接比较简单	1. 水中含氧量高, 管路及设备的腐蚀机会多 2. 需要增加克服静水压力的额外能量 3. 输送能耗大
同 程 式	供、回水干管中的水流方向相同; 经过每一环路的管路长度相等	1. 水量分配、调节方便 2. 便于水力平衡	1. 需设回程管, 管道长度增加 2. 初投资稍高
异 程 式	供、回水干管中的水流方向相反; 每一环路的管路长度不等	1. 不需回程管, 管道长度较短, 管路简单 2. 初投资稍低	1. 水量分配、调节较难 2. 水力平衡较麻烦
两 管 制	供冷、供热合用同一管路系统	1. 管路系统简单 2. 初投资省	无法同时满足供冷、供热的要求
三 管 制	分别设置供冷、供热管路及换热器, 但冷、热回水的管路共用	1. 能满足同时供冷、供热的要求 2. 管路系统较四管制简单	1. 有冷、热混合损失 2. 投资高于两管制 3. 管路布置较复杂
四 管 制	供冷、供热的供、回水管均分开设置, 具有冷、热两套独立的系统	1. 能灵活实现同时供冷和供热 2. 没有冷、热混合损失	1. 管路系统复杂 2. 初投资高 3. 占用建筑空间较多
定 流 量	系统中的循环水量保持定值, 负荷变化时, 通过改变供或回水温度来匹配	1. 系统简单, 操作方便 2. 不需要复杂的自控设备	1. 配管设计时, 不能考虑同时使用系数 2. 输送能耗始终处于设计的最大值
变 流 量	系统中的供、回水温度保持定值, 负荷改变时, 通过供水量的变化来适应	1. 输送能耗随负荷的减少而降低 2. 配管设计时, 可以考虑同时使用系数, 管径相应减小 3. 水泵容量、电耗也相应减少	1. 系统较复杂 2. 必须配备自控设备
单 式 泵	冷、热源侧与负荷侧合用一组循环水泵	1. 系统简单 2. 初投资省	1. 不能调节水泵流量 2. 难以节省输送能耗 3. 不能适应供水分区压降较悬殊的情况
复 式 泵	冷、热源侧与负荷侧分别配备循环水泵	1. 可以实现水泵变流量 2. 能节省输送能耗 3. 能适应供水分区不同压降 4. 系统总压力低	1. 系统较复杂 2. 初投资稍高

11.8.2 水系统的布置与承压

1. 承压问题

(1) 系统的最高压力：一般位于水泵出口处的“*A*”点，如图11.8-1所示。通常有下列三种情况：

- 系统停止运行时，最高压力 P_A (Pa)等于系统的静水压力，即

$$P_A = \rho gh \quad (11.8-1)$$

- 系统开始运行的瞬间，动压尚未形成，出口压力等于静水压力与水泵全压 P (Pa)之和，即

$$P_A = \rho gh + P \quad (11.8-2)$$

- 系统正常运行时，出口压力等于该点静水压力与水泵静压之和，即

$$P_A = \rho gh + P - P_d \quad (11.8-3)$$

式中 ρ ——水的密度， kg/m^3 ；

g ——重力加速度， m/s^2 ；

h ——水箱液面至水泵中心的垂直距离， m ；

P_d ——水泵出口处的动压， $P_d = \frac{v^2 \rho}{2}$ ，Pa；

v ——水泵出口处的流速， m/s 。

(2) 冷水机组蒸发器与冷凝器的工作压力 P_g (Pa)：

- 国产冷水机组，一般 $P_g = 1.0\text{MPa}$ 。
- 国外的离心式冷水机组：

普通型 $P_g = 1.0\text{MPa}$

加强型 $P_g = 1.7\text{MPa}$

特加强型 $P_g = 2.0\text{MPa}$

(3) 管材和管件的公称压力(GB1048—70)：

低压管道 $P_g < 2.5\text{MPa}$

中压管道 $P_g = 4 \sim 6.4\text{MPa}$

高压管道 $P_g = 10 \sim 100\text{MPa}$

低压阀门 $P_g = 1.6\text{MPa}$

中压阀门 $P_g = 2.5 \sim 6.4\text{MPa}$

高压阀门 $P_g = 10 \sim 100\text{MPa}$

2. 冷、热源设备的布置

在高层建筑中，为了减少设备及附件集中部位的承压，冷、热源设备通常有以下几种布置方式：

- (1) 布置在塔楼外裙房的顶层，冷却塔则设于裙房的屋顶上，如图11.8-2所示。
- (2) 布置在塔楼中间的技术设备层(或防火层)内，如图11.8-3所示。
- (3) 布置在塔楼顶层，如图11.8-4所示。

(4) 在中间技术设备层内，布置水——水式热交换器，使静水压力分段承受，如图11.8-5所示。

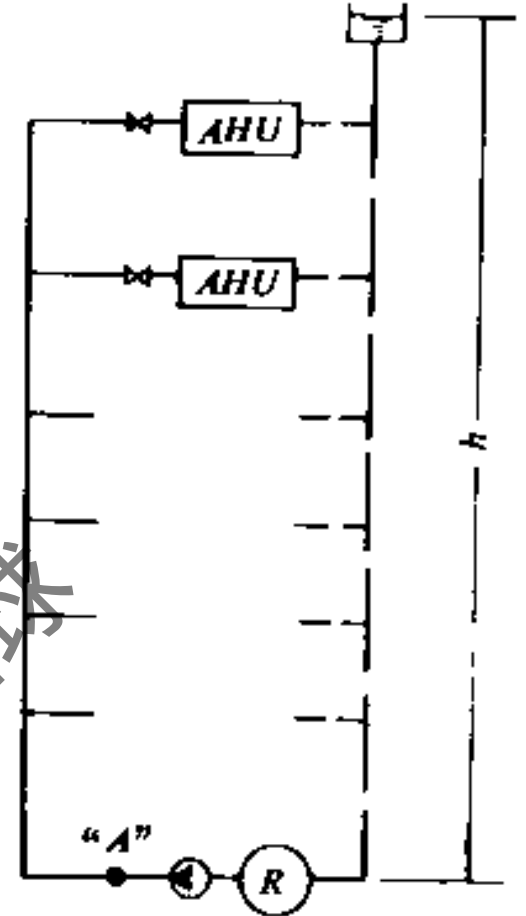


图 11.8-1 水系统的静水压力图

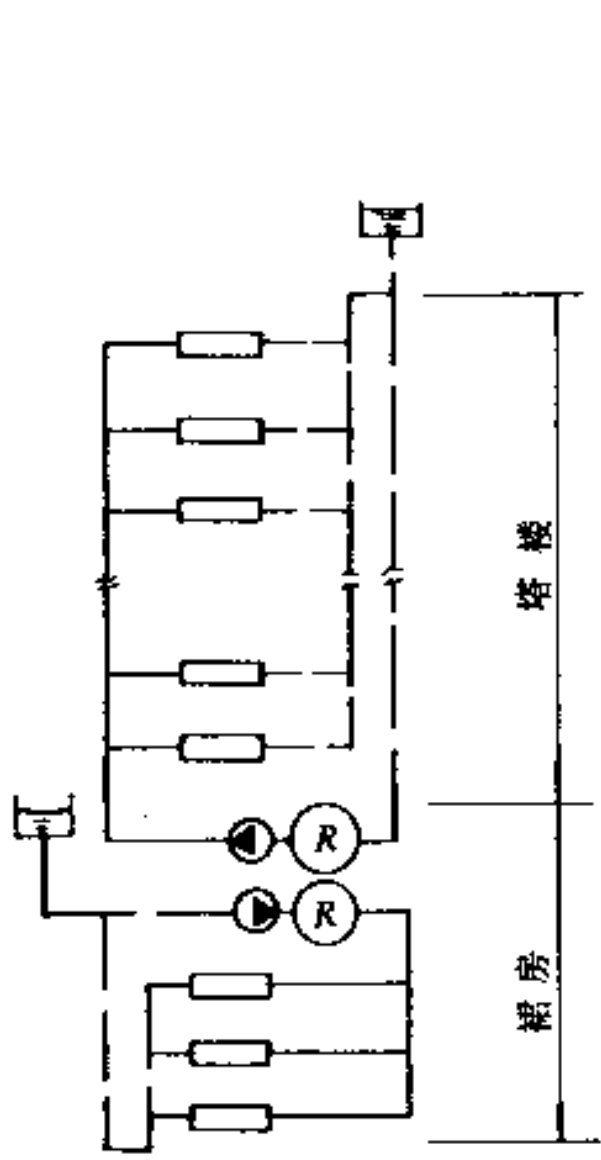


图 11.8-2 冷、热源设备布置在裙房顶层

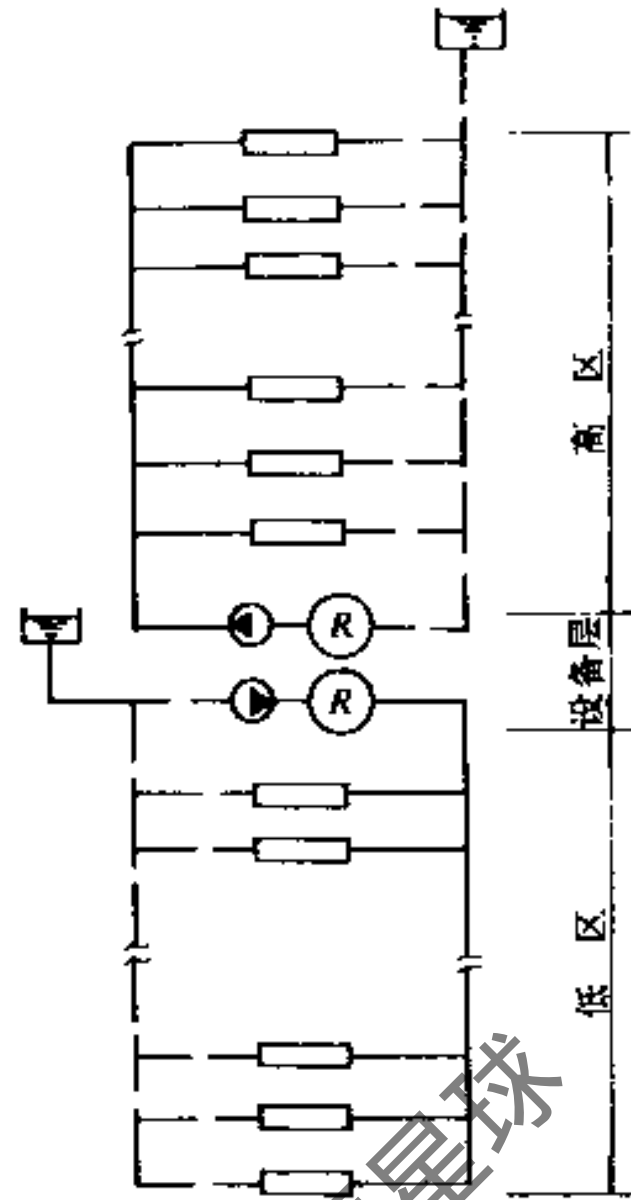


图 11.8-3 冷、热源设备布置在中间设备层

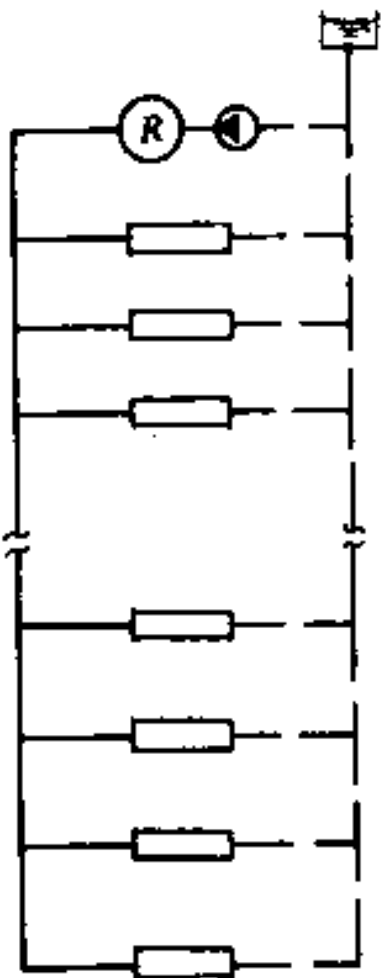


图 11.8-4 冷、热源设备布置在塔楼顶层

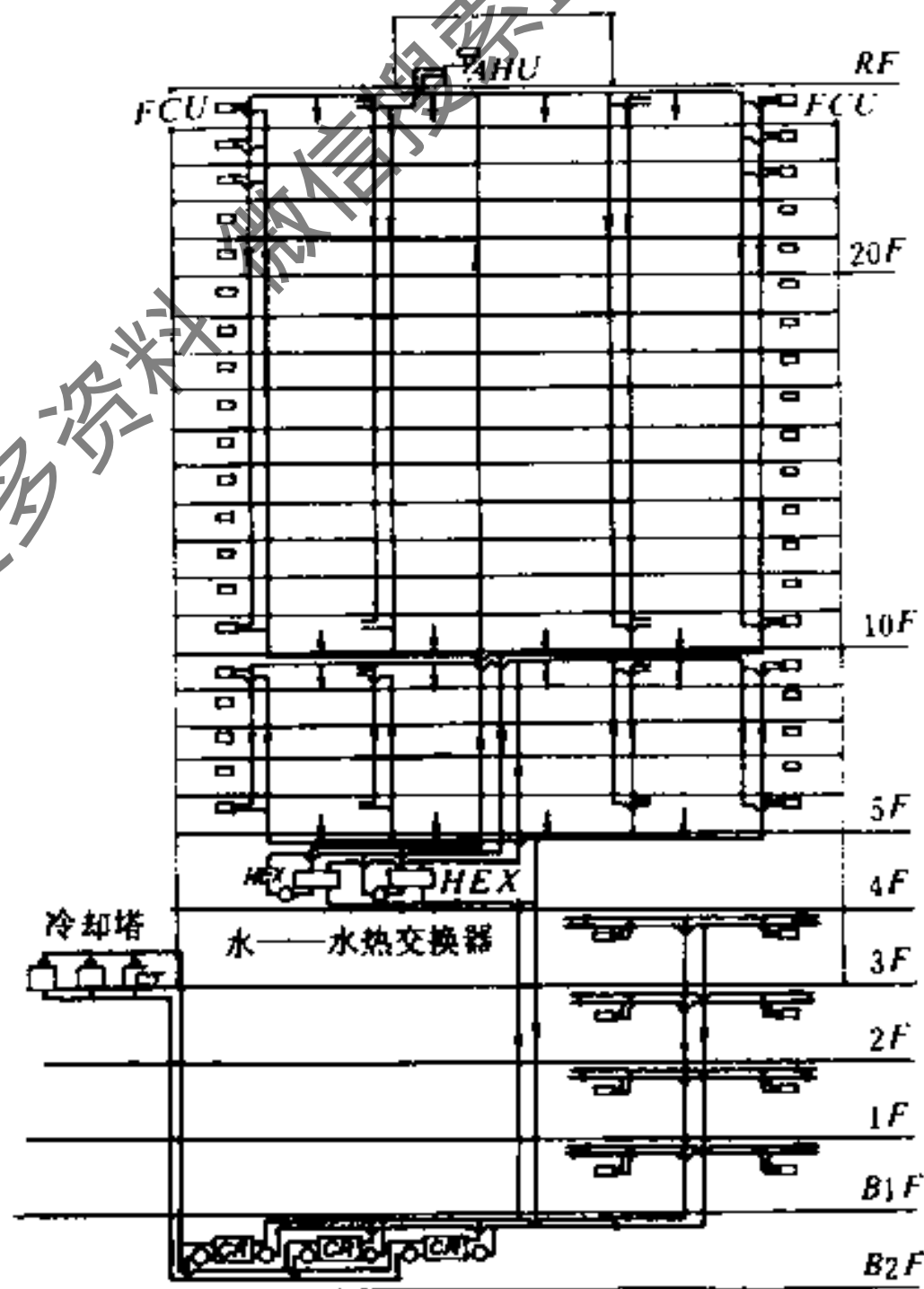


图 11.8-5 北京香格里拉饭店的水系统图

(5) 当高区上部超过设备承压能力的部分负荷量不太大时,上部几层可以独立处理,采用自带冷、热源的空调器,以减少水系统承受的静水压力,如图11.8-6所示。

设计注意事项

- 采用中间设备层布置冷源设备时，宜选用风冷式冷凝器。
- 冷源设备布置在楼层上时，必须充分考虑和妥善解决设备的隔振和防止噪声传播的问题。

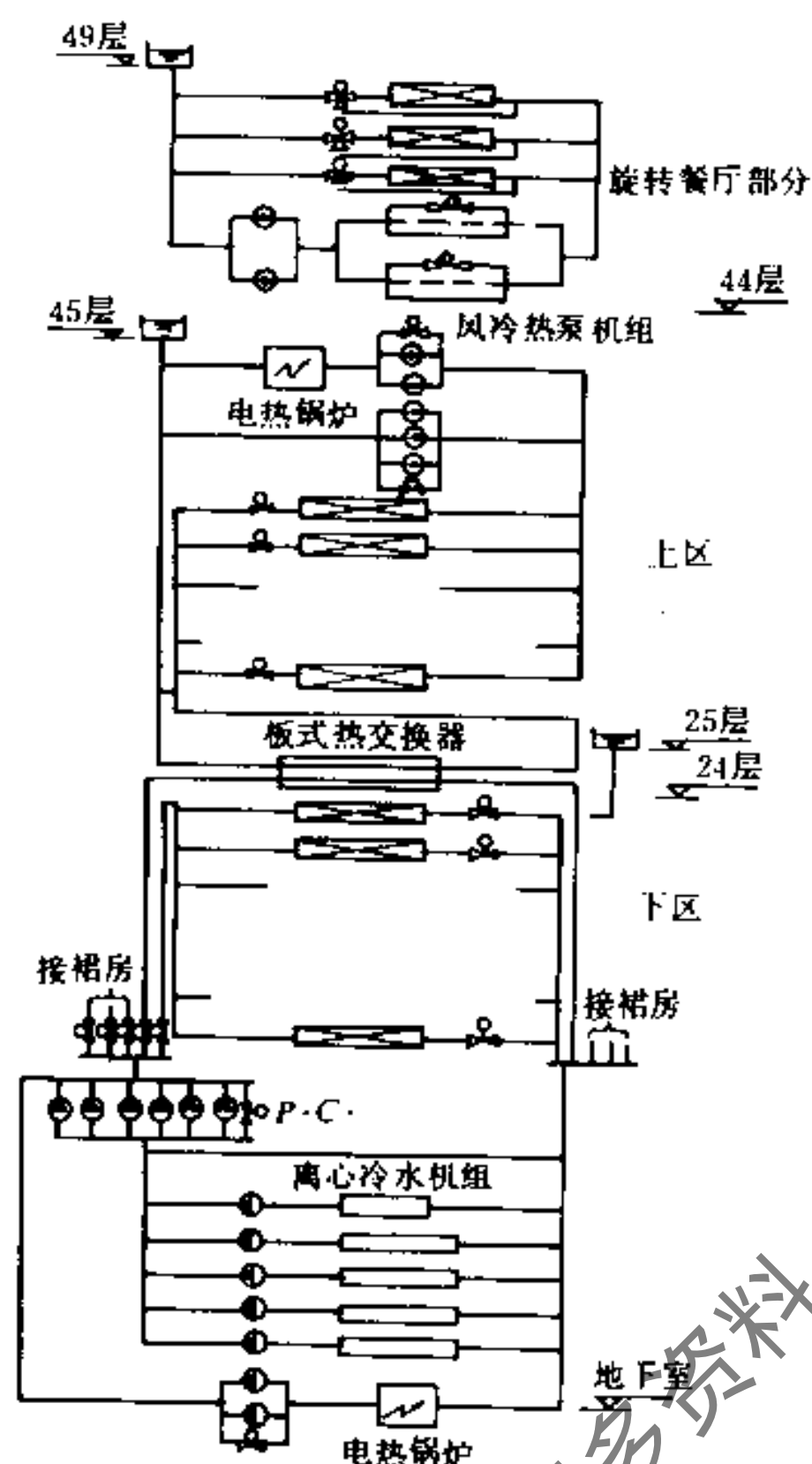


图 11.8-6 深圳国贸大厦水系统简图

• 将循环水泵布置在蒸发器或冷凝器的出水端，有利于降低设备的承压。

• 在同程式系统中，图11.8-7中的“*A*”式布置优于“*B*”式，它有利于减少承压。运行时“*A*”式*A*点的承压为：

$$P_A = \rho gh + P - P_d - \Delta P_{B-A}$$

而“*B*”式为：

$$P_A = \rho gh + P - P_d$$

式中 ΔP_{B-A} ——水泵出口至*A*点的压力损失，

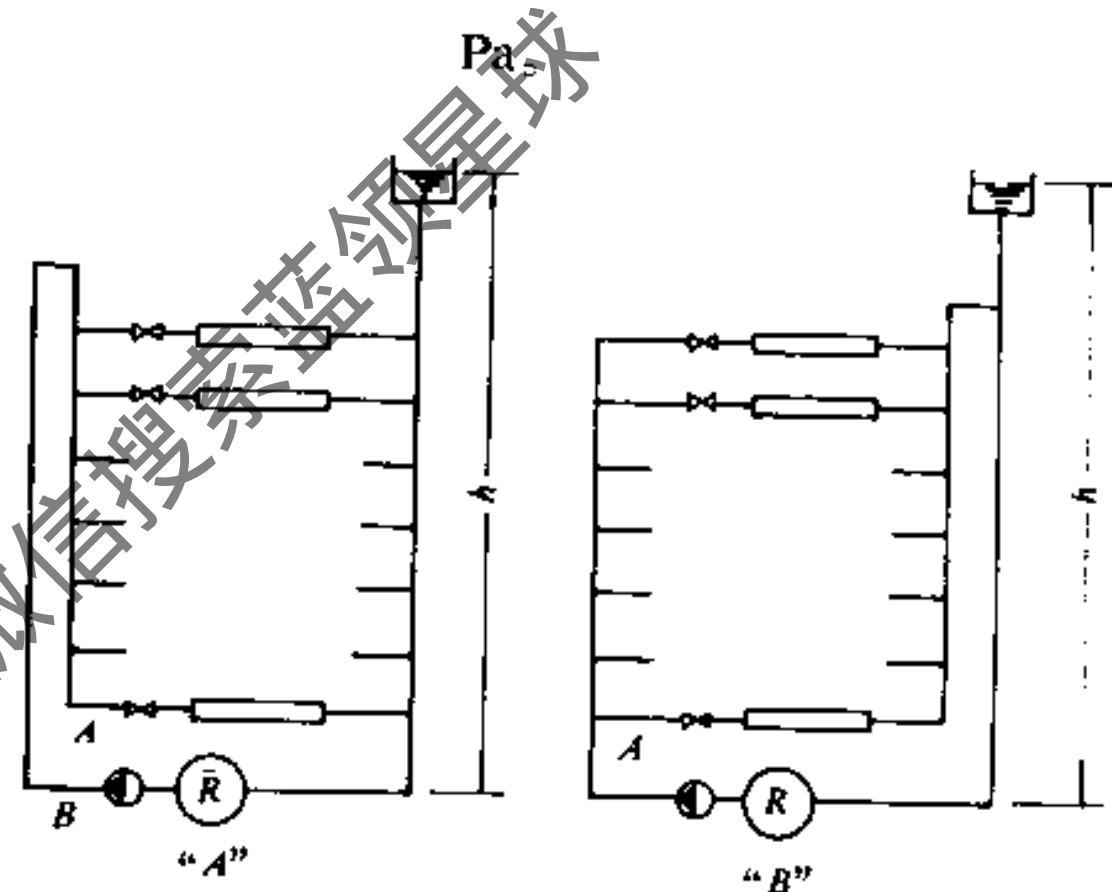


图 11.8-7 同程式的两种不同布置

- 采用复式泵时，由总压力损失分别由一、二次泵负担，能有效的降低系统的承压。

11.8.3 水系统的典型形式

根据表11.8-1所列的类型，可以组成各种不同的水系统形式，详见图11.8-8至图11.8-19所示。

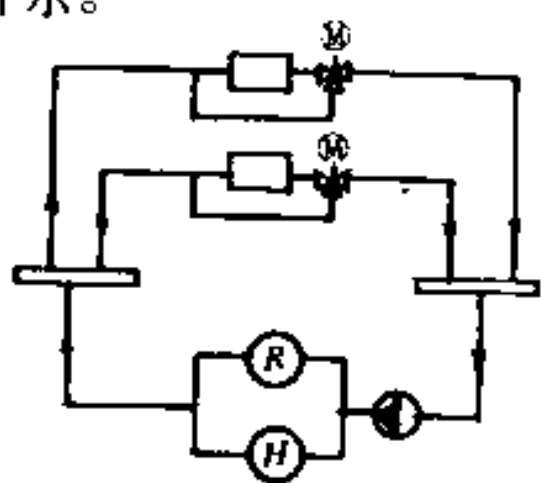


图 11.8-8 单式泵定流量系统

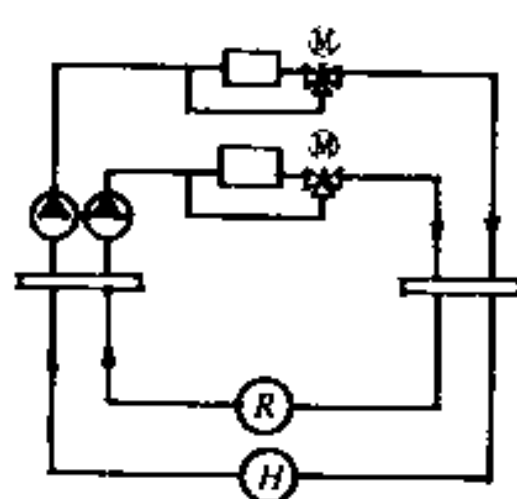


图 11.8-9 分区单式泵定流量系统

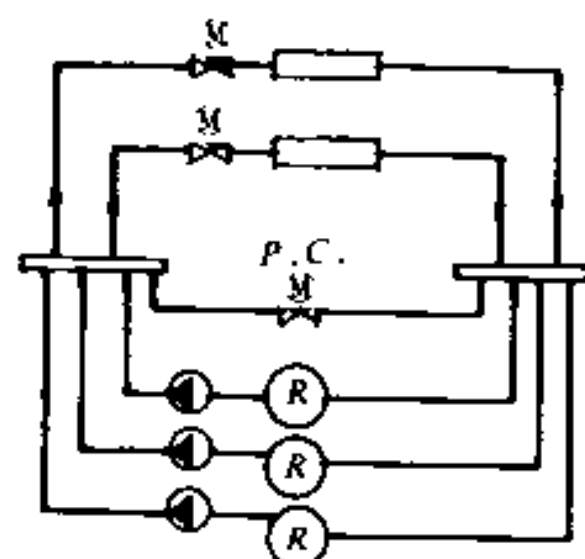


图 11.8-10 单式泵变流量系统(-)

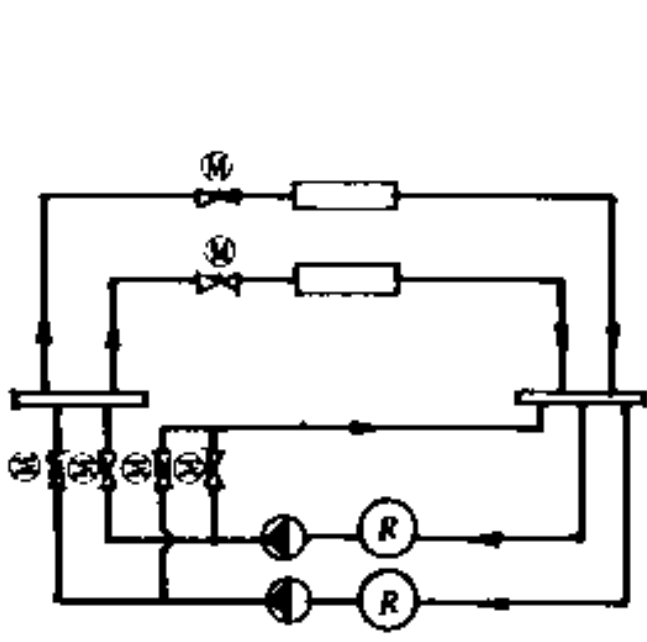


图 11.8-11 单式泵
变流量系统 (二)

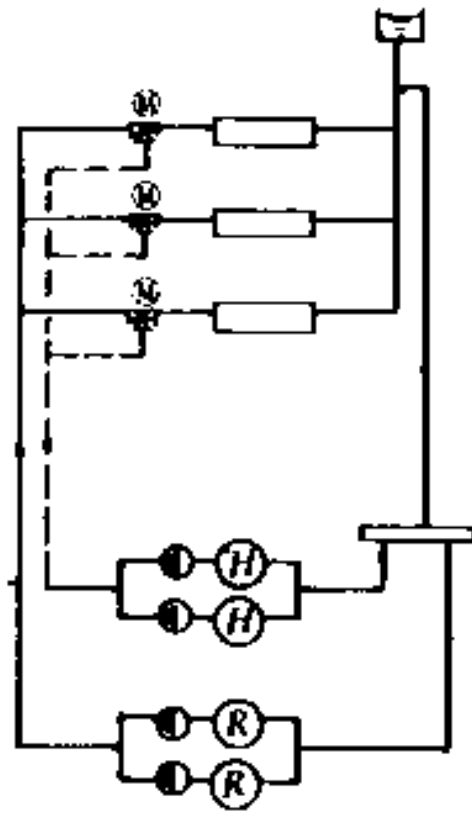


图 11.8-12 三管制水系统

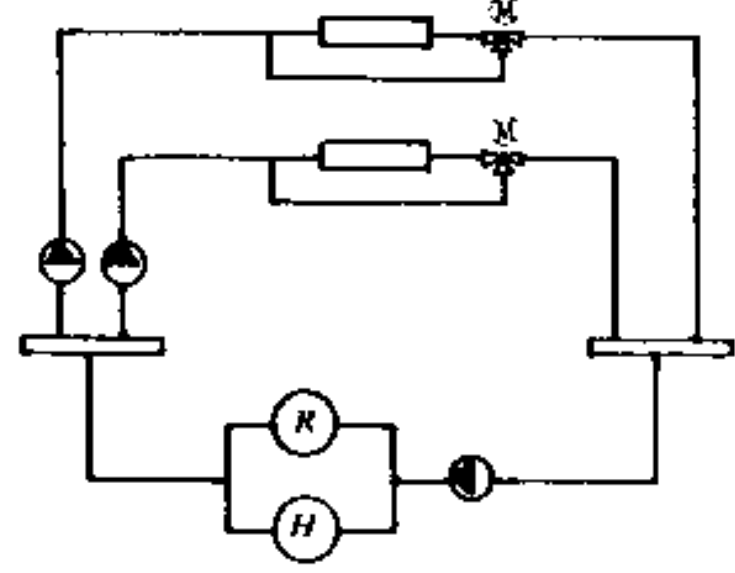


图 11.8-13 复式泵定流量系统

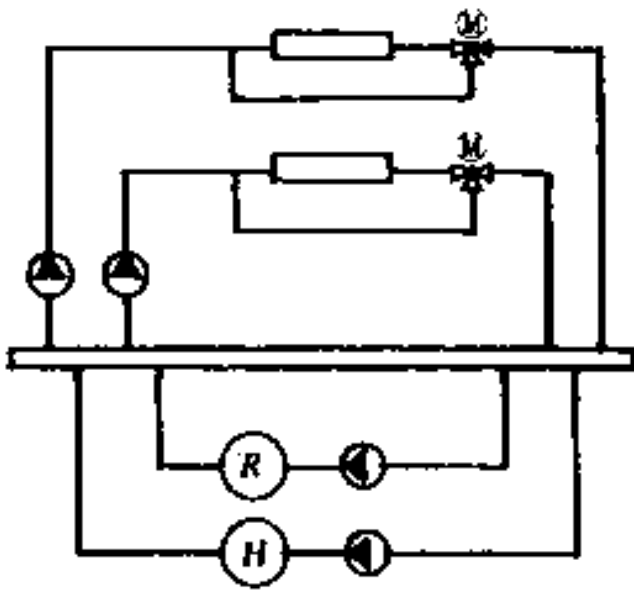


图 11.8-14 复式泵共集管系统

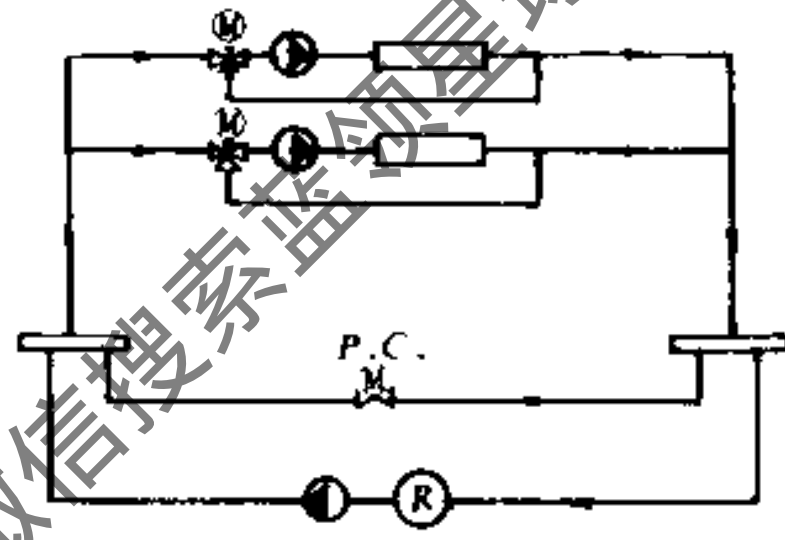


图 11.8-15 复式泵分区增压系统

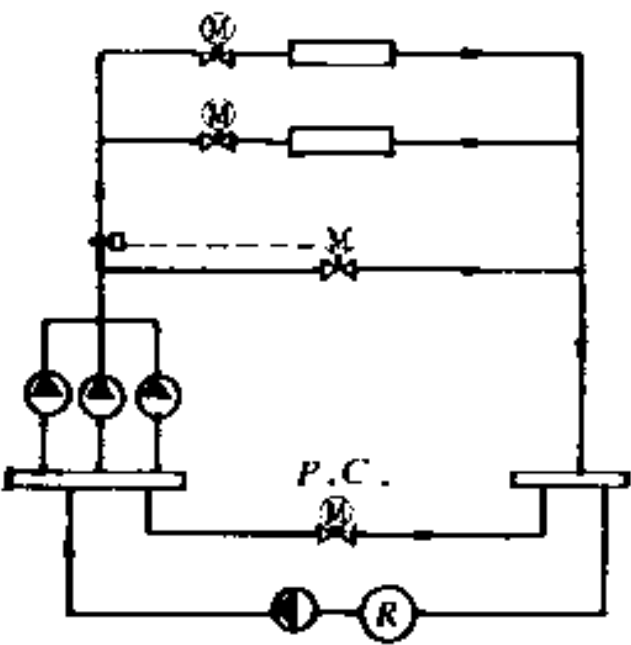


图 11.8-16 复式泵台数控制式水系统

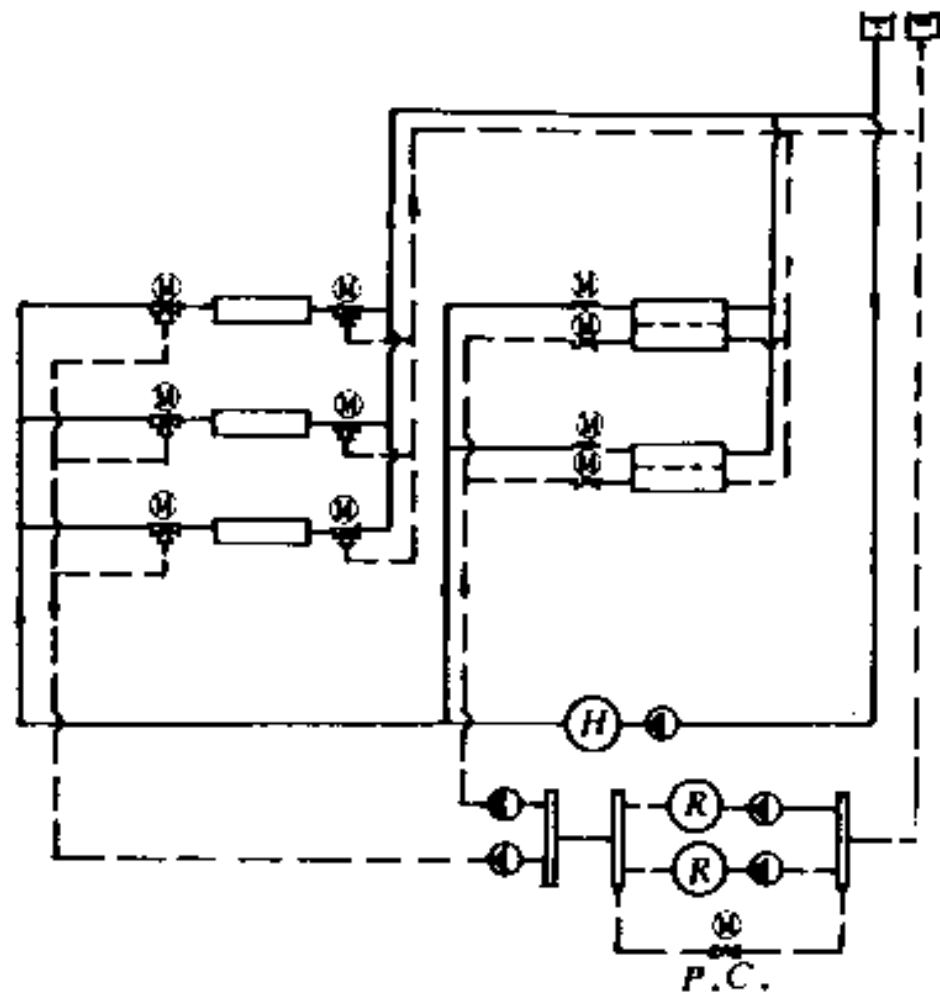


图 11.8 17 四管制水系统

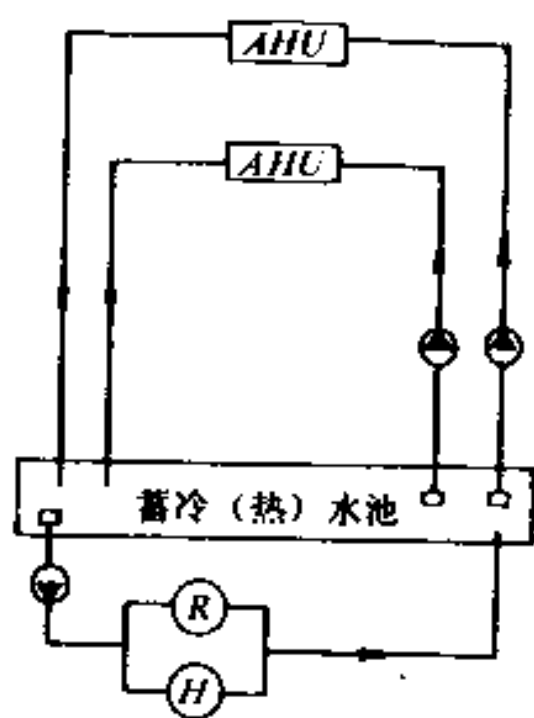


图 11.8-18 单池开式水系统

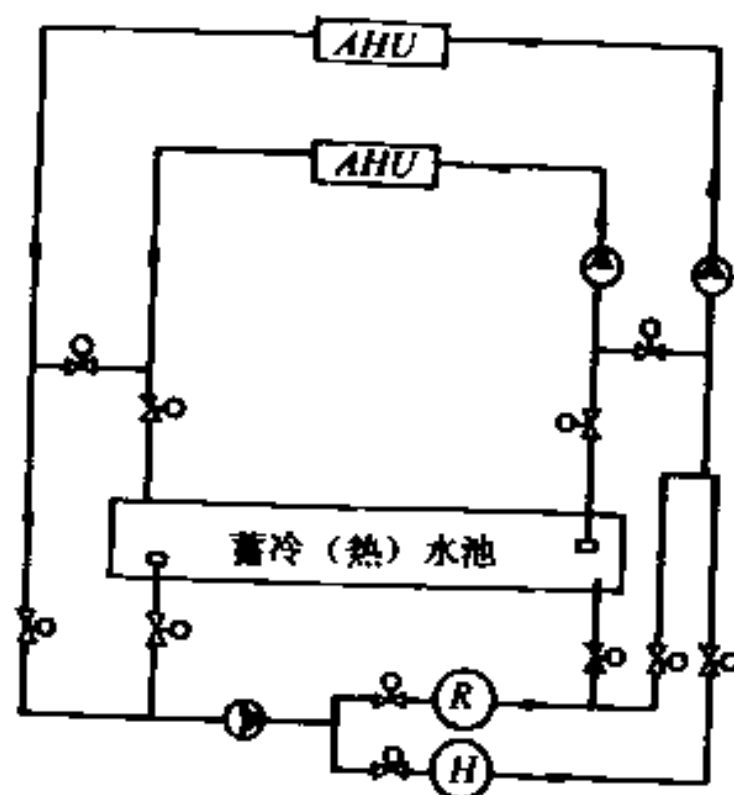


图 11.8-19 开、闭式循环系统(全自动变换)

11.8.4 水泵变流量的途径

空调负荷的分布，在一年之内是极不均衡的，设计负荷约占总运行时间的6~8%，详见表11.8-2所示。

空调负荷的全年分布

表 11.8-2

冷负荷率 (%)	75~100	50~75	25~50	<25
占总运行时间的百分数 (%)	10	50	30	10

注：引自美国制冷协会标准880-56

水泵的能耗，一般约占空调系统总能耗量的15~20%，为此，采用变流量系统，使输送能耗能随流量的增减而增减，具有显著的节能效益与经济效益。

注意：设计变流量水系统时，必须注意到各末端装置的流量变化与负荷的改变并不成线性关系。所以，设计时应考虑系统的动态平衡和稳定的问题。

实现变流量的途径很多，比较实用的方法如表11.8-3所示。

主要变流量途径及其特征

表 11.8-3

方法	特性图	特征	效果
节流调节	见图11.8-20	改变水泵出口阀门的开度，使工作状态点由1移至2，利用节流过程的损失 $\Delta P(P_2 - P_3)$ 使流量由 Q_1 减至 Q_2	水泵效率由 η_1 降至 η_2 ，单位流量的功耗增大
变速调节	见图11.8-21	根据水泵流量 Q 、压力 P 、转速 n 和功率 N 间的下列关系： $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{P_1}}{\sqrt{P_2}} = \frac{\sqrt[3]{N_1}}{\sqrt[3]{N_2}}$ 改变水泵转速，使流量适应负荷变化的要求	水泵效率 $\eta_1 = \eta_2 = \text{const}$ ；功率大幅度下降，节能效果显著

续表

方法	特性图	特征	效果
台数调节	见图11.8-22	<p>通过压力、流量或能量等参数的控制, 改变运行水泵的台数。</p> <p>压力控制时, 若流量减少, 工作点1左移, 当达到压力上限点2时, 自动停泵一台, 这时, 工作点移至点3; 若流量续减, 则工作点继续左移, 直至压力上限点4时, 又自动停泵一台。反之 当流量增大时, 工作点由点5右移, 到达压力下限点5'时, 自动增泵一台, 这时, 工作点移至4'; 若流量续增, 则工作点继续右移, 直至压力下限点3'时, 又自动增泵一台...</p>	<p>不但节省能耗, 且能大幅度减少每台水泵的运行时间, 从而, 延长使用寿命。</p> <p>运行中水泵效率有升有降, 无效能耗较少</p>
台数调节与变速调节相结合	见图11.8-23	<p>采用定速泵与变速泵并联运行, 当流量不太大时, 仅变速泵运行; 流量增至Q_3时, 定速泵自动投入运行, 由于流量增大, 变速泵的转速自动降低, 保持总流量为Q_4; 若流量续增, 则变速泵的转速自动增高, 直至两者的流量和等于设计总流量Q_6为止</p>	<p>运行过程中, 变速泵的效率$\eta_1 = \eta_2 = \text{const}$; 定速泵的效率则有升有降;</p> <p>能兼收台数调节与变速调节的主要优点, 节能效果明显</p>

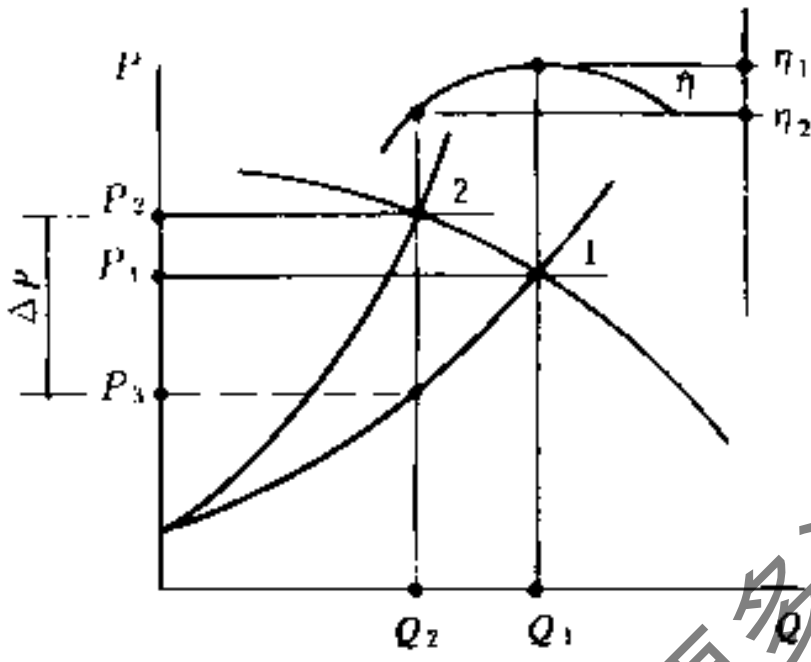


图 11.8-20 节流调节

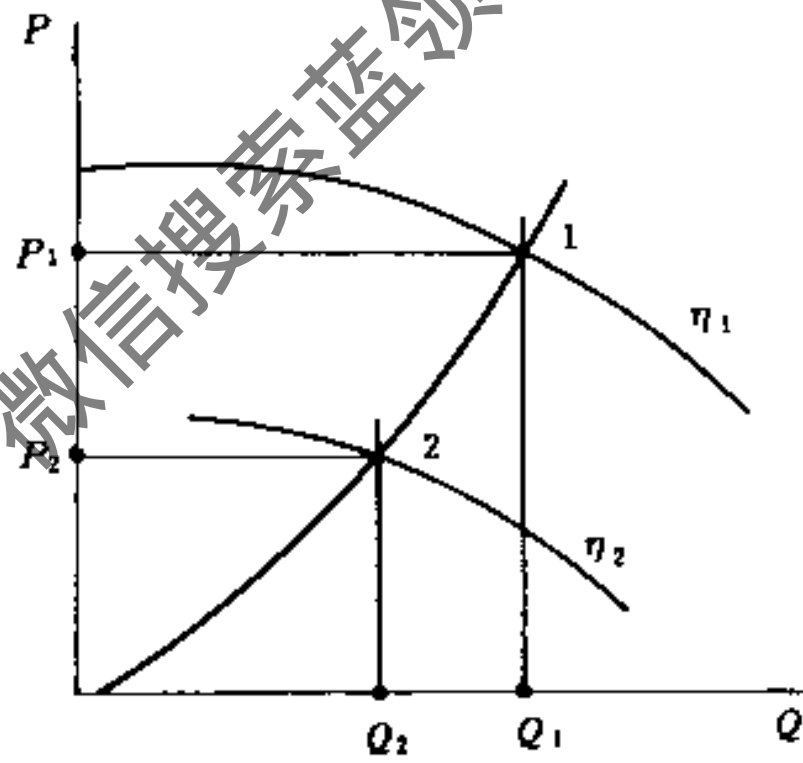


图 11.8-21 变速调节

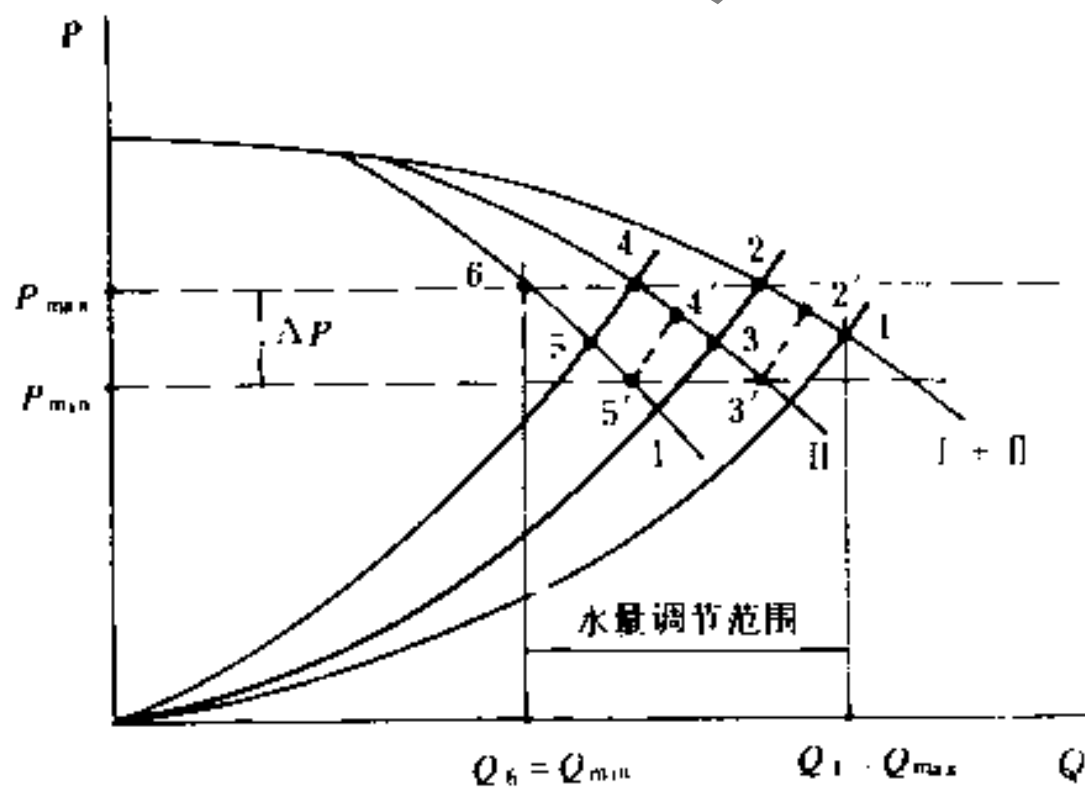


图 11.8-22 台数调节

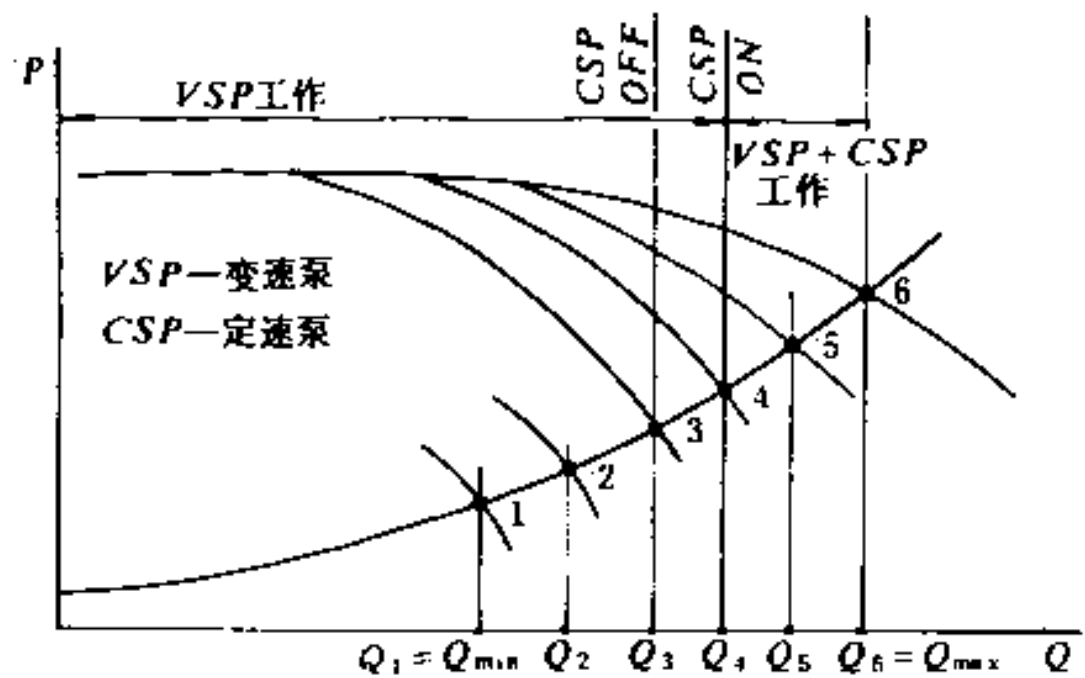


图 11.8-23 台数调节与变速调节相结合

变流量水系统的设计注意事项:

- 采用节流调节时, 应选择特性曲线较平坦的水泵; 节流阀不应设置在水泵吸水管上。
- 变速调节时, 采用压差控制比出口压力控制更节能, 而且系统的稳定性好。
- 变速调节的调节上限, 受最大允许转速的限制, 越过这一转速, 易导致水泵的损坏。调节下限则受临界速度的制约, 若过分接近这一速度, 易使水泵产生剧振。
- 设计台数调节时, 必须处理好当减至只有一台水泵工作, 压力接近上限而系统流量继续减少的情况, 这时, 应及时发讯报警并让旁通阀自动开启。
- 台数调节时, 应考虑和安排好使水泵的启停能依次顺序进行, 保持水泵的工作机会彼此均等。
- 台数调节时, 应该考虑到泵群中某一台产生突发故障的可能性, 这时, 应有另一台水泵自动投入运行进行替代。为此, 设置一台备用泵是必要的。
- 采用台数调节与变速调节相结合的方式时, 流量的变化关系大致如下(图11.8-23):

$$Q_1 = 0.8Q_{vsp} \quad (11.8-4)$$

$$Q_2 = 0.9Q_{vsp} \quad (11.8-5)$$

$$Q_3 = Q_{vsp} \quad (11.8-6)$$

$$Q_4 = 0.8Q_{vsp} + Q_{csp} \quad (11.8-7)$$

$$Q_5 = 0.9Q_{vsp} + Q_{csp} \quad (11.8-8)$$

$$Q_6 = Q_{vsp} + Q_{csp} \quad (11.8-9)$$

式中 Q_{vsp} ——变速水泵的流量, m^3/h ;

Q_{csp} ——定速水泵的流量, m^3/h 。

• 设计台数调节与变速调节相结合的方式时, 应给定速泵的启停预留一定的提前和延迟时间, 以免水泵的启停过分频繁。这样, 也有利于防止变速泵在小流量区工作时进入不稳定区。

• 设计变流量水系统时, 冷源侧(一次泵环路)宜采用“一泵对一机”的定流量方式, 以保证通过冷水机组的水流量为定值; 负荷侧(二次泵环路)水泵的台数, 不一定要与一次泵的数量对等。

• 冷源侧的一次泵与冷水机组的台数控制, 常见的有“流量盈亏控制”和“负荷(冷量)控制”两种方式。“负荷控制”可以解决系统水力工况与热力工况间的矛盾, 应优先考虑。

• 设计变流量水系统时, 供、回水环路之间必须设置旁通调节装置。

11.8.5 水系统的水力计算

1. 管道的摩擦压力损失 ΔP (Pa)

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2 \rho}{2} \quad (11.8-10)$$

当 $l = 1m$ 时

$$\Delta P_m = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \rho}{2} \quad (11.8-11)$$

而

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -4 \lg \left[\frac{K}{3.7d} - \frac{1.255}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (11.8-12)$$

质量流率 Q (kg/s)

$$Q = -4 [N_3 \cdot \Delta P_m \cdot d^5]^{0.5} \cdot \lg \left[\frac{K}{3.7d} + \frac{N_4 d}{(N_3 \cdot \Delta P_m \cdot d^5)^{0.5}} \right] \quad (11.8-13)$$

$$N_3 = \frac{\pi^2}{32\rho} \quad (11.8-14)$$

$$N_4 = 1.255 \cdot \frac{\pi\mu}{4\rho} \quad (11.8-15)$$

式中 λ ——摩擦系数;
 d ——管道直径, m;
 l ——管道长度, m;
 v ——水流速度, m/s;
 ρ ——水的密度, kg/m³;
 K ——管壁的绝对粗糙度, m;
 μ ——水的绝对粘度, Pa·s;
 Re ——雷诺数。

根据上列诸式, 可编制出水力计算图, 如图11.8-24所示。作图时, 水温取7.5℃。实践中对于30℃左右的冷却水管的水力计算, 也可以近似的按该图进行。

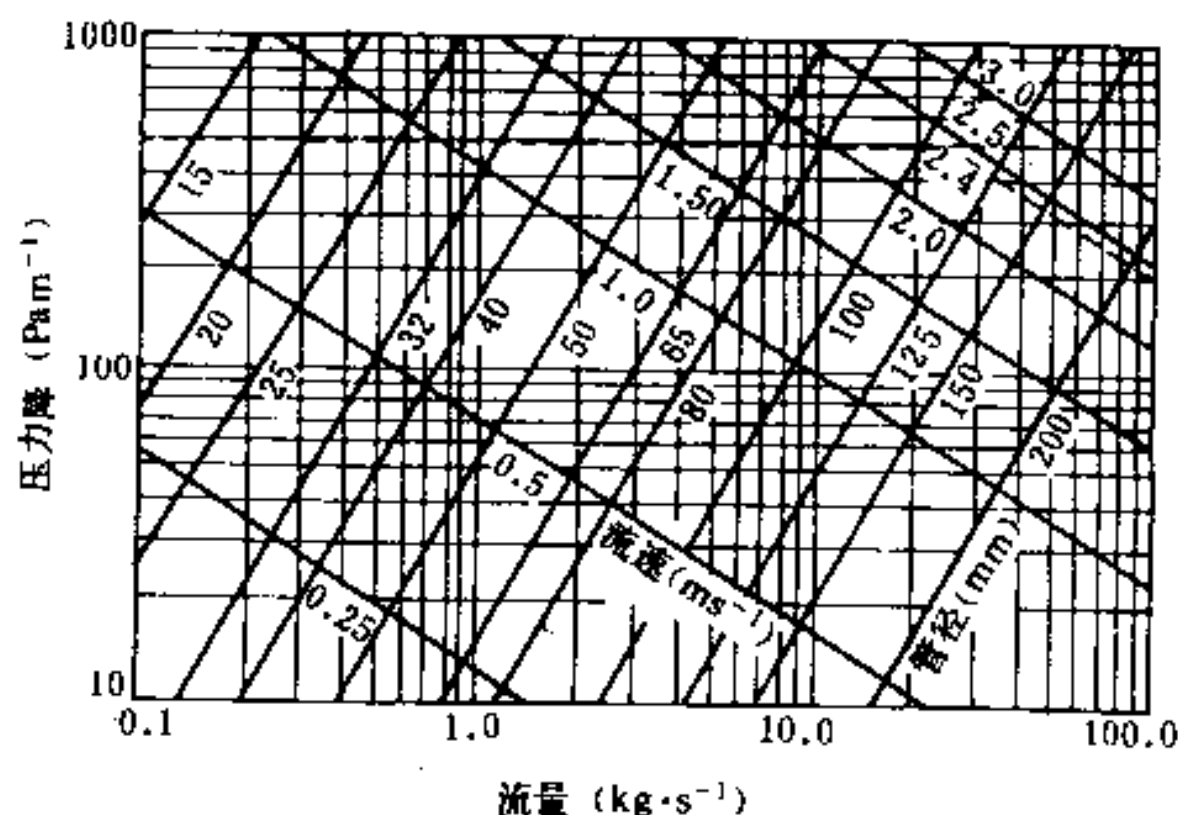


图 11.8-24 冷水管道的的水力计算图

2. 局部压力损失

局部压力损失 ΔP_j (Pa)

$$\Delta P_j = \zeta \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (11.8-16)$$

式中 ζ ——管件的局部阻力系数, 见表11.8-4和表11.8-5。

阀门及管件的局部阻力系数 ζ

表 11.8-4

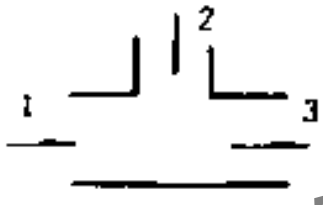
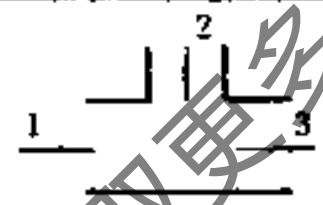
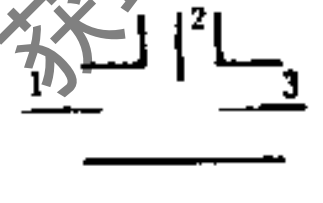
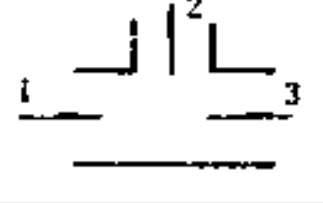
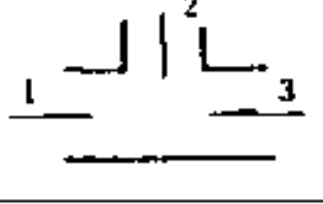

序号	名称	局部阻力系数 ζ							
		DN	15	20~50	80	100	150	200~250	300~450
1	截止阀 普通型 斜柄型 直通型	4.3~6.1							
		2.5							
		0.6							
2	止回阀 升降式 旋启式	7.5							
		DN	150	200	250	300			
		ζ	6.5	5.5	4.5	3.5			
3	蝶阀	0.1~0.3							
4	闸阀	DN	15	20~50	80	100	150	200~250	300~450
		ζ	1.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0.08	0.07
5	旋塞阀	0.05							
6	变径管 缩小 扩大	0.10							
		0.30							

续表

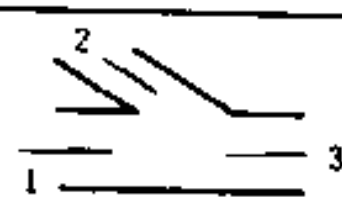

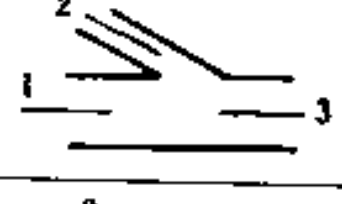

序号	名称	局部阻力系数 ζ								
7	普通弯头 90° 45°	0.30 0.15								
8	焊接弯头 90° 45°	DN	80	100	150	200	250	300		
		ζ	0.51	0.63	0.72	0.72	0.87	0.78		
		ζ	0.26	0.32	0.36	0.36	0.44	0.39		
9	弯管(煨弯) 90° (R —曲率半径, d —管径)	$\frac{d}{R}$	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	
		ζ	1.2	0.8	0.6	0.48	0.36	0.30	0.29	
10	水箱接管 进水口 出水口	1.0 0.5								
11	滤水网 有底阀 无底阀	DN	40	50	80	100	150	200	250	300
		ζ	12	10	8.5	7	6	5.2	4.4	3.7
		2~3								
12	水泵入口	1.0								

三通的局部阻力系数 ζ

表 11.8-5

序号	型式简图	流向	局部阻力系数 ζ
1		2 → 3	1.5
2		1 → 3	0.1
3		1 → 2	1.5
4		1 → 3	0.1
5		$\frac{1}{3} \rightarrow 2$	3.0
6		$2 \rightarrow \frac{1}{3}$	1.5

续表

序号	型式简图	流向	局部阻力系数 ζ
7		2 → 3	0.5
8		3 → 2	1.0
9		2 → 1	3.0
10		3 → 1	0.1

为了方便计算, 兹将 $\frac{1}{2}v^2\rho$ 的值列于表11.8-6中; 根据 v 值, 可以很快的查出 $\frac{1}{2}v^2\rho$ 值。

 $\frac{1}{2}v^2\rho$ 值表

表 11.8-6

v	$\frac{1}{2}v^2\rho$	v	$\frac{1}{2}v^2\rho$	v	$\frac{1}{2}v^2\rho$	v	$\frac{1}{2}v^2\rho$
0.5	125	1.4	980	2.3	2645	3.2	5120
0.6	180	1.5	1125	2.4	2880	3.3	5445
0.7	245	1.6	1280	2.5	3125	3.4	5780
0.8	320	1.7	1445	2.6	3380	3.5	6125
0.9	405	1.8	1620	2.7	3645	3.6	6480
1.0	500	1.9	1805	2.8	3920	3.7	6845
1.1	605	2.0	2000	2.9	4205	3.8	7220
1.2	720	2.1	2205	3.0	4500	3.9	7605
1.3	845	2.2	2420	3.1	4805	4.0	8000

3. 一些设备的压力损失参考值

设备的压力损失, 因设备型号不同而有较大变化; 设计时可以请制造厂提供。当缺乏这方面的资料时, 可按表11.8-7的参考值进行近似估算。

设备的压力损失 (kPa)

表 11.8-7

设备名称	压力损失 (kPa)	备注	设备名称	压力损失 (kPa)	备注
离心式冷水机组: 蒸发器	30~80	流速 $v=0.8\sim 1.5\text{m/s}$	热交换器	20~50	风机盘管容量愈大, 压力损失愈大
冷凝器	50~80		风机盘管机组	10~20	
吸收式制冷机: 蒸发器	40~100		自动控制阀	30~50	
冷凝器	50~140		冷却塔	20~80	
冷热水盘管	20~50				

4. 流速的选择

(1) GBJ13-86的推荐流速, 见表11.8-8。

(2) Carrier设计手册的推荐值, 见表11.8-9。

GBJ13-86推荐的流速(m/s) 表 11.8-8

管道种类	管道公称直径 (mm)		
	<250	250~1600	>1600
水泵吸水管	1.0~1.2	1.2~1.6	1.5~2.0
水泵出水管	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~3.0

注: GBJ13-86《室外给水设计规范》。

Carrier设计手册推荐的流速(m/s) 表 11.8-9

管道种类	推荐流速 (m/s)	管道种类	推荐流速 (m/s)
水泵吸水管	1.2~2.1	集管 (header)	1.2~4.5
水泵出水管	2.4~3.6	排水管	1.2~2.0
一般供水干管	1.5~3.0	接自城市供水管	0.9~2.0
室内供水立管	0.9~3.0	网的水管	

(3) 不同直径管道和管件的比价, 见图11.8-25。

由图11.8-25可知, 随着直径的增大, 管道本身和阀门等配件的价格以及安装费用都大幅度上升。因此, 对大直径管道, 流速宜选择接近上限的数值。

5. 冷凝水管的设计

风机盘管机组、整体式空调器、组合式空调机组等运行过程中产生的冷凝水, 必须及时予以排走。排放冷凝水管道的的设计, 应注意以下事项:

- 沿水流方向, 水平管道应保持不小于千分之一的坡度; 且不允许有积水部位。

- 当冷凝水盘位于机组内的负压区段时, 凝水盘的出水口处必须设置水封, 水封的高度应比凝水盘处的负压 (相当于水柱高度) 大50%左右。水封的出口, 应与大气相通。

- 冷凝水管道宜采用聚氯乙烯塑料管或镀锌钢管, 不宜采用焊接钢管。

- 为了防止冷凝水管道表面产生结露, 必须进行防结露验算。

注: (1) 采用聚氯乙烯塑料管时, 一般可以不必进行防结露的保温和隔汽处理。

(2) 采用镀锌钢管时, 一般应进行防结露验算, 通常应设置保温层。

- 冷凝水立管的顶部, 应设计通向大气的透气管。
- 设计和布置冷凝水管路时, 必须认真考虑定期冲洗的可能性, 并应设计安排必要的设施。

- 冷凝水管的公称直径 DN (mm), 应根据通过冷凝水的流量计算确定。

一般情况下, 每1kW冷负荷每1h约产生0.4kg左右冷凝水; 在潜热负荷较高的场合, 每1kW冷负荷每1h约产生0.8kg冷凝水。

通常, 可以根据机组的冷负荷 Q (kW) 按下列数据近似选定冷凝水管的公称直径:

$$Q < 7 \text{ kW时, } DN = 20 \text{ mm}$$

$$Q = 7.1 \sim 17.6 \text{ kW时, } DN = 25 \text{ mm}$$

$$Q = 17.7 \sim 100 \text{ kW时, } DN = 32 \text{ mm}$$

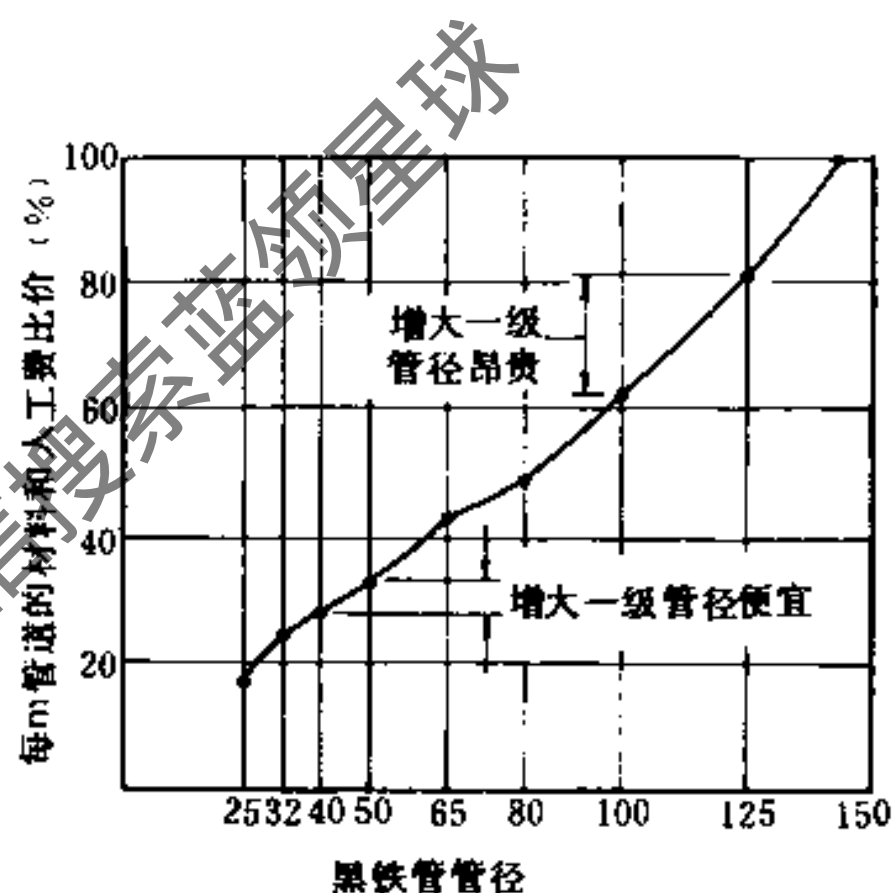


图 11.8-25 不同直径管道和管件的比价

$Q = 101 \sim 176 \text{ kW}$ 时,	$DN = 40 \text{ mm}$
$Q = 177 \sim 598 \text{ kW}$ 时,	$DN = 50 \text{ mm}$
$Q = 599 \sim 1055 \text{ kW}$ 时,	$DN = 80 \text{ mm}$
$Q = 1056 \sim 1512 \text{ kW}$ 时,	$DN = 100 \text{ mm}$
$Q = 1513 \sim 12462 \text{ kW}$ 时,	$DN = 125 \text{ mm}$
$Q > 12462 \text{ kW}$ 时,	$DN = 150 \text{ mm}$

注：(1) $DN = 15 \text{ mm}$ 的管道，不推荐使用。

(2) 立管的公称直径，应与水平干管的直径相同。

(3) 本资料引自美国“McQUAY”水源热泵空调设计手册。

11.8.6 管路特性曲线

冷水管路系统的流动特性，一般以下式表示：

$$\Delta P = SQ^2 \quad (11.8-17)$$

$$S = \frac{8 \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \rho}{\pi d^5} \quad (11.8-18)$$

式中 ΔP ——管路系统的压力损失，Pa；

S ——与管路沿程阻力和几何形状有关的综合阻力系数， kg/m^7 ；

Q ——冷水的体积流率， m^3/s ；

λ ——摩擦阻力系数；

d ——管道直径，m；

ζ ——局部阻力系数；

ρ ——水的密度， kg/m^3 ；

l ——管道长度，m。

将上述关系绘制在以 Q 和 ΔP 组成的直角坐标系图上，即可得出管路特性曲线。

对于较复杂的管路系统，可以利用各部分的特性曲线来求出系统的总特性曲线，实用的方法是采用电路模拟法，如图11.8-26所示。

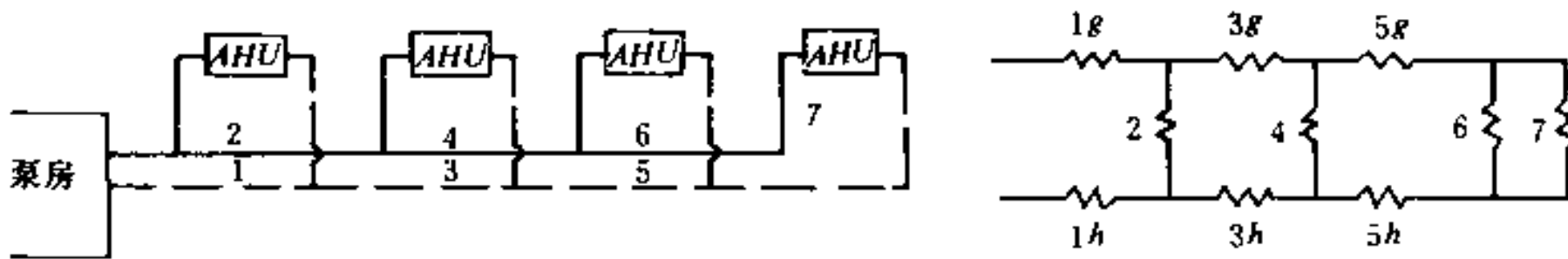


图 11.8 26 多支环路的电路模拟图

在图11.8-26中，把管路简化为一个简单的电阻器，从而得电阻6和7的并联电阻 $(6 + 7)$ ，它与 $5g$ 、 $5h$ 或 $(5g + 5h)$ 的串联电阻为 $(6 + 7) + (5g + 5h) = 8$ ，8与电阻4的并联电阻为 $(8 + 4)$ ， $(8 + 4)$ 和 $(3g + 3h)$ 的串联电阻为 $(8 + 4) + (3g + 3h)$ ，这样继续累加，直至最后剩下一个电阻10为止，这就是系统总的特性曲线，如图11.8-27所示。

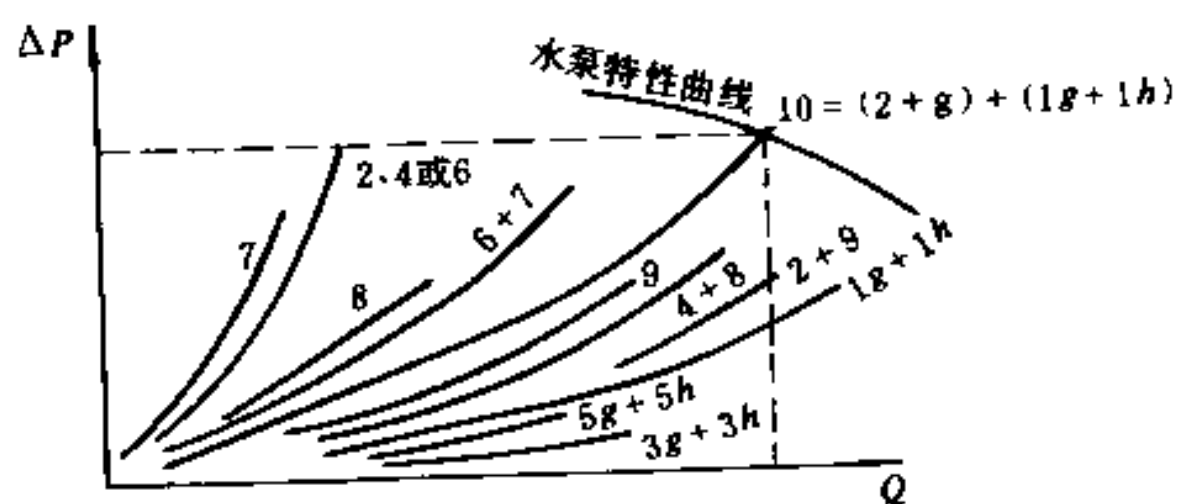


图 11.8-27 用电路模拟法绘制系统总特性曲线

11.8.7 变流量水系统设计流量的确定

对于负担两个或两个以上朝向负荷的水网系统，当负荷侧设计有变流量自动调节设施时，设计流量不能按各向房间的设计流量累加，必须乘以参差系数 DF ：

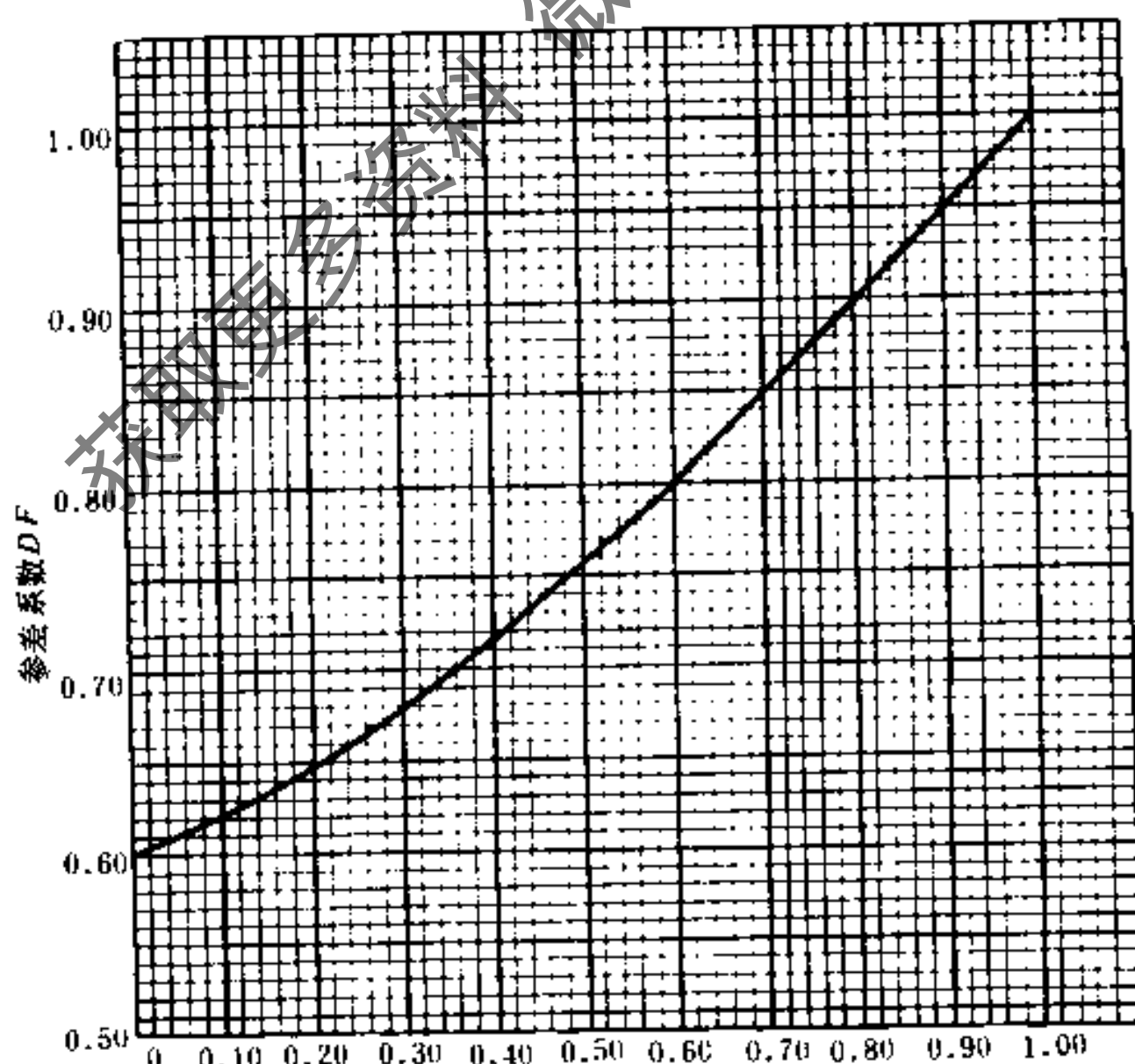
$$DF = Q / \Sigma q = 0.6 + 0.21\psi + 0.197\psi^2 \quad (11.8-19)$$

$$\psi = \Sigma q' / \Sigma q \quad (11.8-20)$$

式中 Q ——变流量水系统的实际设计流量， m^3/h ；
 Σq ——各向空调房间在设计负荷条件下的流量总和， m^3/h ；
 $\Sigma q'$ ——所计算朝向侧各个空调房间在设计负荷条件下的流量总和， m^3/h 。

注意

• 参差系数 DF 也可以根据 ψ 值直接从图 11.8-28 查出。



$$\frac{\text{计算朝向侧的流量 } (\Sigma q')}{\text{水泵总流量 } (\Sigma q)} = \psi$$

图 11.8-28 参差系数图

• 当计算过程中遇到计算朝向侧管网末端的设计流量小于衔接管段始端流量的情况时，可假设它等于始端流量，见例1中(表11.8-10)的管段7-8和26-25、25-24、24-23。

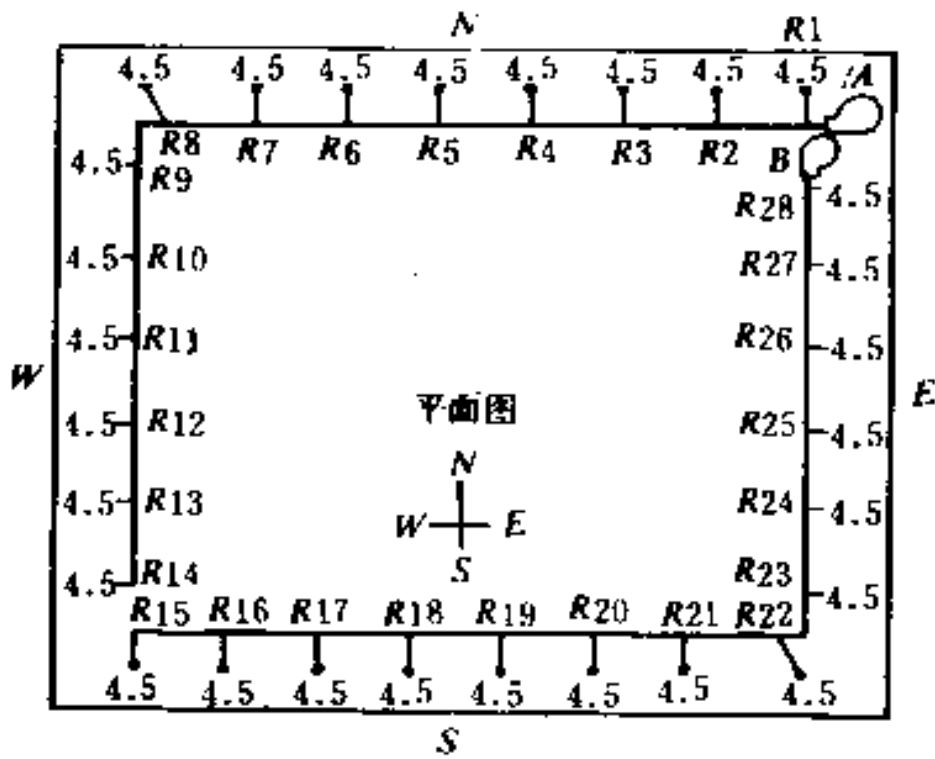


图 11.8-29 例1平面图

上述结果，也可以从图11.8-28查得。

(1) 水泵A负担北、西两个朝向

【例1】某变流量水系统的管网布置如图11.8-29所示，试求各管段的实际设计流量。

【解】(1) 水泵A负担北、西两个朝向

$$\Sigma q = 4.5 \times 14 = 63 \text{ m}^3/\text{h}$$

北向的设计流量和为：

$$\Sigma q' = 4.5 \times 8 = 36 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{流量比 } \psi = \Sigma q' / \Sigma q = 36/63 = 0.57$$

由式(11.8-19)得参差系数：

$$\begin{aligned} DF &= 0.6 + 0.21\psi + 0.197\psi^2 \\ &= 0.6 + 0.21 \times 0.57 + 0.197 \\ &\quad \times 0.57^2 = 0.785 \end{aligned}$$

东向的设计流量和为：

$$\Sigma q = 4.5 \times 14 = 63 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Sigma q' = 4.5 \times 6 = 27 \text{ m}^3/\text{h}$$

流量比

$$\psi = \Sigma q' / \Sigma q = 27/63 = 0.43$$

由图11.8-28得

$$DF = 0.725$$

(3) 根据所求出的参差系数，可算出各管段的实际设计流量，详见表11.8-10。

实际设计流量计算表

表 11.8-10

管段	q (m^3/h)	DF	Q (m^3/h)	管段	q (m^3/h)	DF	Q (m^3/h)
1	63.0	0.785	49.5	28	63.0	0.725	45.7
1-2	58.5	0.785	45.9	28-27	58.5	0.725	42.4
2-3	54.0	0.785	42.4	27-26	54.0	0.725	39.2
3-4	49.5	0.785	38.9	26-25	49.5	0.725	36(35.9)
4-5	45.0	0.785	35.3	25-24	45.0	0.725	36(32.6)
5-6	40.0	0.785	31.8	24-23	40.0	0.725	36(28.4)
6-7	36.0	0.785	28.3	23-22	36.0	1.000	36.0
7-8	31.5	0.785	27.0(24.5)	22-21	31.5	1.000	31.5
8-9	27.0	1.000	27.0	21-20	27.0	1.000	27.0
9-10	22.5	1.000	22.5	20-19	22.5	1.000	22.5
10-11	18.0	1.000	18.0	19-18	18.0	1.000	18.0
11-12	13.5	1.000	13.5	18-17	13.5	1.000	13.5
12-13	9.0	1.000	9.0	17-16	9.0	1.000	9.0
13-14	4.5	1.000	4.5	16-15	4.5	1.000	4.5

【例 2】 变流量水系统管网布置如图 11.8-30 所示, 试计算各管段的实际设计流量。

【解】 求出各向的流量比及参差系数:

$$\Sigma q = 4.5 \times 18 = 81 \text{ m}^3/\text{h}$$

北向 $\Sigma q' / \Sigma q = 4.5 \times 5 / 81 = 0.28$

$$DF = 0.67$$

东向 $\Sigma q' / \Sigma q = 4.5 \times 9 / 81 = 0.50$

$$DF = 0.76$$

南向 $\Sigma q' / \Sigma q = 4.5 \times 14 / 81 = 0.78$

$$DF = 0.89$$

西向 $\Sigma q' / \Sigma q = 4.5 \times 18 / 81 = 1.00$

$$DF = 1.00$$

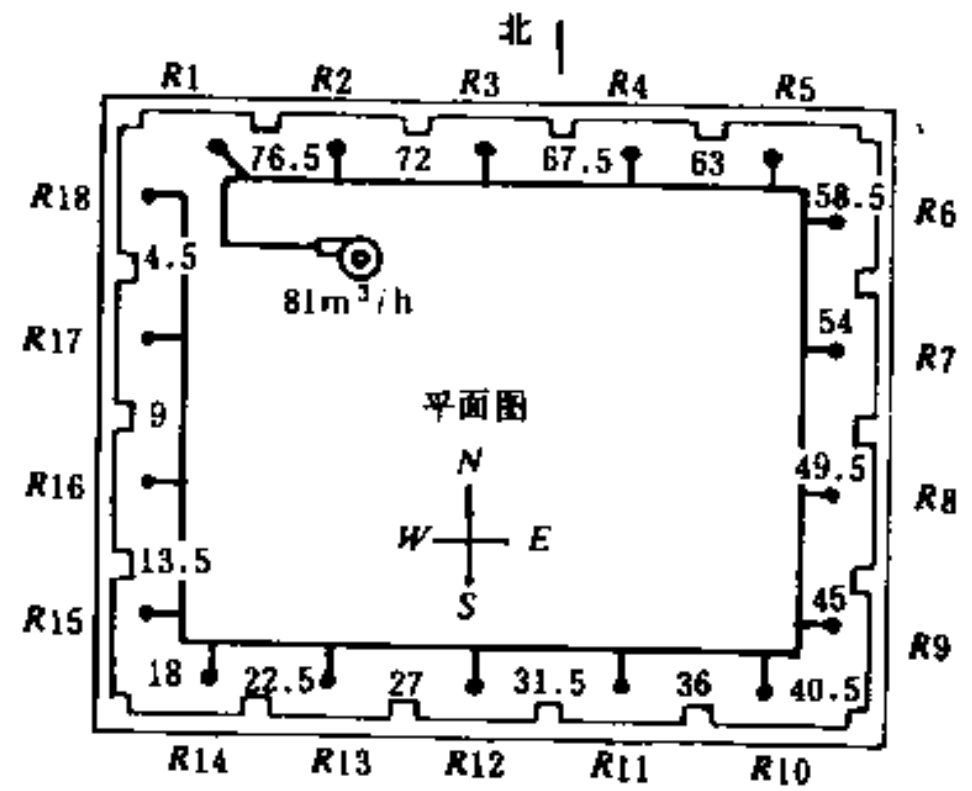


图 11.8-30 例 2 平面图

根据以上 DF 值, 可算出实际设计流量如下:

管段	q (m^3/h)	DF	Q (m^3/h)	管段	q (m^3/h)	DF	Q (m^3/h)
1	81.0	0.67	54.3	9-10	40.5	0.89	36.0
1-2	76.5	0.67	51.3	10-11	36.0	0.89	32.0
2-3	72.0	0.67	48.2	11-12	31.5	0.89	28.0
3-4	67.5	0.67	45.3	12-13	27.0	0.89	24.0
4-5	63.0	0.67	44.5(42.2)	13-14	22.5	0.89	20.0
5-6	58.5	0.76	44.5	14-15	18.0	1.00	18.0
6-7	54.0	0.76	41.0	15-16	13.5	1.00	13.5
7-8	49.5	0.76	37.6	16-17	9.0	1.00	9.0
8-9	45.0	0.76	36.0(34.2)	17-18	4.5	1.00	4.5

11.8.8 水系统的附件

1. 集管 (header)

也称分水器和集水器, 一般是为了便于连接通向各个环路的许多并联管道而设置的, 在一定程度上也起到均压作用。

集管的直径, 可按并联接管的总流量通过集管时的断面流速 $v = 1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 来确定。流量特别大时, 允许增大流速, 但最大不宜超过 4 m/s 。

【例】 集管上拟连接 4 根 $DN = 80 \text{ mm}$ 的管道, 这些管道内的流速均等于 2.0 m/s , 试确定集管的直径。

【解】 $DN = 80 \text{ mm}$ 钢管的内径 $d_n = 81 \text{ mm}$, 其断面积:

$$F = \frac{1}{4} \pi d_n^2 = \frac{1}{4} \times 3.1416 \times 81^2 = 5153 \text{ mm}^2$$

连接管的断面积为:

$$\Sigma F = 5153 \times 4 = 20612 \text{ mm}^2$$

取

$$v = 1.2 \text{ m/s}$$

则 集管应有断面积为:

$$F' = 20612 \times \frac{2.0}{1.2} = 34353 \text{ mm}^2$$

相应的直径为：

$$D = \sqrt{4 \times 34353 / 3.1416} = 209 \text{ mm}$$

选择 $DN = 219 \times 6 \text{ mm}$ 的管道作为集管。

2. 放空气器的连接

水系统中的所有有可能积聚空气的“气囊”顶点，均应设置自动放空气器。在连接放空气器时，应将局部管道的直径加大，如图11.8-31所示。

3. 过滤器

在水系统中的孔板、水泵、换热器等设备的入口管道上，均应安设过滤器，以防止杂质进入，污染或堵塞这些设备。

常用的是Y型过滤器，它具有外形尺寸小、安装清洗方便的特点。Y型过滤器的压力损失，可由制造厂提供。当缺乏这方面的数值时，可参考图11.8-32估算。

4. 平衡阀

平衡阀的构造如图11.8-33所示。

平衡阀的功能：

(1) 流量测量——通过测压孔测出压降值，按性能曲线图即可得出对应的流量；也

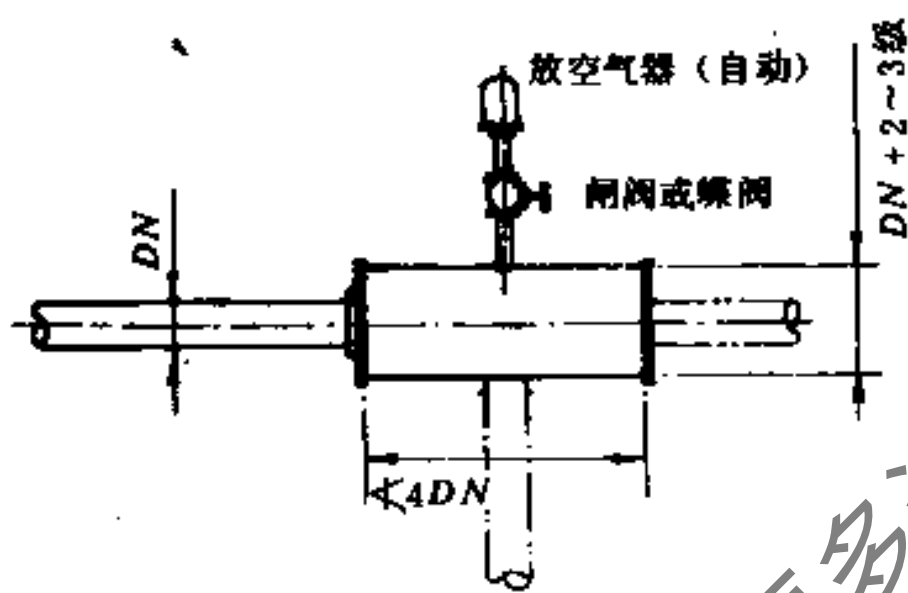


图 11.8-31 放空气器的连接

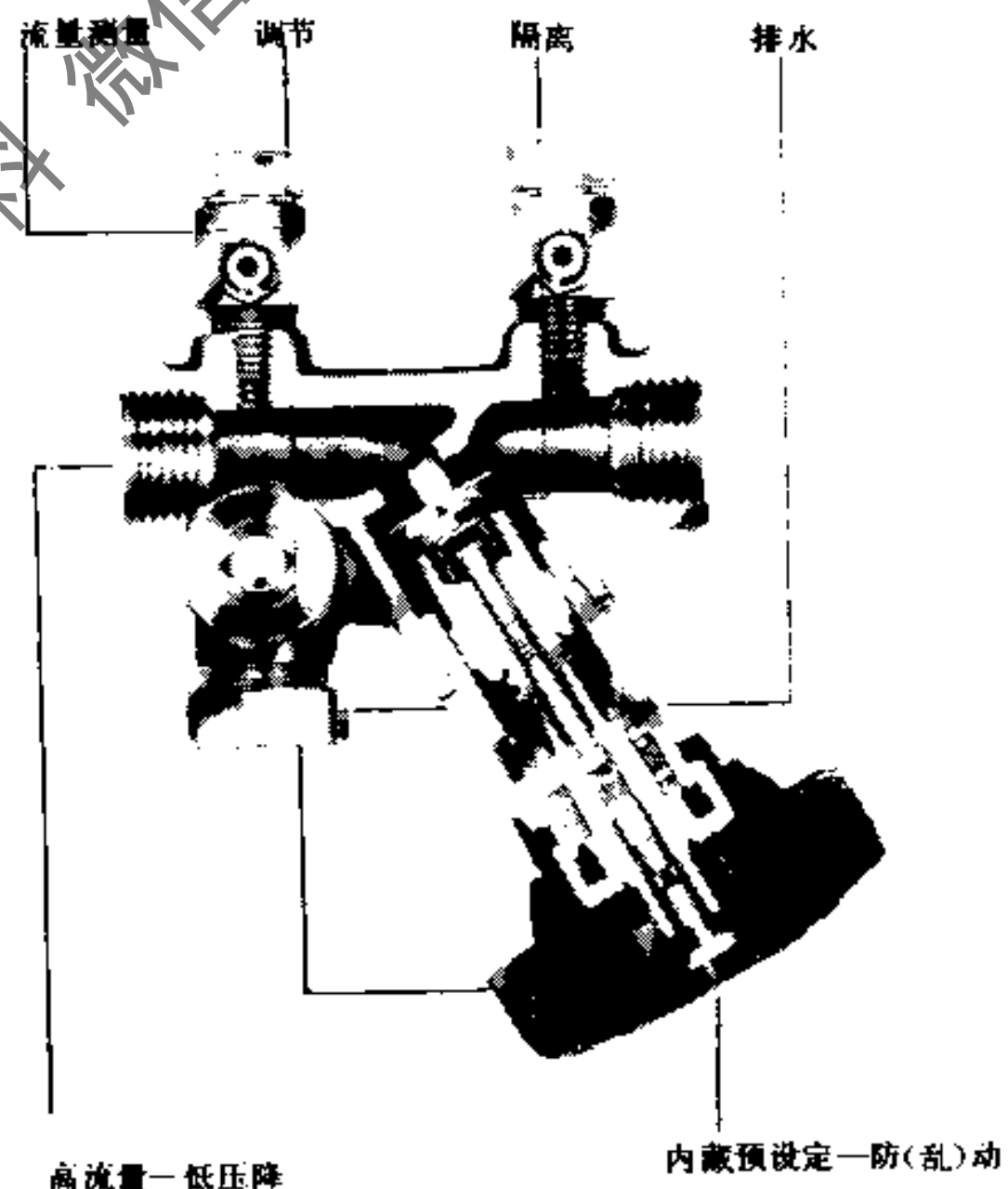


图 11.8-33 平衡阀

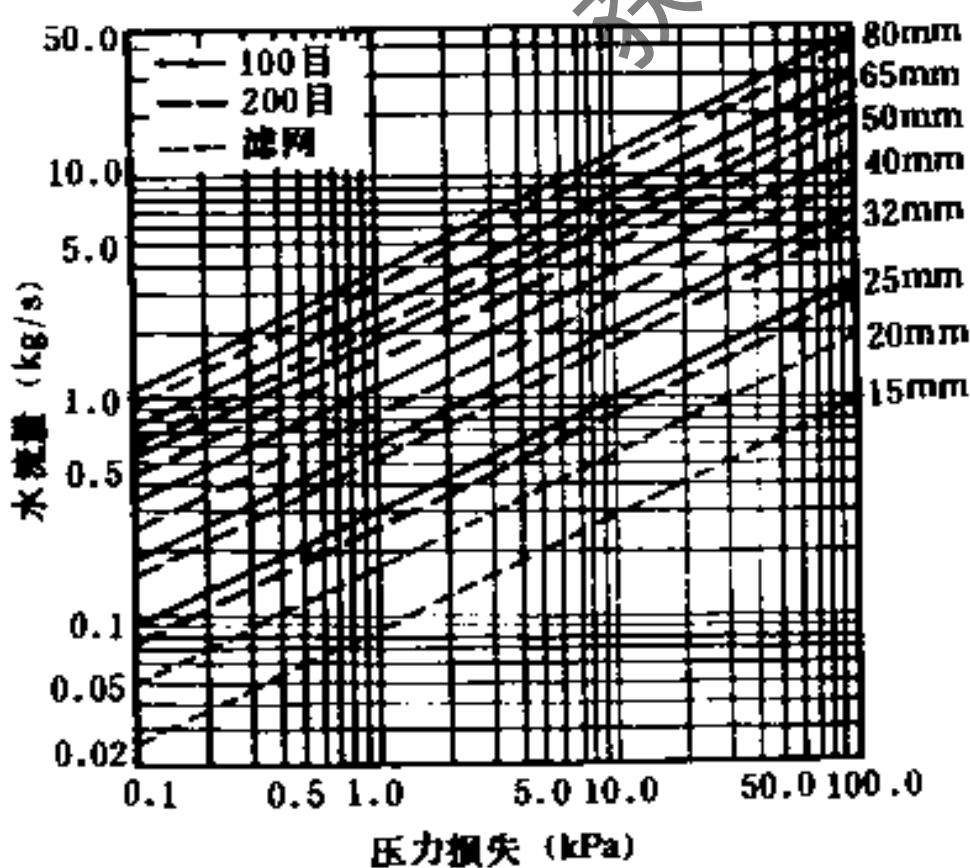


图 11.8-32 Y型过滤器的压力损失图

可由智能式电子压差流量计直接读出流量。

(2) 流量调节——通过旋转手轮(下部带有旋转圈数指示环),可以读出阀门的开度。

(3) 隔断——阀门处于全关位置时,可以截断流量。

(4) 排污——通过排污口,可以排除管段中的存水。

设计注意事项

• 平衡阀的主要用途是解决分支管路间的流量分配,保证各环路的流量符合设计要求,所以各个分支管路上均应同时安装。

• 平衡阀的口径,可以按连接管道的公称直径确定,保持两者相同。

• 平衡阀应尽可能设置在回水管上,以保证供水压力不致降低。

• 阀前和阀后,应分别保持 $5D$ 和 $2D$ (D —管道的公称直径)长度的直管段;当阀前为水泵时,直管段的长度应加大至 $10D$ 。

平衡阀水系统的平衡方法与步骤(比例法)

(1) 准备阶段

• 研究、分析管路系统,确认干管、立管、支管及末端装置,如图11.8-34所示。

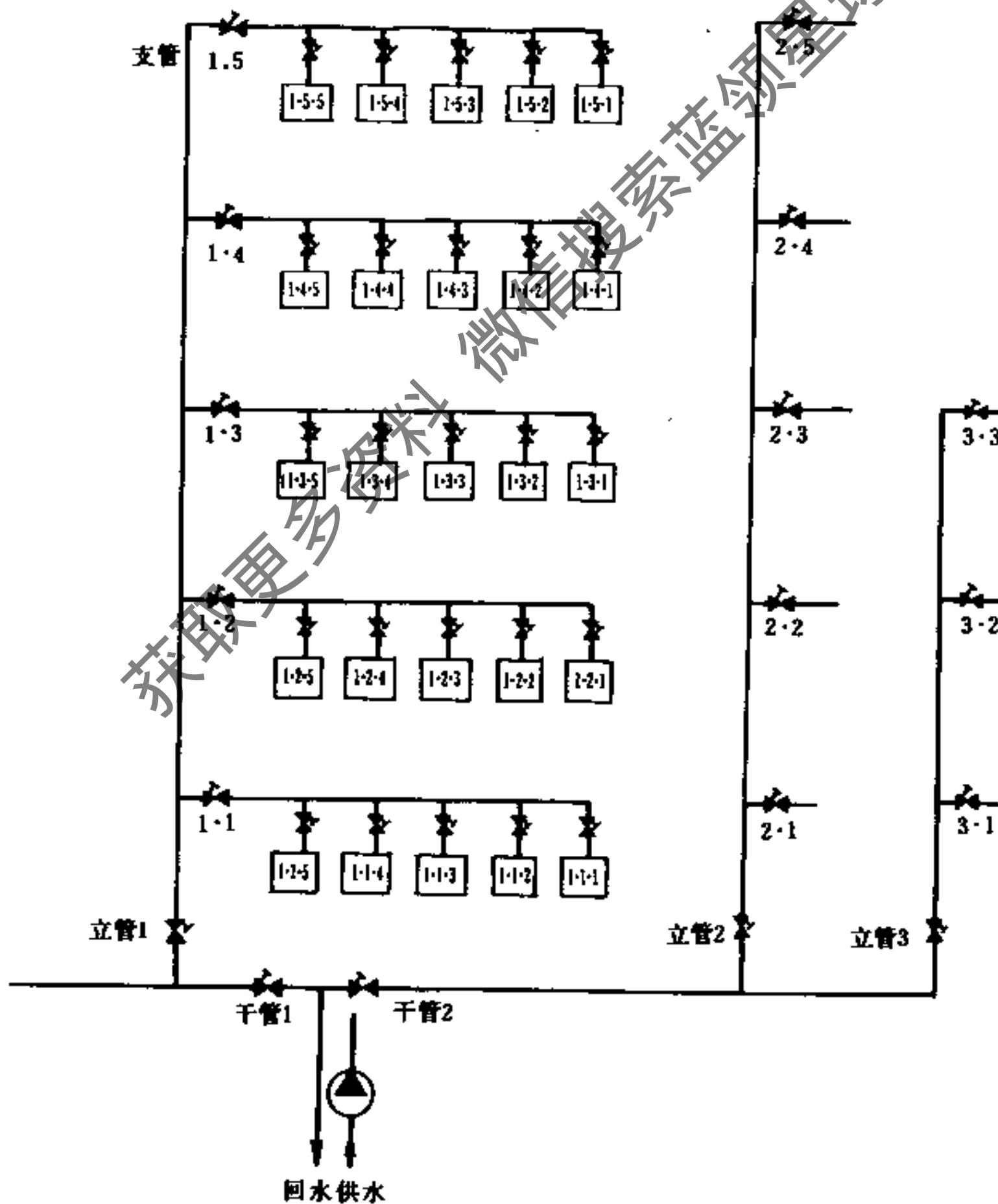


图 11.8-34 水系统示意图

- 使管路系统中全部平衡阀、截止阀、自动调节阀等所有阀门（除旁通阀外）处于全开状态。

- 当末端装置采用三通调节阀时，应保持旁通管路中平衡阀的压降与末端装置的压降相同。

- 准备 1 ~ 2 台智能式电子压差流量计（或压差计）和 2 名（至少）工作人员，并配备步话机，以便进行平衡工作时保持联系。

（2）确定平衡工作从何处开始

- 测量出全部立管平衡阀处的流量。

- 计算出实际流量与该处设计流量的比值。例如，若该处设计流量为 $10.8\text{m}^3/\text{h}$ ，实际测量出的流量为 $16.2\text{m}^3/\text{h}$ ，则得出流量比为 $16.2/10.8=1.5$ 。

- 选出具有最大流量比的立管，如图 11.8-34 中的立管 1，作为平衡工作的开始处。

（3）平衡支管上末端装置前的平衡阀

- 测量立管 1 上所有支管平衡阀处的实际流量，并计算出该平衡阀处实际流量与设计流量的流量比，找出流量比最大的支管，如图 11.8-34 中的支管 1·1。

- 同理，测量出支管 1·1 上每个末端装置前平衡阀的流量，并算出其流量比。

- 将最小流量比的末端装置处的平衡阀作为该支管的“参考”阀门。通常，最后一个末端装置处平衡阀 1·1·1 具有最小流量比；如果不是这样，例如 1·1·3 处为最小，则应关小 1·1·1 处平衡阀的开度，使其保持最小流量比。

注：在关小 1·1·1 平衡阀时，1·1·3 处的流量比会略有增大，因此，要调节 1·1·1 直至与 1·1·3 一致为止。这时，1·1·1 处平衡阀即为“参考”阀门。

- 在“参考”阀门 1·1·1 处接上智能式电子压差流量计或压差计，然后对其上游方向的 1·1·2 处平衡阀进行调节，同样调节至与 1·1·1 一致为止。依次调节 1·1·3、1·1·4、1·1·5……。要调整至流量比与 1·1·1 始终一致，同时，决不允许改变 1·1·1 处平衡阀的开度。

- 至此，支管 1·1 的平衡工作已完成。然后，找出立管 1 中其它具有最大流量比的支管，如支管 1·2，重复以上步骤。然后对其它支管如 1·3、1·4……，直至将立管 1 上的全部支管中的末端装置前的平衡阀调完为止。

（4）平衡立管上的支管平衡阀

- 重新测量立管 1 上所有支管处平衡阀的实际流量，并算出流量比。

- 确定“参考”支管。若最远支管 1·5 处平衡阀并不具有最小流量比，那么，同样要调节支管 1·5 处平衡阀开度，使其达到最小流量比；然后以支管 1·5 为“参考”支管，依次调节 1·4、1·3、1·2 和 1·1，使之与 1·5 的流量比一致。

至此，立管 1 上的所有支管和末端装置前的平衡阀的调节工作已告结束。

根据先调有利立管（流量比大）环路，后调不利立管（流量比小）环路的原则，分别对立管 2、3……重复上述步骤。从而完成全部支管和末端装置前平衡阀的调节工作。

（5）平衡干管上的立管平衡阀

- 测量所有立管平衡阀，并求出最小流量比的立管。

- 如果最远的立管不是最小流量比，则应调节其平衡阀（如立管 3），使之成为最小流量比。

确定“参考”立管（立管 3），依此（如立管 2、立管 1）进行全部立管平衡阀的调节。

(6) 平衡干管平衡阀

同理，先确定“参考”干管，然后将全部干管平衡阀调节至最小流量比。

(7) 调节总流量

将水泵流量调节至设计额定流量，这时，系统各部分将自动地保持各自的设计额定流量。

(8) 锁定每个平衡阀，并将各个阀的开度记录于平衡报告上，以便查考。

5. 减压稳压阀

在高层建筑中，在供、回水管道的适当部位设置减压稳压阀，可以有效的降低阀后管路和设备的承压，从而替代水系统的竖向分区。

功能

- 通过改变开度，阀后的压力即可相应改变，并稳定在某一数值上。
- 既能减低动压，又能隔断静水压力（无水流动时）。

• 一旦有水流动，阀门自动开启，阀后压力恢复调定的某一数值。

设计注意事项

- 必须保持水流方向与阀体上的箭头方向一致。
- 既可水平安装，也可垂直安装。
- 设定和调整压力时，应在静压状态下进行（动静压差0.1MPa）。
- 阀前应装设Y型水过滤器。
- 阀门的选择，可根据流量和阀前、后压力由图11.8-35查出。

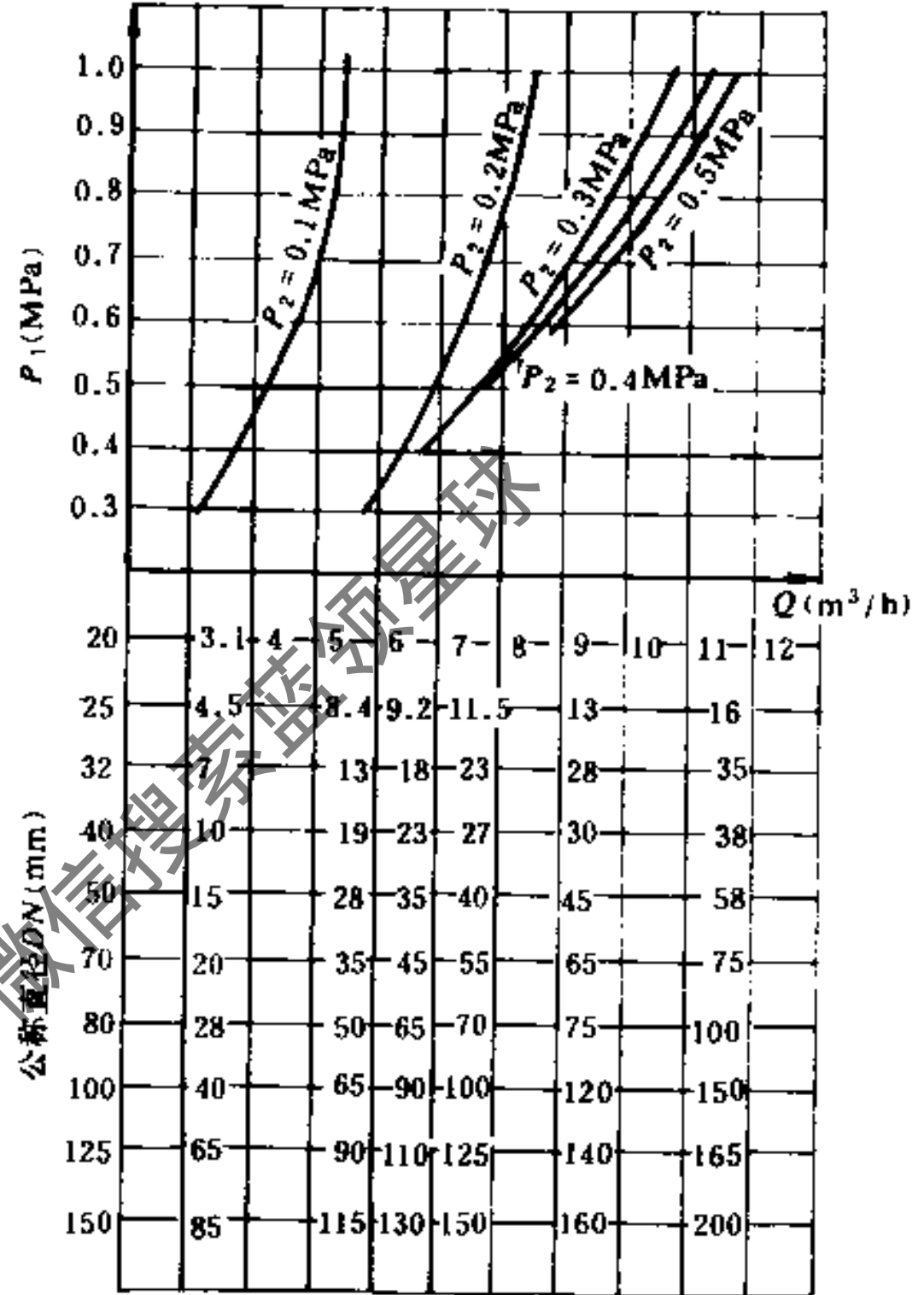


图 11.8-35 减压稳压阀选择图

【例】已知阀前压力 $P_1 = 0.6\text{MPa}$ ，流量 $Q = 19\text{m}^3/\text{h}$ ，要求阀后压力 $P_2 = 0.2\text{MPa}$ ，试选择减压阀规格。

【解】根据 P_1 与 P_2 ，在图11.8-35上得一交点，顺交点向下，与各种规格的坐标相交；当 $DN = 32\text{mm}$ 时， $Q = 19\text{m}^3/\text{h}$ 。所以，可以选择 $DN = 32\text{mm}$ 的减压稳压阀。

11.8.9 冷水设备的配管

1. 空气冷却器（冷盘管）的配管 见图11.8-36至图11.8-42。水冷却器的配管见图11.8-43。

2. 冷凝器的配管（见图11.8-44至图11.8-47）。

3. 喷水室的配管（见图11.8-48至图11.8-53）。

4. 水泵的配管（见图11.8-54至图11.8-56）。

5. 膨胀水箱的配管（见图11.8-57）。

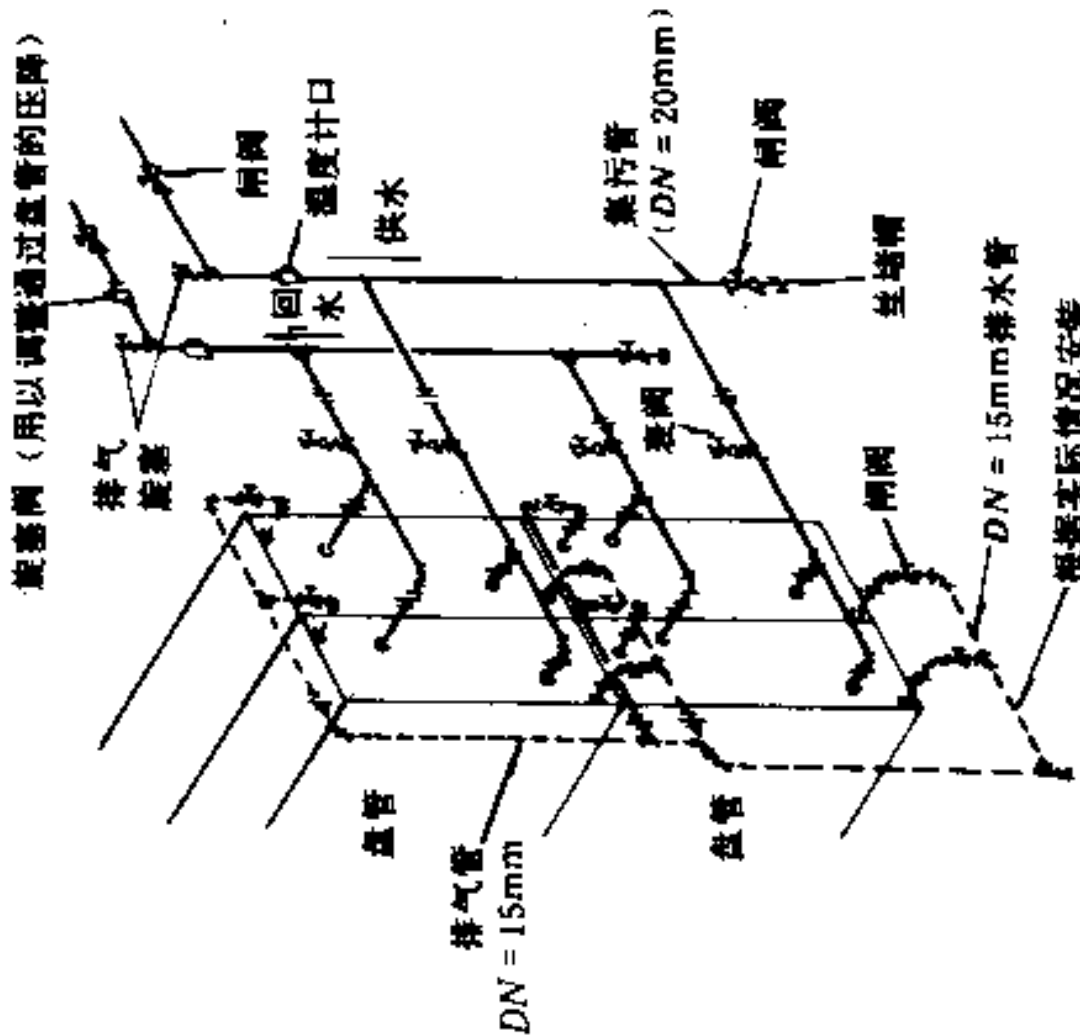


图 11.8-38 多排冷盘管时的配管

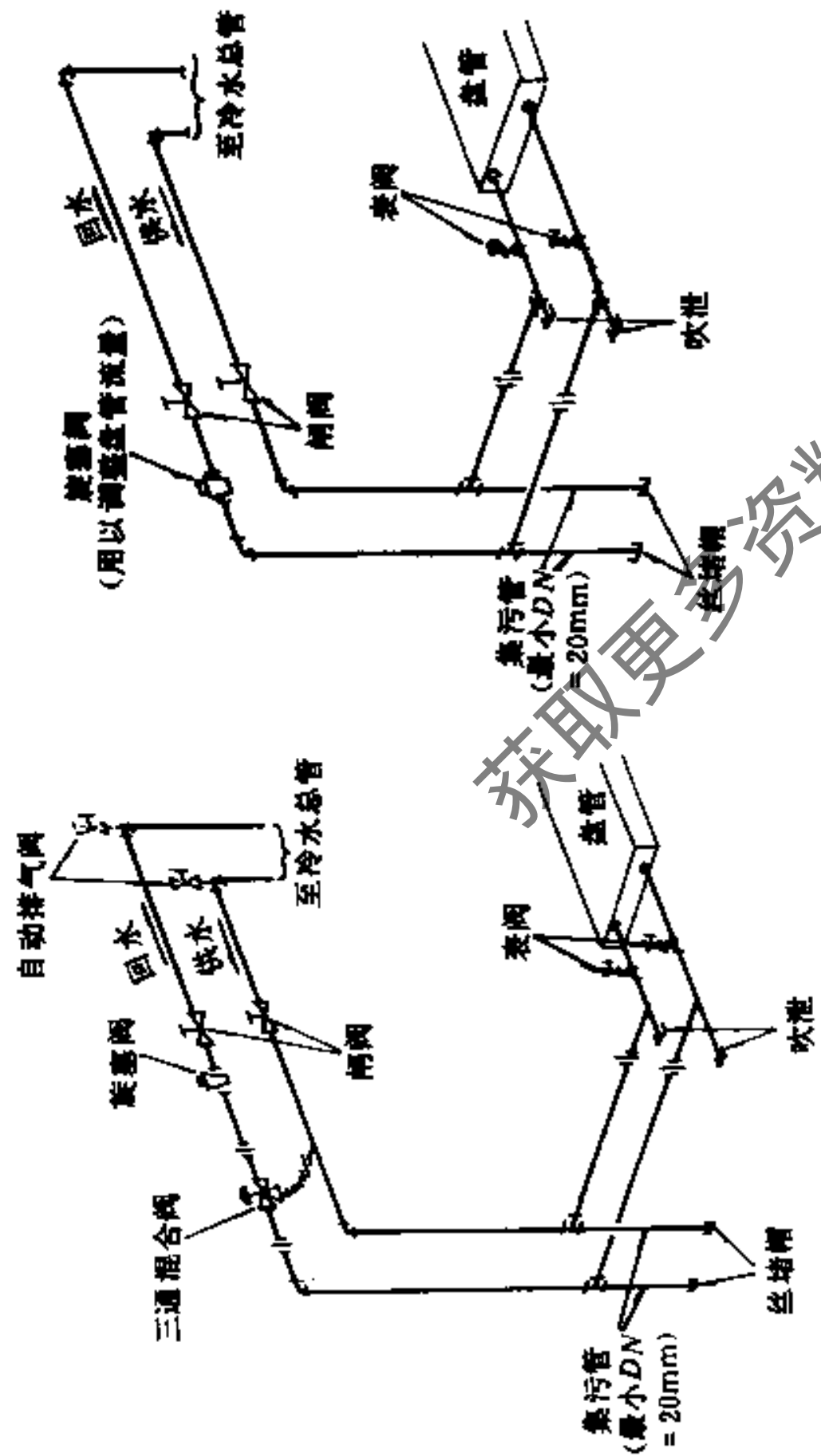


图 11.8-36 冷盘管配管—自动控制

图 11.8-37 冷盘管配管—人工控制

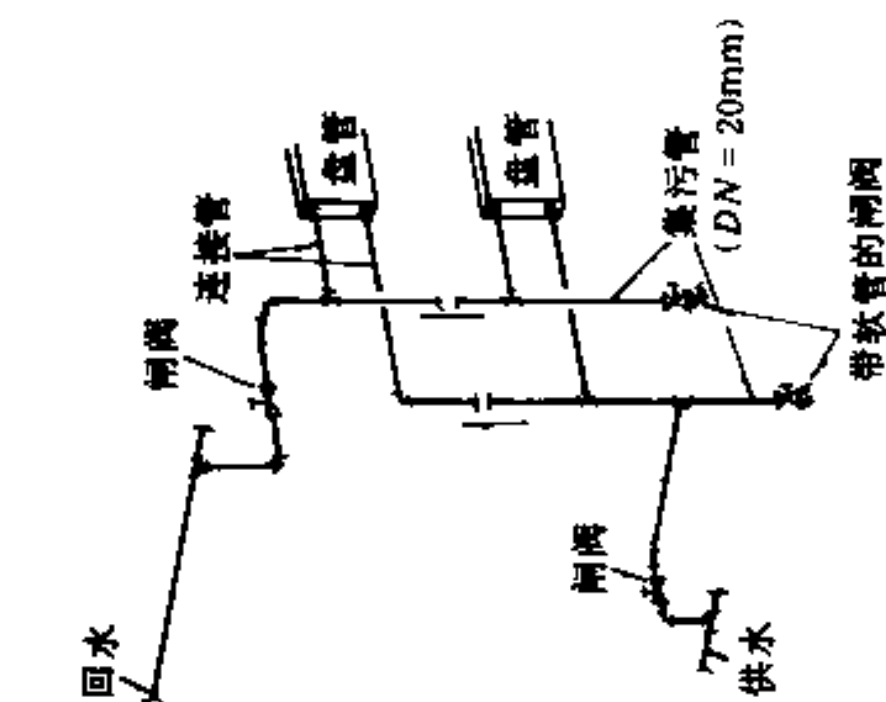


图 11.8-39 竖向多组冷盘管的配管

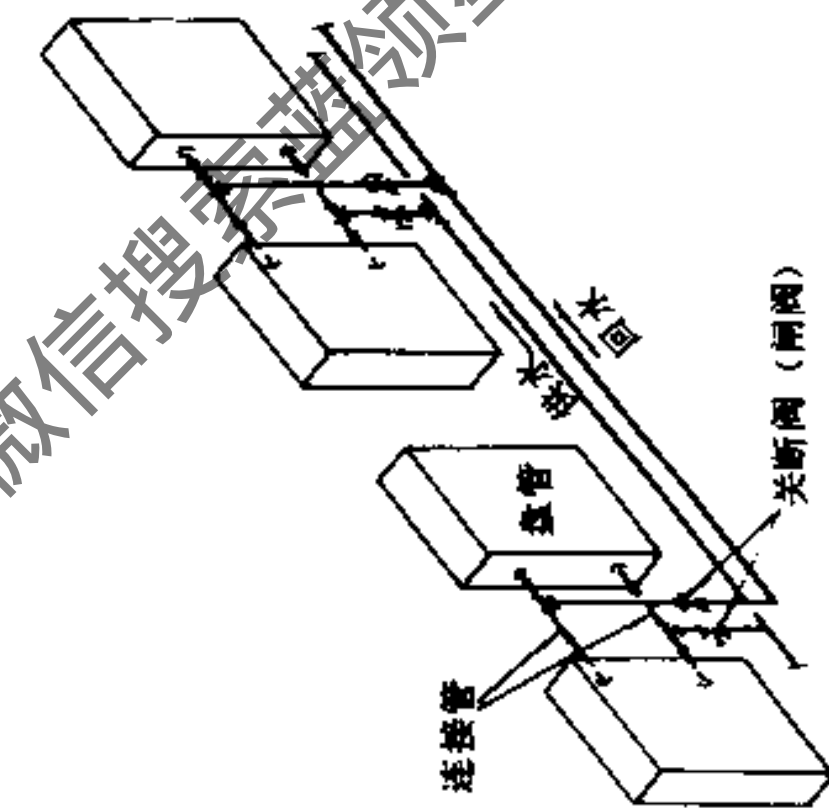


图 11.8-40 横向多组冷盘管的配管
(4组盘管、4个关断阀)

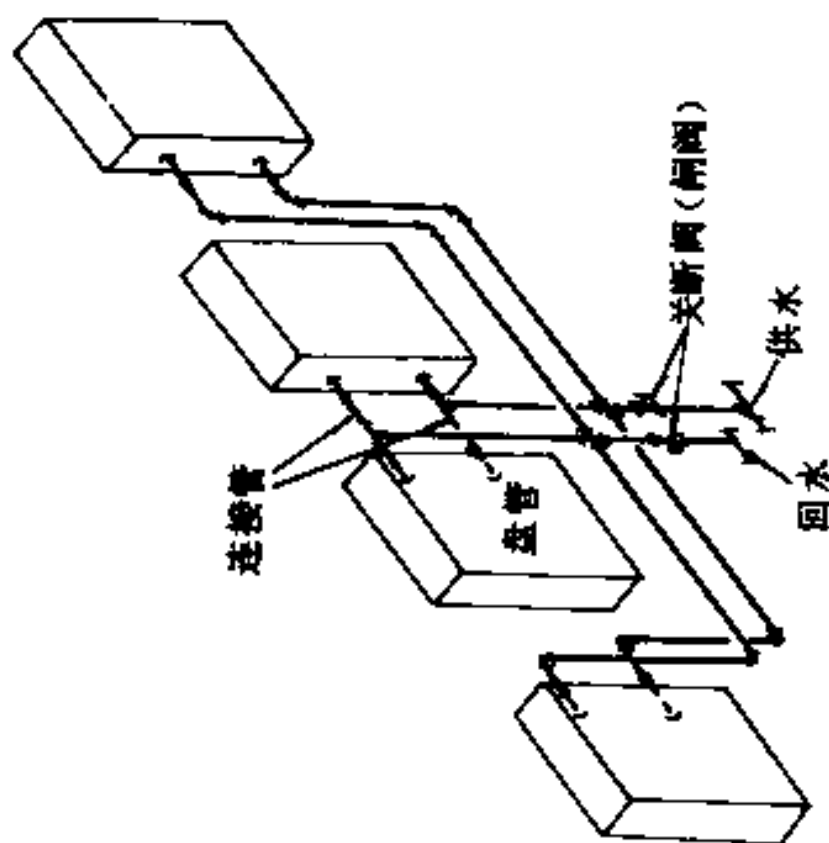


图 11.8-41 横向多组冷盘管的配管
(4组盘管、2个关断阀)

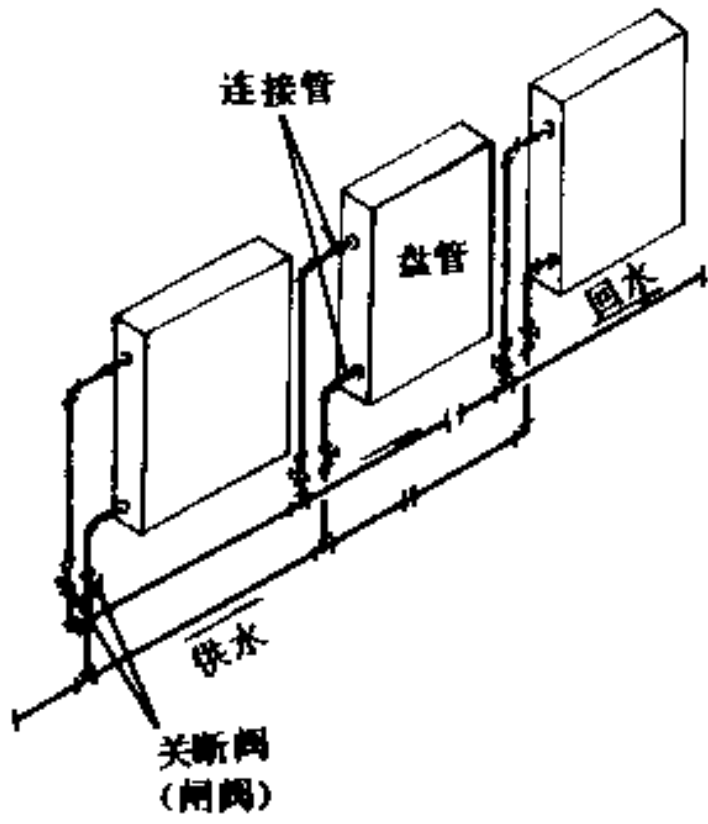


图 11.8-42 横向多组盘管的配管
(3组盘管、6个关断阀)

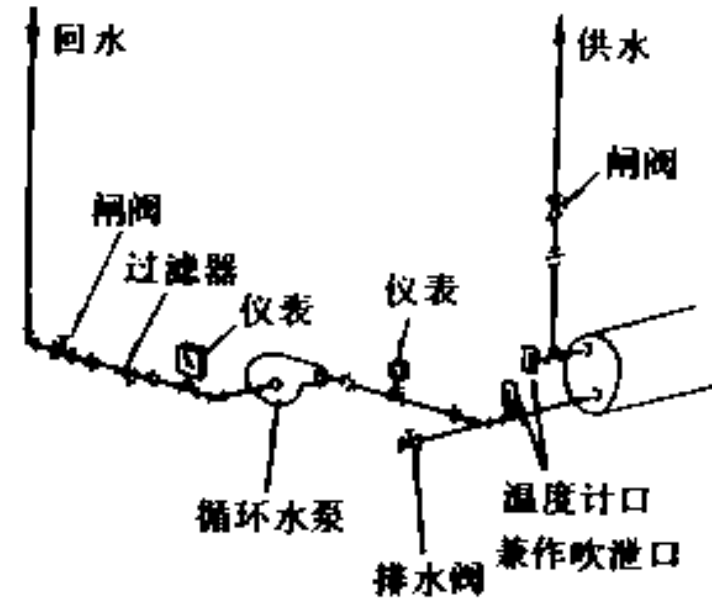


图 11.8-43 水冷却器的配管

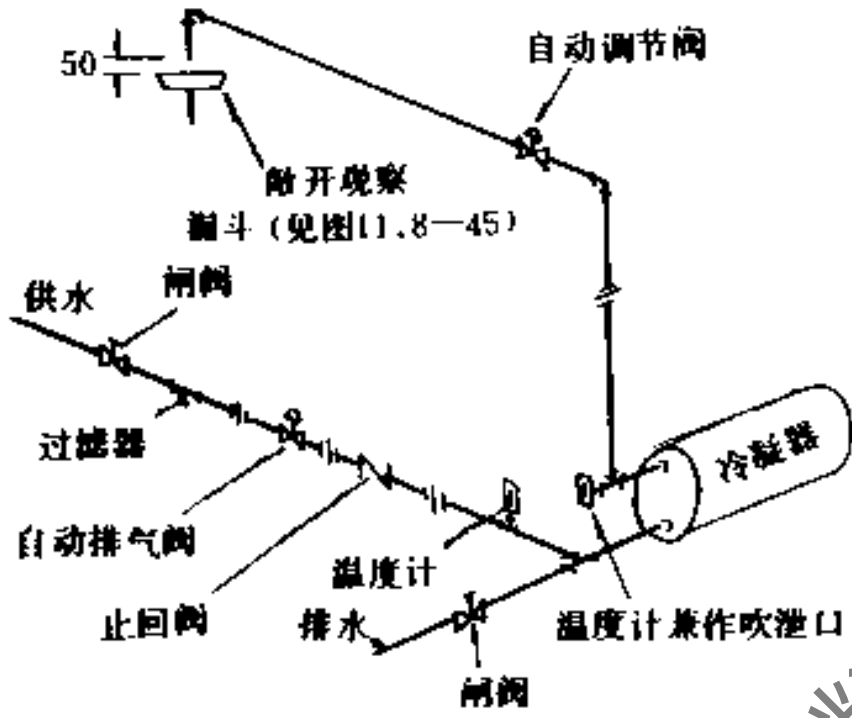


图 11.8-44 直流式冷凝器的配管

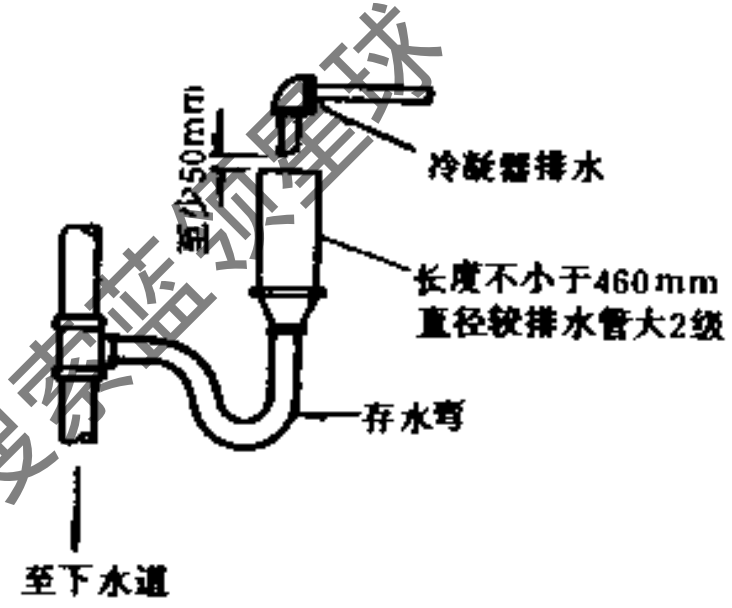


图 11.8-45 排水管的连接

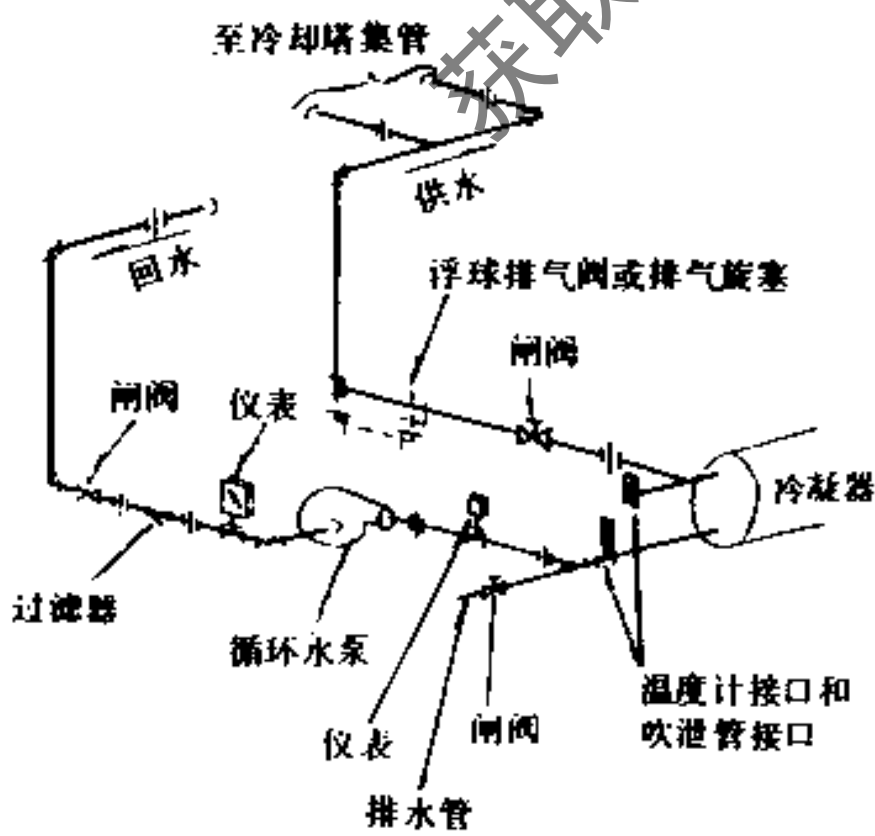


图 11.8-46 再循环式冷凝器的配管

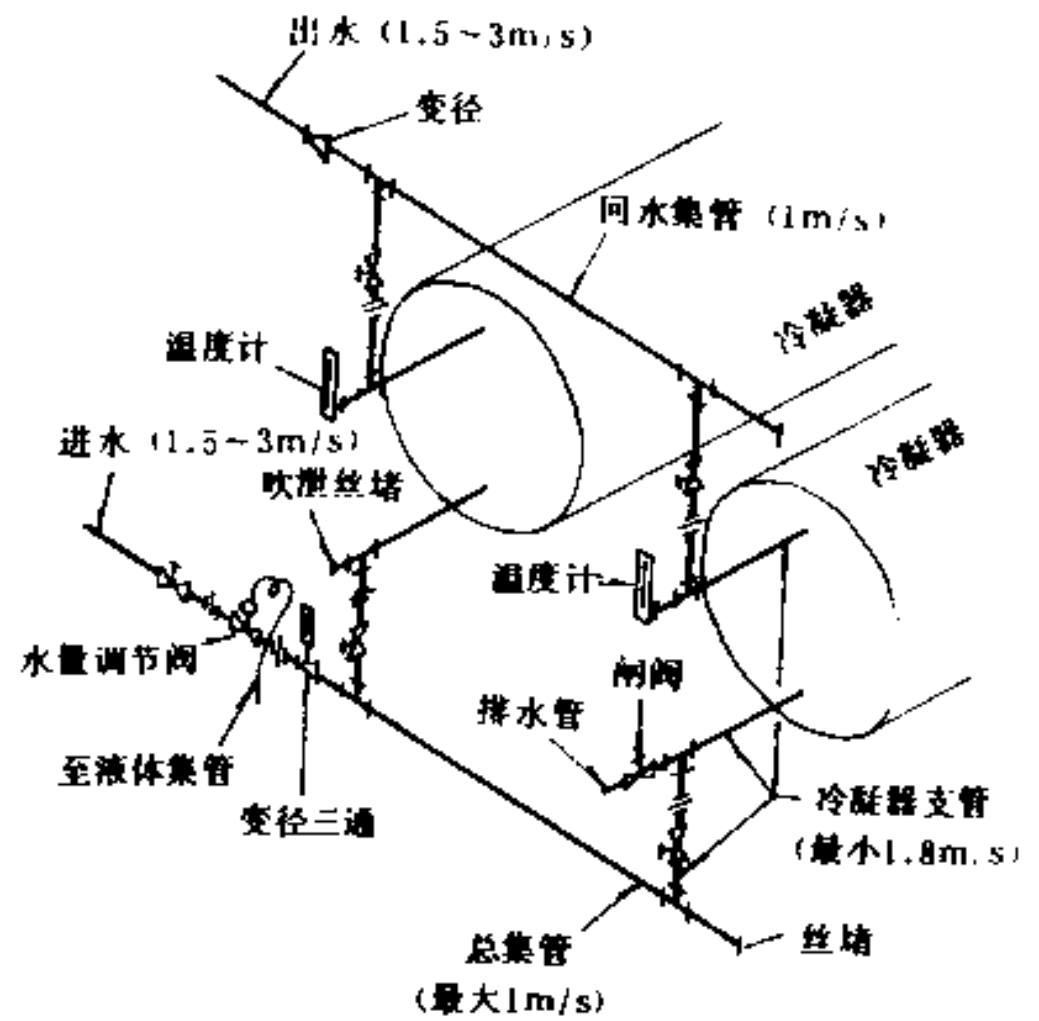
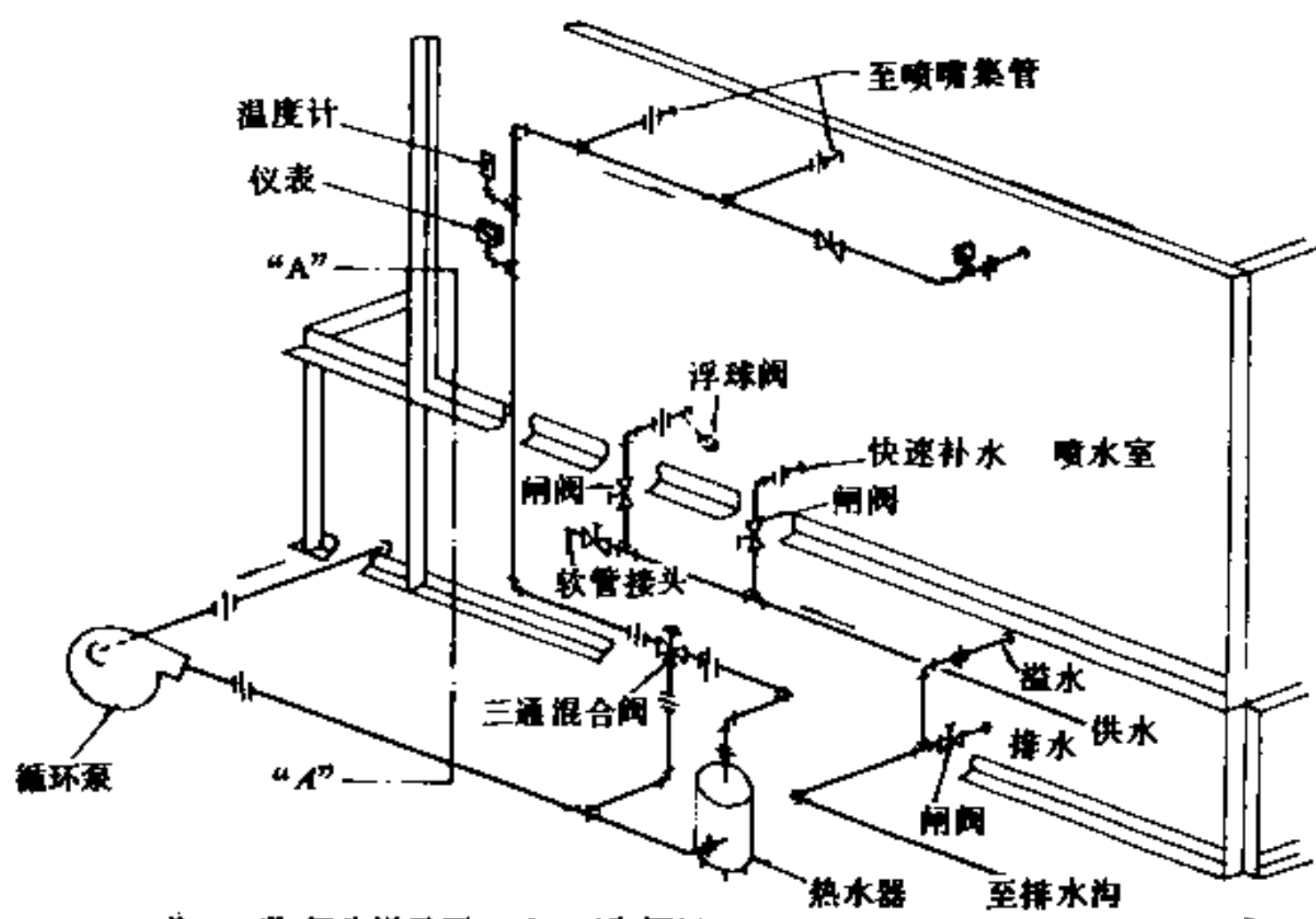
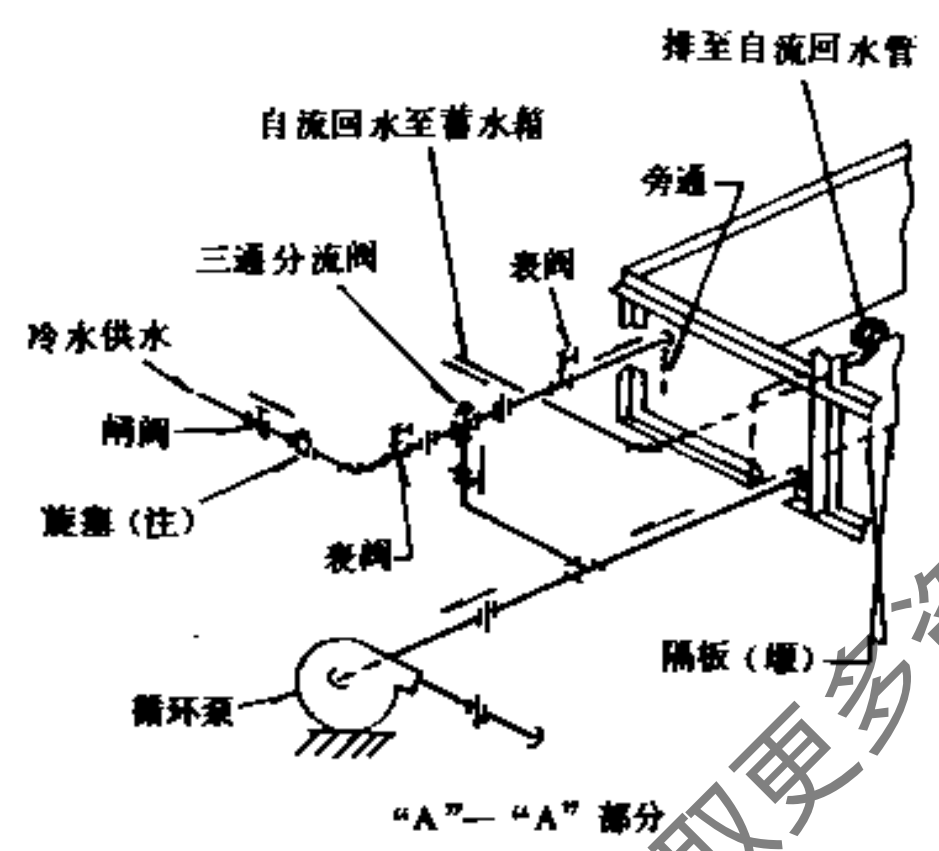


图 11.8-47 再循环式多台冷凝器的配管



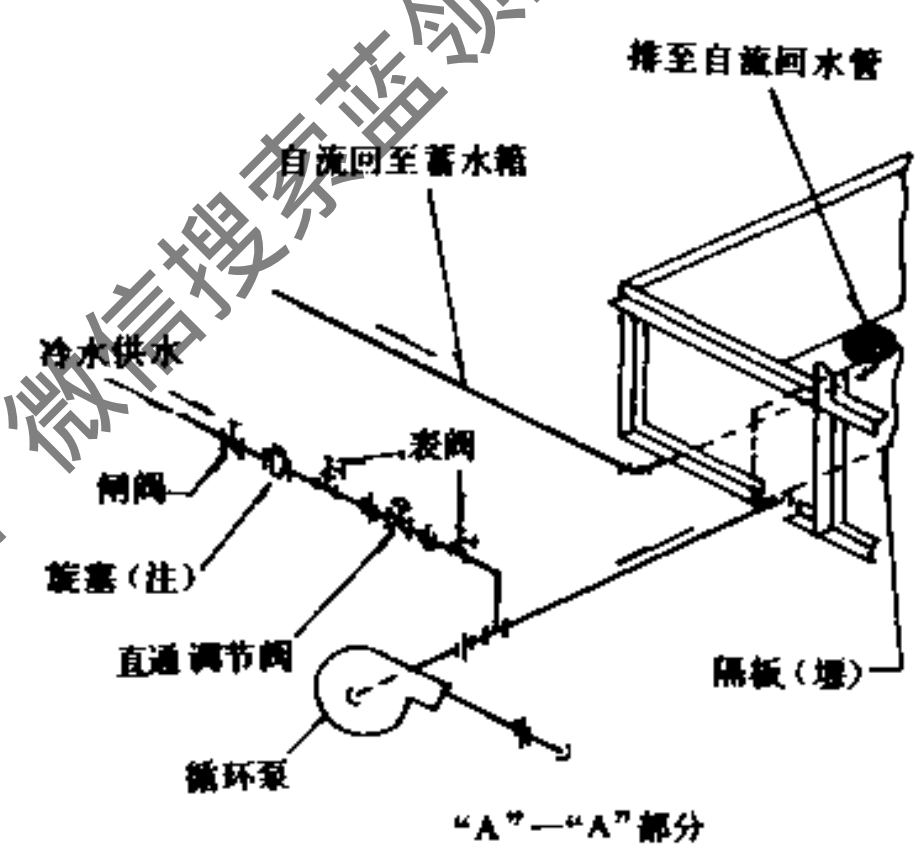
注：“A”—“A”部分详见图11.8-49和图11.8-50
(去湿系统典型配管)

图 11.8-48 喷水室配管



注：调整旋塞，使通过自动调节阀的流量约为循环水量的90%

图 11.8-49 应用三通调节阀的喷水室



注：调整旋塞，使通过自动调节阀的流量约为循环水量的90%

图 11.8-50 应用直通调节阀的喷水室

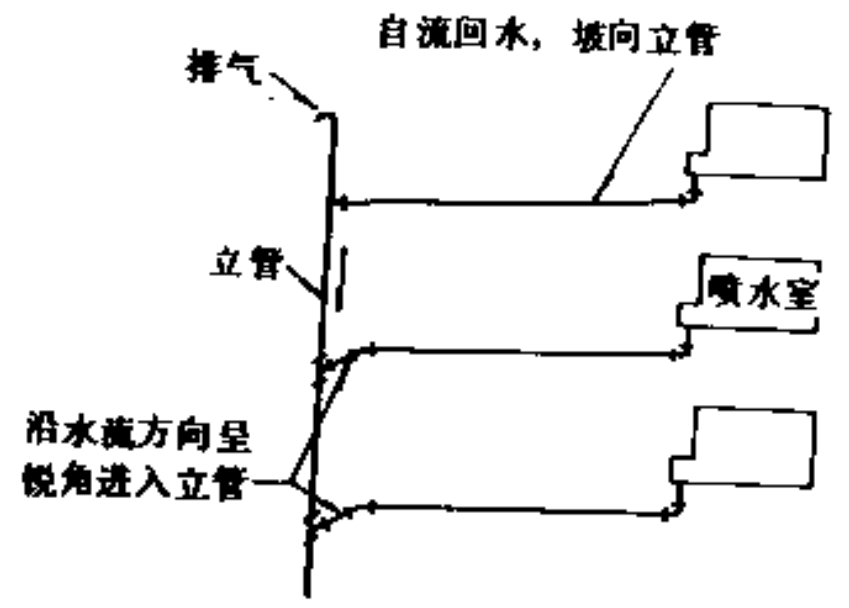


图 11.8-51 不同楼层喷水室回水管的连接法

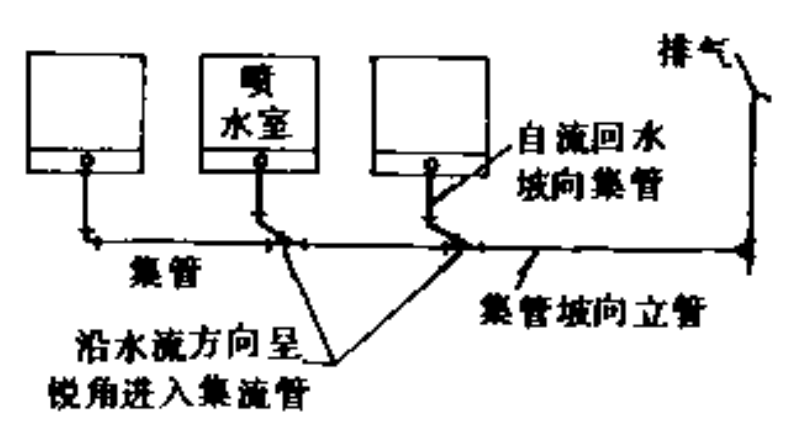


图 11.8-52 同一层喷水室回水管的连接法

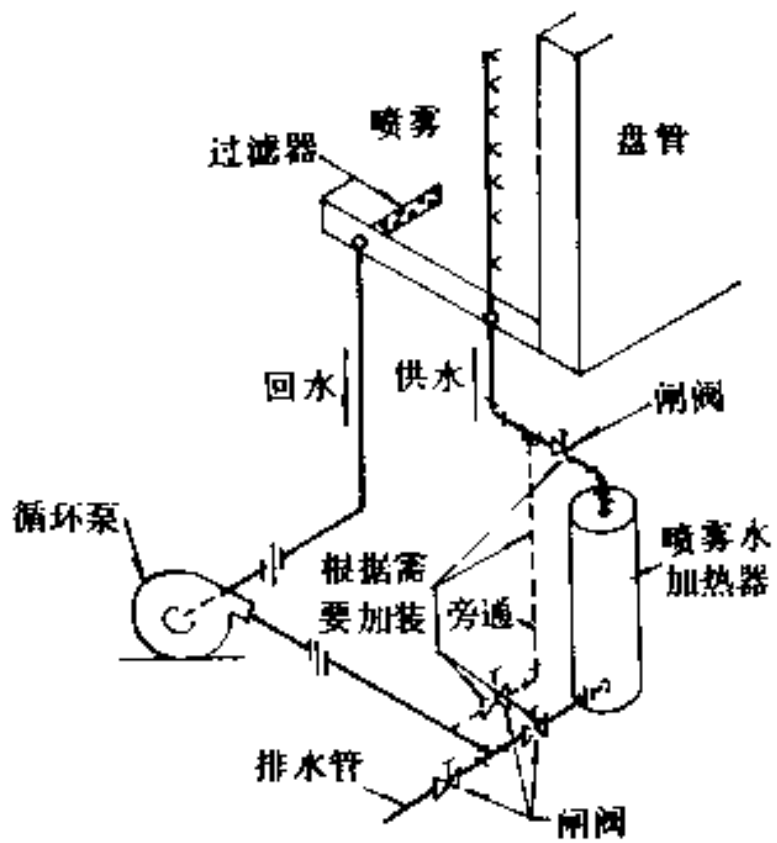


图 11.8-53 具有热水器的喷水盘管

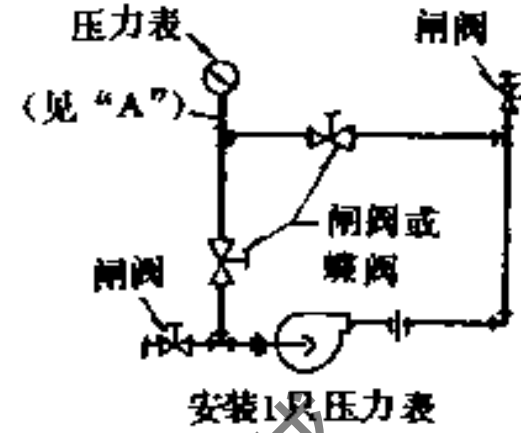
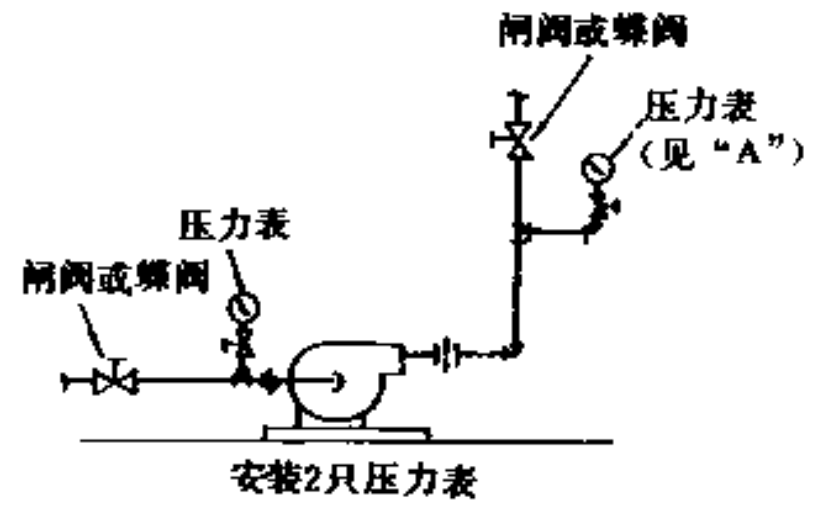


图 11.8-56 水泵上仪表的配置

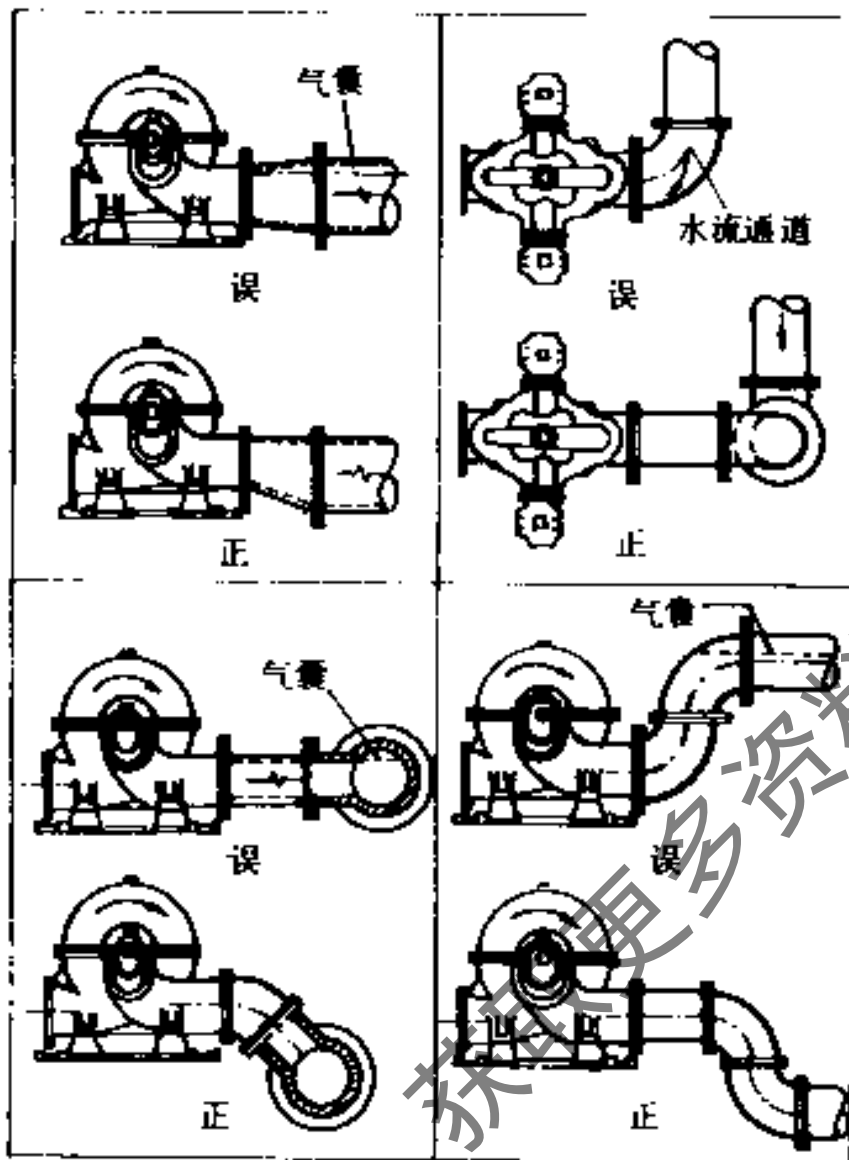


图 11.8-54 水泵吸入管的连接

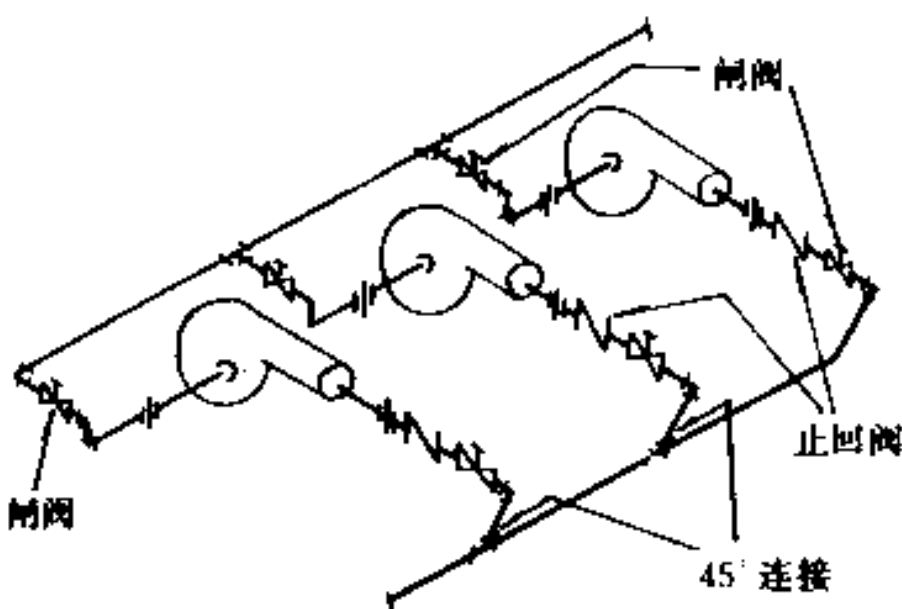


图 11.8-55 多台水泵的连接

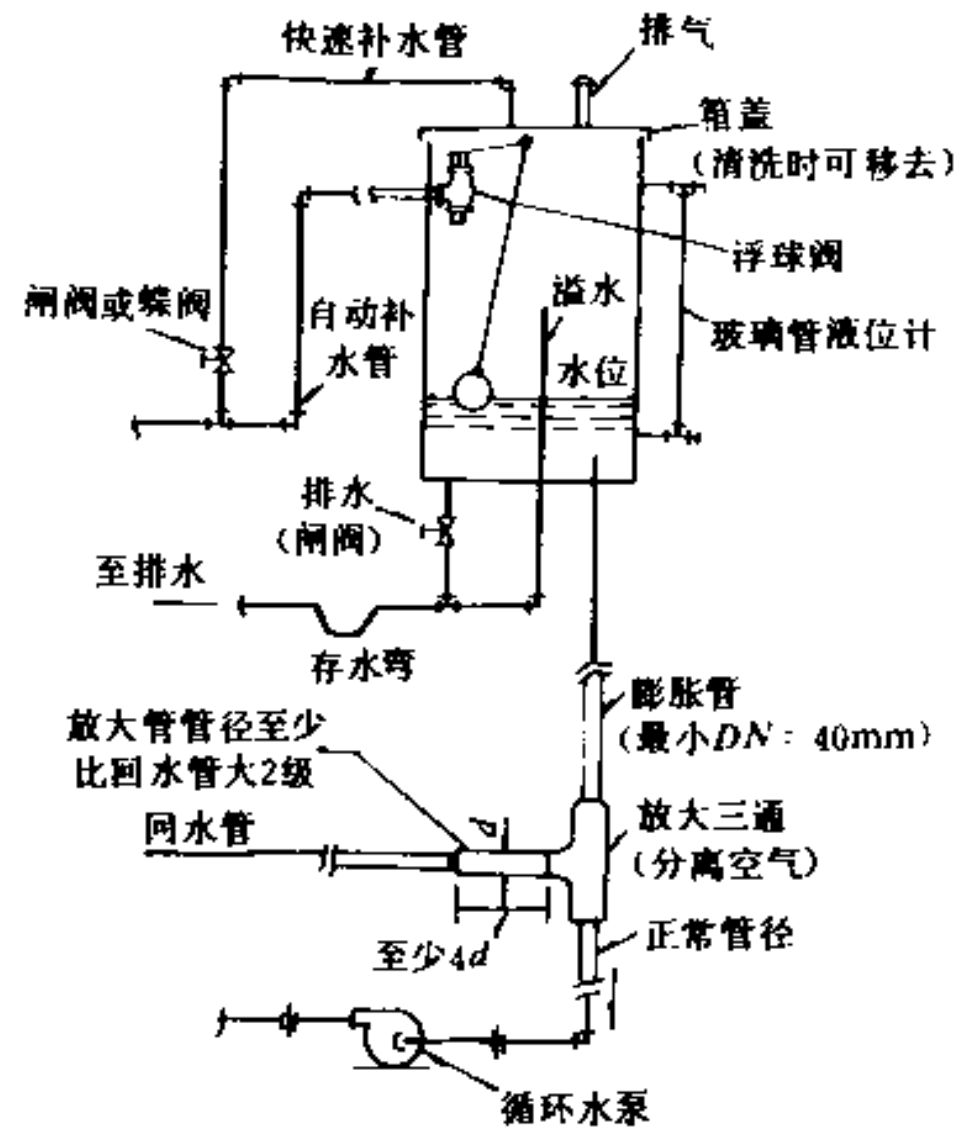


图 11.8-57 开式膨胀水箱配管

11.8.10 水系统的水处理

1. 循环冷却水的主要水质指标 (见表11.8-11和表11.8-12)。

开式系统碳钢换热设备冷却水主要水质指标(GBJ50-83)

表 11.8-11

项 目	类 型	要 求 和 使 用 条 件	允 许 值
浊 度 (mg/L)	I	1. 污垢热阻值 $<3.44 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W} \cdot \text{a}$ 2. 腐蚀率 $<0.125 \text{mm/a}$ 3. 换热设备结构形式、工况条件和冷却水处理方法对浊度有严格要求 4. 当运行中存在油类等粘附性污染时, 污垢热阻值 $<5.16 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W} \cdot \text{a}$	<20
	II	1. 污垢热阻值 $<5.16 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W} \cdot \text{a}$ 2. 腐蚀率 $<0.2 \text{mm/a}$ 3. 换热设备结构型式、工况条件和冷却水处理方法对浊度有一定要求	<50
	III	1. 污垢热阻值 $<5.16 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W} \cdot \text{a}$ 2. 腐蚀率 $<0.2 \text{mm/a}$ 3. 换热设备结构形式、工况条件和冷却水处理方法对浊度有一般要求	<100
电 导 率 ($\mu\Omega/\text{cm}$)		当采用缓蚀剂处理时	<3000
甲基橙碱度 (mge/L)		当采用阻垢剂处理时	<7
pH 值			>6.5 <9.0

注: 1. 电导率和甲基橙碱度应根据药剂的功效确定其值。

2. pH值应根据冷却水处理方法或药剂配方确定。

3. 当采用磷系复合药剂进行阻垢和缓蚀处理时, 尚应满足下列要求:

(1) 浊度一般宜小于 10mg/L ;

(2) 甲基橙碱度宜大于 1mge/L ;

(3) 钙硬度宜大于 1.5mge/L , 但不宜超过 8mge/L ;

(4) 正磷酸盐含量(以 PO_4^{3-} 计)宜小于或等于磷酸盐总含量(以 PO_4^{3-} 计)的50%。

2. 结垢与腐蚀倾向的预测

(1) 兰吉勒(Langelier)饱和指数(LSI):

$$LSI = PH - PH_b \quad (11.8-21)$$

式中 PH ——测试得出的pH值;

PH_b ——碳酸钙饱和时的计算pH值。

根据LSI值, 由表11.8-12可以预测结垢和腐蚀的倾向。

(2) 雷那(Ryznar)稳定指数(RSI):

$$RSI = 2PH_b - PH \quad (11.8-22)$$

根据RSI值, 由表11.8-13也可以预测结垢和腐蚀的倾向。

兰吉勒饱和指数预测表 表 11.8-12

LSI	倾 向
+2.0	形成结垢, 实用上可以认为无腐蚀
+0.5	轻微结垢, 轻微腐蚀
0.0	饱和平衡, 无结垢, 可能有点状腐蚀
-0.5	无结垢, 轻微腐蚀
-2.0	严重腐蚀

雷那稳定指数预测表 表 11.8-13

RSI	倾 向
4.0~5.0	重结垢
5.6~6.0	轻结垢
6.0~7.0	微结垢
7.0~7.5	轻腐蚀
7.5~9.0	重腐蚀
>9.0	严重腐蚀

3. 阻垢措施 (盐垢)

(1) 排污法 适用于水质的碳酸盐硬度较低且水量小或水源丰富的地区。阻垢所需的连续排污量占循环水量的百分比 $P_3(\%)$ 可按下式计算:

$$P_3 = \frac{H_z(P_1 + P_2) - H_{jz}P_2}{H_{jz} - H_z} \quad (11.8-23)$$

式中 H_z ——补充水的碳酸盐硬度, mge/L ;

H_{jz} ——循环水的极限碳酸盐硬度, mge/L ;

P_1 ——蒸发损失占循环水量的百分比, %;

P_2 ——风吹损失占循环水量的百分比, %。

当 P_3 为负值时, 表明不需排污。通常, P_3 值不宜超过 3 ~ 5 %。

(2) 酸化法 当补充水的碳酸盐硬度较大时, 可采用加酸措施, 控制 pH 值等于 7.2 ~ 7.8。常采用硫酸(酸化后生成的硫酸钙应小于其相应水温时的溶解度), 加酸量 $G(\text{kg/h})$:

$$G = \frac{E(H_z - H'_z)Q_b}{1000a} \quad (11.8-24)$$

$$H'_z = H_{jz}/N$$

式中 E ——酸当量 (H_2SO_4 为 49, HCl 为 36.5);

H'_z ——补充水加酸处理后的碳酸盐硬度, mge/L ;

Q_b ——补充水量, m^3/h ;

a ——酸浓度, 代表工业酸纯度;

N ——浓缩倍数;

$$N = \frac{Q_b}{Q_b - Q_1} = \frac{Q_b}{Q_b - Q_1} = \frac{P_b}{P_b - P_1} \quad (11.8-25)$$

Q_1 ——蒸发损失水量, m^3/h ;

Q_p ——排污和渗漏损失水量, m^3/h ;

Q_f ——风吹损失水量, m^3/h ;

P_b ——补充水量占循环水量的百分比, %。

(3) 软化法 见第六章的有关部分。

(4) 投加阻垢剂 见表 11.8-14。

常用阻垢、分散剂汇总表

表 11.8-14

类别	名称	极限碳酸盐硬度 [mge/L]	加药量 (mg/L)	备注
聚磷酸盐	六偏磷酸钠 ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$)	$H = 6 - 0.15H'$ (H' —补充水的非碳酸盐硬度, mge/L)	1 ~ 5 (P_2O_5 含量 > 50%)	pH = 6.5 ~ 7.5 $t < 45^\circ\text{C}$, 药品在水中的停留时间 > 50h
	三聚磷酸钠 ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	5	2 ~ 5 (以 100% 计)	
膦酸盐	氨基三甲叉膦酸盐 (ATPM)	9	1 ~ 5	有阻垢、缓蚀双重作用, 对铜有腐蚀性, 热稳定性和抗氧化性良好
	乙二胺四甲叉膦酸盐 (EDTMP)	8	1 ~ 5	
	1-羟基乙川 1, 1'-膦酸盐 (HEDP)	8	1 ~ 5	
聚羧酸	聚丙烯酸 聚甲基丙烯酸 聚马来酸		1 ~ 5	pH = 7 ~ 8.5, 浓度高于 5mg/L 时会形成聚丙烯酸钙的沉淀

4. 腐蚀控制

(1) 影响腐蚀的因素 见表11.8-15。

主要腐蚀因素一览表

表 11.8-15

腐蚀因素	与腐蚀的关系	备注
悬浮物	引起浸蚀和机械磨蚀, 或沉积于金属表面而形成局部腐蚀	
溶解固体	影响水的电导率, 含盐浓度增加时, 水的电导率也增加, 腐蚀加速	
氯离子	破坏金属表面的保护氧化膜而造成腐蚀, 碳钢的腐蚀速度与氯离子浓度的高低成正比	
pH 值	pH < 4.3时, 腐蚀速度加快	pH = 4.3~10时, 一般不影响腐蚀程度
溶解气体	氧: 作为去极剂促进腐蚀; 作为钝化剂时能促使金属表面形成钝化膜而起保护作用 二氧化碳: 溶于水而生成碳酸, 使pH值下降, 在HCO ₃ 分解时, 生成很多小气泡, 造成局部浓差电池 氨: 对铜及以铜为主的合金有腐蚀作用 硫化氢: 加速酸腐蚀, 促进电偶化蚀	pH = 6~7时, 溶解氧无助于钝化膜的形成; 腐蚀速度随氧的浓度增加而加速
温度	水温升高时, 水的粘滞性降低, 氧的扩散速度加快, 腐蚀将加剧	金属部件内部温度差异, 也会导致腐蚀性
流速	流速增大时, 氧的扩散速度增高, 腐蚀也随之加快 流速增大时, 对金属表面的冲刷磨蚀也增大	对有缓蚀剂的系统, 适当加大流速, 一般不会出现腐蚀问题
微生物	污泥覆盖的金属表面, 会形成贫氧区, 从而形成氧浓差电池, 产生局部腐蚀, 微生物的繁殖会造成特殊的腐蚀环境	

(2) 阻垢缓蚀剂 常用阻垢缓蚀剂见表11.8-16。

阻垢缓蚀剂的选择, 一般可根据雷那稳定指数由图11.8-58选定。

常用阻垢缓蚀剂一览表

表 11.8-16

系列	种类	特性	pH值范围	温度范围	投加浓度 (mg/L)	备注
1	2	3	4	5	6	7
聚磷酸盐	六偏磷酸钠 三聚磷酸钠	有阻垢、缓蚀双重作用 有明显的表面活性 易与钙生成络合物 是阴极缓蚀剂, 在金属阴极表面以电沉积生成耐久的保护膜	< 7.5	< 50℃	用于阻垢为 1~5 用于缓蚀为 20~25	易于水解成正磷酸盐, 作缓蚀剂使用要控制钙离子浓度 > 50mg/L, 是微生物营养源
膦酸盐	氨基三甲叉膦酸盐 (ATMP) 乙二胺四甲叉膦酸盐 (EDTMP) 1-羟基乙川-1,1,1-三膦酸盐 (HEDP)	有缓蚀、阻垢的双重作用 有良好的表面活性、化学稳定性和耐高温性 不易水解和降解 有溶限效应和协同效应, 用药量小 作为缓蚀是阴极性缓蚀剂, 作为阻垢是和许多金属离子形成络合物 无毒	7.0~8.5	50℃	用于阻垢为 1~5 用于缓蚀为 20~50	与聚磷同时使用有增效作用 由于使用中pH值偏高, 水结垢倾向增加, 要注意阻垢、分散剂的配合 铜制换热器要注意加强缓蚀措施

续表

系列	种类	特性	pH值范围	温度范围	投加浓度 (mg/L)	备注
1	2	3	4	5	6	7
聚羧酸类 聚合物	聚丙烯酸 聚甲基丙烯酸 聚马来酸 (PMA)	系金属离子优异的整合剂; 对碳酸钙有分散作用, 耐温度性能好, 无毒	7.0~8.5	45~50℃	1~3	要控制一定的分子量范围, 聚丙烯酸以1000左右为好 PMA与锌盐复合使用阻垢性能好, 且沉积物是软垢
铬酸盐	铬酸钾 铬酸钠 重铬酸钾 重铬酸钠	阳极型钝化膜型缓蚀剂, 形成 γ - Fe_2O_3 膜而减少了腐蚀电流 成膜牢固迅速, 缓蚀效率高 对不同水质适应性强 不会引起细菌繁殖	7.5~9.5		200~250	有毒性 与聚磷酸盐、锌盐复合使用可大大减少剂量
钼酸盐	钼酸钠 杂聚钼酸盐	低毒, 毒性比铬酸盐约低1000倍 不会引起微生物滋生	8~8.5	温度80℃仍有90%缓蚀率	复合使用量 100	与有机酸盐复合可减少剂量, $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} < 400$ mg/L
锌盐	硫酸锌 氯化锌	阴极缓蚀剂 成膜快	不大于8		2~4	对水生物有毒性, pH>8有沉淀, 复合使用有明显增效作用
硅酸盐	硅酸钠	阳极缓蚀作用 成膜慢 无毒	6.5~7.5		开始用较高浓度, 正常维持30~40 (以 SiO_2 计)	当镁硬度>250mg/L时一般不用硅酸盐 要求一定高的 SiO_2 浓度, 但要小于175mg/L 与氯化锌配合效果好 控制严格, 否则生成硅垢很难处理, 宜复合使用
亚硝酸盐	亚硝酸钠 亚硝酸铵	是有效的金属钝化剂, 在金属表面形成氧化膜, 铁表面上形成 γ - Fe_2O_3 氧化膜	3.9~10		300~500	在敞开式循环冷却水系统不宜采用, 多用于密闭式系统, 水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 离子过高, 会促进腐蚀 会促使水中硝化细菌繁殖
巯基苯骈噻唑 (MBT)	杂环化合物	与铜离子及铜原子产生化学吸附作用, 螯合作用, 形成保护膜, 是铜及铜合金最有效的缓蚀剂	3~10		1~2	在磷系配方中使用要加锌, 否则会损害聚磷酸盐的缓蚀作用 氧化剂氯和铬酸盐会破坏MBT, 用碱性水溶液投加
苯骈三氮唑 (BZT)	杂环化合物	其负离子和亚铜离子形成极稳定的络合物, 并吸附在金属表面上, 形成稳定而有惰性的保护膜, 耐氧化	5.5~10		1	加氯也会使缓蚀率降低, 不损害聚磷缓蚀作用 价格贵, 货源少

阻垢缓蚀剂的复合配方，见表11.8-17。

缓蚀阻垢剂的复合配方

表 11.8-17

序号	配 方	加药量 (mg/L)	pH 值 控制范围	备 注
1	铬酸盐 + 聚磷酸盐	40~60	7.0~7.5	对不同水质适应性强 缓蚀效果好，对钢铁、铜及其合金、铝都有缓蚀效果 排出水不符合排放要求
2	铬酸盐 + 聚磷酸盐 + 锌	10~15	6.0~7.0	对不同水质适应性强 保护膜形成快，缓蚀效果好 排出水不符合排放要求
3	聚磷酸盐 + 锌		中 性 7.0~7.5	成膜快，且较牢固 一般锌占20%
4	三聚磷酸钠 + EDTMP + 聚丙烯酸钠		7.0~7.5	使用效果稳定，操作方便
5	HEDP + 聚马来酸		不 调 节	缓蚀阻垢效果好，加药量少，成本低药剂稳定，药剂停留时间长，没有因药剂引起的菌藻问题
6	钼酸盐 + 葡萄糖酸盐 + 锌盐 + 聚丙烯酸盐		8.0~8.5	对不同水质适应性强有较好的缓蚀阻垢效果，耐热性好克服了用聚磷酸盐存在而促进菌藻繁殖的缺点 要求 $Cl^- + SO_4^{2-} < 400mg/L$
7	硅酸钠 + 聚丙烯酸钠(30%)		不 调 节	减少对环境污染，价格便宜
8	钼酸盐 + 聚磷酸盐 + 聚丙烯酸盐 + BZT	10~15	不 调 节	对不同水质适应性较强，操作简单，价格便宜

(3) 投药量 循环水中阻垢缓蚀剂的投药量 $G(g/h)$ ：

$$G = (P_3 + P_2)QC \frac{1}{\alpha} \quad (11.8-26)$$

$$P_3 = \frac{P_1 - P_2(N-1)}{N-1} \quad (11.8-27)$$

式中 P_3 ——排污量占循环水量的百分比，%；

P_2 ——风吹损失占循环水量的百分比，%；

Q ——循环水量， m^3/h ；

C ——循环水中阻垢剂的浓度， mg/L (有效成分)；

α ——阻垢剂的纯度；

N ——循环水的浓缩倍数。

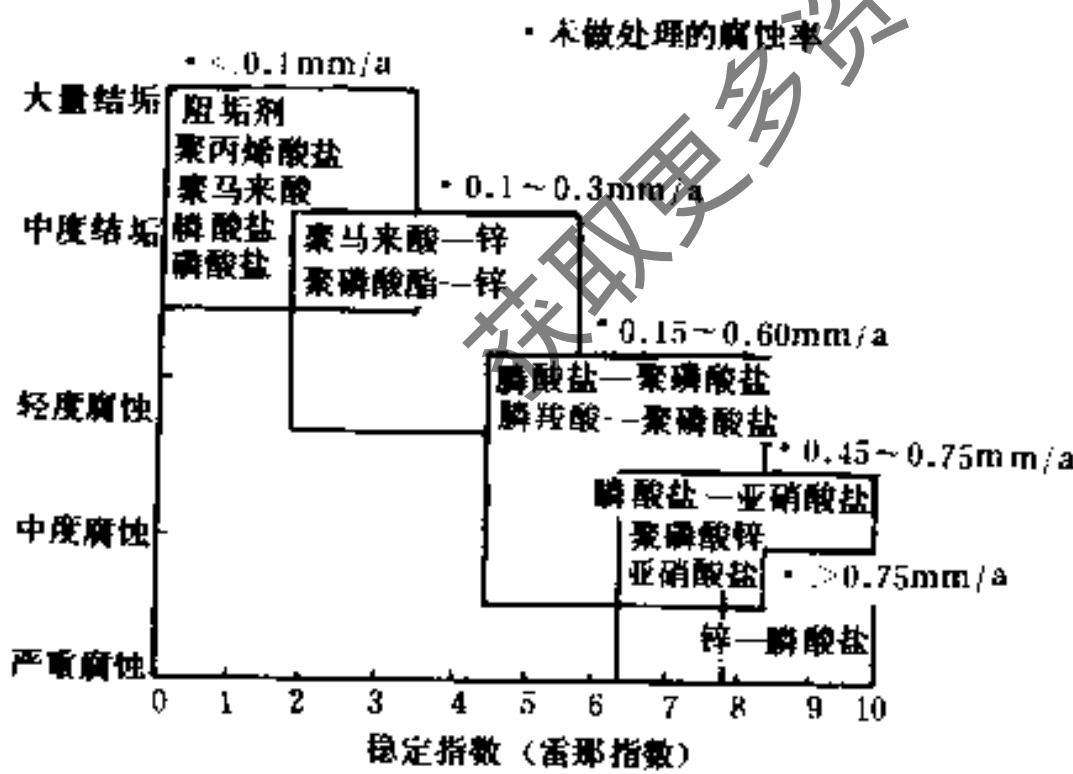


图 11.8-58 稳定指数与阻垢、缓蚀剂的关系

循环水中药剂浓度随着时间的增加将减小，它们的关系为：

$$C_t = C_0 e^{-\frac{(Q_0 + Q_1)(t - t_0)}{V}} \quad (11.8-28)$$

式中 C_0 ——加药完全混合 (t_0) 时循环水中药剂的浓度， mg/L ；

C_t —— t 小时后循环水中药剂的浓度, mg/L;

Q_p ——排污和渗漏损失水量, m^3/h ;

Q_f ——风吹损失水量, m^3/h ;

V ——循环水系统的水容量, m^3 。

注意

阻垢缓蚀剂必须先用水溶解或稀释配成浓度为 1 ~ 5 % 的水溶液, 然后均匀地加入系统内。所以, 水系统管路设计时, 应预留加药口并配置加药装置。

5. 腐蚀鉴定

(1) 试验取样装置 见图11.8-59。

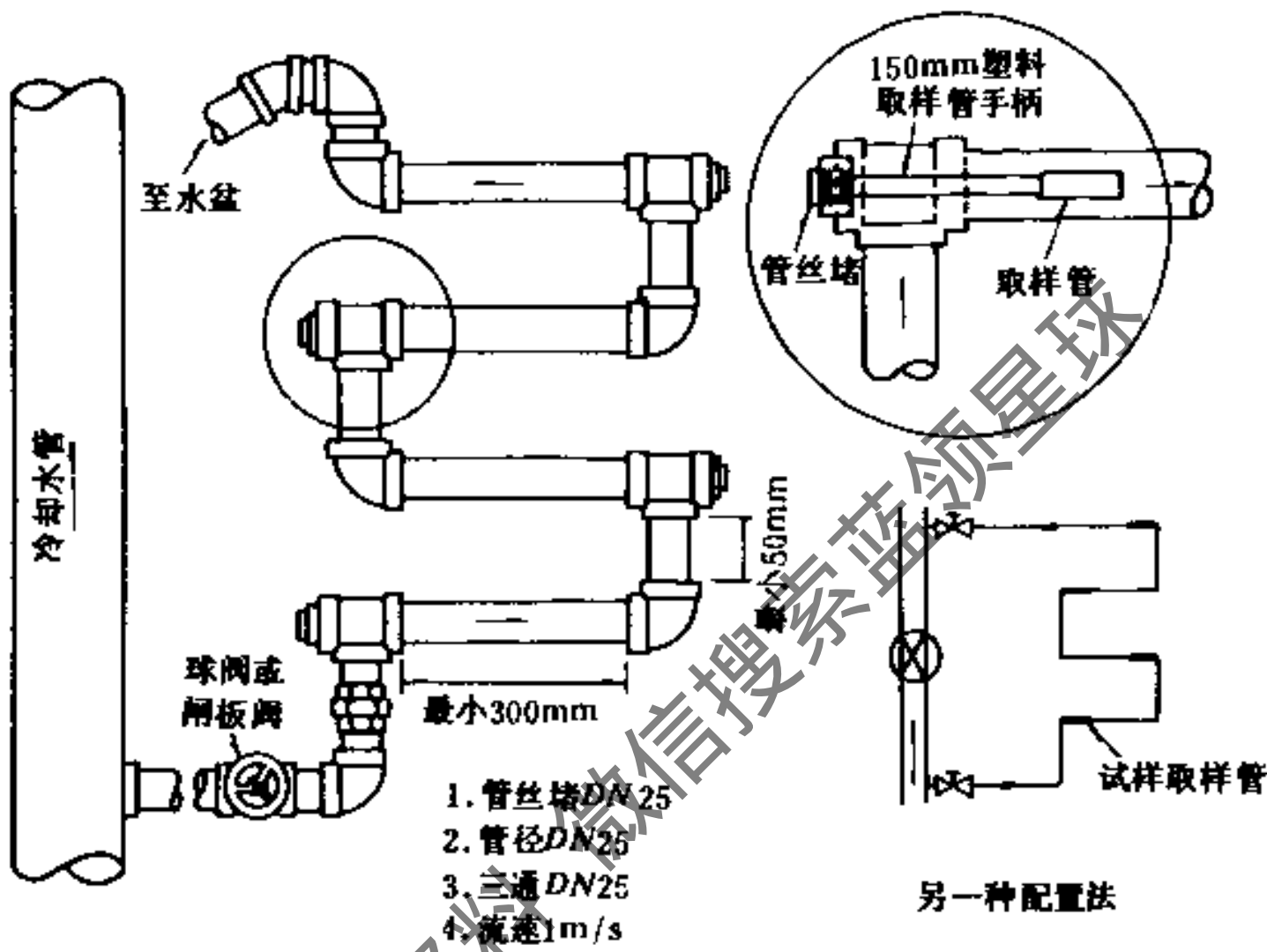


图 11.8-59 腐蚀取样管安装

(2) 腐蚀鉴定 腐蚀控制鉴定值, 详见表11.8-18。

(3) 注意事项

- 试样的材质必须与被鉴定的对象相同。
- 试验周期不应少于30天。
- 取样管壁厚假设为6mm, 若小于此厚度时, 腐蚀率应按比例减少。
 - 对于铜管, 年腐蚀率必须小于0.03mm。
 - 取样管必须与水流保持平行, 该处的水流速度宜保持在1m/s左右。

• 安装前, 取样管应经试验室干燥并精确称重, 然后密封包装。从取样装置上取出后, 也必须经试验室干燥、称重, 再根据其表面积和密度等计算出年腐蚀率。

6. 微生物污染的控制

(1) 常见的细菌、真菌、藻类及其危害

腐蚀鉴定值 表 11.8-18

年腐蚀率 (mm)	腐蚀控制
>0.13	不良
0.05~0.13	良
<0.05	优

注: 表列值系指均匀腐蚀率; 点状腐蚀时, 即使<0.05, 也应认为属于腐蚀控制不良。

见表11.8-19。

(2) 微生物污染控制的主要途径 见表11.8-20。

(3) 常用杀生剂及其特性 见表11.8-21。

常见的细菌、真菌、藻类及其危害

表 11.8-19

分类	类型	生长条件		危害
		温度(°C)	pH值	
细菌	好氧性荚膜细菌	20~40	4~8 (7.4最佳)	形成严重的细菌粘泥
	好氧芽孢细菌	20~40	5~8	产生难以消灭的细菌粘液芽孢
	好氧硫细菌	20~40	0.6~6	氧化硫化物为硫或硫酸
	厌氧硫酸盐还原菌	20~40	4~8	在好氧菌粘泥下生长,引起腐蚀导致硫化氢的形成
	铁细菌	20~40	7.4~9.5	在细菌的外膜沉淀氢氧化铁形成大量的粘泥沉积物
真菌	丝状型	0~38	2~8	木材表面腐烂,产生细菌状粘泥
	酵母型	0~38	2~8	产生细菌状粘泥,使水变色
	担子型	0~38	2~8	木材内部腐烂
藻类	绿藻	30~35	5.5~8.9	附着于壁面或浮在水中
	蓝藻	32~40	6.0~8.9	在壁面形成覆盖物,使水恶臭
	硅藻	18~36	5.5~8.9	形成水花
	裸藻			出现裸藻,说明水中含氮量增加,作指示生物

微生物污染控制的主要途径

表 11.8-20

序号	措施	方法与效果
1	防晒	在开式水池上部加盖,避免阳光照射
2	旁滤	部分水经过旁滤池过滤,除去浊度、藻类
3	前处理	对补给水前处理,除去悬浮物和部分浮游生物及细菌
4	杀生剂	向水中投加杀生剂,杀灭各种微生物

常用杀生剂及其特性

表 11.8-21

类型	名称	特性
氧化型	氯、次氯酸钠、次氯酸钙	pH=6.5~7.0时杀生效果好,能与多种阻垢缓蚀剂配合使用,价廉;水中应保持一定的余氯量(0.5~1.0mg/L),含油量较大时不宜采用
	氯胺	使用浓度一般为半小时加20mg/L;能抑制微生物的后期生长;对皮肤、粘膜的刺激小
非氧化型	季胺盐类	易溶于水,不溶于非极化溶液;毒性低,对粘泥有剥离作用;浓度10~20mg/L时,能达到杀生99%的效果
	氯酚类	对杀灭细菌、真菌、藻类均有效;对粘泥有较好的剥离作用。其衍生物杀生率可达99.9%;对水生动物和哺乳动物有害,易污环境
	二硫甲基甲烷MT	对粘泥有剥离作用,与一般药剂可以共存;在高温和高pH值时不稳定,pH>8时迅速水解;加入非离子表面活性剂,效果更好

续表

类型	名称	特性
非氧化型	大蒜素	一种含硫化合物, 杀生效果好, 浓度300mg/L时杀生效果达99%, 有蒜味污染
	α -甲基基甲酸萘酯	对水的溶解性差, 需配合一定的溶剂和分散剂使用; 杀生有广谱性, 与一般药品可共存; 对哺乳动物与水生动物的毒性很低
	烯醛类	杀生效果好, 在水中能长期稳定存在, 无毒性积累问题

11.9 气流组织

11.9.1 气流组织的基本要求(见表11.9-1)

11.9.2 气流组织的方式及其设计计算方法

1. 气流组织方式(见表11.9-2)

2. 侧送气流组织的设计计算步骤

(1) 工艺性空调——室温允许波动范围 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ 时

气流组织的基本要求

表 11.9-1

空调类型	室内温湿度参数	送风温差 ($^\circ\text{C}$)	每小时换气次数	风速 (m/s)		可能采取的送风方式	备注	
				送风出口	工作区			
舒适性空调	冬季18~22 $^\circ\text{C}$ 夏季24~28 $^\circ\text{C}$ $\varphi = 40\sim 60\%$	送风高度 $h < 5\text{m}$ 时, 不宜大于10; $h > 5\text{m}$ 时, 不宜大于15	不宜小于5次, 高大房间按其冷负荷通过计算确定	与送风方式、送风口类型、安装高度、室内允许风速、噪声标准等因素有关, 详见表11.9-2。消声要求较高时, 采用2~5	冬季不应大于0.2, 夏季不大于0.3	1. 侧面送风 2. 散流器平送 3. 孔板下送 4. 条缝口下送 5. 喷口或旋流风口送风		
工艺性空调	温湿度基数根据工艺需要和卫生条件确定。室温允许波动范围如下: (1) 大于等于 $\pm 1^\circ\text{C}$	6~10	不小于5次 (高大房间除外)		0.2~0.5		1. 侧送宜贴附 2. 散流器平送	
	(2) 小于等于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$	3~6	不小于8次				1. 侧送应贴附 2. 孔板下送不稳定流型	
	(3) 小于等于 $\pm 0.1\sim 0.2^\circ\text{C}$	2~3	不小于12次 (工作时间内不送风的除外)					

气流组织方式

表 11.9-2

送风方式	常见气流组织型式	建议出口风速 (m/s)	工作区气流流型	特点、技术要求及适用范围	备注
侧面送风	1. 单侧上送下回或走廊回风 2. 单侧上送上回 3. 双侧上送下回	2~5 (送风口位置高时取较大值)	回流	1. 温度场、速度场均匀, 混合层高度为0.3~0.5m 2. 贴附侧送风口宜贴顶布置, 宜采用可调双层百叶风口。回风口宜设在送风口同侧 3. 用于一般空调, 室温允许波动范围为±1℃, 和小于等于±0.5℃的工艺空调	可调双层百叶风口, 配对开多叶调节阀
散流器送风	1. 散流器平送, 下部回风 2. 散流器下送, 下部回风 3. 送吸式散流器上送上回	2~5	回流 直流	1. 温度场、速度场均匀, 混合层高度为0.5~1.0m 2. 需设置吊顶或技术夹层。散流器平送时应对称布置, 其轴线与侧墙距离不小于1m 3. 散流器平送用于一般空调, 室温允许波动范围为±1℃和小于或等于±0.5℃工艺空调 4. 散流器下送密集布置用于净化空调	
孔板送风	1. 全面孔板下送, 下部回风 2. 局部孔板下送, 下部回风	2~5	直流或不稳定流 不稳定流	1. 温度场、速度场分布均匀, 混合层高度为0.2~0.3m 2. 需设置吊顶或技术夹层, 静压箱高度不小于0.3m 3. 用于层高较低或净空较小建筑的一般空调, 室温允许波动范围为±1℃或小于等于±0.5℃的工艺空调。当单位面积送风量较大, 工作区内要求风速较小, 或区域温差要求严格时, 采用孔板下送不稳定流型	孔板宜选用镀锌钢板、不锈钢板、铝板和硬质塑料板
喷口送风	上送下回, 送回风口布置在同侧	4~10	回流	1. 送风速度高, 射程长, 工作区新鲜空气、温度场和速度场分布均匀 2. 对于工作区有一定斜度的建筑物, 喷口与水平面保持一个向下倾角β。对于冷射流β=0~12°, 对于热射流β>15° 3. 用于空间较大的公共建筑和室温允许波动范围大于或等于1℃的高大厂房的一般空调	送风口直径宜取0.2~0.8m, 送风温差宜取8~12℃, 对高大公共建筑送风高度一般为6~10m
条缝送风	条缝型风口下送, 下部回风	2~4	回流	1. 送风温差、速度衰减较快, 工作区温度速度分布均匀。混合层高度为0.3~0.5m 2. 用于民用建筑和工业厂房(纺织厂)的一般空调, 在高级公共建筑中还可以与灯具配合布置	
旋流风口送风	上送下回	3~8	回流	1. 送风速度、温差衰减快, 工作区风速、温度分布均匀 2. 可用大风口作大风量送风, 也可用大温差送风, 简化送风系统, 节省投资 3. 可直接向工作区或工作地点送风 4. 用于空间较大的公共建筑和室温允许波动范围大于或等于1℃的高大厂房	

①根据室内显冷负荷和送风温差, 计算房间的总送风量 L_s (m^3/h)和换气次数 n ($1/h$):

$$L_s = \frac{Q_x}{\rho c \Delta t_s} = \frac{Q_x}{1.2 \times 1.01 \times \Delta t_s} \quad (11.9-1)$$

$$n = \frac{L_s}{A \times B \times H} \quad (11.9-2)$$

式中 Q_x ——室内的显冷负荷, kJ/h;
 Δt_s ——送风温差, °C, 按表11.9-1选取;
 A ——沿射流方向的房间长度, m;
 B ——房间宽度, m;
 H ——房间高度, m。

②确定送风口的出口风速 v_s (m/s):

$$v_s \leq 371 \frac{BHk}{L_s} \quad (11.9-3)$$

式中, k 为送风口有效面积系数, 对于国产可调式双层百叶风口, 根据测定可取为0.72。并按表11.9-3最后确定满足风速衰减和防止噪声的送风口的出口风速。

推荐的送风口出口风速(m/s)

表 11.9-3

射流的自由度 \sqrt{F}/d_s	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	20	25	30
最大允许出口风速 $v_s = 0.36 \sqrt{F}/d_s$	1.8	2.16	2.52	2.88	3.24	3.6	3.96	4.32	4.68	5.4	7.2	9.0	10.8
建议的出口风速	2.0				3.5				5.0				

③计算射流自由度 \sqrt{F}/d_s , 并根据 $\frac{\Delta t_x}{\Delta t_s} \sqrt{\frac{F}{d_s}}$ 值, 从图11.9-1所示的非等温受限射流轴心温差衰减曲线, 查得无因次距离 $\frac{ax}{\sqrt{F}}$ 值。

射流自由度的计算式为:

$$\frac{\sqrt{F}}{d_s} = 53.2 \sqrt{\frac{BHv_s k}{L_s}} \quad (11.9-4)$$

或者按下列拟合公式计算无因次距离 $\frac{ax}{\sqrt{F}}$:

$$\frac{ax}{\sqrt{F}} = 0.5433 e^{-0.4545 \frac{\Delta t_x}{\Delta t_s} \frac{\sqrt{F}}{d_s}} \quad (11.9-5)$$

式中 F ——每个风口所负担的房间横断面积, m^2 ;

d_s ——圆形送风口的直径, 或矩形送风口的等面积当量直径, m;

x ——贴附射流的射程, m, 取 $x = A - 0.5$;

a ——送风口的紊流系数;

Δt_x ——射流进入工作区时, 室温与轴心温度之差。计算时, 可采用室温允许波动范围值。

④确定送风口的个数 N

$$N = \frac{BH}{\left(\frac{ax}{\sqrt{F}}\right)^2} \quad (11.9-6)$$

⑤计算送风口面积 f_s (m^2), 确定送风口长和宽尺寸, 或等面积当量直径, 选取风口型号。

$$f_s = \frac{L_s}{3600v_s N k} \quad (11.9-7)$$

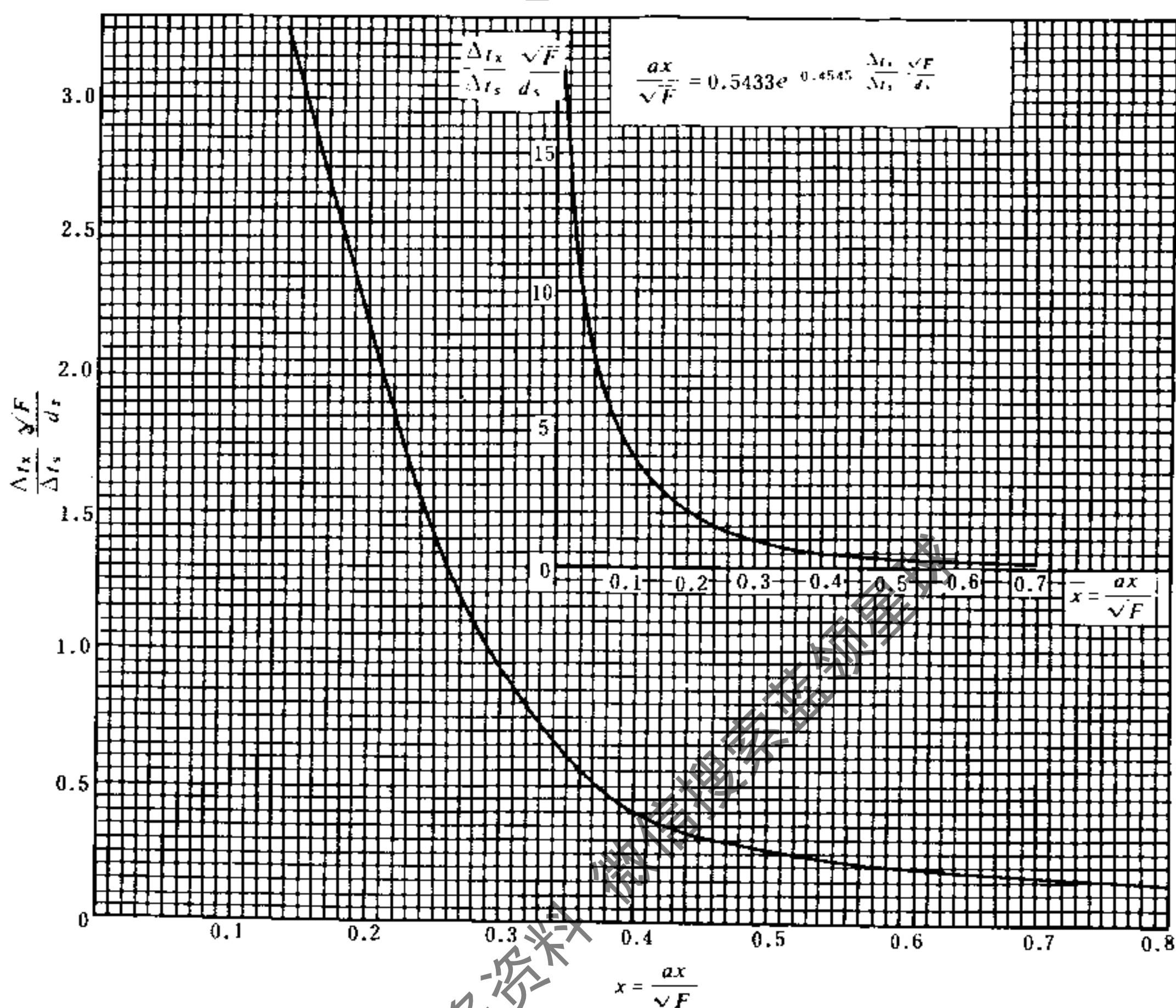


图 11.9-1 非等温受限射流轴心温差衰减曲线

$$d_s = 1.128 \sqrt{f_s} \quad (11.9-8)$$

⑥ 校核射流的贴附长度，该值与阿基米德准数 Ar 有关。 Ar 的计算式如下：

$$Ar = \frac{g \Delta t_s d_s}{v_s^2 (t_n + 273)} \quad (11.9-9)$$

式中 t_n ——室内空气温度， $^{\circ}C$ ；

g ——重力加速度，取为 $9.81m/s^2$ 。

根据 Ar 值，由图 11.9-2 所示的射流相对射程 x/d_s 与阿基米德准数 Ar 的关系曲线，求得相对射程，或者按下列拟合公式计算：

$$\frac{x}{d_s} = 53.291 e^{-85.53 Ar} \quad (11.9-10)$$

根据相对射程值，可求得贴附长度 x 。若 $x > (A - 0.5)$ ，即认为符合要求。

⑦ 校核房间的高度 $H(m)$ ：

$$H = h + S + 0.07x + 0.3 \quad (11.9-11)$$

式中 h ——工作区（空调区）高度，一般为 $2m$ ；

S ——风口底边至顶棚的距离, m;

0.3——安全系数。

若房间高度不能满足要求时, 应适当调整风口布置和高度, 重新计算。

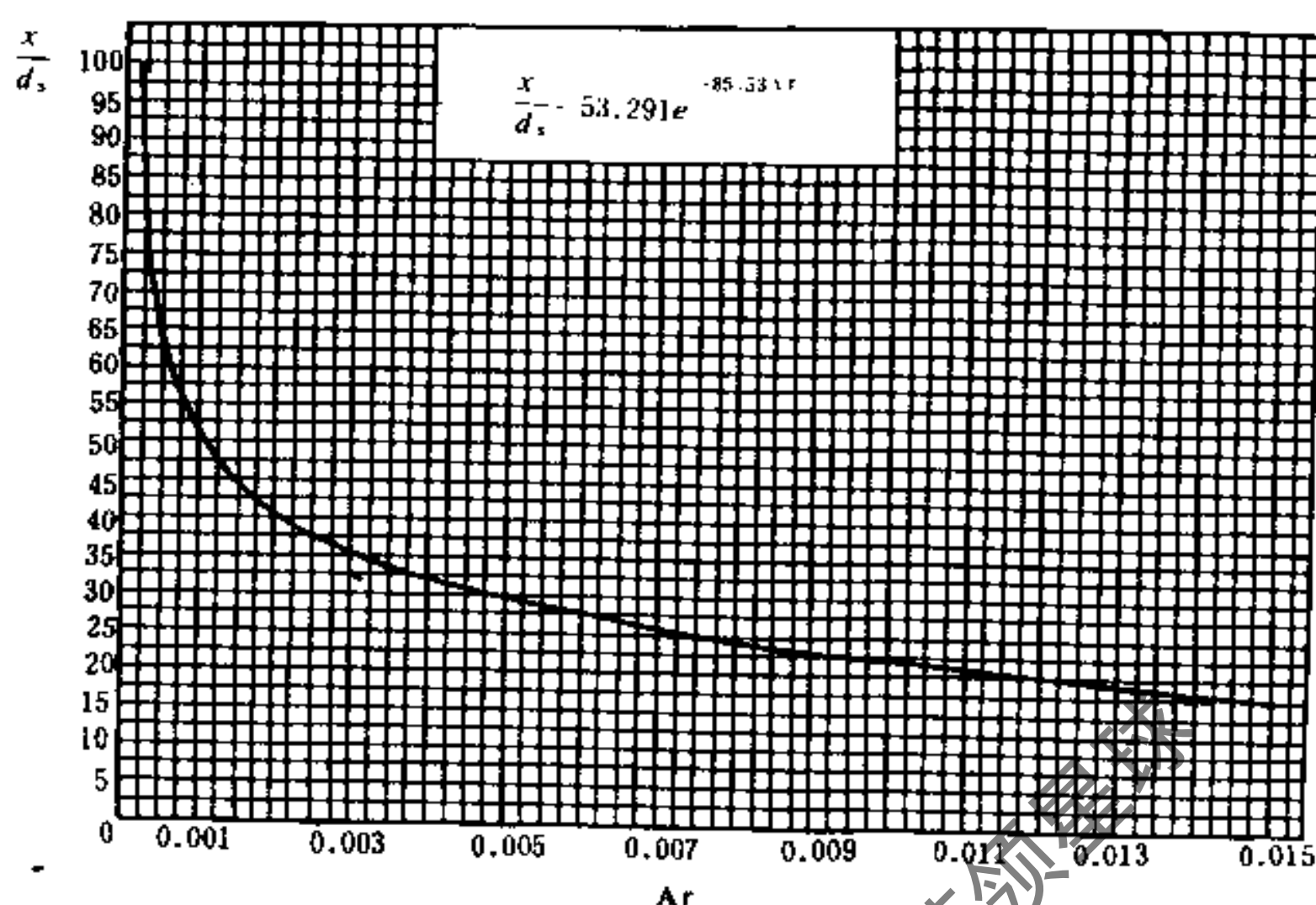


图 11.9-2 相对射程 x/d_s 与阿基米德准数 Ar 的关系

(2) 工艺性空调——室温允许波动范围 $\geq \pm 1^\circ\text{C}$ 时

①按公式 (11.9-1) 和 (11.9-2), 确定房间的总送风量和换气次数。

②根据要求的室温允许波动范围 Δt_x 与选取的送风温差 Δt_s 之比值, 查图 11.9-3 求得相对射程 x/d_s , 或者按下列拟合公式计算:

$$\frac{x}{d_s} = 47.77 e^{-6.2797 \frac{\Delta t_x}{\Delta t_s}} \quad (11.9-12)$$

例如, $\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 6^\circ\text{C}$, 从该图查得 $x/d_s = 17$; $\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 8^\circ\text{C}$, 则 $x/d_s = 23.5$ 。

③按表 11.9-2 选取送风口速度, 计算风口直径 d_s 和风口断面积 f_s , 选取风口型号和尺寸, 进而求得每个送风口的送风量 l_s ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{个}$)。

$$d_s = \frac{x}{(x/d_s)} \quad (11.9-13)$$

$$f_s = \frac{\pi}{4} d_s^2 = 0.785 d_s^2 \quad (11.9-14)$$

$$l_s = 3600 k f_s v_s \quad (11.9-15)$$

④计算送风口的个数 N

$$N = \frac{L_s}{l_s} \quad (11.9-16)$$

取整数后, 再重新计算送风口的速度。

⑤按式 (11.9-9) 计算 Ar 数, 查图 11.9-2 或按公式 (11.9-10) 求得相对射程 x/d_s , 校核射流的贴附长度, 看是否满足要求。不然, 调整风口个数, 重新计算直到符合要求为止。

(3) 工艺性空调侧送气流组织计算表

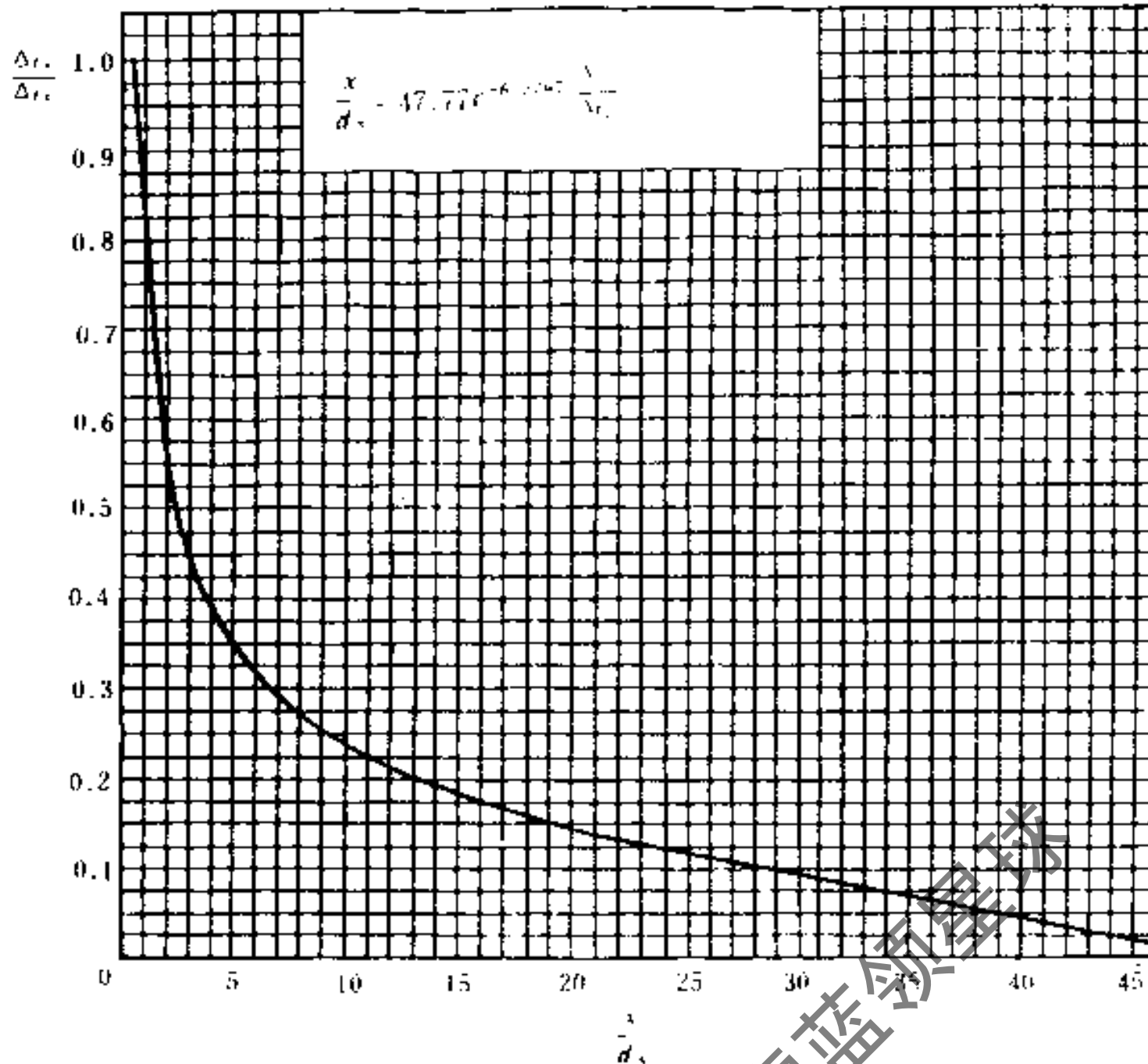


图 11.9-3 非等温受限射流轴心温差衰减曲线

表11.9-4是以室温 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的恒温室为对象,针对工程上常见的房间建筑尺寸来编制的。送风温差 $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$, 换气次数均大于8次/时,选用国产可调式双层百叶风口(配对开式多叶阀),其有效面积系数为0.72,风口的紊流系数 a 暂取为0.14。若采用其它紊流系数时,由表11.9-4查得的送风口个数,应按下式换算 $N' = N \frac{(0.14)^2}{a^2}$ 。风口沿房间宽度方向布置。

表11.9-5是以室温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 的恒温室为对象,针对工程上常见的房间建筑尺寸来编制的。送风温差 $\Delta t_s = 6^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, 换气次数均大于5次/时,风口沿房间长度方向布置。其它的与表11.9-4相同。对于室温为 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 等恒温房间也可参照采用。因为室温基数的变化,只影响Ar数和射流的贴附长度,其误差可忽略不计。

侧送气流组织计算表

表 11.9-4(A)

$t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$, 房间换气次数大于8次/h, 选用国产可调式双层百叶风口, 有效面积系数 $k = 0.72$

风量 $L_s (\text{m}^3/\text{h})$	空调房间 $A \times B \times H = 3.6 \times 3.3 \times 3.2$					备注
	风口数目 N	选用风口尺寸	风口面积 $F (\text{m}^2)$	送风速度 $v_s (\text{m/s})$	贴附长度 $x (\text{m})$	
300~350	3	160×120	0.0192	2.0~2.34	4.79~5.54	
400~450	4	160×120	0.0192	2.0~2.26	4.79~5.38	
500	4	200×120	0.024	2.0	5.01	
550	5	160×120	0.0192	2.21	5.27	
600~650	5	200×120	0.024	1.93~2.09	4.75~5.25	
700	6	200×120	0.024	1.88	4.57	
750	7	200×120	0.024	1.72	4.00	

侧送气流组织计算表

表 11.9 4(B)

$t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$, 房间换气次数大于 8 次/h 选用国产可调式双层百叶风口, 有效面积系数 $k = 0.72$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	空调房间 $A \times B \times H = 6.0 \times 3.6 \times 3.2$					备注
	风口数目 N	选用风口尺寸	风口面积 $F(\text{m}^2)$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x(\text{m})$	
550~600	2	160×160	0.0256	4.14~4.52	8.28~8.48	
650~700	2	250×120	0.03	4.18~4.50	8.87~9.07	
750~800	2	200×200	0.04	3.61~3.86	9.39~9.68	
850~900	2	250×160	0.05	3.28~3.47	9.61~9.96	
950	2	320×160	0.0512	3.58	10.22	
1000~1050	3	200×200	0.04	3.22~3.38	8.80~9.06	
1100~1150	3	250×160	0.0512	2.76~2.89	8.43~8.78	
1200	3	250×250	0.0625	2.47	7.75	
1250~1300	3	320×200	0.064	2.51~2.61	7.96~8.36	
1350	3	320×200	0.064	2.71	8.73	

侧送气流组织计算表

表 11.9-4(C)

$t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$, 房间换气次数大于 8 次/h 选用国产可调式双层百叶风口, 有效面积系数 $k = 0.72$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	空调房间 $A \times B \times H = 6.0 \times 3.9 \times 3.2$					备注
	风口数目 N	选用风口尺寸	风口面积 $F(\text{m}^2)$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x(\text{m})$	
600	2	160×160	0.0256	4.52	8.48	
650~700	2	250×120	0.03	4.18~4.50	8.87~9.07	
750~800	2	200×160	0.032	4.52~4.82	9.34~9.50	
850	2	200×200	0.04	4.09	9.92	
900~950	3	250×160	0.04	3.62~3.82	8.62~8.82	
1000~1050	3	200×200	0.04	3.22~3.38	8.79~9.06	
1100~1150	3	250×160	0.04	3.54~3.70	9.29~9.49	
1200	3	250×200	0.05	3.09	9.20	
1250	3	250×250	0.0625	2.57	8.16	
1300~1350	4	320×160	0.0512	2.45~2.54	7.40~7.73	
1400	4	320×160	0.0512	2.64	8.04	
1450	4	250×250	0.0625	2.24	6.71	
1500	4	320×200	0.064	2.26	6.84	

侧送气流组织计算表

表 11.9-4(D)

 $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$, 房间换气次数大于 8 次/时选用国产可调式双层百叶风口, 有效面积系数 $k = 0.72$

风量 $L_s (\text{m}^3/\text{h})$	空调房间 $A \times B \times H = 6.0 \times 4.2 \times 3.2$					备注
	风口数目 N	选用风口尺寸	风口面积 $F (\text{m}^2)$	送风速度 $v_s (\text{m/s})$	贴附长度 $x (\text{m})$	
650	2	160×160	0.0256	4.90	8.64	
700~750	2	250×120	0.03	4.50~4.82	9.07~9.23	
800	2	200×160	0.032	4.82	9.50	
850~950	3	200×160	0.032	3.42~3.82	8.40~8.82	
1000~1100	3	200×200	0.04	3.22~3.54	8.80~9.29	
		250×160				
1150~1200	3	200×200	0.04	3.70~3.86	9.49~9.68	
		250×160				
1250~1300	4	250×200	0.05	2.41~2.51	7.22~7.57	
1350~1400	4	320×160	0.0512	2.54~2.64	7.73~8.04	
1450	4	250×250	0.0625	2.24	6.71	
1500~1550	4	320×200	0.064	2.26~2.34	6.84~7.19	
1600~1650	4	320×200	0.064	2.41~2.49	7.53~7.85	

侧送气流组织计算表

表 11.9-4(E)

 $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$, 房间换气次数大于 8 次/h选用国产可调式双层百叶风口, 有效面积系数 $k = 0.72$

风量 $L_s (\text{m}^3/\text{h})$	空调房间 $A \times B \times H = 7.2 \times 6.0 \times 3.2$					备注
	风口数目 N	选用风口尺寸	风口面积 $F (\text{m}^2)$	送风速度 $v_s (\text{m/s})$	贴附长度 $x (\text{m})$	
1050~1150	2	250×200	0.05	4.05~4.44	10.79~11.19	
1200~1250	2	320×200	0.064	3.62~3.77	11.13~11.41	
1300~1350	3	250×200	0.05	3.34~3.47	9.73~9.96	
1400~1500	3	320×160	0.0512	3.52~3.77	10.12~10.52	
1550~1600	3	320×160	0.0512	3.89~4.02	10.69~10.85	
1650~1750	3	250×250	0.0625	3.40~3.60	10.58~11.00	
1800	4	250×250	0.0625	2.78	8.91	
1850~1900	4	320×200	0.064	2.79~2.89	8.99~9.24	
1950~2000	4	320×200	0.064	2.94~3.01	9.48~9.70	
2050~2150	4	320×250	0.08	2.47~2.59	8.04~8.62	
		400×200				
2200~2300	4	320×250	0.08	2.65~2.77	8.88~9.39	
		400×200				
2350~2400	4	400×250	0.10	2.27~2.31	7.03~7.32	
		500×200				
2450~2500	4	400×250	0.10	2.36~2.41	7.62~7.90	
		500×200				
2550~2600	4	320×320	0.1024	2.40~2.45	7.85~8.13	
2650~2700	4	320×320	0.1024	2.50~2.54	8.39~8.65	

侧送气流组织计算表

表 11.9-4(F)

$t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$, 房间换气次数大于 8 次/时

选用国产可调式双层百叶风口, 有效面积系数 $k = 0.72$

风量 $L_s (\text{m}^3/\text{h})$	空调房间 $A \times B \times H = 7.8 \times 6.0 \times 3.2$					备注
	风口数目 N	选用风口尺寸	风口面积 $F (\text{m}^2)$	送风速度 $v_s (\text{m/s})$	贴附长度 $x (\text{m})$	
1200~1350	2	320×200	0.064	3.62~4.07	11.13~11.88	
1400~1450	2	320×250 400×200	0.08	3.38~3.50	11.39~11.70	
1500~1600	2	320×250 400×200	0.08	3.62~3.86	11.99~12.51	
1650~1750	2	400×250 500×200	0.10	3.18~3.38	11.48~12.14	
1800~1850	3	400×250 500×200	0.10	2.31~2.38	7.32~7.71	
1900~2000	3	320×320	0.1024	2.39~2.51	7.76~8.48	
2050~2150	3	320×320	0.1024	2.57~2.70	8.82~9.47	
2200~2250	3	320×320	0.1024	2.76~2.83	9.77~10.07	
2300~2400	3	500×250	0.125	2.37~2.47	7.66~8.33	
2450~2550	3	500×250	0.125	2.52~2.62	8.65~9.27	
2600~2700	3	400×320	0.128	2.61~2.71	9.22~9.80	
2750~2850	3	400×320	0.128	2.76~2.86	10.08~10.63	
2900~3000	3	630×250	0.1575	2.37~2.45	7.60~8.20	

侧送气流组织计算表

表 11.9-5(A)

空调房间尺寸 $A \times B \times H$: 3.3×5.4×3.3, 6.6×5.4×3.3, 9.9×5.4×3.3, 13.2×5.4×3.3,

16.5×5.4×3.3, $t_n = 20 \pm 1^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 6^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, 送风口沿长度布置, 射程

$x = 4.9\text{m}$, 选用风口尺寸 320×200, 风口面积 0.064m^2 , $k = 0.72$

风量 $L_s (\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s (\text{m/s})$	贴附长度 $x' (\text{m})$	风量 $L_s (\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s (\text{m/s})$	贴附长度 $x' (\text{m})$
800~900	2	2.41~2.71	6.54~7.81	4400~4500	11	2.41~2.47	6.54~6.79
950~1000	2	2.86~3.01	8.36~8.87	4550~4650	11	2.49~2.55	6.91~7.15
1050~1150	3	2.11~2.31	5.05~6.07	4700~4750	11	2.58~2.60	7.26~7.38
1200~1300	3	2.41~2.61	6.54~7.41	4800~4900	12	2.41~2.46	6.54~6.77
1350~1450	3	2.71~2.91	7.81~8.54	4950~5050	12	2.49~2.54	6.88~7.10
1500~1600	4	2.26~2.41	5.83~6.54	5100~5150	12	2.56~2.59	7.21~7.31
1650~1750	4	2.49~2.64	6.88~7.52	5200~5300	13	2.41~2.46	6.54~6.75
1800~1850	4	2.71~2.79	7.81~8.09	5350~5450	13	2.48~2.53	6.86~7.06
1900~2000	5	2.29~2.41	5.97~6.54	5500~5550	13	2.55~2.57	7.16~7.25
2050~2150	5	2.47~2.59	6.82~7.33	5600~5700	14	2.41~2.45	6.54~6.74
2200~2250	5	2.65~2.71	7.58~7.81	5750~5850	14	2.48~2.52	6.83~7.02
2300~2400	6	2.31~2.41	6.07~6.54	5900~6000	14	2.54~2.58	7.11~7.30
2450~2550	6	2.46~2.56	6.77~7.21	6050~6150	15	2.43~2.47	6.64~6.82
2600~2650	6	2.61~2.66	7.41~7.62	6200~6300	15	2.49~2.53	6.90~7.08
2700~2800	7	2.33~2.41	6.14~6.54	6350~6400	15	2.55~2.57	7.16~7.25
2850~2950	7	2.45~2.54	6.74~7.11	6450~6550	16	2.43~2.47	6.63~6.80
3000~3100	7	2.58~2.67	7.30~7.64	6600~6700	16	2.49~2.52	6.88~7.05
3150~3250	8	2.37~2.45	6.37~6.71	6750~6800	16	2.54~2.56	7.13~7.21
3300~3400	8	2.49~2.56	6.88~7.21	6850~6950	17	2.43~2.46	6.62~6.78
3450~3500	8	2.60~2.64	7.36~7.52	7000~7100	17	2.48~2.52	6.86~7.02
3550~3650	9	2.38~2.44	6.39~6.70	7150~7250	17	2.54~2.57	7.09~7.24
3700~3800	9	2.48~2.55	6.84~7.13	7300~7400	18	2.44~2.48	6.70~6.84
3850~3900	9	2.58~2.61	7.28~7.41	7450~7550	18	2.49~2.53	6.92~7.06
3950~4050	10	2.38~2.44	6.40~6.68	7600~7650	18	2.55~2.56	7.13~7.21
4100~4200	10	2.47~2.53	6.82~7.08	7700~7750	19	2.44~2.46	6.69~6.76
4250~4350	10	2.56~2.62	7.21~7.45				

侧送气流组织计算表

表 11.9-5(B)

空调房间尺寸 $A \times B \times H$: 3.3×6.0×3.3, 6.6×6.0×3.3, 9.9×6.0×3.3, 13.2×6.0×3.3, 16.5×6.0×3.3

6.0×6.0×3.3, 12×6.0×3.3, 18×6.0×3.3, 24×6.0×3.3, 30×6.0×3.3

 $t_n=20 \pm 1^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s=6^\circ\text{C}$, $\Delta t_x=1^\circ\text{C}$, 送风口沿长度布置, 射程 $x=5.5\text{m}$ 选用风口尺寸320×250或400×200, 风口面积 0.08m^2 , $k=0.72$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$	风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$
800~900	1	3.86~4.34	11.77~12.71	5900~5950	11	2.59~2.61	7.49~7.60
950~1050	2	2.29~2.53	5.98~7.23	6000~6100	12	2.41~2.45	6.62~6.83
1100~1200	2	2.65~2.89	7.80~8.83	6150~6250	12	2.47~2.51	6.93~7.13
1250~1350	2	3.01~3.26	9.30~10.14	6300~6450	12	2.53~2.59	7.23~7.52
1400~1500	3	2.25~2.41	5.76~6.62	6500~6600	13	2.41~2.45	6.62~6.81
1550~1650	3	2.49~2.65	7.03~7.80	6650~6750	13	2.47~2.50	6.91~7.09
1700~1800	3	2.73~2.89	8.16~8.83	6800~6950	13	2.52~2.58	7.18~7.45
1850~1950	4	2.23~2.35	5.65~6.31	7000~7100	14	2.41~2.45	6.62~6.80
2000~2100	4	2.41~2.53	6.62~7.23	7150~7250	14	2.46~2.50	6.89~7.06
2150~2300	4	2.59~2.77	7.52~8.34	7300~7400	14	2.51~2.55	7.15~7.31
2350~2450	5	2.27~2.36	5.85~6.37	7450~7500	14	2.57~2.58	7.40~7.48
2500~2600	5	2.41~2.51	6.62~7.11	7550~7650	15	2.43~2.46	6.71~6.87
2650~2750	5	2.56~2.65	7.35~7.80	7700~7800	15	2.48~2.51	6.95~7.11
2800~2850	5	2.70~2.75	8.02~8.23	7850~8000	15	2.52~2.57	7.19~7.42
2900~3000	6	2.33~2.41	6.19~6.62	8050~8150	16	2.43~2.46	6.70~6.85
3050~3150	6	2.45~2.53	6.83~7.23	8200~8300	16	2.47~2.50	6.93~7.08
3200~3350	6	2.57~2.69	7.42~7.98	8350~8450	16	2.52~2.55	7.16~7.30
3400~3500	7	2.34~2.41	6.26~6.62	8500~8550	16	2.56~2.58	7.38~7.45
3550~3650	7	2.45~2.51	6.80~7.15	8600~8700	17	2.44~2.47	6.77~6.91
3700~3850	7	2.55~2.65	7.31~7.80	8750~8850	17	2.48~2.51	6.98~7.13
3900~4000	8	2.35~2.41	6.31~6.62	8900~9050	17	2.52~2.57	7.20~7.40
4050~4150	8	2.44~2.50	6.78~7.08	9100~9200	18	2.44~2.46	6.76~6.90
4200~4300	8	2.53~2.59	7.23~7.52	9250~9350	18	2.48~2.51	6.96~7.10
4350~4400	8	2.62~2.65	7.66~7.80	9400~9550	18	2.52~2.56	7.16~7.36
4450~4550	9	2.38~2.44	6.48~6.76	9600~9700	19	2.44~2.46	6.75~6.88
4600~4700	9	2.46~2.52	6.90~7.16	9750~9850	19	2.47~2.50	6.95~7.07
4750~4900	9	2.55~2.63	7.29~7.68	9900~10000	19	2.51~2.54	7.14~7.26
4950~5050	10	2.39~2.44	6.50~6.75	10050~10100	19	2.55~2.56	7.32~7.38
5100~5200	10	2.46~2.51	6.87~7.11	10150~10250	20	2.45~2.47	6.81~6.93
5250~5400	10	2.53~2.60	7.23~7.58	10300~10400	20	2.48~2.51	6.99~7.11
5450~5550	11	2.39~2.43	6.51~6.74	10450~10600	20	2.52~2.56	7.17~7.35
5600~5700	11	2.46~2.50	6.85~7.07	10650~10750	21	2.45~2.47	6.80~6.92
5750~5850	11	2.52~2.56	7.18~7.39				

侧送气流组织计算表

表 11.9-5(C)

空调房间尺寸: $A \times B \times H$: 3.3×6.6×3.3, 6.6×6.6×3.3, 9.9×6.6×3.3, 13.2×6.6×3.3, 16.5×6.6×3.3 $t_n=20 \pm 1^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s=6^\circ\text{C}$, $\Delta t_x=1^\circ\text{C}$, 送风口沿长度布置, 射程 $x=6.1\text{m}$ 选用风口尺寸400×250或500×200, 风口面积 0.10m^2 , $k=0.72$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$	风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$
1000~1100	1	3.86~4.24	12.59~13.53	3650~3750	6	2.34~2.41	6.24~6.62
1150~1200	1	4.44~4.63	13.93~14.28	3800~3900	6	2.44~2.51	6.81~7.17
1250~1350	2	2.41~2.60	6.62~7.70	3950~4050	6	2.54~2.60	7.35~7.70
1400~1500	2	2.70~2.89	8.20~9.14	4100~4200	6	2.64~2.70	7.87~8.20
1550~1650	2	2.99~3.18	9.58~10.38	4250~4350	7	2.34~2.40	6.22~6.54
1700~1800	2	3.28~3.47	10.75~11.44	4400~4500	7	2.43~2.48	6.70~7.02
1850~1950	3	2.38~2.51	6.44~7.17	4550~4650	7	2.51~2.56	7.17~7.48
2000~2100	3	2.57~2.70	7.53~8.20	4700~4850	7	2.59~2.67	7.63~8.06
2150~2250	3	2.76~2.89	8.53~9.14	4900~5000	8	2.36~2.41	6.34~6.62
2300~2400	3	2.96~3.09	9.44~9.99	5050~5150	8	2.44~2.48	6.76~7.04
2450~2550	4	2.36~2.46	6.34~6.90	5200~5300	8	2.51~2.56	7.17~7.44
2600~2700	4	2.51~2.60	7.17~7.70	5350~5500	8	2.58~2.65	7.57~7.95
2750~2850	4	2.65~2.75	7.95~8.45	5550~5650	9	2.38~2.42	6.44~6.69
2900~3000	4	2.80~2.89	8.68~9.14	5700~5800	9	2.44~2.49	6.81~7.05
3050~3150	5	2.35~2.43	6.29~6.74	5850~5950	9	2.51~2.55	7.17~7.41
3200~3300	5	2.47~2.55	6.96~7.39	6000~6150	9	2.57~2.64	7.53~7.87
3350~3450	5	2.58~2.66	7.60~8.00	6200~6300	10	2.39~2.43	6.51~6.74
3500~3600	5	2.70~2.78	8.20~8.59	6350~6450	10	2.45~2.49	6.85~7.06

续表

风量 $L_s(m^3/h)$	风口个数 N	送风速度 $v_s(m/s)$	贴附长度 $x'(m)$	风量 $L_s(m^3/h)$	风口个数 N	送风速度 $v_s(m/s)$	贴附长度 $x'(m)$
6500~6600	10	2.51~2.55	7.17~7.39	8100~8200	13	2.40~2.43	6.58~6.75
6650~6800	10	2.57~2.62	7.49~7.80	8250~8350	13	2.45~2.48	6.84~7.00
6850~6950	11	2.40~2.44	6.57~6.78	8400~8500	13	2.49~2.52	7.09~7.26
7000~7100	11	2.46~2.49	6.88~7.07	8550~8700	13	2.54~2.58	7.34~7.58
7150~7250	11	2.51~2.54	7.17~7.37	8750~8850	14	2.41~2.44	6.62~6.78
7300~7450	11	2.56~2.61	7.46~7.75	8900~9000	14	2.45~2.48	6.86~7.02
7500~7600	12	2.41~2.44	6.62~6.81	9050~9150	14	2.49~2.52	7.10~7.25
7650~7750	12	2.46~2.49	6.90~7.08	9200~9350	14	2.54~2.58	7.33~7.55
7800~7900	12	2.51~2.54	7.17~7.35	9400~9500	15	2.42~2.44	6.66~6.81
7950~8050	12	2.56~2.59	7.44~7.61	9550~9600	15	2.46~2.47	6.88~6.96

侧送气流组织计算表

表 11.9 5(D)

空调房间尺寸 $A \times B \times H$: 6.0×6.9×3.3, 12×6.9×3.3, 18×6.9×3.3, 24×6.9×3.3, 30×6.9×3.3 $t_n = 20 \pm 1^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 6^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, 送风口沿长度布置, 射程 $x = 6.4\text{m}$ 选用风口尺寸 400×250 或 500×200, 风口面积 0.1m^2 , $k = 0.72$

风量 $L_s(m^3/h)$	风口个数 N	送风速度 $v_s(m/s)$	贴附长度 $x'(m)$	风量 $L_s(m^3/h)$	风口个数 N	送风速度 $v_s(m/s)$	贴附长度 $x'(m)$
1300~1400	2	2.51~2.70	7.17~8.20	6250~6350	10	2.41~2.45	6.62~6.85
1450~1550	2	2.80~2.99	8.68~9.58	6400~6500	10	2.47~2.51	6.96~7.17
1600~1700	2	3.09~3.28	9.99~10.75	6550~6650	10	2.53~2.57	7.28~7.49
1750~1800	2	3.38~3.47	11.10~11.44	6700~6800	10	2.58~2.62	7.60~7.80
1850~1950	3	2.38~2.51	6.44~7.17	6850~6950	11	2.40~2.44	6.57~6.78
2000~2100	3	2.57~2.70	7.53~8.20	7000~7100	11	2.46~2.49	6.88~7.07
2150~2250	3	2.76~2.89	8.53~9.14	7150~7250	11	2.51~2.54	7.17~7.37
2300~2450	3	2.96~3.15	9.44~10.25	7300~7450	11	2.56~2.61	7.46~7.75
2500~2600	4	2.41~2.51	6.62~7.17	7500~7600	12	2.41~2.44	6.62~6.81
2650~2750	4	2.56~2.65	7.41~7.95	7650~7750	12	2.46~2.49	6.90~7.08
2800~2900	4	2.70~2.80	8.20~8.68	7800~7900	12	2.51~2.54	7.17~7.35
2950~3050	4	2.85~2.94	8.92~9.36	7950~8050	12	2.56~2.59	7.44~7.61
3100~3200	5	2.30~2.47	6.51~6.96	8100~8200	13	2.40~2.43	6.58~6.75
3250~3350	5	2.51~2.58	7.17~7.60	8250~8350	13	2.45~2.48	6.84~7.00
3400~3500	5	2.62~2.70	7.80~8.20	8400~8500	13	2.49~2.52	7.09~7.26
3550~3700	5	2.74~2.85	8.40~8.96	8550~8700	13	2.54~2.58	7.34~7.58
3750~3850	6	2.41~2.48	6.62~6.99	8750~8850	14	2.41~2.44	6.62~6.78
3900~4000	6	2.51~2.57	7.17~7.53	8900~9000	14	2.45~2.48	6.86~7.02
4050~4150	6	2.60~2.67	7.70~8.04	9050~9150	14	2.49~2.52	7.10~7.25
4200~4300	6	2.70~2.76	8.20~8.53	9200~9350	14	2.54~2.58	7.33~7.55
4350~4450	7	2.40~2.45	6.54~6.86	9400~9500	15	2.42~2.44	6.66~6.81
4500~4600	7	2.48~2.54	7.02~7.33	9550~9650	15	2.46~2.48	6.88~7.03
4650~4750	7	2.56~2.62	7.48~7.77	9700~9800	15	2.49~2.52	7.10~7.24
4800~4950	7	2.65~2.73	7.92~8.34	9850~10000	15	2.53~2.57	7.32~7.53
5000~5100	8	2.41~2.46	6.62~6.90	10050~10150	16	2.42~2.45	6.69~6.83
5150~5250	8	2.48~2.53	7.04~7.31	10200~10300	16	2.46~2.48	6.90~7.04
5300~5400	8	2.56~2.60	7.44~7.70	10350~10450	16	2.50~2.52	7.11~7.24
5450~5550	8	2.63~2.68	7.83~8.08	10500~10650	16	2.53~2.57	7.31~7.50
5600~5700	9	2.40~2.44	6.56~6.81	10700~10800	17	2.43~2.45	6.72~6.85
5750~5850	9	2.46~2.51	6.93~7.17	10850~10950	17	2.46~2.49	6.92~7.05
5900~6000	9	2.53~2.57	7.29~7.53	11000~11100	17	2.50~2.52	7.11~7.24
6050~6200	9	2.59~2.66	7.64~7.98	11150~11250	17	2.53~2.55	7.30~7.42

侧送气流组织计算表

表 11.9-5(E)

空调房间尺寸 $A \times B \times H$: $3.6 \times 7.2 \times 4.2, 7.2 \times 7.2 \times 4.2, 10.8 \times 7.2 \times 4.2, 14.4 \times 7.2 \times 4.2, 18 \times 7.2 \times 4.2$

$t_n = 20 \pm 1^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 6^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, 送风口沿长度布置, 射程 $x = 6.7\text{m}$,

选用风口尺寸 500×250 , 风口面积 0.125m^2

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$	风量 $L_s(\text{m}^3/\text{s})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$
1200~1300	1	3.70~4.01	12.90~13.89	6200~6350	7	2.73~2.80	8.50~8.87
1350~1450	1	4.17~4.48	14.32~15.09	6400~6500	8	2.47~2.51	6.91~7.15
1500~1550	1	4.63~4.78	15.44~15.75	6550~6650	8	2.53~2.57	7.27~7.50
1600~1700	2	2.47~2.62	6.91~7.85	6700~6800	8	2.58~2.62	7.62~7.85
1750~1850	2	2.70~2.85	8.31~9.17	6850~6950	8	2.64~2.68	7.97~8.19
1900~2000	2	2.93~3.09	9.58~10.35	7000~7150	8	2.70~2.76	8.31~8.64
2050~2150	2	3.16~3.32	10.72~11.41	7200~7300	9	2.47~2.50	6.91~7.12
2200~2350	2	3.40~3.63	11.73~12.62	7350~7450	9	2.52~2.55	7.23~7.44
2400~2500	3	2.47~2.58	6.91~7.54	7500~7600	9	2.57~2.61	7.54~7.75
2550~2650	3	2.62~2.73	7.85~8.45	7650~7750	9	2.62~2.66	7.85~8.06
2700~2800	3	2.78~2.88	8.74~9.31	7800~7950	9	2.67~2.73	8.16~8.45
2850~2950	3	2.93~3.03	9.58~10.10	8000~8100	10	2.47~2.50	6.91~7.10
3000~3150	3	3.09~3.24	10.35~11.07	8150~8250	10	2.52~2.55	7.20~7.39
3200~3300	4	2.47~2.55	6.91~7.39	8300~8400	10	2.56~2.59	7.48~7.67
3350~3450	4	2.58~2.66	7.62~8.08	8450~8550	10	2.61~2.64	7.76~7.94
3500~3600	4	2.70~2.78	8.31~8.74	8600~8750	10	2.65~2.70	8.04~8.31
3650~3750	4	2.82~2.89	8.96~9.38	8800~8900	11	2.47~2.50	6.91~7.08
3800~3950	4	2.93~3.05	9.58~10.16	8950~9050	11	2.51~2.54	7.17~7.34
4000~4100	5	2.47~2.53	6.91~7.29	9100~9200	11	2.55~2.58	7.43~7.60
4150~4250	5	2.56~2.62	7.48~7.85	9250~9350	11	2.60~2.62	7.68~7.85
4300~4400	5	2.65~2.72	8.04~8.39	9400~9550	11	2.63~2.68	7.94~8.18
4450~4550	5	2.75~2.81	8.57~8.92	9600~9700	12	2.47~2.49	6.91~7.07
4600~4750	5	2.84~2.93	9.09~9.58	9750~9850	12	2.51~2.53	7.15~7.31
4800~4900	6	2.47~2.52	6.91~7.23	9900~10000	12	2.55~2.57	7.39~7.54
4950~5050	6	2.55~2.60	7.39~7.70	10050~10150	12	2.58~2.61	7.62~7.78
5100~5200	6	2.62~2.67	7.85~8.16	10200~10250	12	2.62~2.64	7.85~7.93
5250~5350	6	2.70~2.75	8.31~8.60	10300~10400	13	2.45~2.47	6.76~6.91
5400~5550	6	2.78~2.85	8.74~9.17	10450~10550	13	2.48~2.50	6.98~7.13
5600~5700	7	2.47~2.51	6.91~7.18	10600~10700	13	2.52~2.54	7.20~7.35
5750~5850	7	2.54~2.58	7.32~7.59	10750~10850	13	2.55~2.58	7.42~7.57
5900~6000	7	2.60~2.65	7.72~7.98	10900~11050	13	2.59~2.62	7.64~7.85
6050~6150	7	2.67~2.71	8.11~8.37	11100~11150	14	2.45~2.46	6.77~6.84

侧送气流组织计算表

表 11.9-5(F)

空调房间尺寸 $A \times B \times H$: $6.0 \times 7.5 \times 3.3, 12 \times 7.5 \times 3.3, 18 \times 7.5 \times 3.3, 24 \times 7.5 \times 3.3, 30 \times 7.5 \times 3.3$

$6.0 \times 7.5 \times 3.6, 12 \times 7.5 \times 3.6, 18 \times 7.5 \times 3.6, 24 \times 7.5 \times 3.6, 30 \times 7.5 \times 3.6$ $t_n = 20 \pm 1^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 6^\circ\text{C}$,

$\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, 送风口沿长度布置, 射程 $x = 7.0\text{m}$, 选用风口尺寸 400×320 , 风口面积 0.128m^2

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$	风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	风口个数 N	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	贴附长度 $x'(\text{m})$
2000~2100	2	3.01~3.16	10.03~10.76	3450~3550	4	2.60~2.67	7.71~8.16
2150~2250	2	3.24~3.39	11.11~11.77	3600~3700	4	2.71~2.79	8.38~8.81
2300~2450	2	3.47~3.69	12.08~12.93	3750~3850	4	2.83~2.90	9.02~9.44
2500~2600	3	2.51~2.61	7.16~7.78	3900~4000	4	2.94~3.01	9.64~10.03
2650~2750	3	2.66~2.76	8.09~8.67	4050~4100	4	3.05~3.09	10.22~10.40
2800~2900	3	2.81~2.91	8.95~9.50	4150~4250	5	2.50~2.56	7.10~7.48
2950~3050	3	2.96~3.06	9.77~10.28	4300~4400	5	2.59~2.65	7.66~8.03
3100~3250	3	3.11~3.27	10.52~11.22	4450~4550	5	2.68~2.74	8.21~8.56
3300~3400	4	2.49~2.56	7.00~7.48	4600~4700	5	2.78~2.83	8.73~9.07

续表

风量 L_s (m^3/h)	风口个数 N	送风速度 v_s (m/s)	贴附长度 x' (m)	风量 L_s (m^3/h)	风口个数 N	送风速度 v_s (m/s)	贴附长度 x' (m)
4750~4850	5	2.86~2.92	9.23~9.56	8450~8550	10	2.55~2.58	7.38~7.57
4900~4950	5	2.95~2.98	9.71~9.87	8600~8700	10	2.59~2.62	7.66~7.85
5000~5100	6	2.51~2.56	7.16~7.48	8750~8850	10	2.64~2.67	7.94~8.12
5150~5250	6	2.59~2.64	7.63~7.94	8900~9000	10	2.68~2.71	8.21~8.38
5300~5400	6	2.66~2.71	8.09~8.38	9050~9100	10	2.73~2.74	8.47~8.56
5450~5550	6	2.74~2.79	8.53~8.81	9150~9250	11	2.51~2.53	7.14~7.31
5600~5750	6	2.81~2.89	8.95~9.37	9300~9400	11	2.55~2.58	7.39~7.56
5800~5900	7	2.50~2.54	7.07~7.34	9450~9550	11	2.59~2.62	7.65~7.81
5950~6050	7	2.56~2.61	7.48~7.74	9600~9700	11	2.63~2.66	7.89~8.06
6100~6200	7	2.63~2.67	7.87~8.13	9750~9850	11	2.67~2.70	8.14~8.30
6250~6350	7	2.69~2.73	8.26~8.51	9900~9950	11	2.71~2.72	8.38~8.46
6400~6500	7	2.76~2.80	8.63~8.87	10000~10100	12	2.51~2.54	7.16~7.32
6550~6600	7	2.82~2.84	8.99~9.11	10150~10250	12	2.55~2.57	7.40~7.55
6650~6750	8	2.51~2.54	7.13~7.36	10300~10400	12	2.59~2.61	7.63~7.78
6800~6900	8	2.56~2.60	7.48~7.71	10450~10550	12	2.62~2.65	7.86~8.01
6950~7050	8	2.62~2.66	7.82~8.05	10600~10750	12	2.66~2.70	8.09~8.31
7100~7200	8	2.67~2.71	8.16~8.38	10800~10900	13	2.50~2.53	7.12~7.26
7250~7350	8	2.73~2.77	8.49~8.71	10950~11050	13	2.54~2.56	7.33~7.48
7400~7450	8	2.79~2.81	8.81~8.92	11100~11200	13	2.57~2.60	7.55~7.69
7500~7600	9	2.51~2.55	7.16~7.37	11250~11350	13	2.61~2.63	7.76~7.90
7650~7750	9	2.56~2.60	7.48~7.68	11400~11500	13	2.64~2.67	7.97~8.11
7800~7900	9	2.61~2.65	7.78~7.99	11550~11600	13	2.68~2.69	8.18~8.25
7950~8050	9	2.66~2.70	8.09~8.28	11650~11750	14	2.51~2.53	7.14~7.28
8100~8250	9	2.71~2.76	8.38~8.67	11800~11950	14	2.54~2.57	7.34~7.54
8300~8400	10	2.50~2.53	7.10~7.29				

侧送气流组织计算表

表 11.9-5(G)

空调房间尺寸 $A \times B \times H$: $6.0 \times 9.0 \times 4.2$, $12 \times 9.0 \times 4.2$, $18 \times 9.0 \times 4.2$, $24 \times 9.0 \times 4.2$, $30 \times 9.0 \times 4.2$ $t_a = 20 \pm 1^\circ\text{C}$, 送风温差 $\Delta t_s = 6^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 1^\circ\text{C}$, 送风口沿长度布置, 射程 $x = 8.5\text{m}$ 选用风口尺寸 500×400 , 风口面积 0.20m^2

风量 L_s (m^3/h)	风口个数 N	送风速度 v_s (m/s)	贴附长度 x' (m)	风量 L_s (m^3/h)	风口个数 N	送风速度 v_s (m/s)	贴附长度 x' (m)
2500~2650	1	4.82~5.11	18.52~19.30	5200~5300	3	3.34~3.41	12.38~12.75
2700~2850	1	5.20~5.49	19.53~20.18	5350~5450	3	3.44~3.50	12.92~13.27
2900~3000	2	2.80~2.89	8.88~9.55	5500~5600	3	3.54~3.60	13.44~13.78
3050~3150	2	2.94~3.04	9.87~10.51	5650~5700	3	3.63~3.67	13.94~14.10
3200~3300	2	3.09~3.18	10.82~11.43	5750~5850	4	2.77~2.82	8.70~9.05
3350~3450	2	3.23~3.32	11.72~12.29	5900~6000	4	2.85~2.89	9.21~9.55
3500~3600	2	3.38~3.47	12.57~13.10	6050~6150	4	2.92~2.97	9.71~10.04
3650~3750	2	3.52~3.62	13.36~13.86	6200~6300	4	2.99~3.03	10.20~10.51
3800~3900	2	3.67~3.76	14.10~14.57	6350~6450	4	3.06~3.11	10.67~10.98
3950~4050	2	3.81~3.91	14.80~15.23	6500~6600	4	3.13~3.18	11.13~11.43
4100~4250	2	3.95~4.10	15.45~16.05	6650~6750	4	3.21~3.26	11.57~11.86
4300~4400	3	2.76~2.83	8.65~9.10	6800~6900	4	3.28~3.33	12.00~12.29
4450~4550	3	2.86~2.93	9.33~9.77	6950~7100	4	3.35~3.42	12.43~12.84
4600~4700	3	2.96~3.02	9.98~10.41	7150~7250	5	2.75~2.80	8.61~8.88
4750~4850	3	3.05~3.12	10.62~11.03	7300~7400	5	2.82~2.85	9.01~9.28
4900~5000	3	3.15~3.22	11.23~11.62	7450~7550	5	2.87~2.91	9.41~9.68
5050~5150	3	3.25~3.31	11.82~12.20	7600~7700	5	2.93~2.97	9.81~10.07

续表

风量 L_s (m ³ /h)	风口个数 N	送风速度 v_s (m/s)	贴附长度 x' (m)	风量 L_s (m ³ /h)	风口个数 N	送风速度 v_s (m/s)	贴附长度 x' (m)
7750~7850	5	2.99~3.03	10.20~10.45	10150~10250	7	2.79~2.82	8.88~9.07
7900~8000	5	3.05~3.09	10.57~10.82	10300~10400	7	2.84~2.87	9.17~9.36
8050~8150	5	3.11~3.14	10.95~11.19	10450~10550	7	2.88~2.91	9.45~9.64
8200~8300	5	3.16~3.20	11.31~11.54	10600~10700	7	2.92~2.95	9.73~9.92
8350~8500	5	3.22~3.28	11.66~12.00	10750~10850	7	2.96~2.99	10.01~10.20
8550~8650	6	2.75~2.78	8.54~8.74	10900~11000	7	3.00~3.03	10.29~10.47
8700~8800	6	2.80~2.83	8.88~9.10	11050~11150	7	3.05~3.07	10.56~10.73
8850~8950	6	2.85~2.88	9.21~9.44	11200~11350	7	3.08~3.13	10.82~11.08
9000~9100	6	2.89~2.93	9.55~9.77	11400~11500	8	2.75~2.77	8.54~8.71
9150~9250	6	2.94~2.97	9.87~10.09	11550~11650	8	2.79~2.81	8.79~8.96
9300~9400	6	2.99~3.02	10.20~10.41	11700~11800	8	2.82~2.85	9.05~9.21
9450~9550	6	3.04~3.07	10.51~10.72	11850~11950	8	2.86~2.88	9.30~9.46
9600~9700	6	3.09~3.12	10.82~11.03	12000~12100	8	2.89~2.92	9.55~9.71
9750~9850	6	3.13~3.17	11.13~11.33	12150~12250	8	2.93~2.95	9.79~9.95
9900~9950	6	3.18~3.20	11.43~11.53	12300~12450	8	2.97~3.00	10.04~10.28
10000~10100	7	2.76~2.78	8.59~8.78				

(3) 舒适性空调侧送气流组织

①按公式(11.9-1)计算房间的总送风量。

②根据总送风量和房间的建筑尺寸,确定百叶风口的型号、个数,并进行布置。送风口最好贴顶布置,以获得贴附气流。送冷风时,可采取水平送出;送热风时,可调节风口外层叶片的角度,向下送出。

③按下式计算射流到达工作区时的最大速度 v_x (m/s),校核其是否满足要求。

$$v_x = \frac{m v_s K_B K_c \sqrt{F_s}}{x} \quad (11.9-17)$$

式中 F_s ——送风口的计算面积, m²;

m ——送风口的速度衰减系数,对于百叶风口可取为4.5;

K_B ——射流股数修正系数,取1~3;

K_c ——受限系数,取决于相对射程 \bar{X} ,一般为0.1~1.0。

贴附射流的总长度可近似按下式计算:

$$x = A + (H - h) \quad (11.9-18, a)$$

或者,按下式求得准确的结果:

$$x = x_1 + (H - h) \quad (11.9-18, b)$$

式中 x_1 ——贴附射流从出口到脱离顶棚的距离, m。并按下式计算:

$$x_1 = 0.62 \sqrt{\frac{m^2 F_s}{n A r_0}} \quad (11.9-19)$$

n ——送风口的温度衰减系数,对百叶风口取为3.2;

$A r_0$ ——射流出口处的阿基米德数,即

$$A r_0 = 11.1 \frac{\Delta t_s \sqrt{F_s}}{v_s^2 (t_n + 273)}$$

在非等温射流中,由于重力和惯性力的比值在各个断面上都是变化的,因此相对于射

程 x 处的阿基米得数为:

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_0 \left(\frac{x}{1.13 \sqrt{F_s}} \right)^2 \quad (11.9-20)$$

当 $Ar_x \leq 0.1$ 时, 可认为该射流不受重力的干扰作用。

3. 孔板送风设计计算步骤

(1) 确定孔板送风的型式 全面孔板还是局部孔板。若是后者, 还需确定它在顶棚的位置, 并与局部热源的分布相适应。

(2) 确定孔板送风出口风速 v_s , 按表 11.9-2 选取, 也可按下式进行估算:

$$v_s = \frac{1500\nu}{d_s} \quad (11.9-21)$$

式中 d_s ——孔口直径 (一般取 4 ~ 10mm), m;

ν ——空气的运动粘度, m^2/s 。

(3) 根据房间的显冷负荷和选取的送风温差, 按公式 (11.9.1) 计算送风量 L_s 。

(4) 根据送风速度 v_s 和送风量 L_s , 计算孔口总面积 f_k 及净孔面积比 K :

$$f_k = \frac{L_s}{3600 v_s a} \quad (11.9-22)$$

$$K = \frac{f_k}{f} \quad (11.9-23)$$

式中 a ——孔口流量系数, $a = 0.71 \sim 0.82$, 取 0.78;

f ——孔板面积, m^2 。

对于全面孔板, f 为顶棚面积扣除布管照明灯具占用部分, 而对局部孔板则为开孔的孔板总面积。

(5) 确定孔口中心距 l (m) 和孔口数目 n :

$$l = a_s \sqrt{\frac{0.785}{K}} = 0.886 \frac{d_s}{\sqrt{K}} \quad (11.9-24)$$

对于边长为 $a \times b$ 的孔板, 其孔口总数为

$$n = n_a \times n_b = \frac{a}{l} \times \frac{b}{l} \quad (11.9-25)$$

式中 n_a, n_b ——分别表示孔板长度、宽度方向的孔口数。

(6) 校核工作区的最大风速, 并使其小于或等于工作区允许风速。孔板送风气流中心最大风速可按下式计算:

$$\frac{v_x}{v_s} = \frac{\sqrt{aK}}{\frac{v_p}{v_s} \left(1 + \sqrt{\pi} \operatorname{tg} \theta \frac{x}{\sqrt{f}} \right)} \quad (11.9-26)$$

式中 v_x ——距孔板为 x 处气流中心的最大速度, m/s ;

v_p ——距孔板为 x 处气流的平均速度, m/s ;

θ ——孔板送风气流的扩散角, 一般 θ 为 $10 \sim 13^\circ$ 。

对于全面孔板, 由于气流受壁面限制, $\theta = 0$, $\operatorname{tg} \theta = 0$, $v_p/v_s \approx 1$, 故上式可简化为:

$$v_x = v_s \sqrt{aK} \quad (11.9-27)$$

对于局部孔板, 为简化计算, 可近似地按图11.9-4所示的实验曲线确定。

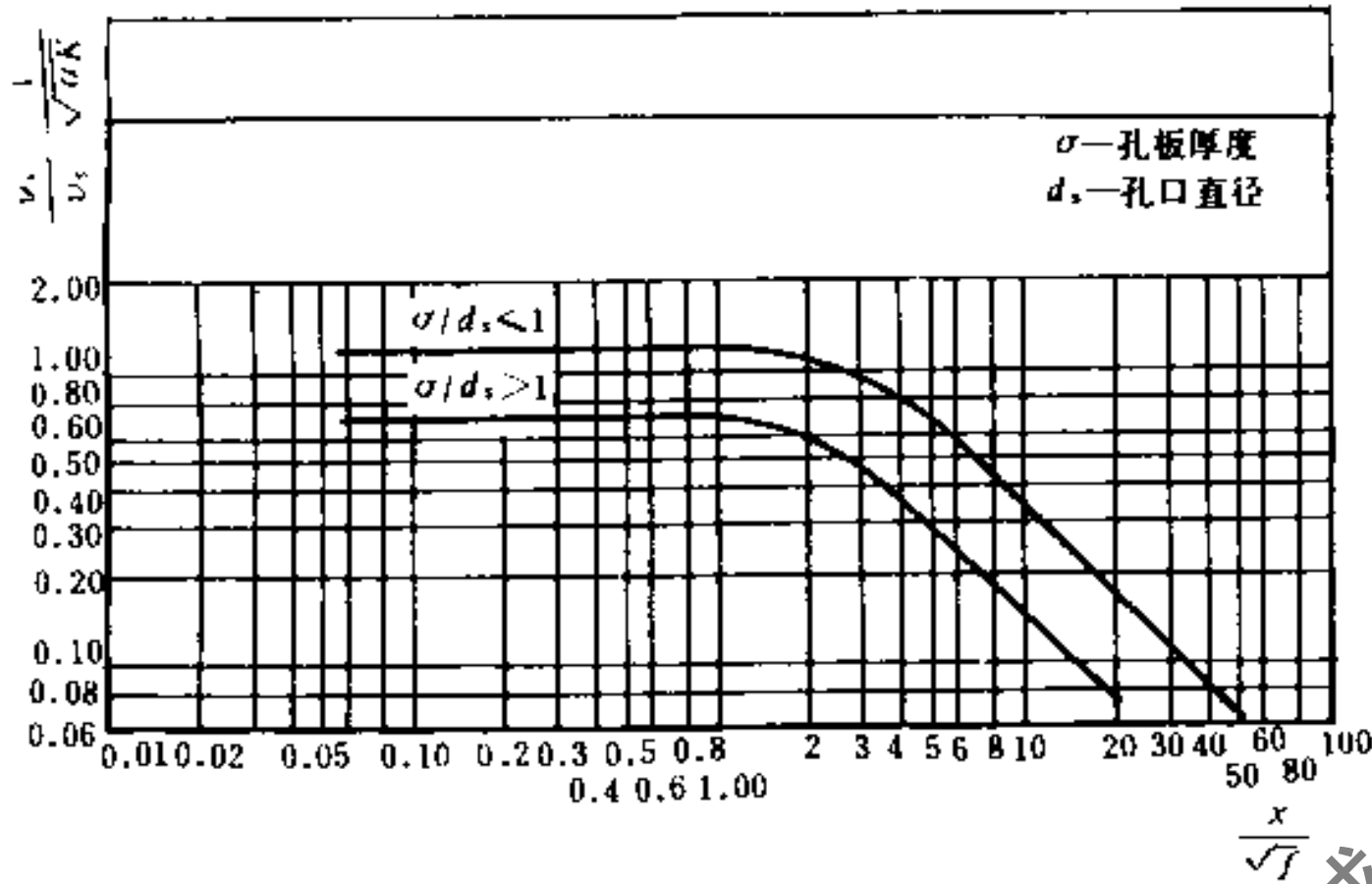


图 11.9-4 $\frac{dx}{ds} \frac{1}{aK}$ 与 $\frac{x}{s}$ 关系曲线

(7) 校核工作区最大轴心温差 Δt_x , 并使该值小于或等于室温允许波动范围:

$$\Delta t_x = \frac{dx}{ds} \Delta t_s \quad (11.9-28)$$

(8) 稳压层高度 h_w

空调房间单位面积送风量 L_d ($m^3/m^2 \cdot h$)

$$L_d = \frac{L_s}{F} \quad (11.9-29)$$

稳压层净高 h

$$h = \frac{0.0011S L_d}{dx} \quad (11.9-30)$$

若稳压层内有与气流流向垂直的梁, 此稳压层高度应为:

$$h_w = h + b \quad (11.9-31)$$

式中 F ——空调房间面积, m^2 ;

S ——稳压层内有孔板部分的气流最大流程, m ;

b ——梁的高度, m 。

稳压层净高不应小于 $0.2m$ 。

表11.9-6为全面孔板送风计算表, 它是以室温 $20 \pm 0.5^\circ C$ 的恒温室为对象, 针对工程上常见的建筑尺寸编制的。在确定顶棚上孔口总数时, 已经扣除10%的顶棚面积供布置照明灯具用。孔口直径采用 $6mm$ 和 $8mm$ 两种。对其它的非恒温工程或一般工程, 也可参照使用。

4. 散流器送风设计计算^①

① 本手册引用P.J.杰克曼提出的设计计算方法, 详见P.J.Jackman: HVRA Laboratory Report No.81, Air movement in rooms with ceiling-mounted diffusers, supplement A, Design procedure for circular diffusers, 1973。

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(A)

空调房间 $A \times B \times H = 3.6 \times 3.3 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $\alpha = 0.78$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	孔口中心距 $l(\text{m})$	孔板上孔口总数 $n(\text{个})$	工作区 最大风速 $v_x(\text{m/s})$	工作区最大 轴心温差 $\Delta t_x(^\circ\text{C})$	稳压层净高 $h(\text{m})$	备注
$d_s = 6 \text{ mm}$							
300~350	3.40~3.26	0.11~0.10	868~1054	0.15~0.156	0.22~0.238	0.029~0.036	
400~450	3.73~3.33	0.10~0.09	1054~1330	0.19~0.18	0.255~0.27	0.036~0.045	
500~550	3.70~3.22	0.09~0.08	1330~1677	0.211~0.193	0.285~0.299	0.045~0.057	
600~650	3.52~3.31	0.08~0.075	1677~1932	0.219~0.215	0.312~0.325	0.057~0.066	
700~750	3.12~3.34	0.07	2205	0.21~0.233	0.337~0.349	0.075	
$d_s = 8 \text{ mm}$							
300~350	3.14~3.10	0.14~0.13	528~624	0.139~0.148	0.221~0.238	0.032~0.038	
400~450	3.04~2.87	0.12~0.11	728~868	0.155	0.255~0.27	0.044~0.052	
500~550	2.62~2.89	0.10	1054	0.149~0.172	0.285~0.299	0.063~0.064	
600~650	3.15~3.03	0.10~0.095	1054~1188	0.196~0.197	0.31~0.324	0.064~0.072	
700~750	2.91~3.12	0.09	1330	0.196~0.217	0.337~0.349	0.08	

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(B)

空调房间 $A \times B \times H = 6 \times 3.6 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $d_s = 6 \text{ mm}$, $\alpha = 0.78$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	孔口中心距 $l(\text{m})$	孔板上孔口总数 $n(\text{个})$	工作区 最大风速 $v_x(\text{m/s})$	工作区最大 轴心温差 $\Delta t_x(^\circ\text{C})$	稳压层净高 $h(\text{m})$	备注
550~600	2.79~3.04	0.10	1938	0.124~0.141	0.22~0.23	0.06	
650~700	2.96~3.19	0.095	2160	0.143~0.159	0.24~0.25	0.067	
750~800	3.08~3.28	0.09	2394	0.159~0.176	0.26~0.267	0.074	
850~900	3.12~2.90	0.085~0.08	2680~3053	0.171~0.164	0.276~0.284	0.083~0.095	
950~1000	3.06~3.22	0.08	3053	0.178~0.192	0.291~0.299	0.095	
1050~1100	2.95~3.09	0.075	3496	0.18~0.194	0.306~0.313	0.109	
1150~1200	3.23~2.97	0.075~0.07	3496~3969	0.207~0.195	0.32~0.327	0.109~0.123	
1250~1300	3.10~3.22	0.07	3969	0.207~0.219	0.334~0.34	0.123	
1350	3.34	0.07	3969	0.232	0.347	0.123	

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(C)

空调房间 $A \times B \times H = 6 \times 3.6 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $d_s = 8 \text{ mm}$, $\alpha = 0.78$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	孔口中心距 $l(\text{m})$	孔板上孔口总数 $n(\text{个})$	工作区 最大风速 $v_x(\text{m/s})$	工作区最大 轴心温差 $\Delta t_x(^\circ\text{C})$	稳压层净高 $h(\text{m})$	备注
550~600	3.09~2.90	0.14~0.13	984~1144	0.137~0.134	0.22~0.231	0.054~0.063	
650~700	3.14~3.38	0.13	1144	0.151~0.169	0.241~0.25	0.063	
750~800	3.15~2.74	0.12~0.11	1316~1612	0.163~0.147	0.259~0.267	0.073~0.089	
850~900	2.92~3.09	0.11	1612	0.161~0.175	0.276~0.284	0.089	
950~1000	2.71~2.85	0.10	1938	0.158~0.170	0.291~0.299	0.107	

续表

风量 L_s (m ³ /h)	送风速度 v_s (m/s)	孔口中心距 l (m)	孔板上孔口总数 n (个)	工作区 最大风速 v_x (m/s)	工作区最大 轴心温差 Δt_x (°C)	稳压层净高 h (m)	备注
1050~1100	3.00~3.14	0.10	1938	0.183~0.197	0.306~0.313	0.107	
1150~1200	2.94~3.07	0.095	2160	0.189~0.201	0.32~0.327	0.119	
1250~1300	3.20~3.00	0.095~0.09	2160~2394	0.214~0.205	0.334~0.34	0.119~0.132	
1350	3.12	0.09	2394	0.217	0.347	0.132	

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(D)

空调房间 $A \times B \times H = 6 \times 3.9 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $d_s = 6 \text{ mm}$, $\alpha = 0.78$

风量 L_s (m ³ /h)	送风速度 v_s (m/s)	孔口中心距 l (m)	孔板上孔口总数 n (个)	工作区 最大风速 v_x (m/s)	工作区最大 轴心温差 Δt_x (°C)	稳压层净高 h (m)	备注
600~650	2.80~3.03	0.10	2109	0.124~0.14	0.222~0.231	0.061	
700~750	3.26~3.15	0.10~0.095	2109~2340	0.157	0.24~0.249	0.061~0.067	
800~850	3.04~3.23	0.09	2583	0.156~0.171	0.257~0.265	0.074	
900~950	3.00~3.17	0.085	2948	0.163~0.177	0.272~0.28	0.085	
1000~1050	3.00~3.16	0.08	3266	0.173~0.186	0.287~0.294	0.094	
1100~1150	3.31~3.04	0.08~0.075	3266~3724	0.199~0.187	0.30~0.308	0.094~0.107	
1200~1250	3.17~3.30	0.075	3724	0.199~0.211	0.315~0.321	0.107	
1300~1350	2.98~3.09	0.07	4293	0.195~0.206	0.327~0.334	0.123	
1400~1450	3.21~2.84	0.07~0.065	4293~5016	0.218~0.196	0.34~0.345	0.123~0.144	
1500	2.94	0.065	5016	0.207	0.352	0.144	

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(E)

空调房间 $A \times B \times H = 6 \times 3.9 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $d_s = 8 \text{ mm}$, $\alpha = 0.78$

风量 L_s (m ³ /h)	送风速度 v_s (m/s)	孔口中心距 l (m)	孔板上孔口总数 n (个)	工作区 最大风速 v_x (m/s)	工作区最大 轴心温差 Δt_x (°C)	稳压层净高 h (m)	备注
600~650	3.11~3.17	0.14~0.135	1066~1134	0.138~0.147	0.222~0.231	0.054~0.058	
700~750	3.14~3.37	0.13	1232	0.151~0.167	0.24~0.25	0.063	
800~850	3.04~3.23	0.12	1457	0.156~0.170	0.257~0.265	0.074	
900~950	2.81~2.97	0.11	1768	0.153~0.166	0.272~0.28	0.09	
1000~1050	2.62~2.75	0.10	2109	0.151~0.161	0.287~0.294	0.107	
1100~1150	2.88~3.01	0.10	2109	0.174~0.186	0.301~0.307	0.107	
1200~1250	3.15~2.95	0.10~0.095	2109~2340	0.198~0.187	0.315~0.321	0.107~0.119	
1300~1350	3.07~3.19	0.095	2340	0.201~0.213	0.327~0.334	0.119	
1400~1450	3.00~3.10	0.09	2583	0.204~0.215	0.340~0.346	0.132	
1500	3.21	0.09	2583	0.226	0.352	0.132	

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(F)

空调房间 $A \times B \times H = 6.0 \times 4.2 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $d_s = 6\text{ mm}$, $\alpha = 0.78$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	孔口中心距 $l(\text{m})$	孔板上孔口总数 $n(\text{个})$	工作区 最大风速 $v_x(\text{m/s})$	工作区最大 轴心温差 $\Delta t_x(^\circ\text{C})$	稳压层净高 $h(\text{m})$	备注
650~700	2.80~3.02	0.10	2280	0.125~0.14	0.223~0.231	0.061	
750~800	3.23~3.12	0.10~0.095	2280~2520	0.155~0.154	0.24~0.247	0.061~0.067	
850~900	3.01~3.19	0.09	2772	0.154~0.168	0.255~0.262	0.074	
950~1000	3.37~3.12	0.09~0.085	2772~3149	0.182~0.173	0.270~0.277	0.074~0.084	
1050~1100	2.91~3.05	0.08	3550	0.165~0.177	0.284~0.29	0.095	
1150~1200	3.18~2.93	0.08~0.075	3550~4028	0.189~0.178	0.297~0.303	0.095~0.107	
1250~1300	3.05~3.17	0.075	4028	0.189~0.20	0.309~0.315	0.107	
1350~1400	2.87~2.98	0.07	4617	0.185~0.195	0.321~0.327	0.123	
1450~1500	3.09~3.19	0.07	4617	0.206~0.216	0.333~0.339	0.123	
1550~1600	3.30~3.41	0.07	4617	0.227~0.238	0.344~0.350	0.123	

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(G)

空调房间 $A \times B \times H = 6.0 \times 4.2 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $d_s = 8\text{ mm}$, $\alpha = 0.78$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	孔口中心距 $l(\text{m})$	孔板上孔口总数 $n(\text{个})$	工作区 最大风速 $v_x(\text{m/s})$	工作区最大 轴心温差 $\Delta t_x(^\circ\text{C})$	稳压层净高 $h(\text{m})$	备注
650~700	3.13~3.07	0.14~0.135	1148~1260	0.14~0.142	0.223~0.231	0.054~0.060	
750~800	3.04~3.00	0.13~0.125	1364~1472	0.148~0.149	0.24~0.247	0.065~0.07	
850~900	3.03~3.20	0.12	1551	0.155~0.168	0.255~0.262	0.073	
950~1000	3.06~2.95	0.115~0.11	1715~1872	0.165~0.163	0.27~0.277	0.081~0.089	
1050~1100	3.10~2.67	0.11~0.10	1872~2280	0.176~0.155	0.284~0.29	0.089~0.108	
1150~1200	2.79~2.91	0.10	2280	0.165~0.176	0.297~0.303	0.108	
1250~1300	3.03~3.15	0.10	2280	0.188~0.198	0.309~0.315	0.108	
1350~1400	2.96~3.07	0.095	2520	0.19~0.20	0.321~0.327	0.119	
1450~1500	3.18~2.99	0.095~0.09	2520~2772	0.211~0.202	0.333~0.338	0.119~0.131	
1550~1600	3.09~3.19	0.09	2772	0.213~0.223	0.344~0.35	0.131	

全面孔板送风计算表

表 11.9-6(H)

空调房间 $A \times B \times H = 7.2 \times 6 \times 3.2$, $t_n = 20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_x = 0.5^\circ\text{C}$ 换气次数不小于 8 次, $d_s = 8\text{ mm}$, $\alpha = 0.78$

风量 $L_s(\text{m}^3/\text{h})$	送风速度 $v_s(\text{m/s})$	孔口中心距 $l(\text{m})$	孔板上孔口总数 $n(\text{个})$	工作区 最大风速 $v_x(\text{m/s})$	工作区最大 轴心温差 $\Delta t_x(^\circ\text{C})$	稳压层净高 $h(\text{m})$	备注
1100~1150	3.03~3.16	0.14	2009	0.134~0.143	0.222~0.227	0.067	
1200~1250	3.10~2.96	0.135~0.13	2142~2332	0.143~0.14	0.231~0.236	0.071~0.077	
1300~1350	3.08~2.95	0.13~0.125	2332~2530	0.149~0.145	0.241~0.246	0.077~0.084	
1400~1450	3.06~3.17	0.125	2530	0.153~0.161	0.25~0.254	0.084	
1500~1550	3.10~3.20	0.12	2679	0.16~0.168	0.259~0.263	0.089	
1600~1650	3.06~3.16	0.115	2891	0.164~0.171	0.267~0.271	0.096	
1700~1750	2.92~3.00	0.11	3224	0.161~0.168	0.276~0.28	0.107	
1800~1850	3.09~3.17	0.11	3224	0.175~0.182	0.284~0.287	0.107	
1900~1950	2.99~3.07	0.105	3510	0.174~0.181	0.291~0.295	0.116	
2000~2050	3.15~2.92	0.105~0.10	3510~3876	0.188~0.177	0.299~0.302	0.116~0.129	

续表

风量 L_s (m ³ /h)	送风速度 v_s (m/s)	孔口中心距 l (m)	孔板上孔口总数 n (个)	工作区 最大风速 v_x (m/s)	工作区最大 轴心温差 Δt_x (°C)	稳压层净高 h (m)	备注
2100~2150	3.00~3.07	0.10	3876	0.183~0.19	0.306~0.31	0.128~0.129	
2200~2250	3.14~3.21	0.10	3876	0.197~0.203	0.313~0.317	0.129	
2300~2350	2.94~3.00	0.095	4320	0.189~0.195	0.32~0.324	0.143	
2400~2450	3.07~3.14	0.095	4320	0.201~0.207	0.327~0.331	0.143	
2500~2550	2.89~2.94	0.09	4788	0.193~0.199	0.334~0.337	0.159	
2600~2650	3.00~3.06	0.09	4788	0.205~0.21	0.341~0.344	0.159	

(1) 实验依据及主要计算公式

实验时将单个圆形多层锥面型散流器或盘式散流器设置于房间的平顶中央（与平顶平镶），气流水平吹出，不受阻挡。房间呈方形或接近方形。

散流器的速度衰减方程式：

$$\frac{v_x}{v_s} = \frac{K \sqrt{F}}{x + x_0} \quad (11.9-32)$$

式中 v_x ——距散流器中心水平距离为 x 处的最大风速，m/s；

v_s ——散流器的送风速度，m/s；

K ——送风口常数，多层锥面型散流器为1.4，平盘式散流器为1.1；

F ——散流器的有效面积，m²；

x_0 ——自散流器中心算起到射流外观原点的距离，对于多层锥面型为0.07m。

因送风速度 $v_s = \frac{L_s}{F}$ ，式 (11.9-32) 可改写成：

$$\frac{v_x}{L_s} = \frac{K}{\sqrt{F}(x + x_0)} \quad (11.9-33)$$

室内平均风速 v_{pj} (m/s) 与房间尺寸和主气流射程有关，并按下式计算：

$$v_{pj} = \frac{0.381 n A}{\left[\frac{A^2}{4} + H^2 \right]^{0.5}} \quad (11.9-34)$$

式中 A ——空调房间（或分区）长度，m；

H ——空调房间（或分区）高度，m；

n ——射程与房间（或分区）长度之比，中心处设置的散流器其射程为至每个墙面距离的0.75。

(2) 圆形散流器送风计算表

P. J. 杰克曼根据公式 (11.9-32)~(11.9-34) 编制了房间（或分区）长度 A 分别为3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0和10.0m等8个计算表（参见表11.9-7）。

圆形散流器送风计算表

表 11.9-7

空调房间(区域)长度 $A = 3.0\text{m}$				空调房间(区域)长度 $A = 6.0\text{m}$											
$H(\text{m})$		2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	$H(\text{m})$		2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
$v_{pj}(\text{m/s})$		0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.08	$v_{pj}(\text{m/s})$		0.21	0.20	0.19	0.19	0.17	0.15
$L_s(\text{m}^3/\text{s})$	$v_s(\text{m/s})$	$F(\text{m}^2)$		$D(\text{mm})$	$L_s(\text{m}^3/\text{s})$	$v_s(\text{m/s})$	$F(\text{m}^2)$		$D(\text{mm})$						
0.04~0.05	6.52~5.21	0.006~0.010		100	0.08~0.10	13.04~10.43	0.006~0.010		100						
0.06~0.07	4.35~3.72	0.014~0.019		150	0.12~0.14	8.69~7.45	0.014~0.019		150						
0.08~0.10	3.26~2.61	0.025~0.038		200	0.16~0.20	6.52~5.21	0.025~0.038		200						
0.11~0.12	2.37~2.17	0.046~0.055		250	0.22	4.74	0.046		250						
0.13	2.01	0.065		300	0.24	4.35	0.055		250						
空调房间(区域)长度 $A = 4.0\text{m}$				空调房间(区域)长度 $A = 6.0\text{m}$											
$H(\text{m})$		2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	$H(\text{m})$		2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
$v_{pj}(\text{m/s})$		0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.11	$v_{pj}(\text{m/s})$		0.21	0.20	0.19	0.19	0.17	0.15
$L_s(\text{m}^3/\text{s})$	$v_s(\text{m/s})$	$F(\text{m}^2)$		$D(\text{mm})$	$L_s(\text{m}^3/\text{s})$	$v_s(\text{m/s})$	$F(\text{m}^2)$		$D(\text{mm})$						
0.05~0.07	9.27~6.62	0.005~0.011		100	0.26	4.01	0.065		300						
0.08~0.10	5.79~4.64	0.014~0.022		150	0.28	3.72	0.075		300						
0.11~0.13	4.21~3.57	0.026~0.036		200	0.30	3.48	0.086		350						
0.14~0.16	3.31~2.90	0.042~0.055		250	0.32	3.26	0.098		350						
0.17~0.19	2.73~2.44	0.062~0.078		300	0.34	3.07	0.111		400						
0.20~0.22	2.32~2.11	0.086~0.104		350	0.36	2.90	0.124		400						
0.23	2.02	0.114		400	0.38	2.74	0.138		400						
空调房间(区域)长度 $A = 5.0\text{m}$				空调房间(区域)长度 $A = 7.0\text{m}$											
$H(\text{m})$		2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	$H(\text{m})$		2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
$v_{pj}(\text{m/s})$		0.19	0.18	0.17	0.17	0.15	0.13	$v_{pj}(\text{m/s})$		0.22	0.22	0.21	0.20	0.19	0.16
$L_s(\text{m}^3/\text{s})$	$v_s(\text{m/s})$	$F(\text{m}^2)$		$D(\text{mm})$	$L_s(\text{m}^3/\text{s})$	$v_s(\text{m/s})$	$F(\text{m}^2)$		$D(\text{mm})$						
0.06~0.07	12.07~10.35	0.005~0.007		100	0.10~0.12	14.19~11.83	0.007~0.010		100						
0.08~0.09	9.05~8.05	0.009~0.011		100	0.14~0.18	10.14~7.89	0.014~0.023		150						
0.10~0.11	7.24~6.58	0.014~0.017		150	0.20~0.22	7.10~6.45	0.028~0.034		200						
0.12~0.13	6.04~5.57	0.020~0.023		150	0.24	5.91	0.041		250						
0.14~0.16	5.17~4.53	0.027~0.035		200	0.26	5.46	0.048		250						
0.17~0.18	4.26~4.02	0.040~0.045		250	0.28	5.07	0.055		250						
0.19~0.20	3.81~3.62	0.050~0.055		250	0.30	4.73	0.063		300						
0.21~0.22	3.45~3.29	0.061~0.067		300	0.32	4.44	0.072		300						
0.23~0.24	3.15~3.02	0.073~0.080		300	0.34	4.17	0.081		300						
0.25~0.26	2.90~2.79	0.086~0.093		350	0.36	3.94	0.091		350						
0.27~0.28	2.68~2.59	0.101~0.108		350	0.38	3.74	0.102		350						
0.29~0.30	2.50~2.41	0.116~0.124		400	0.40	3.55	0.113		400						
0.31~0.32	2.34~2.26	0.133~0.141		400	0.42	3.38	0.124		400						
0.33~0.35	2.19~2.07	0.150~0.169		450	0.44	3.23	0.136		400						
0.36	2.01	0.179		500	0.46~0.50	3.09~2.84	0.149~0.176		450						
					0.52~0.54	2.73~2.63	0.190~0.205		500						

圆形散流器送风计算表

续表

空调房间(区域)长度 $A=8.0m$				空调房间(区域)长度 $A=9.0m$									
$H(m)$	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	$H(m)$	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
$v_{pj}(m/s)$	0.24	0.23	0.22	0.22	0.20	0.18	$v_{pj}(m/s)$	0.24	0.24	0.23	0.23	0.21	0.19
$L_s(m^3/s)$	$v_s(m/s)$	$F(m^2)$	$D(mm)$	$L_s(m^3/s)$	$v_s(m/s)$	$F(m^2)$	$D(mm)$						
0.14	13.24	0.011	100	0.20	11.73	0.017	150						
0.16~0.20	11.59~9.27	0.014~0.022	150	0.25~0.30	9.39~7.82	0.027~0.038	200						
0.22~0.26	8.43~7.13	0.026~0.036	200	0.35~0.40	6.70~5.87	0.052~0.068	250~300						
0.28~0.32	6.62~5.79	0.042~0.055	250	0.45~0.50	5.21~4.69	0.086~0.107	350						
0.34	5.45	0.062	300	0.55~0.60	4.27~3.91	0.129~0.153	400~450						
0.36	5.15	0.070	300	0.65~0.70	3.61~3.35	0.180~0.209	500						
0.38	4.88	0.078	300	空调房间长度 $A=10.0m$									
0.40	4.64	0.086	350	$H(m)$	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00			
0.42	4.41	0.095	350	$v_{pj}(m/s)$	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.20			
0.44	4.21	0.104	350	$L_s(m^3/s)$	$v_s(m/s)$	$F(m^2)$	$D(mm)$						
0.46	4.03	0.114	400	0.20~0.25	14.48~11.59	0.014~0.022	150						
0.48	3.86	0.124	400	0.30	9.66	0.031	200						
0.50	3.71	0.135	400	0.35~0.40	8.28~7.24	0.042~0.055	250						
0.52	3.57	0.146	450	0.45~0.55	6.44~5.27	0.070~0.104	300~350						
0.54~0.56	3.43~3.31	0.157~0.169	450	0.60~0.70	4.83~4.14	0.124~0.169	400~450						
0.58~0.62	3.20~2.99	0.181~0.207	500	0.75	3.86	0.194	500						

在使用计算表时,要注意以下问题:

①本表适用于方形或接近方形的房间,如果需要用于矩形房间时,其长宽比不得大于1.5。对于建筑尺寸较大的房间,可将其分割成相等的方块(区域),在每个方块(区域)中央设一个散流器,每个方块可当作单独房间对待。

②室内平均风速是房间尺寸和主气流射程的函数。根据房间(或分区)的水平长度 A 和房高 H ,便可查得 v_{pj} 值。该风速是在等温条件下求得的。送冷风时, v_{pj} 加大20%,即从表上查得数值乘以1.2;送热风时, v_{pj} 减少20%,即从表上查得数值乘以0.8。

③在制表时对其它设计参数,例如允许噪声,没有考虑进去。如果噪声超过允许值,则将房间多划分一些方块(区域),增加散流器的个数。

为制约噪声,对送风口颈部风速的最大值建议参照表11.9-8采用。

送风口颈部最大允许风速

表 11.9-8

使 用 场 合	颈部最大风速(m/s)
播音室	3~3.5
医院门诊室、病房、旅馆客房、接待室、居室、计算机房	4~5
剧场、剧场休息厅、教室、音乐厅、食堂、图书馆、游艺厅、一般办公室	5~6
商店、旅馆、大剧场、饭店	6~7.5

(3) 散流器送风设计计算步骤

①按照房间(或分区)的尺寸选取相应的散流器送风计算表,并查出室内平均风速 v_{pj} 。应区分送热风 and 送冷风的情况,对 v_{pj} 值进行修正。

②根据房间(或分区)中的冷、热负荷 q (kW)和送风温差 Δt_s ,按下式计算送风量 L_s (m^3/s):

$$L_s = \frac{q}{\rho c_p \Delta t_s} = \frac{q}{1.2 \times 1.01 \Delta t_s} \approx \frac{0.83q}{\Delta t_s} \quad (11.9-35)$$

③确定送风速度和散流器尺寸大小。

按已选出的计算表,在第一列查出与 L_s 相近的风量值,并在这一行中顺序查得送风速度 v_s 、散流器有效面积 F 和颈部直径 D 。

④将选到的参数按其它要求,例如允许噪声,进行检验。若噪声超过(主要表现在出口风速太大),则增加散流器的个数。并重复以上步骤。

⑤按所算出的参数和尺寸,查产品样本选取散流器的型号,并校核其射程。

(4) 计算举例

【例 1】某办公室 $A \times B \times H = 5 \times 5 \times 2.75m$,最大热负荷为1.4kW,送风温度差 $\Delta t_s = 6^\circ C$,试选出圆形多层锥面型散流器。

【解】根据房间水平长度 $A = 5.0m$,选用表11.9-7。在 $A = 5m$ 、 $H = 2.75m$ 的栏内,查得室内平均风速 $v_{pj} = 0.19m/s$,对于送热风, $v_{pj} = 0.8 \times 0.19 = 0.152m/s < 0.2m/s$ (合适)

按公式(11.9-35)计算送风量:

$$L_s = \frac{0.83q}{\Delta t_s} = \frac{0.83 \times 1.4}{6} = 0.194m^3/s$$

在同一计算表上找到相近送风量 $L_s = 0.19m^3/s$, $v_s = 3.81m/s$, $F = 0.05m^2$, $D = 250mm$ 。

对办公室来说,散流器送风速度3.81m/s是允许的,不会产生较大的噪声。

从圆形散流器性能表(表11.9-12),选用颈部名义直径 $D = 250mm$ 的散流器,风量在 $750m^3/h(0.208m^3/s)$ 时的射程为2.34m,相当于从散流器中心至墙面距离的0.94倍,满足要求。

【例 2】有一间大办公室的内区拟用圆散流器送风来实现空调,其建筑尺寸为 $A \times B \times H = 24 \times 20 \times 4m$,显冷负荷均匀分布,每 m^2 为50W,送风温差 $\Delta t_s = 6^\circ C$ 。

【解】将整个大办公室划分为12个小方区,即长度方向划分为4等分,每等分为6m;宽度方向划分为3等分,每等分为6.7m。这样,每个小方区为 $6.7 \times 6m$ 。将散流器设置在小方区的中央,每个小方区可当作单独房间看待,其送风量按表11.9-7查得为 $L_s = 0.19m^3/s$ 。

按表11.9-7, 在 $A = 6.0\text{m}$, $H = 4.0\text{m}$ 的栏内, 查得室内平均风速 $v_{pj} = 0.17\text{m/s}$ 。按送冷风情况, $v_{pj} = 1.2 \times 0.17 = 0.20\text{m/s} < 0.30\text{m/s}$, 说明合适。

按式 (11.9-35) 计算每个小方区的送风量:

$$L_s = \frac{0.83q}{\Delta t_s} = \frac{0.83 \times 50 \times 6.7 \times 6}{6 \times 1000} = 0.278\text{m}^3/\text{s}$$

在同一张表中, 查得 $L_s = 0.28\text{m}^3/\text{s}$, $v_s = 3.72\text{m/s}$, $F = 0.075\text{m}^2$, $D = 300\text{mm}$ 。其出口风速是允许的。

查圆形散流器性能表, 选用颈部名义直径 $D = 300\text{mm}$ 的散流器。当风量为 $1070\text{m}^3/\text{h}$ ($0.297\text{m}^3/\text{s}$) 时, 射程为 2.80m , 相当于小方区宽度一半 3.35m 的 0.84 倍。射流搭接符合要求。整个大办公室需要设置 12 个这种型号的散流器。

5. 喷口送风的设计计算步骤

(1) 根据房间的显冷负荷和送风温差, 按公式 (11.9-1) 计算总送风量 L_s 。

(2) 假设喷口直径 d_s 、喷口倾角 β 、喷口安装高度 h , 计算相对落差 y/d_s 和相对射程 x/d_s (图 11.9-5)。

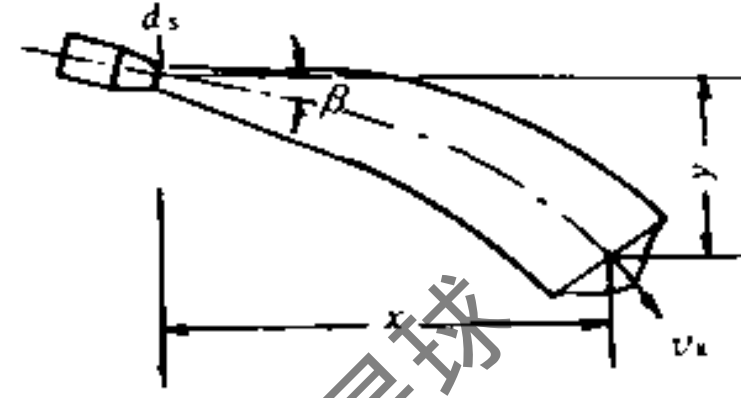


图 11.9-5 喷口送风流型示意

(3) 根据要求达到的气流射程 x 和垂直落差 y , 按下列公式计算阿基米德数 Ar :

① 当 $\beta = 0$ 且送冷风时

$$Ar = \frac{y/d_s}{\left(x/d_s\right)^2 \left(0.51 \frac{ax}{d_s} + 0.35\right)} \quad (11.9-36)$$

② 当 β 角向下且送冷风时

$$Ar = \frac{\frac{y}{d_s} - \frac{x}{d_s} \tan \beta}{\left(\frac{x}{d_s \cos \beta}\right)^2 \left(0.51 \frac{ax}{d_s \cos \beta} + 0.35\right)} \quad (11.9-37)$$

③ 当 β 角向下且送热风时

$$Ar = \frac{\frac{x}{d_s} \tan \beta + \frac{y}{d_s}}{\left(\frac{x}{d_s \cos \beta}\right)^2 \left(0.51 \frac{ax}{d_s \cos \beta} + 0.35\right)} \quad (11.9-38)$$

式中 a ——喷口的紊流系数, 对于带收缩口的圆喷口, $a = 0.07$; 对圆柱形喷口, $a = 0.08$ 。

(4) 按公式 (11.9-9) 计算喷口送风速度 v_s ,

即
$$v_s = \sqrt{\frac{gd_s \Delta t_s}{Ar(t_n + 273)}} \quad (11.9-39)$$

(5) 按下列公式计算射流末端轴心速度 v_x , 和射流平均速度 v_p :

$$v_x = v_s \frac{0.48}{\frac{ax}{d_s} + 0.115} \quad (11.9-40)$$

$$v_p = \frac{1}{2} v_x \quad (11.9-41)$$

工作区的气流平均风速 v_p 一般为0.2m/s左右,送风速度 v_s 不应大于10m/s。否则应重新计算,增大 d_s 或减少 β ,可相应降低 v_p 和 v_s 值。

(6) 计算喷口个数 n

$$n = \frac{L_s}{L_d} \quad (11.9-42)$$

式中, L_d 为单个喷口的送风量, 即 $\frac{\pi}{4}d_s^2v_s \cdot 3600$ 。计算出的 n 值应取其整数, 再算出实际的 v_s , 其值应接近由公式(11.9-39)求得的数值, 否则应予重新计算。

6. 条缝口送风设计计算

(1) 实验依据及主要计算公式^①

实验时将长度等于房间宽度的单个条缝风口(或双条缝风口), 设置在房间的中央, 条缝口与顶棚镶平, 气流以水平方向向两侧送出, 横掠过顶棚表面。或者将单条缝风口(或双条缝风口)设置在距外墙150mm处, 气流以水平方向横掠过整个顶棚表面。上述两种方式均分别进行送热风 and 送冷风的试验。

条缝风口的速度衰减方程式:

$$\frac{v_x}{v_s} = K \left[\frac{b}{x + x_0} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11.9-43)$$

式中 v_x ——距条缝风口水平距离为 x 处的最大风速, m/s;

v_s ——条缝口的送风速度, m/s;

K ——送风口常数, 对条缝风口为2.35;

b ——条缝口的有效宽度, m;

x_0 ——自条缝口中心起到主气流外观原点的距离, 对条缝口 $x_0 = 0$ 。

因 $v_s = \frac{L_{s1}}{b}$, 其中 L_{s1} 为单位长度条缝口的送风量(m^3/s), 式(11.9-43)可改写为如下形式:

$$\frac{v_x}{L_{s1}} = \frac{K}{b^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{x + x_0} \right]^{\frac{1}{2}}$$

或者

$$\left[\frac{L_{s1}}{v_x} \right]^2 = \frac{b}{K^2} (x + x_0) \quad (11.9-44)$$

室内平均风速 v_{pj} 是房间尺寸和主气流射程的函数, 并按下式求出:

$$v_{pj} = 0.25A \left[\frac{n}{A^2 + H^2} \right]^{0.5} \quad (11.9-45)$$

设在房间中央的条缝口, 其射程为到每个端墙距离的0.75。

(2) 条缝风口送风计算表

^①引自 P.J.Jackman; HVRA Laboratory Report No.81, Air movement in rooms with ceiling mounted diffusers. Supplement B, Design procedure for linear diffusers. 1973.

P.J.杰克曼编制的条缝口送风计算表也有8个,其房间长度 A 分别为3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0和10.0m, 参见表11.9-9。

条缝口送风计算表

表 11.9-9

空调房间长度 $A = 3.0\text{m}$							空调房间长度 $A = 5.0\text{m}$						
H (m)	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	H (m)	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
v_{pi} (m/s)	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.06	v_{pi} (m/s)	0.15	0.14	0.13	0.13	0.11	0.10
L_{s1} ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$)	v_s (m/s)					b (mm)	L_{s1} ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$)	v_s (m/s)					b (mm)
0.032	3.18					5	0.040~0.042	4.24~4.04					5
0.034	2.99					6	0.044~0.046	3.85~3.68					6
0.036	2.83					6	0.048~0.050	3.53~3.39					7
0.038	2.68					7	0.052	3.26					8
0.040	2.54					8	0.054~0.056	3.14~3.03					9
0.042	2.42					9	0.058	2.92					10
0.044	2.31					10	0.060~0.062	2.83~2.73					11
0.046	2.21					10	0.064	2.65					12
0.048	2.12					11	0.066	2.57					13
0.050	2.03					12	0.068~0.070	2.49~2.42					14
空调房间长度 $A = 4.0\text{m}$							0.072	2.35					15
H (m)	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	0.074	2.29					16
v_{pi} (m/s)	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.08	0.076	2.23					17
L_{s1} ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$)	v_s (m/s)					b (mm)	0.078	2.17					18
0.036	3.77					5	0.080	2.12					19
0.038	3.57					5	0.082	2.07					20
0.040	3.39					6	0.084	2.02					21
0.042	3.23					7	空调房间长度 $A = 6.0\text{m}$						
0.044	3.08					7	H (m)	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
0.046	2.95					8	v_{pi} (m/s)	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11
0.048	2.83					8	L_{s1} ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$)	v_s (m/s)					b (mm)
0.050	2.71					9	0.044~0.046	4.62~4.42					5
0.052	2.61					10	0.048~0.050	4.24~4.07					6
0.054	2.51					11	0.052~0.054	3.91~3.77					7
0.056	2.42					12	0.056~0.058	3.63~3.51					8
0.058	2.34					12	0.060~0.062	3.39~3.28					9
0.060	2.26					13	0.064	3.18					10
0.062	2.19					14	0.066~0.068	3.08~2.99					11
0.064	2.12					15	0.07	2.91					12
0.066	2.05					16	0.072~0.074	2.83~2.75					13
							0.076~0.078	2.68~2.61					14~15
							0.080~0.084	2.54~2.42					16~17
							0.086~0.088	2.37~2.31					18~19
							0.090~0.092	2.26~2.21					20~21
							0.094	2.16					22
							0.096	2.12					23
							0.098	2.08					24
							0.100	2.03					25

续表

空调房间长度 $A = 7.0\text{m}$							空调房间长度 $A = 9.0\text{m}$						
$H(\text{m})$	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	$H(\text{m})$	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
$v_{pj}(\text{m/s})$	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.12	$v_{pj}(\text{m/s})$	0.18	0.18	0.18	0.17	0.16	0.14
$L_{s1}(\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m})$	$v_s(\text{m/s})$					$b(\text{mm})$	$L_{s1}(\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m})$	$v_s(\text{m/s})$					$b(\text{mm})$
0.05	4.75					5	0.055~0.060	5.55~5.09					5~6
0.055	4.31					6	0.065~0.070	4.69~4.36					7~8
0.060	3.96					8	0.075~0.080	4.07~3.81					9~10
0.065	3.65					9	0.085	3.59					12
0.070	3.39					10	0.090	3.39					13
0.075	3.16					12	0.095	3.21					15
0.080	2.97					13	0.100	3.05					16
0.085	2.79					15	0.105	2.91					18
0.090	2.64					17	0.110	2.77					20
0.095	2.50					19	0.115	2.65					22
0.100	2.37					21	0.120	2.54					24
0.105	2.26					23	0.125	2.44					26
0.110	2.16					25	0.130	2.35					28
0.115	2.06					28	0.135	2.26					30
							0.140	2.18					32
							0.145	2.10					34
							0.150	2.03					37
空调房间长度 $A = 8.0\text{m}$							空调房间长度 $A = 10.0\text{m}$						
$H(\text{m})$	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00	$H(\text{m})$	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	5.00
$v_{pj}(\text{m/s})$	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.13	$v_{pj}(\text{m/s})$	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.15
$L_{s1}(\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m})$	$v_s(\text{m/s})$					$b(\text{mm})$	$L_{s1}(\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m})$	$v_s(\text{m/s})$					$b(\text{mm})$
0.050~0.055	5.42~4.93					5~6	0.060~0.065	5.65~5.22					5~6
0.060	4.52					7	0.070~0.075	4.84~4.52					7~8
0.065	4.17					8	0.080~0.085	4.24~3.99					9~11
0.070	3.87					9	0.090~0.095	3.77~3.57					12~13
0.075	3.62					10	0.100~0.105	3.39~3.23					15~16
0.080	3.39					12	0.110	3.08					18
0.085	3.19					13	0.115	2.95					20
0.090	3.01					15	0.120	2.83					21
0.095	2.85					17	0.125	2.71					23
0.100	2.71					18	0.130	2.61					25
0.105	2.58					20	0.135	2.51					27
0.110	2.47					22	0.140	2.42					29
0.115	2.36					24	0.145	2.34					31
0.120	2.26					27	0.150	2.26					33
0.125	2.17					29	0.155	2.19					35
0.130	2.09					31	0.160	2.12					38
0.135	2.01					34	0.165	2.05					40

表中室内平均风速 v_{pj} 按房间长度和高度查出,该值是按等温条件下求得的。送冷风时乘以修正系数1.2,送热风时乘0.8。

(3) 条缝口送风设计计算步骤

a. 条缝口设在房间吊顶的中央

• 按照与实际房间(或区域)的长度(即与条缝口主轴相垂直的尺寸)最接近的 A 值,来选取条缝口送风计算表,并查得室内平均风速 v_{pj} 。

• 根据房间（或分区）的冷、热负荷 q 和送风温差 Δt_s ，按下式计算每 m 长条缝风口的送风量 L_{s1} ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$):

$$L_{s1} = \frac{q}{l \times 1.2 \times 1.01 \Delta t_s} \approx \frac{0.83q}{l \Delta t_s} \quad (11.9-46, a)$$

取条缝风口的有效长度 l 等于房间宽度 B ，则

$$L_{s1} \approx \frac{0.83q}{B \Delta t_s} \quad (11.9-46, b)$$

• 确定送风口速度和条缝口尺寸。

按已选出的计算表，在第一列找到与计算送风量相近的风量值，并在该行中顺序查得相应的送风速度 v_s 和条缝口的有效宽度 b 。

• 将选出的各个参数，按其它设计要求（例如允许噪声）进行检验。若某些值超出规定的范围，则应考虑将室内划分小些，以增加条缝的数目，并重复以上步骤。

• 按算得的参数，查产品样本，最后选取条缝风口的型号，并校核在设计风量下的射程，是否处在从条缝口到端墙或分区边界距离的 0.65 至 0.85 范围内。

如果在产品样本中没有给出条缝口的有效宽度时，则对向两个方向送出的条缝风口

$$b = 500 \frac{L_{s1}}{v_s}, \text{ 以 mm 计。}$$

b 条缝口设在房间的一端

当条缝口被安装在房间一端的吊顶上，用来向一个方向送风时，可采用前面概括的设计步骤，但必须进行以下修正：

表内所用的 A 值应等于房间的实际长度的 2 倍。

表内所用的 L_{s1} 值应是实际 L_{s1} 值的 2 倍，并用下式确定 $b = 1000 \frac{L_{s1}}{v_s}$ ，以 mm 计。

(4) 计算举例

【例 3】 某办公室 $A \times B \times H = 4 \times 4 \times 2.75\text{m}$ ，最大冷负荷为 2kW，送风温差为 10°C ，试选用条缝口送风进行空调，(a) 条缝口设在房间的中央；(b) 条缝口设在房间的一端。

【解】

① 按房间长度 $A = 4\text{m}$ ，选取表 11.9-9。在 $A = 4\text{m}$ ， $H = 2.75\text{m}$ 栏内，查得室内平均风速 v_{pj} 为 0.13m/s ，经修正后 $v_{pj} = 0.13 \times 1.2 = 0.156\text{m/s}$ ，合适。

按式 (11.9-46) 计算每 m 条缝口的送风量：

$$L_{s1} = \frac{0.83q}{B \Delta t_s} = \frac{0.83 \times 2}{4 \times 10} = 0.0415\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$$

在同一计算表中找到最接近的风量值 $L_{s1} = 0.042\text{m}^3/\text{s}$ ， $v_s = 3.23\text{m/s}$ ， $b = 7\text{mm}$ （每条缝宽）。该送风速度对办公室是允许的。

在有的公司产品样本上，可找到风量 $\frac{0.04}{2}\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 的双条缝风口，每个条缝的风速为 3.25m/s ，射程为 1.5m ，该值相当于从条缝口至区域端头距离的 0.76。

② 按 $A = 2 \times 4\text{m}$ ，选取表 11.9-9。 $A = 8\text{m}$ ， $H = 2.75\text{m}$ 时，查得 $v_{pj} = 0.18\text{m/s}$ ，修正后为 0.216m/s ，合适。

按 $L_{s1}=0.0415 \times 2=0.083\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,查得最接近的风量为 $0.085\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,相应的 $v_s=3.19\text{m/s}$,
 $b=13\text{mm}$ 。

从产品样本查到单面送风条缝口,风量 $0.04\text{m}^3/\text{s}$,射程为 3m ,是房间长度的 0.75 ,满足要求。

【例4】有一间大办公室拟用条缝风口送风进行空调,房间的尺寸 $A \times B \times H=25 \times 30 \times 3.3$,热负荷均匀分布最大为 75kW ,要求送风速度不大于 4m/s 。

【解】将房间长度 25m 分别划分为二等分、三等分或四等分,即 12.5m 、 8.33m 和 6.25m 。在长度 8.33m 内各选一个中间位置安装条缝口,共分三个区,安装三个条缝口是合适的。

选用表11.9.9,当 $A=8\text{m}$, $H=3.25\text{m}$ 时,查得室内平均风速 $v_{pj}=0.17\text{m/s}$ 。

由于要求 $v_s \leq 4.0\text{m/s}$,从表上可知,与 $v_s=3.87\text{m/s}$ 相对应的送风量 $L_{s1}=0.070\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 。

将 $L_{s1}=0.070\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 和 $q=\frac{75}{3}=25\text{kW}$ 代入式(11.9-46)中:

$0.070 = \frac{0.83 \times 25}{30 \Delta t_s}$,由此求得送风温差 $\Delta t_s = 9.88^\circ\text{C} \approx 10^\circ\text{C}$,这个送风温差是合适的。

在 $L_{s1}=0.070\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 、 $v_s=3.87\text{m/s}$ 时的条缝宽度 $b=9\text{mm}$ (每条)。

按产品样本,适合上述条件的为双条缝风口,每条风量为 $0.07\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,送风速度为 3.5m/s ,相应射程为 3m 。这种条缝口需要 30m 长,总共3条方可满足大办公室空调要求。

11.9.3 空气分布器

1. 常用空气分布器的型式、特征及适用范围(见表11.9-10。)

常见空气分布器的型式、特征及适用范围

表 11.9-10

空气分布器类型	送风口名称	型式	气流类型及调节性能	适用范围	备注
侧送风口	格栅送风口	叶片固定和叶片可调两种,不带风量调节阀	1.属圆射流; 2.叶片可调格栅,可根据需要调节上、下倾角或扩散角; 3.不能调节风口风量	要求不高的一般空调工程	叶片固定的格栅风口可作回风口用,也可作新风进风口
	单层百叶送风口	叶片横装为H型,竖装为V型,均带有对开式风量调节阀	1.属圆射流; 2.H型可调节竖向仰角或俯角,V型可调节水平扩散角; 3.能调节风口风量	用于一般精度的空调工程	单层百叶风口与过滤器配套使用可作回风口
	双层百叶送风口	外层叶片横装,内层叶片竖装为HV型;外层叶片竖装,内层叶片横装为VH型。两种型式均带有对开式风量调节阀,也可装配可调式导流片	1.属圆射流; 2.外层叶片可调,可根据需要调节竖向仰角或俯角,以及调节水平扩散角; 3.能调节风口风量	用于公共建筑的舒适性空调,以及精度较高的工艺性空调	叶片可调成A、B、C、D四种出风角度,调节范围为 $0^\circ \sim 18^\circ$
	条缝形百叶送风口	长宽比大于10,叶片横装可调的格栅风口,或者与对开式风量调节阀组装在一起的条缝百叶风口	1.属平面射流; 2.根据需要可调节上、下倾角; 3.必要时也可调节风量	可作风机盘管出风口,也可用于一般的空调工程	

续表

空气分布器类型	送风口名称	型式	气流类型及调节性能	适用范围	备注
散流器	圆形(方形)直片式散流器	扩散圈为三层锥面, 拆装方便。可与单开阀板式或双开阀板式风量调节阀配套使用	1. 扩散圈挂在上档呈下送流型, 挂在下面一档呈平送贴附流型; 2. 能调节送风量	用于公共建筑的舒适性空调和工艺空调	
	圆盘型散流器	圆盘呈倒蘑菇形, 拆装方便。可与单开或双开阀板式风量调节阀配套使用	1. 圆盘挂在上档时呈下送流型, 挂在下面一档呈平送贴附流型; 2. 能调节送风量	同上	
	流线型散流器	散流器及其扩散圈呈流线型, 可调节风量	气流呈下送流型, 采用密集布置	用于净化空调	
	方(矩)形散流器	扩散圈的型式有10多种, 可形成1~4个不同的送风方向, 可与对开式多叶调节阀, 或单开阀板式风量调节阀配套使用, 拆装方便	1. 平送贴附流型; 2. 能调节送风量	用于公共建筑舒适性空调	
	条缝形(线形)散流器	长宽比很大, 叶片单向倾斜为一面送风, 叶片双向倾斜为两面送风	气流呈平送贴附流型	用于公共建筑舒适性空调	
喷射式送风口	圆形喷口	出口带较小收缩角度	属于圆射流, 不能调节风量	用于公共建筑和高大厂房一般空调	
	矩形喷口	出口渐缩, 与送风管流量调节阀配合使用	属于圆射流, 能调节送风量		
	球形旋转风口	带较短的圆柱喷口与转动球体相连接	属于圆射流, 既能调节气流方向, 又能调节送风量	用于空调和通风岗位送风	
流送风口 无芯管旋流	圆柱型旋流送风口	由风口壳体和无芯管起旋器组装而成, 带风量调节阀	向下吹出流型	用于公共建筑和工业厂房的一般空调	
	旋流吸顶散流器		可调成吹出流型和贴附流型		
	旋流凸缘散流器		可调成吹出流型、冷风散流型和热风贴附型		
条形送风口	活叶条形散流器	长宽比十分大, 在槽内采用两个可调叶片来控制气流方向, 有单一段、中间段、尾段和角形段等形式, 有单组型和多组型	1. 可调成平送贴附流型, 也可调成垂直下送流型, 可使气流朝一侧送出, 也可朝两侧送出; 2. 能关闭送风口	用于公共建筑舒适性空调	
板扩散风口	扩散孔板风口	由铝合金孔板和高效过滤器组成的高效过滤送风口	乱流流型	用于乱流洁净室的末端送风装置, 也可作为净化系统的送风口	

2. 常用空气分布器的选用简表

(1) 双层百叶风口性能表 (表11.9-11)

(2) 圆形(多层锥面型)散流器性能表 (表11.9-12)

表 11.9-11

双 层 百 叶 风 口 性 能 表

风 口 规 格 (m.m × m.m)		120 × 120		160 × 120		200 × 120 160 × 160		250 × 120 200 × 160		250 × 200 320 × 160		250 × 250 320 × 200		320 × 250 400 × 200	
颈 部 风 速 (m/s)	全 压 损 失 (Pa)	风 量 (m ³ /h)	射 程 (m)	风 量 (m ³ /h)	射 程 (m)	风 量 (m ³ /h)	射 程 (m)	风 量 (m ³ /h)	射 程 (m)	风 量 (m ³ /h)	射 程 (m)	风 量 (m ³ /h)	射 程 (m)	风 量 (m ³ /h)	射 程 (m)
1.0 (0.60)	A 1.90	52	1.74	2.00	2.24	2.51	2.89	3.24	3.62	4.09	4.56	5.03	5.50	5.97	6.44
	B 2.01		0.95	1.09	1.22	1.37	1.58	1.76	1.97	2.23	2.50	2.77	3.04	3.31	3.58
	C 2.32		0.88	1.02	1.14	1.28	1.47	1.65	1.84	2.03	2.22	2.41	2.60	2.79	2.98
	D 2.85		0.62	0.72	0.80	0.89	1.03	1.15	1.29	1.46	1.61	1.76	1.91	2.06	2.21
2.0 (2.41)	A 7.59	104	2.64	3.41	3.41	3.81	4.40	4.92	5.50	6.08	6.66	7.24	7.82	8.40	8.98
	B 8.04		1.67	2.15	2.41	2.78	3.11	3.47	3.84	4.21	4.58	4.95	5.32	5.69	6.06
	C 9.29		1.58	1.82	2.03	2.27	2.63	2.94	3.28	3.62	3.96	4.30	4.64	4.98	5.32
	D 11.41		0.95	1.09	1.22	1.36	1.58	1.76	1.97	2.23	2.50	2.77	3.04	3.31	3.58
3.0 (5.42)	A 17.07	156	3.17	3.66	4.09	4.54	5.28	5.91	6.60	7.24	7.87	8.51	9.15	9.79	10.43
	B 18.10		2.09	2.41	2.70	3.02	3.48	3.89	4.35	4.81	5.27	5.73	6.19	6.65	7.11
	C 20.91		1.98	2.29	2.56	2.86	3.30	3.69	4.13	4.57	5.01	5.45	5.89	6.33	6.77
	D 25.68		1.14	1.31	1.47	1.64	1.89	2.12	2.37	2.68	2.93	3.18	3.43	3.68	3.93
4.0 (9.63)	A 30.34	207	3.54	4.09	4.58	5.12	5.91	6.60	7.38	8.07	8.76	9.45	10.14	10.83	11.52
	B 32.17		2.39	2.76	3.08	3.45	3.98	4.45	4.98	5.45	5.92	6.39	6.86	7.33	7.80
	C 37.18		2.27	2.62	2.93	3.27	3.78	4.22	4.72	5.19	5.66	6.13	6.60	7.07	7.54
	D 45.66		1.27	1.47	1.64	1.83	2.12	2.37	2.65	2.93	3.21	3.49	3.77	4.05	4.33
5.0 (15.05)	A 47.41	259	3.84	4.43	4.95	5.54	6.39	7.15	7.99	8.76	9.53	10.30	11.07	11.84	12.61
	B 50.27		2.62	3.03	3.38	3.78	4.37	4.88	5.46	6.04	6.62	7.20	7.78	8.36	8.94
	C 58.09		2.49	2.87	3.21	3.59	4.15	4.64	5.19	5.73	6.28	6.82	7.37	7.91	8.46
	D 71.34		1.38	1.59	1.78	1.99	2.29	2.56	2.87	3.14	3.41	3.68	3.95	4.22	4.49

风口规格 (mm × mm)		400 × 250 500 × 200 320 × 320		500 × 250 400 × 320		630 × 250 400 × 400 500 × 320		500 × 400 630 × 320		630 × 400 800 × 320		800 × 400 1000 × 320		1000 × 400	
颈部风速 (m/s)	吹出 角度 (Pa)	风量 (m ³ /h)	射程 (m)	风量 (m ³ /h)	射程 (m)	风量 (m ³ /h)	射程 (m)	风量 (m ³ /h)	射程 (m)	风量 (m ³ /h)	射程 (m)	风量 (m ³ /h)	射程 (m)	风量 (m ³ /h)	射程 (m)
1.0 (0.60)	A	360	4.58	450	567	720	5.12	720	907	1152	7.26	1440	1440	1440	9.15
	B		2.79				3.53				4.46				5.00
	C		2.60				3.29				4.17				4.66
	D		1.83				2.31				2.92				3.27
2.0 (2.41)	A	720	6.96	900	1440	1815	7.78	1440	2304	2880	11.05	2880	2880	2880	13.92
	B		4.91				6.22				7.86				8.79
	C		4.64				5.87				7.43				8.30
	D		2.79				3.52				4.46				4.98
3.0 (5.42)	A	1080	8.35	1350	1700	2160	9.34	2160	3456	4320	13.26	4320	4320	4320	16.70
	B		6.16				7.79				9.85				11.01
	C		5.83				7.38				9.33				10.44
	D		3.35				4.23				5.35				5.99
4.0 (9.63)	A	1440	9.34	1800	2268	3629	10.44	3629	4608	5760	14.83	5760	5760	5760	18.68
	B		7.04				8.90				11.26				12.59
	C		6.68				8.45				10.69				11.95
	D		3.74				4.74				5.99				6.70
5.0 (15.05)	A	1800	10.11	2250	2835	4536	11.30	4536	5760	7200	16.04	7200	7200	7200	20.21
	B		7.72				9.77				12.35				13.81
	C		7.34				9.28				11.71				13.12
	D		4.05				5.13				6.49				7.25

(3) 球形旋转风口性能表 (表11.9-13)

(4) 无芯管旋流风口的性能计算公式 (表11.9-14)

① 顶送冷风吹出型性能表 (表11.9-15)

② 顶送冷风散流型性能表 (表11.9-16)

③ 顶送冷风贴附型性能表 (表11.9-17)

④ 顶送热风吹出型性能表 (表11.9-18)

圆形(多层锥面型)散流器性能表

表 11.9-12

颈部风速 (m/s)	2		3		4		5		6		7	
动 压 (Pa)	2.41		5.42		9.63		15.05		21.67		29.50	
全压损失 (Pa)	7.28		16.37		28.27		45.45		65.44		89.09	
颈部名义直径D (mm)	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)
120	90	0.58	140	0.81	190	1.17	240	1.46	280	1.73	330	1.88
150	130	0.69	200	0.97	270	1.40	340	1.74	400	2.06	470	2.25
200	240	0.92	360	1.29	480	1.87	590	2.32	710	2.75	830	2.99
250	370	1.16	560	1.62	750	2.34	930	2.90	1120	3.44	1310	3.75
300	540	1.39	800	1.94	1070	2.80	1340	3.48	1610	4.13	1880	4.50
350	720	1.60	1080	2.21	1430	3.24	1790	4.02	2150	4.77	2510	5.20
400	930	1.83	1100	2.56	1860	3.69	2330	4.59	2800	5.41	3260	5.93
450	1180	2.06	1770	2.88	2360	4.16	2950	5.16	3540	6.12	4130	6.67
500	1460	2.29	2190	3.20	2920	4.62	3650	5.72	4380	6.81	5110	7.42

球形旋转风口性能表

表 11.9-13

型 号		14		22		32		40	
出风口直径 (mm)		65		110		160		200	
连接风管直径 (mm)		140		220		320		400	
出风口速度 (m/s)	全压损失 (Pa)	风量 (m^3/h)	射程 (m)	风量 (m^3/h)	射程 (m)	风量 (m^3/h)	射程 (m)	风量 (m^3/h)	射程 (m)
2.0	5.25	24	0.73	68	3.24	145	4.71	226	5.88
3.0	11.81	36	2.03	103	4.48	217	6.52	339	8.15
4.0	21.00	48	2.95	137	5.37	290	7.81	452	9.76
5.0	32.81	60	3.66	171	6.06	362	8.81	565	11.01
6.0	47.24	72	4.25	205	6.62	434	9.62	679	12.03
7.0	64.31	84	4.74	239	7.09	507	10.31	792	12.89
8.0	83.99	96	5.17	274	7.50	579	10.91	905	13.64
9.0	106.30	108	5.55	308	7.86	650	11.44	1018	14.30
10.0	131.24	119	5.88	342	8.19	724	11.91	1130	14.89

无芯管旋流风口性能计算公式一览表

表 11.9-14

流 型	最大风速衰减规律	最大送风射程	最大温差衰减规律
顶送冷风吹出型	$v_{x^{max}} = 1.36v_0 \left(\frac{x}{\sqrt{F_0}} \right)^{-0.815}$	$x_{max} = 1.36\sqrt{F_0} \left(\frac{v_0}{0.5} \right)^{1.23}$	$\Delta t_{x^{max}} = \Delta t_s \left(\frac{x_{max}}{\sqrt{F_0}} \right)^{-1.27}$
顶送冷风散流型	$v_{x^{max}} = 0.34v_0 \left(\frac{x}{\sqrt{F_0}} \right)^{-0.525}$	$x_{max} = 0.128\sqrt{F_0} \left(\frac{v_0}{0.5} \right)^{1.90}$	$\Delta t_{x^{max}} = 0.45\Delta t_s \left(\frac{x}{\sqrt{F_0}} \right)^{1.06}$
顶送冷风贴附型	$v_{x^{max}} = 0.75v_0 \left(\frac{x}{\sqrt{F_0}} \right)^{-0.815}$	$x_{max} = 0.703\sqrt{F_0} \left(\frac{v_0}{0.5} \right)^{1.23}$	
顶送热风吹出型		$x_{max} = 3.64\sqrt{F_0} (\Delta T)^{0.325}$ $x_{max} = 1.733v_0^{0.65} T_n^{0.325}$ $F_0^{0.317} \Delta t_s^{-0.325}$	

符号说明: F_0 —送风口颈部截面积; Δt_s —送风温差; v_0 —送风口颈部平均风速; x —从风口平面到计算断面的距离; T_n —工作区的温度, ($T_n + 273$)。

旋流风口顶送冷风吹出型性能表

表 11.9-15

D_0 (mm)	$\sqrt{F_0}$ (m)	颈部风速 v_0 (m/s)	动 压 (Pa)	全压损失 (Pa)	射程 x (m)									
					3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0		
					5.42	7.37	9.63	12.19	15.05	21.67	29.50	38.53		
					13.27	18.07	23.60	29.87	36.87	53.10	72.27	94.39		
250	0.221	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)		530	618	707	795	883	1060	1236	1413		
					2.91	3.52	4.15	4.79	5.45	6.82	8.24	9.71		
320	0.283	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)		868	1013	1158	1302	1447	1736	2026	2315		
					3.73	4.51	5.31	6.13	6.98	8.73	10.55	12.43		
400	0.354	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)		1356	1583	1809	2035	2260	2713	3165	3617		
					4.66	5.63	6.64	7.67	8.73	10.91	13.19	15.53		
500	0.443	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)		2119	2473	2826	3179	3533	4239	4946	5652		
					5.83	7.04	8.30	9.59	10.91	13.64	16.48	19.42		
射程 x 处的最大温差 $\Delta t_{x^{max}}$ $t_n - t_{x^{max}}$	送风温差 Δt_s (°C)	6	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.07	0.06	0.05				
		7	0.27	0.21	0.17	0.14	0.12	0.09	0.07	0.06				
		8	0.30	0.24	0.19	0.16	0.14	0.10	0.08	0.07				
		9	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15	0.12	0.09	0.07				
		10	0.38	0.30	0.24	0.20	0.17	0.13	0.10	0.08				
		11	0.42	0.33	0.27	0.22	0.19	0.14	0.11	0.09				
		12	0.45	0.36	0.29	0.24	0.21	0.15	0.12	0.09				

旋流风口顶送冷风散流型性能表

表 11.9-16

D_0 (mm)	$\sqrt{F_0}$ (m)	颈部风速 v_0		3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	
		动 压 (Pa)	全压损失 (Pa)	5.42	7.37	9.63	12.19	15.05	21.67	29.50	38.53	
250	0.221	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	530	618	707	795	883	1060	1236	1413	
320	0.283	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	868	1013	1158	1302	1447	1736	2026	2315	
400	0.354	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	1356	1583	1809	2035	2260	2713	3165	3617	
500	0.443	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	2119	2473	2826	3179	3533	4239	4946	5652	
射程 x 处的最大温差 $\Delta t_{max}^{m,xx} = t_n - t_x^{m,xx}$		送风温差 Δt_s (°C)		6	0.65	0.47	0.36	0.29	0.25	0.16	0.12	0.09
		7	0.75	0.55	0.42	0.33	0.27	0.19	0.14	0.10		
		8	0.86	0.63	0.48	0.38	0.31	0.21	0.16	0.12		
		9	0.97	0.71	0.54	0.43	0.35	0.24	0.18	0.13		
		10	1.08	0.79	0.60	0.48	0.39	0.27	0.20	0.15		
		11	1.19	0.87	0.66	0.52	0.42	0.29	0.22	0.16		
		12	1.29	0.95	0.72	0.57	0.46	0.32	0.23	0.18		

旋流风口顶送冷风贴附型性能表

表 11.9-17

D_0 (mm)	$\sqrt{F_0}$ (m)	颈部风速 v_0		3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0
		动 压 (Pa)	全压损失 (Pa)	5.42	7.37	9.63	12.19	15.05	21.67	29.50	38.53
250	0.221	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	530	618	707	795	883	1060	1236	1413
320	0.283	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	868	1013	1158	1302	1447	1736	2026	2315
400	0.354	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	1356	1583	1809	2035	2260	2713	3165	3617
500	0.443	风量 L_s (m^3/h)	射程 x (m)	2119	2473	2826	3179	3533	4239	4946	5652

旋流风口顶送热风吹出型性能表

表 11.9-18

D_0 (mm)	$\sqrt{F_0}$ (m)	颈部风速 v_0 (m/s)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	
		动 压 (Pa)	5.42	7.37	9.63	12.19	15.05	21.67	29.50	38.53	
		全压损失 (Pa)	13.27	18.07	23.60	29.87	36.87	53.10	72.27	94.39	
250	0.221	风量 L_v (m ³ /h)	530	618	707	795	883	1060	1236	1413	
		最大射程	$t_n = 16^\circ\text{C}$	3.82	4.23	4.61	4.98	5.33	6.00	6.63	7.24
			$t_n = 18^\circ\text{C}$	3.83	4.21	4.62	4.99	5.34	6.01	6.65	7.25
		x (m)	$t_n = 20^\circ\text{C}$	3.84	4.25	4.63	5.00	5.35	6.03	6.66	7.27
			$t_n = 22^\circ\text{C}$	3.85	4.26	4.64	5.01	5.37	6.04	6.68	7.28
320	0.283	风量 L_v (m ³ /h)	868	1013	1158	1302	1447	1736	2026	2315	
		最大射程	$t_n = 16^\circ\text{C}$	4.52	4.99	5.45	5.88	6.30	7.09	7.83	8.55
			$t_n = 18^\circ\text{C}$	4.53	5.00	5.46	5.89	6.31	7.10	7.85	8.56
		x (m)	$t_n = 20^\circ\text{C}$	4.54	5.02	5.47	5.91	6.32	7.12	7.87	8.58
			$t_n = 22^\circ\text{C}$	4.55	5.03	5.48	5.92	6.34	7.14	7.89	8.60
400	0.354	风量 L_v (m ³ /h)	1356	1583	1809	2085	2260	2713	3165	3617	
		最大射程	$t_n = 16^\circ\text{C}$	5.25	5.80	6.33	6.83	7.32	8.24	9.11	9.93
			$t_n = 18^\circ\text{C}$	5.26	5.82	6.34	6.85	7.33	8.26	9.13	9.95
		x (m)	$t_n = 20^\circ\text{C}$	5.27	5.83	6.36	6.86	7.35	8.27	9.15	9.98
			$t_n = 22^\circ\text{C}$	5.29	5.84	6.37	6.88	7.37	8.29	9.17	10.00
500	0.443	风量 L_v (m ³ /h)	2119	2473	2826	3179	3533	4239	4946	5652	
		最大射程	$t_n = 16^\circ\text{C}$	6.10	6.75	7.36	7.94	8.50	9.57	10.58	11.54
			$t_n = 18^\circ\text{C}$	6.12	6.76	7.37	7.96	8.52	9.60	10.61	11.57
		x (m)	$t_n = 20^\circ\text{C}$	6.13	6.78	7.39	7.98	8.54	9.62	10.63	11.60
			$t_n = 22^\circ\text{C}$	6.14	6.79	7.41	8.00	8.56	9.64	10.65	11.62

说明：本性能表是按送风温差 $\Delta t_s = 10^\circ\text{C}$ 编制的。若送风温差不同时，表内查出的射程应乘以修正系数：

Δt_s	8	10	12	14
修正系数	1.07	1.0	0.94	0.89

11.9.4 非等温射流的轨迹、轴心速度和轴心温度衰减计算公式

1. 垂直向下送风 (图11.9-6, a), 可按A.Koestel公式计算

(1) 轴心速度衰减

$$\frac{v_x}{v_s} = K_p \frac{d_s}{x} \left[1 \pm 1.9 \frac{Ar}{K_p} \left(\frac{x}{d_s} \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} \quad (11.9-47)$$

(2) 轴心温度衰减

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_s} = 0.83 \frac{v_x}{v_s} \quad (11.9-48)$$

式(11.9-47)中的正(+)、负(-)号可按以下规定选取: 送冷风时取正(+)号, 送热风时取负(-)号。

2. 水平向下送风 (图11.9-6, b), 可按A.Koestel公式计算:

(1) 射流轨迹方程式

$$\frac{y}{d_s} = \frac{x}{d_s} \operatorname{tg} \beta \pm 0.065 Ar \left(\frac{x}{d_s \cos \beta} \right) \quad (11.9-49)$$

(2) 轴心速度衰减

$$\frac{v_x}{v_s} = K_p \frac{d_s}{x} \quad (11.9-50)$$

(3) 轴心温度衰减

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_s} = 0.83 K_p \frac{d_s}{x} \quad (11.9-51)$$

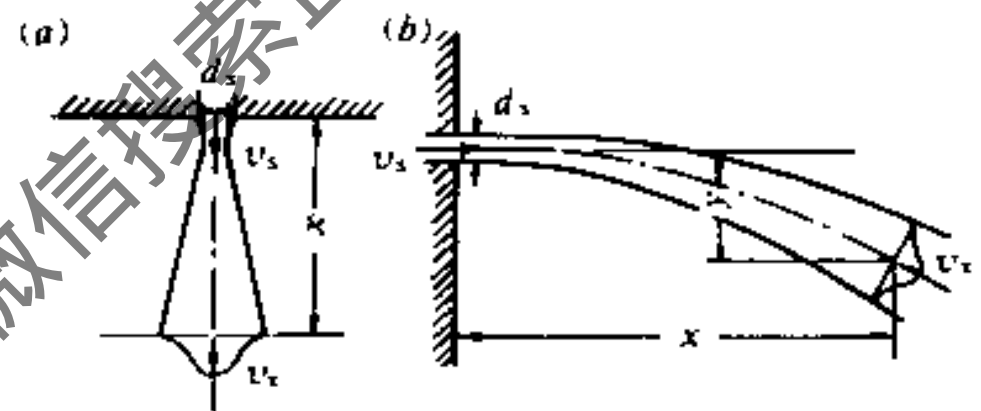


图 11.9-6

式中, K_p 为送风口常数, 对于收缩的圆形喷口 $K_p = 6.5$, 对于圆柱形及矩形喷口 $K_p = 5.0$ 。

3. 大空间多股平行冷射流轴心轨迹和轴心速度衰减, 可按中国建筑科学研究院空气调节研究所提出的实验公式计算

(1) 轴心轨迹方程式

$$\frac{y}{d_s} = \frac{x}{d_s} \operatorname{tg} \beta + 0.812 Ar^{1.158} \left(\frac{x}{d_s \cos \beta} \right)^{2.5} \quad (11.9-52)$$

水平送风 ($\beta = 0$)时

$$\frac{y}{d_s} = 0.812 Ar^{1.158} \left(\frac{x}{d_s} \right)^{2.5} \quad (11.9-53)$$

(实验范围 $Ar = 0.00055 \sim 0.01284$)

(2) 轴心速度衰减

$$\frac{v_x}{v_s} = 3.347 Ar^{0.147} \left(\frac{x}{d_s \cos \beta} \right)^{-1.151} \quad (11.9-54)$$

水平送风 ($\beta = 0$)时

$$\frac{v_x}{v_s} = 3.347 Ar^{0.147} \left(\frac{x}{d_s} \right)^{-1.151} \quad (11.9-55)$$

11.9.5 回 风 口

1. 回风口的布置方式及吸风速度

(1) 回风口不应设在射流区内和人员长时间停留的地点;

(2) 室温允许波动范围 $\Delta t_x = \pm 0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$ 的空调房间, 宜采用双侧多风口均匀回风; $\Delta t_x = \pm 0.5 \sim 1^\circ\text{C}$ 的空调房间, 回风口可布置在房间同一侧; $\Delta t_x > \pm 1^\circ\text{C}$, 且室内参数相同或相近似的多房间空调系统, 可采用走廊回风。

(3) 采用侧送时, 回风口宜设在送风口的同侧; 采用孔板或散流器下送时, 回风口宜设在下部; 采用顶棚回风时, 回风口与照明灯具宜组合成一体。

(4) 回风口的回风量应能调节, 可采用带有对开式多叶阀的回风口, 也可采用设在回风支管上的调节阀。

(5) 回风口的吸风速度按表11.9-19采用。

表 11.9-19

回 风 口 的 位 置		吸风速度(m/s)
房 间 上 部		4.0~5.0
房间下部	不靠近人经常停留的地点时	3.0~4.0
	靠近人经常停留的地点时	1.5~2.0
	用于走廊回风时	1.0~1.5

2. 常用回风口的型式: 单层百叶风口、固定百叶格栅风口、网板风口、篦孔和孔板风口等。也有与过滤器组装在一起的条缝活芯回风口

表11.9-20为篦孔、孔板和网板回风口的性能表。

篦孔、孔板、网板回风口规格和风量表

表 11.9-20(A)

风 口 规 格 (mm × mm)	200 × 200	250 × 200	250 × 250	300 × 200	500 × 200 100 × 250	500 × 250 630 × 200
	风 量 (m ³ /h)					
连接风管速度 (m/s)						
1.0	144	180	225	288	360	450
1.5	216	270	338	432	540	675
2.0	288	360	450	576	720	900
2.5	360	450	563	720	900	1125
3.0	432	540	675	864	1080	1350
3.5	504	630	788	1008	1260	1575
4.0	576	720	900	1152	1440	1800
4.5	648	810	1013	1296	1620	2025
5.0	720	900	1125	1440	1800	2250

续表

风口规格 (mm × mm)	630 × 250	500 × 400	500 × 500	1250 × 250	630 × 630	1000 × 500
	400 × 400	800 × 250	1000 × 250	630 × 500	800 × 500	1250 × 400
连接风管速度 (m/s)	风 量 (m ³ /h)					
	800 × 200	1000 × 200	630 × 400	800 × 400	1000 × 400	1600 × 250
1.0	568	720	900	1135	1440	1800
1.5	850	1080	1350	1700	2160	2700
2.0	1135	1440	1800	2270	2880	3600
2.5	1420	1800	2250	2835	3600	4500
3.0	1700	2160	2700	3400	4320	5400
3.5	1985	2520	3150	3970	5040	6300
4.0	2270	2880	3600	4540	5760	7200
4.5	2550	3240	4050	5105	6480	8100
5.0	2835	3600	4500	5670	7200	9000

篦孔、孔板、网板回风口全压损失表

表 11.9-20(B)

风口名称	篦孔回风口		孔板回风口		网板回风口	
	多叶阀全开	不装多叶阀	多叶阀全开	不装多叶阀	多叶阀全开	不装多叶阀
局部阻力 系数	8.41	8.20	10.84	10.61	4.31	3.96
连接风管速度 (m/s)	全 压 损 失 (Pa)					
1.0	5.06	4.94	6.53	6.39	2.59	2.38
1.5	11.39	11.11	14.68	14.37	5.84	5.36
2.0	20.25	19.75	26.10	25.55	10.38	9.51
2.5	31.61	30.85	40.79	39.92	16.22	14.90
3.0	45.57	44.43	58.73	57.48	23.35	21.46
3.5	62.02	60.17	79.94	78.24	31.78	29.20
4.0	81.01	78.98	101.41	102.20	41.51	38.14
4.5	102.52	99.96	132.15	129.31	52.54	48.27
5.0	126.57	123.41	163.14	159.68	64.87	59.60

11.10 高大建筑物分层空调设计

11.10.1 分层空调适用范围和空调方式

1. 分层空调及其适用范围

分层空调是指仅对下部区域进行空调,而对上部区域不空调的空调方式。与全室空调相比,夏季可节省冷量30%左右,因而节省初投资和运行能耗。但冬季空调并不节能。

分层空调适用于高大建筑物,当建筑物高度 $H \geq 10\text{m}$,建筑物体积 $V > 1\text{万m}^3$,空调区高度与厂房高度之比 $h_1/H < \frac{1}{2}$ 时,才经济合理。

2. 分层空调方式

设计分层空调时,以送风口中心作为分层面,将整个高大建筑物在垂直方向分为二个区域,分层面以下的空间为空调区,分层面以上的空间为非空调区。而工作区则为高大建筑物所要求必须保证温湿度参数的区域,一般为设备的高度,作为舒适性空调,一般可取2m高。如图11.10-1所示。

在满足使用要求的前提下,分层高度 h_1 越低越节能,可由下式计算确定:

$$h_1 = h + y + h_a \quad (11.10-1)$$

式中 h ——工作区高度, m;

y ——射流垂直落差, m;

h_a ——安全值,对恒温车间取0.3m,一般舒适性空调可不考虑。

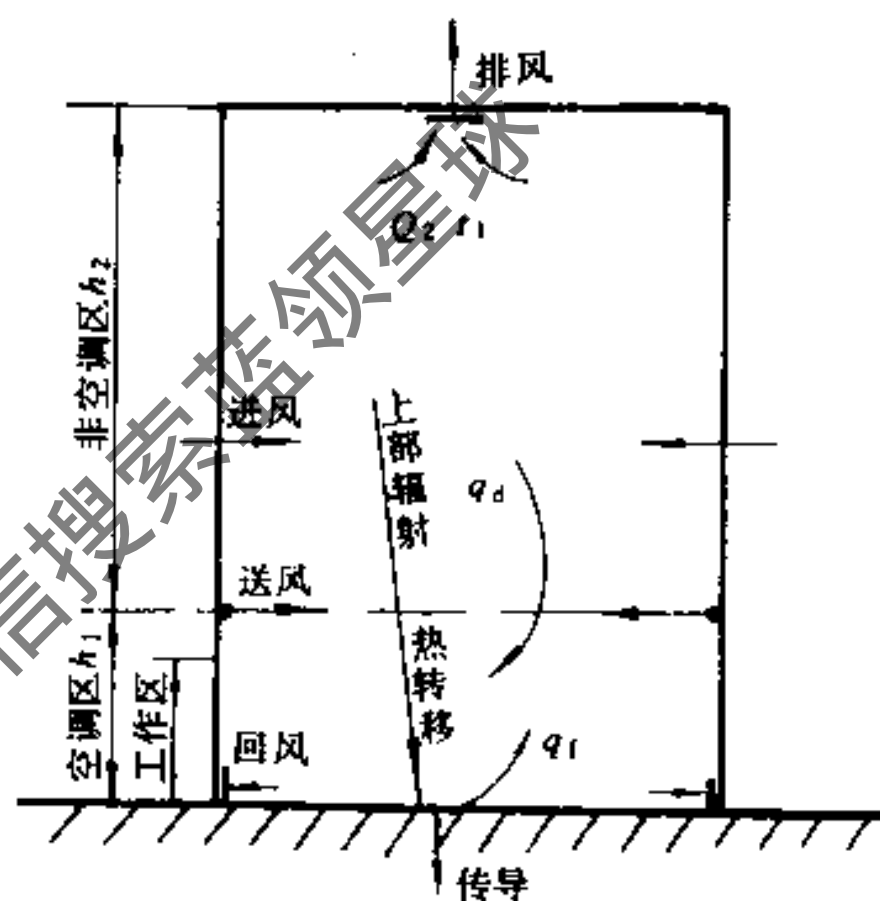


图 11.10-1 分层空调示意图

11.10.2 分层空调负荷计算

分层空调负荷计算主要指的是夏季分层空调冷负荷计算,至于冬季,则必须按全室采暖方式进行计算。特别是冬季在没有设置空气幕而且上下温度很不均匀时,则必须按照垂直方向温度梯度来确定上部的气温,然后计算围护结构耗热量。

空调区夏季分层空调冷负荷计算,在进行规划设计估算时,可采用经验系数法,即对分层空调建筑物按全室空调方法进行冷负荷计算,然后乘以经验系数 a , $a =$

$\frac{\text{空调区分层空调冷负荷}}{\text{全室空调冷负荷}}$,常由特定性质的高大建筑物,经实测与计算得出,通常 $a = 0.5$

~ 0.85 ,当缺乏数据时,可取 $a = 0.7$ 。

在进行正式设计时,须按下述方法进行计算。

1. 空调区冷负荷的组成

$$q_{c1} = q_{1w} + q_{1n} + q_x + q_f + q_d \quad \text{W} \quad (11.10-2)$$

式中 q_{c1} ——空调区分层空调冷负荷, W;

q_{1w} ——通过空调区外围护结构得热形成的冷负荷, W;

q_{1n} ——空调区内部热源散热形成的冷负荷, W;

q_x ——空调区室外新风或渗透风形成的冷负荷, W;

q_r ——非空调区向空调区辐射热转移形成的冷负荷, W;

q_d ——非空调区向空调区对流热转移形成的冷负荷, W。

q_{1w} 、 q_{1n} 、 q_x 按全室空调冷负荷计算方法计算, q_r 、 q_d 按下述方法计算。

2. 非空调区向空调区辐射热转移形成的冷负荷 q_r

(1) 辐射热转移量 Q_r 可按下式计算:

$$Q_r = C_1 (\Sigma Q_{id} + \Sigma Q_{rd})$$

$$= C_1 \left\{ \Sigma \varphi_{id} F_i \varepsilon_i \varepsilon_d C_0 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_d}{100} \right)^4 \right] + \rho_d \varphi_{chd} F_{ch} J_{ch} \right\} W \quad (11.10-3)$$

式中 ΣQ_{id} ——非空调区各个面对地板的辐射换热量, W;

ΣQ_{rd} ——透过非空调区玻璃窗被地板接受的日射得热量, W;

C_1 ——系数, 取1.3;

φ_{id} ——非空调区各个面对地板的形态系数, 见图11.10-2和图11.10-3;

F_i ——计算表面积, m^2 ;

$\varepsilon_i, \varepsilon_d$ ——非空调区各个面和地板的表面材料黑度;

C_0 ——黑体的辐射系数, $C_0 = 5.68 W/m^2 \cdot k^4$;

T_i, T_d ——非空调区各个面和地板的绝对温度, K;

ρ_d ——空调区地板吸收率, 见表11.10-1;

φ_{chd} ——非空调区外窗对地板的形态系数见图11.10-2和图11.10-3;

F_{ch} ——非空调区外窗的面积, m^2 ;

J_{ch} ——透过非空调区外窗的太阳辐射强度, W/m^2 。

常用建筑材料黑度和吸收率

表 11.10-1

材 料 名 称	黑 度 ε	吸 收 率 ρ
玻 璃	0.94	
水泥地面	0.88	0.56 ~ 0.73
石灰粉刷	0.94	0.48
抹白灰墙	0.92	0.29
刷油漆构件	0.92 ~ 0.96	0.75
铝箔贴面	0.05 ~ 0.2	0.15

(2) 辐射热转移形成的冷负荷 q_r

$$q_r = C_2 Q_r \quad W \quad (11.10-4)$$

式中 C_2 ——冷负荷系数, 通常 $C_2 = 0.45 \sim 0.72$, 对一般空调可取 $C_2 = 0.5$ 。

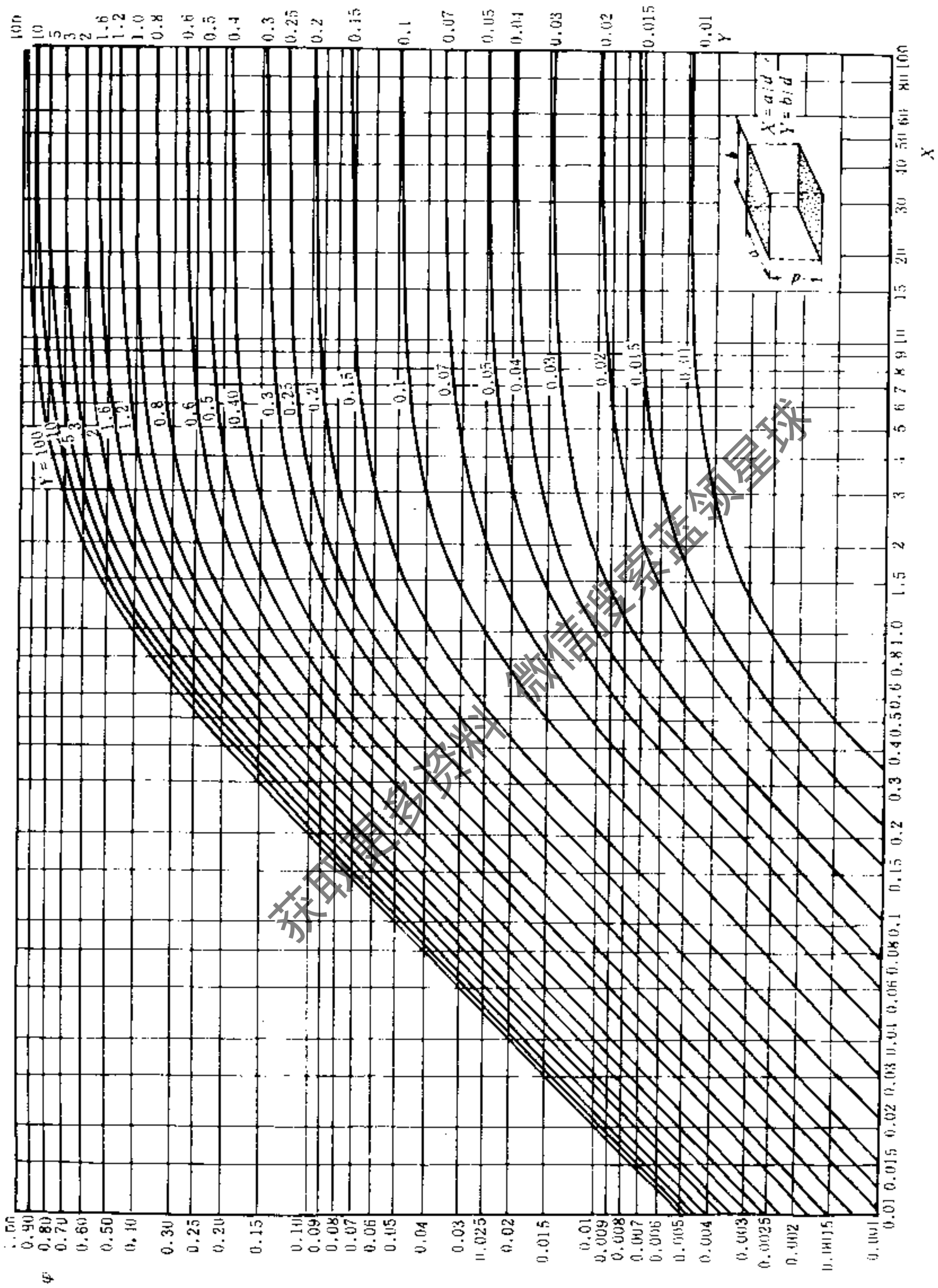


图 11.10.2 形态系数图 (一)

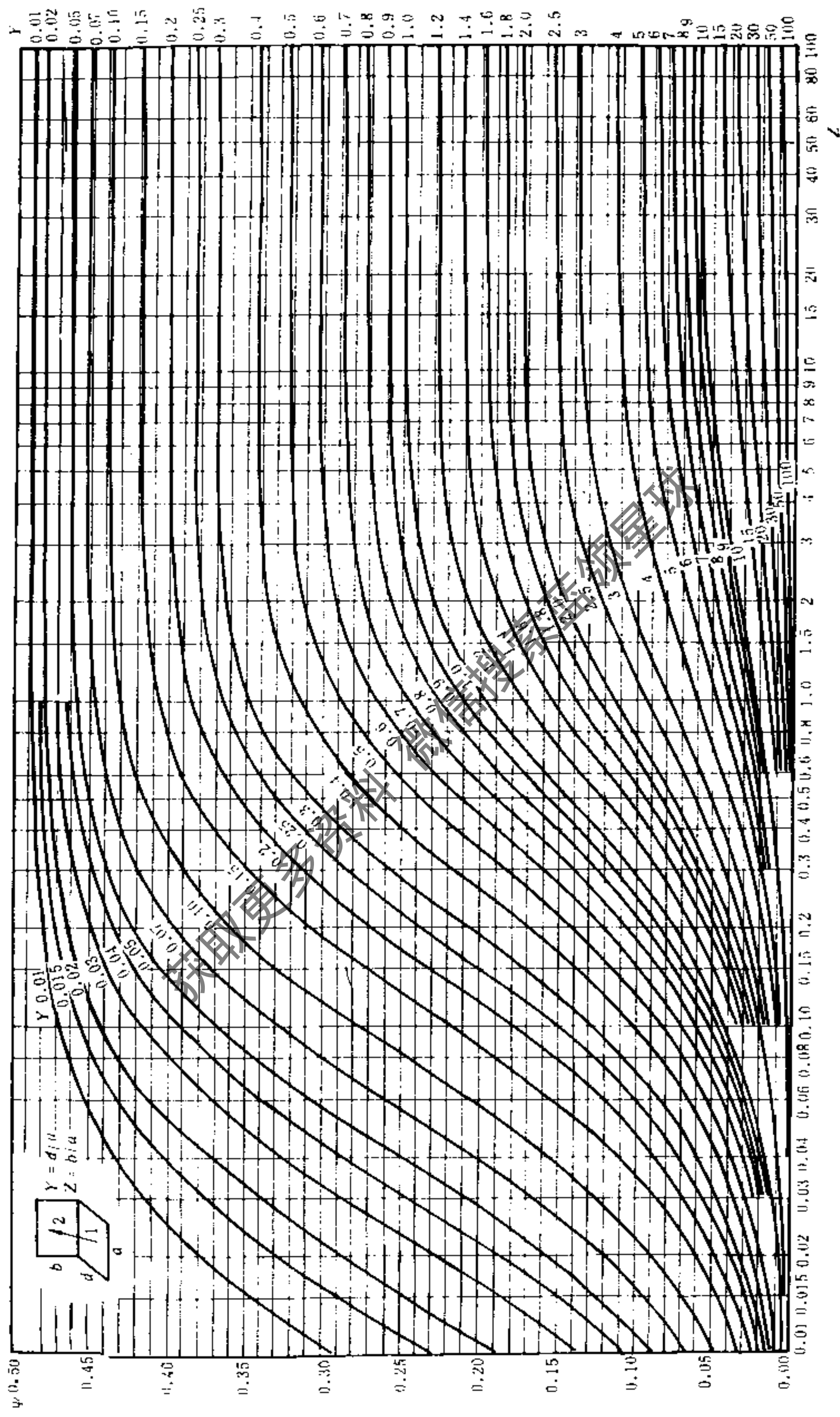


图 11.10.3 形态系数图(二)

3. 非空调区向空调区对流热转移形成的冷负荷 q_d

$$Q_1 = \text{空调区热量} \\ = q_{1w} + q_{1n} + q_x + q_f \quad \text{W} \quad (11.10-5)$$

$$q_1 = \text{空调区热强度} = \frac{Q_1}{V_1} \quad \text{W/m}^3$$

$$Q_2 = \text{非空调区热量} \\ = Q_{2w} + Q_{2n} - Q_f \quad \text{W} \quad (11.10-6)$$

$$q_2 = \text{非空调区热强度} = \frac{Q_2}{V_2} \quad \text{W/m}^3$$

$$Q_p = \text{非空调区排热量} \\ = 1.01\rho V_2 n_2 \Delta t_p / 3600 \quad \text{kW} \quad (11.10-7)$$

$\overline{Q_2/Q_1}$ ——非空调区与空调区热量比;
 $\overline{q_2/q_1}$ ——非空调区与空调区热强度比;
 $\overline{Q_p}$ ——非空调区的排热率;
 $\overline{q_d}$ ——无因次对流热转移负荷。

式中 Q_{2w} ——通过非空调区外围护结构的得热量, W;
 Q_{2n} ——非空调区内部热源散热量, W;
 V_1, V_2 ——空调区和非空调区体积, m^3 ;
 1.01——空气定压比热, $\text{kJ/kg}\cdot\text{C}$;
 ρ ——空气密度, kg/m^3 ;
 n_2 ——非空调区换气次数, 次/h;
 Δt_p ——进排风温差, 可取 $2\sim 3\text{C}$ 。

根据 q_2/q_1 和 Q_p/Q_2 , 查图 11.10-4, 即可求得 $\overline{q_d}$ 值。

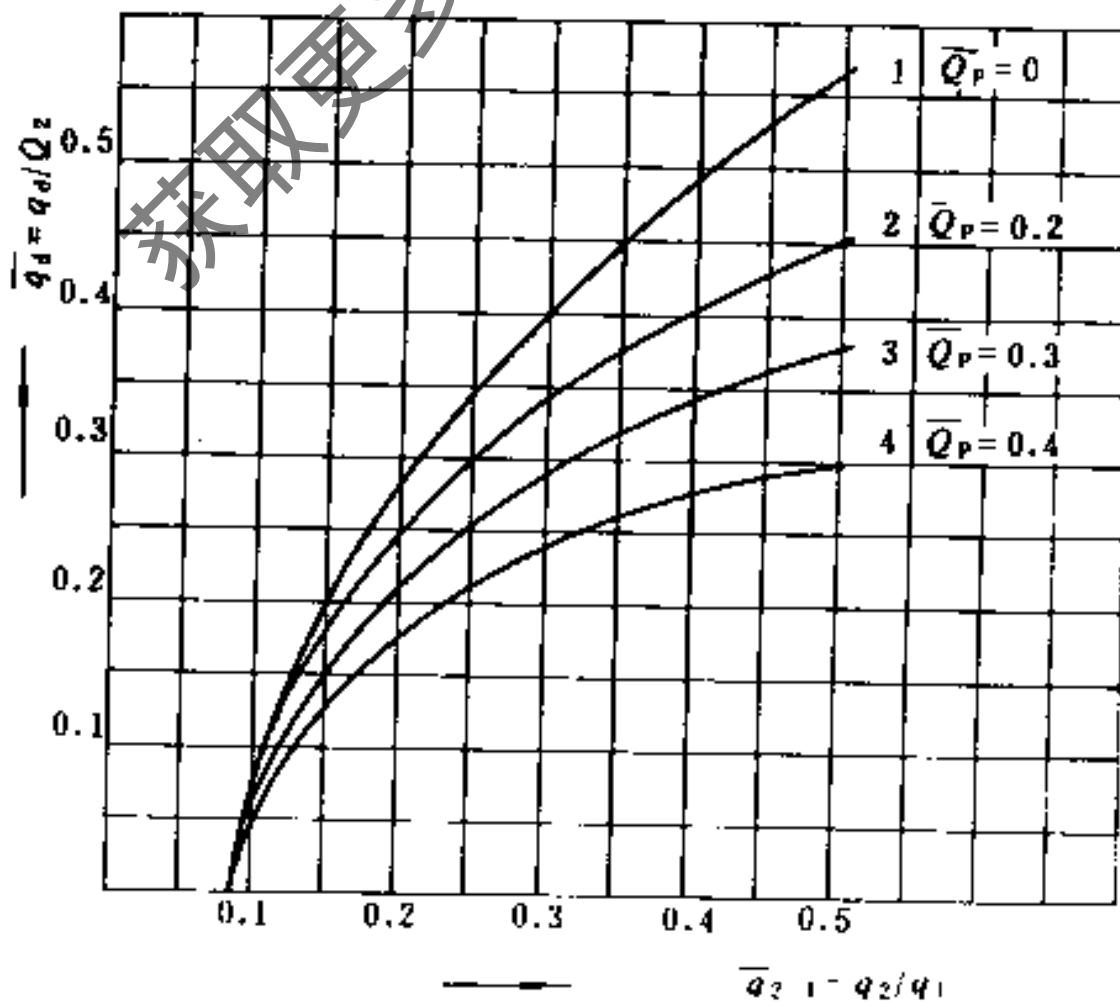


图 11.10-4 分层空调对流热转移负荷

4. 热转移负荷计算例题

【例】南京市某装配车间，单层，车间长宽高为 $24 \times 12 \times 14.6\text{m}$ ，工作区高度 2.7m ，两面外墙，墙厚为 240mm ，南北外墙上各有高侧窗 $1.5 \times 1.8\text{m}$ 共16个，北外墙上还有下侧窗 $1.5 \times 1.8\text{m}$ 共16个，均为单层玻璃窗，车间密封良好。

屋盖 $K = 1.02\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ ， $\varepsilon = 0.88$

外墙 $K = 2.04\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ ， $\varepsilon = 0.92$

外窗 $K = 6.4\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ ， $\varepsilon = 0.94$

地面 $K = 0.47\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ ， $\varepsilon = 0.88$ ， $\rho = 0.63$

室内空调区计算温度 $t_1 = 27\text{C}$

夏季空调室外计算干球温度 $t_w = 35.2\text{C}$

夏季空调室外日平均温度 $t_w = 32\text{C}$

试计算分层空调热转移负荷

【解】

(1) 计算非空调区的室内温度 t_2

$$t_2 = \frac{1}{2}(t_1 + t_{2d}) \quad (11.10-8)$$

式中 t_{2d} ——屋盖下表面附近空气温度或排风温度。

$$\begin{aligned} t_{2d} &= t_w + 2 \sim 3\text{C} \\ &= 35.2 + 3 \\ &= 38.2\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore t_2 &= \frac{1}{2}(27 + 38.2) \\ &= 32.6\text{C} \end{aligned}$$

(2) 确定分层高度 h_1

由气流组织确定落差 $y = 1.25\text{m}$

$$\begin{aligned} h_1 &= h + y + h_a \\ &= 2.7 + 1.25 + 0.3 \\ &= 4.25\text{m} \end{aligned}$$

(3) 分别计算非空调区和空调区外围护结构进入的热量和内部散热量，

$$Q_{2w} = 36860\text{W}$$

$$Q_{2n} = 0\text{W}$$

$$q_{1w} = 16459\text{W}$$

$$q_{1n} = 14235\text{W}$$

(4) 计算非空调区和空调区各个内表面温度 τ

$$\tau = t_n + K \Delta t_{zn} / \alpha_n \quad \text{C} \quad (11.10-9)$$

式中 t_n ——室内计算温度，空调区为 t_1 ，非空调区为 t_2 ， C ；

K ——外围护结构传热系数， $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ ；

Δt_{zn} ——综合温差。对于窗，不包括透过玻璃窗的太阳辐射热部分， C 。可按《空气调节设计手册》进行计算；

α_n ——外围护结构内表面放热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$, 一般取 $8.72 W/m^2 \cdot ^\circ C$

按上式计算结果如下:

非空调区:

$$\text{南窗} \quad \tau = 32.6 + \frac{6.4 \times 4.5}{8.72} = 35.9^\circ C$$

$$\text{北窗} \quad \tau = 32.6 + \frac{6.4 \times 4.5}{8.72} = 35.9^\circ C$$

$$\text{东墙} \quad \tau = 32.6 + \frac{2.04 \times 8.9}{8.72} = 34.68^\circ C$$

$$\text{西墙} \quad \tau = 32.6 + \frac{2.04 \times 8.9}{8.72} = 34.68^\circ C$$

$$\text{南墙} \quad \tau = 32.6 + \frac{2.04 \times 5.9}{8.72} = 33.98^\circ C$$

$$\text{北墙} \quad \tau = 32.6 + \frac{2.04 \times 4.4}{8.72} = 33.63^\circ C$$

$$\text{屋盖} \quad \tau = 32.6 + \frac{1.02 \times 29.28}{8.72} = 36.02^\circ C$$

空调区:

$$\text{地板} \quad \tau = 27 + \frac{0.47 \times 21}{8.72} = 28.13^\circ C$$

(5) 计算非空调区各个面对空调区地板的形态系数 φ_{id}

按各个面相对尺寸, 查图得出 φ_{id} 如下,

	φ_{id} 值						
	屋盖 1	北墙 2	南墙 3	东墙 4	西墙 5	北高侧窗 N	南高侧窗 S
空调区地板1'	0.225	0.148	0.148	0.155	0.155	0.148	0.148

(6) 计算辐射热转移量 Q_r

计算非空调区各个面对地板的辐射换热量

$$\Sigma Q_{id} = \Sigma \varphi_{id} F_i \varepsilon_i \varepsilon_d C_0 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_d}{100} \right)^4 \right], W \quad (11.10-10)$$

计算结果列于下表

ΣQ_{id} 计算表

φ_{id}	F_i	ε_i	ε_d	T_i	T_d	C_0	Q_{id}	
φ_{11}'	0.225	288	0.88	0.88	309.02	301.13	5.68	2565.24
φ_{21}'	0.148	205.2	0.92	0.88	306.63	301.13	5.68	865.86
φ_{31}'	0.148	205.2	0.92	0.88	306.98	301.13	5.68	921.73

续表

$\varphi_{i,d}$		F_i	ε_i	ε_d	T_i	T_d	C_0	Q_d
φ_{41}'	0.155	124.2	0.92	0.88	307.68	301.13	5.68	655.1
φ_{51}'	0.155	124.2	0.92	0.88	307.68	301.13	5.68	655.1
φ_{N1}'	0.148	43.2	0.94	0.88	308.9	301.13	5.68	265.86
φ_{S1}'	0.148	43.2	0.94	0.88	308.9	301.13	5.68	265.86

$$\Sigma Q_{i,d} = 6194.77 \text{ W}$$

计算透过非空调区玻璃窗被地板接受的日射得热量

$$\Sigma Q_{f,d} = \rho_d \varphi_{ch,d} F_{ch} J_{ch}, \text{ W} \quad (11.10-11)$$

计算结果列于下表

$\Sigma Q_{f,d}$ 计算结果

$\varphi_{ch,d}$		F_{ch}	ρ_d	J_{ch}	$Q_{f,d}$
φ_{N1}'	0.148	43.2	0.63	138.4	557.47
φ_{S1}'	0.148	43.2	0.63	296.6	1194.7

$$\Sigma Q_{f,d} = 1752.17 \text{ W}$$

$$Q_f = C_1 (\Sigma Q_{i,d} + \Sigma Q_{f,d}) = 1.3(6194.77 + 1752.17) = 10331 \text{ W}$$

(7) 计算辐射热转移负荷 q_f :

$$\begin{aligned} q_f &= 0.5Q_f \\ &= 0.5 \times 10331 = 5166 \text{ W} \end{aligned}$$

(8) 计算 Q_1 和 Q_2 , q_1 和 q_2

$$\begin{aligned} Q_1 &= q_{1w} + q_{1n} + q_x + q_f \quad (q_x = 0) \\ &= 16459 + 14235 + 0 + 5166 \\ &= 35860 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_{2w} + Q_{2n} - Q_f \\ &= 36860 + 0 - 10331 \\ &= 26529 \text{ W} \end{aligned}$$

空调区体积

$$\begin{aligned} V_1 &= 24 \times 12 \times 4.25 \\ &= 1224 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

非空调区体积

$$\begin{aligned} V_2 &= 24 \times 12 \times 10.35 \\ &= 2980.8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$q_1 = Q_1 / V_1 = 35860 / 1224 = 29.3 \text{ W/m}^3$$

$$q_2 = Q_2 / V_2 = 26529 / 2980.8 = 8.90 \text{ W/m}^3$$

$$q_2 / q_1 = 8.9 / 29.3 = 0.3$$

(9) 计算非空调区排热量 Q_p 和排热率 Q_p / Q_2

因 $q_2 > 4.2 \text{ W/m}^3$, 可以设置进排风装置

若取 $n_2 = 3 \text{ 次/h}$, $\Delta t_p = 3^\circ \text{C}$

$$\begin{aligned} Q_p &= 1.01 \rho \cdot V_2 n_2 \Delta t_p / 3600 \text{ kW} \\ &= 1.01 \times 1.2 \times 2980.8 \times 3 \times 3 / 3600 \\ &= 9.03 \text{ kW} = 9030 \text{ W} \end{aligned}$$

$$Q_p/Q_2 = 9030/26529 = 0.34$$

(10) 由 q_2/q_1 和 Q_p/Q_2 值查图, 得出对流热转移负荷

$$q_d/Q_2 = 0.27$$

$$q_d = 0.27 \times 26529 = 7163\text{W}$$

(11) 空调区冷负荷 q_{c1}

$$q_{c1} = 35860 + 7163 = 43023\text{W}$$

(12) 能量节约率

若按全室空调设计, 得出空调负荷为 71994W, 因此节约率 = $\frac{71994 - 43023}{71994} \times 100\% = 40\%$

11.10.3 分层空调气流组织

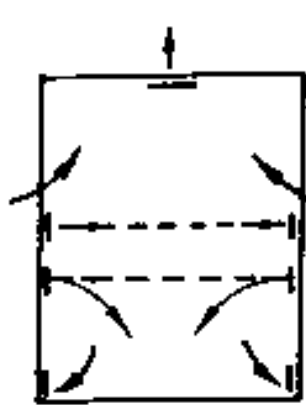
1. 气流组织形式

常用的分层空调气流组织形式及其特点见表 11.10-2。

分层空调气流组织形式

表 11.10-2

序号	分层空调气流组织形式			优点	缺点	实例
	示意图	空调区	非空调区			
1		空调机组或集中系统送风, 下部 100%回风	上部散热量较大时, 由高侧窗自然进风, 屋顶机械排风, 以排除上部热量。冬季停止运行	1. 上部非空调区的排风, 不需要利用空调排风的冷量 2. 气流没有交叉	1. 如室内散逸有害气体与烟尘, 容易使工作区污染 2. 上部进风量较大 3. 如采用屋顶排风器, 数量多、投资大、密封差	南京汽轮机厂 ¹ , 美国格林维尔汽轮机厂, 美国维尔明顿反应堆后处理厂
2		集中空调系统送风, 下部 80%回风	高侧窗自然进风并辅以 20% 空调排风进入非空调区, 屋顶机械排风, 以排除上部热量	1. 气流组织形式简单, 设备费较便宜 2. 充分利用空调排风冷量排除上部热量 3. 有害气体、烟尘向上排走, 减少对工作区污染	1. 冬季会加大温度梯度, 耗热量增加 2. 气流交叉	天津第一机床厂 ² , 美国什里夫波特变压器配电厂
3		集中系统或空调机组送风, 下部 100%回风	非空调区散热量 $q_2 < 4.2\text{W}/\text{m}^3$ 可不设进排风装置	系统简单	建筑物不很高或上部围护结构做得较差时, 向下转移量较大	上海展览馆中央大厅 ³

序号	分层空调气流组织形式		优点	缺点	实例	
	示意图	空调区				非空调区
4		集中系统送风, 下部回风	空气幕为水平送风, 仅在采暖季节采用, 可以部分阻止热气流上升, 适用于有害物和烟尘少的场合, 其效果取决于空气幕的风量风速和温度	1. 冬季可以部分阻止热气流上升, 防止过大的温度梯度 2. 如夏季也使用, 可以减少上部热空气混入送风射流中	1. 增加设备费、管道费和能量消耗 2. 风口风速高, 有些噪声 3. 有时管道不好布置	日本大型精密机械加工场 ⁴ 葛洲坝三江电厂发电机房 ⁵

注: ①空调区采用LN-12机组喷口送风, 下部100%回风, 非空调区高侧窗自然进风, 屋顶排风器机械排风。
 ②空调区集中系统百叶格送风, 15%冷风上升至非空调区排除上部热量, 5%的风量形成室内正压, 80%的风量为回风。冬季时上部排风管变成向下吹风, 使热气流不致上浮。
 ③空调区空调机组百叶格送风, 下部回风, 非空调区设新风口将新风送入空调器。
 ④空调区集中空调系统用诱导送风口, 向下15°送往工作区, 65°斜角送风用以消除侧窗热负荷。下部回风。非空调区水平送风形成空气幕。
 ⑤厂房高度为26m, 跨度为26m, 单侧送回风, 空气幕设在12.8m高度处, 送风口设在6.8m高度处, 回风口设在5.7m高度处。上部自然进风机械排风。

2. 送风口型式

(1) 分层空调送风口须满足以下要求:

①送风角度应调节方便, 使夏季能进行水平送风, 冬季能进行向下斜向送风, 下倾角度大于30°。

②对于集中空调系统或带风管的空调机组, 须考虑设置能使各个风口均匀送风的调节装置, 如下图的调节板, 效果较好, 可满足小于40m长度风管的均匀送风调节效果。

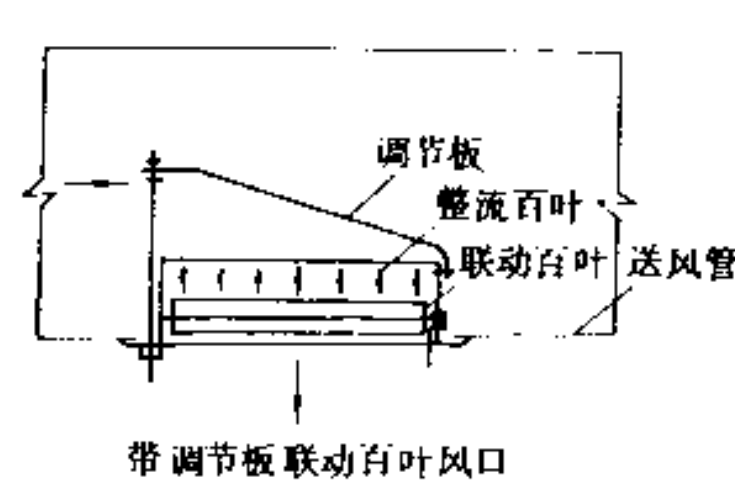
③根据建筑物的具体条件来选择送风口。圆喷口射程最长; 扁喷口平面扩散较快, 落差较大; 百叶风口速度衰减较快。

(2) 集中空调系统几种送风口构造型式

集中空调系统或带风管的空调机组可以配置表11.10-3所列的几种送风口型式, 以满足冬、夏季不同送风角度的要求。

分层空调送风口型式

表 11.10-3

序号	送风口型式	构造特点	优点	缺点
1		1. 第一层百叶片可调节送风角度; 2. 用调节板来调节各个送风口的送风量, 使送风均匀	1. 可满足夏、冬季不同送风角度的要求; 2. 风口送风均匀; 3. 结构简单	人工调节风口送风角度, 较麻烦

续表

序号	送风口型式	构造特点	优点	缺点
2		1. 转动球体和固定球座的材料都应用铝合金, 制造时必须用模具冲压, 不能用手工敲打。出风口可做成圆喷口、矩形喷口或扁喷口 2. 用调节板来调节各个送风口的送风量, 使送风均匀	1. 可满足夏、冬季不同送风角度的要求; 2. 风口送风均匀; 3. 结构简单; 4. 比百叶格风口容易进行人工调节	风口造价较贵
3		波纹管内存以密封的氟甲烷蒸气。当送热风时, 氟甲烷受热膨胀, 波纹管伸长, 通过杠杆带动百叶片向下倾斜, 热风温度愈高, 向下倾斜角度愈大。当改送冷风时, 氟甲烷受冷收缩, 波纹管回缩复原, 带动百叶片恢复水平状态, 这样就起到自动调节百叶片角度的作用	1. 可满足夏、冬季不同送风角度的要求; 2. 风口送风均匀; 3. 自动调节送风角度	风口造价很贵

3. 气流组织计算

图11.10-5为分层空调气流组织示意图。

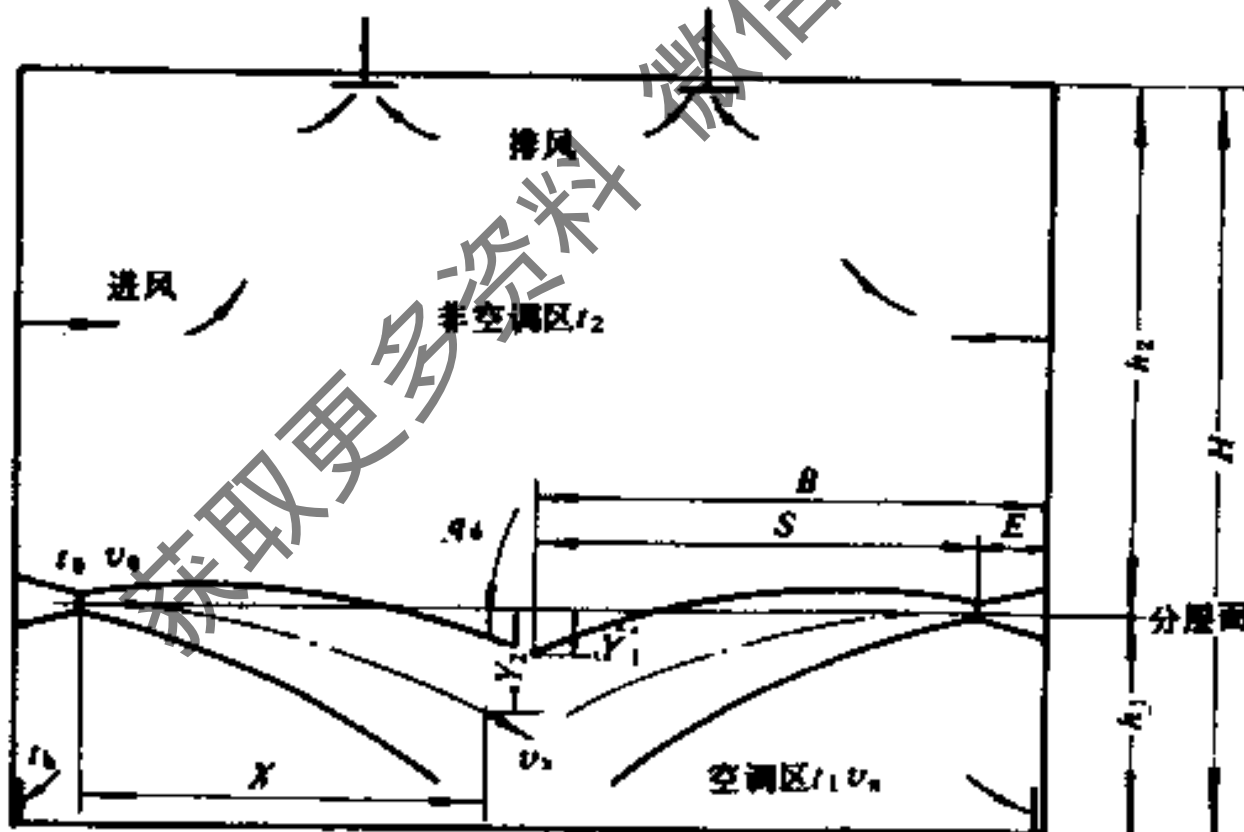


图 11.10-5 分层空调气流组织

图中

Y_1 ——射流上边界搭接位置, m;

Y ——落差, m;

X ——射程, m;

t_1, t_2 ——空调区和非空调区平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_0, t_h ——送风温度和回风温度, $^{\circ}\text{C}$;

v_0, v_x, v_n ——送风速度, 射流轴心速度和工作区平均速度, m/s;

q_d ——对流热转移量, W。

(1) 计算方法和步骤

① 计算参数的确定

a. 射流的射程区;

$$X = 0.93S$$

$$= 0.93(B - E)$$

式中 S ——射流的作用距离, m;

B ——单侧送风时为厂房沿送风方向的宽度, 双侧送风时则为半宽度, m;

E ——风口离同侧的墙或柱子的距离, m。

b. 工作区平均风速 v_n 和射流末端轴心速度 v_x

$$(a) v_n = v_p = 0.15 \sim 0.25 \text{ m/s}$$

式中 v_p ——射流末端平均风速, m/s;

(b) 当 $X/d = 30 \sim 50$

$$v_p/v_x = 0.4 \sim 0.54, \text{ 一般取 } v_p/v_x = 0.5$$

$$\text{则 } v_x = 2v_p = 2v_n$$

c. 射流落差 Y

$$Y = \left(\frac{1}{16} \sim \frac{1}{4} \right) X \text{ m}$$

射程较大时取小值, 射程较小时取大值。

d. 送风温差 Δt_0 按规范选用。

② 确定风口尺寸和送风速度

对于圆喷口水平吹出的多股平行冷射流,

圆喷口直径:

$$d_0 = 0.064 \left(\frac{T}{\Delta t_0} \right)^{0.615} X^{-0.302} Y^{0.687} v_x^{1.23} \quad (11.10-12)$$

圆喷口送风速度:

$$v_0 = 4.295 \left(\frac{T}{\Delta t_0} \right)^{-0.591} X^{1.124} Y^{0.533} v_x^{-0.182} \quad (11.10-13)$$

式中 T ——空调区空气的绝对温度, K。

也可以按图11.10-6和图11.10-7的线解图求解。

当送风角度为 α 时, 则用 $(X/\cos\alpha)$ 和 $(Y + X\tan\alpha)$ 代入公式或线解图中的 X 和 Y 值求解。

对于扁喷口

$$b_0 = d_0 \cdot C_b$$

$$v_{b0} = v_0 \cdot C_{vb}$$

对于其他风口

$$d_{f0} = d_0 \cdot C_a$$

$$v_{f0} = v_0 \cdot C_{va}$$

式中 b_0, v_{b0} ——扁喷口的高(短边)及送风速度;

C_b, C_{vb} ——与扁喷口高宽比有关的系数, 由表11.10-4查得;

d_{f0}, v_{f0} ——风口直径(或面积当量直径)和送风速度;

C_a, C_{va} ——与风口紊流系数有关的系数, 由表11.10-5查得。

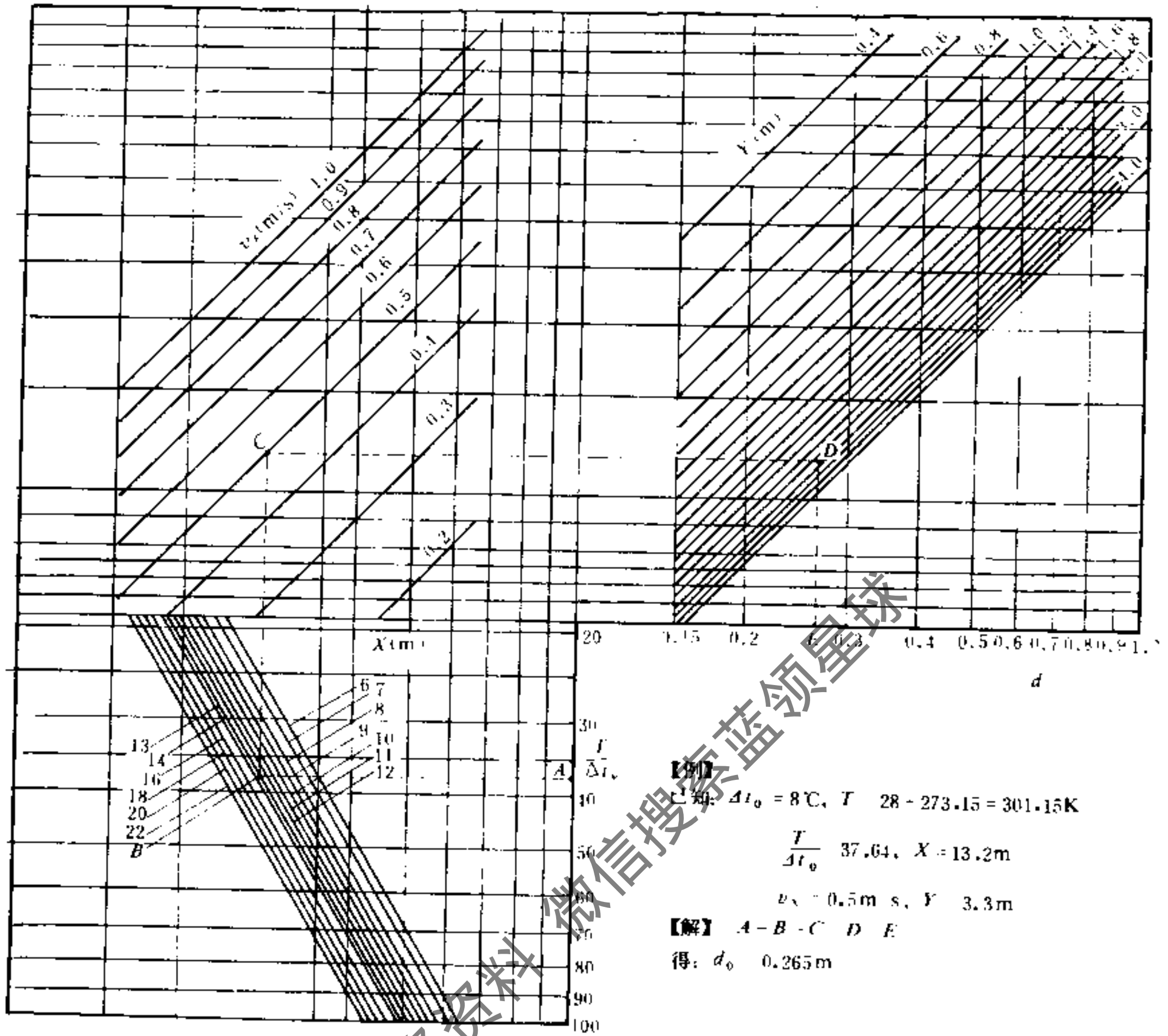


图 11.10-6 大空间多股平行圆射流的 d_0 线解图

C_b, C_{vb} 表

表 11.10-4

高宽比	1:10	1:11	1:12	1:13	1:14	1:15	1:16	1:17	1:18	1:19	1:20
C_b	0.208	0.196	0.186	0.177	0.169	0.162	0.156	0.150	0.145	0.140	0.136
C_{vb}	1.261	1.272	1.282	1.292	1.300	1.309	1.316	1.324	1.330	1.337	1.343

C_a, C_{va} 表

表 11.10-5

紊流系数 a	0.07	0.076	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16
C_a	1	0.972	0.885	0.856	0.831	0.808	0.788	0.770	0.753
C_{va}	1	1.022	1.100	1.128	1.155	1.179	1.203	1.225	1.247

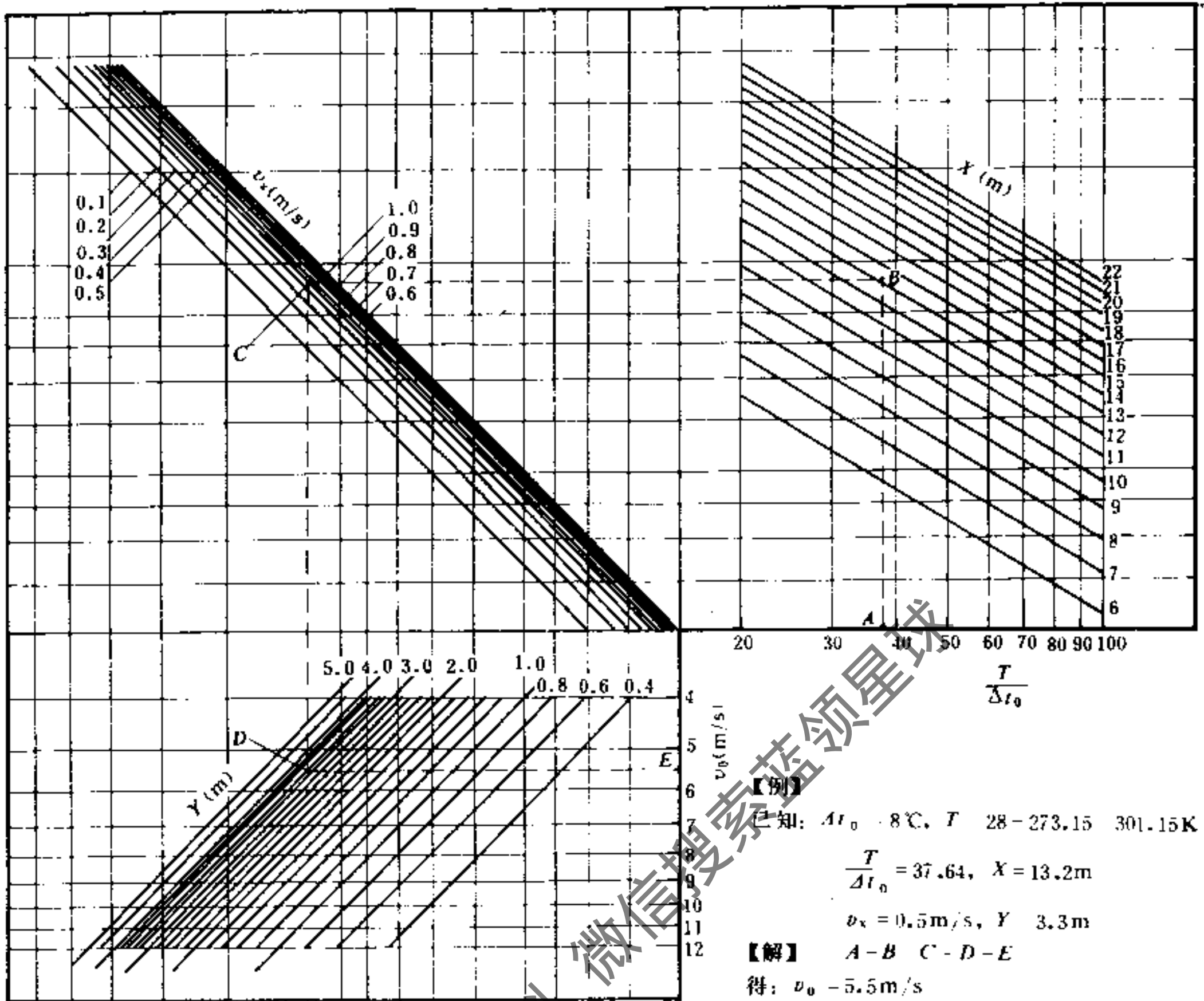


图 11.10 大空间多股平行圆射流的 v_0 线解图

③ 检验计算结果, 如满足 $0.2 < d_0 < 0.8\text{m}$ 和 $v_0 < 12\text{m/s}$, 则可进行下步计算, 如不满足, 则应重新设定 Y 或 Δt_0 , 重复进行计算。

④ 计算每个风口的送风量 l

$$l = \frac{\pi}{4} d_0^2 v_0 \times 3600 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (11.10-14)$$

⑤ 根据已选定的分层高度 h , 相应的分层空调冷负荷 q_{cl} (kW), 计算总风量 L

$$L = \frac{3600 q_{cl}}{1.01 \cdot \rho \cdot \Delta t_0} \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (11.10-15)$$

⑥ 确定喷口个数 n

$$n = \frac{L}{l} \quad \text{个} \quad (11.10-16)$$

取 n 为整数, 并求得实际送风速度

$$v'_0 = \frac{4L}{\pi d_0^2 n \times 3600} \quad \text{m/s} \quad (11.10-17)$$

⑦求阿基米德数Ar

$$Ar = \frac{g \cdot \Delta t_0 \cdot d_0}{v_0^2 \cdot T} \quad (11.10-18)$$

式中 g ——重力加速度, m/s^2 。

将 $v_0', d_0, \Delta t_0, T$ 代入上式, 即可求得 Ar 数。

⑧求实际射流落差 Y' , 射流末端轴心速度 v_x' 和上边界搭接位置 Y_1 。

对圆喷口水平吹出的多股平行冷射流主体段:

a. 轴心轨迹方程

$$\frac{Y}{d_0} = 0.812 Ar^{1.158} \left(\frac{X}{d_0} \right)^{2.5} \quad (11.10-19)$$

b. 轴心速度衰减方程

$$\frac{v_x}{v_0} = 3.347 Ar^{-0.147} \left(\frac{X}{d_0} \right)^{-1.151} \quad (11.10-20)$$

c. 上边界轨迹方程

Ar 数在 0.00055~0.0033 范围内

当 $30 < \frac{x}{d_0} < 50$ 时,

$$\frac{y_1}{d_0} = 8.453 \times 10^{-3} Ar^{0.81} \left(\frac{x}{d_0} \right)^{3.023} - 4 \quad (11.10-21)$$

式中 x ——射流轴心线上任意点至风口的水平距离, m ;

Y ——射流轴心线上任意点至风口中心线的垂直距离, m ;

Y_1 ——射流边界上任意点至风口中心线的垂直距离, m ; y_1 为正值时, 则该点在风口中心线以下, 为负值时反之;

v_x ——射流的轴心速度, m/s 。

将 v_0', d_0, Ar, X 代入以上各式, 即可求得 Y', v_x', Y_1 与选定值比较, 如满足:

$$\Delta Y = |Y' - Y|$$

$$< 0.2m$$

$$\Delta v_x = |v_x' - v_x|$$

$$< 0.05m/s$$

$$h_1 - Y_1 > h$$

则达到设计要求, 如不满足, 则重新设定 Y 或 Δt_0 , 重复进行计算。

(2)【例】某机械加工厂房长 192m, 跨距 30m, 高 22m, 3m 以下的空间为工作区, 控制温度为 $28 \pm 1^\circ C$, 工作区平均风速为 0.25m/s, 采用圆喷口双侧水平对送方式, 喷口距离 0.8m。试确定喷口直径、送风速度和喷口个数。

【解】

①确定计算参数

射程

$$\begin{aligned} X &= 0.93S = 0.93(B - E) \\ &= 0.93 \times (15 - 0.8) = 13.2 \end{aligned}$$

射流末端速度 $v_x = 2v_p \approx 2v_n = 0.5m/s$,

落差 $Y = 1/4X = 3.3\text{m}$,

分层高度 $h_1 = h + Y = 3 + 3.3 = 6.3\text{m}$,

送风温差选 8°C ,

则 $T/\Delta t_0 = (273.15 + 28)/8 = 37.64$ 。

②由公式(11.10-12)和(11.10-13)求得

$$d_0 = 0.265\text{m}, v_0 = 5.49\text{m/s}$$

③计算结果满足 $0.2 < d_0 < 0.8\text{m}$ 和 $v_0 < 12\text{m/s}$,

④每个喷口的送风量

$$l = \frac{\pi}{4} d_0^2 v_0 \times 3600 = 1090\text{m}^3/\text{h}$$

⑤当分层高度为 6.3m 时, 总的空调冷负荷为 $Q = 517.12\text{kW}$ 。则总送风量为

$$\begin{aligned} L &= \frac{3600Q}{1.2 \times 1.01 \times \Delta t} \\ &= \frac{3600 \times 517.12}{1.2 \times 1.01 \times 8} = 192000\text{m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

⑥喷口个数

$$n = \frac{L}{l} = \frac{192000}{1090} = 176.1 \approx 176 \text{个}$$

实际送风速度

$$v'_0 = \frac{4 \times 192000}{\pi \times 0.265^2 \times 176 \times 3600} = 5.49\text{m/s}$$

⑦送风射流的 Ar 值

$$Ar = \frac{g \cdot \Delta t_0 \cdot d_0}{v_0^2 \cdot T} = \frac{9.81 \times 8 \times 0.265}{5.49^2 \times 301.15} = 0.00229$$

⑧由式(11.10-19)、(11.10-20)和(11.10-21),求得

$$Y' = 3.30\text{m} = Y \quad v'_x = 0.5\text{m/s} = v_x$$

$$Y_1 = 1.685\text{m},$$

$$h_1 - Y_1 = 4.615\text{m} > 3\text{m}$$

以上计算可以满足要求, 则本题要求的结果为: $d_0 = 0.265\text{m}$, $v_0 = 5.49\text{m/s}$,

$$n = 176 \text{个}$$

4. 非空调区进排风方式

(1) 非空调区设置通风的原则

①设置通风的目的是为了排除上部余热、降低上部空气温度和屋顶内表面温度, 以达到减少非空调区的对流热转移和辐射热转移量的效果。

②非空调区的得热有: 通过围护结构传入室内的热量、通过高侧窗和屋面采光罩等进入室内的辐射热、上部设备和照明散热等。大部分高大建筑物非空调区的得热, 以屋顶与窗传入热量和玻璃窗辐射热为主。因此要求屋顶作良好的保温或作通风屋面, 向阳玻璃窗也要考虑遮阳。

③非空调区热强度 $q_2 < 4.2\text{W/m}^3$ 时, 可不设进排风装置。

④非空调区上午得热量不大, 因此上午不必通风。

⑤根据国内外实例，大多采用自然进风、机械排风。但按具体条件，也可采用机械进风、自然排风或机械进排风。

(2) 非空调区进风方式

①进风方式比较

机械进风和自然进风的进风设施、密封要求、设计要求及其优缺点的比较见表11.10-6

非空调区进风方式比较

表 11.10-6

进风方式	进风设施	密封要求	设计要求	优点	缺点	实例
机械进风	进风系统	机房中风机前或后装风阀	1. 每个风口的进风量力求均匀; 2. 进风速度须低些	1. 可以根据需要控制进风量; 2. 各个风口易于均匀进风; 3. 容易解决密封和防止渗漏问题	1. 风管布置困难; 2. 造价贵	
进风	轴流风机	将轴流风机与电磁风阀联动; 或者采用带保温百叶式调节阀的40L ₂ -11型轴流风机; 也可做防寒密闭窗, 冬季关闭	1. 轴流风机布置尽量均匀; 2. 尽量选用多个小型轴流风机	1. 没有风管; 2. 造价比进风系统便宜	1. 进风均匀性差; 2. 维修困难	天津第一机床厂
自然进风	高侧窗	1. 装设电动开窗机构; 2. 要求钢窗密封质量较好; 3. 必要时可设置人行走道, 以利于关窗	1. 进风面积应按计算决定, 不宜开得太多, 须防止在上部空间形成穿堂风; 2. 高侧窗可作成单侧窗	利用采光窗进风, 投资省	1. 窗户难以关严; 2. 容易形成穿堂风; 3. 电动开窗机构易出故障; 4. 进风位置与面积常受建筑设计的制约	天津第一机床厂, 南京汽轮机厂

②进风口高度

可按下式进行计算:

$$\bar{H} = \frac{h_3 - h_1}{h_2} \quad \text{m} \quad (11.10-22)$$

式中 \bar{H} ——非空调区进风口相对高度, m;

h_1 ——空调区高度, m;

h_2 ——非空调区高度, m;

h_3 ——非空调区进风口离地面高度, m。

一般进风口宜设在非空调区的适当高度处, 该处的进风温度应小于非空调区同高度处的空气温度。进风口最低位置宜为非空调区高度的1/3处, 以防止进风干扰空调区的气流组织。

(3) 非空调区排风方式

机械排风和自然排风的排风设施、密封要求、设计要求及其优缺点的比较见表11.10-7。

非空调区排风方式比较

表 11.10-7

排风方式	排风设施	密封要求	设计要求	优点	缺点	实例
机械排风	排风系统	机房中风机前或后装风阀	排风管道布置在建筑物两侧屋面下,排风口均匀布置,向下偏斜45°角。夏季用作排风,冬季转为向下吹风,形成自上而下的垂直气流,迫使空调区热气流向下弯曲。	1.容易达到密封要求; 2.夏冬两用,效果较好; 3.排风均匀	造价较贵	天津第一机床厂
	屋面通风机	风机与电磁风阀联动	可用轴流风机式屋顶通风机或调速式屋顶离心通风机	没有风管	1.造价贵; 2.密封困难; 3.维修麻烦	南京汽轮机厂
自然排风	风帽或高侧窗	1.风帽下装设电磁风阀,在工作区操作; 2.高侧窗装设电动开窗机构	用高侧窗排风,应尽量靠近屋顶	造价便宜	1.密封困难; 2.维修麻烦; 3.靠近屋顶开高侧窗,其采光效果差	

(4) 非空调区通风量的确定

按照要求排除的非空调区余热量,由下式计算通风量 L_2 :

$$L_2 = \frac{3600Q_p}{1.01\rho \cdot \Delta t_p} \text{ m}^3/\text{h} \quad (11.10-23)$$

非空调区换气次数不宜大于3次/h。有条件时可以充分利用空调系统多余的低温排风量(包括建筑物的其他空调系统)来排除上部空间热量,此时通风量可适当减少。

5. 冬季减小温度梯度的措施

高大建筑物分层空调用于夏季节节能效果显著,但用于冬季,却反而会加大温度梯度而使热耗增大,同时空调区垂直温度的均匀性也将变差,因此必须采取以下有效措施。

(1) 分层空调用于冬季必须符合以下要求:

①送风口送风下倾角度应大于30°,使送出的热风斜向下吹。送风速度应较大,送风口应作成活动式,便于换季时进行调节。

②回风口应布置在室内两侧下部,不应采用集中回风、上部回风或中部回风。

③减小送风温差,增大送风量。在技术经济合理时,可以采用诱导风口。

④建筑物密封性能尽量做得好些,尽量减少渗透风的进入,以免浪费能量和影响工作区垂直温度场的均匀性。

(2) 利用垂直下送气流改变分层空调热射流流型。

(3) 设置水平空气幕,阻隔热气流上升。

(4) 夏季采用分层空调,冬季换用辐射采暖或顶送式暖风机采暖。

11.10.4 空调系统

1. 空气处理系统选择

(1) 应根据工艺生产的性质(例如高大厂房有大设备,大吊车,大门斗等)、工艺设备

的布置、温湿度与清洁度要求、热湿负荷特点、围护结构构造、空调与制冷机房的位置和面积、初投资和维护运行费用等进行综合技术经济分析来确定。一般宜采用集中空调系统或立式组合式空调器。当集中系统送回风管布置困难时，可以选用立式组合式空调器。当厂房要求清洁度较高、相对湿度较大或温湿度波动范围较小时，则以选用集中系统为宜。由于整体式空调机组噪声较大，选用台数太多时占用工艺生产面积较多，同时维护管理麻烦，因此较少采用。

(2) 集中系统用于分层空调的主要特点如下：

①可以实现全年多工况运行，节能显著，运行管理方便。

②处理空气量大，能够满足较高的清洁度，较大的相对湿度以及温湿度波动范围较小等要求。

③过度季可以大量使用室外新风。

④风管粗大，布置与调节困难。

⑤机房和风管占空间大。

(3) 立式组合式空调器用于分层空调的主要特点如下：

①灵活性大，易于安装。

②风管短、小，易于布置与调节。

③新风机房面积小。

④布置分散，占去工艺生产面积，维护管理不便。

⑤不能实现多工况节能；过度季不能大量使用新风；过滤器简单，空气洁净条件差；温湿度控制条件差。

2. 集中系统送回风管布置

(1) 送风管布置

①高大建筑物跨度在18m以上时，采用双侧送风。

②带送风口的送风管，其长度尽量短一些；各个风口采用弧形调节板调节时，最长不宜超过40m。

(2) 回风管布置

①回风口应布置在建筑物两侧下部，风口底边距离地面0.2~0.3m，回风口宜均匀布置且应邻近局部热源，尽量消除气流停滞死角，以减小空调区域温差。回风口吸风速度取1.5~3.5m/s。

②一般回风干管可敷设在建筑物中部送风管以下位置。

③各个回风口的回风量宜进行调节，尽量利用回风支管接至总管处的三通风阀进行调节，不要用回风口上的百叶片进行调节，以免增大噪声。

第十二章 空 调 节 能

12.1 空 调 节 能 措 施

空调节能设计的措施很多,途径各异,兹将一些经实践检验确认为可行、有效、合理和可靠的主要措施,汇编于表12.1-1中,以供设计参考。

空 调 节 能 措 施 表 12.1-1

序号	分类	途 径	措 施	效 果	
1	建 筑 与 环 境	改善建筑环境	加强建筑周围的绿化,种植遮荫效果好的乔木,广植草地、花木 建筑外表面的颜色,尽可能处理成白色或接近白色的浅色调 设置良好的外遮阳	减少太阳辐射的影响,调节小环境的温、湿度,降低空调冷负荷 良好的外遮阳,可减少日射得热50~80%	
2		合理设计建筑平面与体形	建筑体形力求方正,避免狭长、细高和过多的凹凸;尽量避免东、西朝向	见图12.1-1	
3		合理安排空调房间和空调机房的位置	尽可能将高精度空调房间布置在一般精度空调房间之中;将空调房间布置在非空调房间之中(即以非空调房间包围空调房间,减少空调房间的暴露面) 避免在顶层布置空调房间。机房应靠近空调房间	减少扰量;降低空调冷热负荷 减少输送能耗	
4		改善建筑热工性能	减少窗户面积;采用吸热玻璃、镀膜反射玻璃;设置密封条;装设隔热窗帘;采用双层玻璃;加强墙、屋顶等外围护结构的保温	降低空调负荷(5mm厚的吸热玻璃可吸收太阳辐射热30~40%;镀膜玻璃可反射约30%太阳辐射热)	
5		屋顶采取隔热措施	设置通风屋面、遮阳棚、屋顶花园等;装置屋顶喷水设施	降低空调负荷,减少日射影响	
6		减少有害源的影响	尽可能将有害源(如热、湿等)移出空调房间,或采取加固体或气体屏障予以隔离	减少补风,减少热湿负荷	
7		设 计 标 准	降低室内温度的设计标准	在满足使用要求的前提下,适当降低冬季室内设计温度和适当提高夏季室内设计温度	供暖时,每降低1℃可节能约10~15%;供冷时,每提高1℃可节能10%左右
8			降低室内相对湿度的设计标准	对于使用中室内相对湿度无严格要求的对象,夏季室内相对湿度取 $\phi > 70\%$;冬季 $\phi < 30\%$	减少冷、热负荷
9			合理补给新风	在满足卫生、补偿排风、稀释有害气体、保持正压等要求的前提下,不自日增大新风量;最好采用CO ₂ 浓度控制器	减少新风的加热和冷却负荷

续表

序号	分类	途 径	措 施	效 果
10	设计标准	变设定值	通过变设定值控制, 冬天加热加湿至舒适区下限, 夏天冷却去湿至上限, 在过渡季节采用设定区(室内温、湿度在上、下限舒适区范围内浮动或再设)控制方式	夏季设定值从26℃提高至28℃, 冷负荷减少约21~23%; 露点温度从10℃提高到12℃, 除湿负荷约减少17%; 冬季室温从22℃降至20℃, 热负荷减少约26~31%; 露点温度从10℃降至8℃, 加湿负荷约减少5%
11	风 系 统 设 计	充分利用室外空气的自然冷却能力	设置排风、回风连动调节风门, 通过温度(最好是焓)调节器, 控制新风比, 使新风量能由最小值变化至100%	推迟开启和提前停止制冷机的运行, 减少制冷机的运行时间, 节省能耗
12		加大送风温度差	采用尽可能大的送风温度差	减少送风量, 节省投资与能耗
13		合理划分空调系统	尽可能根据温湿度基数、控制精度要求、房间朝向、使用时间、热湿扰量、洁净度等级等因素划分为不同的空调系统	避免过冷、过热, 减少冷热抵消; 避免不必要的提高标准
14		避免采用电加热	对于控制精度要求(室温允许波动范围)大于±1℃的系统, 应避免采用空气电加热器作为室温加热器。一般情况下, 不应采用电加热器作为一、二次空气加热器	减少电耗, 降低运行费用
15		采用变风量(VAV)系统	在一些负荷变化率大的场合, 采用定温度、变风量空调方式, 使室内送风量随负荷的增减而变化; 同时, 空调器的处理风量和送、回风量也同步相应变化	全年节能量约为30~50%
16		冷却旁通	让进入喷水段或表冷段前的空气分成两部分, 一部分流经喷水室或冷却器, 另一部分则迂回过去, 然后再进行混合, 通过旁通风量的调节, 使混合状态达到要求的送风状态	避免冷、热抵消, 节省能量消耗
17		变露点调节	通过自控, 使露点温度冬季保持最低值, 夏季保持最高值, 并充分利用二次回风加热空气	见序号10
18	安排顺序控制	在既有冷却又有加热的空气处理设备中, 安排好冷、热设备的运行顺序, 防止同时工作	避免冷、热抵消	
19	冷却器选择性控制	在温、湿度双参数调节的系统中, 让冷却器同时受温度和湿度调节器的控制; 在室内温度同时有冷却、除湿要求时, 由选择性控制来判断和确定由温度调节器控制冷却器, 还是由湿度调节器控制冷却器	减少冷、热抵消	
20	多工况自动转换	对于全年运行的空调系统, 根据不同室内外气象条件和执行器位置, 综合逻辑判断或实时计算室内负荷, 选定合理的设定值和不同的空气处理过程, 进行变工况运行	全年节约热量约50~60%; 节约冷量约15~20%	
21	微机控制	根据室内外气象条件, 结合不同的处理过程和设备, 针对控制精度要求, 调节品质、节省能量等条件, 编制专用程序, 实现最优化运行	最大限度的节省能量	

续表

序号	分类	途 径	措 施	效 果
22	风 系 统 设 计	利用地道风降温	对于非长期连续使用的降温系统, 利用人防地道对送风进行自然冷却	节省制冷能耗
23		加强保温	选择高效保温材料, 对风管、水管、设备等进行保温、防潮处理	减少冷、热损失
24		减少漏风	选择气密性好的空气处理设备和风管连接方式, 加强密封处理, 严格加工质量的要求	减少因漏风而导致的能量损失 (占送风量的5~10%)
25		合理选定风管尺寸	根据经济流速, 合理确定风管尺寸	使输送能耗保持在经济合理的范围
26	水 系 统 设 计	采用闭式系统	空调水系统尽可能采用闭式循环方式 尽可能利用水来代替空气输送能量; 以水-空气系统替代全空气系统	减少水泵能耗, 延长管道、设备使用寿命 节省输送能耗
27		变流量水系统	将水系统的调节方式设计成定温度、变流量, 使换热设备的供水量和系统的循环水量随空调负荷的变化而增减	节省输送能耗
28		选用较高的冷水初温	在满足空气处理要求的前提下, 尽可能采用较高的冷水初温	提高制冷蒸发温度 (每提高1℃, 可节省电耗2~3%左右)
29		适当加大供、回水温差	在可能的范围内, 加大冷水系统的供、回水温差。注: 一般也不宜大于8℃	减少循环水量, 节省输送能耗
30		复式泵供水	对于较大系统, 且为压力损失不同 (有较大差异) 的多区供水时, 宜考虑采用复式泵 (一、二次泵) 供水	降低系统的总压力, 减少能耗
31		蓄热	利用蓄热水池, 将冷 (热) 量贮存起来, 供峰值负荷时使用; 或利用晚间环境温度低、用电户少的特点进行制冷, 贮存后供白天使用。也可以通过制冰进行蓄热	减少装机容量, 提高设备的平均效率和使用率
32		深井回灌	对于以深井水为冷源的空调系统, 可以充分利用冬季环境温度低的特点, 进行冬季回灌, 以供夏季使用	节省机械制冷所需消耗的能源, 有可能防止地面下沉
33	设 备 选 择	提高制冷机效率	设计集中供冷; 冷机选择时, 应大小搭配; 在满足使用要求的前提下, 尽可能提高蒸发温度, 降低冷凝温度 对水系统进行阻垢、缓蚀处理	提高机械效率, 减少设备能耗 保证部分负荷时, 效率不过分下降
34		制冷机能量调节	设计时选择采用带能量调节装置的制冷设备; 当台数多时, 应设计成能量调节与台数控制相结合的控制方式	节省能耗
35		采用高效换热设备	采用如椭圆翅片管、铜管铝波纹串片等热工性能好的换热设备	椭圆管的湿周比圆管大20%以上, 表面积大15%左右, 换热系数大25%左右
36		采用节能型空调器	选择空调器 (机) 时, 优先考虑如利用冷凝热作为二次加热器热源的节能型空调器 (机)	节省冷却水量, 节省二次加热所需能量

续表

序号	分类	途 径	措 施	效 果
37	设	保持较高的水输送系数 (WTF)	选择循环水泵时, 水输送系数 (WTF) 不应低于下列数值: 供冷时 $WTF > 30$ 供热时 $WTF > 200$ $WTF = \frac{\text{冷(热)水的显热交换量 (kW)}}{\text{水泵的输入功率 (kW)}}$	减少输送能耗
38		保持较高的空气输送系数 (ATF)	选择通风机时, 宜保持空气输送系数 $ATF > 4$ (定风量系统)。 $ATF = \frac{\text{排走的显热量 (kW)}}{\text{送、回风机的输入功率和 (kW)}}$	减少输送能耗
39	选	保持较高的性能系数 (COP 值)	选择制冷机时, 力争保持较高的 COP 值: $COP = \frac{\text{产冷量 (kW)}}{\text{制冷系统的轴功率 (kW)}}$	减少制冷能耗
40		保持较高的能效比 (EER)	选择空调器时, 应保持较高的能效比: $EER = \frac{\text{标准规定的名义产冷量 (kW)}}{\text{空调器的消耗功率 (kW)}}$ 注: 日本能源法规定的 EER 值 (1983年) 为: 1. 制冷消耗功率 $N < 3\text{kW}$ 时: 整体式空调器产冷量 $Q < 3900\text{W}$ 时, $EER > 2.45$, $Q > 3900\text{W}$ 时, $EER > 2.25$ 分体式空调器产冷量 $Q < 3900\text{W}$ 时, $EER > 3.22$, $Q > 3900\text{W}$ 时, $EER > 2.36$ 2. $N > 3\text{kW}$ 的整体式空调器, $EER > 2.58$	减少空调能耗
41	热 回 收	板式换热器	在排风与新风管上, 装置板式空气-空气换热器, 使排风与新风通过壁板进行显热交换, 将热量传递给新风或排风, 达到预热或预冷新风的目的	减少新风负荷
42		板翅式全热换热器	在排风与新风管上, 装置板翅式空气-空气全热换热器, 使排风与新风通过经特殊处理的芯体进行全热交换, 从而预冷或预热新风	减少新风负荷
43		中间热媒式换热器	在排风与新风管上, 分别装置水-空气换热器, 通过中间热媒 (水), 将热量传递给新风或排风, 从而预热或预冷新风	减少新风负荷
44		转轮换热器	排风与新风通过转轮换热器进行显热或全热交换, 在旋转过程中预冷或预热新风	减少新风负荷
45		热管换热器	在排风与新风管上, 装置热管换热器, 通过工质的相变, 将热量传递给新风或排风, 从而预冷或预热新风	减少新风负荷
46		热泵	以机械功为补偿条件, 使低温位物体的热量转移至高温位物体的机械装置, 习称为热泵 利用热泵可以回收室外空气、河水、废水、地热水等的热量; 也可以回收排风的热量, 预热新风 (详见第12.4-7节)	减少供热能耗; 降低新风负荷

12.2 空调设备的选择、配置和调节方式与节能的关系

12.2.1 制冷设备的性能系数

1. 制冷机的性能系数

一般以 COP (coefficient of performance) 表示。它标志着制取单位冷(热)量所需消耗的能量, 所以, 是评价其节能性能优劣的主要指标。

COP 值一般以下式表示:

$$COP = \frac{Q}{\Sigma N} = \frac{cG(t_2 - t_1)}{\Sigma N} \quad (12.2-1)$$

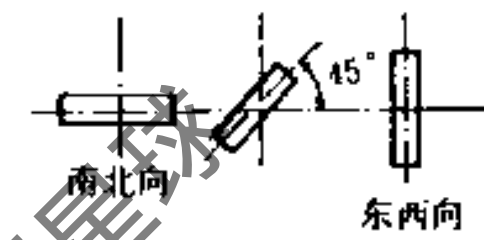
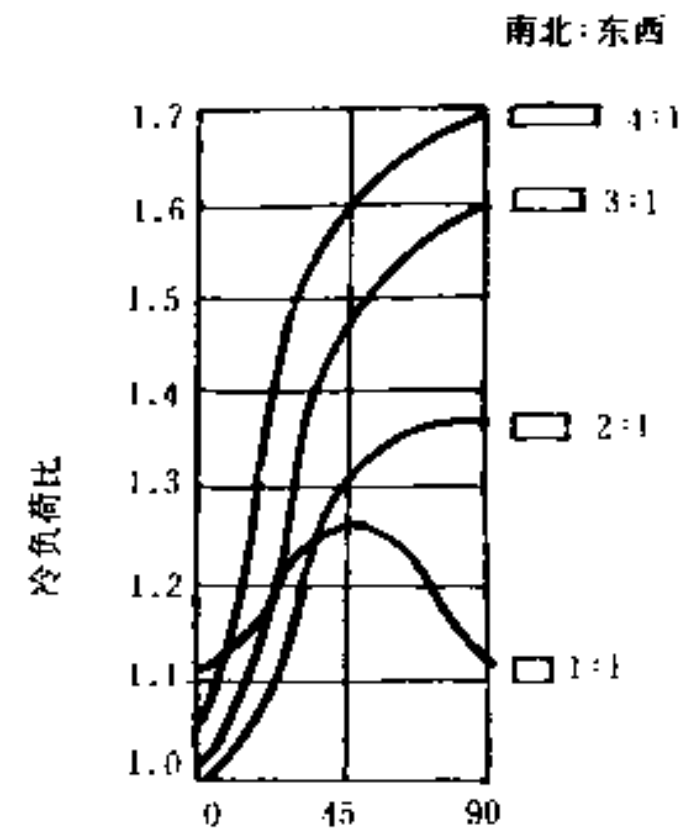


图 12.1-1 建筑体形和方位与空调冷负荷的关系

式中 Q ——制冷机的产冷量, kW;

ΣN ——制冷系统的轴功率(制冷主机、辅机、循环水泵、冷却水泵、风冷冷凝器风机等的总和), kW;

G ——冷水流量, kg/s;

c ——冷水的比热容, kJ/(kg·C);

t_1, t_2 ——冷水的进、出温度, C。

2. 我国《旅游旅馆设计节能标准》规定的性能系数(见表12.2-1)

3. 美国节能规范规定的性能系数(见表12.2-2)

往复式、离心式和螺杆式冷水机组的最低性能系数和最高耗电指标

表 12.2-1

单机容量 (kW)	$(COP)_{min}$	N_{max} (kW/kW)
<116	3.50	0.284
117~349	3.80	0.262
350~580	3.90	0.256
581~1163	4.10	0.242
>1163	4.40	0.227

注: 引自《旅游旅馆设计节能标准》(征求意见稿) 1989年

美国节能规范规定的最低性能系数

表 12.2-2

制冷机类型	COP	
	风冷式	水冷式
电动式冷水机组: 离心式 容积式	2.30	4.00
	2.20	3.40
电动式压缩机和冷凝机组	2.50	3.50
热力制冷设备: 直接燃烧 利用蒸汽、热水	COP	
	0.48	0.68

注: 引自美国《新建筑物节能规范》(ASHRAE 90-80)。

4. 英国《建筑能量规范》规定的性能系数（见表12.2-3）

12.2.2 离心式冷水机组不同连接时的能耗比较

表12.2-4列出了离心式冷水机组的各种连接方式及其设计条件。图12.2-1给出了各种连接方式时冷机与水泵的年耗电量。

英国《建筑能量规范》规定的最低性能系数 表 12.2-3

制 冷 机 类 型	制冷量 (kW)	COP	
		风冷式	水冷式
活塞式(往复式)冷水机组	<120	2.60	3.20
	>120	2.80	3.40
离心式冷水机组	<800	2.20	3.80
	>800	2.30	4.00
热力制冷设备(吸收式、蒸喷式、内燃机或涡轮机驱动的制冷设备)		直接燃烧	间接燃烧
	<120	0.40	0.65
	120~800	0.45	0.67
	>800	0.48	0.68

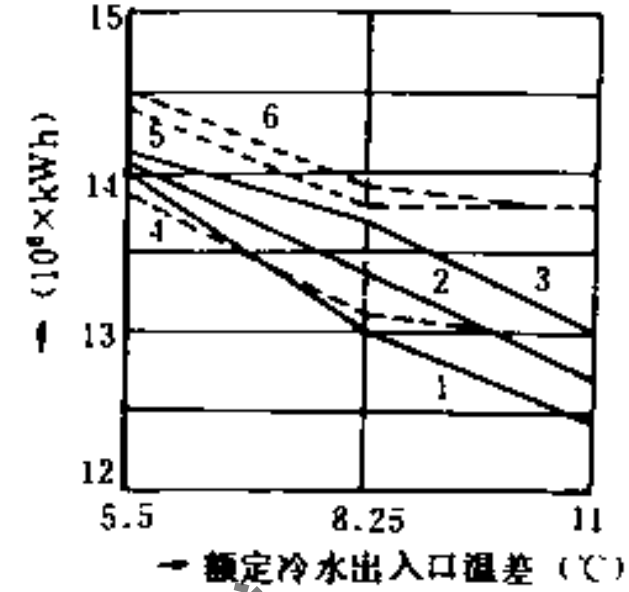


图 12.2-1 离心机各种联合运行时的年耗电量(对应于表12.4-4)

离心式冷水机组的连接方式与设计条件 表 12.2-4

分类号	冷水流通方式	设计条件			
		备 注	冷水出入口温差 (℃)		
			5.5	8.25	11
调节温度幅度 (℃)					
1		标准规格 容量比2/3:1/3	0.8	0.8	0.8
2		标准规格 容量比1/3:2/3	0.8	0.8	0.8
3		标准规格 容量比1/2:1/2	0.8	0.8	0.8
4		制冷机停水泵同时停	0.8	0.8	0.8
5		一台制冷机停, 水泵继续运行	0.8	0.8	0.8
6		一台制冷机停, 水泵继续运行	1.6	1.6	1.6

注: 1RT = 3517W, 总制冷量为1800RT。

12.2.3 空调方式与能耗的关系

1. 各种空调方式的年空调负荷和“过不足热量”(MJ/m²·a)(见表12.2-5)

各种空调方式的年空调负荷和“过不足热量”(MJ/m²·a)

表 12.2-5

方 式		定风量 (CAV)	变风量 (VAV)	末端再热定风量 (TRH)	双风道 (DD)
空 调 负 荷	冷 却	370.4(100%)	321(87%)	602.2(153%)	395.5(107%)
	加 热	169.1(100%)	160.3(95%)	391.7(233%)	157.4(93%)
“过不足热量”	过 热	51.1(100%)	44.8(88%)	77.4(152%)	50.6(99%)
	过 冷	130.2(100%)	81.6(61%)	138.9(109%)	111.7(86%)

注:表中括号内为取定风量为100%时的比例关系。

所谓“过不足热量”,是指室内得热量或耗热量与送风空气所提供的热量之差。表12.2-5中的过热,包括冷却不够、除湿不足或过加湿;过冷则包括加热不足、加湿不够或过除湿。过不足热量愈大,则室内温湿度偏离设定基数的次数愈多,偏离程度也愈大。

2. 不同变风量方式的比较和它的能耗

(1) 不同变风量方式的比较 见表12.2-6。

不同变风量方式的比较表

表 12.2-6

比较项目	变风量的调节方式				
	风 门	风机入口导叶	调速电机	自动变节距	手动变节距
运行费用	D	C	A	A	B
调节范围	D	D	A	A	A
反应性	A	A	A	A	D
精 确 度	C	C	A	A	B
维 护	A	B	A	C	C
可 靠 性	A	A	A	B	B
噪 声	C	C	A	B	B
设 备 费	A	B	D	D	C

注: A、B、C、D按有利至不利次序排列

(2) 变风量系统中风管静压传感器设置位置不同时风机出口压力与年动力消耗量的变化 见表12.2-7。

静压传感器在不同位置时风机出口压力与年动力消耗量的比较

表 12.2-7

静压传感器的安装位置	风机出口压力 (Pa)			年动力消耗 (MWh a)	
	风量0%	50%	100%	VAV方式	CAV方式
风管末端	134	302	806	46.5	87.8
风管中部	112	285	806	—	—
风机出口	217	364	806	54.2	87.8

注:计算依据为:风管的比摩阻 $R=1\text{Pa}$, VAV末端装置的压力损失为75Pa,最小开度为30%,最大风量为77460m³ h,采用入口导叶调节。

(3) 不同变风量方式时的功率变化 见图12.2-2、图12.2-3和图12.2-4。

3. 冷、热量输送功率的比较 见表12.2-8。

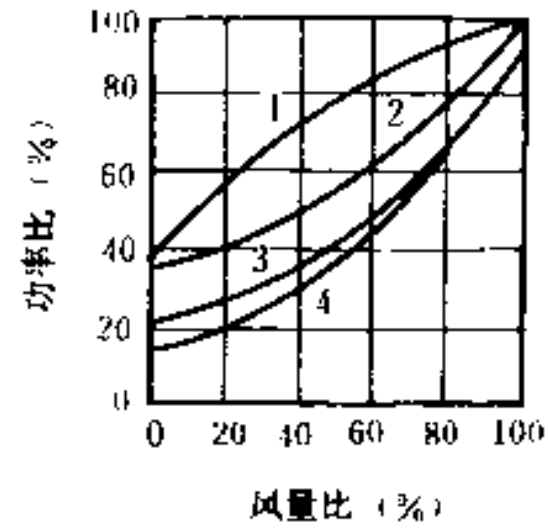
每kW冷、热量输送功率比较表

(W/m)

表 12.2-8

介质种类	空气	水
管道本身	0.134	0.072
包括设备	0.529	0.181

注：比较条件 水温差 $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ ，空气温差 $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ ，比摩阻水 $R = 750\text{Pa/m}$ ，空气 $R = 1\text{Pa/m}$ 。



1--风阀；2--入口导叶
3--变节距；4--变转速

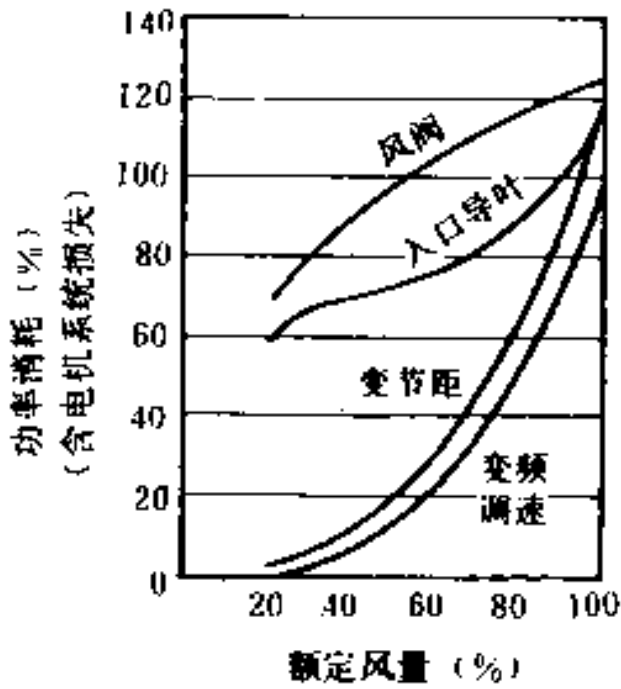


图 12.2-3 风机风量与功率消耗的关系

注意 由于水的比热较空气大四倍左右，而其比容又远远小于空气，输送 1m^3 水可比 1m^3 空气多携带三千多倍能量。所以，集中空调系统的空调机组，应尽量布置在被空调房间附近，以便缩短空气管道的输送距离，充分利用水来输送能量。

4. 不同控制方式时风机盘管机组的耗能量 (见表12.2-9)

5. 不同变水量方式时水泵的耗电量比较 (见图12.2-5)

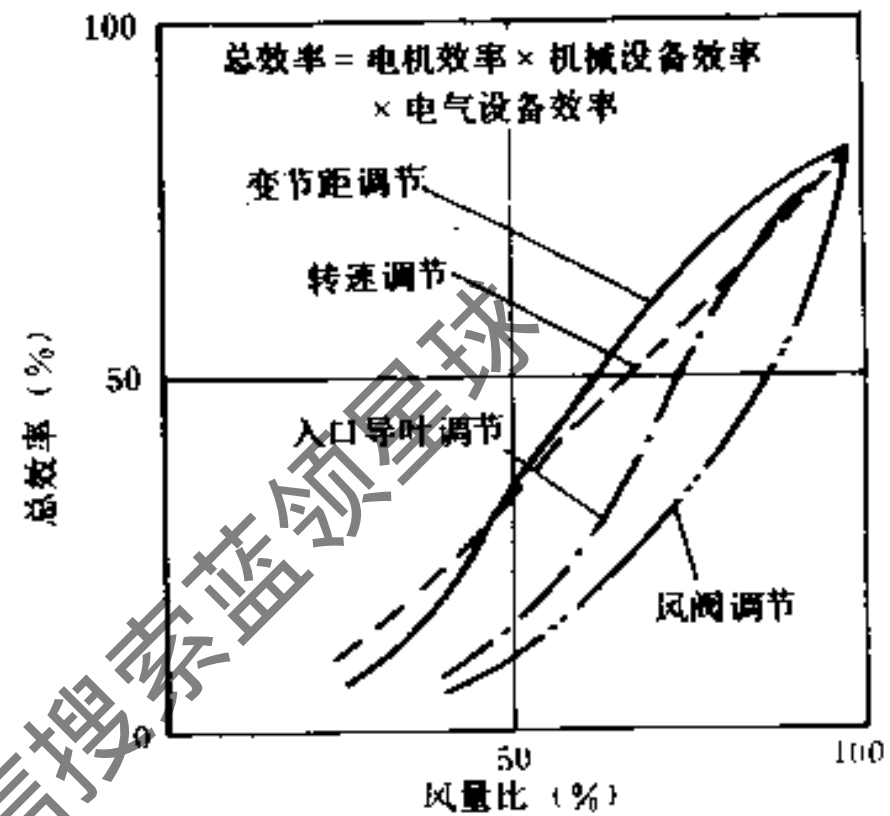


图 12.2-4 各种风量调节的效率

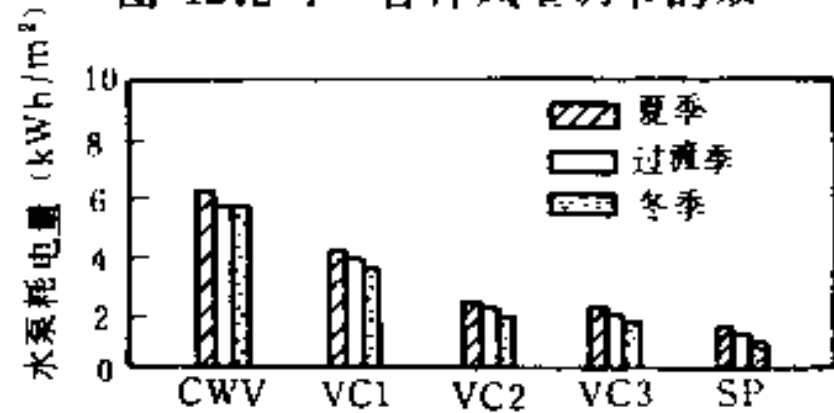


图 12.2-5 不同变水量方式时水泵的耗电量比较

CWV—一定水量；VC1—1台水泵台数控制；VC2—2台水泵台数控制；VC3—3台水泵台数控制；SP—变速水泵

不同控制方式时风机盘管机组的耗能量

表 12.2-9

控制方式		不控制	风量 (开、关)	水量 (开、关)	风量 (高、中、低)	水量 (比例)
年负荷 (MJ/a)	冷量	3749.8	1912.5	1975.3	2502.6	1895.8
	热量	10768.0	5051.3	4168.3	7177.3	4063.6
年耗电 (kWh/a)	水泵	60.2	60.2	14.7	60.2	20.0
	风机	87.8	21.5	87.8	31.3	87.8
	小计	148.0	81.7	102.5	91.5	107.8
总能量 (MJ/a)		16036.9	7800.8	7194.0	10617.3	7064.3
室温变化率 (%)	供冷	5.03	0.78	0.81	1.45	0
	供暖	13.25	1.23	1.31	5.98	0

12.3 蓄 热

12.3.1 蓄热措施的优缺点

蓄热措施的主要优缺点，见表12.3-1。

蓄热措施的主要优缺点

表 12.3-1

优 点	缺 点
1. 可以减少装机容量，减少设备投资；	1. 冷机运行时间增长，缩短使用寿命，增加工作班次，人工费加大；
2. 单位时间内的用电量减少，供配电设施可相应减小；	2. 采用开式循环时，水泵耗电量将增大，系统易产生腐蚀；
3. 可避免制冷机经常处于部分负荷下运行而导致的效率降低；	3. 水池将有10%以上的能量损失；
4. 有利于平衡用电高峰，缓解供电矛盾；	4. 供水温度一般要比制冷机出水温度高2~3℃，使负荷侧供、回水温差减小，循环水量增大，输送能耗增加；
5. 可以调节和平衡空调负荷；	5. 冰蓄热时，设备复杂，初投资大
6. 可以利用夜间较低的环境温度获得较低的冷凝温度	

适用条件 经利弊权衡，普遍认为符合下列条件之一者，采取蓄热的措施是可取的。

- 空调负荷的分布全天极不均衡，峰谷比相差特别悬殊者。
- 不是每天使用或仅白天或晚间使用，通过蓄热可减少装机容量和运行费用者。
- 伴随有太阳能利用或热回收的场合。

12.3.2 水 蓄 热

1. 蓄热水池的构造 (如图12.3-1所示)

其中通气管 $DN = 50\text{mm}$

排水管 $DN = 100\text{mm}$

连通管 根据相邻两格水池的水位差和流速由图12.3-2确定。

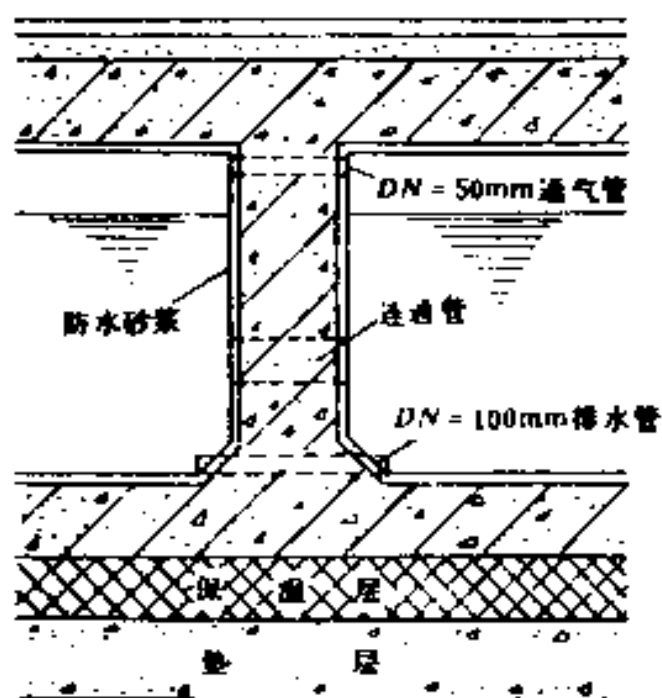


图 12.3-1 蓄热水池构造简图

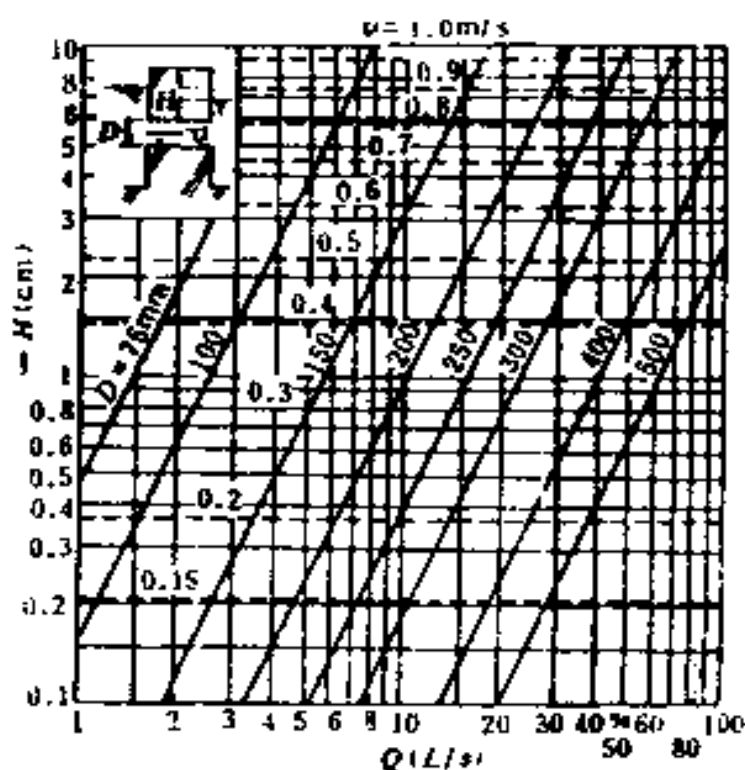


图 12.3-2 连通管管径选择图

2. 蓄热水池的设计和计算

假定条件

- 水池格数在20个以上，连通管按上下、左右错开布置。
- 负荷侧为变温度定流量系统。
- 制冷机的出水温度，通过三通调节阀保持为定值。
- 负荷图形为长方形或近似于等腰三角形。
- 水池内的温度剖面，如图12.3-3所示。

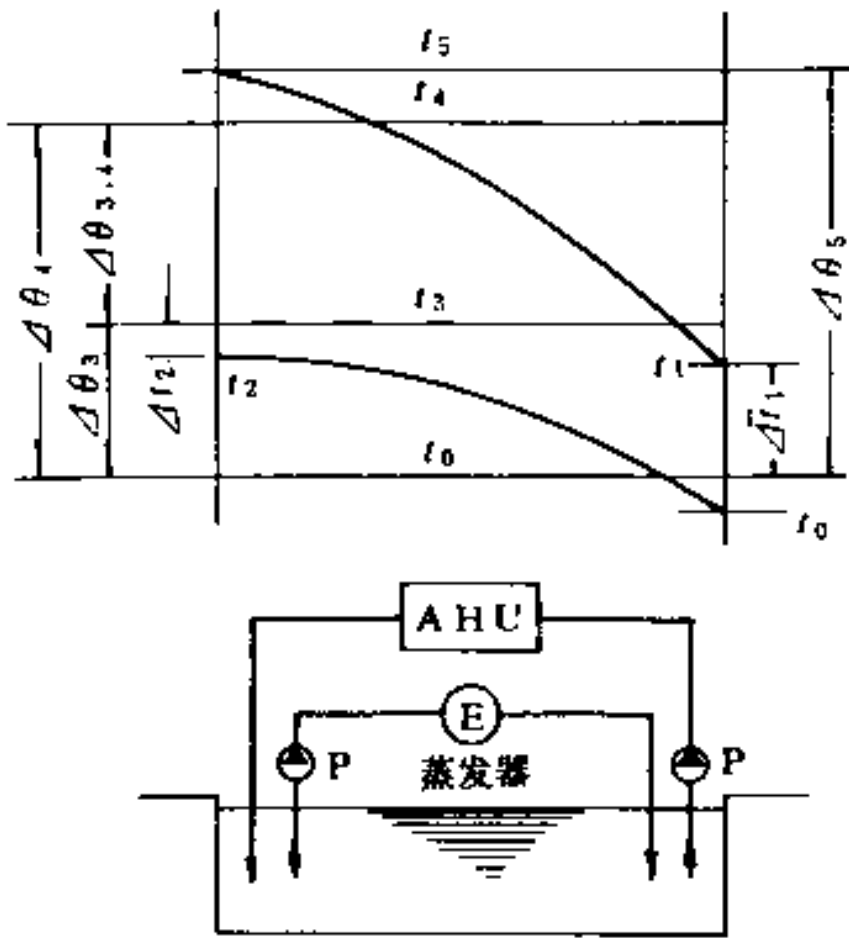


图 12.3-3 水池内的温度剖面图

蓄热侧的蓄热效率 \$\eta_x\$

$$\eta_x = \frac{\eta'_x + a}{1 + a} \quad (12.3-1)$$

$$\eta'_x = \frac{1}{2 - \sqrt{\frac{2 \Delta t_2}{\Delta \theta_3}}}$$

$$= \frac{1}{2 - \sqrt{\frac{2(t_3 - t_2)}{t_3 - t_0}}} \quad (12.3-2)$$

$$a = \Delta \theta_{y1} / \Delta \theta_4 =$$

$$(t_4 - t_3) / (t_4 - t_0) \quad (12.3-3)$$

用热侧的蓄热效率 \$\eta_y\$

$$\eta_y = \frac{1}{2 - \sqrt{\frac{2 \Delta t_1}{\Delta \theta_4}}}$$

$$= \frac{1}{2 - \sqrt{\frac{2(t_1 - t_0)}{t_4 - t_0}}} \quad (12.3-4)$$

综合效率 \$\eta\$:

$$\eta = (\eta_y + \eta_x - 1)P \quad (12.3-5)$$

式中 \$t_0\$——冷机的出水温度，℃；

\$t'_0\$——蓄热时出水侧水池的最低温度，℃；

\$t_1\$——用热时吸水侧水池的水温，℃；

\$t_2\$——蓄热时吸水侧水池的水温，℃；

\$t_3\$——冷机的进水温度，℃；

\$t_4\$——空调回水侧的水温，℃；

\$t_5\$——空调回水侧的设计水温，℃；

\$P\$——水池的有效容积系数，\$P = 0.90 \sim 0.95\$。

对应于 \$(\Delta t_2 / \Delta \theta_3)\$ 或 \$(\Delta t_1 / \Delta \theta_4)\$ 的 \$\eta'_x\$ 或 \$\eta_y\$ 的计算值如表12.3-2所示，它们的组合 \$\eta_x\$ 和 \$\eta_y\$ 值如表12.3-3所示。

注意事项

- 当负荷侧采用变流量调节方式时，综合效率 \$\eta\$ 将降低0.1~0.2；
- 若风机盘管机组的供水无温度自动控制时，\$\eta\$ 将降低得更多。

η_x 或 η_y 值

表 12.3-2

$\frac{\Delta t_2}{\Delta \theta_3}$ (或 $\Delta t_1 / \Delta \theta_4$)	η_x (或 η_y)	$\frac{\Delta t_2}{\Delta \theta_3}$ (或 $\Delta t_1 / \Delta \theta_4$)	η_x (或 η_y)
0/4	0.50	2/10	0.73
1/4	0.77	3/10	0.82
2/4	1.00	4/10	0.90
0/5	0.50	3/15	0.78
1/5	0.73	4/15	0.79
2/5	0.90	5/15	0.84
1/8	0.67	3/20	0.69
2/8	0.77	4/20	0.73
3/8	0.88	5/20	0.77

 η_x 或 η 值

表 12.3-3

$\Delta t_2 / \Delta \theta_3$	$\Delta t_1 / \Delta \theta_4$	η_x	$\eta = (\eta_y + \eta_x - 1) \times 0.95$
1.4	1.5	0.81	0.51
1.4	2.8	0.85	0.59
2.4	3.10	1.00	0.78
2.4	3.15	1.00	0.74
2.4	4.15	1.00	0.75
2.5	3.15	0.94	0.68
2.5	4.15	0.94	0.69
2.5	4.20	0.94	0.64
2.8	3.15	0.82	0.57
2.10	3.15	0.80	0.55
2.10	4.20	0.82	0.52
3.10	5.20	0.88	0.62

【例】 空调负荷曲线如图12.3-4所示，试计算确定蓄热水池。

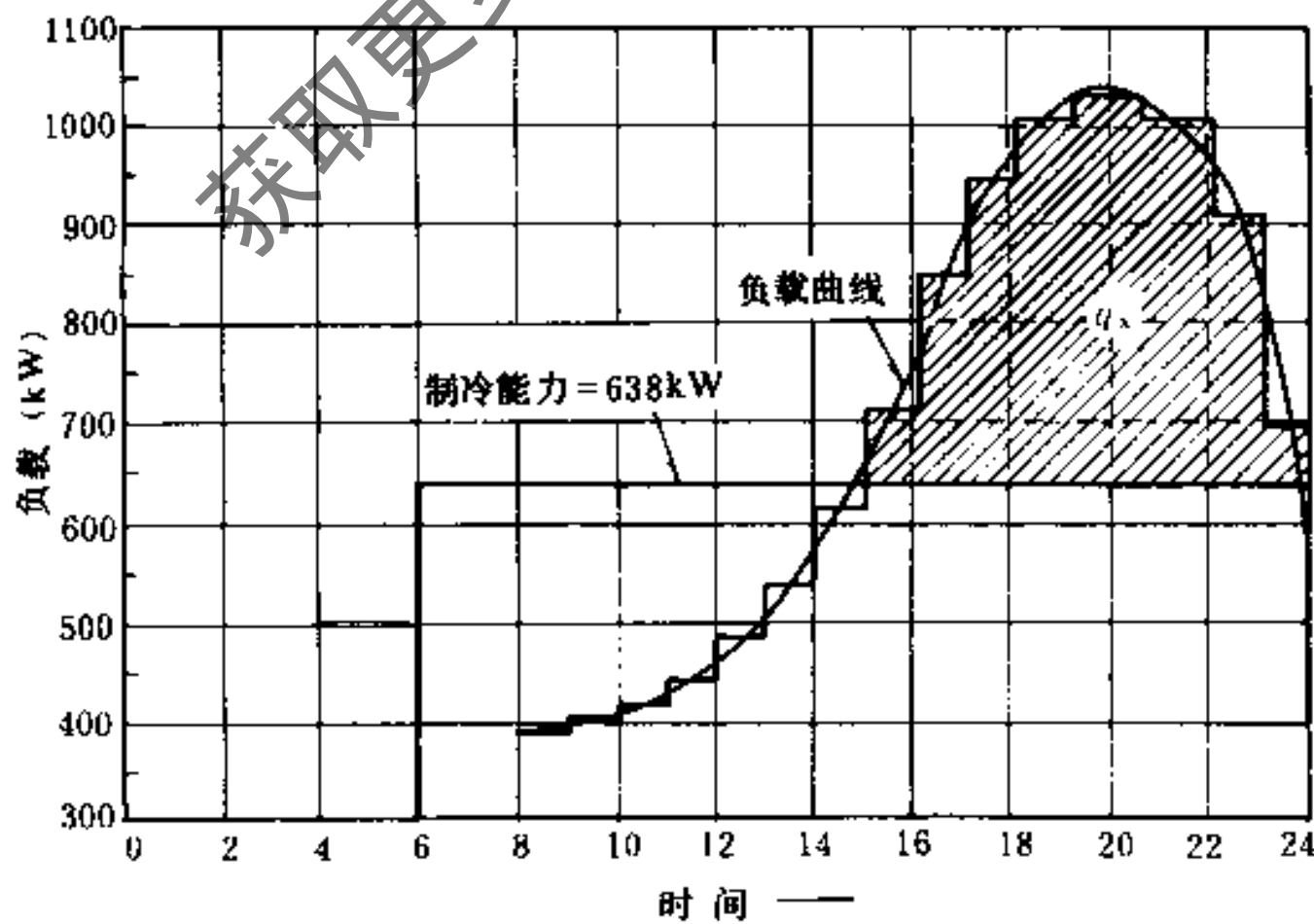


图 12.3-4 空调负荷曲线图

【解】

(1) 将空调负荷近似的按小时划分为阶梯形, 求出8:00~24:00的总负荷为:

$$395 + 407 + 419 + \dots + 709 = 11479 \text{ kW}$$

(2) 考虑冷机的运行时间为6:00~24:00(共计18小时), 则冷机负荷为:

$$q = 11479 / 18 = 638 \text{ kW}$$

(3) 高峰负荷出现时间在15:00~24:00之间, 如图12.3-9中斜线部分所示, 则蓄热量为:

$$q_x = (709 + 849 + \dots + 907 + 709) - 638 \times 9 = 8845 \text{ MJ}$$

考虑蓄热水池的热损失, 附加15%, 则设计蓄冷量应为:

$$q_x = 8826 \times 1.15 = 10150 \text{ MJ}$$

(4) 对应于图12.3-3上各点的水温为:

$t_0 = 5^\circ\text{C}$	$\Delta t_1 = 7 - 5 = 2^\circ\text{C}$
$t_1 = 7^\circ\text{C}$	$\Delta t_2 = 10 - 8 = 2^\circ\text{C}$
$t_2 = 8^\circ\text{C}$	$\Delta \theta_3 = 10 - 5 = 5^\circ\text{C}$
$t_3 = 10^\circ\text{C}$	$\Delta \theta_4 = 15 - 5 = 10^\circ\text{C}$
$t_4 = 15^\circ\text{C}$	$\Delta \theta_{3.4} = 15 - 10 = 5^\circ\text{C}$

所以

$$\Delta t_2 / \Delta \theta_3 = 2 / 5 = 0.4$$

$$\Delta \theta_{3.4} / \Delta \theta_4 = 5 / 10 = 0.5$$

$$\Delta t_1 / \Delta \theta_4 = 2 / 10 = 0.2$$

(5) 计算蓄热效率:

$$\eta_x = \frac{1}{2 - \sqrt{\frac{2\Delta t_2}{\Delta \theta_3}}} = \frac{1}{2 - \sqrt{2 \times 0.4}} = 0.9045$$

$$a = \Delta \theta_{3.4} / \Delta \theta_4 = 0.5$$

$$\eta_x = \frac{\eta'_x + a}{1 + a} = \frac{0.9045 + 0.5}{1 + 0.5} = 0.9363$$

$$\eta_y = \frac{1}{2 - \sqrt{\frac{2\Delta t_1}{\Delta \theta_4}}} = \frac{1}{2 - \sqrt{2 \times 0.2}} = 0.7313$$

所以 $\eta = (\eta_x + \eta_y - 1)P = (0.9363 + 0.7313 - 1) \times 0.95 = 0.6342$

(6) 确定蓄热量 假设负荷侧采用变流量调节方式, 所以 η 值将下降10%, 则实际综合效率为:

$$\eta = 0.6342 - 0.10 = 0.5342$$

蓄热量为:

$$G = \frac{q_x}{c \rho \Delta \theta_4 \eta} = \frac{10150}{4.2 \times 10 \times 0.5342} = 452 \text{ m}^3$$

水池可以布置为16格, 每格的尺寸为: $6.0 \times 3.4 \times 1.4$ (深) = 28.56 m^3 , 总容积为:

$$V = 28.56 \times 16 = 457 \text{ m}^3$$

(7) 冷机容量 在步骤(2)中已求出 $q = 638\text{kW}$,考虑水池和配管的热损失为20%,则实际冷机容量应为: $q = 638 \times 1.2 = 766\text{kW}$ 。

3. 蓄热水池的扬水方式

扬水方式不同时,它们的动力消耗是不相等的。图12.3-5所示为几种不同扬水方式的动力消耗比较,其中以(a)方式的动力消耗作为100%。

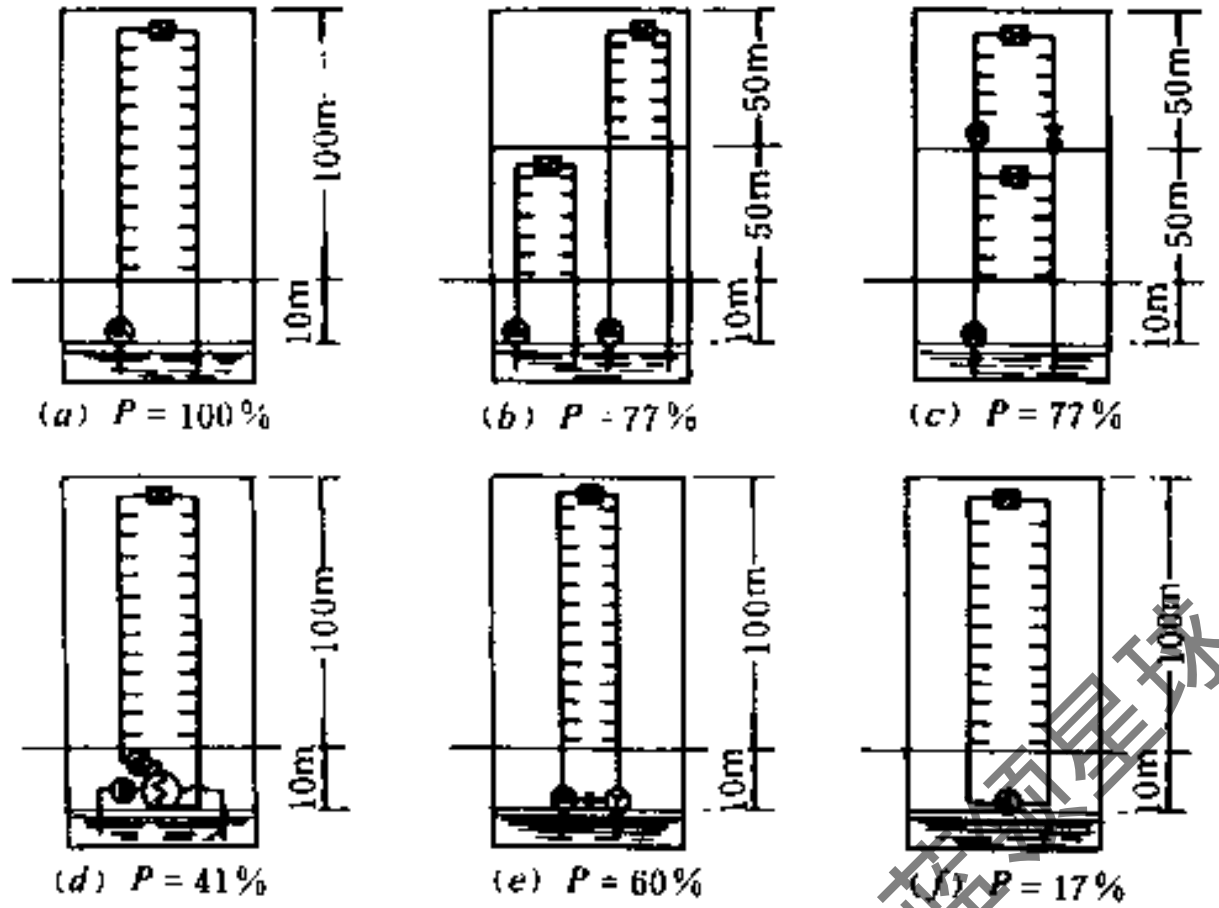


图 12.3-5 不同扬水方式的动力消耗比较图

12.3.3 冰 蓄 热

1. 冰蓄热系统与水蓄热系统比较

(1) 冰蓄热系统与水蓄热系统性能比较 见表12.3-4。

冰蓄热系统与水蓄热系统性能比较

表 12.3-4

序号	项 目	冰 蓄 热	水 蓄 热	备 注
1	蓄热槽容积	较小(为水蓄热槽的10~35%)	较大	图12.3-6
2	冷水温度	2~4℃	5~7℃	
3	制冷压缩机型式	以往复式、螺杆式为佳	任选	
4	制冷机耗电(电功率kW/冷量kW)	0.37	0.24	
5	蓄热系统初投资	较高	较低	
6	设计与运行	技术要求高,运行费较高	技术要求低,运行费较低	图12.3-7
7	蓄热槽热能损耗	小(为水蓄热的20%左右)	大	
8	制冷机性能系数(COP)	小(比水蓄热降低10~20%)	大	
9	水系统	冷水温差大,可用闭式系统,输水能耗小	冷水温差小,输水能耗大	
10	对旧建筑适应性	好	差	
11	用蓄热槽冬季供热	好	差	
12	蓄热槽制造	定型化,商品化工厂生产	现场制造	

(2) 冰蓄热系统与水蓄热系统耗能比较 见表12.3-5,其比值为:耗电量kW/制冷量kW。

2. 冰蓄热空调系统的适用条件和要求

(1) 冰蓄热空调系统的适用条件

① 间歇运行的空调系统,特别是负荷量大而集中的系统或昼开夜停的系统;例如办公楼、影剧院、体育馆、非三班制车间等。

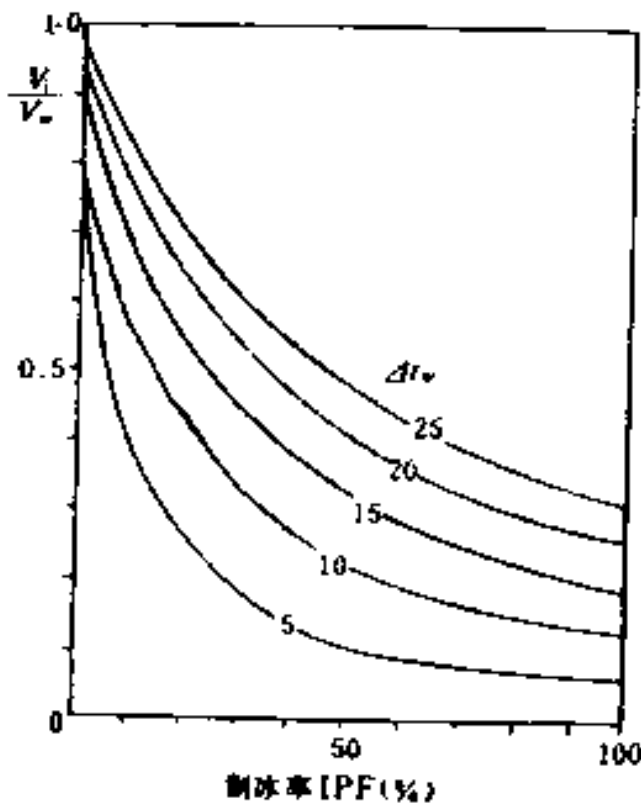


图 12.3-6 冰蓄热槽与水蓄热槽容积比较

注: 制冰率 (IPF) —— 制冰量与制冰前蓄热槽内水量的体积百分比;
 V_i —— 冰蓄热槽容积;
 V_w —— 水蓄热槽容积;
 Δt_w —— 水蓄热槽冷水利用温差, $^{\circ}\text{C}$;
 例如 $\Delta t_w = 5^{\circ}\text{C}$, 即冷水温度由 7°C 升至 12°C , 此时冰蓄热槽冷水利用温差为 12°C , 即冷水温度由 0°C 上升至 12°C 。

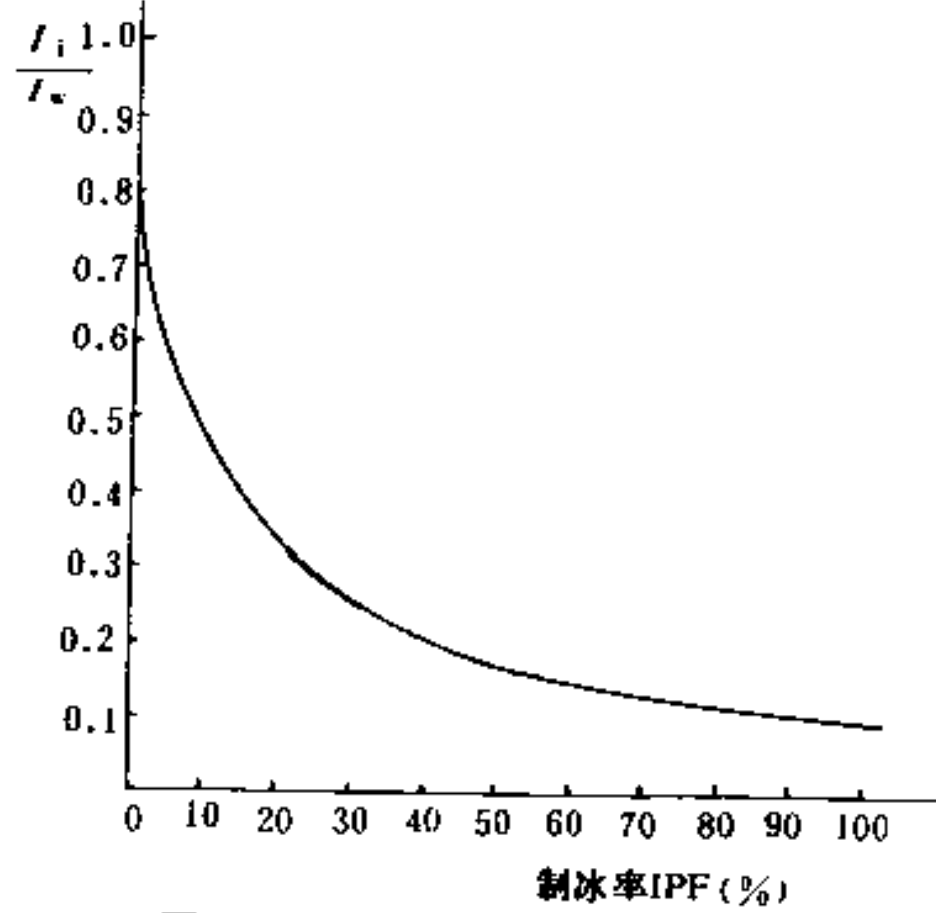


图 12.3-7 冰蓄热槽与水蓄热槽

热能损失比较

注: 1. 蓄热槽形状为立方体, 顶面温度为 30°C , 底面和侧面温度为 15°C ; 水蓄热槽槽内平均温度为 9.5°C , 冰蓄热槽槽内平均温度为 $18 [20(\text{IPF}) + 3]^{\circ}\text{C}$; 水蓄热槽与冰蓄热槽的热阻均相同;
 2. I_i —— 冰蓄热槽热能损失;
 I_w —— 水蓄热槽热能损失。

冰蓄热系统与水蓄热系统耗能比较 (kW/kW)

表 12.3-5

项 目	冰蓄热	水蓄热	项 目	冰蓄热	水蓄热
制冷压缩机	0.25	0.24	蒸发式冷凝器风机	0.024	—
一次冷冻水泵	—	0.006	蒸发式冷凝器水泵	0.003	—
二次冷冻水泵	0.068	0.068	搅拌器	0.014	—
冷凝器冷却水泵	—	0.011			
冷却塔风机	—	0.024	总计	0.359	0.349

②当地供电紧张, 白天难以保证供电或夜间电费便宜; 特别是空调高峰负荷与电网高峰负荷同步的情况下 (白天 $8:00 \sim 22:00$, 夜间 $22:00 \sim 8:00$)。

③运行管理人员有一定的技术水平。

(2) 冰蓄热空调系统的性能要求 见表12.3-6。

3. 冰蓄热空调系统制冰与蓄热方式

(1) 分类

①按冷源分类:

- a. 冷媒液 (盐水等) 循环;
- b. 制冷剂直接蒸发。

②按制冰形态分类:

a. 静态型 在换热器上结冰与融冰; 最常用的为浸水盘管式外制冰内融方式。

b. 动态型 将生成的冰连续或间断地剥离; 最常用的是在若干平行板内通以冷媒, 在板面上喷水并使其结冰, 待冰层达到适当厚度, 再加热板面, 使冰片剥离, 提高了蒸发温度和制冷机性能系数。

冰蓄热空调系统的性能要求

表 12.3-6

项目	性能要求	项目	性能要求
系统	1. 全年高效运行; 2. 系统连续运行, 避免了间歇运行不必要的能量浪费; 3. 充分利用夜间电力; 4. 兼顾夏季空调和冬季供暖	制冰换热器	1. 良好的耐腐蚀性能, 寿命在15年以上; 2. 良好的耐热耐冷性能 (-15~60℃); 3. 良好的耐压性能; 4. 造价便宜, 加工与安装方便; 5. 良好的热交换性能
制冷机	1. 制冷设备经常满负荷高效率运行; 2. 制冷时, 尽量提高蒸发温度, 充分利用夜间大气冷却能力, 降低冷凝温度, 提高制冷机产冷量和性能系数 (COP); 3. 既能制冷又能供热的热泵机组; 4. 制冷与供热保持平衡	二次侧设备	1. 利用冷水温度低和水温差大的特点, 减小水量、水管管径和输送动力; 2. 防止低温冷水造成的结露现象
		自动控制	1. 尽可能的提高系统运行效率; 2. 最大限度的利用夜间电力
蓄热槽	1. 良好的保温隔热性能; 2. 良好的密封性能; 3. 造价便宜; 4. 良好的耐热耐冷性能; 5. 维修管理方便; 6. 系列化商品化生产	经济性	1. 按设计要求满足控制精度; 2. 综合考虑初投资和运行费的经济性; 3. 增加投资的回收年限尽量短

③按冷水输送方式分类:

a. 二次侧冷水输送方式为冰蓄热槽与二次侧热媒相通。

b. 一次侧与二次侧相通的盐水输送方式。

④按装置组成分类:

a. 现场安装型 适用于大型建筑物。

b. 机组型 将制冷机与冰蓄热槽等组合成机组, 由工厂生产, 适用于中小型建筑物。

⑤按制冰换热器分类:

a. 螺旋管式。

b. 蛇管式。

c. 壳管式。

d. 板式。

e. 热管式。

图12.3-8为制冰方式分类。

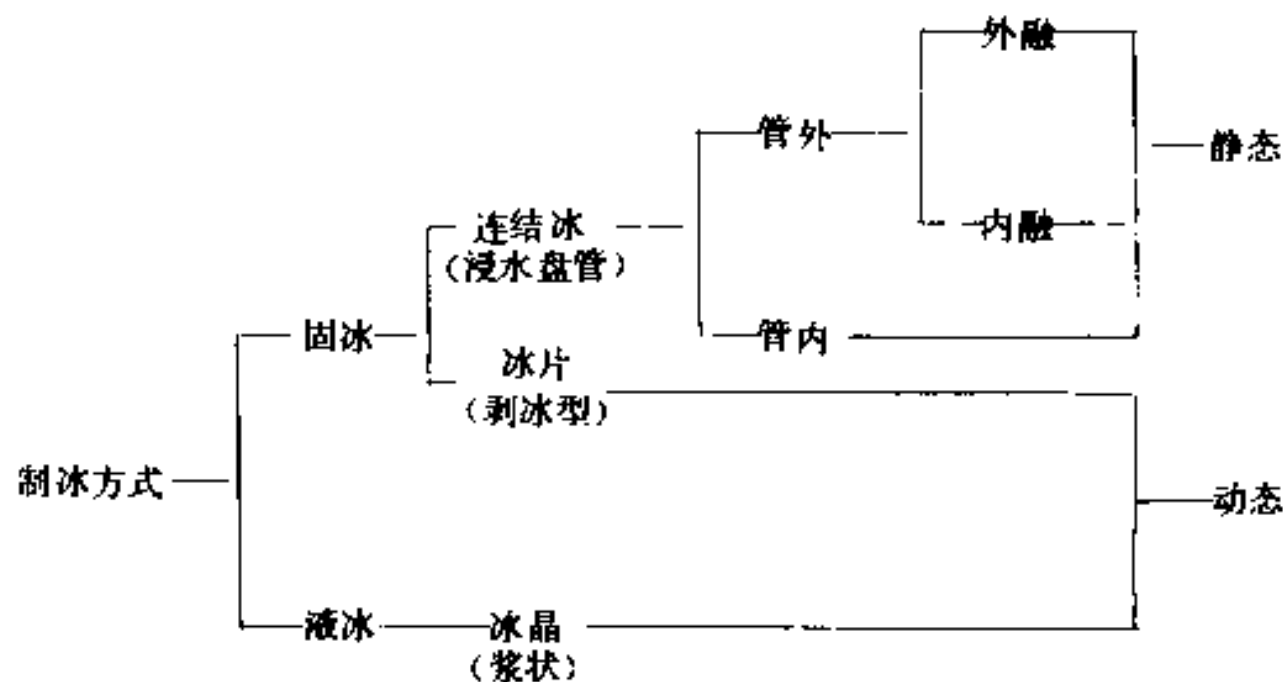


图 12.3-8 制冰方式分类

(2) 四种基本制冰方式的优缺点 见表12.3-7。

四种基本制冰方式的优缺点

表 12.3-7

名称	图式	系 统	压缩机	制 冰 方 式	优 点	缺 点
盘管制冰	图 12.3-9	直接蒸发式, 开式或闭式水槽	往复式, 螺杆式	钢管或铜管换热器浸入水槽, 管内通制冷剂, 管外结冰, 冰柱厚25~75mm	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直接蒸发式系统简单 2. 初投资较便宜 3. 可采用氟利昂或氨作为制冷剂 4. 供应冰水温度可低至3℃ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 蒸发温度低 2. 耗电高0.4kW/kW 3. 水处理较复杂, 维修费较高 4. 无法采用离心式压缩机 5. 制冷剂泄漏量较大
完全冻结	图 12.3-10	聚乙烯(PE)塑料槽内放聚乙烯(PE)塑料管, 槽中贮冷水, 塑料管内通低温乙二醇水溶液	往复式, 螺杆式	低温乙二醇水溶液通过塑料管时, 吸收塑料槽内水的热量而使水冻结	<ol style="list-style-type: none"> 1. 初投资低 2. 维修费低 3. 故障少 4. 供应冰水温度可低至3℃ 5. 适用于中小型空调系统 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 蒸发温度低 2. 多一个热交换环节, 效率降低 3. 无法采用离心式压缩机 4. 必须采用乙二醇溶液 5. 水槽承压能力小, 不适用于高层建筑
动态制冰	图 12.3-11	直接蒸发式; 管内通制冷剂, 管外为冷水, 贮于槽内	往复式, 螺杆式	制冷剂在蒸发时吸收管外水的热量而在管外结冰, 制冰厚度达15mm时即用热气式除霜方法使冰层剥落, 再继续制冰	<ol style="list-style-type: none"> 1. 系统简单 2. 可在夜间电网低负荷时大量制冰, 供白天使用 3. 蒸发温度较高 4. 占地面积小 5. 可配合任何空调系统 6. 供应冰水温度较低 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冷量损失大 2. 设计与管理技术要求高
低温共融	图 12.3-12	间接蒸发式	离心式, 螺杆式, 往复式	利用无机盐或有机物提高冷水冰点, 使盐水在较高温度时结冰	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提高蒸发温度与性能系数, 减少耗电量(提高蒸发温度1℃, 制冷机耗电量降低0.24kW/kW制冷量) 2. 便于装有离心式冷水机组的原有空调系统进行改造 3. 运行与贮冰可以同时进行 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用寿命短, 约2500次, 相变性能会逐渐衰减, 同时会产生结晶; 2. 设计与管理技术要求较高

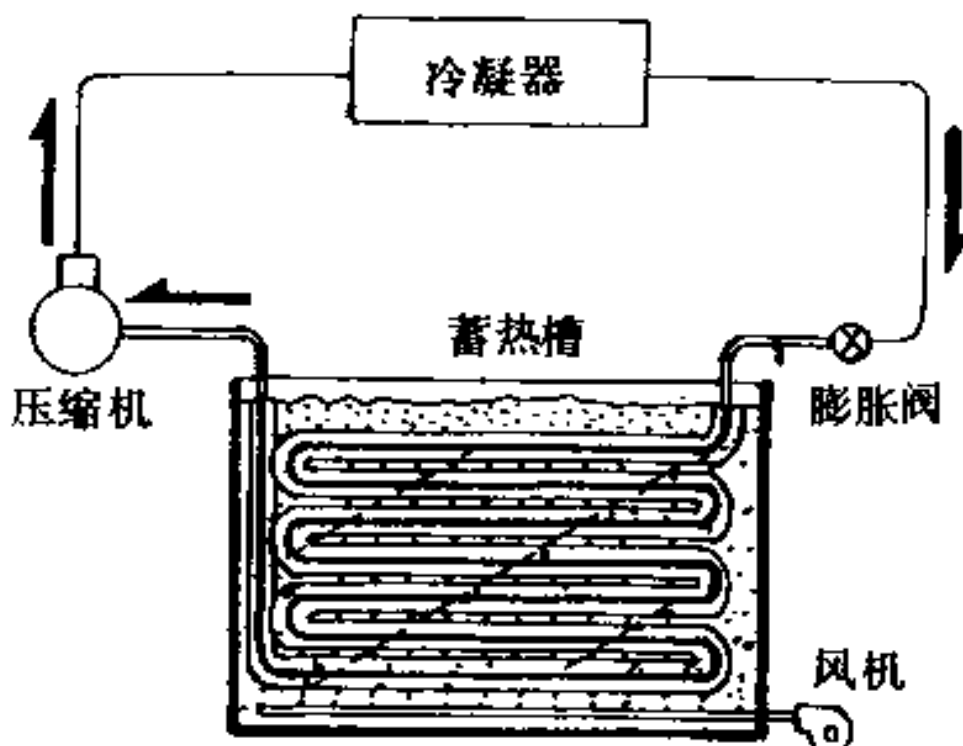


图 12.3-9 盘管制冰

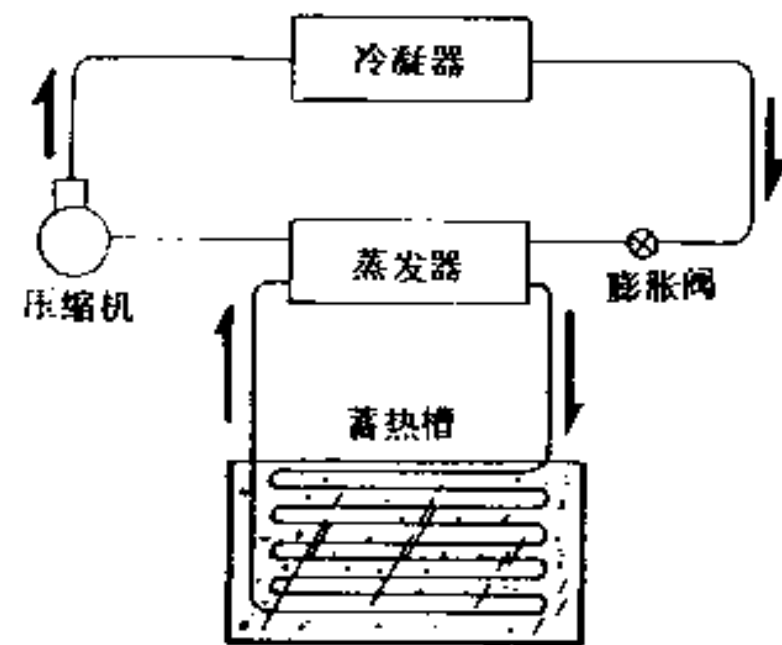


图 12.3-10 完全冻结

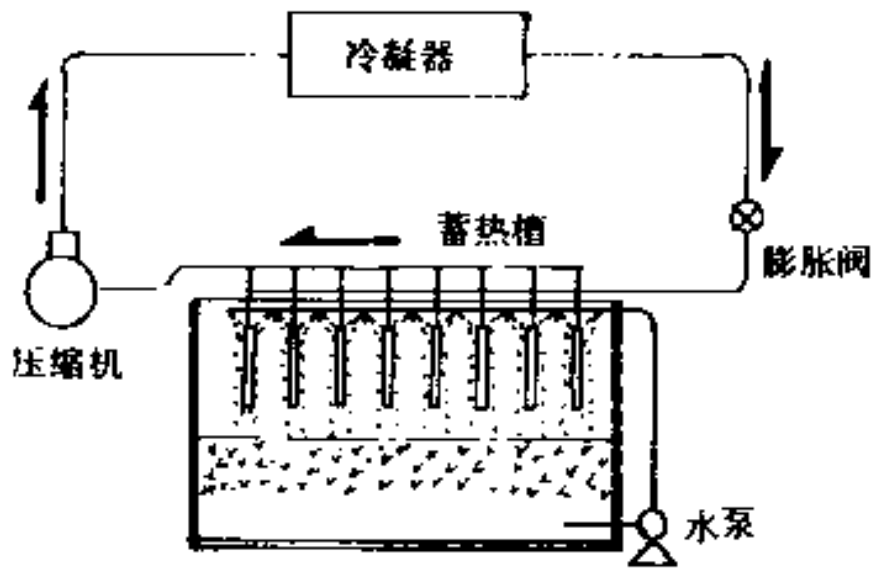


图 12.3-11 动态制冰

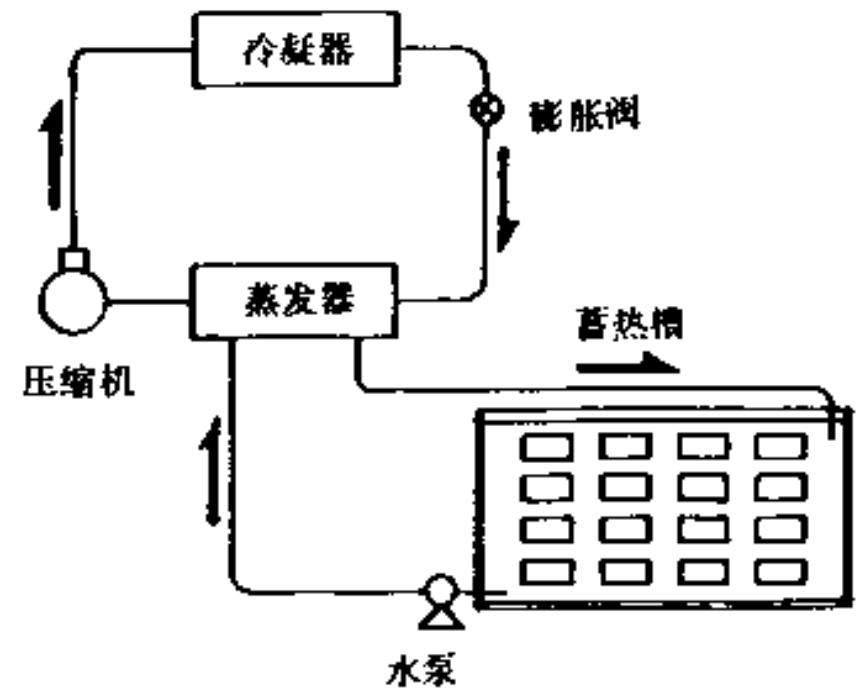


图 12.3-12 低温共融

(3) 各种蓄热方式的基本型式分类 见表12.3-8。

各种蓄热方式的基本型式分类

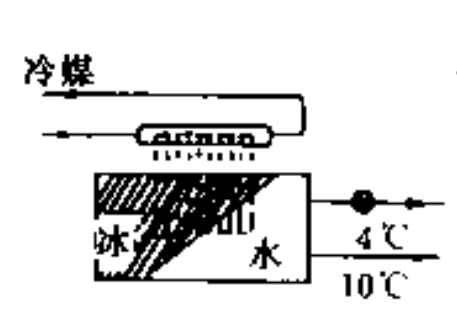


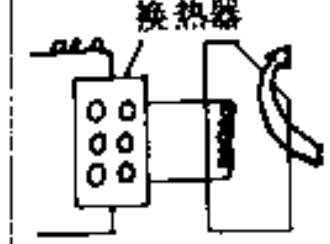
表 12.3-8

热源方式	制冰方法	优点	缺点
<p>4. 防冻液循环式</p> <p>热泉： 制冷蒸发器</p>	<p>A-1</p>	<p>1. 除水泵外没有转动部分</p> <p>2. 制冰表面积增大,对传热有利</p> <p>3. 负荷侧为水</p>	<p>槽内必须装设换热器</p>
	<p>A-2</p>	<p>1. 负荷侧为密闭回路,水泵动力减少</p> <p>2. 负荷侧为水</p>	<p>1. 管内制冰有堵塞的危险</p> <p>2. 制冰表面积减小,对传热不利</p> <p>3. 槽的热损失大</p> <p>4. 盐水用量多</p>
	<p>A-3</p>	<p>1. 负荷侧为密闭回路,水泵动力减少</p> <p>2. 白天运行时,蒸发温度提高</p>	<p>1. 负荷侧为防冻液,防冻液用量多</p> <p>2. 冰融解后在残留冰上继续制冰时,槽内换热器有遭受破坏的危险</p> <p>3. 放冷时效率差</p>
	<p>A-4</p>	<p>制冰率高</p>	<p>1. 负荷侧为防冻液</p> <p>2. 防冻液流动不均匀</p> <p>3. 槽的热损失大</p>

续表

热源方式	制冰方法	优点	缺点
	<p>防冻液 10°C 4°C 水 4°C 10°C A-5</p>	<p>冰 制冰时 融冰时</p>	<p>制冰效率良好</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 必须具有足够的空间 2. 冰剥离时须耗能 3. 冬季进行供暖有困难 4. 必须采用水泵
	<p>油 防冻液 -5°C 0°C 水 -10°C 10°C A-6</p>	<p>直接热交换</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制冰效率良好 2. 制冰率高 3. 槽内不必装设换热器 <ol style="list-style-type: none"> 1. 负荷侧为防冻液(油) 2. 槽内有堵塞的危险 3. 尚处于实验阶段
	<p>防冻液 -5°C 4°C 水 10°C 10°C A-7</p>	<p>热管 水 制冰时 融冰时</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制冰换热器输送动力小 2. 制冰时冰的厚度均匀 <ol style="list-style-type: none"> 1. 冬季进行供暖有困难 2. 热管价格高
<p>B. 直接蒸发式</p> <p>压缩机 (冷) 制冷剂 热泵 (冷) 制冷冷凝器</p>	<p>冷媒泵 (液体循环方式) B-1 冷媒 -6°C -1°C 水 4°C 10°C</p>	<p>热管 水 制冰时 融冰时</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制冰表面积增大, 对传热有利 2. 负荷侧为水 <p>槽内必须装设换热器</p>
	<p>冷媒泵 (液体循环方式) B-2 冷媒 -6°C -1°C 水 4°C 10°C</p>	<p>冰 制冰时 融冰时</p>	<p>制冰效率良好</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 必须用水泵 2. 冰剥离时须耗能 3. 必须具有足够的空间
	<p>冷媒 B-3 制冰 防冻液(油) 冷媒 -6°C -1°C 水 4°C 10°C</p>	<p>液冰</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制冰效率良好 2. 制冰率高 3. 槽内不必装设换热器 4. 分散蓄热容易 <ol style="list-style-type: none"> 1. 负荷侧为防冻液(油) 2. 槽内有堵塞危险
	<p>B-4 冷媒 水</p>	<p>直接热交换</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制冰效率良好 2. 制冰率高 3. 槽内不必装设换热器 <ol style="list-style-type: none"> 1. 槽内有堵塞危险 2. 尚处于实验阶段

续表

热源方式	制冰方法	优点	缺点	
	 <p>B5</p>		1. 制冰换热器输送动力小 2. 制冰时冰的厚度均匀	1. 冬季进行供暖有困难 2. 热管价格高
	 <p>B6</p>			尚处于实验阶段

4. 冰蓄热空调系统运行方式

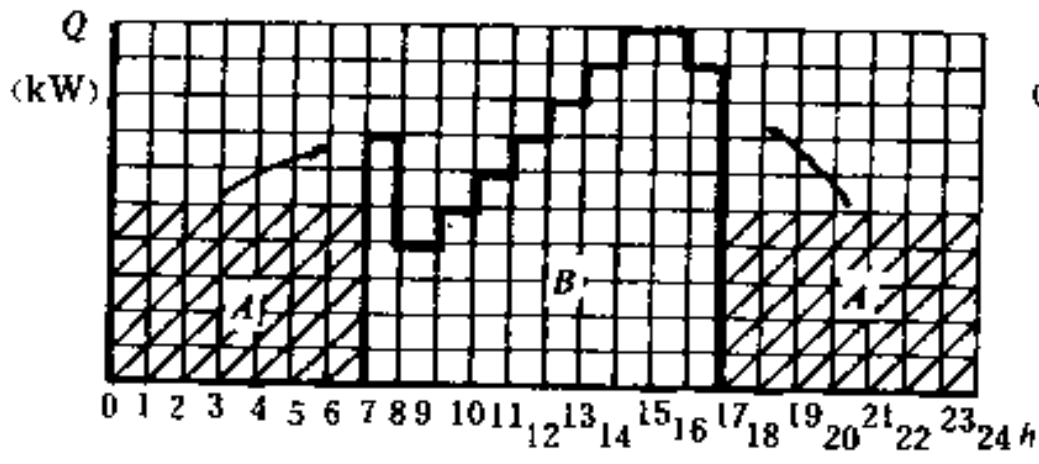
- (1) 冰蓄热空调系统运行方式分类和优缺点 见表12.3-9。
 (2) 部分负荷蓄热空调系统运行方式分类和优缺点 见表12.3-10。

冰蓄热空调系统运行方式分类和优缺点

表 12.3-9

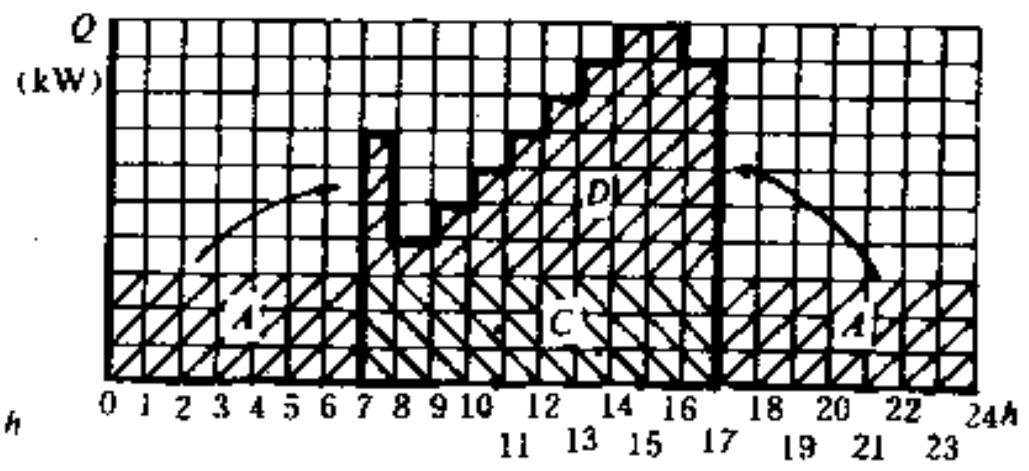
运行类型	图式	运行方式	优点	缺点
全负荷蓄热方式	图12.3-13	制冷机在夜间制冰，储蓄冷量，提供白天全部空调负荷的需冷量；白天制冷机停止运行。充足率为100%。目前约有1/3工程用此方式，常用于旧建筑改造	1. 空调用电负荷全部避开白天电网峰值负荷时间 2. 充分利用夜间电网低谷廉价电力 3. 运行工况简单，设计和管理简便	1. 制冷空调设备与蓄热槽较大，初投资高 2. 制冷机性能系数较低
部分负荷蓄热方式	图12.3-14	分以下三类： 1. 夜间制冷机制冰，储蓄冷量；白天制冷机满负荷运行，冷量不足时再利用蓄冷量 2. 夜间制冷机制冰，储蓄冷量，提供白天空调系统用，冷量不足时再开动制冷机作为补充 3. 按一定比例，将空调负荷分给制冷机和蓄热槽，尽量使组合方案最经济，同时充分发挥蓄热槽的作用，并使其高效运行 对于空调负荷变动较大的工程，白天制冷机运行，满足空调稳定负荷的需冷量，其余部分由蓄热槽补充，取充足率为40%~50%，目前约有2/3的工程采用部分负荷蓄热方式，常用于新建筑设计	1. 制冷、空调设备与蓄热槽较小 2. 初投资与运行费的综合值较经济 3. 制冷机运行效率提高	1. 空调部分用电负荷占用白天电网峰值负荷时间 2. 设计和管理较复杂

注：充足率定义为蓄热量相对于日累积热负荷的百分比。



A—制冷机在夜间制冰，储蓄冷量
B—蓄热槽提供白天全部空调负荷的需冷量

图 12.3-13 全负荷蓄热方式



A—制冷机在夜间制冰，储蓄冷量
C—白天制冷机满负荷运行
D—蓄热槽提供白天部分空调负荷的需冷量

图 12.3-14 部分负荷蓄热方式

部分负荷蓄热空调系统运行方式分类和优缺点

表 12.3 10

运行类型	图式	运行方式	优点	缺点
冰蓄热/冷剂盘管系统	图 12.3-15	制冷机在夜间制冰，储蓄冷量，供白天空调系统使用；白天制冷机利用冷剂盘管直接蒸发制备低温冷水，满足部分空调负荷的需冷量	1. 运行费较低。 2. 冷剂盘管蒸发温度较高，节省了压缩机耗功率	1. 须设置蓄热槽和直接蒸发冷却装置，占地面积大，初投资较高。 2. 由于两套装置蒸发温度不同，增加了控制系统的复杂性，因而限制其广泛使用
冰蓄热/并联蒸发器系统	图 12.3-16	制冷机在夜间制冰，储蓄冷量，供白天空调系统使用；白天蒸发器提供低温冷水，满足部分空调负荷的需冷量	全部冷水系统，设计简化	1. 须设置蓄热槽和冷水装置，初投资较高。 2. 由于两套装置蒸发温度不同，增加了控制系统的复杂性
压缩机辅助系统	图 12.3-17	制冷机在夜间制冰，储蓄冷量，供白天空调系统使用；白天制冷机继续运转，蓄热槽变成冷水装置，使流回槽中的空调回水冷却；制冷机的运行延缓了融冰过程，可以提供更多的制冷量	1. 全冷水系统 2. 系统设计与控制简单 3. 应用广泛 4. 初投资较低	运行费稍高

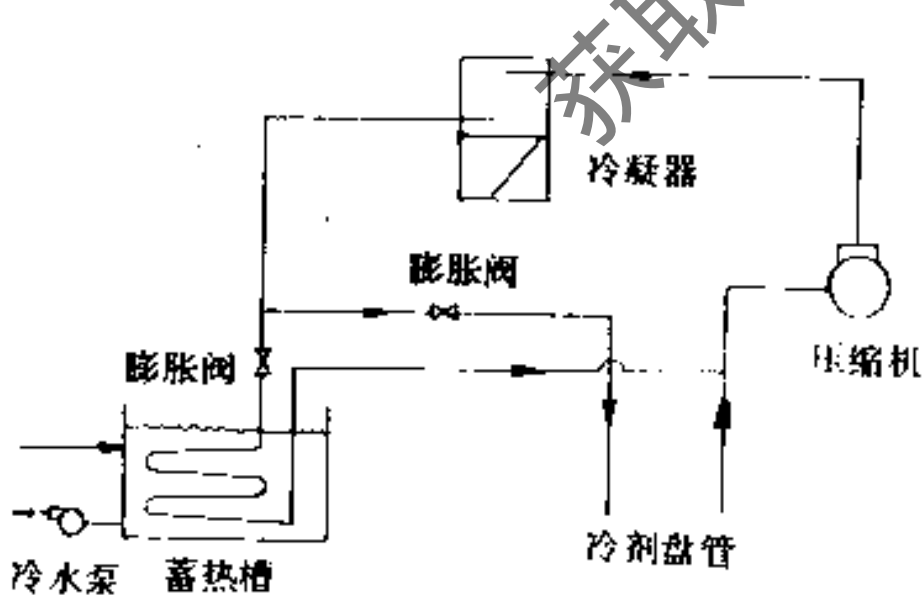


图 12.3-15 冰蓄热/冷剂盘管系统

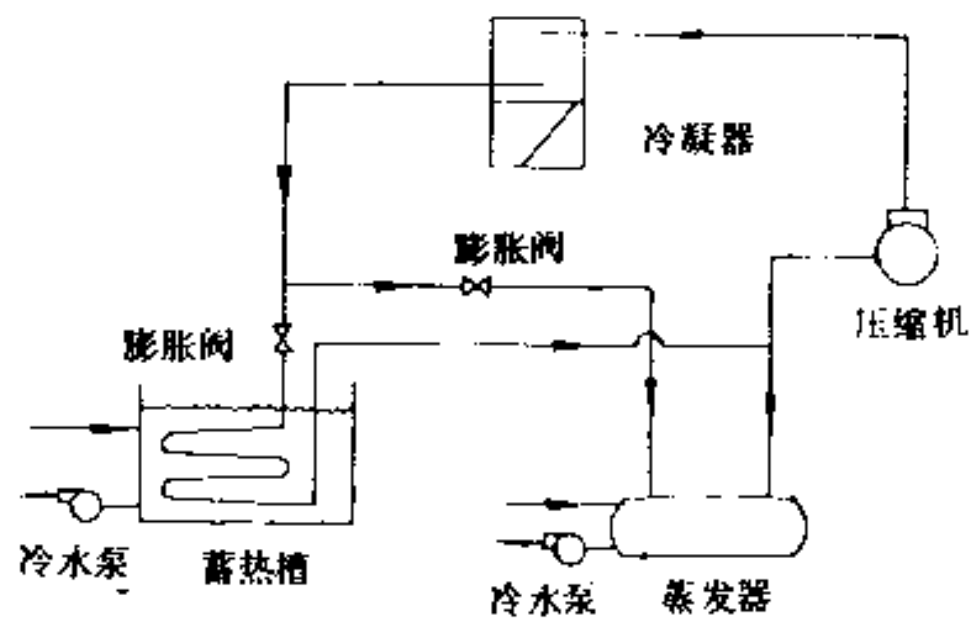


图 12.3-16 冰蓄热/并联蒸发器系统

5. 冰蓄热空调系统控制方式

(1) 保护性控制

为了保护制冰换热器及其辅助设备在结冰时不会因体积膨胀而损坏，常设置保护性控

制系统。

(2) 制冰量控制

测量与控制蓄热槽内水位变动量来控制制冰量与蓄热量。

(3) 提高机械效率和热效率的控制

- ① 制冷机满负荷运行；
- ② 尽量避免制冰蒸发温度过低；
- ③ 充用利用低温冷水，使二次侧输送动力减少；
- ④ 控制蓄热槽回水温度和流速。

(4) 系统运行的控制

根据室外气象参数的变化和室内散热量的变化以及电费的调整，综合考虑其经济性，实现最佳工况的运行控制。

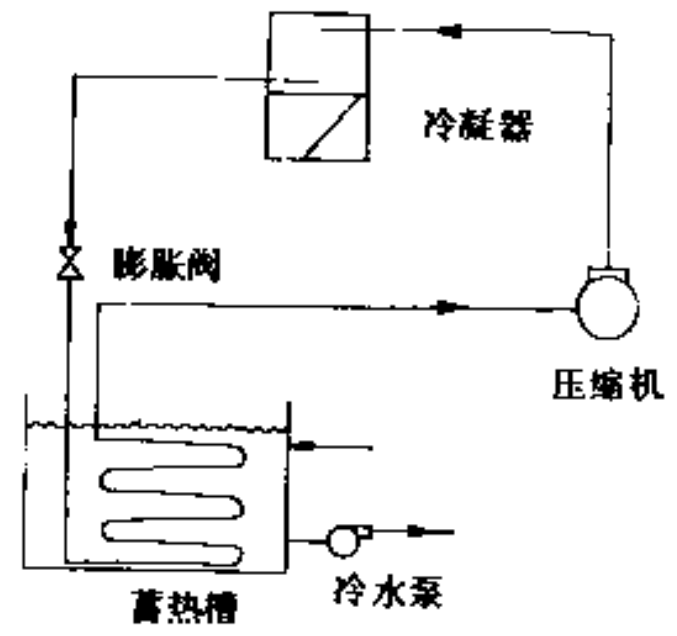


图 12.3-17 压缩机辅助系统

6. 冰蓄热空调系统设计要点

(1) 分析适用条件与实际效益

- ① 分析空调负荷特点，符合上述适用条件，才宜采用；
- ② 与常规空调系统比较，具有一定的节能效益与经济效益。

(2) 选择冰蓄热方式

考虑让电与设备投资的综合因素，一般宜采用部分负荷蓄热空调系统；如当地难以保证白天的空调制冷用电时，宜采用全负荷蓄热空调系统。

(3) 计算空调冷负荷和蓄热量

① 按夏季室内外计算参数，计算空调逐时冷负荷 CL ，再计算出日累计负荷值(24h) Q_t (kJ)。

② 根据已选定的冰蓄热方式，确定制冷系统每天运行时间 τ_t (h)；

$$\tau_t = \tau_d + \tau_n \tag{12.3-6}$$

式中 τ_d ——空调时间，h；

τ_n ——蓄热时间，h。

τ_t 值的取用：部分负荷蓄热方式 $\tau_t = 20 \sim 24$ h；

全负荷蓄热方式 $\tau_t = 10 \sim 14$ h。

③ 计算制冷机冷却能力的平均值 R_m (kJ/h)：

$$R_m = \frac{Q_t}{\tau_t} \tag{12.3-7}$$

④ 计算蓄热量 Q_{st} (kJ)：

$$Q_{st} = Q_t - R_m \cdot \tau_d \tag{12.3-8}$$

(4) 确定蓄热槽容积 V_{st} (m³)：

$$V_{st} = \frac{Q_{st}}{[\rho_w \cdot c_w (t_c - t_s) + \rho_i \cdot L \cdot (IPF)] \eta_{st}} \tag{12.3-9}$$

式中 ρ_w, ρ_i ——水、冰密度，kg/m³； $\rho_i = 0.92$ kg/m³；

c_w ——水比热，kJ/(kg·℃)；

t_i, t_s ——蓄热槽的进、出水温;

一般取 $t_i = 10 \sim 12^\circ\text{C}$, $t_s = 0^\circ\text{C}$, $\Delta t_w = t_i - t_s$, 为蓄热槽的利用温差;

L ——冰的融解热, 335kJ/kg ;

IPF ——制冰率, 一般取 $10 \sim 40\%$ (大型建筑物取下限, 中小型建筑物取上限);

η_{st} ——蓄热槽效率, 考虑热损失和混合损失, 一般取 $\eta_{st} = 0.9$ 。

(5) 选择制冷设备

①全负荷蓄热空调系统 按制冷机冷却能力平均值 R_m 、蓄热槽容积、蓄热时间和槽内水温变化情况条件来选择制冷机容量。

②部分负荷蓄热空调系统 按制冰工况来选择制冷机容量, 但须根据空调工况配用电动机。

③为了降低制冷系统的冷凝温度, 以提高制冷机的产冷量和提高性能系数(COP)值, 宜选用蒸发式冷凝器。

7. 选择制冰换热器

(1) 在确保传热性能的基础上, 蓄热槽内除设置制冰换热器外, 还须考虑足够的安装与维修空间。制冰换热器占蓄热槽的容积百分比 $a(\%)$:

$$a = \frac{V_{Ex}}{V_{st}} \quad (12.3-10)$$

一般 a 取 0.65 , $(1-a)$ 即为安装与维修用的空间比例;

式中 V_{Ex} ——制冰换热器所占槽内空间, m^3 。

(2) 设计制冰换热器

制冰换热器的结构, 有多种形式, 常用的如浸没在蓄热槽内的双重内螺旋型盘管, 采用钢管或耐高压的聚乙烯管等材料制成, 一般每 m^3 槽容积的换热盘管管长为 $50 \sim 100\text{m}/\text{m}^3$, 换热器总的传热系数为 $17.45 \sim 34.89\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ 。

设计换热器, 须考虑换热器材料的传热系数、制冷剂与热媒的传热性能, 根据热平衡方程式来计算传热面积。由于形状的不同、槽内水的热动态和热媒温度的变化等因素, 目前最好还是根据实验结果来设计换热器。

一般理论计算方法如下:

$$-Q_1(n) = C_w \cdot \rho_w \cdot V_w(n) \left[\frac{t_w(n+1) - t_w(n)}{\Delta \tau} \right] \quad (12.3-11)$$

$$Q_1(n) = a_0 F(n) [t_w(n) - t_s(n)] \cdot N \quad (12.3-12)$$

$$Q_2(n) = K(n) l_p [t_s(n) - \bar{t}_b(n)] \cdot N \quad (12.3-13)$$

$$K(n) = \frac{2\pi}{\frac{1}{a_1 r_{in}} + \frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{r_p}{r_{in}} + \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_i(n)}{r_p}} \quad (12.3-14)$$

$$\bar{t}_b(n) = t_s(n) - \frac{t_s(n) - t_{bi}(n)}{D \cdot l_p} [1 - \exp(-D \cdot l_p)] \quad (12.3-15)$$

$$D = \frac{K(n)}{C_b \cdot \rho_b \cdot G_b} \quad (12.3-16)$$

$$Q_2(n) = C_b \cdot \rho_b \cdot G_b [t_{bo}(n) - t_{bi}(n)] \cdot N \quad (12.3-17)$$

$$t_{bo}(n) = t_s(n) \cdot [t_s(n) - t_{bi}(n)] \exp(-D \cdot l_p) \quad (12.3-18)$$

$$Q_2(n) - Q_1(n) = L \cdot \rho_i \frac{V_i(n+1) - V_i(n)}{\Delta\tau} \quad (12.3-19)$$

$$V_i(n) = \pi \cdot l_p [r_i(n)^2 - r_p^2] \quad (12.3-20)$$

$$F(n) = 2\pi \cdot r_i(n) \cdot l_p \quad (12.3-21)$$

式中 $Q_1(n)$ ——水与冰（或换热器）表面之间的对流传热量，kW；

C_w ——水的比热，kJ/(kg·℃)；

$V_w(n)$ —— n 时刻蓄热槽内水的体积，m³；

$\Delta\tau$ ——时间间隔，s；

a_0 ——水与冰（或换热器）表面之间的放热系数，kW/(m²·℃)；

一般取 $a_0 = 0.116 \sim 0.464$ kW/(m²·℃)；

$F(n)$ —— n 时刻与水接触的冰（或换热器）的表面积，m²/组；

N ——制冰换热器的组数；

$t_s(n)$ ——有冰时为水与冰的界面温度，℃；无冰时为换热器与水接触的表面温度，℃；

$Q_2(n)$ —— n 时刻与水接触的冰表面（或换热器表面）和盐水之间的传热量，kW；

l_p ——制冰换热器的管长，m/组；

$\bar{t}_b(n)$ —— n 时刻换热器内盐水的平均温度，℃；

$K(n)$ —— n 时刻由与水接触的冰表面（或换热器表面）到盐水之间的传热系数，kW/(m·℃)；

a_i ——换热器内表面的换热系数，kW/(m²·℃)；

λ_p, λ_i ——换热器管壁、冰的导热系数，kW/(m·℃)；

r_{in}, r_p ——换热器管子的内、外半径，m；

$r_i(n)$ —— n 时刻水与冰界面的曲率半径，m；

$t_{bi}(n)$ —— n 时刻换热器入口处盐水的温度，℃；

C_b ——盐水的比热，kJ/(kg·℃)；

ρ_b ——盐水的密度，kg/m³；

G_b ——盐水的流量，m³/h·组；

$t_{bo}(n)$ —— n 时刻换热器出口处盐水的温度，℃

$V_i(n+1), V_i(n)$ —— $(n+1)$ 和 n 时刻蓄热槽内冰的体积，m³；

蓄热槽内无冰时， $V_i(n) = 0$ ； $r_i(n) = r_p$ ；

有冰时， $t_s(n) = 0$ ℃。

12.4 热回收

12.4.1 热回收方式的比较

热回收的方式很多，各种不同方式的效率高低、设备费的大小、维护保养的繁简也各不相同，它们的比较如表12.4-1所示。

各种热回收方式的比较 表 12.4 1

热回收方式	效率	设备费	维护保养
转轮换热器	A	B	B
中间热媒式换热器	C	A	A
板式显热换热器	B	B	A
板翅式全热换热器	A	B	A
热管换热器	B	B	A
热 泵	B	C	C

注: A、B、C的顺序按有利至不利排列。

12.4.2 转轮换热器

1. 转轮换热器的功能、适用范围和优缺点

转轮换热器是在旋转过程中让排风与新风以相逆方向流过转轮(蓄热体)而各自释放和吸收能量的,如图12.4-1所示。

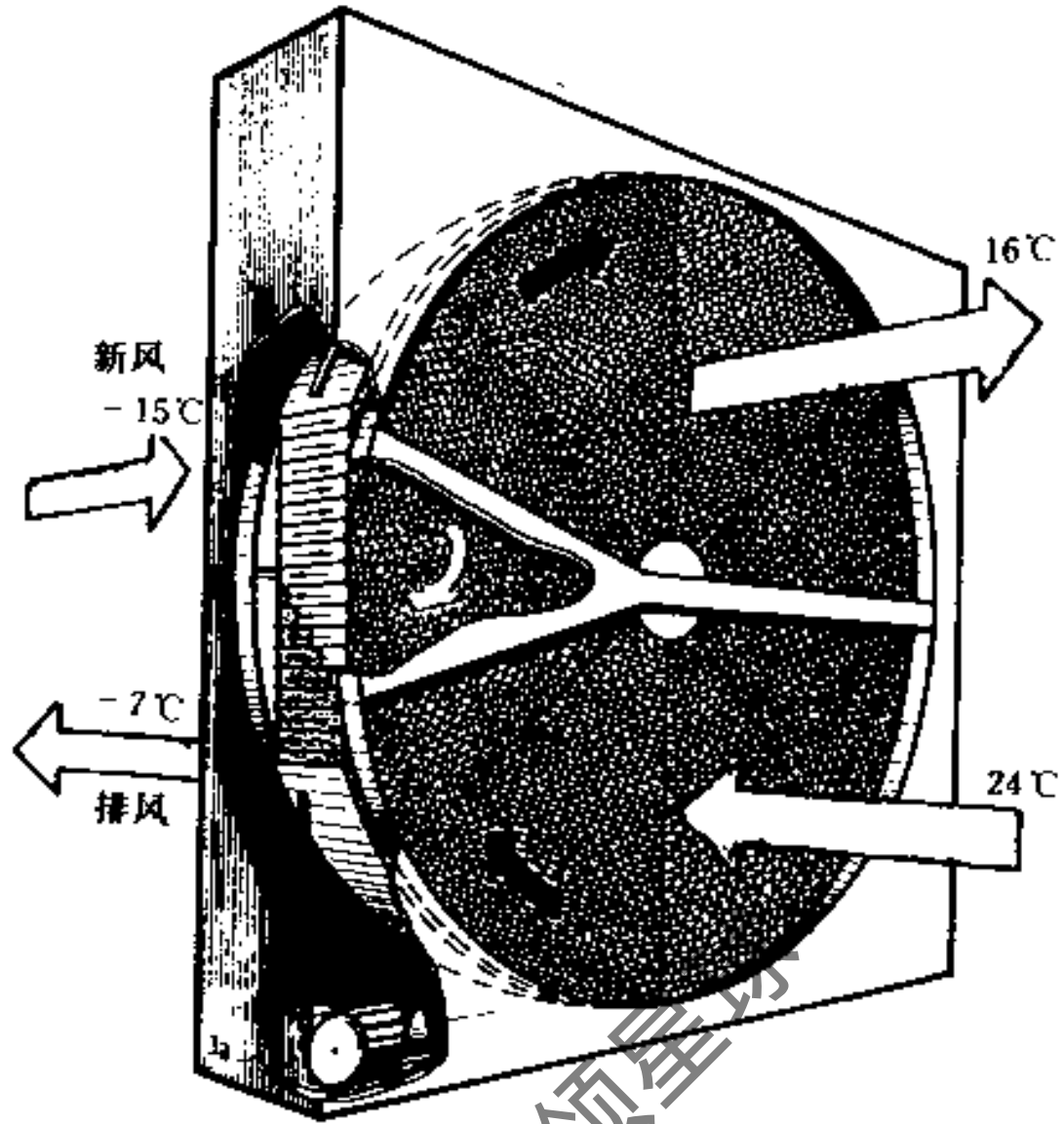


图 12.4-1 转轮换热器

转轮换热器的功能与适用范围,如表12.4-2所示。

转轮换热器的功能与适用范围

表 12.4-2

型号	功 能	适 用 范 围
ET	有优良的吸湿性能,可同时回收显热与潜热,效率达70~90%(由覆有吸湿性涂层的抗腐蚀铝合金箔作蓄热体)	有湿度要求的空调系统,如纺织厂、旅馆、医院、办公楼等。
RT	无吸湿性,主要回收显热;当排风温度低于露点时,有吸湿可能,能回收潜热(由纯铝箔作蓄热体)	体育馆、百货商店、工业通风系统
PT	能耐较高温度;无吸湿性,只能回收显热(由耐腐蚀铝合金箔作蓄热体)	厨房、印染厂和特殊工业通风系统
KT	无吸湿性,主要回收显热,有较强的耐腐蚀性(由耐腐蚀铝合金箔作蓄热体)	电镀车间、电机试验室、室内游泳池、动物饲养房等

转轮换热器的主要优缺点,如表12.4-3所示。

转轮换热器的主要优缺点

表 12.4-3

优 点	缺 点
<ol style="list-style-type: none"> 既能回收显热,又能回收潜热 排风与新风交替逆向流过转轮,具有自净作用 通过转速控制,能适应不同的室内外空气参数 回收效率高,可达到70~90% 能应用于较高温度($>80^{\circ}\text{C}$)的排风系统 	<ol style="list-style-type: none"> 装置较大,占用建筑面积和空间多 接管位置固定,配管灵活性差 有传动设备,自身需要消耗动力 压力损失较大 有少量渗漏,无法完全避免交叉污染

2. 热回收效率

排风和新风在转轮换热器中的温度、湿度和焓值的变化情况，如图12.4-2所示。热回收效率 η 可按表列诸式求出（表12.4-4）。

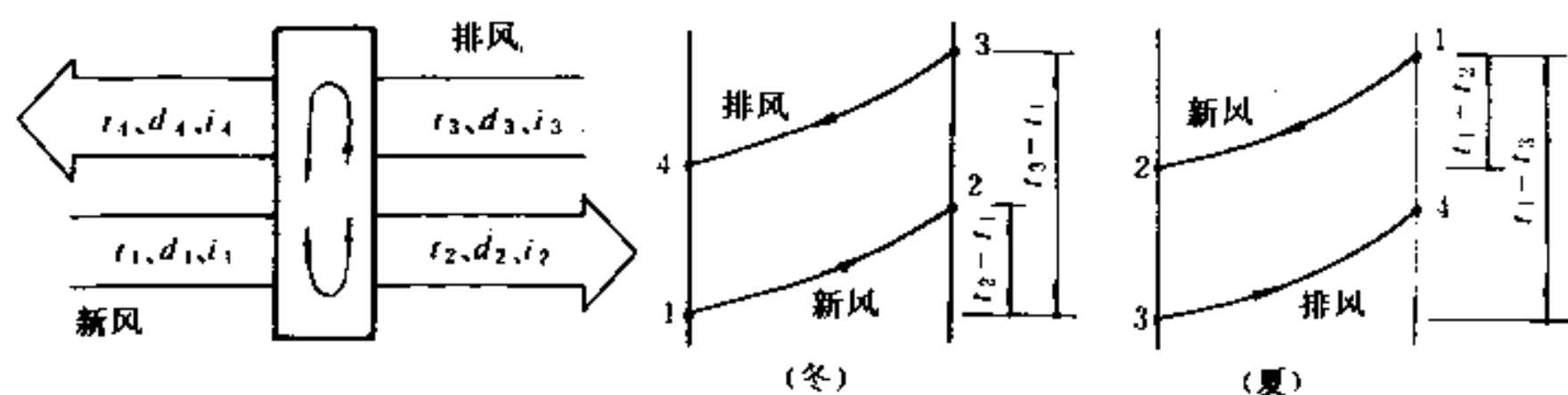


图 12.4-2 空气参数的变化

转轮换热器的热回收效率计算公式表

表 12.4-4

$\eta(\%)$	冬 季	夏 季
显热效率	$\eta_s = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \times 100\%$	$\eta_s = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3} \times 100\%$
潜热效率	$\eta_d = \frac{d_2 - d_1}{d_3 - d_1} \times 100\%$	$\eta_d = \frac{d_1 - d_2}{d_1 - d_3} \times 100\%$
全热效率	$\eta = \frac{i_2 - i_1}{i_3 - i_1} \times 100\%$	$\eta = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} \times 100\%$

3. 影响转轮换热器效率的因素

(1) 空气流速 空气流过转轮时的迎风面流速越大，效率越低，见图12.4-3。反之，效率则高；但转轮的断面积大。一般认为技术经济流速为2~4m/s。

(2) 转速 转轮转速与效率的关系，如图12.4-4所示。当转速低于4r/min时，效率明显下降；但增大至10r/min以后，效率几乎不再变化。

(3) 比表面积 转轮单位体积的换热表面积，通常称为比表面积。比表面积愈大，回收效率愈高。不过，随着比表面积的增加，空气流经转轮时的压力损失也将增大；一般认为经济的比表面积为2800~3000m²/m³。

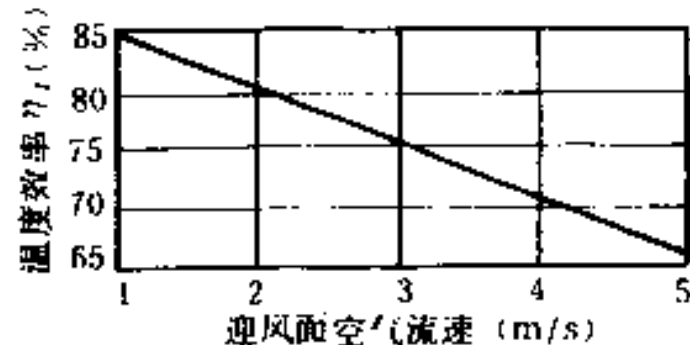


图 12.4-3 迎风面速度与效率的关系

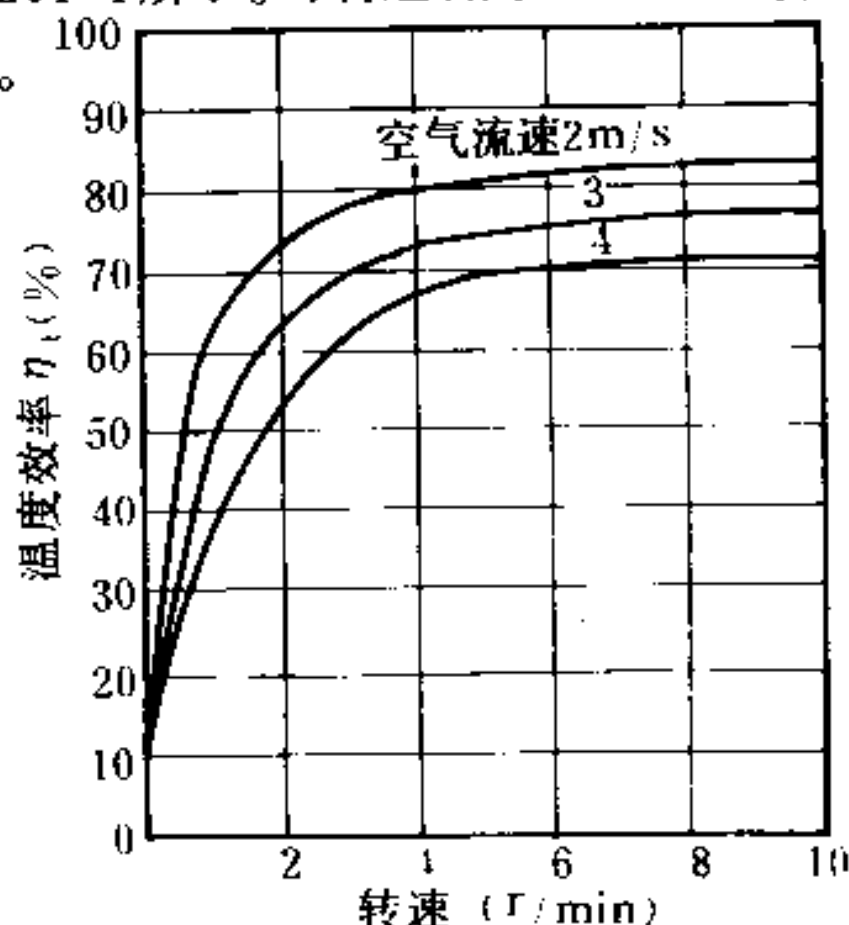


图 12.4-4 转速与效率的关系

4. 注意事项

- (1) 转轮空气入口处，宜装设空气过滤器。
- (2) 设计时，必须计算校核转轮上是否会出现结霜、结冰；必要时应在新风进风管

上设空气预热器。

(3) 在热回收器后应设温度自控装置，当温度达到霜冻点时，能发信号并关闭新风门或开启新风预热器。

(4) 转轮长期不工作时，会因局部吸湿过量而导致转轮的不平衡；因此，宜设计定时开关，使转轮定时作短期运行。

(5) 一般情况下，宜布置在负压段。

12.4.3 中间热媒式换热器

1. 换热器的工作流程 (如图12.4-5所示)

2. 中间热媒 中间热媒通常为水。为了降低水的冰点，一般在水中加入一定比例的乙二醇。不同质量百分比时乙二醇水溶液的凝固点，如图12.4-6所示。

图12.4-7至图12.4-10，分别给出了有关乙二醇水溶液的比重、导热系数、粘度、比热容等物理参数。

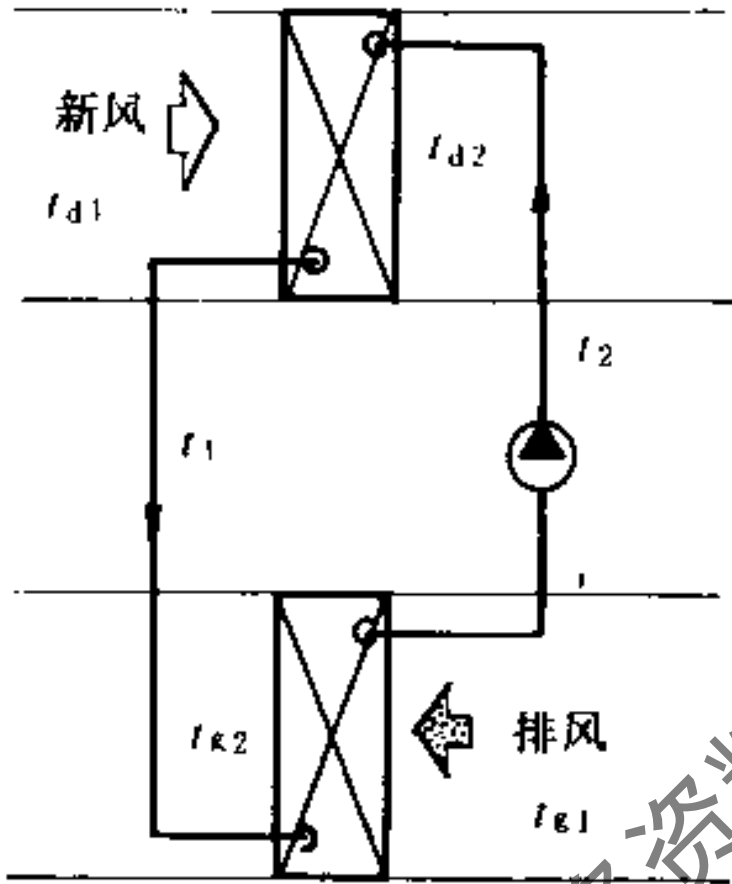


图 12.4-5 中间热媒式换热器的工作流程图

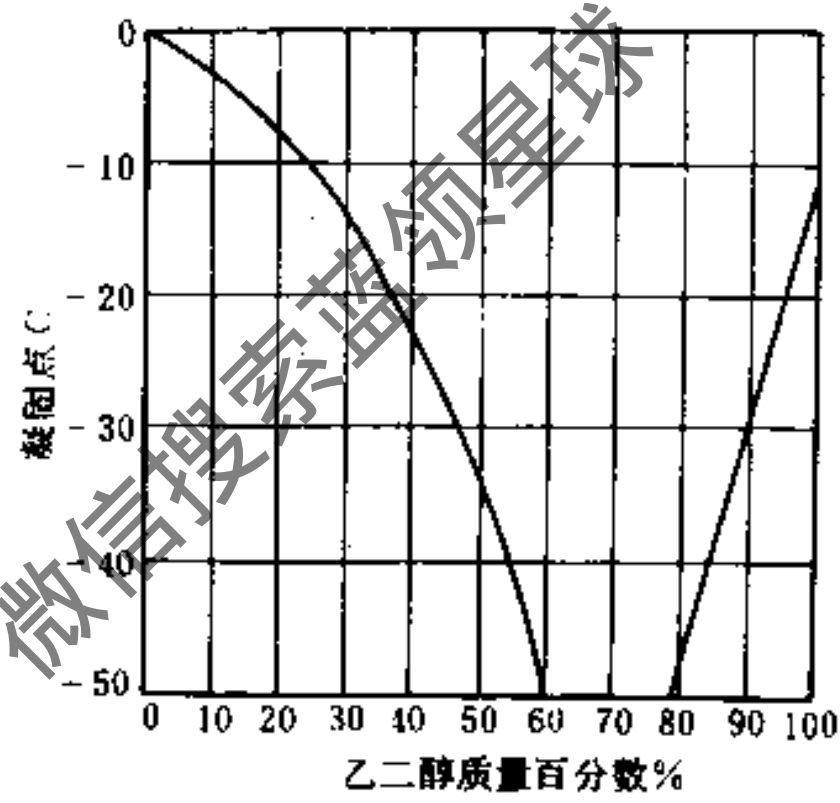


图 12.4-6 乙二醇水溶液的凝固点

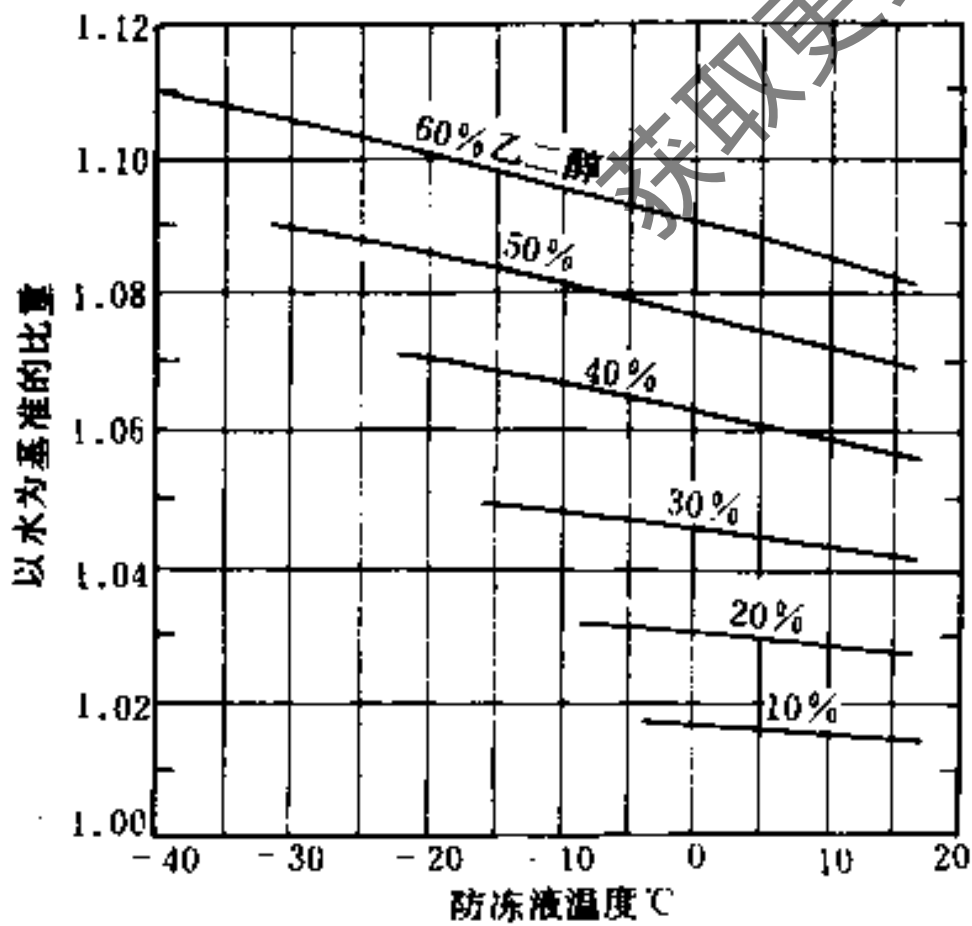


图 12.4-7 乙二醇水溶液的比重 (以4℃水, 密度 = 1000kg/m³ 为基准)

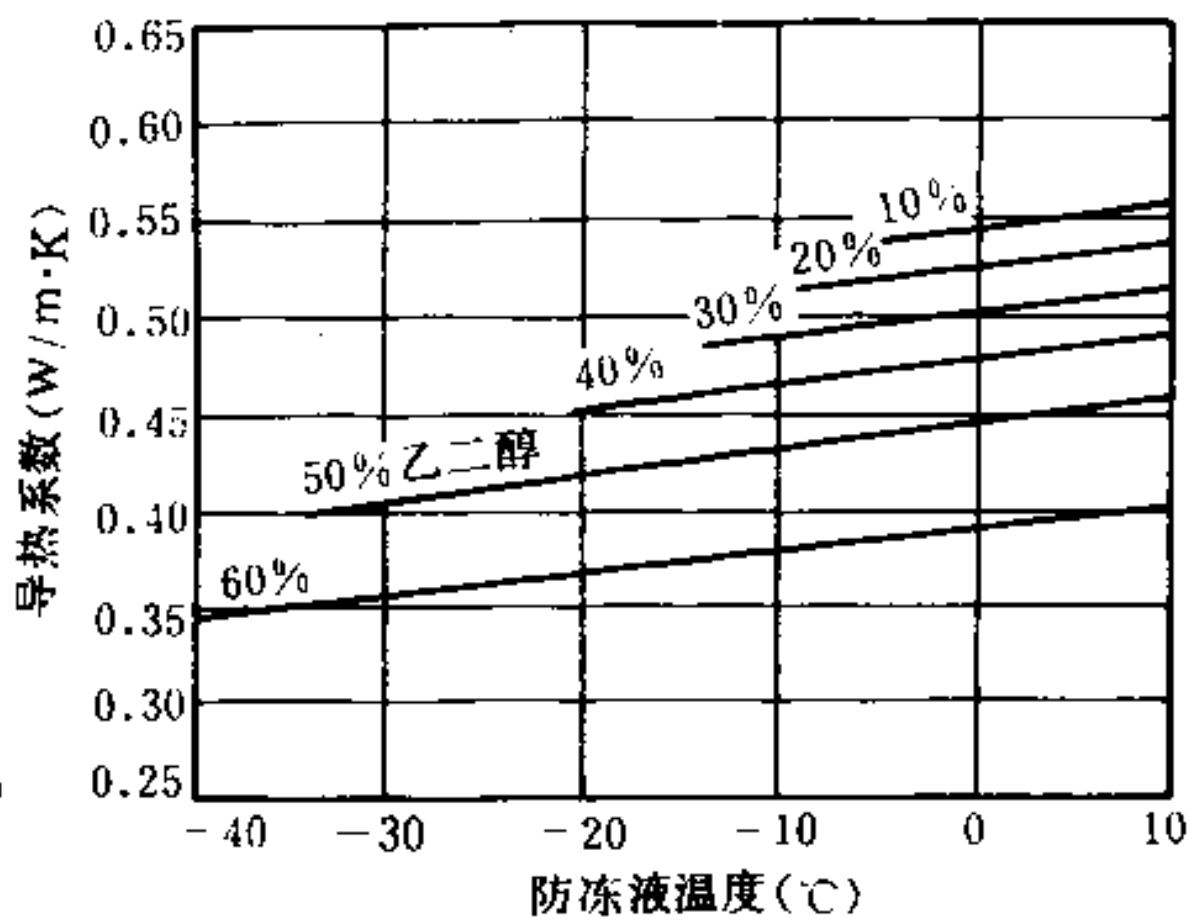


图 12.4-8 乙二醇水溶液的导热系数

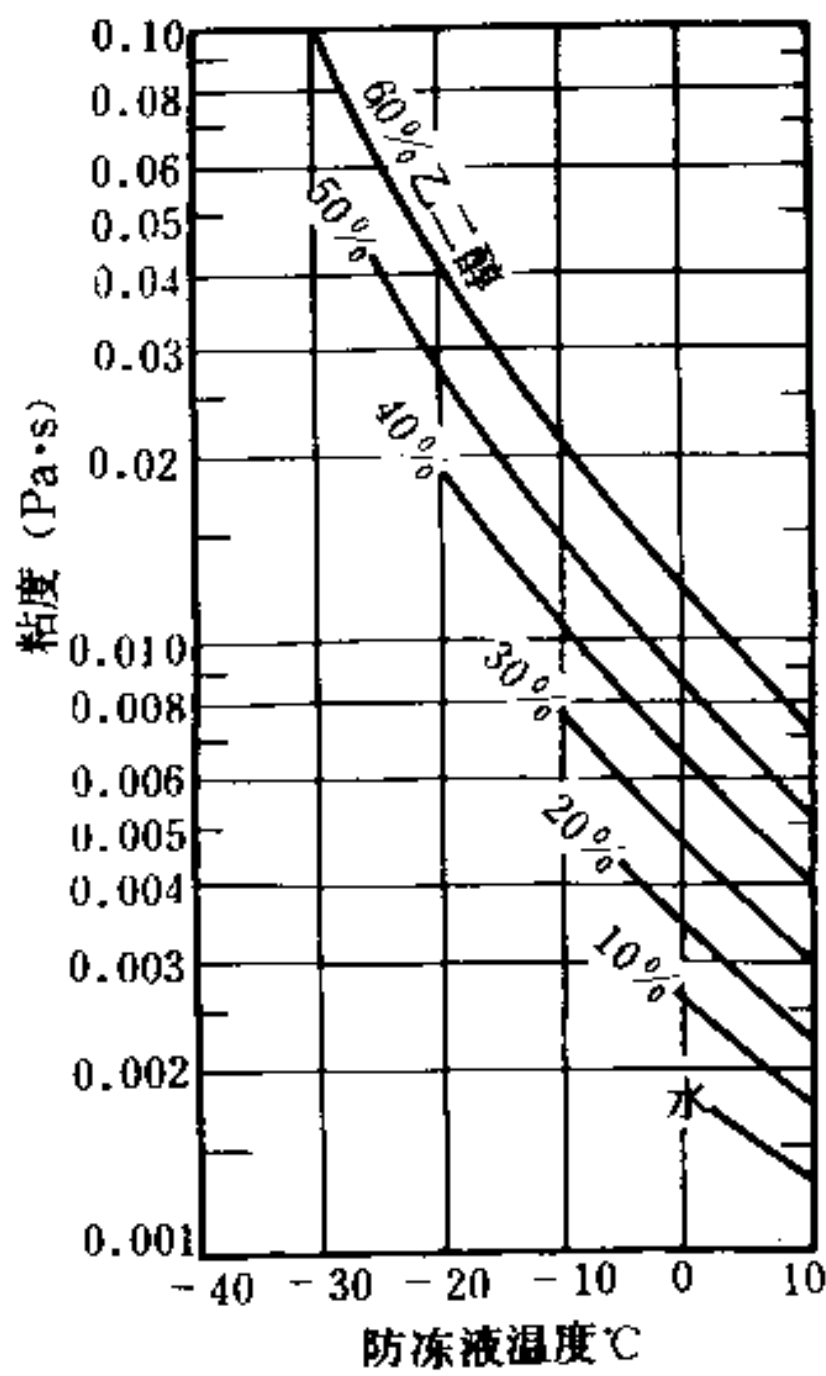


图 12.4-9 乙二醇水溶液的粘度

3. 中间热媒式换热器的优缺点(见表12.4-5)

4. 热工计算

中间热媒式换热器的热工计算,可按表12.4-6所列公式进行。

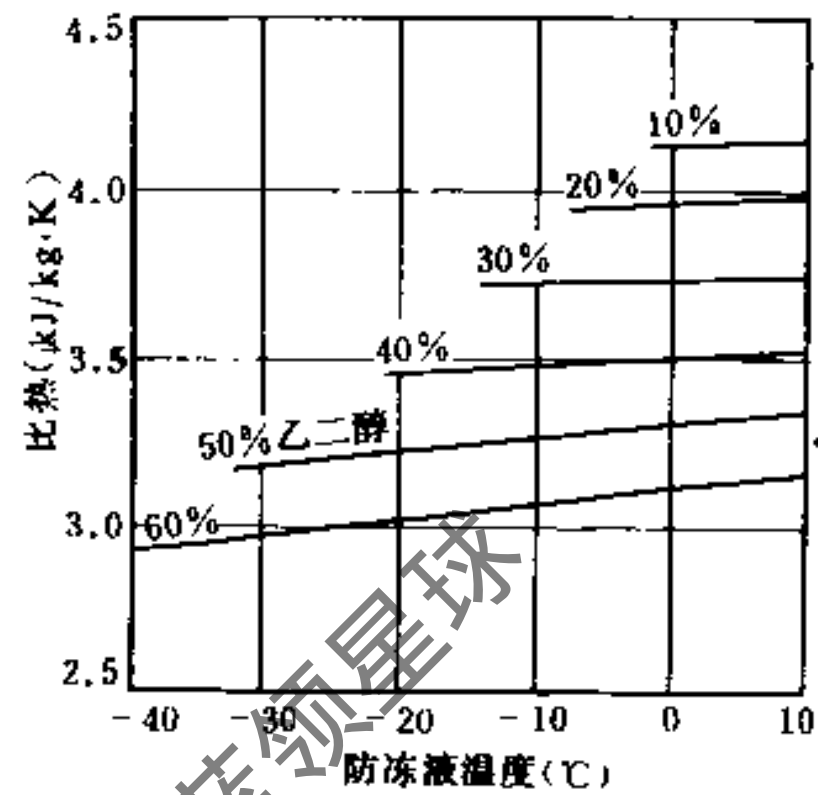


图 12.4-10 乙二醇水溶液的比热容

中间热媒式换热器的主要优缺点

表 12.4-5

优 点	缺 点
1. 新风与排风不会产生交叉污染 2. 供热侧与得热侧之间通过管道连接,因此对距离没有限制,布置方便灵活 3. 水泵、盘管均可选用常规通用产品	1. 需配备循环水泵,有动力消耗 2. 由于应用中间热媒,所以存在温差损失,热效率较低,一般在60%以下 3. 只能回收显热,不能回收潜热

当热媒侧设计有水量调节装置时,如图12.4-11所示,温度效率应按下式计算:

$$\eta = \frac{1}{\frac{R + R_f}{\eta_d} - r} \quad (12.4-1)$$

当供热侧处于湿工况时:

$$\eta = \frac{1}{\frac{R_f + R_r}{\eta_d} - r} \quad (12.4-2)$$

$$R_f = 1 + \psi_s \left(\frac{1}{G} - 1 \right) \quad (12.4-3)$$

式中 ψ_s ——水量调节的特征系数。

当得热侧采用风量调节时,如图12.4-12所示,温度效率应按下式计算:

$$\eta = \frac{1}{\frac{R_a + R_g}{\eta_d} - r_g} \quad (12.4-4)$$

中间热媒式换热器热工计算

表 12.4-6

序号	名称	单位	所处工况	
			供热侧干工况、得热侧干工况	供热侧湿工况、得热侧干工况
1	温度效率		$\eta = \frac{1}{(1+R)/\eta_d - r}$	$\eta = \frac{1}{(1+R \cdot f) \cdot \eta_d - r}$
2	设计热量比		$R = (c_d \eta_d) / (c_g \eta_g)$	$R = (c_d \eta_d) / (c_g \eta_g)$
3	得热侧的温度效率		$\eta_d = (t_{d2} - t_{d1}) / (t_2 - t_{d1})$	$\eta_d = (t_{d2} - t_{d1}) / (t_2 - t_{d1})$
4	供热侧的温度效率		$\eta_g = (t_{g1} - t_{g2}) / (t_{g1} - t_1)$	$\eta_g = (t_{g1} - t_{g2}) / (t_{g1} - t_1)$
5	湿工况冷量修正系数		$f = 1 - (1 - c_p/a) D$	$f = 1 - (1 - c_p/a) D$
6	干、湿工况界限判据		$D = \eta_g (1 - BF)$	$D = \eta_g (1 - BF)$
7	回收热量	kJ	$Q = c_d \eta \cdot (t_{g1} - t_{d1})$	$Q = c_d \eta \cdot (t'_{g1} - t_{d1})$
8	供热侧水的初温	℃	$t_1 = t_{d1} - \frac{\eta R}{\eta_d} (t_{g1} - t_{d1})$	$t_1 = t_{d1} - \frac{\eta R f}{\eta_d} (t'_{g1} - t_{d1})$
9	得热侧水的初温	℃	$t_2 = t_{d1} + \frac{\eta}{\eta_d} (t_{g1} - t_{d1})$	$t_2 = t_{d1} + \frac{\eta}{\eta_d} (t'_{g1} - t_{d1})$

r ——设计热容量比, $r = c_d/c_g$; t_{d1}, t_{d2} ——得热侧空气的初温、终温, ℃; t_{g1}, t_{g2} ——供热侧空气的初温、终温, ℃; t'_{g1} ——供热侧进风的湿球温度, ℃; c_d, c_g, c ——供热侧、得热侧、热媒侧的热容量, kJ/℃; c_p ——湿空气的比热容, kJ/kg·℃; a ——湿球温差的焓当量, kJ/kg·℃; BF ——旁通系数

注: 本计算表系根据孙格菲著《热回收环的热工计算方法及其性能分析》中的资料编制而成。

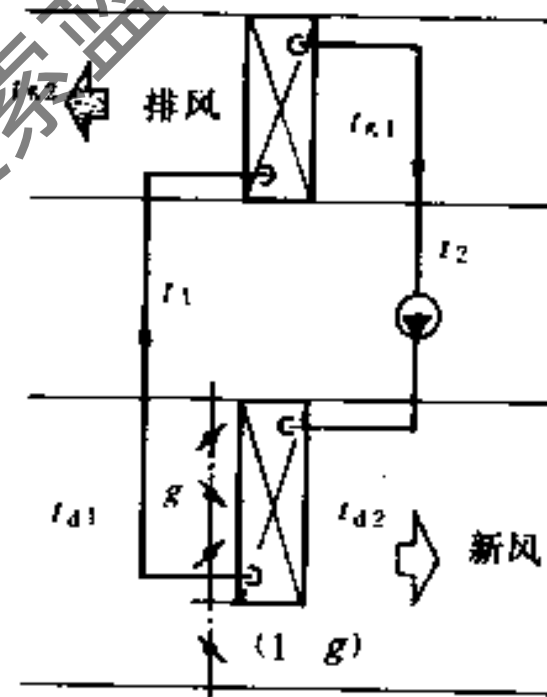
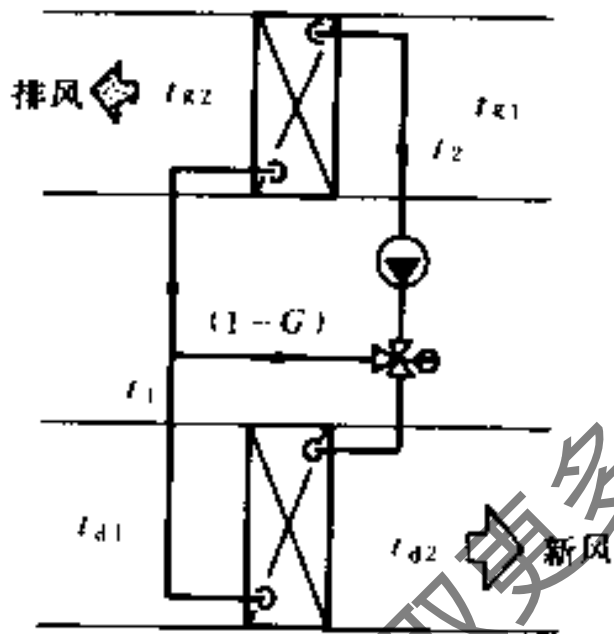


图 12.4-12 带风量调节时的中间热媒式换热器

图 12.4-11 带水量调节装置时的中间热媒式换热器
当供热侧处于湿工况时:

$$\eta = \frac{1}{\frac{R_a + R \cdot f \cdot g}{\eta_d} - r g} \quad (12.4-5)$$

$$R_a = 1 + \psi_f \left(\frac{1}{g} - 1 \right) \quad (12.4-6)$$

式中 ψ_f ——风量调节的特征系数。

5. 设计要点

- 换热器(盘管)的排数 n , 宜选择 $n = 6 \sim 8$ 排。
- 换热器(盘管)的迎风面风速 v_y , 宜选择 $v_y = 2 \text{ m/s}$ 。
- 作为中间热媒的循环水量, 一般可根据水气比 μ 确定:

$$n = 6 \text{ 排时} \quad \mu = 0.30$$

$$n = 8 \text{ 排时} \quad \mu = 0.25$$

- 当供热侧与得热侧的风量不相等时，循环水量应按数值大的风量确定。
- 为了防止换热器表面结霜，宜设置如图12.4-11所示的水量调节装置。

12.4.4 板式显热换热器

1. 板式显热换热器的工作流程及其优缺点

板式显热换热器的工作流程，如图12.4-13所示。

板式显热换热器的主要优缺点，如表12.4-7所示。

板式显热换热器的主要优缺点 表 12.4-7

优 点	缺 点
1. 构造简单，运行安全、可靠 2. 没有传动设备，不消耗电力 3. 不需要中间热媒，没有温差损失 4. 设备费用较低	1. 只能回收显热 2. 设备体积较大，需占用较多建筑空间 3. 接管位置固定，设计布置时缺乏灵活性

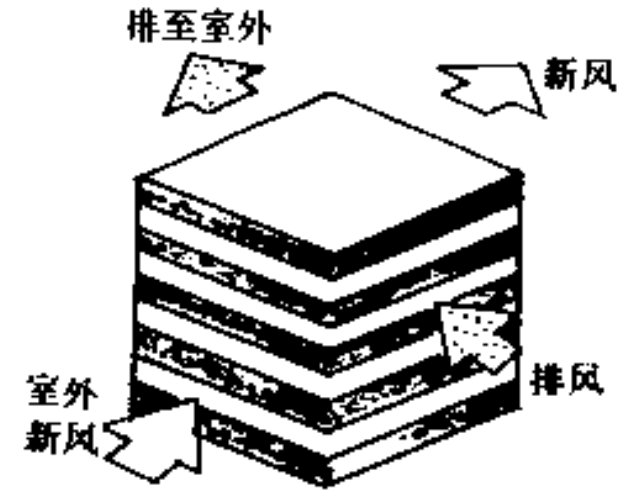


图 12.4-13 板式显热换热器的工作流程

2. 设计计算^①

(1) 换热效率 η

$$\eta = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} = f(NTU, R) \quad (12.4-7)$$

考虑到排风相对湿度影响后，实际效率 η_0

$$\eta_0 = \varepsilon \eta \quad (12.4-8)$$

$$\varepsilon = 1 + 0.2 \left(\frac{\varphi_3}{100} - 0.3 \right) \quad (12.4-9)$$

预冷新风时，会遇到两种情况：

$$\text{等湿冷却} \quad \eta_0 = \eta \quad (12.4-10)$$

$$\text{减湿冷却} \quad \eta_0 = R_f \varepsilon \eta \quad (12.4-11)$$

$$R_f = G_x / G_p \quad (12.4-12)$$

式中 NTU —— 换热器的单元数；

t_1, t_2 —— 新风的初、终温， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_3 —— 排风的初温， $^{\circ}\text{C}$ ；

G_x —— 新风量， kg/s ；

G_p —— 排风量， kg/s ；

φ_3 —— 排风的相对湿度， $\%$ 。

- 新风温度通常不宜低于 -10°C ，否则，排风侧会出现结霜。
- 当新风温度低于 -10°C 时，应在换热器之前设置新风预热器。
- 新风进入换热器之前，必须先经过过滤净化；排风进入换热器之前，通常也需经过过

① 本部分系根据哈尔滨建工学院陈曦讲师提供的资料编写而成。

滤。但当排风比较干净，不会污染换热器时，则可以不必设置过滤装置。

• 换热效率 η 值，也可以根据 NTU 和 R_f 值，由图12.4-14查出。

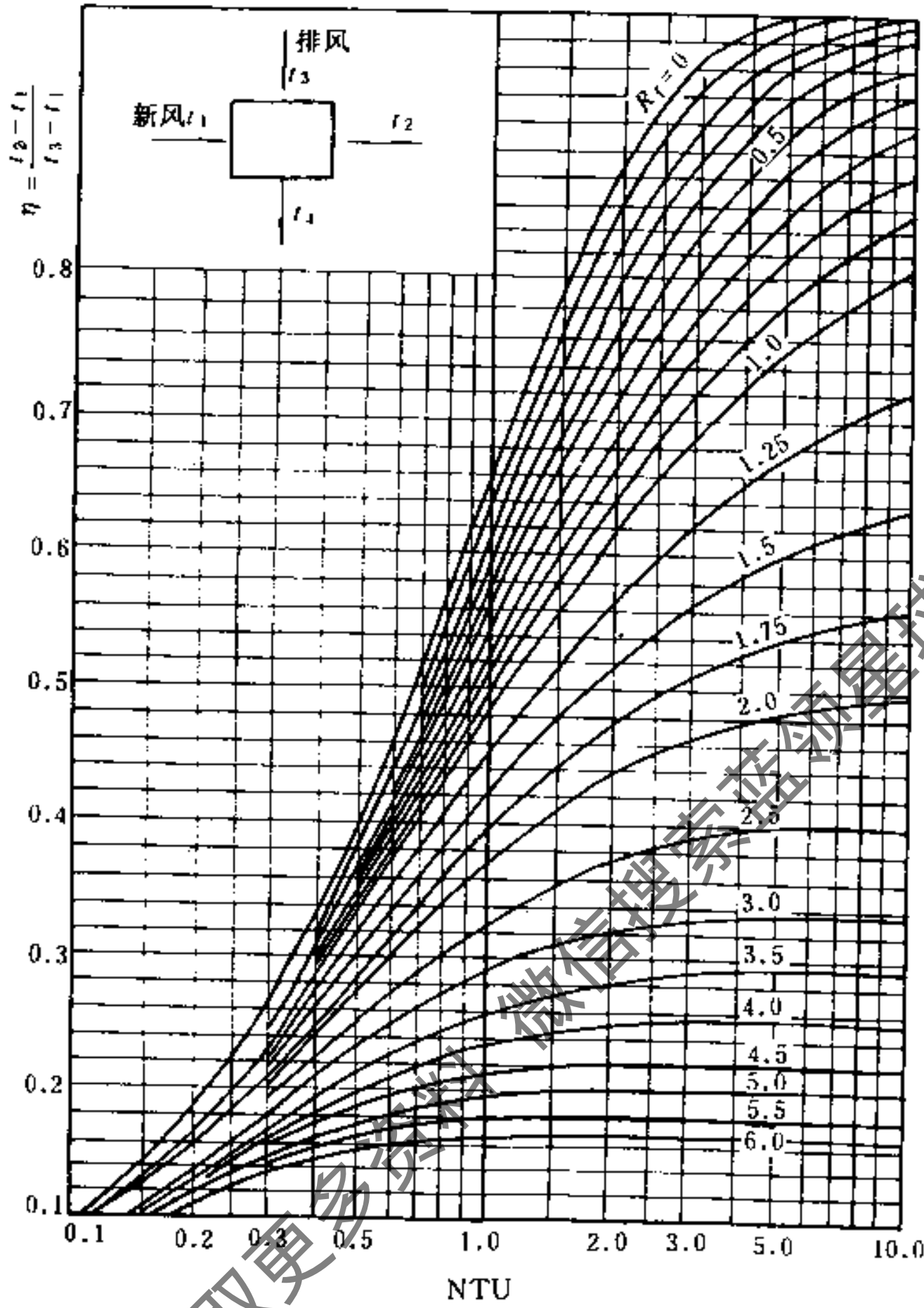


图 12.4-14 换热效率计算图

(2) 传热系数 K [$W/(m^2 \cdot C)$]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_x} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_p}} \quad (12.4-13)$$

或近似的按下式计算：

$$K = \frac{a_x \cdot a_p}{a_x + a_p} \quad (12.4-14)$$

式中 a_x ——新风侧的换热系数， $W/(m^2 \cdot C)$ ；

a_p ——排风侧的换热系数， $W/(m^2 \cdot C)$ ；

δ ——板的厚度， m ；

λ ——板材的导热系数， $W/(m \cdot C)$ 。

换热系数 a_x 、 a_p ，可近似按下式计算：

$$\alpha = 49v_y^{0.6} \quad (12.4-15)$$

式中 v_y ——新风或排风入口处的迎风面风速, m/s; 一般取 $v_y = 2.5 \sim 3.5$ m/s。

(3) 换热器的单元数 NTU

$$NTU = \frac{KF}{G_x c_p} \quad (12.4-16)$$

$$F = 2ab \cdot \frac{c}{S + \delta} \quad (12.4-17)$$

式中 F ——换热器的总面积, m^2 ;

c_p ——新风的比热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$;

S ——板间距, m;

a, b, c ——换热器的长、宽、高, m。

(4) 压力损失 ΔP (Pa)

$$\Delta P = 17v_y^{1.75} \quad (12.4-18)$$

• 表12.4-8给出了不同 v_y 时的 ΔP 值。

• 当换热器表面出现凝水时——湿工况, 由式(12.4-18)或表12.4-8所得的 ΔP 值, 应乘以1.20~1.30的湿工况系数。

• 湿工况系数的取值原则: v_y 值低时取下限, v_y 值高时取上限。

空气通过换热器时的压力损失 (Pa)

表 12.4-8

v_y	ΔP	v_y	ΔP	v_y	ΔP
2.00	57.18	2.60	90.50	3.20	134.16
2.10	62.28	2.70	96.68	3.30	137.36
2.20	67.56	2.80	103.03	3.40	144.72
2.30	73.03	2.90	109.56	3.50	152.25
2.40	78.67	3.00	116.25	3.60	159.95
2.50	84.50	3.10	123.12	3.70	167.80

3. 板式显热换热器的选择计算步骤

(1) 计算迎风面面积 F_y (m^2)

$$F_y = L / 3600v_y \quad (12.4-19)$$

式中 L ——风量, m^3/h 。

(2) 计算传热系数 K (式12.4-14) 和换热器单元数 NTU (式12.4-16)。

(3) 根据 NTU 和 R_f (式12.4-12), 由图12.4-14 求出换热效率 η ; 同时, 根据具体情况 进行修正。

(4) 计算新风出口温度 t_2 或焓值 i_2

$$\text{冬季: } t_2 = t_1 + \varepsilon \eta (t_3 - t_1) \quad (12.4-20)$$

夏季: 等湿冷却时

$$t_2 = t_1 - \eta(t_1 - t_3) \quad (12.4-21)$$

减湿冷却时

$$i_2 = i_1 - \frac{G_p}{G_x} c_p \eta_0 (t_1 - t_3) \quad (12.4-22)$$

(5) 求出回收热量 Q (W)

$$\text{冬季} \quad Q = G_x c_p (t_2 - t_1) \quad (12.4-23)$$

$$\text{夏季} \quad Q = G_x (i_2 - i_1) \quad (12.4-24)$$

(6) 根据迎风面风速 v_y , 由表12.4 8确定空气通过换热器的压力损失 ΔP (Pa)。

12.4.5 板翅式全热换热器^①

1. 结构与工作流程 板翅式全热换热器的结构与板式显热换热器基本相同 (见图12.4 15), 而其工作流程则完全相同。

板翅式全热换热器是采用多孔纤维性材料如特殊加工的纸作为基材, 对其表面进行特殊处理后制成单元体的; 单元体的波纹板交叉叠积, 并用胶使其峰谷与隔板粘结而组成的。当隔板两侧气流之间存在温度差和水蒸汽分压力差时, 两者间就将产生传热与传质进程, 从而进行全热交换。

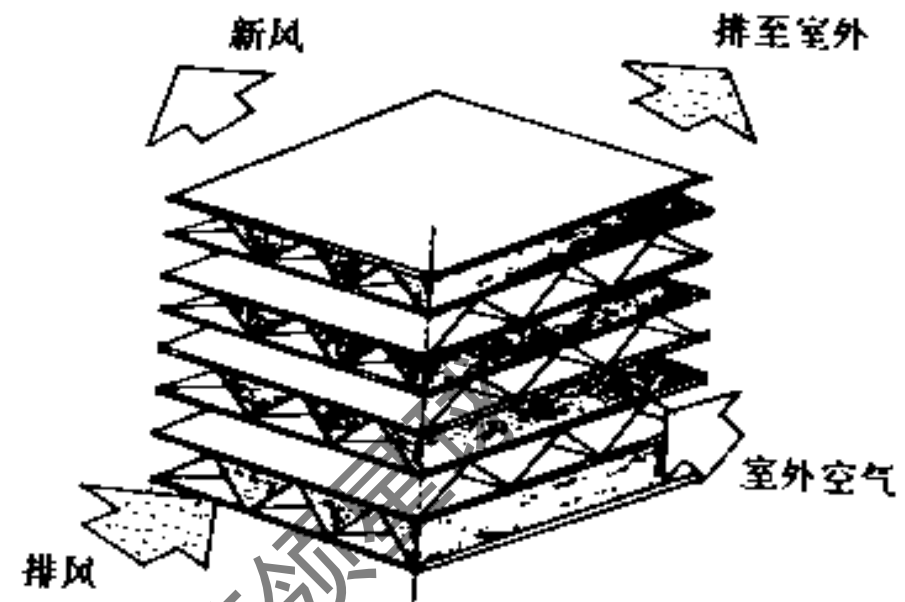


图 12.4 15 板翅式全热换热器的单元体结构示意图

2. 换热效率 热回收效率的表达式

温度效率 (η_t) (%)

$$\eta_t = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3} \times 100\% \quad (12.4-25)$$

湿度效率 (η_d) (%)

$$\eta_d = \frac{d_1 - d_2}{d_1 - d_3} \times 100\% \quad (12.4-26)$$

焓效率 (全热效率) (η_h) (%)

$$\eta_h = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3} \times 100\% \quad (12.4-27)$$

式中 t_1, d_1, h_1 —— 新风的初温度, C、初含湿量, g/kg、初焓值, kJ/kg;

t_2, d_2, h_2 —— 新风的终温度, C、终含湿量, g/kg、终焓值, kJ/kg;

t_3, d_3, h_3 —— 排风的初温度, C、初含湿量, g/kg、初焓值, kJ/kg。

兹将QHW型板翅式全热换热器的换热效率和压力损失转引于表12.4 9。

注意:

• 表中的效率值以排风量 L_p 与新风量 L_w 之比 $R = L_p/L_w = 1.0$ 为条件, 当 $R \neq 1.0$ 时, 表中的效率应减去 $\Delta\eta$ (见表12.4 10)。

• 表中的额定风量和压力损失, 均指新风侧。

• 压力损失中未包含空气过滤器的阻力。

• 排风侧的压力损失, 可根据风量参照新风侧的压力损失确定。

3. 设计选用步骤

(1) 根据所需最小新风量选定换热器的型号。

① 本文系根据同济大学热能系秦慧敏和陈沛霖两位教授提供的素材整理而成。

QHW型换热器的换热效率和压力损失

表 12.4 9

规格型号			温度效率 (%)	湿度效率 (%)	焓效率 (%)		压力损失 (Pa)
系列	型号	额定风量 (m³/h)			冬季平均	夏季平均	
40	4041	1280	80	56	72	65	180
	4042	2560					
	4043	3800					
	4044	5120					
	4045	6400					
	4041	1440	78	48	68	58	
	4042	2880					
	4043	4320					
	4044	5760					
	4045	7200					
	4041	1600	77	42	66	54	
	4042	3200					
	4043	4800					
	4044	6400					
	4045	8000					
100	10041	4000	77	40	64	52	320
	10042	8000					
	10043	12000					
	10044	16000					
	10045	20000					

(2) 计算风量比R, 并由表12.4-10确定Δη值。

(3) 将由表12.4-9中查出的效率值减去Δη值,

从而求出实际的效率值η_t、η_d。

(4) 根据下式求出新风的终状态参数

$$t_2 = t_1 - \eta'_t (t_1 - t_3) \quad (12.4-28)$$

$$d_2 = d_1 - \eta'_d (d_1 - d_3) \quad (12.4-29)$$

Δη值 表 12.4-10

R = L _p / L _w	Δη
0.9	4.0
0.8	8.5
0.7	13.5
0.6	20.0

4. 使用须知

(1) 本设备仅适用于一般空调工程, 当排风中含有有害成份时, 不宜选用。

(2) 为了在过渡季节能利用全新风, 以减少能耗, 在换热器处应设计旁通风管, 以便让新风迂回过换热器。

(3) 与换热器连接的风管和旁通风管上, 必须安装密闭性较好的风阀。

(4) 送、排风机与换热器的相对位置, 可以有几种布置方式, 见图12.4-16。一般情

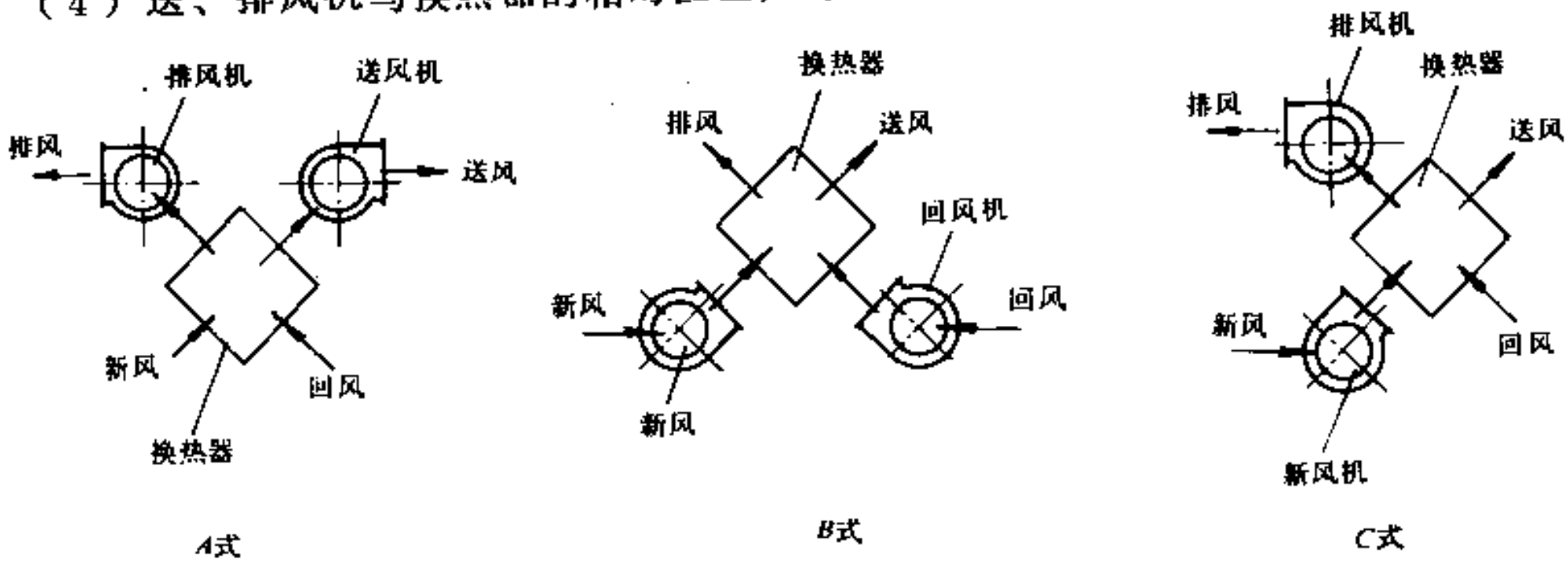


图 12.4-16 送、排风机与换热器的相对位置

况下, 推荐采用 A 式或 B 式, 而以 A 式更好。对于进风空气质量有严格要求的场合, 为了防止回风对进风的污染, 推荐采用 C 式。应注意, 这时的漏风率稍大, 选择新风风机时, 必须考虑到这一点。

(5) 安装配管示例, 见图 12.4-17。

12.4.6 热管换热器

1. 热管换热器的应用

热管换热器是一种借助工质 (如氨、氟里昂 11、氟里昂-113、丙酮、甲醇等) 的相变进行热传递的换热元件, 典型的单根热管如图 12.4-18 所示。

通常, 热管换热器由多根热管组成。为了增大传热面积, 管外加有翅片, 翅化比一般为 10~25。沿气流方向的热管排数通常为 4~10 排。

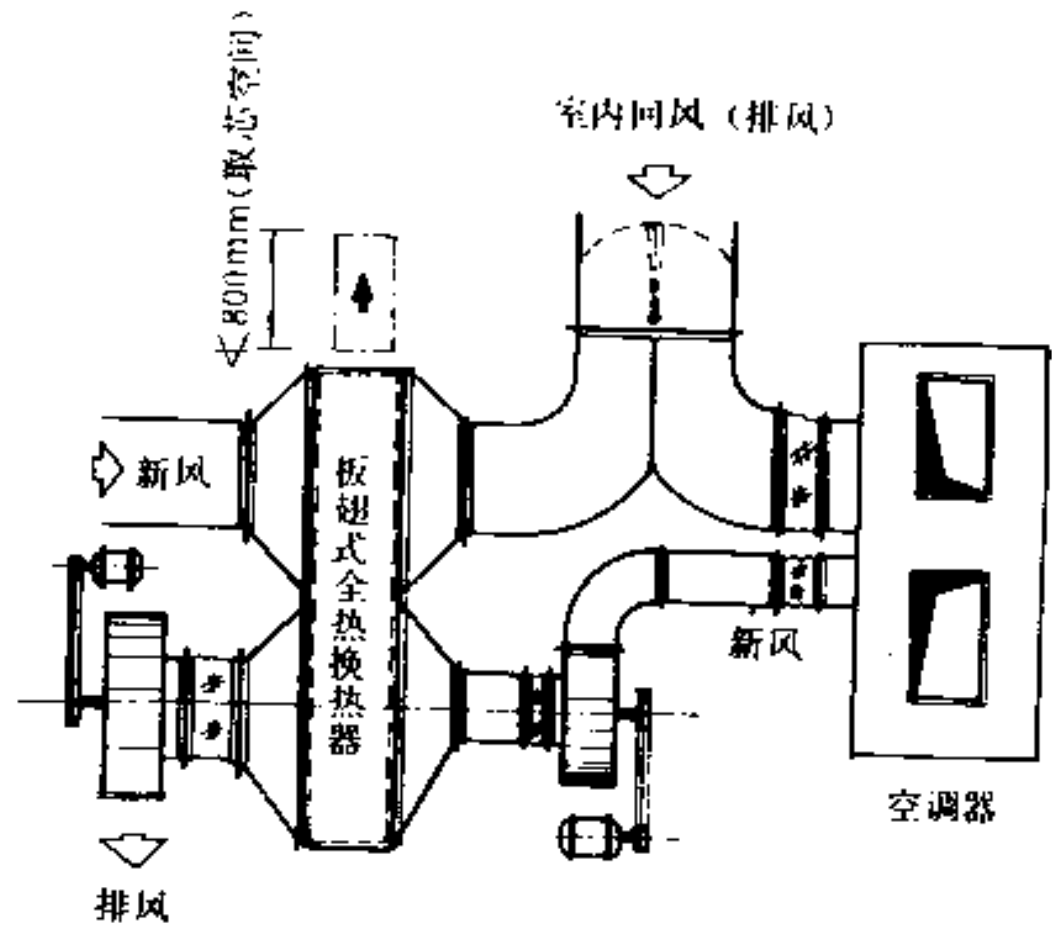


图 12.4-17 典型的配管方法

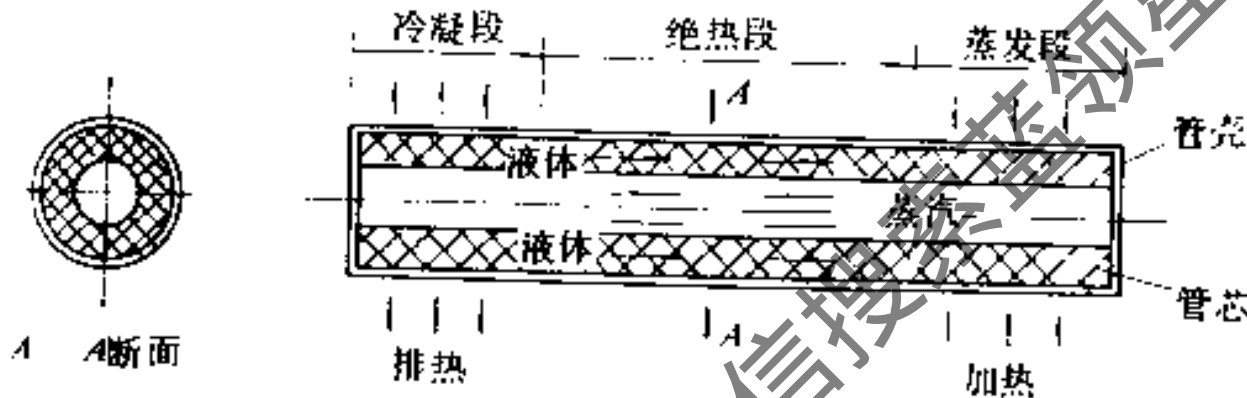


图 12.4-18 热管元件的结构示意

空调工程热回收系统中应用的大都是重力热管, 其性能受工作时热管倾斜角度的影响, 所以, 选取和控制倾斜角度, 是一个很关键的问题, 应该予以重视。

利用热管进行空调热回收时, 温度范围一般为 $-20 \sim +40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。管材一般为铝或铝合金, 翅化比宜取大值。由于冷、热空气的温差较小, 仅十几度到二、三十度, 为了提高换热效率, 必须选择热阻小的管芯结构, 如轴向槽道或周向槽道管芯、金属烧结管芯。

图 12.4-19 所示为一般空调系统回收排风能量的示意图。

图 12.4-20 所示为直流式空调系统的节能方案示意图。由图可知, 热管换热器分为三段, 两端是冷却段, 中间为加热段。夏季时, 室外空气经中间段后流至空调器, 空调器后“露点”状态的空气又流过换热器的冷却段, 从而既预冷却了新风, 又提高了自身的温度, 并降低了相对湿度, 使二次加热量大大减少。冬季时, 空调器的冷却器停止工作, 排风侧成为加热段, 另外两段为冷却段, 新风流经换热器时被预热。

2. 热管换热器的优缺点 (见表 12.4-11)。

3. 热管换热器的设计计算

(1) 工质及回收温度范围 空调用热管换热器的工作温度, 一般在 $-20 \sim -60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 在这个温度范围内, 可供应用的工质很多, 但通常认为氨比较好。氨的传热性能好, 热管的总温降小, 而且它与很多管壳材质相容, 如铝、铝镁合金、不锈钢、碳钢等, 特别是碳钢, 是值得推荐的材料。

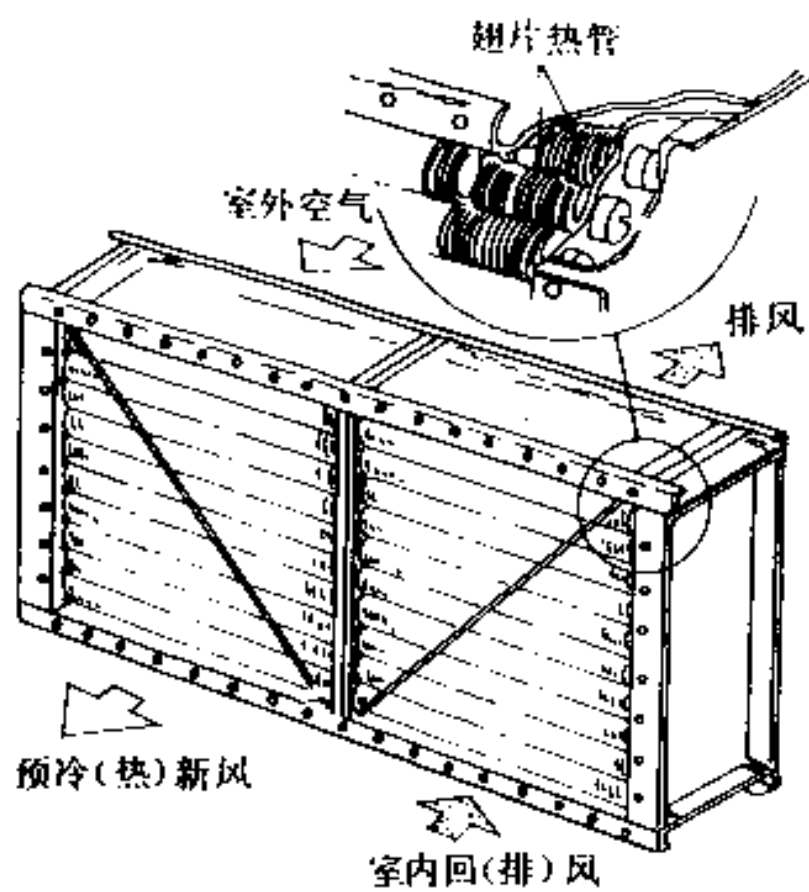


图 12.4-19 热管换热器的应用

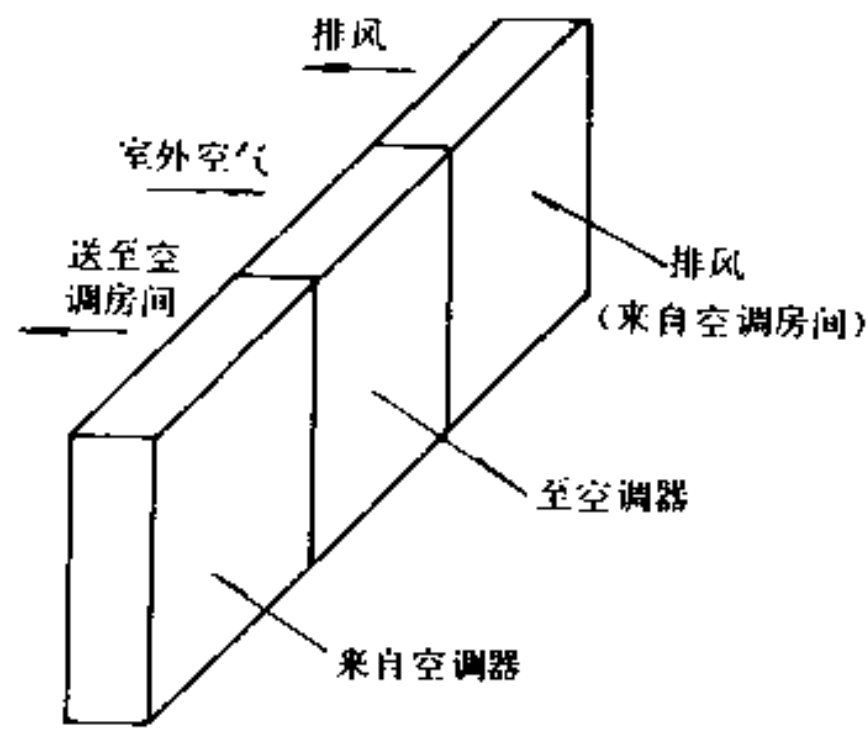


图 12.4-20 直流式系统的节能方案

热管换热器的优缺点

表 12.4-11

主要优点	主要缺点
<ol style="list-style-type: none"> 1. 结构紧凑, 单位体积的传热面积大 2. 没有转动部件, 不额外消耗能量; 运行安全可靠, 使用寿命长 3. 每根热管自成换热体系, 便于更换 4. 热管的传热是可逆的, 冷、热流体可以变换 5. 冷、热气流之间的温差较小时, 也能得到一定的回收效率 6. 本身的温降很小, 接近于等温运行, 换热效率较高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 只能回收显热, 不能回收潜热 2. 接管位置固定, 缺乏配管的灵活性

以氨为工质时, 热流量大于 0.2 W/cm^2 时, 管内通常就处于稳定的核状沸腾状态。加热段内的沸腾换热系数随输入热流和工质饱和压力的增大而升高, 其数值接近于下式的计算结果:

$$\text{Nu} = 0.082 \text{Pr}_y^{-0.45} Kq^{0.7} Ku^{\frac{1}{3}} \quad (12.4-30)$$

$$Kq = \frac{r \rho_q q}{T_b \lambda_y (\rho_y - \rho_q) g}$$

$$Ku = \frac{T_b C_y \sigma \rho_y}{r^2 \rho_q^2 \delta}$$

$$\delta = \left[\frac{\sigma}{g(\rho_y - \rho_q)} \right]^{\frac{1}{2}} \text{——特征尺寸 (m)}$$

式中 Nu ——努谢尔特数, $\text{Nu} = \frac{a'_2 \delta}{\lambda_y}$;

Pr_y ——饱和液体的普朗德数;

r ——工质的气化潜热, J/kg ;

ρ_q ——饱和蒸气的密度, kg/m^3 ;

q ——热流密度, W/m^2 ;

T_b ——饱和温度, $^\circ\text{C}$;

λ_y ——工质液体的导热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$;

ρ_y ——饱和液体的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

c_y ——工质液体的比热, $J/(kg \cdot ^\circ C)$;

σ ——液-汽界面的表面张力, N/m ;

a'_z ——大空间沸腾换热系数的理论值, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

冷凝段的凝结换热系数 $a_n [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$, 对于垂直状态:

$$a_n/a'_n = 1.51 \left(\frac{P_q}{P_l} \right)^{0.14} \quad (12.4-31)$$

$$a'_n = 0.943 \frac{\lambda_y}{l_n} \left\{ \frac{l_n^3 \rho_y (\rho_y - \rho_q) g}{\mu_y \lambda_y (T_q - T_l)} \left[r + 0.68 c_y (T_q - T_l) \right] \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (12.4-32)$$

- 式中 a'_n ——层流膜状凝结换热系数的理论值, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;
- P_q ——工质蒸气的压力, Pa;
- P_l ——工质的临界压力, Pa;
- l_n ——冷凝段的长度, m;
- μ_y ——工质液体的粘度, $N \cdot s/m^2$;
- T_q ——工质蒸气温度, $^\circ C$;
- T_l ——工质的临界温度, $^\circ C$ 。

在计算 a'_n 时, 定性温度取:

$$T = T_l + 0.31(T_q - T_l) \quad (12.4-33)$$

(2) 传热计算 热管换热器可以简化为如图12.4-21所示的模型, 假定通过热管壁的轴向传热略去不计, 在稳定情况下, 单根热管的传热量 q_E 为:

$$q_E = \frac{1}{R_E} (t - t') \quad (12.4-34)$$

$$R_E = R_r + R_{br} + R_{ZN} + R_{NN} + R_{bl} + R_l \quad (12.4-35)$$

$$R_r = \frac{1}{a_r F_r} \quad (12.4-36)$$

$$R_{br} = \frac{1}{2\pi\lambda_b l_r} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \quad (12.4-37)$$

$$R_{ZN} = \frac{1}{a_{ZN} F_{rN}} \quad (12.4-38)$$

$$R_{NN} = \frac{1}{a_{NN} F_{lN}} \quad (12.4-39)$$

$$R_{bl} = \frac{1}{2\pi\lambda_b l_l} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \quad (12.4-40)$$

$$R_l = \frac{1}{a_l F_l} \quad (12.4-41)$$

- 式中 R_E ——热管的传热阻;
- R_r, R_l ——热管外表面与冷、热气流的对流换热热阻;

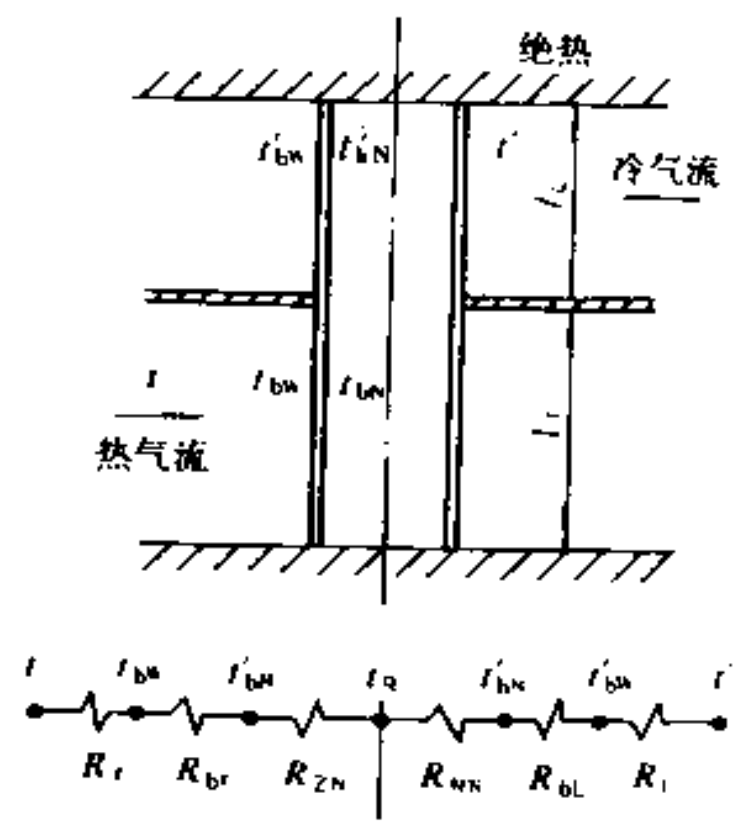


图 12.4-21 热管换热器的传热计算模型

R_{br}, R_{bl} ——热、冷管壁的径向导热热阻;
 R_{ZN}, R_{NN} ——管内蒸发、凝结热阻;
 F_r ——加热侧管外表面积 (含翅片面积);
 a_r ——以 F_r 为基准的对流换热系数;
 λ_b ——管壁的导热系数;
 l_r ——加热侧的长度;
 D ——光管的外径;
 d ——光管的内径;
 F_{rN} ——加热侧管内表面积;
 a_{ZN} ——以 F_{rN} 为基准的管内蒸发换热系数;
 F_{lN} ——冷却侧管内表面积;
 a_{NN} ——以 F_{lN} 为基准的管内凝结换热系数;
 l_l ——冷却侧的长度;
 F_l ——冷却侧管外表面积 (含翅片面积);
 a ——以 F_l 为基准的对流换热系数。

整个换热器的传热量 Q 为:

$$Q = \Sigma q_g = FK \Delta t \quad (12.4-42)$$

式中 K ——换热器的总传热系数;

F ——与定义 K 相一致的传热面积;

Δt ——冷、热气流间的对数平均温度差。

总传热系数的计算: 若以热气流侧单根热管的管外表面积 F_r 为基准:

$$\frac{1}{K_r} = \frac{1}{a_r} + \frac{F_r}{2\pi\lambda_b l_r} \ln\left(\frac{D}{d}\right) + \frac{1}{a_{ZN}} \frac{F_r}{F_{rN}} + \frac{1}{a_{NN}} \frac{F_r}{F_{lN}} + \frac{F_r}{2\pi\lambda_{bl} l_l} \ln\left(\frac{D}{d}\right) + \frac{1}{a_l} \frac{F_r}{F_l} \quad (12.4-43)$$

当冷、热两侧完全对称时, 两侧的管内表面积和单位长度的翅片数均相等, 这时, 公式 (12.4-43) 可简化为:

$$\frac{1}{K_r} = \frac{1}{a_r} + \frac{F_r}{\pi\lambda_b l} \ln\left(\frac{D}{d}\right) + \left(\frac{1}{a_{ZN}} + \frac{1}{a_{NN}}\right) \frac{F_r}{F_{rN}} + \frac{1}{a_l} \quad (12.4-44)$$

若以光管外表面积 F_g 为基准, 则总传热系数 K_g 为:

$$\frac{1}{K_g} = \frac{1}{a_{rg}} + \frac{D}{\lambda_b} \ln\left(\frac{D}{d}\right) + \left(\frac{1}{a_{ZN}} + \frac{1}{a_{NN}}\right) \frac{F_g}{F_{rN}} + \frac{1}{a_{lg}} \quad (12.4-45)$$

式中 F_{rN} ——管内表面积;

a_{lg}, a_{rg} ——以 F_g 为基准的冷、热气流的对流换热系数。

热管换热器中气流横向绕过管束的对流换热系数, 一般通过试验确定。也可以利用已有的经验公式, 求出翅片效率为1, 以管外总表面积 $F_c + F'_g$ 为基准的管外换热系数 a_0 , 再根据翅片效率 η_c 加以折算, 得出所需要的管外换热系数 a_w 。

表12.4-12列出了一些计算不同翅片型式时管外换热系数的经验公式, 可供实际设计选用。

计算管外换热系数的经验公式

表 12.4-12

翅片型式	经验公式	备注
挤压或套装圆翅片管	$a_0 = 0.1887 \left(\frac{a'_0}{D} \right) \left(0.8 + 0.1 \frac{S_T}{D} \right) \text{Re}^{0.685}$ $\cdot \text{Pr}^{\frac{1}{4}} \left(\frac{S}{h} \right)^{0.104}$ $a_w = a_0 [(\eta_c F_c + F'_g) (F_c + F'_g)]$	上海机械学院学报, 1981年第三期发表: 公式适用于排数无限的圆翅片管, $S_T/D : 2 \sim 3, S/h = 0.2 \sim 0.45, \text{Re} = 5 \times 10^3 \sim 5 \times 10^4$
锯内形翅片管	$a_0 = 0.4 \left(\frac{\lambda}{D} \right) \text{Re}^{0.59} \text{Pr}^{\frac{1}{4}}$ $a_w = a_0 [(\eta_c F_c + F'_g) (F_c + F'_g)]$	“化工炼油机械” 1981.3发表
整体缠绕翅片管	$a_w = a_0 [(\eta_c F_c + F'_g) F_g]$ $a_0 = b \left(\frac{\lambda}{D} \right) \text{Re}^{0.6} \text{Pr}^{\frac{1}{4}}$ $b \text{—管排数和间隔的修正因子, 一般 } b = 0.33$	以光管外表面积 F_g 为基准面积

λ —气体的导热系数; S_T —管的横向间距; S —翅顶距; h —翅高; F_c —翅片面积; F'_g —光管的裸露面积

热管加热段和冷却段长度比的选择 为了得到单位热管外表面积的最大传热量, 应该使热管在一定的冷、热流体温差下的总传热系数为最大。一般可按下式确定:

$$\frac{l_r}{l_l} = \sqrt{\frac{K_{lg}}{K_{rg}}} \quad (12.4-46)$$

若忽略管壁、管内蒸发和冷凝热阻, 则可简化为:

$$\frac{l_r}{l_l} = \sqrt{\frac{a_{lg}}{a_{rg}}} \quad (12.4-47)$$

式中 l_r ——加热段的长度;

l_l ——冷却段的长度;

K_{lg} ——以冷却段光管面积为基准的总传热系数;

K_{rg} ——以加热段光管面积为基准的总传热系数;

a_{lg} ——以冷流体侧光管表面积为基准的对流换热系数;

a_{rg} ——以热流体侧光管表面积为基准的对流换热系数。

(3) 压力损失 流体穿过热管换热器管束时的压降 ΔP , 可根据翅片类型选择表 12.4-13 中合适的经验公式进行计算确定。

4. 热管换热器的选择计算^①

已知条件:

a. 排风初温 t_3 和排风量 L_p (m^3/h);

b. 新风初温 t_1 和新风量 L_s (m^3/h);

c. $L_p \approx L_s$;

d. 使用温度范围: $-40 \sim 80^\circ\text{C}$;

e. 水平安装时, 低温侧上倾 $5^\circ \sim 7^\circ$ 。

① 本选择计算以 KSL 系列低温热管换热器作为基础。

压降计算公式

表 12.4 13

类型	经验公式	备注
圆形挤压或套装翅片管	$\Delta P = f \frac{nG^2}{2\rho R}$ $f = 37.86 \left(\frac{GD}{\mu} \right)^{-0.316} \left(\frac{S_L}{D} \right)^{0.927} \left(\frac{S_T}{S_L} \right)^{0.515}$	适用于排数无限的管束： $2000 < \frac{GD}{\mu} < 50000$ $1.8 < \frac{S_T}{D} < 4.6$
锯齿形翅片管	$\Delta P = f \frac{G^2 l}{2\rho g D_v} \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0.14} \left(\frac{D_v}{S_T} \right)^{0.4} \left(\frac{S_L}{S_T} \right)^{0.6}$ $f = 0.58 Re^{-0.13}; Re = GD_v / \mu$	D_v —容积当量直径; μ_p —平均壁温下气体的动力粘度
缠绕翅片管	$\Delta P = f \frac{G^2 l}{2\rho g D_v} \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0.14} \left(\frac{D_v}{S_T} \right)^{0.4} \left(\frac{S_L}{S_T} \right)^{0.6}$ $f = 1.92 Re^{-0.15}$ 或 $\Delta P = f \frac{G^2 l}{2\rho g D_v} \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0.14} \left(\frac{D_v}{S_T} \right)^{0.4} \left(\frac{S_L}{S_T} \right)^{0.6}$ $f = 3.38 Re^{-0.25}$	

注: n —沿气流方向的管排数; G —质量流率; S_L —管的纵向间距; l —气流流过长度; S_T —管的横向间距; ρ —气体的密度

选择计算步骤:

(1) 根据风量、压力损失、效率等因素进行综合考虑, 然后按图12.4-22选取换热器型号。

(2) 根据选择型号的片距、片高和排数, 由图12.4-23和图12.4-24求温度效率 η (%)和压力损失 ΔP (Pa)。

(3) 求新风终温 t_2 ($^{\circ}\text{C}$):

$$t_2 = t_1 + \frac{\eta(t_1 - t_3)}{100}$$

(4) 计算回收冷量 Q_i (W):

$$Q_i = 3600 \times L \times \rho \times c \times (t_1 - t_2)$$

式中 c ——新风的平均比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$;

ρ ——新风的平均密度, kg/m^3 。

(5) 计算回收热量 Q_R (W):

$$Q_R = 3600 \cdot L \cdot \rho \cdot c (t_2 - t_1)$$

5. 设计注意事项

(1) 气流流过换热器的流速, 宜保持 $2 \sim 5 \text{m/s}$, 一般取 $2.5 \sim 3.0 \text{m/s}$ 。

(2) 应优先考虑翅片比高的翅片形式。

(3) 冷、热端之间的隔板, 宜采用双层结构, 以防止因漏风而造成交叉污染。

(4) 通过排风(污染)一侧的翅片片距宜稍大一些; 或者在排风进入换热器之前先经过滤净化。

(5) 换热器可以垂直或水平安装, 既可以几个并联, 也可以几个串联。

(6) 当气流的含湿量较大时, 应设计凝水排除装置。

(7) 启动换热器时, 应使冷、热气流同时流动, 或使冷气流先流动; 停止时, 应使

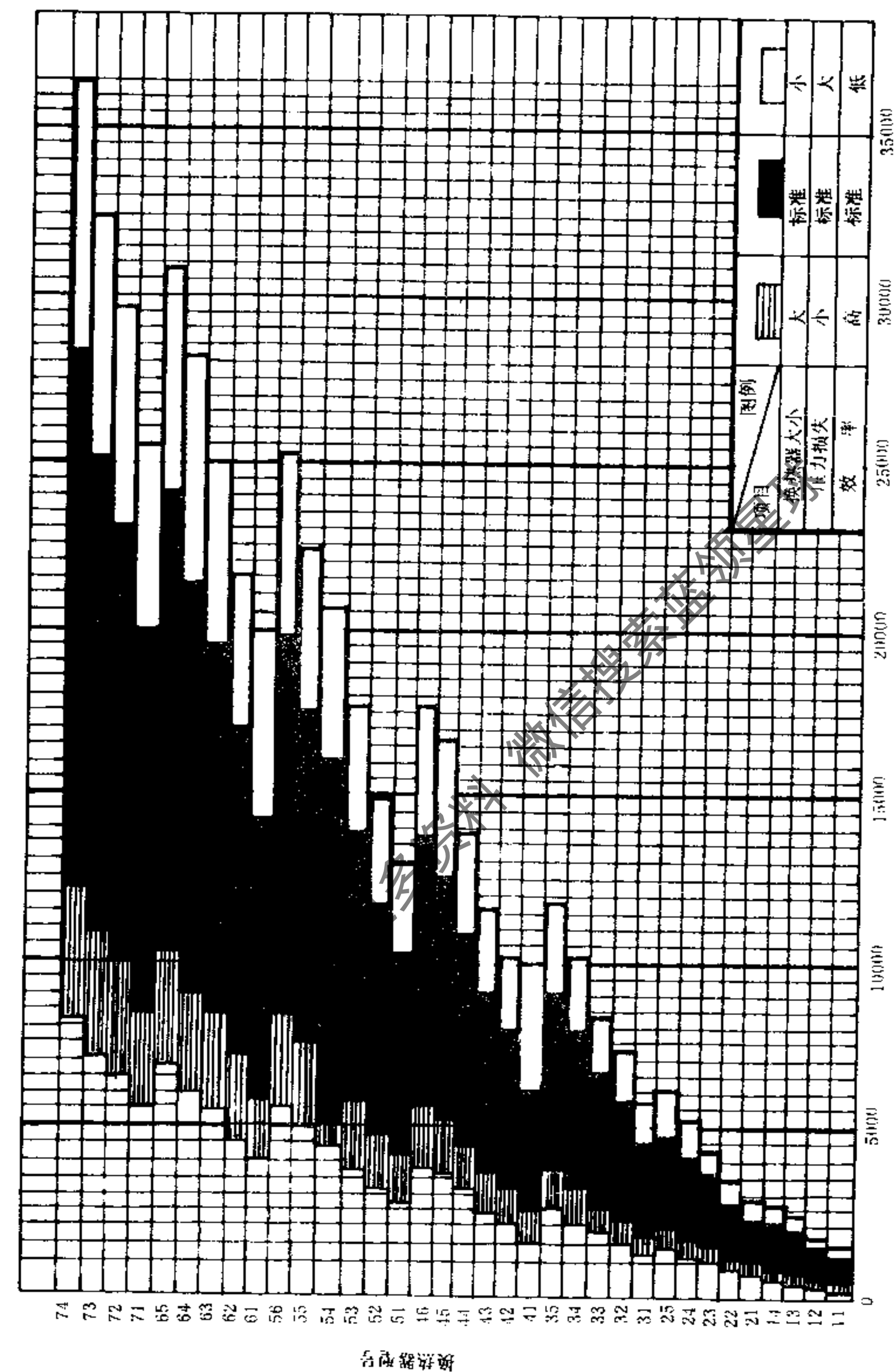


图 12.1 22 热管换热器型号选择图

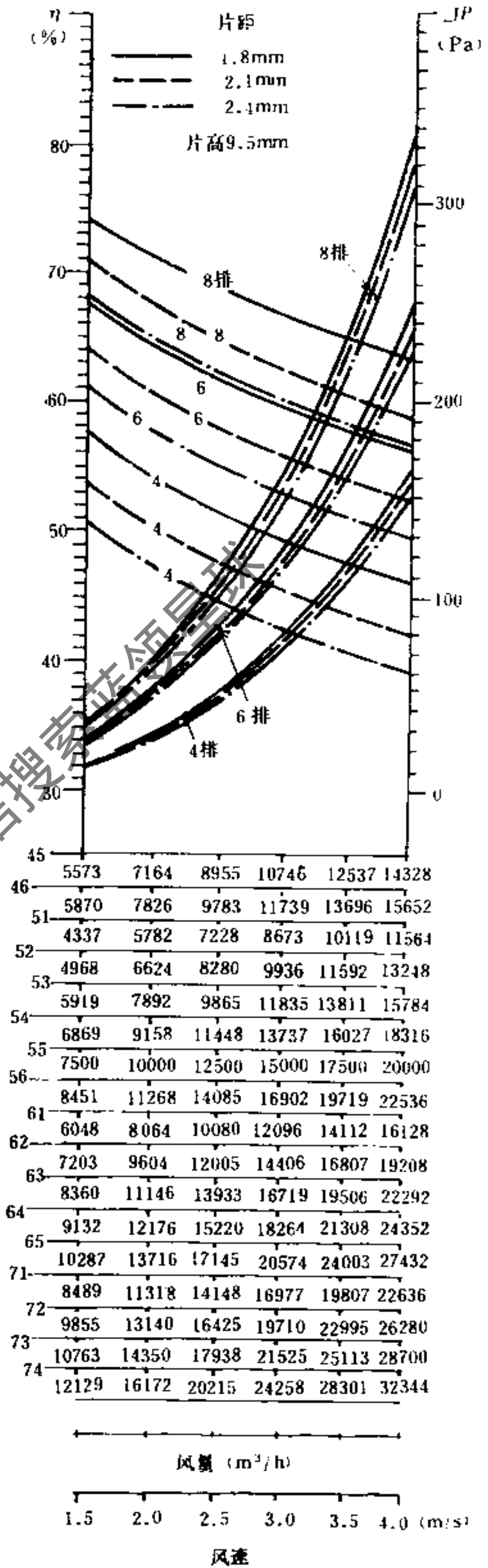
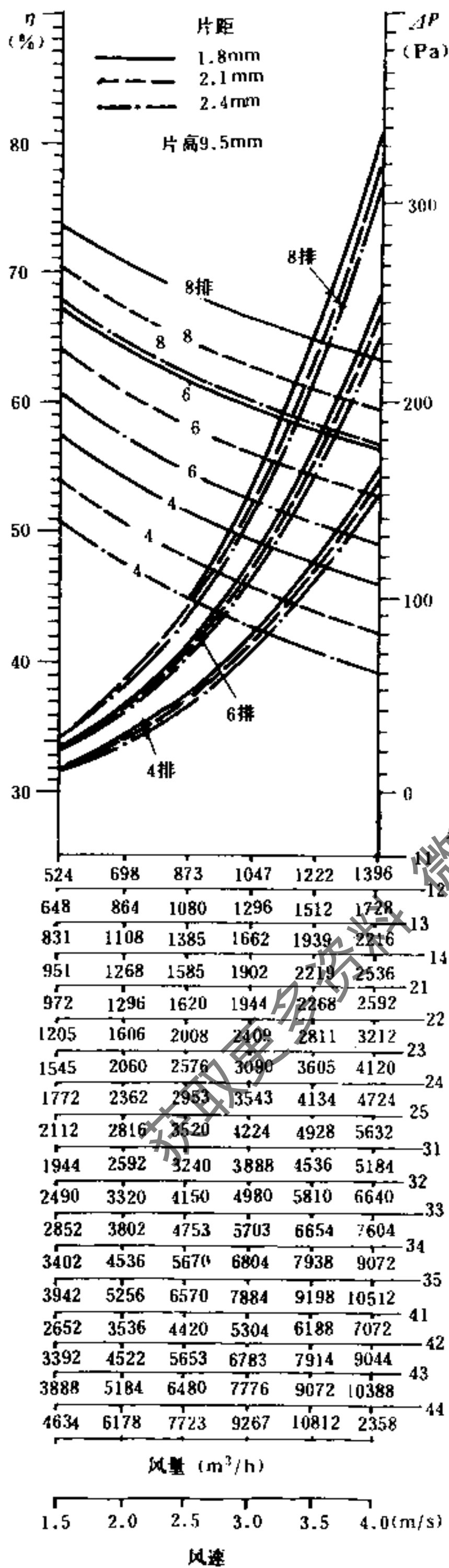
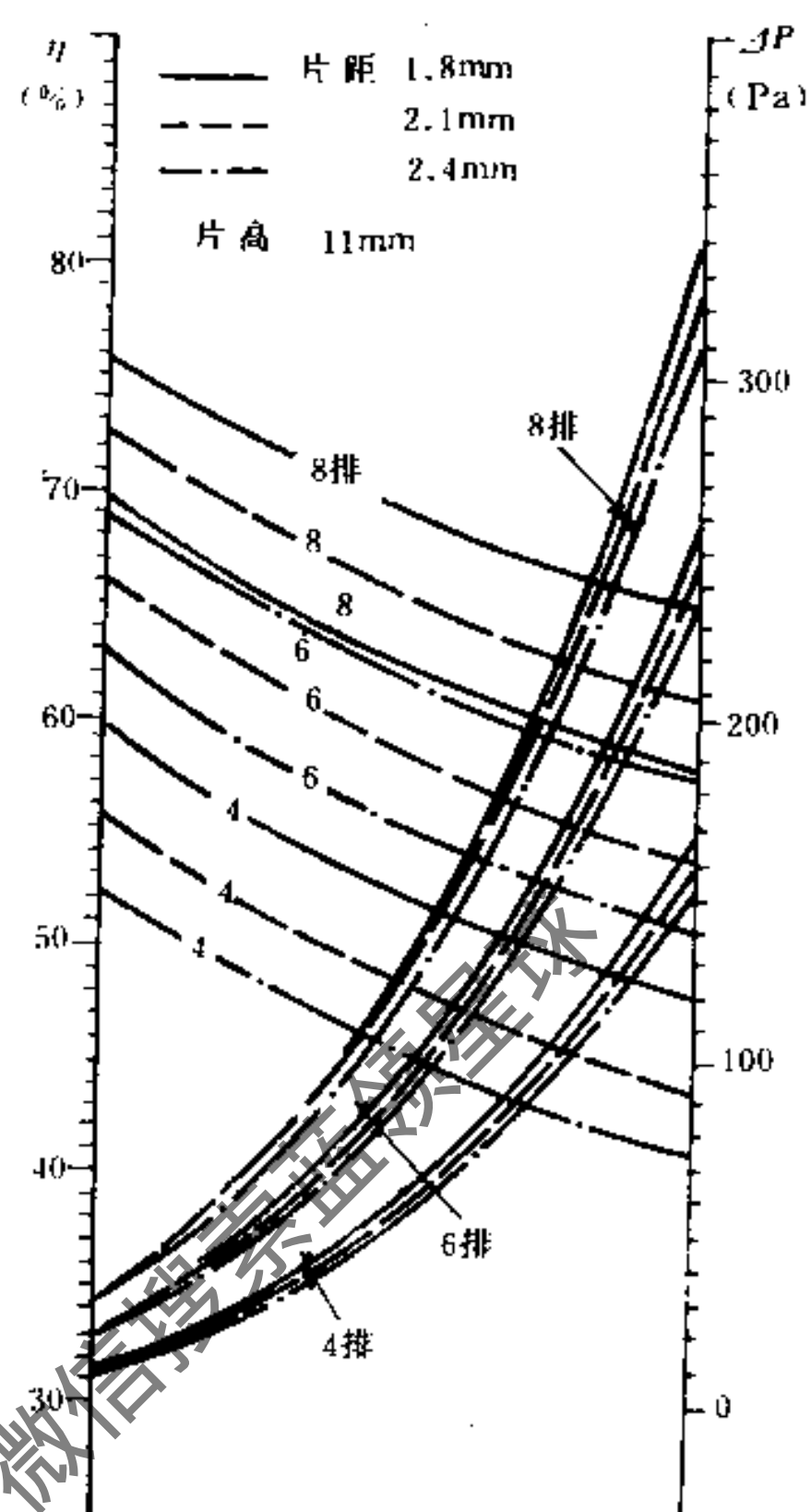
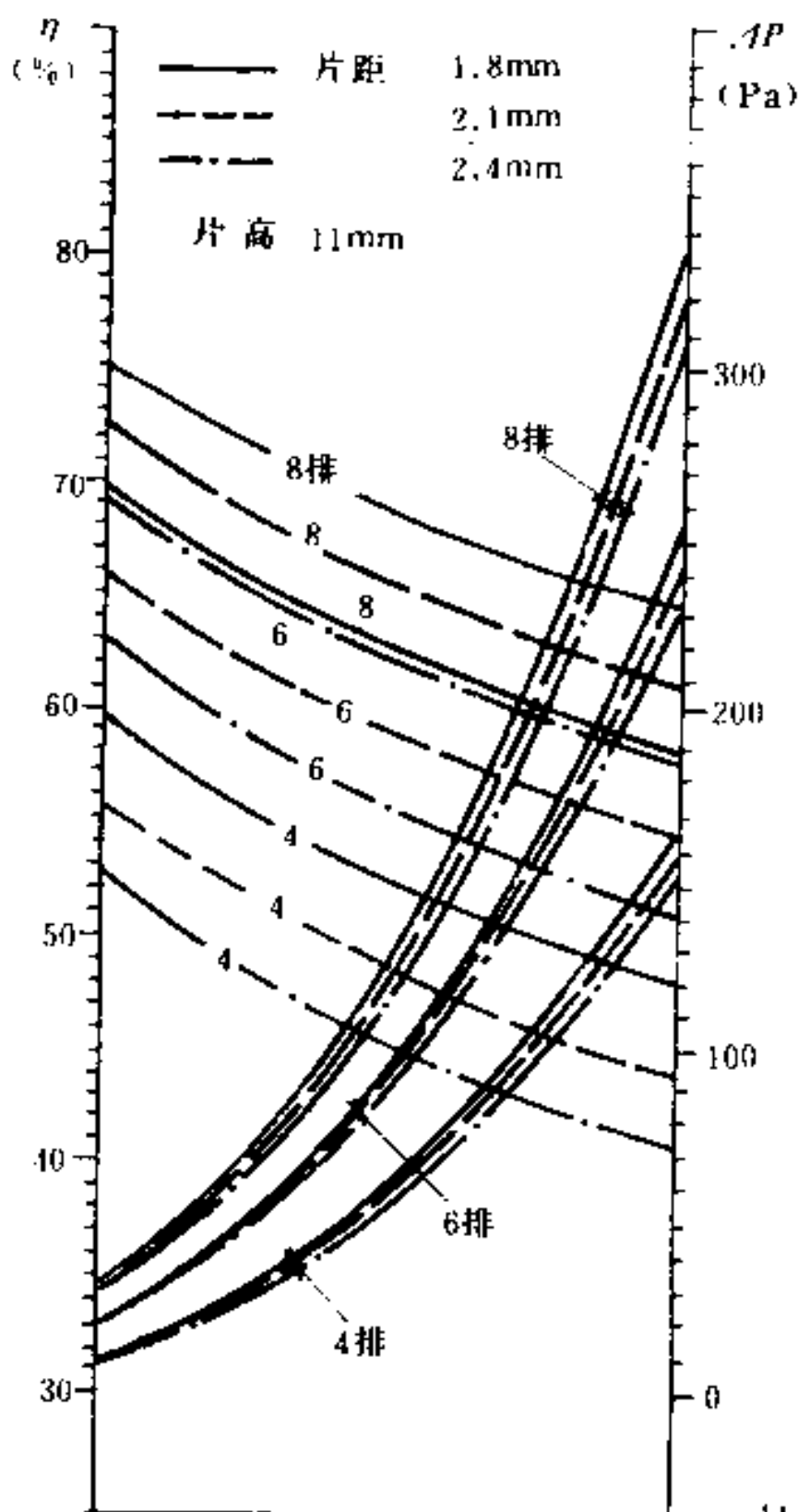


图 12.4-23 换热器的效率和压力损失 (片高9.5mm)



型号	11	12	13	14	21	22	23	24	25	31	32	33	34	35	41	42	43	44
风量 (m³/h)	524	698	873	1047	1222	1396												
风速 (m/s)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0												

型号	45	46	51	52	53	54	55	56	61	62	63	64	65	71	72	73	74
风量 (m³/h)	5573	7164	8955	10746	12537	14328											
风速 (m/s)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0											

图 12.4 24 换热器的效率和压力损失 (片高11mm)

冷、热气流同时停止，或先停止热气流。

12.4.7 热 泵

1. 热泵类型：主要的热泵类型，如表12.4-14所示。

热 泵 的 主 要 类 型

表 12.4-14

热源和散热源	输配流体	热力循环	图例 → 供热 → 供冷 → 供热和供冷
空气	空气	制冷剂转换	
空气	空气	空气转换	
水 空气	空气 水	制冷剂转换	
地	空气	制冷剂转换	
水	水	水转换	

注：引自ASHRAE Environmental Control Principles 1974.

2. 水热源热泵系统的设计

(1) 选择装置型式

容量 < 200kW 时 宜用水—空气方式;

容量 ≥ 200kW 时 宜用水—水方式。

(2) 确定冷凝温度 (t_1) 一般 $t_1 = 40 \sim 50^\circ\text{C}$ 。 t_1 取高值时, 热水或空气温度可以提高, 但是性能系数 COP 值降低, 压缩机功耗增大; 同时, 由于压缩比增高, 效率将下降。

(3) 确定蒸发温度 (t_2) 一般 $t_2 = t_{s1} - 10 \sim 15^\circ\text{C}$ (t_{s1} —进水温度, $^\circ\text{C}$)。

(4) 在制冷剂 $P-i$ 图上绘出相应热力循环过程 (图 12.4-25), 并算出下列各项参数:

$$q_1 = i_3 - i_4 \quad (12.4-48)$$

$$q_2 = i_2 - i_1 = i_2 - i_4 \quad (12.4-49)$$

$$p = i_3 - i_2 \quad (12.4-50)$$

式中 q_1 ——单位质量制冷剂的冷凝热, J/kg ;

q_2 ——单位质量制冷剂的蒸发热, J/kg ;

p ——单位质量制冷剂的压缩功, J/kg 。

(5) 计算性能系数 COP

$$COP = \frac{i_3 - i_4}{i_3 - i_2} \quad (12.4-51)$$

注: 这是理论 COP 值, 实际 COP 值将小于此值。

(6) 计算制冷剂的循环量 G (kg/s)

$$G = \frac{Q}{i_3 - i_4} \quad (12.4-52)$$

式中 Q ——供暖加热能力, W 。

(7) 计算压缩机的压缩功 P (W) 和轴功率 N (W)

$$P = Gp = G(i_3 - i_2) \quad (12.4-53)$$

$$N = \frac{P}{\eta_1 \eta_2} \quad (12.4-54)$$

式中 η_1 、 η_2 ——压缩效率和机械效率 ($\%$), 见表 12.4-15。

多级压缩机的 η_1 和 η_2 值 ($\%$)

表 12.4-15

压缩比	3	4	5	6	7
η_1 ($\%$)	80	79	77	75	72
η_2 ($\%$)	85	85	84	83	81

(8) 蒸发器负荷 Q_2 (W)

$$Q_2 = q_2 G = G(i_2 - i_1) \quad (12.4-55)$$

(9) 确定冷凝器的传热面积 F_1 (m^2)

a. 水—空气方式的空气加热器 (风冷冷凝器)

$$F_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_p} = n A f_1 \quad (12.4-56)$$

$$Q_1 = cL(t_2 - t_1) \quad (12.4-57)$$

$$\Delta t_p = \frac{(t_1 - t_{11}) - (t_1 - t_{12})}{\ln \frac{t_1 - t_{11}}{t_1 - t_{12}}} \approx t_1 - \frac{t_{11} + t_{12}}{2} \quad (12.4-58)$$

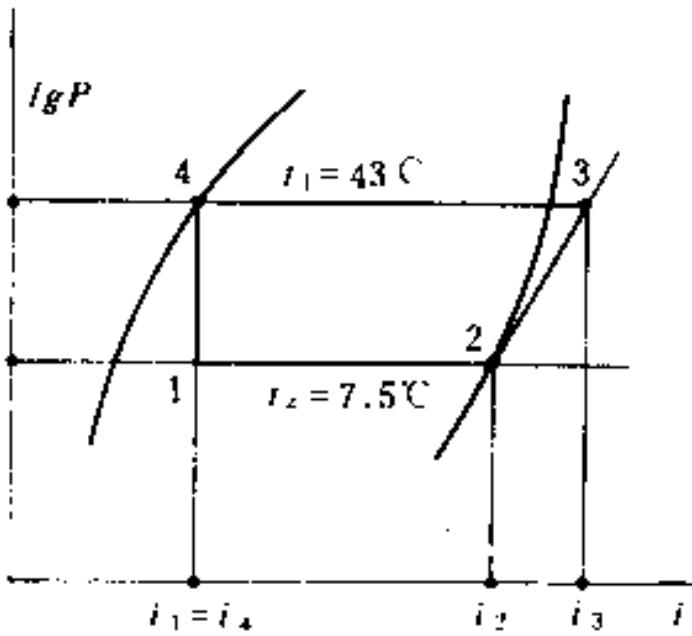


图 12.4-25 $P-i$ 图上的热力循环过程

式中 Q_l —— 冷凝器的热量, W;
 K_l —— 冷凝器的传热系数, 见表12.4-16;
 n —— 管排数;
 A —— 每 m^2 迎风面积内每排管子的表面积, m^2 ;
 f_y —— 迎风面面积, m^2 ;
 L —— 空气的质量流率, kg/s ;
 c —— 空气的比热容, $J/(kg \cdot C)$;
 t_1, t_2 —— 空气的进、出口温度, C 。

平片型肋片风冷冷凝器的 K_l 值

表 12.4 16

空气流速 (m/s)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
K_l [W (m ² ·C)]	23.7	26.3	28.7	30.2	31.6	34.0

注: 本表中氟里昂冷凝时的换热系数 $a = 1500 W/(m^2 \cdot C)$; 肋化系数 $R = 16.2$ 。

b. 水—水方式的水加热器 (水冷式冷凝器) 一般采用壳管式, 计算方法如下:

$$F_l = \frac{Q_l}{K_l \Delta t_p} \approx \frac{Q_l}{K_l \left(t_l - \frac{t_{s1} + t_{s2}}{2} \right)} \quad (12.4-59)$$

$$Q_l = cL (t_{s2} - t_{s1}) \quad (12.4-60)$$

$$\Delta t_p = \frac{(t_{s1} - t_l) - (t_{s2} - t_l)}{\ln \frac{t_{s1} - t_l}{t_{s2} - t_l}}$$

式中 t_{s1}, t_{s2} —— 水的进、出口温度, C ;
 c —— 水的比热容, $J/(kg \cdot C)$;
 t_l —— 水的蒸发温度, C 。

壳管式水冷冷凝器的传热系数, 可近似地按表12.4 17采用。

壳管式水冷冷凝器的 K_l 值(R=12)

表 12.4 17

水流速度 (m/s)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
K_l 值 [W (m ² ·C)]	267	381	582	721	802	930

注: 管道公称直径 $DN = 32mm$, 铜管。

【例】 根据下列条件设计以地下水 (水温冬夏相等 $t_{s1} = 17 C$) 为热源的热泵系统。

项 目	供暖时的加热能力	供冷时的冷却能力
进口水温	33 C	11 C
出口水温	38 C	6 C
能 力	490000 W	520000 W

【解】

1) 根据图12.4 25, 选取 $t_1 = 43 C, t_2 = 7.5 C$, 从而得: $i_1 = i_4 = 464.7 kJ/kg, i_2 = 579.9 kJ/kg, i_3 = 598.7 kJ/kg$ 。

2) 根据上列焓值, 可得

$$q_1 = i_3 - i_4 = 598.7 - 464.7 = 134 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = i_2 - i_1 = 579.9 - 464.7 = 115.2 \text{ kJ/kg}$$

$$p = i_3 - i_2 = 598.7 - 579.9 = 18.8 \text{ kJ/kg}$$

3) 性能系数 (理论值)

$$COP = q_1 / p = 134 / 18.8 = 7.4$$

4) 制冷剂循环量和实际COP值

$$G = Q_1 / (i_3 - i_4) = 490 / (598.7 - 464.7) = 3.66 \text{ kg/s}$$

压缩机的压缩功

$$P = G p = 3.66 \times 18.8 = 68.8 \text{ kW}$$

由表12.4-15得 $\eta_1 = 0.80$, $\eta_2 = 0.85$,

则轴功率为: $N = P / (\eta_1 \eta_2) = 68.8 / (0.80 \times 0.85) = 100 \text{ kW}$

配用110kW电机, 则实际COP值为:

$$COP = 490 / 110 = 4.5$$

5) 蒸发器的制冷量

$$Q_2 = G (i_2 - i_1) = 3.66 \times (579.9 - 464.7) = 422 \text{ kW}$$

6) 由表12.4-17得: 当水流速度为1m/s时, $K_1 = 582 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$ 。

而

$$\Delta t_p = \frac{(43 - 33) - (43 - 38)}{\ln \frac{43 - 33}{43 - 38}} = 7.2 \text{ C}$$

所以, 水加热器 (冷凝器) 的传热面积应为:

$$F_1 = 490000 / (582 \times 7.2) = 117 \text{ m}^2$$

已知 $t_{s1} = 17 \text{ C}$, 令 $t_{s2} = t_{s1} - 4 = 17 - 4 = 13 \text{ C}$, 则

$$\Delta t_p = \frac{(17 - 7.5) - (13 - 7.5)}{\ln \frac{17 - 7.5}{13 - 7.5}} = 7.3 \text{ C}$$

壳管式水冷却器 (蒸发器) 的传热系数 K_2 , 一般可按表12.4-18采用。

壳管式水冷却器的 K_2 值 [W (m²·C)] (R-12)

表 12.4-18

蒸发器型式	水流速度 (m/s)	Δt_p (C)			
		3	5	7	10
满液式	0.75	378	465	535	—
	1.00	465	582	651	—
	1.25	547	651	721	—
	1.50	605	698	768	—
干式	—	—	686 ~ 640	849 ~ 791	977 ~ 896

注: 铜管。

若取水流速度 $v = 1 \text{ m/s}$, 则 $K_2 \approx 651 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$ 。则所需蒸发器的传热面积为:

$$F_2 = 422000 / (651 \times 7.3) \approx 89 \text{ m}^2$$

7) 地下水耗量:

$$W = \frac{Q_2}{c(t_{s1} - t_{s2})} = \frac{422000}{4190 \times (17 - 13)} = 25 \text{ kg/s}$$

注意 在实际工程设计中, 传热系数应尽可能按制造厂提供的实验数据采用。

3. 空气热源热泵系统的设计

蒸发器从室外空气中得到的热量 Q_z (W)

$$Q_z = K_z F_z \left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_e \right) \quad (12.4-61)$$

$$Q_z = cL (t_1 - t_2) \quad (12.4-62)$$

或

$$Q_z = k(t_1 - t_e) \quad (12.4-63)$$

$$k = \frac{K_z F_z}{1 + \left[\frac{K_z F_z}{2cL} \right]}$$

式中 K_z —— 蒸发器的传热系数, 当迎风面速度为 $v_s = 2 \sim 3 \text{ m/s}$ 时, 平片型肋片管的 K_z 为 $25 \sim 35 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$;

F_z —— 蒸发器的传热面积, m^2 ;

t_1, t_2 —— 空气的进、出口温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_e —— 蒸发温度, $^{\circ}\text{C}$;

c —— 空气的比热容, $\text{J/(kg} \cdot \text{C)}$;

L —— 空气的重量流率, kg/s 。

空气热源热泵系统的具体设计计算步骤:

(1) 根据规定的供暖时间, 求出该时区内室外空气的平均温度 t_p ($^{\circ}\text{C}$), 并计算出对应的供暖负荷 Q_p (W)

$$Q_p = Q_w \frac{t_N - t_p}{t_N - t_w} \quad (12.4-64)$$

式中 t_N —— 室内供暖温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_w —— 室外供暖计算温度, $^{\circ}\text{C}$;

Q_w —— 对应于 t_w 的供暖负荷, W。

(2) 确定蒸发温度 t_e 和冷凝温度 t_c 。蒸发温度一般取: $t_e = t_w - 10 \sim 15^{\circ}\text{C}$; 冷凝温度一般取: $t_c = 40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 根据 t_e 和 t_c 值, 在制冷剂的 $P-i$ 图上画出热力过程, 并算出 q_2 和 q_1 以及 q_1/q_2 值。由表12.4-19可直接查出R-12制冷剂的 k_c 值($k_c = q_1/q_2$)。

R-12制冷剂的 k_c 值

表 12.4-19

t_e ($^{\circ}\text{C}$)	t_c ($^{\circ}\text{C}$)						
	25	30	35	40	45	50	55
-30	1.289	1.318	1.356	1.391	1.411	1.492	1.551
-25	1.246	1.279	1.311	1.351	1.394	1.438	1.493
-20	1.210	1.240	1.274	1.307	1.348	1.388	1.438
-15	1.183	1.213	1.243	1.271	1.312	1.349	1.395
-10	1.156	1.184	1.211	1.240	1.276	1.311	1.353
-5	1.130	1.157	1.180	1.209	1.243	1.276	1.315
0	1.103	1.130	1.150	1.176	1.208	1.238	1.273
5	1.079	1.101	1.123	1.147	1.177	1.205	1.241

注: 本表系按R-12的 $P-i$ 图算出, 未考虑过冷与过热

(4) 计算平均制冷能力 Q_{ZP} (W)

$$Q_{ZP} = Q_P / k_c \quad (12.4-65)$$

(5) 确定通过蒸发器的室外空气量 L (kg/s):空气量大时,蒸发器的传热面积小但风机的动力消耗增大。表12.4-20中列出了国外样本中的数值。

空气量的参考数据

表 12.4-20

压缩机	设计条件		空气量:供热量 (m ³ /h)/kW	压缩机功率:供热量 (kW, kW)
	室外空气温度	热媒出口温度		
往复式	7℃	45℃	390~520	0.28~0.38
螺杆式	-2℃	45℃	690~770	0.41~0.46

注:国际制冷学会“节能”研究组成员G.Nussbaum提出:每1kW供热量的空气量最好取1200m³/h,以便尽可能减小空气与制冷剂(蒸发温度)之间的温差。

(6) 由式(12.4-62),可求出蒸发器出口的空气温度 t_2 :

$$t_2 = t_P - \frac{Q_{ZP}}{cL} \quad (12.4-66)$$

(7) 以 Q_P 和 t_P 分别代替式(12.4-61)中的 Q_2 和 t_1 ,并求出传热面积 F_2 ;考虑到蒸发器表面的结霜因素,一般应对 K_2 乘以0.8修正系数。

(8) 对应 t_2, t_1 ,选定能力为 Q_{ZP} 的制冷机,并绘制热泵的加热能力曲线(如图12.4-26所示),从而求出温度为 t_w 时的加热能力 Q_w 。

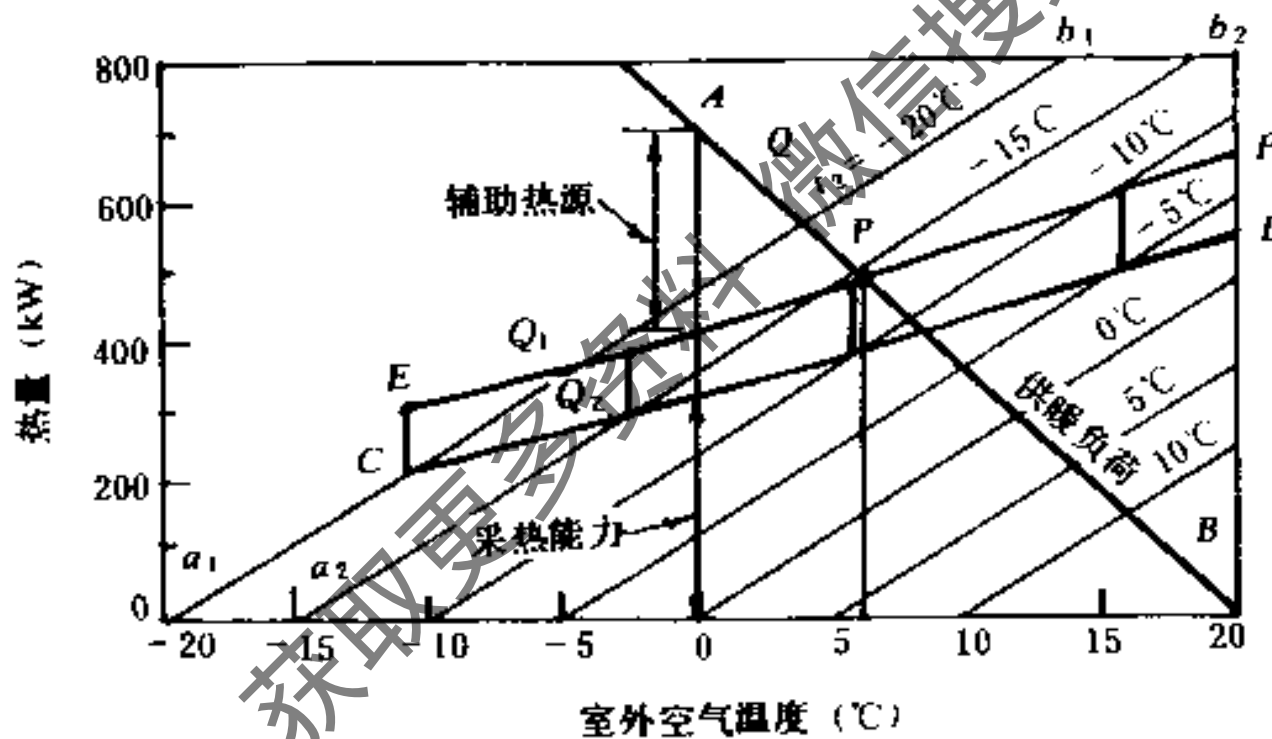


图 12.4-26 空气热源热泵的加热能力曲线

(9) 加热能力的不足部分,可考虑由辅助加热设备来提供。所以,辅助加热能力 Q_F (W)应为:

$$Q_F = Q_w - Q'_w$$

【例】根据下列条件设计空气热源热泵:室外供暖计算温度 $t_w = 0^\circ\text{C}$,室内设计温度 $t_N = 20^\circ\text{C}$,供暖设计负荷 $Q_w = 700000\text{W}$,供暖时间为8~17点,该时区内室外空气的平均温度 $t_P = 6^\circ\text{C}$ 。

【解】

1) 先按式(12.4-64)计算出对应于 t_P 的供暖负荷 Q_P

$$Q_P = Q_w \frac{t_N - t_P}{t_N - t_w} = 700000 \times \frac{20 - 6}{20 - 0} = 490000\text{W}$$

2) 确定蒸发温度与冷凝温度

$$t_z = t_w - 10 = 0 - 10 = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

3) 由表12.4-19得 $k_c = 1.276$, 所以, 由式(12.4-65)得 $Q_{zP} = Q_P / k_c = 490000 / 1.276 = 384000 \text{ W}$

4) 取 $\frac{\text{空气量}}{\text{供热量}} = 490 \text{ m}^3/\text{h}/\text{kW}$, 则空气量为

$$L = 1.2 \times 490 \times \frac{490000}{1000 \times 3600} = 80 \text{ kg/s}$$

5) 蒸发器的空气出口温度为

$$t_2 = t_P - \frac{Q_{zP}}{cL} = 6 - \frac{384000}{1005 \times 80} = 1.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6) 取传热系数 $K_z = 30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C})$, 考虑结霜修正后, 实际 $K_z = 30 \times 0.8 = 24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C})$ 。

所需蒸发器的传热面积为

$$F_z = \frac{Q_{zP}}{K_z \left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_z \right)} = \frac{384000}{24 \times \left(\frac{6 + 1.2}{2} + 10 \right)} = 1176 \text{ m}^2$$

7) 根据 $t_z = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$ 、 $t_1 = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$ 和 $Q_{zP} = 384000 \text{ W}$ 选择制冷机。

8) 由式(12.4-63)求 Q_z (W)

$$k = \frac{K_z F_z}{1 + [(K_z F_z)^2 / (2cL)]}$$

$$= \frac{24 \times 1176}{1 + [(24 \times 1176)^2 / (2 \times 1005 \times 80)]} = 23920$$

所以

$$Q_z = 23920 \times (t_1 - t_z)$$

以不同的 t_1 和 t_z 值代入上式, 可得出如图12.4-26所示的 $a_1 b_1$ 、 $a_2 b_2$ ……等一组直线。同时, 根据所选定的压缩机性能资料, 列出对应的 Q_z 值如下:

t_z (C)	-20	15	-10	-5	0	-5
Q_z (kW)	220	290	380	490	620	780
Q_i / Q_z	1.348	1.312	1.276	1.243	1.208	1.177
Q_i (kW)	296.6	380	485	609	749	918

在图12.4-26中的 $a_1 b_1$ 、 $a_2 b_2$ ……线上点出与 t_z 对应的 Q_z 值, 再在这点的上方定出 Q_i 值的点, 分别连接诸点, 即得出 Q_z 和 Q_i 曲线; 表示 Q_i 的曲线 EF 与供暖负荷线 AB 交于 P 点, 这里 $t_w = 6 \text{ } ^\circ\text{C}$, 热量为 488000 W ; 而 $t_w = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时, $Q_i = 320000 \text{ W}$ 。

9) 由下列热平衡方程可求出蒸发器出口空气温度 t_2 与蒸发温度之差 $\Delta t'$:

$$Q_i = cL (t_w - t_2 - \Delta t')$$

$$\Delta t' = t_2 - t_z = \frac{-Q_z}{cL} + t_w - t_2$$

$$-\frac{-320000}{1005 \times 80} + 0 - (-10) = 6^\circ\text{C} > 2^\circ\text{C} \text{ 可以认为满意。}$$

10) $t_w = 0^\circ\text{C}$ 时, 冷凝器的加热能力由图得: $Q_t = 407000\text{W}$ 。由此, 可得必须提供的辅助加热量为:

$$Q_F = 700000 - 407000 = 293000\text{W}$$

4. 热泵系统设计注意事项

(1) 热泵系统经济运行的基本要求:

- 尽可能利用温度高的热源。
- 热源和热媒间的实际温差最低。
- 热源应满足下列要求:
 - 在尽可能高的供热温度下提供所需的热量;
 - 利用热源所需增加的费用较低;
 - 无论在化学上抑物理上, 对换热设备都不产生不良的影响;
 - 热源条件变化时, 有较好的适应性;
 - 输送设备如风机、水泵等的能耗尽可能低。

(2) 热泵系统的压缩机应满足下列要求:

- 对于空气热源热泵, 在 $t_1 = -35 \sim +15^\circ\text{C}$ 和 $t_2 \leq 65^\circ\text{C}$ 范围内应能正常运行; 压缩比高至 9 时, 仍应有满意的效率; 同时, 不应有过高的过热温度。
- 在吸入蒸气处于过热和不饱和状态时, 压缩机不受吸气质量的影响。
- 能承受工作压力的迅速变化, 不产生油沫; 油应随蒸气返回曲轴箱, 并在箱中装有浸没式加热器。
- 应有良好的、可靠的超温、超压保护装置。无故障运行时间在 25000h 以上。
- 较大型的热泵, 应配备平滑而无损耗的能量调节器。
- 压缩机配用的电机, 具有平坦的效率曲线。

综合以上要求, 提出以下推荐意见:

△加热量 $Q = 0.5 \sim 500\text{kW}$ 时, 采用容积式;

△加热量 $Q > 500\text{kW}$ 时, 采用离心式。

(3) 室外盘管 为了达到对能源的高效利用, 在室外盘管中, 应将蒸发器和冷凝器的功能分开^①。两个循环合用一个公用的换热器和空气输送装置, 不过, 每个循环所起的作用不同: 一个在供暖期间起蒸发功能; 另一个在供冷期间起冷凝功能。同时, 将其中未运用的蒸发器作为供冷期间的过冷器。

通过热源盘管的空气量必须相当大, 以减小空气和蒸发制冷剂之间的温差。一般可按每 kW 供暖能力 $1200\text{m}^3/\text{h}$ 空气量考虑, 这样, 在室外空气温度 $t_w = 3 \sim 4^\circ\text{C}$ 时, 可实现无霜运行。

(4) 室内盘管 它在供冷时作为蒸发器, 供暖时则作为冷凝器。在每一工况下, 它

① 室外盘管在冷却时作为冷凝器使用, 加热时又作为蒸发器使用; 过去, 室外盘管一般仅仅按空调的冷凝器设计, 作蒸发器用时, 就听其自然。1975年国际制冷学术专题会上, 提出了将蒸发器和冷凝器的功能分开的建议, 详见 Air source heat pump with frost free outdoor coil, Otto J. Nussbaum IIR Congress Paper E1.6, Moscow, 1975.

的压力和环境温度实际上是恒定的，不管季节如何，回到盘管的空气温度总是 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 左右。供暖时的冷凝压力一般恒定在 1500kPa ；供冷时的蒸发压力一般恒定在 600kPa 。所以，如果供暖期间冷凝容量足够的话，供冷时将有更足够的冷却能力。

(5) 由于热泵系统中蒸发器和冷凝器之间的温度差，一般远小于制冷场合的温度差，所以，在设计室内、外盘管时，取极端负荷工况下最大压降各为 10kPa 是合理的。

(6) 制冷剂的流量控制 以采用热力膨胀阀为宜，而且应该是“平衡孔”型，以保持不随进口压力的变化而变化，且能在压差较小的情况下正常运行。

(7) 经济性的判断 对于具有一定性能的热泵系统，在下列条件下应用时，通常认为是经济的：

- 有一种象地下水那样的良好热源；
- 每年满负荷运行的时间不少于 2000h ；
- COP 值 >3 ；
- 在夏季供冷基础上作供暖循环时，不要求增加能量；
- 已经采用制冷设备的场合，如冷库、溜冰场、超级市场等；
- 有废热可供利用的场合；
- 建筑物内部有较大余热，有可能在环境温度低于零度时使用内部热源加热建筑物，如百货大楼、影剧院、计算机房等。

反之，如果是下列情况的热泵，其经济性就不能肯定了：

- 仅仅用于供暖；
- $COP < 3$ ；
- 热泵容量远大于供暖负荷。

5. 热泵热回收的图式 (见图12.4-27和图12.4-28)

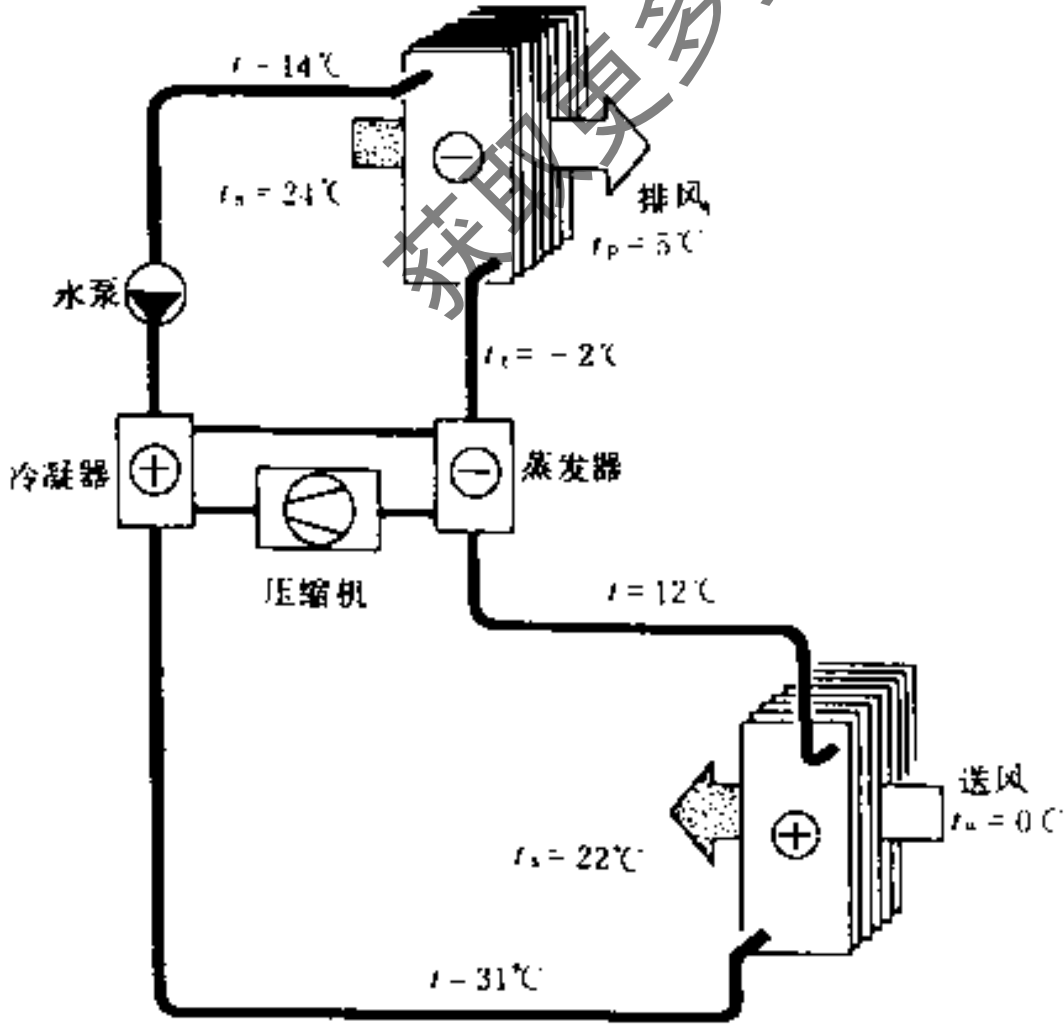


图 12.4-27 冬季过程

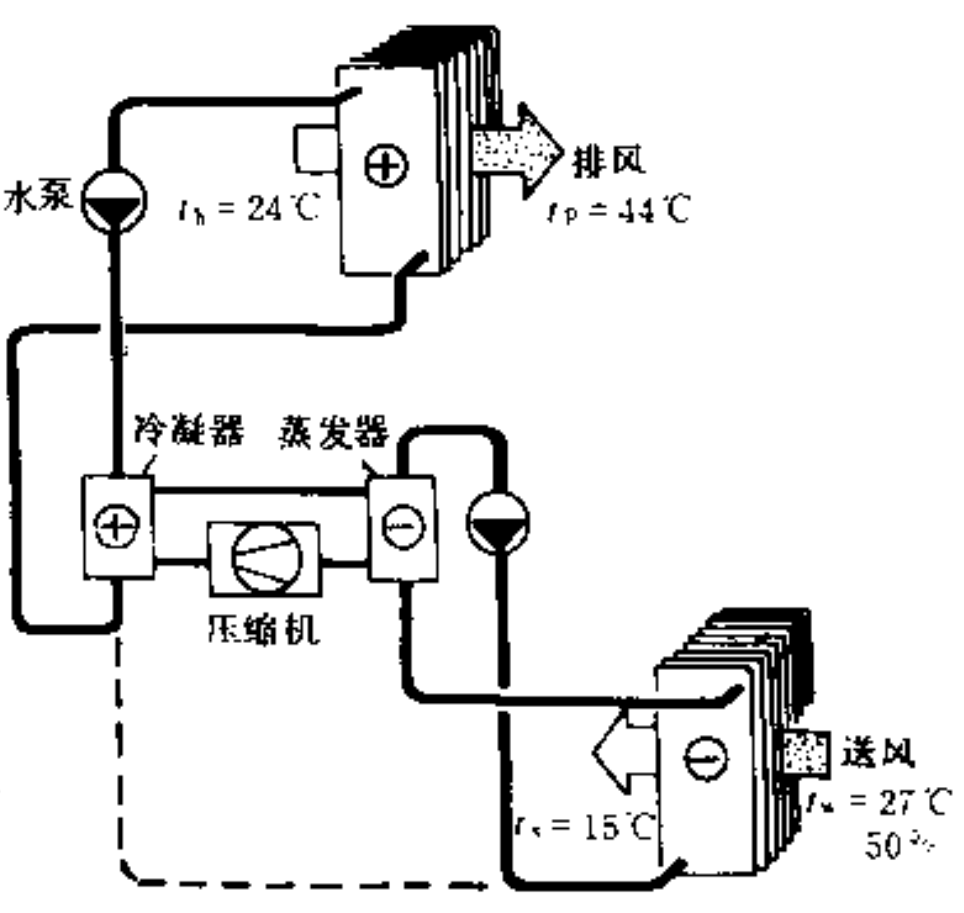


图 12.4-28 夏季过程

12.5 空调系统的总耗能量

空调系统全年(或季节)的总耗能量,是衡量和评价空调系统节能设计的主要指标,也是进行空调系统优化设计过程中考虑的一个重要因素。

空调系统总耗电量的计算,一般有以下几种方法:

- 度日 (degree days) 法
- 电子计算机模拟计算法
- 当量满负荷运行时间 (τ_E) 法
- 负荷频率表法

作为供暖总耗能量计算来说,度日法的资料已比较齐全(《供暖通风设计手册》已作了详细介绍)。但是,作为空调总耗能量计算来说,国内目前尚无比较成熟的资料。

电子计算机模拟计算法,是建立在动态负荷计算基础上的一种较为精确的方法。根据精确的数学模型对建筑热过程进行计算机模拟,计算出任意变化气象条件下的逐时负荷,然后进行全年叠加。为此,需要提供平均年中全年($365 \times 24 = 8760\text{h}$)的逐时标准气象数据。

目前,已有部分标准电算程序可供用户使用,如日本空气调节和卫生工学会提出的HASP/ACLD 8501, 8502;美国国家标准局的NBSLD;美国国家能源局的DOE-2等。

12.5.1 当量满负荷运行时间 (τ_E) 法

1. 定义 全年空调冷负荷(或热负荷)的总和 $q_c = \int q dT$ (kJ/a)与制冷机(或锅炉)最大出力 q_R (或 q_B)的比值,称为当量满负荷运行时间 τ_E ,即

$$\tau_{E.R} = q_c / q_R \quad (12.5-1)$$

$$\tau_{E.B} = q_h / q_B \quad (12.5-2)$$

式中 $\tau_{E.R}, \tau_{E.B}$ ——夏、冬季当量满负荷运行时间, h;

q_c, q_h ——全年空调冷、热负荷, kJ/a;

q_R, q_B ——冷机、锅炉的最大出力, kJ/h。

2. 负荷率 ε 全年空调冷负荷(或热负荷)与制冷机(或锅炉)在累计运行时间内总的最大出力之和的比例,称为负荷率 ε ,即

$$\varepsilon_R = \frac{q_c}{q_R T_R} \quad (12.5-3)$$

$$\varepsilon_B = \frac{q_h}{q_B T_B} \quad (12.5-4)$$

式中 T_R, T_B ——夏、冬季设备累计运行时间, h。

所以
$$\varepsilon_R = \tau_{E.R} / T_R \quad (12.5-5)$$

$$\varepsilon_B = \tau_{E.B} / T_B \quad (12.5-6)$$

或
$$\tau_{E.R} = \varepsilon_R T_R \quad (12.5-7)$$

$$\tau_{E.B} = \varepsilon_B T_B \quad (12.5-8)$$

① 利用电子计算机进行模拟计算,一般需提供室外空气的干、湿球温度(或露点温度)、大气压、云态、云量、相对湿度、焓、密度、风速、风向、太阳直射辐射强度、太阳散射辐射强度、地面散射辐射强度、降雨量、降雪量等十多项气象参数的全年逐时值。

上述累计运行时间，系指制冷机或锅炉从早晨启动至晚上停止运行的时间总和。例如当制冷机8:00启动，20:00停止，6~9月四个月的累计运行时间（不计星期日和节假日）为：

$$T_R = 12 \times 25 \times 4 = 1200\text{h}$$

当量满负荷运行时间 τ_E ，与建筑物的功能、性质、空调系统的节能方式等有关。表12.5-1列出了日本尾岛俊雄通过实测统计整理出来的资料，可供计算使用。

3. 空调全年耗电量的计算

(1) 设备耗电量的计算 见表12.5-2。

当量满负荷运行时间 τ_E 值

表 12.5-1

序号	建筑类型	最大负荷 (W/m ²)		当量满负荷运行时间 (h)	
		供 冷	供 热	τ_{E-R}	τ_{E-B}
1	独立住宅	93	151	860	950
2	共同住宅	69.8	81.4	860	950
3	办公楼	93	105	560	480
4	百货楼	140	81.4	800	340
5	饮食店	128	168.8	1000	1300
6	剧场	128	168.8	960	850
7	旅馆	93	151	1300	1050
8	学校	0	105	0	700
9	医院	93	174	860	1260

设备耗电量计算表

表 12.5-2

序号	设 备	耗电量 (P) 计算公式	公式号	
1	制 冷 机	$P_R = (\sum P_{R.N}) T_R = (\sum P_{R.N}) \tau_{E-R}$	(12.5-9)	
2	冷水与冷却水泵	定流量	$P_P = (\sum P_{P.N}) T_P$	(12.5-10)
		变流量	$P_P = (\sum P_{P.N}) T_P (\epsilon_R + a_R)$ $a_R = (1 - \epsilon_R) / n$	(12.5-11) (12.5-12)
3	冷却塔	全部运行	$P_{CT} = (\sum P_{CT.N}) T_{CT}$	(12.5-13)
		台数控制	$P_{CT} = (\sum P_{CT.N}) T_{CT} (\epsilon_R + a_R)$	(12.5-14)
4	通风机	定风量	$P_F = (\sum P_{F.N}) T_F$	(12.5-15)
		变风量	$P_F = (\sum P_{F.N}) T_F (\epsilon' + a')$ $\epsilon' = (\epsilon_R T_R + \epsilon_B T_B) / (T_R + T_B)$ $a' = (1 - \epsilon') / n$	(12.5-16) (12.5-17) (12.5-18)
5	锅炉附属设备	一台	$P_B = (\sum P_{B.N}) T_B \epsilon_B = (\sum P_{B.N}) \tau_{E-B}$	(12.5-19)
		二台以上	$P_B = (\sum P_{B.N}) T_B (\epsilon_B + a_B)$ $a_B = (1 - \epsilon_B) / n$	(12.5-20) (12.5-21)
6	锅炉给水泵	$P_{BP} = (\sum P_{BP.N}) D_{B.N} T_B (\epsilon_B + a_B) / q_{BP.N}$	(12.5-22)	

表12.5-2公式中诸符号的意义如下：

- $P_{R.N}$ ——制冷机的额定功率，kW；
- $P_{P.N}$ ——冷水和冷却水泵的额定功率，kW；
- $P_{CT.N}$ ——冷却塔的额定功率，kW；
- $P_{F.N}$ ——通风机的额定功率，kW；
- $P_{B.N}$ ——锅炉附属设备的额定功率，kW；
- $P_{BP.N}$ ——锅炉给水泵的额定功率，kW；
- T_R ——制冷机累计运行时间，h；
- T_P ——冷水或冷却水泵累计运行时间，h；
- T_{CT} ——冷却塔累计运行时间，h；
- T_F ——通风机累计运行时间，h；
- T_B ——锅炉累计运行时间，h；
- n ——设备台数；
- $D_{B.N}$ ——锅炉的额定蒸发量，m³/h；
- $q_{BP.N}$ ——锅炉给水泵的额定流量，m³/h。

(2) 燃料耗量的计算 见表12.5-3。

燃料耗量计算表

表 12.5-3

锅炉台数	燃料耗量计算公式 (m ³ /a)(t/a)	
一台	$Q_{f,B} = q_{f,B} \cdot n T_B \varepsilon_B = q_{f,B} \cdot n T_{L,B}$	(12.5-23)
二台以上	$Q_{f,B} = \sum q_{f,B} \cdot n T_B \left(\varepsilon_B + \frac{1 - \varepsilon_B}{n} \right)$	(12.5-24)

表中 $Q_{f,B,n}$ ——锅炉额定出力时的燃料耗量, m³/h 或 t/h。

(3) 耗水(补给水)量的计算

冷却塔的全年总循环水量 $W_{CT,a}$ (m³/a):

$$W_{CT,a} = W_{CT,N} T_R n \left(\varepsilon_R + \frac{1 - \varepsilon_R}{n} \right) \quad (12.5-25)$$

冷却塔的补水量 $Q_{w,CT}$ (m³/a):

$$Q_{w,CT} = 0.02 W_{CT,a} \quad (12.5-26)$$

锅炉补水量 $Q_{w,B}$ (m³/a):

$$Q_{w,B} = 0.01 D_{B,N} T_B \left(\varepsilon_B + \frac{1 - \varepsilon_B}{n} \right) \quad (12.5-27)$$

式中 $W_{CT,N}$ ——冷却塔的额定循环水量, m³/a。

(4) 热能换算 以上所计算得出的耗电量和燃料耗量, 均可换算为一次能源的热能单位, 其换算关系见表12.5-4。

一次能源热量换算表

表 12.5-4

标准煤	重油	煤油	石油液化气	电能 ^①
29307.6 kJ/kg	41449.3 kJ/L	37262.5 kJ/L	50241.6 kJ/kg	10256.4 kJ·kW·h

① 1kWh(3600kJ)电能换算为一次能量 $\frac{3600}{0.9 \times 0.39} = 10256.4 \text{ kJ}$ (式中 0.9—输配变电效率; 0.39—电厂热效率)。

(5) 计算示例

【例】办公大楼建筑面积20000m² 全年空调。冬季以燃油锅炉供热, 夏季以冷水机组供冷, 过渡季节利用新风供冷。制冷机和锅炉的累计运行时间 $T_R = T_B = 900 \text{ h/a}$; 风机累计运行时间 $T_F = 12 \times 25 \times 9 = 2700 \text{ h/a}$ 。空调设备详见表12.5-5。求该大楼的空调全年耗能量。

【解】

(1) 根据表12.5-1取当量满负荷运行时间: $\tau_{E,R} = 560 \text{ h}$ $\tau_{E,B} = 480 \text{ h}$ 。因此, 负荷率分别为:

$$\varepsilon_R = \frac{\tau_{E,R}}{T_R} = \frac{560}{900} = 0.62$$

$$\varepsilon_B = \frac{\tau_{E,B}}{T_B} = \frac{480}{900} = 0.53$$

(2) 计算设备的耗电量与耗能量 (1kW·h = 3.6MJ); 详见表12.5-6。

设备明细表

表 12.5-5

序号	名称	台数	额定功率 (耗油、流量)	备注
1	离心式制冷机 (冷水机组)	2	300 kW	台数控制 VAV系统 CAV系统
2	冷水循环泵: 一次泵	2	5.5 kW	
3	二次泵	2	11 kW	
4	冷却水泵	2	11 kW	
5	冷却塔	2	5.5 kW	
6	送风机: 变风量风机	2	55 kW	
7	定风量风机	2	22 kW	
8	回风机: 变风量风机	2	15 kW	
9	定风量风机	2	5.5 kW	
10	排风风机	1	22 kW	
11	风机盘管机组	240	0.065 kW	
12	锅炉给水泵	2	3.7 kW	
13	锅炉供油泵	1	0.4 kW	
14	锅炉燃油器	2	6 kW	
15	锅炉耗油量	2	180 L/h	
16	锅炉给水泵流量	2	7.2 m ³ /h	
17	锅炉蒸发量	2	2.4m ³ /h	

设备耗电量与耗能量

表 12.5-6

序号	名称	耗电量 (kW·h/a)	耗能量 (MJ/a)
1	制冷机	$P_R = (\sum P_{R,N}) T_{E,R} = (300 \times 2) \times 560 = 336000$	$P_R = 336000 \times 3.6 = 1209600$
2	冷却水泵、冷却塔和一次冷水泵	$P_{P1} + P_{CT} + P_{P2} = [(\sum P_{P,N1} + \sum P_{P,N2}) T_P + (\sum P_{CT,N}) T_{CT}] \times (\epsilon_R + \frac{1-\epsilon_R}{n})$ $= [(11 \times 2 + 5.5 \times 2) \times 900 + (5.5 \times 2) \times 900] \times (\frac{0.62+1-0.62}{2}) = 32076$	$P_{P1} + P_{CT} + P_{P2} = 32076 \times 3.6 = 115474$
3	二次冷水泵 (冬夏共用)	$T = T_B + T_R = 900 \times 2 = 1800h$ $\epsilon' = (c_R T_R + \epsilon_B T_B) / (T_R + T_B) = (0.62 \times 900 + 0.53 \times 900) / (900 + 900) = 0.575$ $a' = (1 - \epsilon') / n = (1 - 0.575) / 2 = 0.213$ $P_{P3} = (\sum P_{P,N3}) T (\epsilon' + a') = (11 \times 2) \times 1800 \times (0.575 + 0.213) = 31205$	$P_{P3} = 31205 \times 3.6 = 112338$
4	变风量送、回风机	$P_{F1} + P_{F2} = (\sum P_{F,N}) T_F (\epsilon' + a')$ $(55 \times 2 + 15 \times 2) \times 2700 \times (0.575 + 0.213) = 297864$	$P_{F1} + P_{F2} = 297864 \times 3.6 = 1072310$
5	定风量送、回、排风机	$P_{F3} + P_{F4} + P_{F5} = (\sum P_{F,N}) T_F$ $= (22 \times 2 + 5.5 \times 2 + 22) \times 2700 = 207900$	$P_{F3} + P_{F4} + P_{F5} = 207900 \times 3.6 = 748440$
6	风机盘管机组	$P_{F,C} = (\sum P_{F,N}) T_{F,C}$ $= 240 \times 0.065 \times 900 \times 2 = 28080$	$P_{F,C} = 28080 \times 3.6 = 101088$

续表

序号	名称	耗电量 (kW·h/a)	耗能量 (MJ/a)
7	锅炉燃油器	$P_{B.O} = (\Sigma P_{B.ON}) T_B (\varepsilon_B + a_B)$ $= (6 \times 2) \times 900 \times \left(0.53 + \frac{1-0.53}{2} \right)$ $= 8262$	$P_{B.O} = 8262 \times 3.6$ $= 29743$
8	油泵	$P_{OP} = (\Sigma P_{OP.N}) T_B (\varepsilon_B + a_B)$ $= 0.4 \times 900 \times \left(0.53 + \frac{1-0.53}{2} \right)$ $= 275$	$P_{OP} = 275 \times 3.6$ $= 990$
9	锅炉给水泵	$P_{BP} = (\Sigma P_{BP.N}) D_{B.N} T_B (\varepsilon_B + a_B) / q_{BP.N}$ $= \frac{3.7 \times 2 \times 2.4 \times 2 \times 900 \times (0.53 + 0.235)}{7.2 \times 2}$ $= 1698$	$P_{BP} = 1698 \times 3.6$ $= 6113$
合计		943342	3396000

(3) 燃料—重油耗量 Q_{fB} , 按式 (12.5-24) 计算:

$$Q_{fB} = \Sigma q_{fB.N} T_B \left(\varepsilon_B + \frac{1 - \varepsilon_B}{n} \right)$$

$$= 180 \times 2 \times 900 \times \left(0.53 + \frac{1 - 0.53}{2} \right)$$

$$= 247860 \text{ L/a} \approx 247.86 \text{ m}^3/\text{a}$$

(4) 耗水 (补水) 量 根据式 (12.5-25) ~ (12.5-27) 计算如下
冷却塔的总循环水量 $W_{CT.a}$:

$$W_{CT.a} = W_{CT.N} T_R n \left(\varepsilon_R + \frac{1 - \varepsilon_R}{n} \right)$$

$$= 150 \times 2 \times 900 \times \left(0.62 + \frac{1 - 0.62}{2} \right)$$

$$= 218700 \text{ m}^3/\text{a}$$

冷却塔的补水量 $Q_{w.CT}$:

$$Q_{w.CT} = 0.02 \times W_{CT.a} = 0.02 \times 218700 = 4374 \text{ m}^3/\text{a}$$

锅炉总补给水量 $Q_{w.B}$:

$$Q_{w.B} = 0.01 D_{B.N} T_B \left(\varepsilon_B + \frac{1 - \varepsilon_B}{n} \right)$$

$$= 0.01 \times 2.4 \times 2 \times 900 \times \left(0.53 + \frac{1 - 0.53}{2} \right)$$

$$= 33 \text{ m}^3/\text{a}$$

(5) 把电力和重油耗量换算为单位建筑面积的一次能量:

$$q = \left(\frac{3396000}{3.6} \times 10256.4 + 247860 \times 41449.3 \right) / 20000$$

$$\approx 1000000 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) = 1 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

(6) 该大楼的空调全年总耗能量为:

(1) 设备耗电 (折合成一次能):

$$q_1 = 3396000 \times 10256.4 = 34830734 \text{ MJ/a}$$

(2) 燃油 (折合成一次能):

$$q_2 = 247860 \times 41449.3 = 10273623 \text{ MJ/a}$$

(3) 耗水量:

$$q_3 = 4374 + 33 = 4407 \text{ m}^3/\text{a}$$

12.5.2 负荷频率表法

1. 特征 本方法的特征是根据当地室外空气含湿量、焓、干湿球温度在不同室外空气含湿量、焓、干湿球温度下出现的年频率数 (用于全年性空调系统) 或季节频率数 (用于季节性空调系统) 和空调系统的全年运行工况计算出不同室外空气状态参数下的加热量、冷却量和加湿量, 然后, 累计计算出全年耗能量或季节耗能量。

2. 频率数 一般根据当地近10~15年气象台站观测记录值统计求出。由于气象参数具有很大的随机性, 为了使统计出来的计算频率数更加符合当地的实际, 推荐以标准年 (平均年) 的实测气象参数统计频率数。

3. 空调耗能量的计算

每1kg风量的全热量 q_T [kJ/(kg·a)]:

$$q_T = \sum_X [(i_{w,x} - i_N) \cdot f_x \% \cdot N] \quad (12.5-28)$$

每1kg风量的显热量 q_X [kJ/(kg·a)]:

$$q_X = \sum_X [(t_{w,x} - t_N) \cdot f_x \% \cdot N] \quad (12.5-29)$$

每1kg风量的加湿量 W_s [g/(kg·a)]:

$$W_s = \sum_X [(d_{w,x} - d_N) \cdot f_x \% \cdot N] \quad (12.5-30)$$

式中 $i_{w,x}$ —— 某一时刻室外空气的焓, kJ/(kg·°C);

i_N —— 室内设计状态的焓, kJ/(kg·°C);

$t_{w,x}$ —— 某一时刻室外空气的干球温度, °C;

t_N —— 室内设计状态的干球温度, °C;

$d_{w,x}$ —— 某一时刻室外空气的含湿量, g/kg;

d_N —— 室内设计状态的含湿量, g/kg;

$f_x \%$ —— 某一室外空气焓值、干球温度、含湿量值时的年 (或季节) 小时频率值;

N —— 全年 (或季节) 运行时间, h。

空调系统的全年总耗能量 Q (kJ/a) 和耗湿量 Q_w (g/a) 分别为:

$$Q_T = Gq_T \quad (12.5-31)$$

$$Q_X = Gq_X \quad (12.5-32)$$

$$Q_w = GW_s \quad (12.5-33)$$

当室外空气先与室内空气 (回风) 混合以后再进行加热、冷却或加湿处理, 则式 (12.5-28)、(12.5-29) 和 (12.5-30) 中的 $i_{w,x}$ 、 $t_{w,x}$ 和 $d_{w,x}$ 值, 应分别以混合后的状态 $i_{c,x}$ 、 $t_{c,x}$ 和 $d_{c,x}$ 值代替。例如夏季的混合状态焓值应为:

$$i_c = i_N + m \% (i_{w,x} - i_N) \quad (12.5-34)$$

式中 $m\%$ ——新风比。

注：当已知空调设备的额定负荷 $q_{T,N}$ (kJ/h)时，根据全年或季节运行时间 N ，即可求出空调系统处理设备的额定负荷： $Q_{T,N} = q_{T,N} \cdot N$ (kJ/a)；从而可计算出设备能量利用系数： $\gamma = \frac{Q_{T,N}}{Q_T} \times 100\%$ ， γ 值表征空调设备全年（或季节）的利用程度，也是一个很重要的技术经济指标。

4. 计算范例（简化算法）

【例】办公大楼，建筑面积 20000m^2 ，设计计算负荷为：夏季 $Q_{T,N} = 2093\text{kW}$ ；冬季 $Q'_{T,N} = 2300\text{kW}$ （不包括照明、人体和风机等发热量 $Q_{G,N} = 930\text{kW}$ ）。室外设计温度：冬季 $t'_{w,N} = 0^\circ\text{C}$ ；夏季 $t_{w,N} = 33^\circ\text{C}$ 。室内设计温度： $t_N = 20^\circ\text{C}$ 。空调系统间歇运行，运行时间为：平时 $8:00 \sim 17:00$ ，周末 $8:00 \sim 12:00$ ，节假日停止运行。采用一台螺杆式空气热源热泵（空冷轴流风机 $30\text{kW} \times 4$ ），其它设备见设备明细表（表12.5-7），求空调全年总耗能量。

设备明细表

表 12.5-7

序号	名称	台数	功率(kW)	备注
1	冷水泵：一次泵	2	5.5	台数控制
2	二次泵	2	11.0	
3	排风通风机	1	22.0	CAV空调系统
4	送风机：定风量	2	22	
5	变风量	2	55	VAV空调系统
6	回风机：定风量	2	5.5	CAV空调系统
7	变风量	2	15	VAV空调系统
8	风机盘管机组	24.0	0.065	
9	空冷轴流风机	4	30	

【解】

(1) 设供暖和供冷期室外空气温度的频率分布如表12.5-8和表12.5-9所示。

供暖期（12、1、2、3月）室外空气温度的频率分布

表 12.5-8

室外气温(°C)	-3	0	3	6	9	12	15	18	21	24
小时数(h)	4	43	127	244	248	161	50	17	6	0

供冷期（7、8、9月）室外空气温度的频率分布

表 12.5-9

室外气温(°C)	15	18	21	24	27	30	33
小时数(h)	1	26	56	144	174	197	102

(2) 确定供暖至供冷的转换温度 COT (change over temperature)

$$\begin{aligned}
 COT &= t_N - \left(\frac{Q_{G,N}}{Q'_{T,N}} \right) (t_N - t'_{w,N}) \\
 &= 20 - \left(\frac{930}{2300} \right) (20 - 0) = 12^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

(3) 若假设供暖负荷与室内外温度差成正比，则从 $t'_{w,N} = 0^\circ\text{C}$ ， $Q_T = 2300 - 930 = 1370\text{kW}$ （负荷率 $\varepsilon = 1$ ）至 $t'_{w,N} = 12^\circ\text{C}$ ， $Q_T = 0$ （负荷率 $\varepsilon = 0$ ）之间成直线变化关系。相应各室外空气温度时的负荷率 ε 和室内供暖负荷 Q_T 可按下式计算：

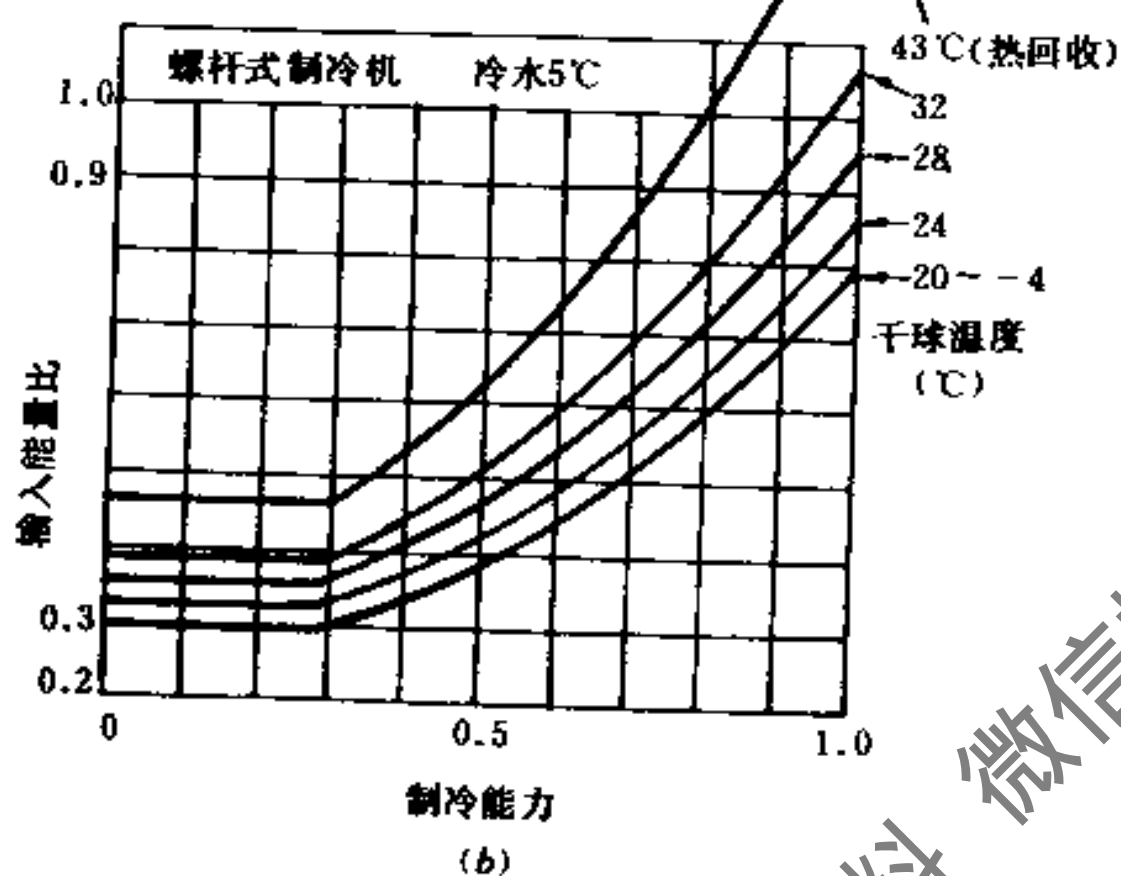
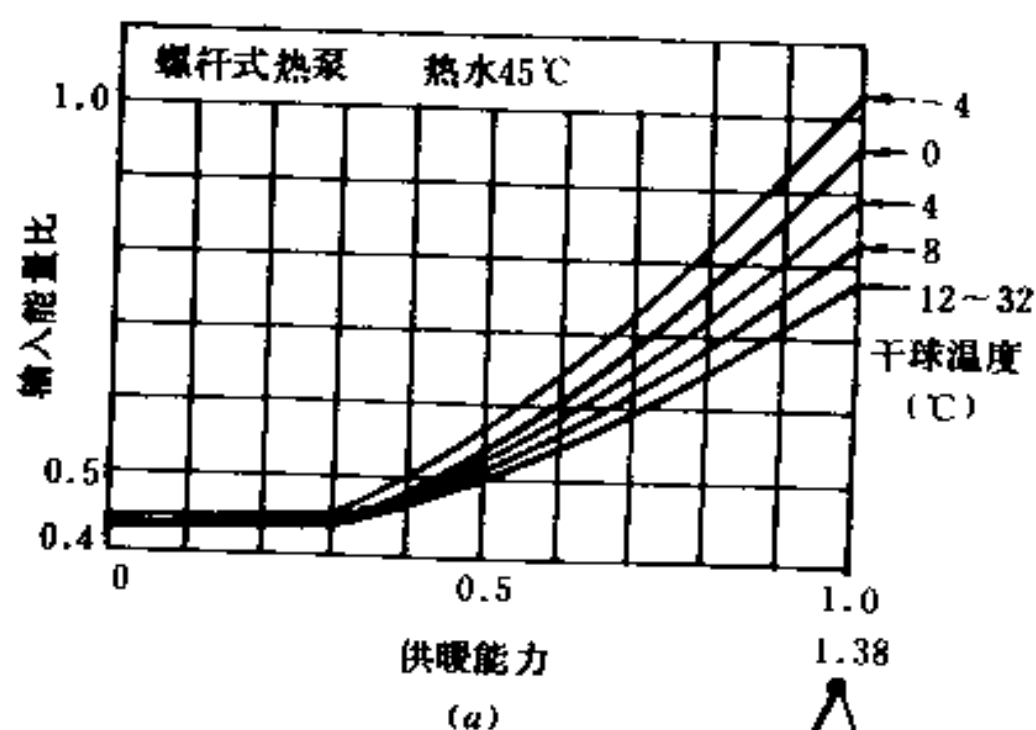


图 12.5-1 螺杆式空气热源热泵的输入输出功率

冬季供暖耗电量计算表

表 12.5-10

序号	室外气温 (°C)	0	3	6	9	12
1	负荷率 ε (%)	1.0	0.75	0.50	0.25	0
2	室内负荷 Q_T (kW)	1370	1050	698	349	0
3	热泵供暖负荷率 ε_R (%): $\varepsilon_R = Q_T' / 1700$	0.8	0.6	0.4	0.2	0
4	功率比 (%)	0.76	0.58	0.46	0.43	0
5	轴功率 (kW)	464	354	281	262	0
6	频率数 n (h)	43	127	244	248	161
7	耗电量 (kW·h)	19952	44958	68564	64976	0
8	供暖期耗电量 (MW·h)	198450/1000 = 198.45				

① 该螺杆式热泵机组的技术性能如下:

	出力	室外空气	出口水温	轴功率
夏季	2210MW	33°C (65%)	7°C	560kW
冬季	1745MW	0°C (50%)	45°C	610kW

② 由于数据系由工程制的595RT换算过来, 所以表中的 Q_T 值都有一些误差(在个位数上)。

③ 本例与前例的设备运行时间略有出入, 本例近似套用前例, 未作改动。

$$\varepsilon = \frac{12 - t_w}{12 - t'_{w.N}}$$

$$Q_T' = 1370 \cdot \varepsilon$$

计算结果见表12.5-10。

(4) $t'_{w.N} = 0^\circ\text{C}$ 时, 热泵的供暖能力为1700kW, 所以, 热泵供暖的负荷率为:

$$\varepsilon_R = Q_T' / 1700$$

计算结果见表12.5-10。

(5) 已知热泵的特性曲线如图12.5-1所示, 利用该图可得出相应各负荷率时的功率比。

(6) 将功率比乘以额定功率(610kW), 即可求得各相应室外温度时的轴功率。

(7) 根据各气温出现的频率小时数, 即可求出其耗电量。

整个计算过程, 详见表12.5-10。夏季的供冷耗电量, 可用与供暖相同的方法计算。详见表12.5-11。

其它辅助设备的耗电量计算, 详见表12.5-12。

空调系统的总耗电量:

$$\begin{aligned} \Sigma P &= 198450 + 240618 + 759264 \\ &= 1198332 \text{ kW}\cdot\text{h/a} \end{aligned}$$

夏季供冷耗电量计算表

表 12.5-11

序号	室外气温 (°C)	15	18	21	24	27	30	33
1	负荷率 ϵ (%)	0.143	0.286	0.429	0.571	0.714	0.857	1.000
2	室内负荷 Q_T (kW)	299	599	898	1196	1492	1795	2093
3	热泵供冷负荷率 ϵ_n (%): $\epsilon_n = Q_T / 2210$	0.135	0.271	0.406	0.541	0.675	0.812	0.947
4	功率比 (%)	0.28	0.28	0.33	0.44	0.56	0.73	0.97
5	轴功率 (kW)	157	157	185	246	314	409	543
6	频率数 n (h)	1	26	56	144	174	197	102
7	耗电量 (kW·h)	157	4082	10360	35424	54636	80573	55386
8	供冷期耗电量 (MW·h)	240618/1000 = 240.62						

辅助设备的耗电量计算

表 12.5-12

序号	名称	耗电量 (kW·h/a)	耗能量 (MJ/a)
1	空冷轴流风机	$P_F = (\sum P_{F, N}) T_F = 30 \times 4 \times (823 + 700) = 182760$	$182760 \times 3.6 = 657936$
2	定风量风机	(见表12.5-6) 207900	748440
3	变风量风机	(见表12.5-6) 297864	1072310
4	风机盘管机组	(见表12.5-6) 28080	101088
5	水泵	冬季和夏季平均负荷率 ϵ_w 和 ϵ_s : 利用表12.5-10和表12.5-11中的 ϵ 和 n 计算 $\epsilon_w = \sum (\epsilon n) / \sum n = 322 / 823 = 0.391$ $\epsilon_s = \sum (\epsilon n) / \sum n = 509 / 700 = 0.727$ $a_w = (1 - \epsilon_w) / N = (1 - 0.391) / 2 = 0.305$ $a_s = (1 - \epsilon_s) / N = (1 - 0.727) / 2 = 0.137$ $P_F = 11 \times (700 + 823) + 11 \times 2 [(0.391 + 0.305) \times 823 + (0.727 + 0.137) \times 700]$ $= 42660.42$	$42660 \times 3.6 = 153576$
6	合计	759264	2733350

空调系统的总耗能量:

$$\Sigma P' = 1198332 \times 3.6 = 4313995 \text{ MJ/a}$$

折算为单位建筑面积的一次能量为:

$$q = (1198332 \times 10256.4) / 20000 = 6.15 \times 10^5 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

第十三章 空气洁净

13.1 洁净室级别

13.1.1 《洁净厂房设计规范》的规定

《洁净厂房设计规范》(GBJ73—84)中规定的洁净度等级划分原则如表13.1-1所示。对于空气洁净度为100级的洁净室内大于等于 $5\mu\text{m}$ 尘粒的计数,应进行多次采样。当其

等级	每 m^3 (L)空气中 $>0.5\mu\text{m}$ 尘粒数	每 m^3 (L)空气中 $>5\mu\text{m}$ 尘粒数
100 级	$<35 \times 100(3.5)$	
1000 级	$<35 \times 1000(35)$	$<250(0.25)$
10000 级	$<35 \times 10000(350)$	$<2500(2.5)$
100000 级	$<35 \times 100000(3500)$	$<25000(25)$

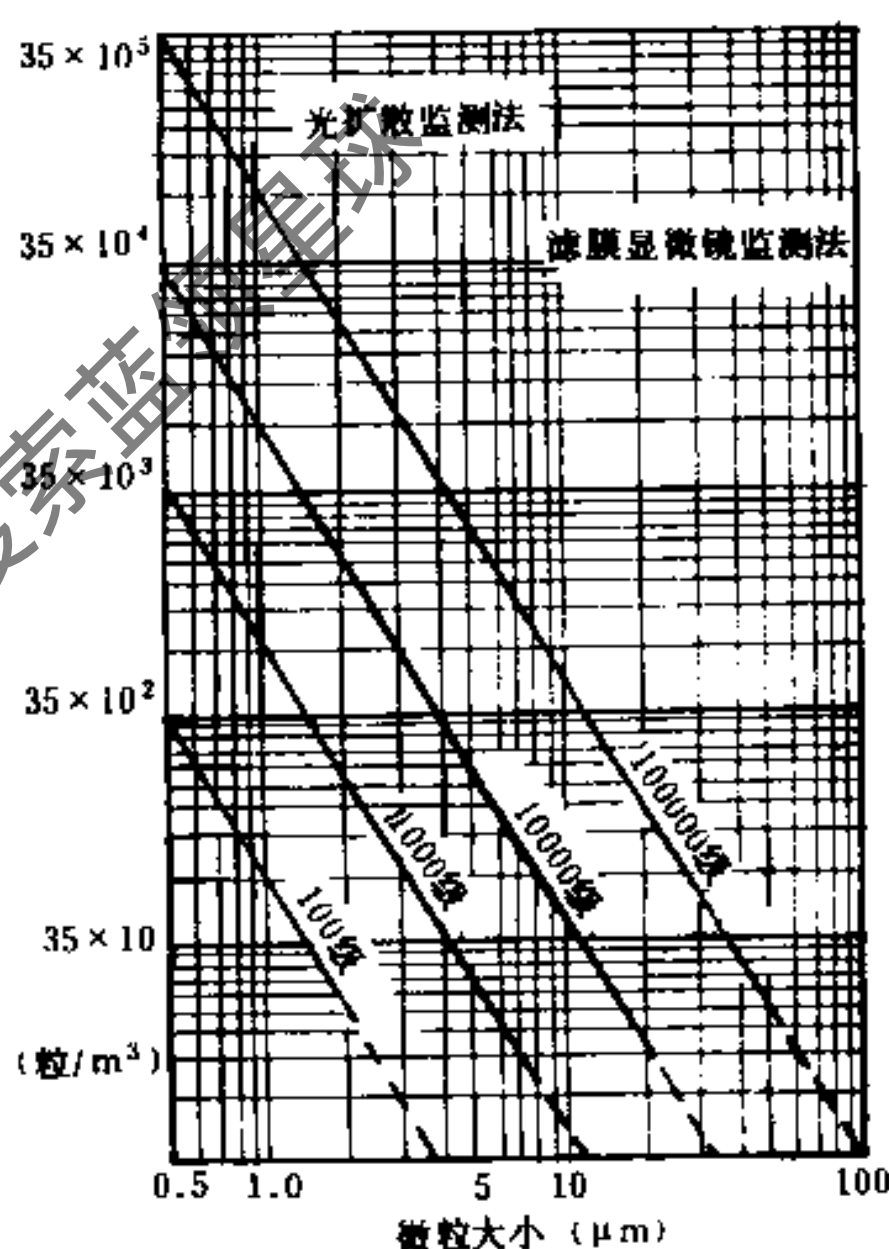


图 13.1-1 微粒大小分布曲线图

多次出现时,方可认为该测试数值是可靠的。

对于控制粒径不是以 $0.5\mu\text{m}$ 为计量标准的某些工艺,可按所要求的粒径和数量,参考空气洁净度级别平均粒径分布曲线图(图13.1-1)确定相应的级别。例如,某工程要求大于 $2\mu\text{m}$ 的尘粒,其浓度不超过 $20\text{粒/L}(20000\text{粒}/\text{m}^3)$,按图13.1-1查得可采用10000级。

13.1.2 《药品生产管理规范》的规定

《药品生产管理规范》及《药品生产管理规范实施指南》中规定的洁净级别要求见表13.1-2。

根据针剂、瓶装输液及无菌分装制剂的生产工艺流程,其环境区域划分如下:

1. 针剂 (1~20mL)工艺流程及洁净区域划分图(见图13.1-2)
2. 瓶装输液工艺流程及洁净区域划分(详见图13.1-3)
3. 无菌分装制剂工艺流程及洁净区域划分(见图13.1-4)

我国卫生部于1990年对于核发《药品生产企业许可证》、《制剂许可证》验收标准中有关洁净区洁净级别的规定做了一些更正(见表13.1-3)。

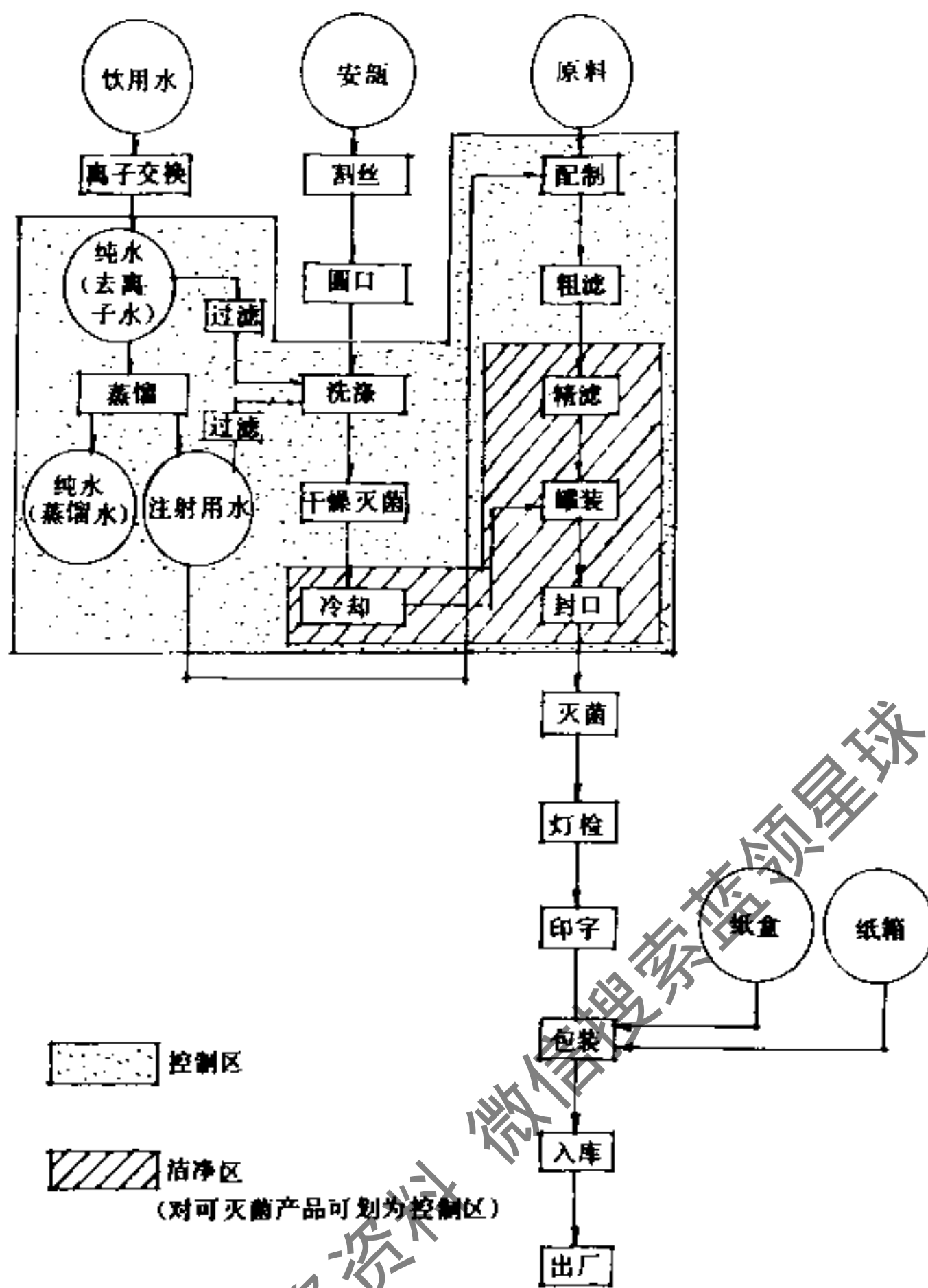


图 13.1-2 针剂工艺流程及洁净区划分图

环境控制区洁净级别

表 13.1-2

序号	生产区 分类	洁净级别 (级) ①	尘 埃		菌落数②	工作服	分 类 举 例
			粒径 (μm)	粒数 (个/L)			
1	一般生 产区					无规定	无洁净度要求的生产、辅助车间
2	控制区	>100000级	≥ 0.5	≤ 35000	暂 缺	色泽或式样 应有规定	粉针剂轧盖工序, 能热压灭菌的注射剂调配室
		100000级	≥ 0.5	≤ 3500	平均 ≤ 10	同 上	注射剂瓶子精洗工序, 薄膜过滤设备的装 配, 能热压灭菌的注射剂生产的瓶子烘干、贮 存及大输液、水针剂、滴眼剂的灌封, 不能热 压灭菌的注射剂调配室

序号	生产区分类	洁净级别(级)①	尘埃		菌落数②	工作服	分类举例
			粒径(μm)	粒数(个/L)			
3	洁净区	10000级	>0.5	<350	平均<3	同上	无菌原料药的结晶、干燥工序,不能热压灭菌的注射剂生产的瓶子烘干、贮存及粉针剂的原料过筛、混粉、分装、加塞、灌封、冻干
		局部100级	>0.5	<3.5	平均<1	同上	菌种接种工作台

① 洁净级别以动态测定为据。

② 9cm双碟露置半小时。

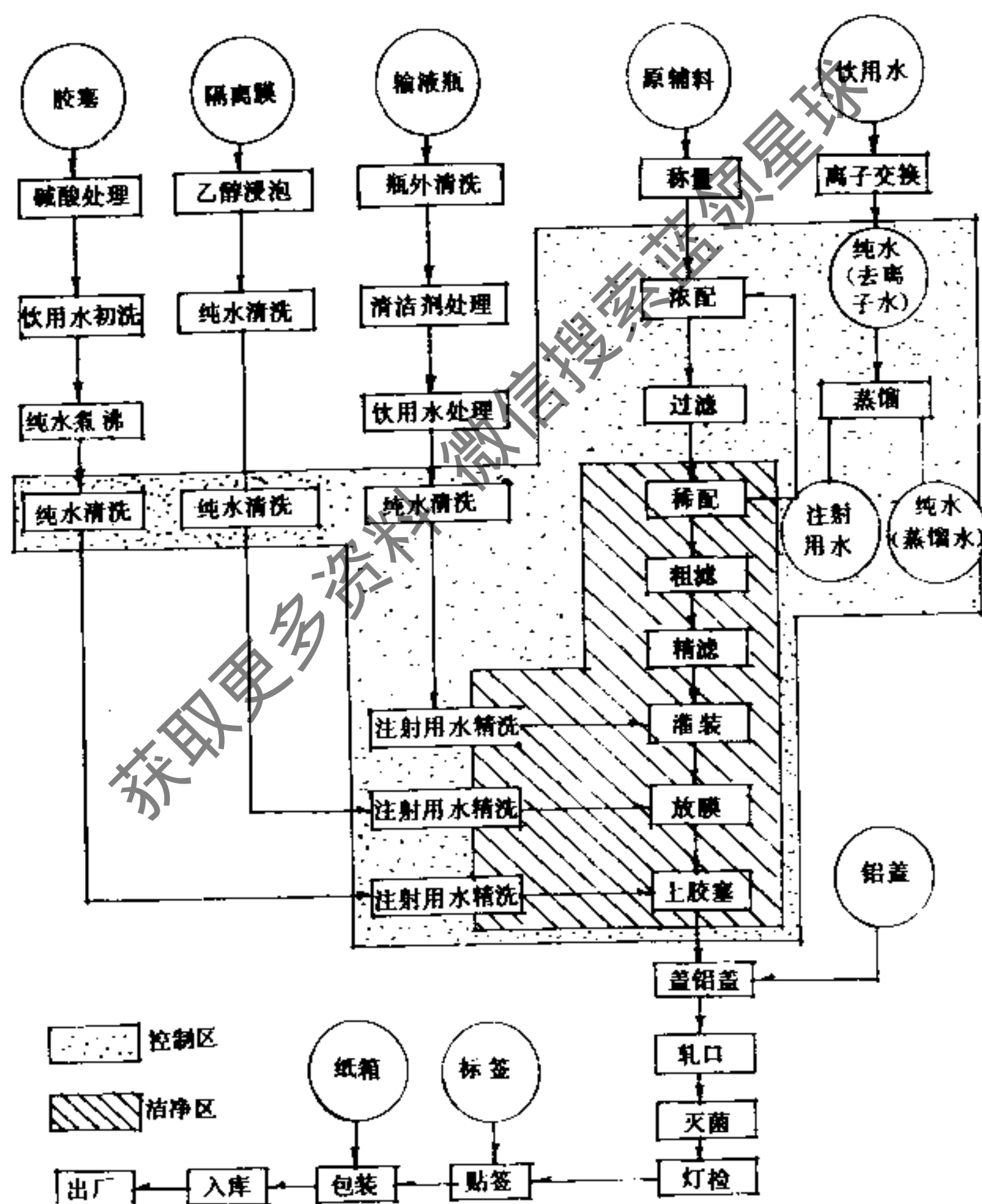


图 13.1-3 瓶装输液工艺流程及洁净区划分

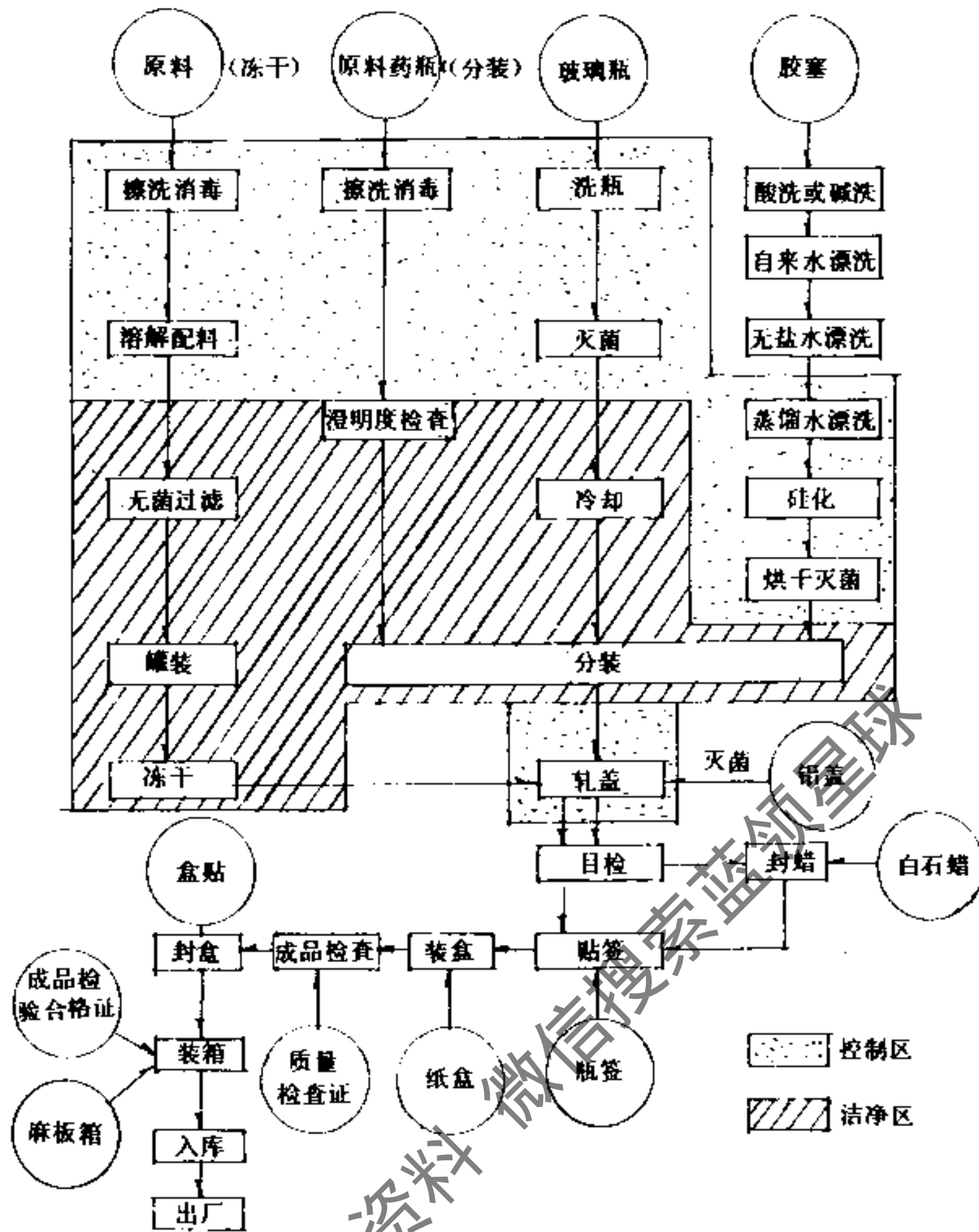


图 13.1.4 无菌分装制剂工艺流程及洁净区划分

更正内容表

表 13.1-3

洁净级别	适用范围
局部100级	适用于生产无菌而又不能在最后容器灭菌注射剂的配液（灌封前不经无菌滤过）灌封、粉针剂的分装；能在最后容器灭菌大体积注射剂（ $>50\text{mL}$ ）的灌封；无菌原料药的精制、分装等
10000级	适用于生产无菌而又不能在最后容器灭菌注射剂的配液（灌封前有无菌滤过），能在最后容器灭菌大体积注射剂的配液、小体积注射剂的配液、灌封；其他有洁净度要求的产品如眼用制剂、油膏、霜膏、悬浮液、乳剂的灌封等
100000级	适用于片剂、胶囊剂及某些原料药的精、烘、包等

13.1.3 生物洁净室洁净标准

目前我国尚无生物洁净的统一标准，兹将美国航空及宇宙航行局于1967年颁布的NASA NHB5340-1.2生物洁净室标准摘引如下，见表13.1.4。

NASA NHB 5340-1.2标准

表 13.1-4

级 别	尘埃粒子最大值		生物粒子最大值			
	>0.5 μm	>5 μm	浮游菌		落下菌	
	个/L	个/L	个/L	个/m ³	个/m ² ·周	个/φ90h
100	3.5	—	0.0035	3.5	12900	0.49
10000	350	2.3	0.0176	17.6	64600	2.45
100000	3500	25	0.0884	88.4	323000	12.2

注: 1. φ90mm培养皿的面积按0.0064m²计算。

2. 压力、温湿度、气流、照度等值均与美国联邦标准FS 209b相同。

1976年, 美国外科学会(手术室环境委员会)和国家研究总署作了如下规定(见表13.1.5)。

医院手术室洁净标准

表 13.1-5

级 别	空气浮游菌数 (个/m ³)	使用场所
I 级	<35	清洁手术(人工脏器移植)
II 级	<175	准清洁手术
III 级	<700	一般手术

《中华人民共和国消毒管理法条例》中规定手术室空气中细菌点数不得超过1000个/m³。该标准只适合于一般手术室。

为了便于参考, 将1973年4月修订的美国联邦标准209b和1988年6月15日公布的联邦标准209D转引如下(见表13.1-6和表13.1-7)。

美国联邦标准209b的洁净度级别和其他要求

表 13.1-6

洁净度 级 别	靠近工作位置空气中微粒的最大数量		不同级别相邻房间压差 (Pa)	温 度			湿度 (%)	风 速		照 度 · 新风比	
	(μm)	(粒/L)		范 围 ($^{\circ}\text{C}$)	推荐值 ($^{\circ}\text{C}$)	误差 ($^{\circ}\text{C}$)		(m/s)	误差	(lx)	(%)
100	>0.5	3.5	>13	19.4~25	22.2	一般±2.8 精密 ±0.14	46±5	0.15	±20%	1076~1611	20
10000	>0.5 >5.0	350 2.5									
100000	>0.5 >5.0	3500 25									

美国联邦标准209D的洁净度级别

表 13.1-7

级 别	大于等于某粒径的粒子数 (个/L)				
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	5.0 μm
1	1.2	0.27	0.11	0.035	不适用
10	12	2.7	1.1	0.35	不适用

续表

级别	大于等于某粒径的粒子数 (个/L)				
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	5.0 μm
100	不适用	27	11	3.5	不适用
1000	不适用	不适用	不适用	35	0.25
10000	不适用	不适用	不适用	350	2.5
100000	不适用	不适用	不适用	3500	25

13.1.4 各种房间对洁净度级别要求的参考资料

当工艺提不出洁净等级要求时,可参照表13.1 8进行选取。

各种房间对洁净度级别的要求

表 13.1-8

洁净室类别	行业类别	房间名称	洁净度等级				备注	
			100	1000	10000	100000		
工业洁净室	精密工业	精密陀螺、人造卫星	0	0	0	0		
		微型轴承清洗检查	0	0	0	0		
		微型轴承测试	0	0	0	0		
工业洁净室	电子工业	微型轴承润滑油充填	0	0	0	0		
		电算机精密测定	0	0	0	0		
		电算机精密部件	0	0	0	0		
		电算机磁鼓磁带	0	0	0	0		
		微型接点	0	0	0	0		
		光刻、照相制版	0	0	0	0		
		焊接、扩散	0	0	0	0		
		蒸发	0	0	0	0		
		点焊	0	0	0	0		
		清洗、加工	0	0	0	0		
工业洁净室	胶片工业	组装	0	0	0	0		
		印刷制版、复印	0	0	0	0		
		烧结、测定	0	0	0	0		
		扩散炉进料口	0	0	0	0		
生物洁净室	医疗	暗室、显影室	0	0	0	0		
		制膜	0	0	0	0		
		涂布	0	0	0	0		
	动物试验	动物试验	微型胶片	0	0	0	0	
			录象带涂敷压光切带检验	0	0	0	0	
			一般手术室	0	0	0	0	
			无菌手术室	0	0	0	0	
			无菌试验细菌试验	0	0	0	0	
			无菌病室(烧伤、器官移植、急性白血病)	0	0	0	0	
			无菌动物饲养室(GF)	0	0	0	0	
无特定病原体动物饲养室(SPF)	0	0	0	0				
普通动物饲养室(CV)	0	0	0	0				

续表

洁净室类别	行业类别	房间名称	洁净度等级				备注
			100	1000	10000	100000	
生物洁净室	制药工业	更衣、填充封品			0	0	
		干燥、充填、装药			0		
		蒸馏水、锭剂、滴眼药制造			0		
		抗生素培养、充填、检查	0	0	0		
		安瓿瓶贮存			0		
	食品、养殖	肉食加工、乳制品			0	0	
		蚕、鱼养殖			0	0	
		酿造工业			0	0	

13.2 洁净室设计的综合要求

13.2.1 综合要求

洁净室厂址选择、工艺布置、建筑处理、建筑选料、各种管道及电气照明的综合要求见表13.2-1。

综合要求

表 13.2 1

项目名称	要求内容
洁净工程选址	<ol style="list-style-type: none"> 1. 周围环境较清洁和绿化较好 2. 远离铁路、公路、机场（尤其是防振要求高的洁净室） 3. 若受条件限制，必须位于工业污染或其它人为灰尘较严重的地区时，应处于全年最多风向的上风侧 4. 厂区路面尽量选用坚固、起尘少的材料
工艺布置	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在不影响生产情况下，应尽量将洁净度要求相同的洁净室安排在一起 2. 洁净室内只布置必要的工艺设备，容易产生灰尘和有害气体的工艺设备尽量布置在洁净室的外部 3. 工艺用的易燃、易爆等气体容器不要设在洁净室内 4. 在同一洁净室内，尽量将洁净度要求高的工序布置在洁净气流首先到达的区域 5. 容易产生污染的工序布置在靠近回、排风口的位置 6. 洁净室内的设备及家具要采用表面光滑、不容易起尘的材料制作
建筑处理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 洁净室的位置要尽量设在人流少的地方，人流方向要由低洁净度的洁净室到高洁净度的洁净室，随着洁净度的提高，人流密度逐渐减少 2. 若工艺无特殊要求，洁净车间一般采用有密闭窗的厂房 3. 洁净室净高尽量降低，一般2.5m左右为宜，水平层流洁净室的净高不宜低于2.4m；垂直层流洁净室不宜低于2.1m 4. 洁净度级别较高的洁净室宜沿外墙设技术走廊 5. 洁净室的构造应尽可能密闭，平面形状尽量简单，室内表面及构配件要尽量减少凹凸面和缝隙 6. 门、窗及穿过洁净室管线的接缝处均要求严密 7. 洁净室的构造要有利于生产工艺或实验过程的变更，为此隔墙尽可能采用轻型结构

续表

项目名称	要 求 内 容
建筑材料	1. 质地坚硬、耐磨、不起尘 2. 表面光滑、容易擦拭和清洁 3. 在温、湿度变化及振动等作用下变形小、物理化学稳定性好 4. 地面材料应具有较好的防腐性 5. 防火性能好
高纯气体	1. 洁净室内使用的各种气体, 其含尘浓度如高于室内空气的含尘浓度, 要装置气体净化过滤器 2. 气体入口处应尽量靠近洁净生产区的用气点, 以缩短管线、减少污染、方便管理 3. 高纯气体供气室不应放在洁净生产区内, 以减少油污的污染 4. 氢气和氧气不得共用一个供气室。氢气的供气室应防爆, 氧气供气室应防火
电气照明	1. 管线应尽量暗装 2. 照明灯具设计要注意防止积尘问题 3. 不易积尘和易于擦拭的灯具可以明装, 如日光灯管, 但镇流器应暗装 4. 当灯具暗装时, 要注意密封 5. 电器插座接线盒等要求暗装
其 他	1. 洁净室要根据具体情况设置事故照明、安装电话、紧急电铃、烟感器等设施 2. 一旦事故发生时, 可发出信号, 切断风机电源等装置 3. 洁净室内各种固定技术设施发生矛盾时, 应优先考虑净化空调的要求

13.2.2 洁净室的结构型式

洁净室按构造可分为整体式、装配式和局部净化三种类型, 见表13.2-2

洁净室按结构型式分类

表 13.2-2

型 式	特 征	优 缺 点
整体式(或称土建式)洁净室	采用土建式围护结构, 构成一个或数个洁净室, 一般采用集中全面净化或全面与局部净化相结合方式	坚固耐久, 密封性好, 适用于大型的洁净室 施工周期长; 运行费用高
装配式洁净室	顶棚墙面均为板壁现场拼装组成。配备风机、过滤器机组, 照明及净化设备可组成各种型号洁净室	安装周期短; 拆装方便, 有利旧厂房改造; 对安装现场的建筑装饰要求不高 密封性差; 噪声大; 造价高
局部净化洁净室	在一般空调房间内, 对局部空间实行净化, 如采用洁净工作台、自净器、层流罩等	安装周期短; 造价低; 设备搬动方便 使用有局限性; 高效过滤器寿命短
局部与全面净化结合	在低洁净度的洁净室内, 利用局部净化设备对局部区域实现较高洁净度	洁净度易达到要求; 简化了人和物料的净化; 施工安装周期短; 易于生产工艺的变动 噪声大; 产品和物料离开洁净区时容易受污染

13.2.3 人、物净化方案

1. 洁净室内应设置人身净化、物料净化等用室，并要求

- (1) 人身净化用室的入口处，应设净鞋器。
- (2) 存外衣室和洁净工作室应分别设置。
- (3) 盥洗室应设洗手和烘干设备，水龙头应按最大班人数每10人设一个。
- (4) 洁净区不得设厕所。人身净化用室内的厕所应设前室。

(5) 空气吹淋室应设在洁净区人员入口处，并与洁净工作服室相邻。单人空气吹淋室按最大班人数每30人设一台。当为100级垂直层流洁净室时，可改设气闸室，不必吹淋。洁净区工作人员超过5人时，空气吹淋室一侧应设旁通门。

2. 洁净室人员一般净化程序(见图13.2-1)

3. 生物洁净室人员一般净化程序(见图13.2-2)

4. 物品净化与消毒

洁净室的设备和物料出入口，应根据设备和物料的性质、形状等特征设置物料净化用

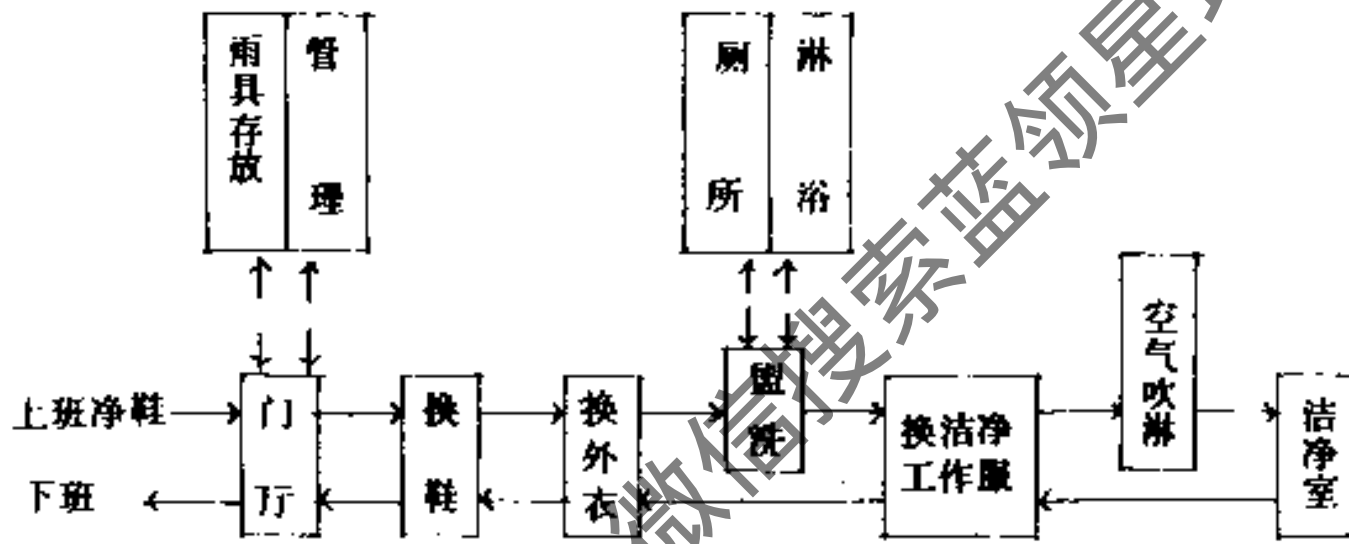
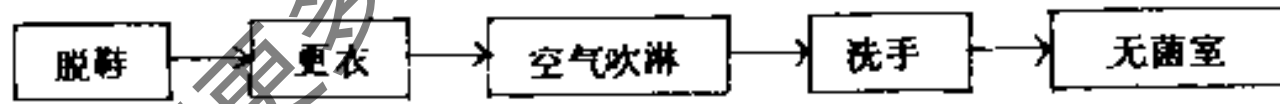
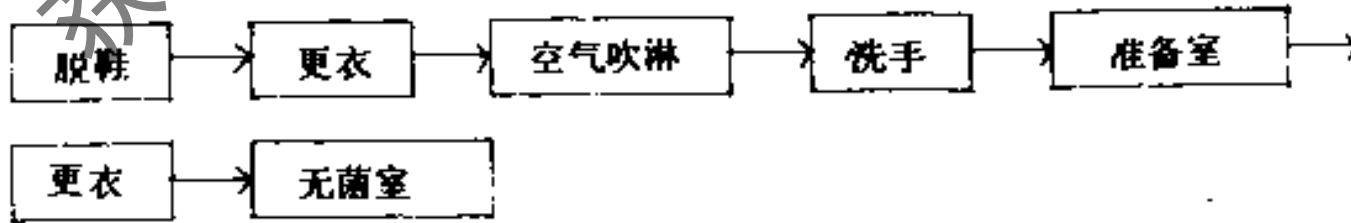


图 13.2-1 一般洁净室人身净化程序

(1) 净化级别低者



(2) 中等净化要求者



(3) 净化级别高者

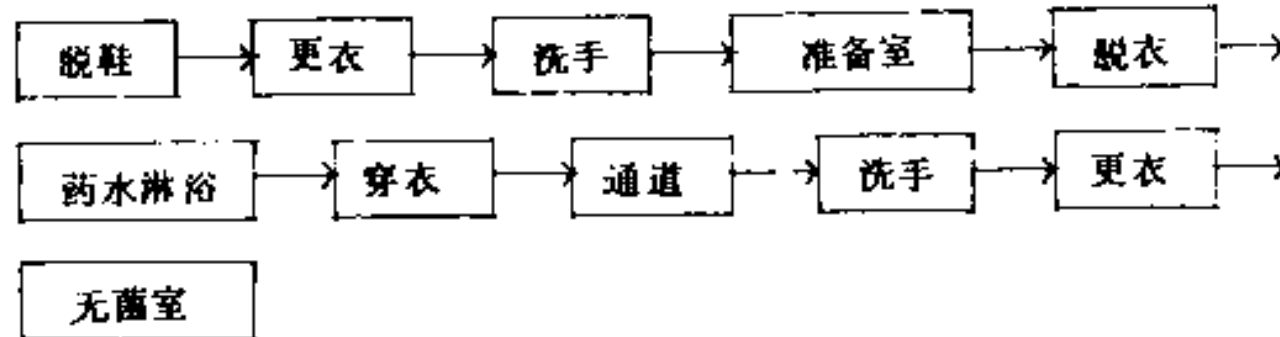


图 13.2-2 生物洁净室人身净化程序

室及其设施。物料净化用室的布置,应防止净化后物料在传递过程中被污染。

对进入无菌室内物品,均应进行消毒灭菌。一般将可能加热的物品,在高压消毒锅内进行灭菌。对不可能加热的物品,则采用气体灭菌或用消毒液浸渍喷洒等方法。

13.3 净化空调系统设计

13.3.1 净化空调系统设计原则

1.面积较大、净高较高、位置集中和消声减振要求严格的洁净室,宜采用集中式净化系统;反之,可采用分散式净化系统。

2.当工艺无特殊要求时,在保证新风量和洁净室正压条件下,要尽量利用回风。当回风含尘浓度较高时,可在回风口或回风管道上设置中效过滤器。

3.除直流式系统和设置值班风机的系统外,应采取防止室外污染空气通过新风口渗入洁净室内的防倒灌措施。

4.空气过滤器的选用,布置和安装方式,应考虑下列要求:

(1)初效空气过滤器不选用浸油式过滤器;

(2)中效过滤器集中设置在净化空调系统的正压段;

(3)高效过滤器或亚高效过滤器放置在净化空调系统的末端,即尽量靠近洁净室的送风口;

(4)中效、亚高效、高效过滤器按额定风量选用;

(5)在同一洁净室内,设置阻力和效率相近的高效过滤器。

(6)高效过滤器的安装方式简便可靠,易于检漏和更换。

5.送风机可按净化空调系统的总送风量和总阻力值进行选择。中效、高效空气过滤器的阻力宜按其初阻力的两倍计算。

各类空气过滤器的效率和阻力

表 13.3-1

分 类	计数效率 (%) (对0.3 μ m的尘粉)	阻 力 (Pa)
初效空气过滤器	小于20	<30
中效空气过滤器	20~90	<100
亚高效空气过滤器	90~99.9	<150
高效空气过滤器	大于99.97	<250

6. 空气过滤器

• 初效空气过滤器 一般采用易于清洗和更换的粗、中孔泡沫塑料或其他滤料,用于新风过滤,过滤对象是 $>10\mu$ m的尘粒。

• 中效空气过滤器 一般采用中、细孔泡沫塑料或其他纤维滤料(如无纺布),用于过滤新风及回风,延长高效空气过滤器使用期限。过滤对象是 $1\sim 10\mu$ m的尘粒。

• 亚高效空气过滤器 一般用玻璃纤维纸和棉短纤维纸制作的过滤器。过滤对象为

< 5 μ m 的尘粒。

静电过滤器也属于亚高效范畴。

• 高效空气过滤器 国内已生产的有玻璃纤维过滤纸和合成纤维滤纸制作的过滤器。主要用于过滤 < 1 μ m 的尘粒。

7. 净化空调系统如需电加热时，应用不锈钢管状电加热器，位置应布置在高效空气过滤器的上风侧，并应有防火安全措施。

13.3.2 净化空调系统的划分

1. 层流洁净室的净化空调系统与乱流洁净室的净化空调系统；

2. 具有初效过滤器、中效过滤器和高效过滤器的高效净化空调系统与只有初效过滤器和中效过滤器的中效净化空调系统；

3. 产生剧毒有害物房间的净化空调系统与一般房间的净化空调系统，产生不同有害物的房间，其回风不能混合的净化空调系统；

4. 回风温、湿度很高的净化空调系统与回风温、湿度较低的净化空调系统；

5. 运行班次与使用时间不同的净化空调系统；

注：集中式净化空调系统一般不宜过大，面积大的车间，应采用多个净化空调系统。

13.3.3 洁净室正压

1. 洁净室必须维持一定的正压。

不同等级的洁净室以及洁净区与非洁净区之间的静压差，不应小于5Pa；洁净区与室外的静压差，不应小于10Pa。

2. 洁净室正压一般可通过送风量大于回风量和排风量的方法来达到。维持洁净室正压所需的风量，要根据围护结构密封性能的好坏来确定。一般所需风量为2~6 l/h左右(换气次数)。

3. 为了达到洁净室正压，除在送回风干管及新风管上设风量调节阀外，尚应采取如下措施(见表13.3-2)。

洁净室正压装置

表 13.3 2

名称	特点	备注
回风口或支风管上装调节阀	结构简单，经济；调节精确度不高	适用于各种洁净室，最好用对开式多叶调节阀
回风口装空气阻尼层	结构简单，经济；起一定过滤作用；室内正压有些变化，随着阻尼层阻力逐渐增加而有些上升	仅适用于走廊或套间回风方式； 阻尼层一般用厚5~8mm泡沫塑料或无纺布制作； 阻尼层一般1~2个月清洗一次，以维持室内正压不致过高
余压阀	灵敏度较高，安装简单；长期使用后，关闭不严	当余压阀全关闭时室内正压仍低于预定值，则无法控制；一般设在洁净室下风侧的墙上
差压式电动风量调节器	灵敏度高，可靠性强；设备较复杂；主要用于控制回风阀和排风阀	当正压低于或高于预定值时，可自动调节回风阀或排风阀，使室内正压保持稳定

4. 为了保证洁净室的正压值, 送风机、回风机和排风机一般要联锁。联锁程序为: 系统启动时先启动送风机, 再启动回风机和排风机; 系统关闭时, 先关排风机、回风机, 再关送风机。

5. 对洁净度要求高的洁净室, 为维持室内正压值, 防止空气倒灌, 宜设置值班风机。

13.3.4 室内计算参数

洁净室内的计算温、湿度, 应符合下列规定:

1. 满足工艺使用要求;

2. 当生产工艺无温、湿度要求时, 洁净室温度为 $20 \sim 26^{\circ}\text{C}$ (冬季取下限, 夏季取上限), 湿度小于70%;

3. 人员净化用室和生活用室温度为 $16 \sim 28^{\circ}\text{C}$ (冬季取下限, 夏季取上限)

表13.3-3给出了部分工业部门洁净室温湿度参数, 可供设计参考。

部分工业部门洁净室内温湿度参数

表 13.3-3

工业部门	工作类别或工作间名称	空气温度基数及其允许波动范围 ($^{\circ}\text{C}$)		空气相对湿度范围 (%)	备注
		夏季	冬季		
机械工业	精密轴承精加工	$16 \sim 27$		$40 \sim 65$	
	高精度外圆及平面磨床	$16 \sim 24$		$40 \sim 65$	
	高精度刻线机	$20 \pm 0.1 \sim 0.2$		$40 \sim 65$	
光学仪器工业	抛光间、细磨间、镀膜或镀银间、胶合间、照明复制间、光学系统装配及调整间	$22 \sim 24 \pm 2$		< 65	室内空气有较高的净化要求
	精密刻划间	$20 \pm 0.1 \sim 0.5$		< 65	
电子工业	精缩间、翻版间、光刻间	22 ± 1		$50 \sim 60$	室内空气有很高的净化要求
	扩散间、蒸发、钝化、外延	23 ± 5		$60 \sim 70$	
电子计算机房	电子计算机房	$20 \sim 23 \pm 1 \sim 2$	$20 \sim 22$	50 ± 10	磁盘、磁鼓室对净化有较高的要求
		$26 \pm 1 \sim 2$	$\pm 1 \sim 2$		
	卡片、磁带、纸带贮存	$18 \sim 24$		$40 \sim 60$	
	穿孔机室	$23 \sim 25$	$21 \sim 24$	$40 \sim 60$	
	磁鼓、磁带室	$10 \sim 32$		$40 \sim 60$	
医药工业	抗菌素无菌分装车间青霉素、链霉素分装, 菌落试验, 无菌鉴定, 无菌衣更衣室等房间	> 22 (盖瓶塞的工艺操作) > 25 (灌装安瓿等发热人的操作)		> 55	
	针剂及大输液车间调配、灌装等属于半无菌操作的房间	25	18	> 65	

13.3.5 洁净室供暖设计

洁净室的供暖形式，可按下列情况选用：

1. 对于100级、1000级、10000级洁净室，不应采用散热器供暖，100000级洁净室，不宜采用散热器供暖；
2. 值班供暖可利用技术夹道的散热器进行间接供暖；采用间歇运行净化空调系统或值班风机系统进行热风供暖。
3. 所采用的散热器应表面光滑、不易积尘和便于清扫。

13.3.6 排 风

1. 洁净室内产生粉尘和有害气体的工艺设备，应设局部排风装置；排风罩的操作口面积应尽量缩小，以减少排风量。

2. 局部排风系统在下列情况下，应单独设置：

- (1) 非同一净化空调系统，一般不能共用一个局部排风系统。
- (2) 排风介质混合后能产生或加剧腐蚀性、毒性、燃烧爆炸危险性的系统。
- (3) 所排出的有害物毒性相差较大的系统。

3. 洁净室的排风系统设计，应注意处理以下问题：

(1) 当局部排风系统停止运行时，为防止空气倒灌，可在风机吸入段设置中效过滤器或止回阀；

- (2) 含有易燃、易爆物质的局部排风系统，应采取防火、防爆措施。
- (3) 应注意消声问题，若设置消声器时，应设在排风系统的吸入管段上。
- (4) 有害气体浓度高于国家规定排放指标时，应采取废气处理措施。
- (5) 洁净室事故排风系统的换气次数，应取15~20 1/h。

事故排风的控制开关，应分别设在室内和室外便于操作的地点，并应同时联锁关闭净化空调系统，其室内应设报警装置。

(6) 换鞋室、存外衣室、盥洗室、厕所和淋浴室等辅助房间是产生灰尘、臭气和水蒸气的地方，如处理不好，会污染洁净室，应采取必要的通风措施，具体做法为：

- ① 送入经过中效过滤器过滤后的洁净空气；或送入洁净室多余的回风或正压排风；
- ② 同时在厕所或浴室内采用机械排风。

人员净化用室通风换气次数可按表13.3-4选用。

人员净化用室通风换气次数

表 13.3 4

序号	房间名称	送风次数 (h ⁻¹)	回风次数 (h ⁻¹)	备注
1	门厅			室内宜保持正压
2	换鞋间	不小于0.5		室内宜保持正压
3	存外衣室	不小于3		室内宜保持正压
4	淋浴室	小于8	不小于10	对邻室宜保持负压
5	盥洗室	小于3	不小于5	对邻室宜保持负压
6	厕所		不小于5	对邻室宜保持负压
7	洁净工作服清洗间	不小于5		室内宜保持正压

13.3.7 消声与隔振

1. 洁净室内的噪声级，应符合下列要求。

(1) 动态测试时，洁净室内的噪声级不超过70dB (A)。

(2) 空态测试时，乱流洁净室的噪声级不大于60dB (A)；层流洁净室的噪声级不大于65dB (A)。

注：1. 由于技术经济条件限制，或噪声大于70dB (A) 对生产无影响时，噪声级可适当放宽，但不宜大于75dB (A)；

2. 上述噪声级是指在室内每一个工作点人耳位置（人离开）的测量值。对于变动噪声，则取相同位置处在一个正常工作日内的等效连续A 声级。

2. 洁净室的噪声频谱限制，应采用倍频程声压级；各频带声压级值不宜大于表13.3 5。

噪声频谱限制值

表 13.3 5

洁净室分类		中心频率 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		倍频程声压级 (dB)							
空 态	乱 流	79	70	63	58	55	52	50	40
	层 流	83	74	68	63	60	57	55	54
动 态		87	78	72	68	65	62	60	59

3. 洁净室和周围辅助性站房内有强烈振动设备（如冷冻机、水泵等）及其通往洁净室的管道，应采取积极的隔振减振措施。

4. 净化空调系统中设置消声器时，要注意消声器的产尘和积尘问题；消声器的位置一般设在中效过滤器之前的送风总管和回风总管上。

5. 为了防止振动由风道和水管等传递出去，尽量采用隔振吊卡，穿墙处均应作防振处理。

13.3.8 风管和附件

1. 风管、阀门及附件均应尽量选用表面不易起尘、不易积尘和便于清扫的材料制作。一般常用材料见表13.3-6。

风管、阀门及附件常用材料

表 13.3-6

材 料	特 点
冷轧钢板	价格便宜，但容易锈蚀
镀锌钢板	耐腐蚀性能比钢板好，但在加工过程中镀锌皮容易脱落，油漆对它的附着力不强
铝合金板	不起尘，但价格贵
硬塑料板	不起尘，耐腐蚀，但价格较贵、易老化、易带静电
塑料复合钢板	不起尘，耐腐蚀，但加工过程中咬口、翻边、铆接等处的塑料面层易破裂或脱落，一般可用环氧树脂涂抹
不锈钢板	不起尘，耐腐蚀，但价格贵，一般用于高效过滤器之后与洁净室出风口连接段

2. 用冷轧钢板或镀锌钢板制作风管, 阀门及附件, 涂漆要求可参见表13.3-7

涂 漆 要 求

表 13.3 7

材 料	部 位	涂 料 及 涂 层 组 成	涂 漆 道 数	
冷轧钢板	内 表 面	醇酸铁红底漆	2	
		醇酸磁漆	3	
	外 表 面	铁红防锈漆 (F53-2)	2	
镀锌钢板	1	内、外表面	不涂漆, 但在翻边、咬口、铆接和锌皮脱落处要涂环氧树脂	
	2	内、外表面	铁红防锈漆 (F53-2)	2
	3	内 表 面	磷化底漆 (X 06-2)	1
			锌黄环氧底漆 (H06-2)	2
			环氧磁漆或醇酸磁漆 (H04-1)	2
	外 表 面	铁红防锈漆 (F53-2)	2	

3. 风管壁厚可按表13.3-8选用

净化空气调节系统风管壁厚

表 13.3-8

风 管 形 状	冷轧镀锌钢板制风管		铝板制风管		不锈钢板制风管		塑料板制风管	
	外径或最大边长 (mm)	壁厚 (mm)	外径或最大边长 (mm)	壁厚 (mm)	外径或最大边长 (mm)	壁厚 (mm)	外径或最大边长 (mm)	壁 厚 (mm)
圆 形 风 管	100~200	0.5	100~320	1.0	100~500	0.5	100~320	3.0
	220~500	0.75	360~630	1.5	560~1120	0.75	360~630	4.0
	560~1120	1.0	700~2000	2.0	1250~2000	1.0	700~1000	5.0
	1250~2000	1.2~1.5					1120~2000	6.0
矩 形 风 管	100~200	0.5	100~320	1.0	100~500	0.5	120~320	3.0
	220~500	0.75	360~630	1.5	560~1120	0.75	400~500	4.0
	560~1120	1.0	700~2000	2.0	1250~2000	1.0	630~800	5.0
	1250~2000	1.2~1.5	—	—	—	—	1000~1250	6.0
	—	—	—	—	—	—	1600~2000	8.0

4. 洁净室内的排风系统上应设置调节阀、止回阀或密闭阀, 用于防止室外空气倒灌。

5. 在中效和高效的空气过滤器前后, 应设置测压孔。在新风管和送回风总管以及需要调节的支管上, 应设置风量测定孔。

13.4 净化空调系统型式及气流组织

13.4.1 气流组织设计

洁净室气流组织应考虑下述原则:

1. 当产品要求洁净度为100级时, 选用层流流型; 当产品要求洁净度为1000~100000级时, 选用乱流流型。
2. 减少涡流, 避免把工作区以外的污染物带入工作区。
3. 为了防止灰尘的二次飞扬, 气流速度不能过大。乱流洁净室的回风口不应设在工作区的上部。宜在地板上或侧墙下部均匀布置回风口。
4. 工作区的气流应均匀, 流速必须满足工艺和卫生要求; 洁净气流应尽可能把工作部位围罩起来, 使污染物在扩散之前便流向回风口。
5. 工作设备布置时要留有一定的间隔, 为送、回风口的布置和气流的通畅创造条件; 气流组织设计时要考虑高大设备对气流组织的影响。
6. 洁净工作台不宜布置在层流洁净室内。当布置在乱流洁净室时, 宜将其置于工作区气流的上风侧, 以提高室内的空气洁净度。
7. 洁净室内有通风柜时, 宜置于工作区气流的下风侧, 以减少对室内的污染。

13.4.2 净化空调系统的基本形式

系统的基本形式, 如表13.4-1所示。

净化空调系统的基本形式

表 13.4-1

形式	特 征	适 用 范 围
全室净化	以集中式净化空调系统对整个房间造成具有相同洁净度环境	适合于工艺设备高大, 数量很多, 且室内要求相同洁净度的场所。这种方式投资大、运行管理复杂、建设周期长
局部净化	以净化空调器或局部净化设备(如洁净工作台、棚式垂直层流单元、层流罩等), 在一般空调环境中造成局部区域具有一定洁净度级别的环境	适合于生产批量较小或利用原有厂房进行技术改造的场所
洁净隧道	以两条层流工艺区和中间的乱流操作活动区组成隧道形洁净环境	这是全室净化与局部净化相结合的典型, 是目前推广采用的净化方式

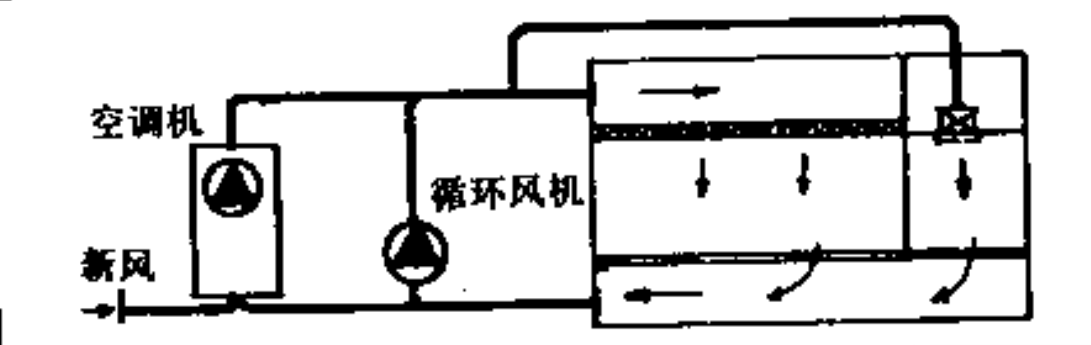
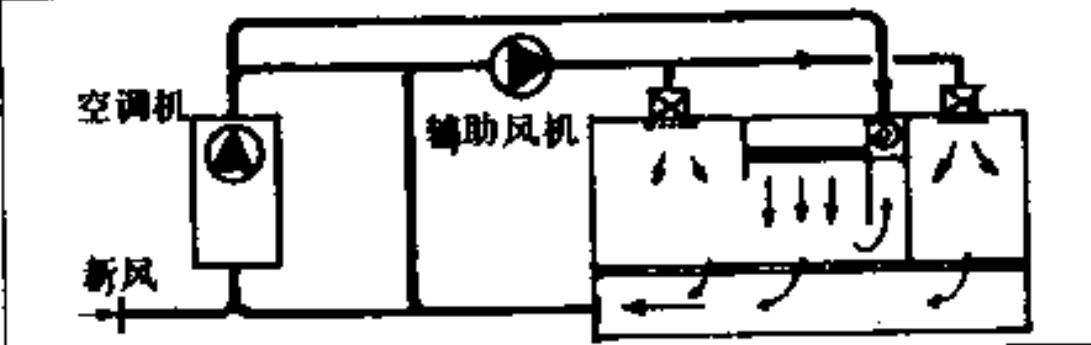
三种净化空调方式的技术经济比较, 见表13.4-2。

三种净化空调方式技术经济比较

表 13.4-2

洁净方案形式	净 化 空 调 系 统 图 示	经 济 比 较			
		从机房供 通风量	通风机 动力	设备费用	空调机
全面垂直层流		1	1	1	1

续表

洁净方案形式	净化空调系统图示	经济比较			
		从机房供通风量	通风机动力	设备费用	空调机
划分有操作空间和维修空间		0.8	0.7	0.8	1.0
洁净隧道		0.05	0.5	0.6	0.5

13.4.3 集中式净化空调系统

1. 单风机系统 (见图13.4-1)

2. 设置值班风机的系统 (见图13.4-2)

当净化空调系统间歇运行时, 为防止系统停运后室外污染空气通过围护结构的缝隙或从新风口进入洁净室, 可以设置值班风机。

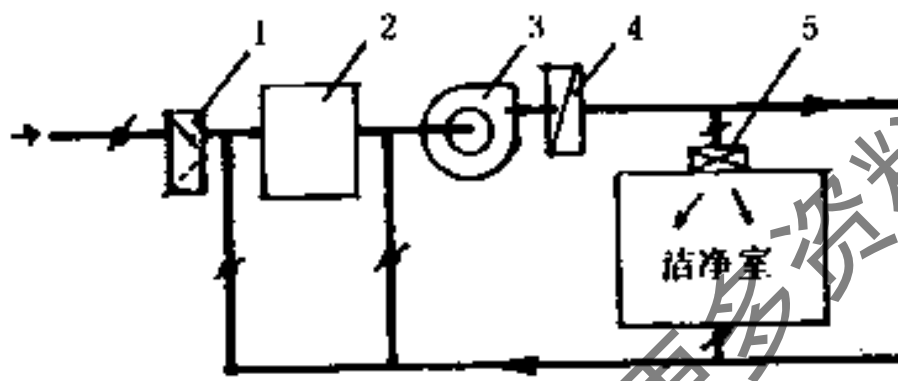


图 13.4-1 单风机净化空调系统的基本形式

1—初效过滤器; 2—热湿处理室; 3—风机; 4—中效过滤器; 5—高效过滤器

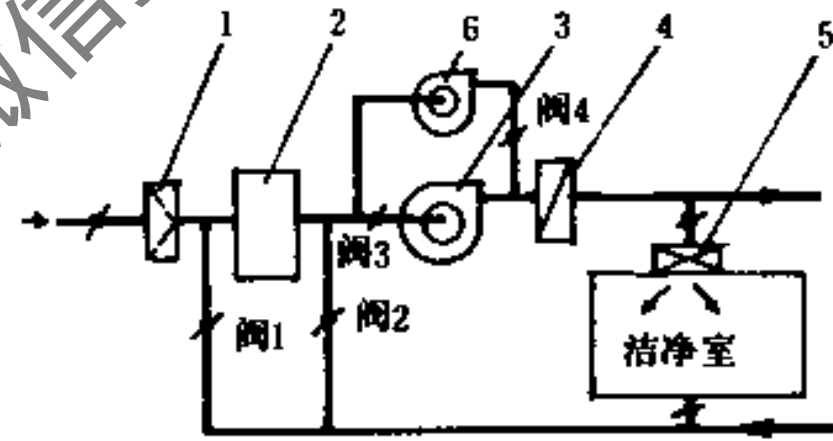


图 13.4-2 设有值班风机的净化空调系统的基本形式

1—初效过滤器; 2—热湿处理室; 3—正常运行风机; 4—中效过滤器; 5—高效过滤器; 6—值班风机

系统正常运行时, 阀 1、阀 2、阀 3 打开, 阀 4 关闭, 风机 3 投入运行; 系统值班运行时, 阀 2、阀 3 关闭, 阀 4 打开, 风机 6 投入运行。

设计时必须使值班风机 6 与正常运行风机 3 并联; 保证对值班风量的热、湿处理, 防止室内结露及保证冬季的值班供暖。

值班风机的风量按维持室内预定正压值所需换气次数确定; 如果洁净室内的排风系统全天运行或在非生产时减少风量运行, 则值班风机的风量还应考虑排风系统的排风量。

3. 新风集中处理式系统 (见图13.4-3)

系统正常运行时, 阀 1 和阀 3 关闭, 阀 2 和阀 4 打开, 新风风机 3 和送风风机 5 投入运行; 系统值班运行时, 阀 1 和阀 3 打开, 阀 2 和阀 4 关闭, 新风风机 3 投入运行, 送风

风机5停止运行。此外，当某个系统不需要运行时，可将阀1和阀2或阀3和阀4关闭，其相应的送风风机也停止运行即可，而其余系统可以照常使用。

4. 双风机系统 (见图13.4-4)

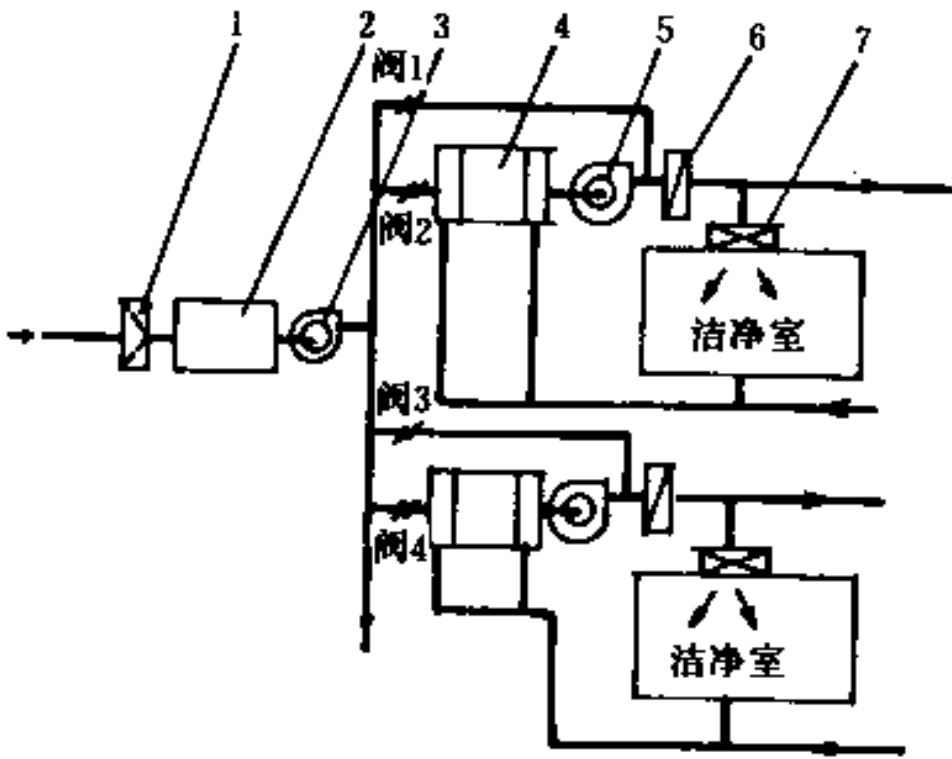


图 13.4-3 并联的集中式净化空调系统

1—初效过滤器；2—新风热湿处理室；3—新风风机；4—混合风热湿处理室；5—送风风机；6—中效过滤器；7—高效过滤器

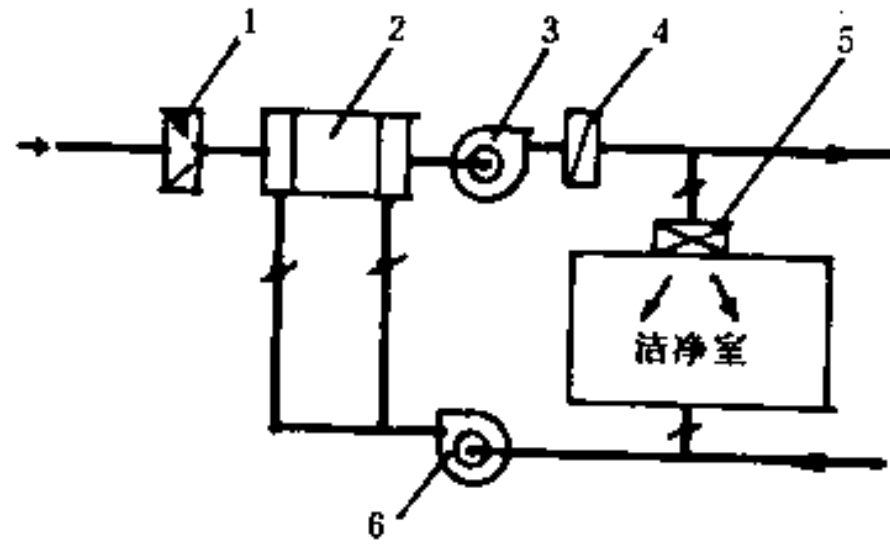


图 13.4-4 双风机集中式净化空调系统

1—初效过滤器；2—热湿处理室；3—送风风机；4—中效过滤器；5—高效过滤器；6—回风风机

当系统阻力较大时，为了降低噪声，减少漏风量和便于系统的运行调节，可采用双风机集中式净化空调系统。

5. 两级高效过滤器系统 (见图13.4-5)

对于层流洁净室，为了延长顶棚高效过滤器的使用寿命，减少其更换次数及提高室内空气洁净度，可在送风静压箱入口处或空调机房内增设一道高效过滤器，见图13.4-5。这种做法的缺点是系统的阻力增大，投资也相应增加。

6. 部分空气直接循环的集中式系统 (见图13.4-6)。其中(a)为利用大型风机；(b)为利用小型风机。

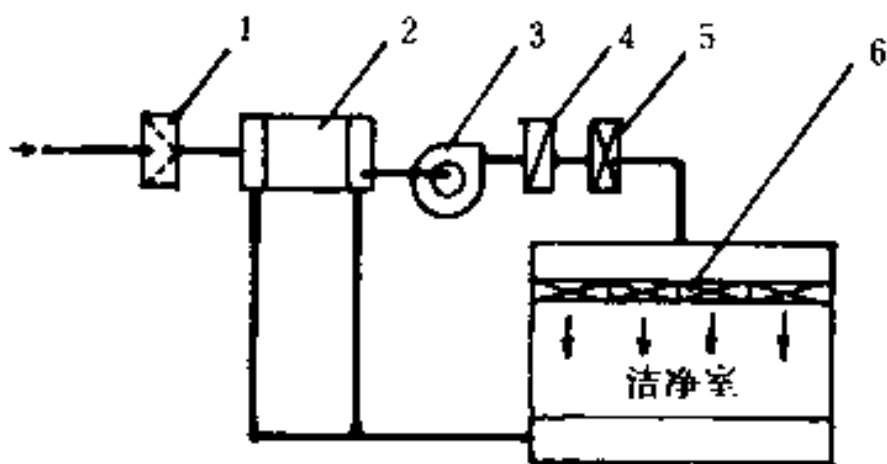


图 13.4-5 两级高效过滤器集中式净化空调系统

1—初效过滤器；2—热湿处理室；3—风机；4—中效过滤器；5—高效或亚高效过滤器；6—高效过滤器

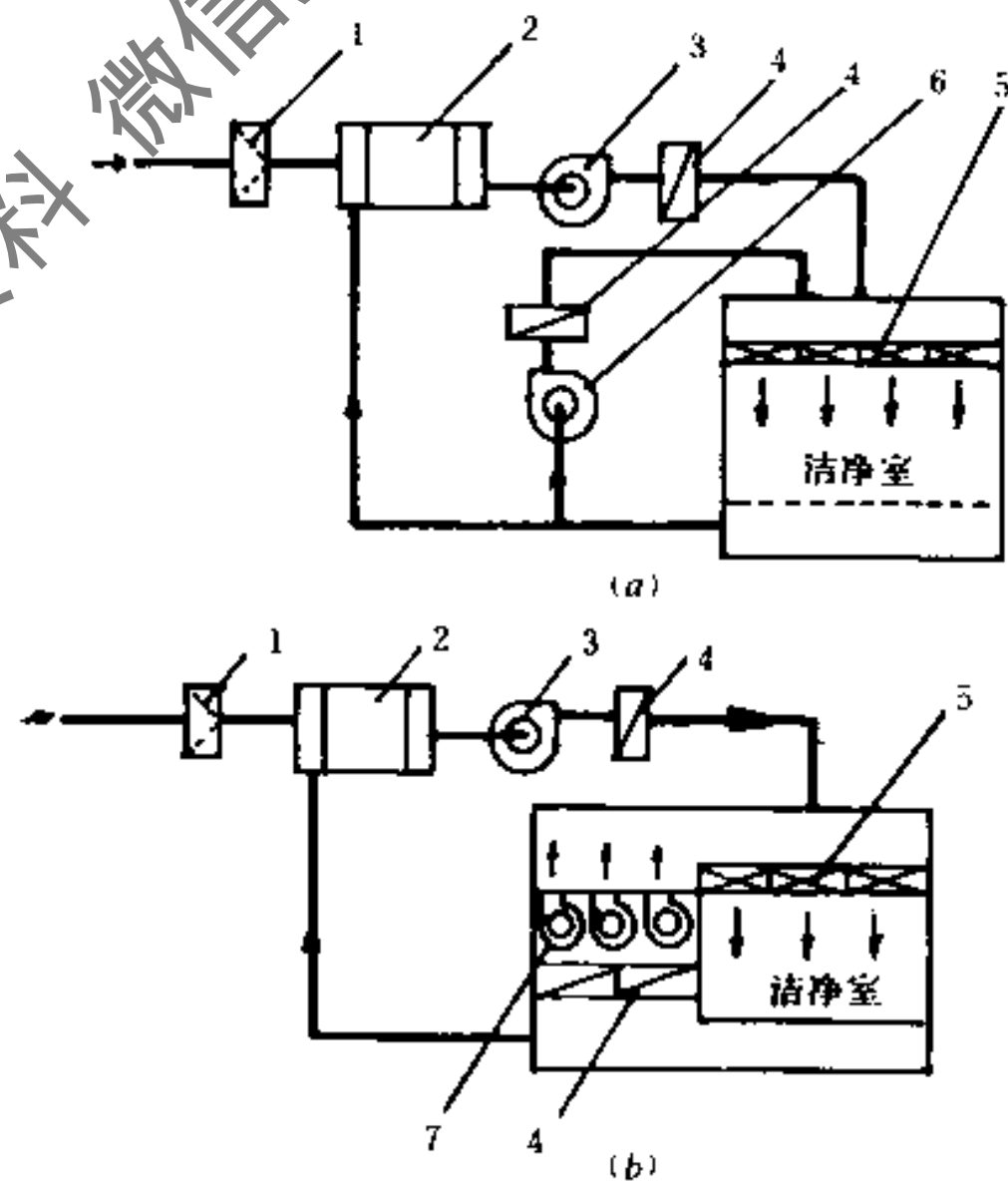


图 13.4-6 部分空气直接循环的集中式净化空调系统

1—初效过滤器；2—热湿处理室；3—送风风机；4—中效过滤器；5—高效过滤器；6—大型离心式循环风机；7—小型离心式循环风机

7. 设置消声器的集中式系统 (见图13.4-7)

13.4.4 分散式净化空调系统

分散式净化空调系统的基本型式:

1. 在集中式空调系统的环境中, 设置局部净化设备, 见图13.4-8。
2. 分散式空调系统的环境中, 设置局部净化设备, 见图13.4-9。

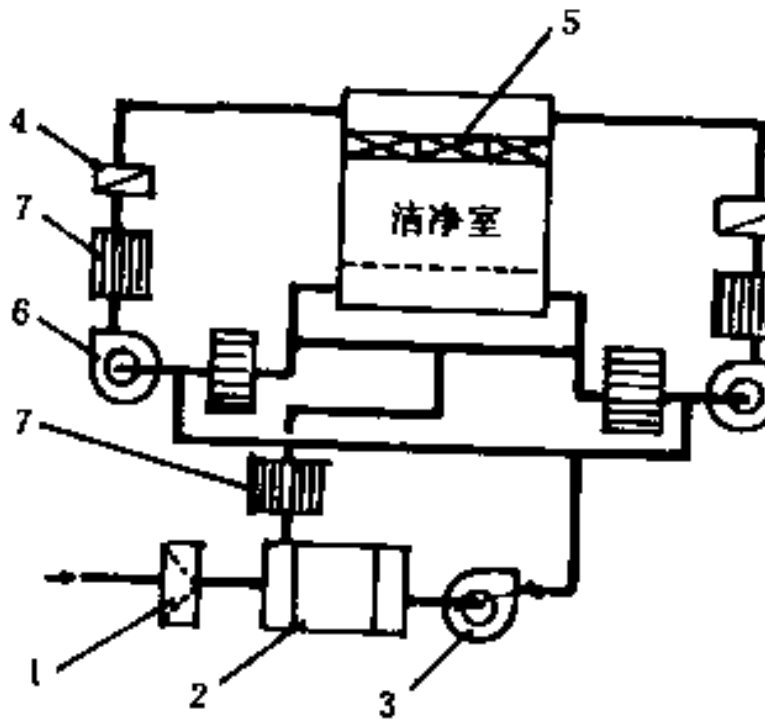


图 13.4-7 设置消声器的集中式净化空调系统

- 1—初效过滤器; 2—热湿处理室; 3—送风风机; 4—中效过滤器; 5—高效过滤器; 6—循环风机; 7—消声器

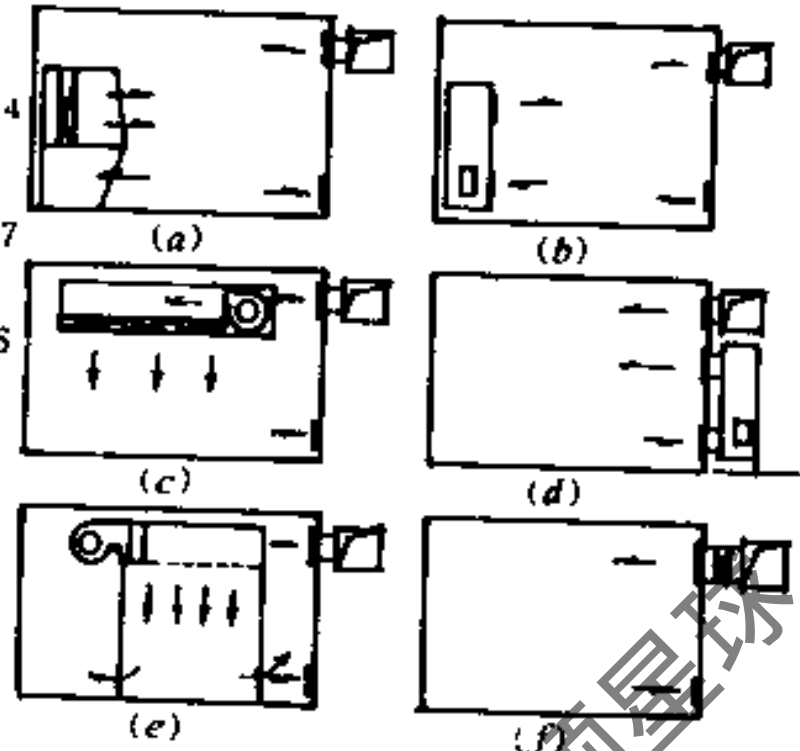


图 13.4-8 分散式净化空调系统的基本型式(一)

- (a) 室内设置洁净工作台; (b) 室内设置空气自净器; (c) 室内设置层流罩式装配式洁净小室; (d) 走廊或套间内设置空气自净器; (e) 现场加工洁净小室; (f) 送风口装设高效过滤器风机机组

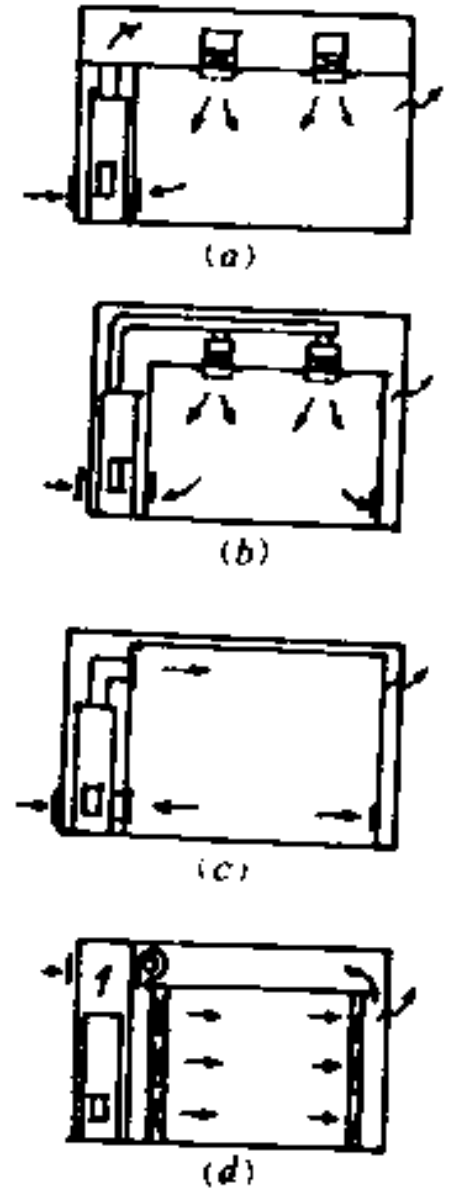


图 13.4-9 分散式净化空调系统的基本型式(二)

- (a) 小型空调器与高效过滤器风机机组; (b) 小型空调器与高效过滤器送风口; (c) 套间内设置净化空调器; (d) 小型空调器与装配式洁净室

13.4.5 洁净隧道

1. 按照组成洁净隧道的设备不同可分为

- (1) 台式洁净隧道, 见图13.4-10和图13.4-11。

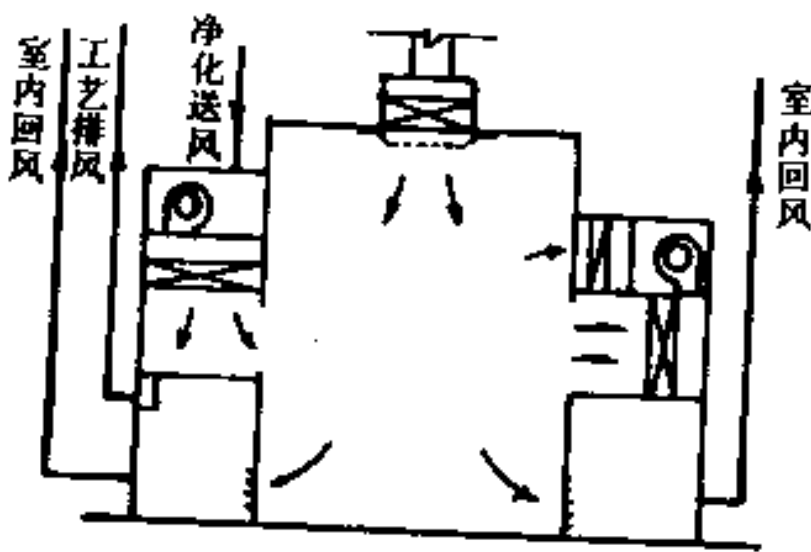


图 13.4-10 台式洁净隧道

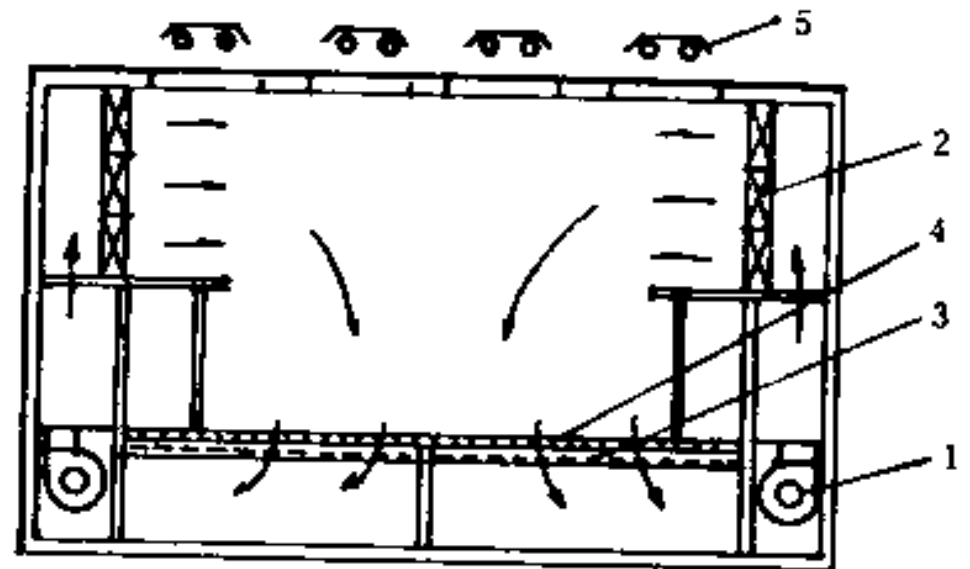


图 13.4-11 双侧送下回洁净隧道

- 1—循环风机; 2—高效过滤器; 3—初效过滤器; 4—地板格栅; 5—灯具

(2) 棚式洁净隧道, 见图13.4-12。

根据工艺要求, 洁净棚的面积可以变化, 空气可以全部为室内循环式, 也可连通集中式净化空调系统, 吸取部分新风。棚式洁净隧道适合于工艺设备较大的场所。

(3) 罩式洁净隧道, 见图13.4-13。

由于层流罩的进深比洁净棚小, 只适用于工艺设备较小的场所。空气循环方式与棚式洁净隧道和台式洁净隧道相同, 是目前采用较多的一种洁净隧道。

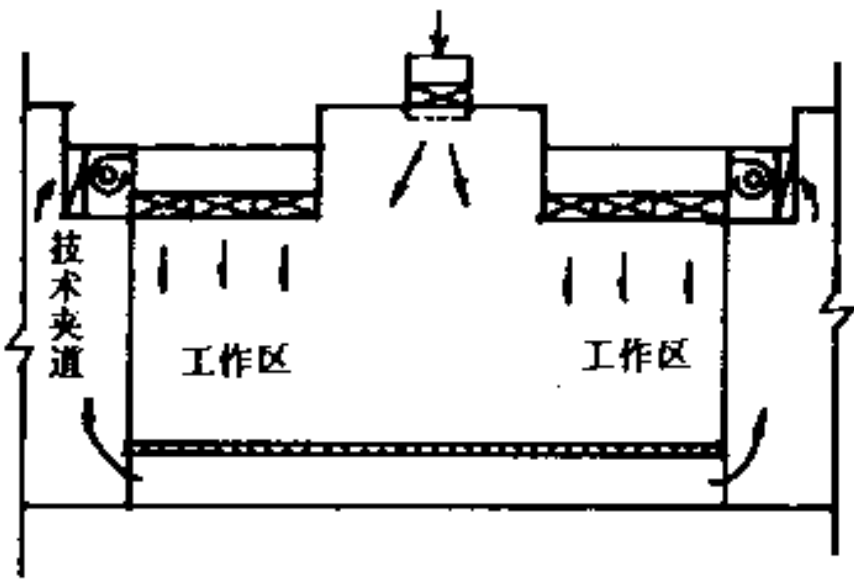
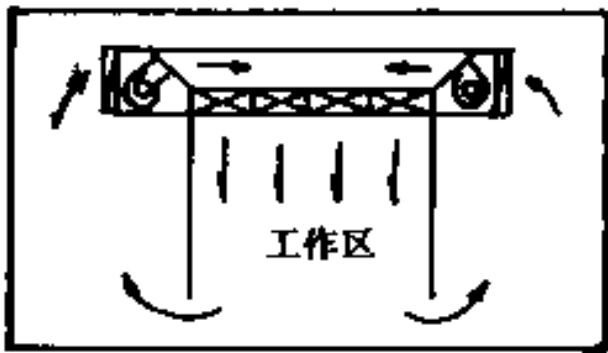


图 13.4-12 棚式洁净隧道

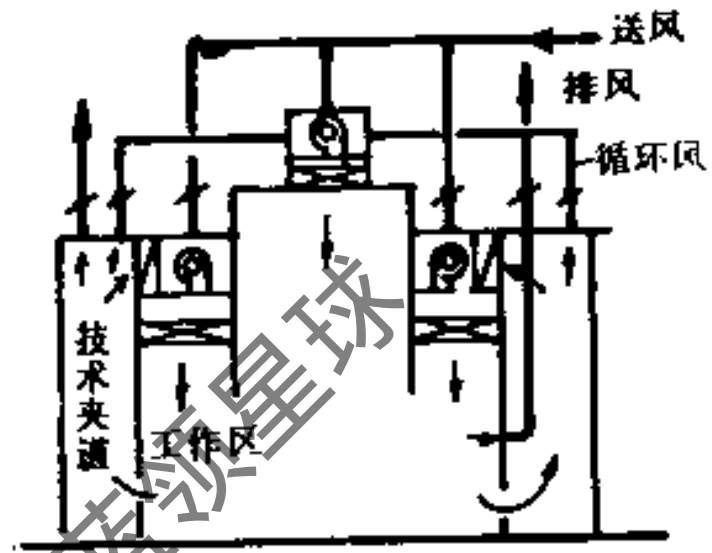


图 13.4-13 罩式洁净隧道

(4) 集中送风式洁净隧道, 见图13.4-14。

(5) 通道式洁净隧道, 见图13.4-15。

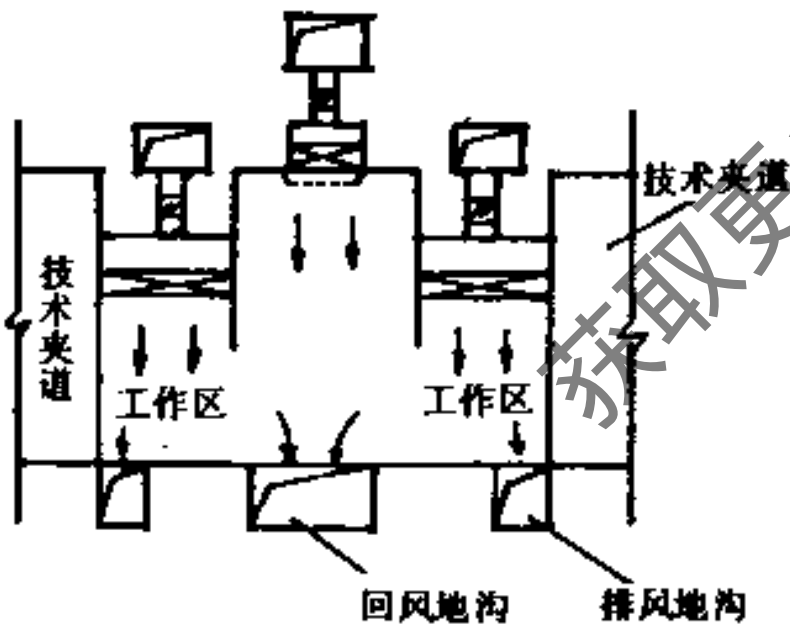


图 13.4-14 集中送风式洁净隧道

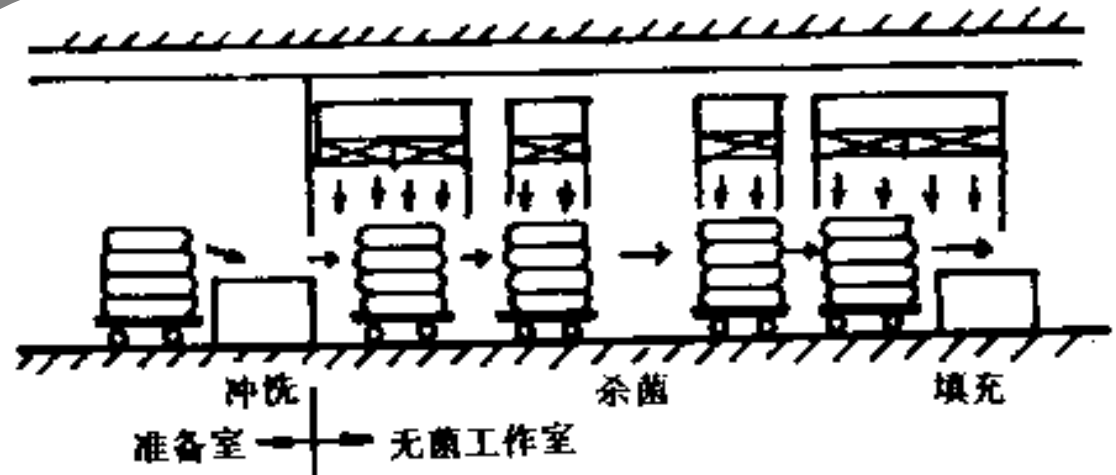


图 13.4-15 通道式洁净隧道

2. 洁净隧道的特点

(1) 在隧道内造成不同的洁净度, 从而充分利用了不同洁净气流特性, 最大限度地满足工艺要求。一般隧道的两侧是高洁净度的层流工作区, 中间是乱流区。工艺区连成一条线, 使用方便, 人员的活动也不会引起交叉污染。

(2) 由于在隧道内减少了层流面积, 基建费用和运行费用要比全室净化的垂直层流洁净室节约1/3以上。乱流区的净高较层流工艺区高得多, 能满足人员舒适感的要求。

(3) 技术夹道既可作为回风道, 又可布置各种工业管道, 安装工艺辅助设备。维修

工作可在不停止工艺生产的情况下进行。

(4) 洁净隧道所需的局部净化设备、顶棚、壁板、回风口及门窗等构件,可以标准化、模数化,商品化;同时,洁净隧道可以迅速拆装,重新组合,为工艺变化提供了方便。

(5) 洁净隧道可以按一定规模配置净化空调系统,因此空调系统可通用化、系列化,从而大大缩短设计周期。

(6) 洁净隧道对于建筑方面的要求较简单,只要具备乱流洁净室的环境,即可满足要求。

13.4.6 气流组织和送风量

不同洁净等级的洁净室气流组织、送风量换气次数、送风口风速及回风口风速的关系见表13.4-3。

气流组织和送风量

表 13.4-3

空气洁净度等级		100级		1000级	10000级	100000级
气流流型	垂直层流	水平层流	乱流	乱流	乱流	乱流
气流组织型式	送风主要方式	1.顶棚满布高效空气过滤器送风(高效空气过滤器占顶棚面积不小于60%) 2.侧布高效空气过滤器,顶棚设阻尼层送风 3.全孔板顶棚送风	1.送风墙满布高效空气过滤器水平送风 2.送风墙局部布置高效空气过滤器水平送风(高效空气过滤器占送风墙面积不小于40%)	1.孔板顶棚送风 2.条形布置高效空气过滤器顶棚送风 3.间隔布置带扩散板高效空气过滤器顶棚送风	1.局部孔板顶棚送风 2.带扩散板高效空气过滤器顶棚送风 3.上侧墙送风	1.带扩散板高效空气过滤器顶棚送风 2.上侧墙送风
	回风主要方式	1.格栅地面回风 (1)满布 (2)均匀局部布置 2.相对两侧墙下部均匀布置回风口	1.回风墙满布回风口 2.回风墙局部布置回风口	1.相对两侧墙下部均匀布置回风口 2.洁净室面积较大时,可采取地面均匀布置回风口	1.单侧墙下部布置回风口 2.当采用走廊回风时,在走廊内均匀布置回风口或在走廊端部集中设置回风口	1.单侧墙下部布置回风口 2.当采用走廊回风时,在走廊内均匀布置回风口或在走廊端部集中设置回风口
送风量	气流流经室内断面风速(m/s)	不小于0.25	不小于0.35	—	—	—
	换气次数(h ⁻¹)	—	—	不小于50	不小于25	不小于15
送风口风速(m/s)	孔板孔口3~5	—	孔板孔口3~5	1.孔板孔口3~5 2.侧送风口 (1)贴附射流2~5 (2)非贴附射流同侧墙下部回风1.5~2.5,对侧墙下部回风1.0~1.5	侧送风口 (1)贴附射流2~5 (2)非贴附射流同侧墙下部回风1.5~2.5,对侧墙下部回风1.0~1.5	
回风口风速(m/s)	不大于2	不大于1.5	1.洁净室内回风口不大于2 2.走廊内回风口不大于4	1.洁净室内回风口不大于2 2.走廊内回风口不大于4	1.洁净室内回风口不大于2 2.走廊内回风口不大于4	

注:垂直层流洁净室采用相对两侧墙下部均匀布置回风口方式,仅适用于两对侧墙间距不大于5m的场合。

13.4.7 层流洁净室

1. 垂直层流洁净室 见图13.4-16至图13.4-23。

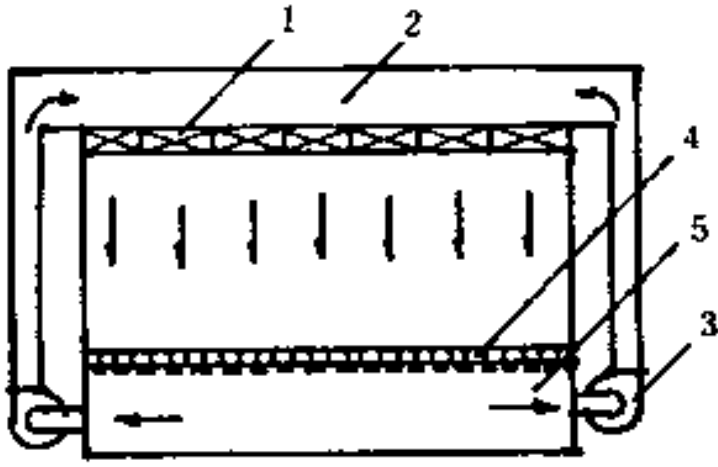


图 13.4-16 典型垂直层流洁净室

1—高效过滤器；2—送风静压箱；3—循环风机；
4—格栅地板及中效过滤器；5—回风静压箱

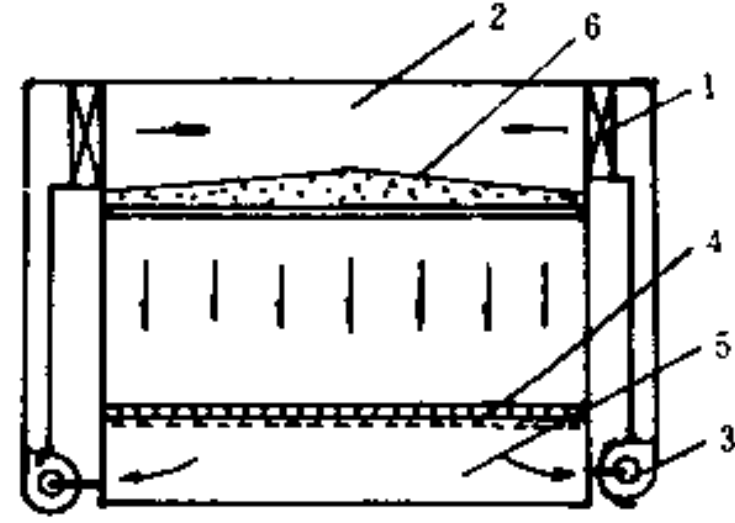


图 13.4-17 顶棚阻尼层垂直层流洁净室

1—高效过滤器（侧布）；2—送风静压箱；3—循环风机；
4—格栅地板及中效过滤器；5—回风静压箱；6—顶棚阻尼层

根据工程实践，垂直层流洁净室的顶棚高效过滤的满布率不应低于60%。

作为阻尼层的材料必须有足够的阻力，才能起到均匀分布空气的作用。常用材料有尼龙筛网、尼龙纱、泡沫塑料等，详见表13.4-4。

常用的阻尼层材料的性能 表 13.4-4

序号	名称	风速(m/s)	阻力(Pa)
1	尼龙纱(直纹)	0.01	1.96
2	尼龙纱(斜纹)	0.01	2.84
3	尼龙筛网(孔眼>100目)	0.01	1.96
4	白色的确良	0.01	5.96
5	在碱液中浸泡过的中细孔泡沫塑料:		
	$s = 10\text{mm}$	0.05	0.98
	$s = 15\text{mm}$	0.05	1.96

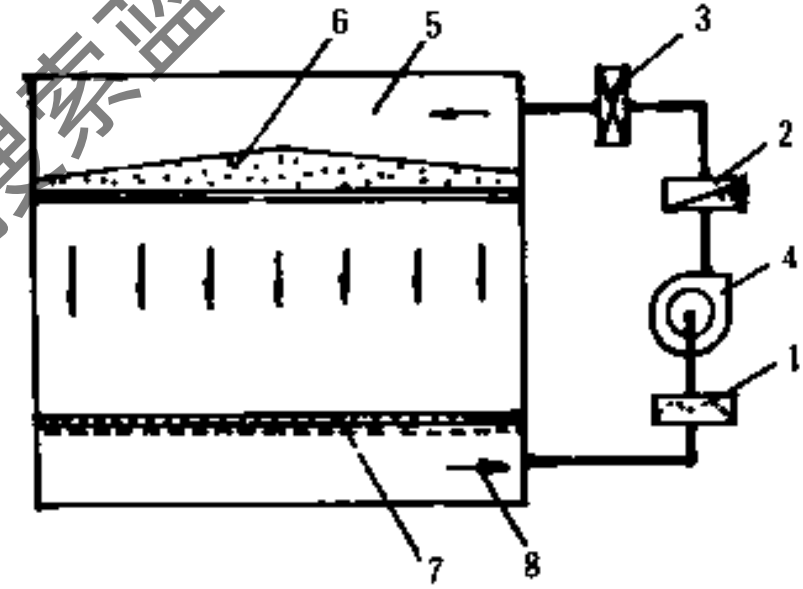


图 13.4-18 集中布置高效过滤器的顶棚阻尼层垂直层流洁净室

1—初效过滤器；2—中效过滤器；3—高效过滤器；4—循环风机；5—送风静压箱；6—顶棚阻尼层；7—格栅地板及中效过滤器；8—回风静压箱

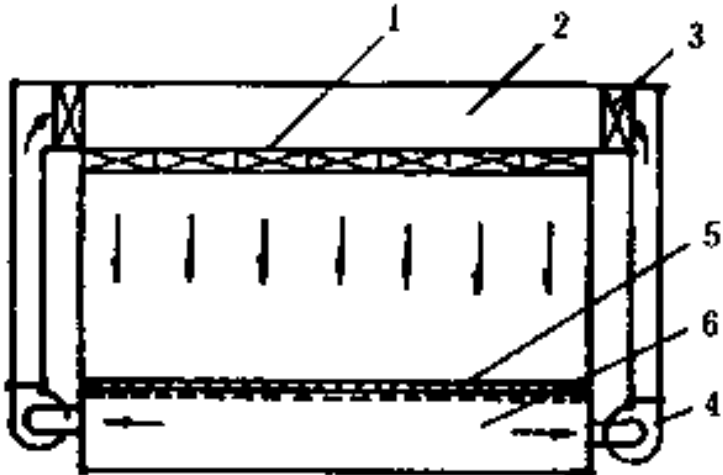


图 13.4-19 双布高效过滤器垂直层流洁净室

1—顶棚满布高效过滤器；2—送风静压箱；3—侧布高效过滤器；
4—循环风机；5—格栅地板及中效过滤器；6—回风静压箱

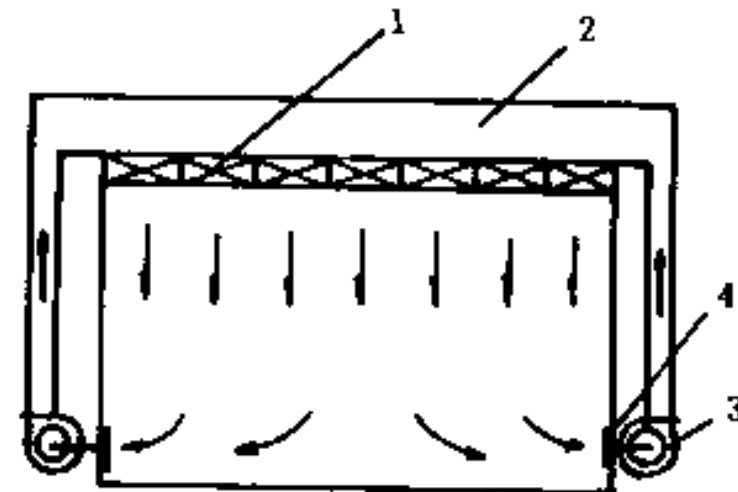


图 13.4-20 全顶棚送风两侧墙下部回风的垂直层流洁净室

1—高效过滤器；2—送风静压箱；3—循环风机；
4—侧墙下部回风口

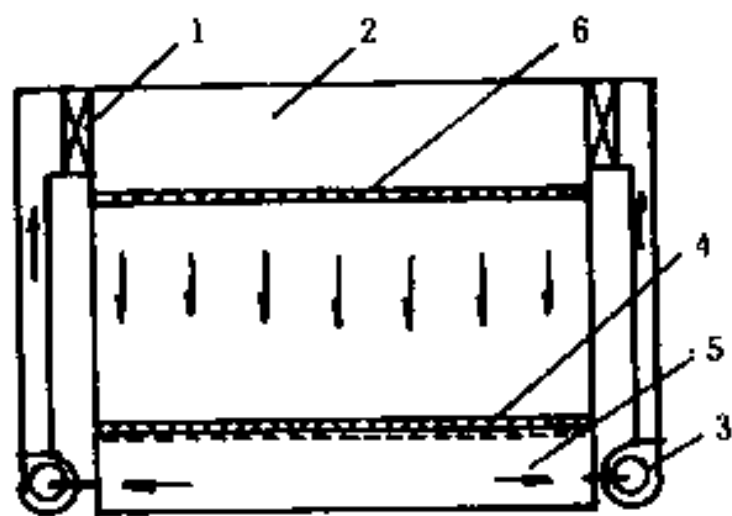


图 13.4-21 全孔板顶送垂直层流洁净室

1—侧布高效过滤器；2—送风静压箱；3—循环风机；
4—格栅地板及中效过滤器；5—回风静压箱；6—送风孔板

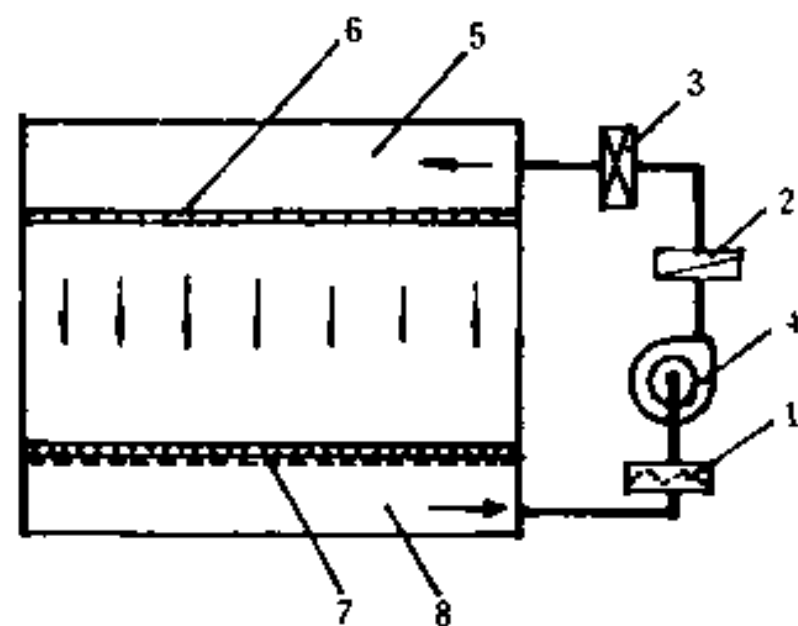


图 13.4-22 集中布置高效过滤器
全孔板顶送垂直层流洁净室

1—初效过滤器；2—中效过滤器；3—高效过滤器；
4—循环风机；5—送风静压箱；6—孔板；7—格栅地板及中效过滤器；8—回风静压箱

2. 水平层流洁净室 见图13.4-24至图13.4-27。

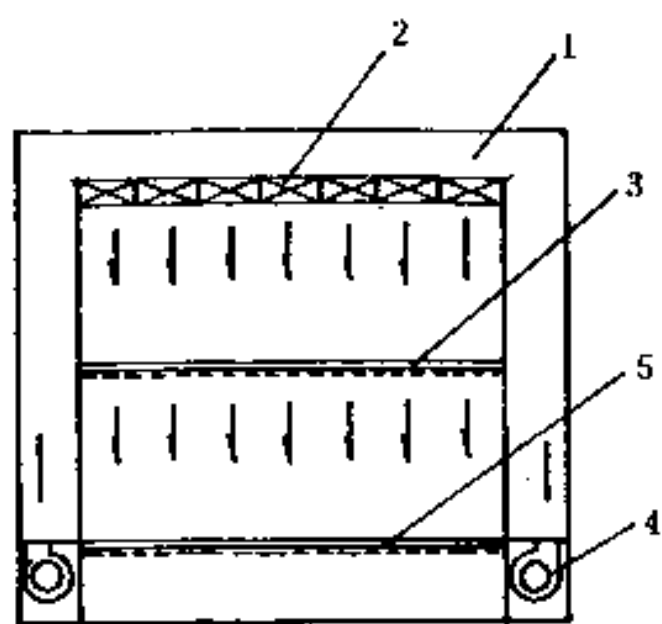


图 13.4-23 双重垂直层流洁净室

1—送风静压箱；2—高效过滤器；3—格栅地板及中效过滤器；4—循环风机；5—回风静压箱

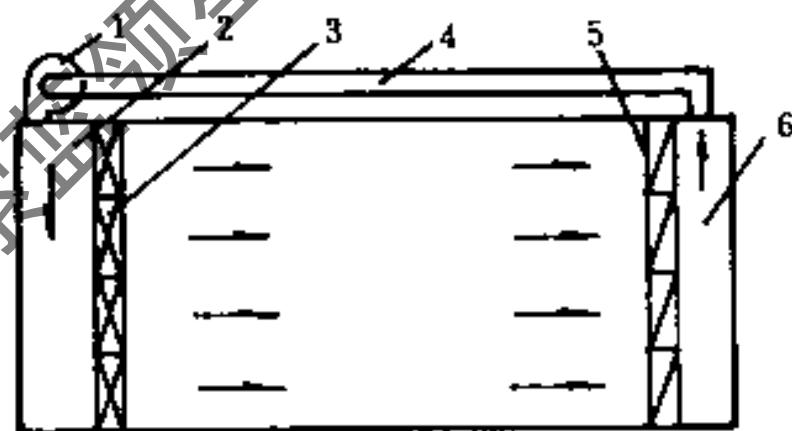


图 13.4-24 典型水平层流洁净室

1—循环风机；2—送风静压箱；3—高效过滤器；4—循环风道；5—中效过滤器；6—回风静压箱

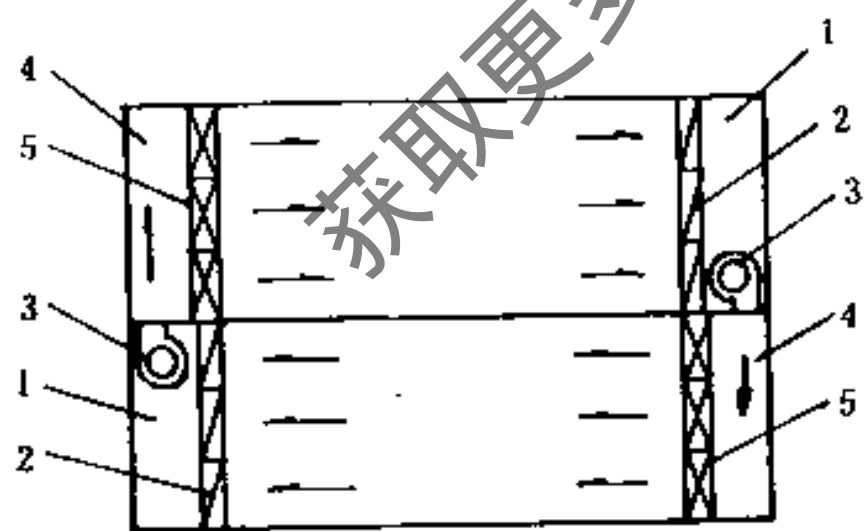


图 13.4-25 双重水平层流洁净室

1—回风静压箱；2—中效过滤器；3—循环风机；4—送风静压箱；5—高效过滤器

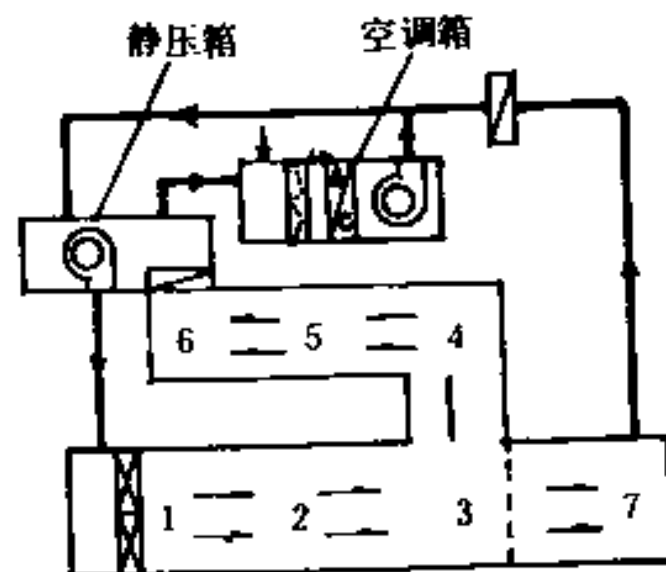


图 13.4-26 双重水平层流洁净室实例

1—无菌药物存放；2—药物分类；3—器皿储存与灭菌；4—洗净、分装；5—洗净与药物储存；6—药物开箱与预净化；7—更衣及辅助间

13.4.8 乱流洁净室

乱流洁净室的特点：

1. 只能达到较低的洁净度级别，通常在1000~100000级范围内。
 2. 每小时换气次数一般在15~100次范围内。
 3. 室内有涡流，气流流速不均匀，某些尘粒在室内循环，而不易被排出。
 4. 构造简单，高效过滤器的安装和堵漏方便，无论新建、扩建或改建，常常被采用。
- 乱流洁净室气流组织有以下几种：

(1) 孔板顶送 它又分全孔板顶送和局部孔板顶送，见图13.4-28和图13.4-29。

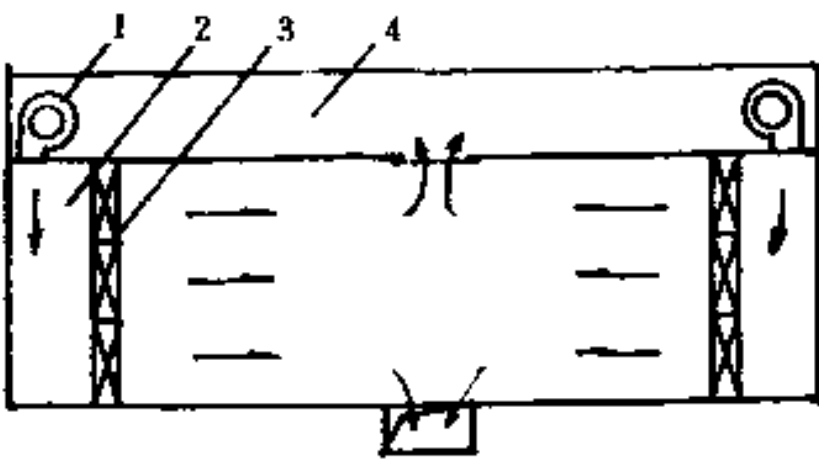


图 13.4-27 两侧对送水平层流洁净室

1—送风风机；2—送风静压箱；3—高效过滤器；4—回风静压箱

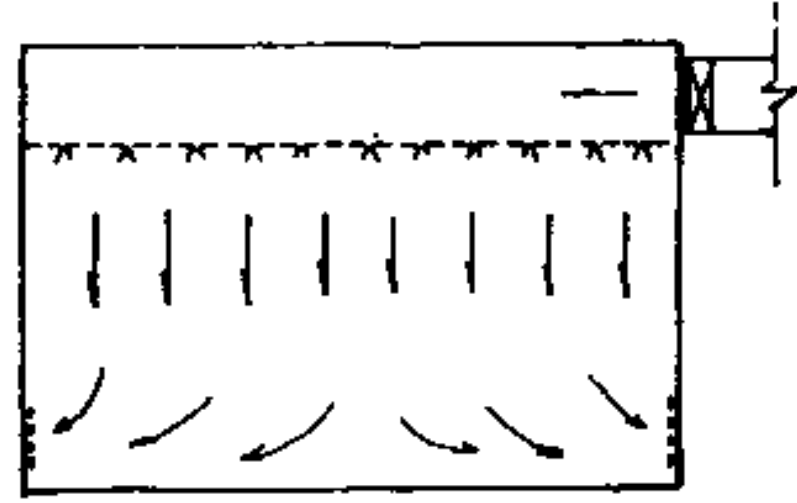


图 13.4-28 全孔板顶送

(2) 流线型散流器顶送 见图13.4-30。适用于4 m 以上的高大洁净室；散流器与散流器之间、散流器与墙壁之间有涡流存在；并要求有较高的技术夹层；灯具安装很方便

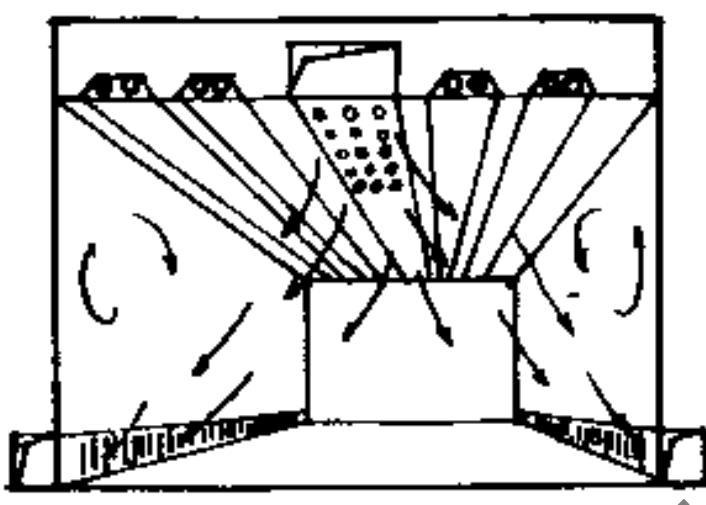


图 13.4-29 局部孔板顶送

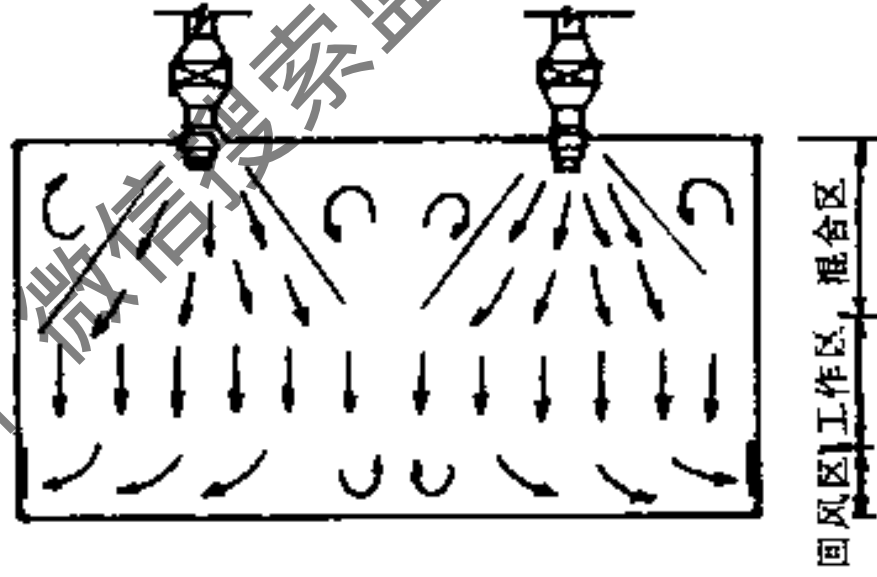


图 13.4-30 流线型散流器顶送

(3) 高效过滤器风口顶送 见图13.4-31。其特点是高效过滤器布置在风口处，洁净空气直接送到工作区，因此可以获得较高洁净度，一般在1000~100000级范围内。

(4) 侧送 见图13.4-32。特点是室内涡流多，工作区处于回流区，不易获得较高的洁净度（只能达到100000级左右）；顶棚上和地板下无送、回风管道，可以降低层高。适

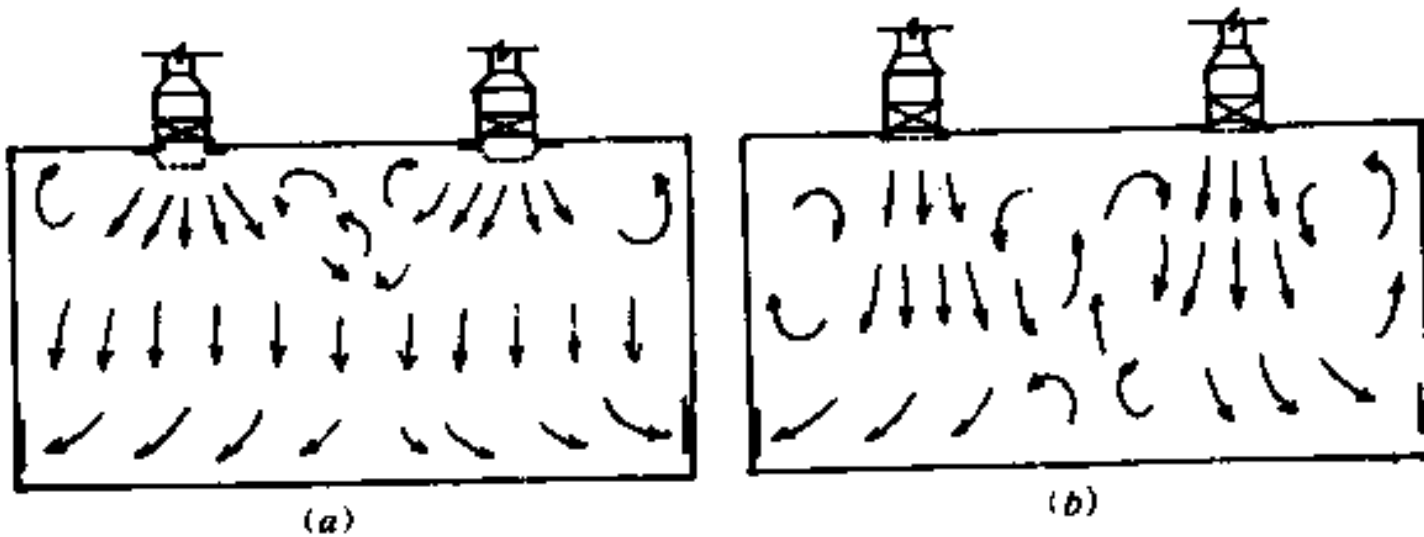


图 13.4-31 高效过滤器风口顶送
(a) 带扩散板；(b) 不带扩散板

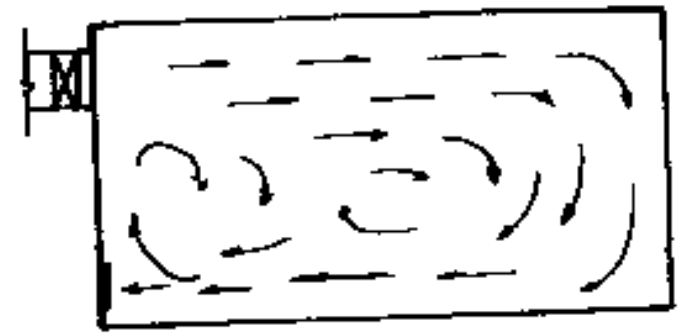


图 13.4-32 侧送

用于层高较低的洁净室,室内灯具布置方便;工程造价是几种气流组织型式中最低的一种。

13.4.9 层流洁净室与乱流洁净室技术经济比较

见表13.4-5。

层流与乱流洁净室的比较

表 13.4-5

	层流洁净室	乱流洁净室
适用洁净级别	<100级	1000级~100000级
换气次数 (h ⁻¹)	500~250	80~15
气流组织	用高效过滤器满布(满布率80~60%)垂直或水平平行流	普通空调送回风方式
送风量 (m ³ /h)	$L_r \sim L_j$ L_r —热湿处理的风量; L_j —净化要求风量	$L_r \ll L_j$
循环空气	两次回风+净化循环回风机	一次或两次回风方式
自净时间 (min)	2~5	20~30
噪声水平 (dB)A	60~65	55~60
造 价 (元/m ²)	4500~7500	约1500~3000
运行能耗 (kW/m ²)	1.2~1.8	0.1~1.2

13.5 生物洁净室设计

13.5.1 生物洁净室与工业洁净室的主要区别

生物洁净室和工业洁净室的区别见表13.5-1。

生物洁净室和工业洁净室的区别

表 13.5-1

比较项目	生物洁净室	工业洁净室
装修材料	室内需定期消毒、灭菌,内装修材料及设备应能承受药物腐蚀	内装修及设备以不产生为原则,仅需经常擦抹以免积尘
人员处理	人员和设备需经消毒灭菌方可进入	人员和设备经吹淋或纯水冲洗后进入
测试	不可能当时测定空气的含菌浓度,需经48小时培养,不能得到瞬时值	室内空气含尘浓度可当时获知,可连续检测,自动记录
过滤效率	需除去的微生物粒径较大,可采用较低档次的过滤器,而保证所需的较高过滤效率(见表13.5-2)	需除去的是>0.5μm的尘埃粒子
人的影响	室内污染源主要是人体发菌	室内污染源主要是人体发尘

对沙雷氏菌气溶胶 (1.8~8.3 μm) 的过滤效率(喷菌液浓度 1.1×10^7 个/mL) 表 13.5 2

过滤器种类	效率 (%)	流速 (m/s)	实验次数
DOP99.97	99.996 ± 0.0024	0.025	20
DOP95	99.989 ± 0.0024	0.025	17
DOP75	99.88 ± 0.0179	0.05	20
NBS95	99.85 ± 0.0157	0.09	20
NBS85	99.51 ± 0.061	0.09	18
DOP60	97.2 ± 0.291	0.05	20
NBS75	93.6 ± 0.298	0.09	19
DOP40	83.8 ± 1.006	0.05	20
DOP20~30	54.5 ± 4.903	0.20	18

13.5.2 生物洁净室的分类

见表13.5-3。

生物洁净室分类 表 13.5-3

分 类	内 容
手 术 室	特别整形外科、股关节膝关节置换、心脏人工瓣膜、内脏器官移植、神经外科系大手术，需要无菌手术
特 殊 病 房	强力化学疗法白血病、白血减少的恶性肿瘤、再生障碍性贫血、脏器移植前后免疫、深度烧伤或烫伤等需要无菌病房护理
无 菌 制 剂	无菌制剂是直接注入身体的药品，关系到生命的安危，制剂过程必须无菌
实验动物饲养室	为医药食品的安全性试验及病理研究，要求实验动物在生物洁净环境中饲养
制 药 工 业	药品是关系到人体健康和生命安危的必需品，药品制造过程应防止受微生物污染
化 妆 品 工 业	化妆品是微生物良好的营养源，因此很容易受微生物污染变质，尤其是眼睑膏、眼睑画笔、睫毛染脂等被污染后会引眼周围溃瘍、结膜炎等
食 品 工 业	过去普遍采用高温杀菌，因此食品某些营养成分被破坏，色香味及组织难于保全天然品质。采用无菌封袋、无菌装罐可提高食品质量，延长保存时间，还可节能，提高效率
生 物 安 全	在遗传工程、药品病理检验、国防科研中，常常需要在无菌无尘环境中进行操作，防止高危险病毒、放射性物质等的外溢，危害人体健康和污染环境而需要洁净

13.5.3 无菌手术室气流组织形式

医院无菌手术室净化空调主要是保证在手术台工作区达到无尘无菌。无菌手术室因需冲洗，其回风口不宜设在地板上。

常见的无菌手术室净化形式如表13.5 4所示。

无菌手术室净化空调形式 表 13.5-4

形 式	特 点	图 示
固定式垂直层流	一般不是全室满布高效过滤器，而是主要集中在手术台上方。优点：噪声易于控制 缺点：施工周期长，造价高	图13.5-1

续表

形 式	特 点	图 示
单元式垂直层流	通常由通风机、高效过滤器和围挡板组成层流罩，吊装在手术台的上方。围挡板常用乙烯塑料围帘，透明玻璃和塑料板制	图13.5-2
固定式水平层流	1. 室内相对壁面分别做成送风墙和回风墙。如京都大学手术室。送风流速 0.5m/s ，送风量 $15600\text{m}^3/\text{h}$ ，新风量 $3120\text{m}^3/\text{h}$ ，换气次数约 240h^{-1} 2. 单侧壁面送风，相对侧顶棚回风	图13.5-3 图13.5-4
单元式水平层流	这种形式多用于原有手术室改造上，形成层流区，方法有两种： 1. 专设侧壁，保证手术台部位周围层流 2. 送风部位设置导流片，通常称无隔墙式水平层流	图13.5-5 图13.5-6
乱 流 式	有两种形式： 1. 在原有手术室基础上送风导流加装高效过滤器 2. 在室内设置高效过滤器风口 送风形式有顶送和侧送	图13.5-7 图13.5-8 图13.5-9 图13.5-10

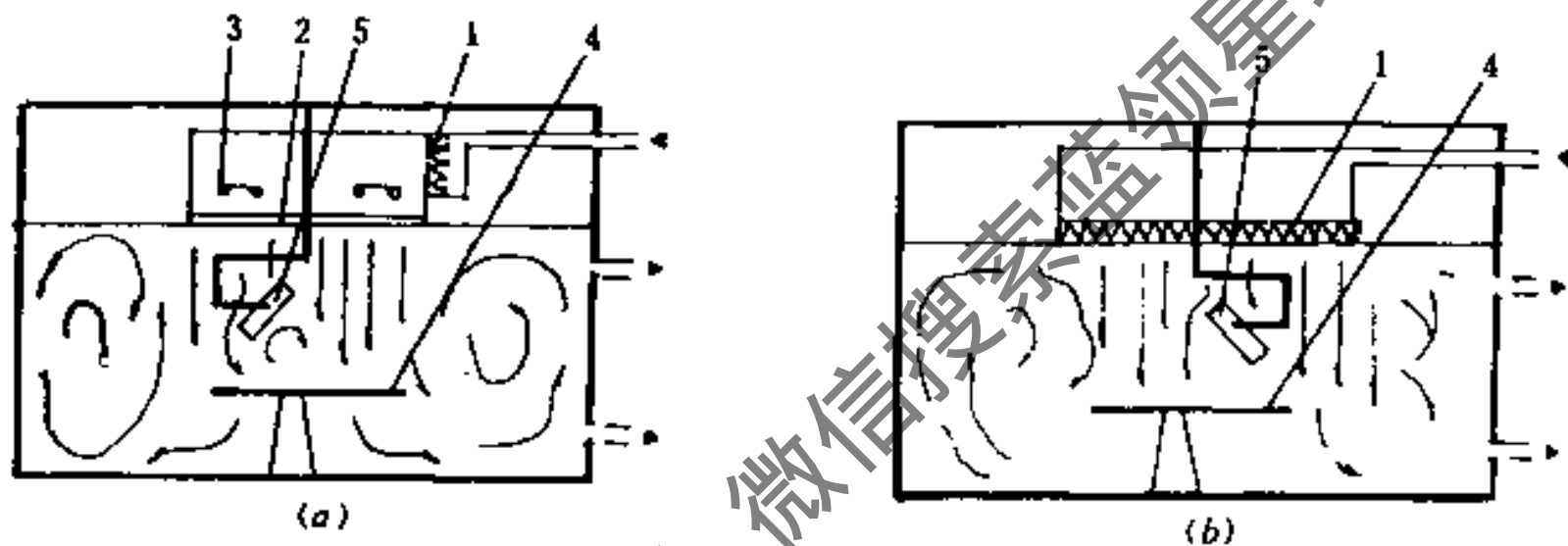


图 13.5-1 手术操作区垂直层流

(a) 高效过滤器设在静压箱前；(b) 高效过滤器满布手术操作区
1—高效过滤器；2—阻尼层；3—紫外杀菌灯；4—手术台；5—无影灯

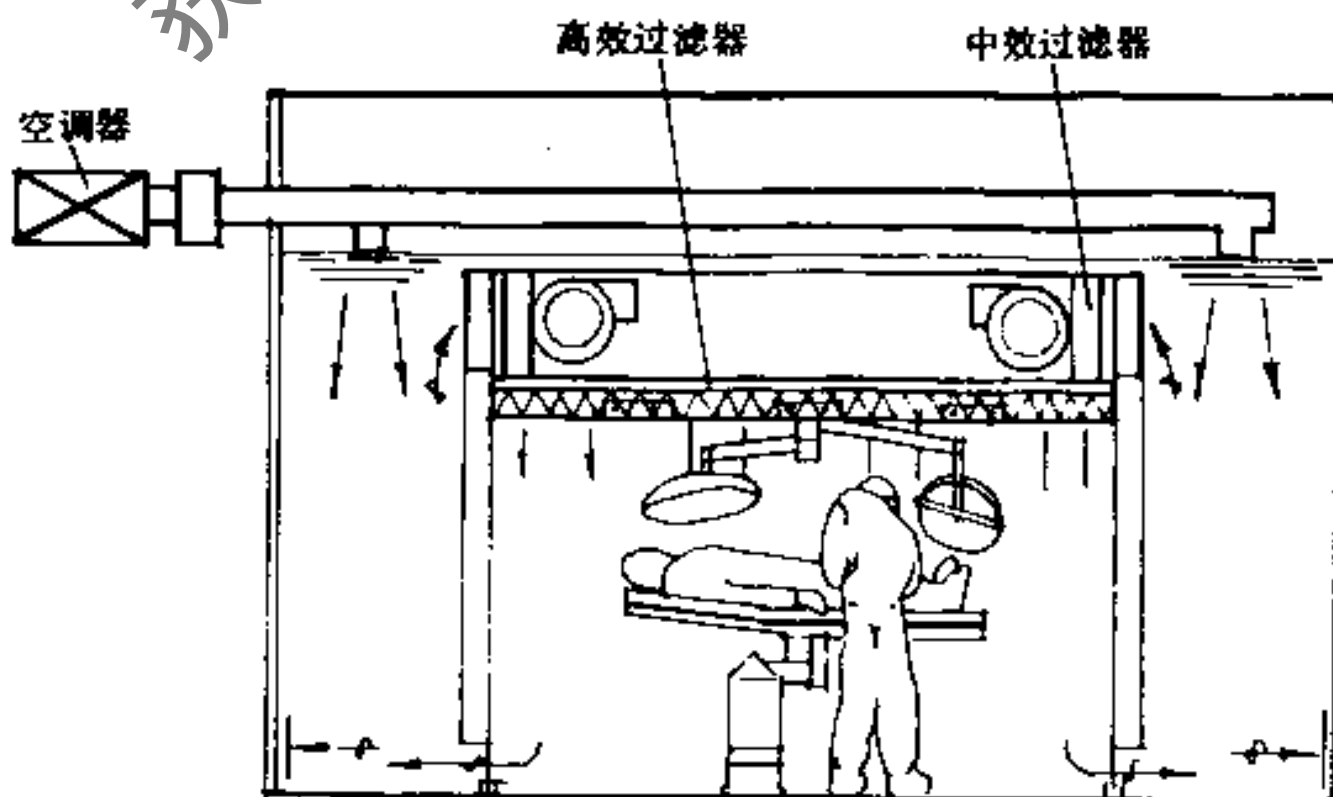


图 13.5-2 单元式垂直层流手术室

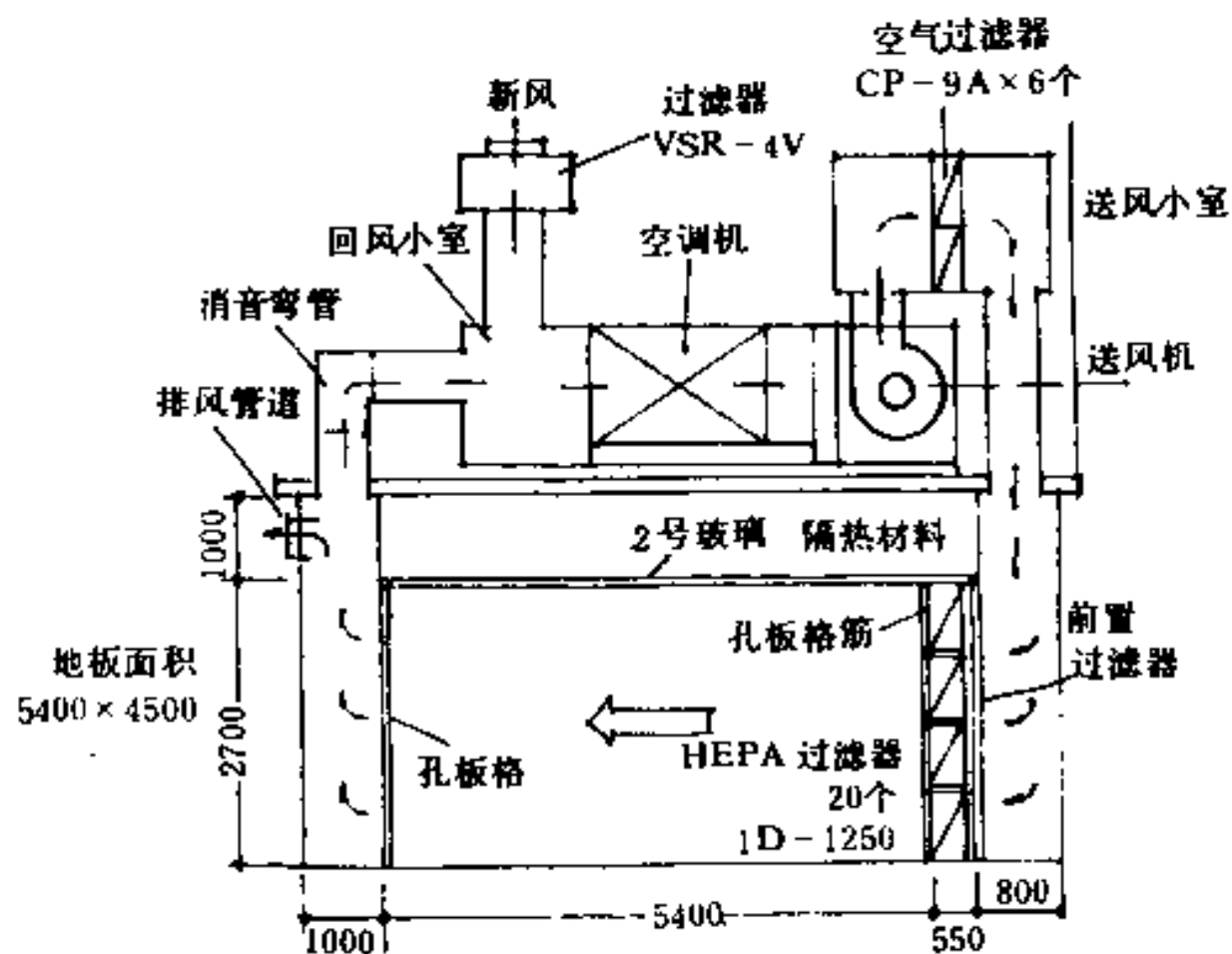


图 13.5-3 京都大学手术室概图

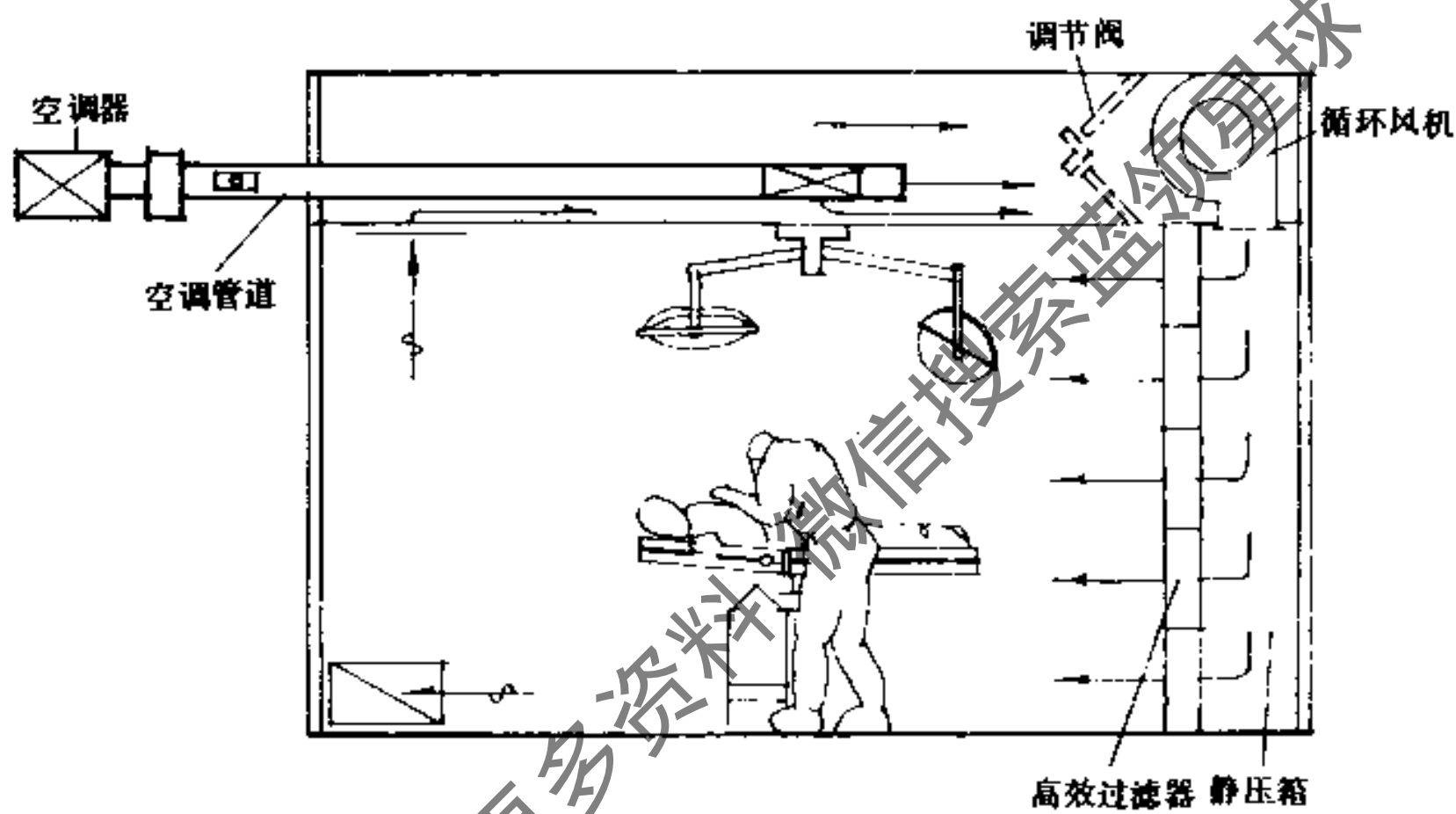


图 13.5-4 固定式水平层流手术室

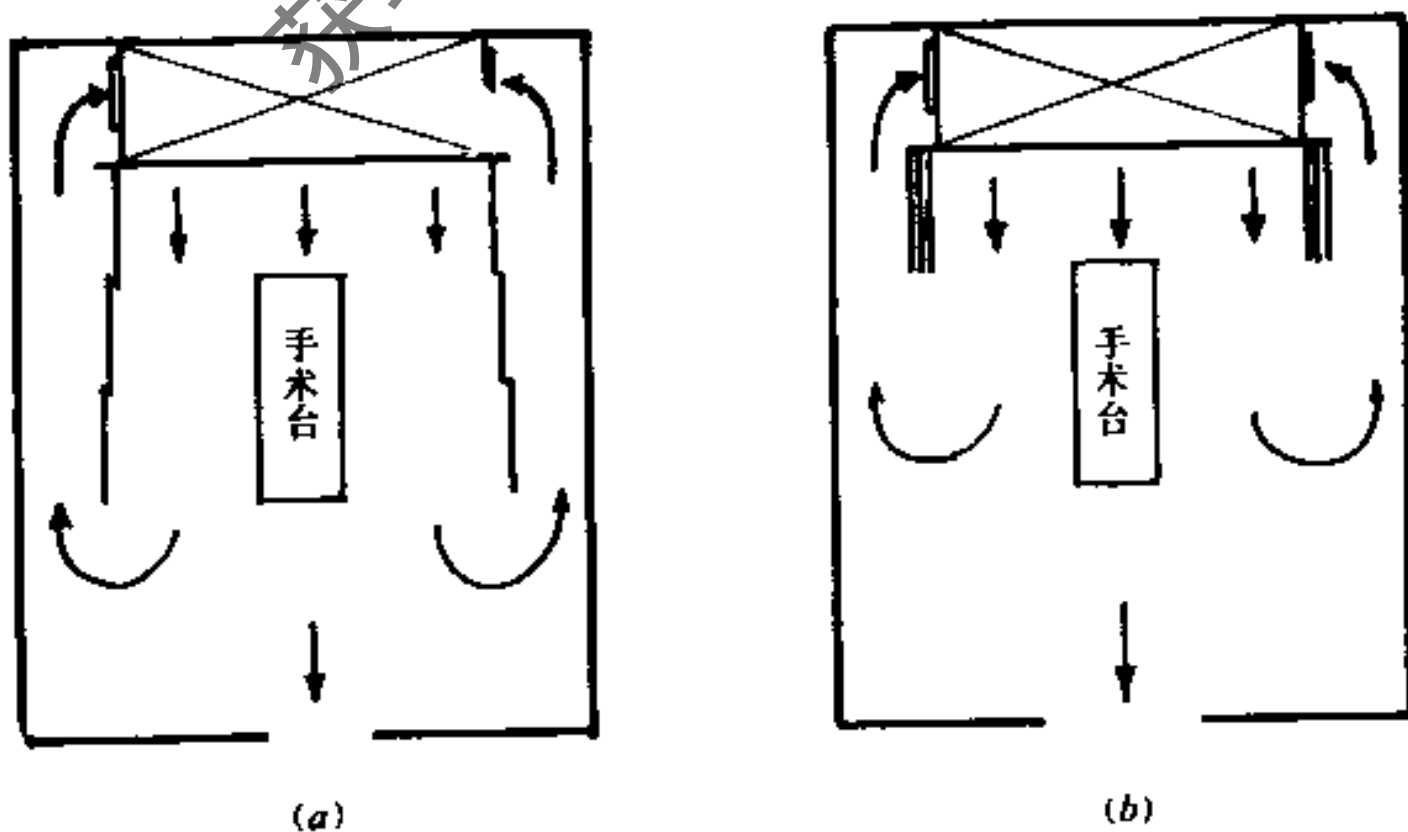


图 13.5-5 单元式水平层流手术室 (净化设备集中)

(a) 屏幕拉开; (b) 屏幕缩进

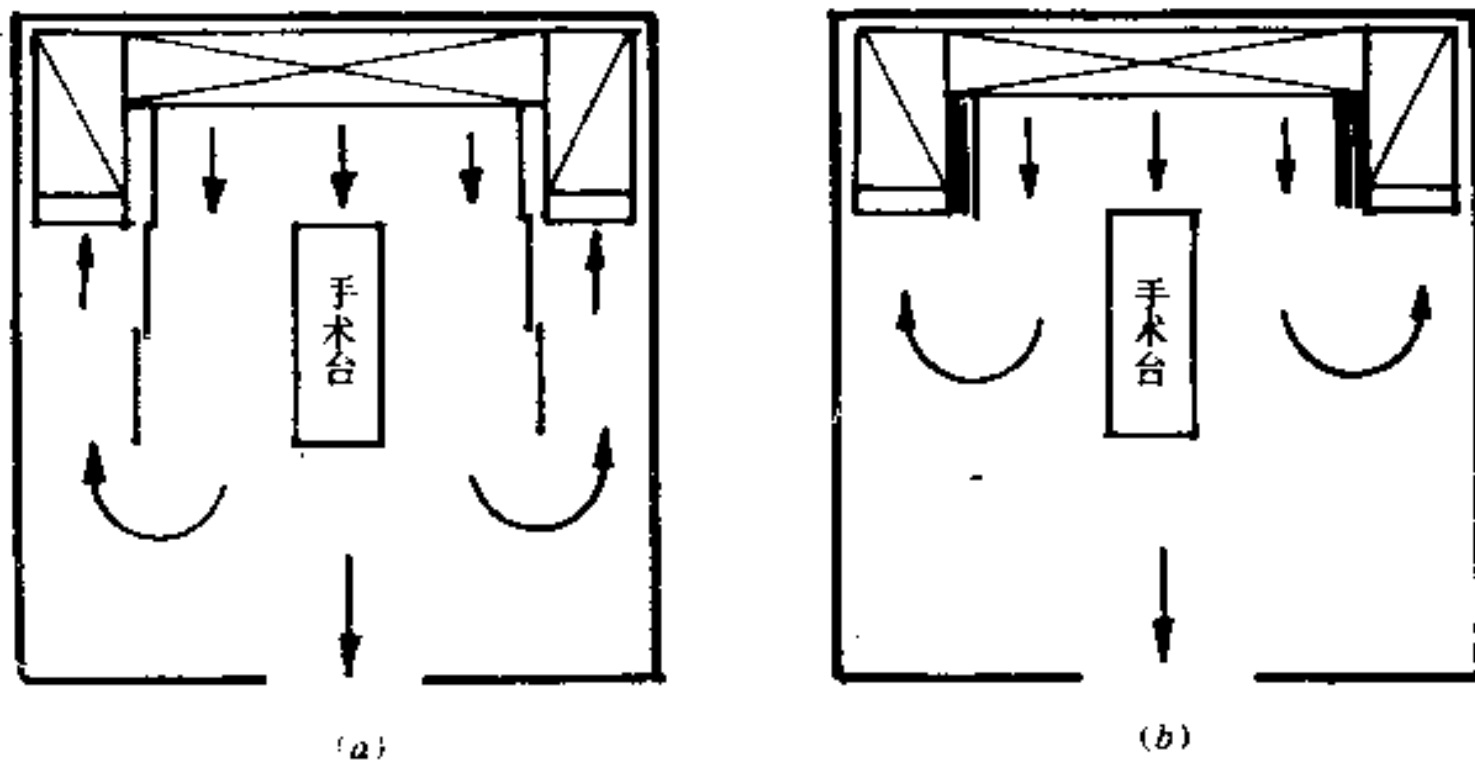


图 13.5-6 单元式水平层流手术室（中效过滤在两端）
(a) 屏幕拉开；(b) 屏幕缩进

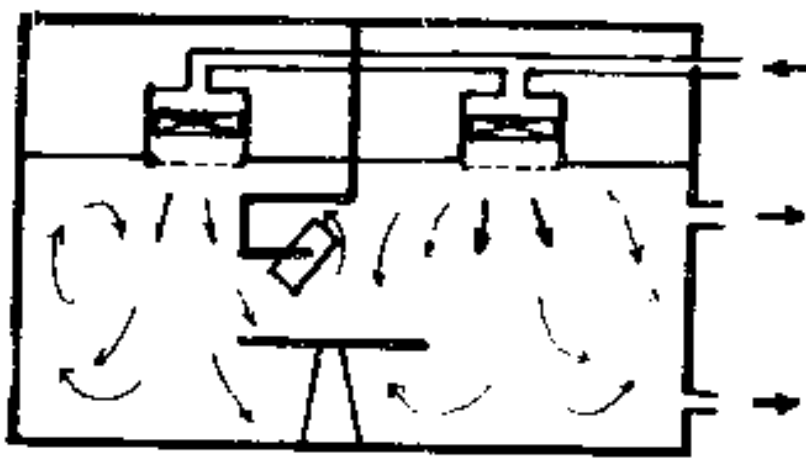


图 13.5-7 高效过滤器送风口
乱流手术室

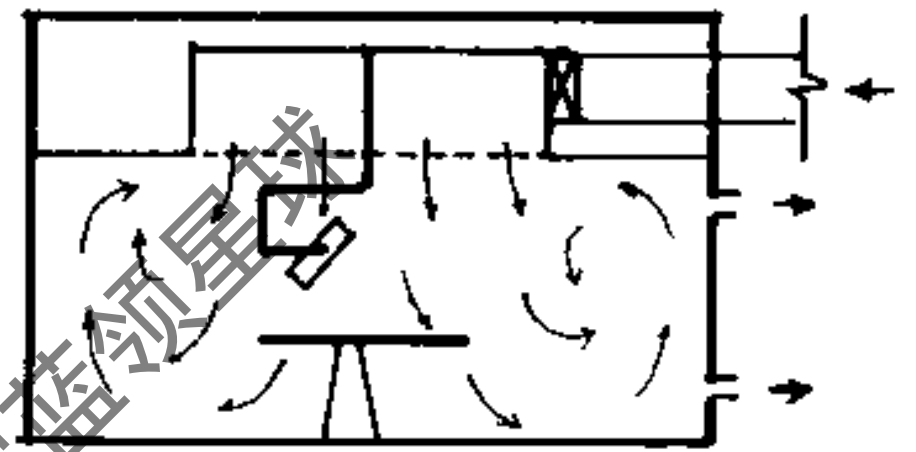


图 13.5-8 送风气流速度达不
到层流手术室

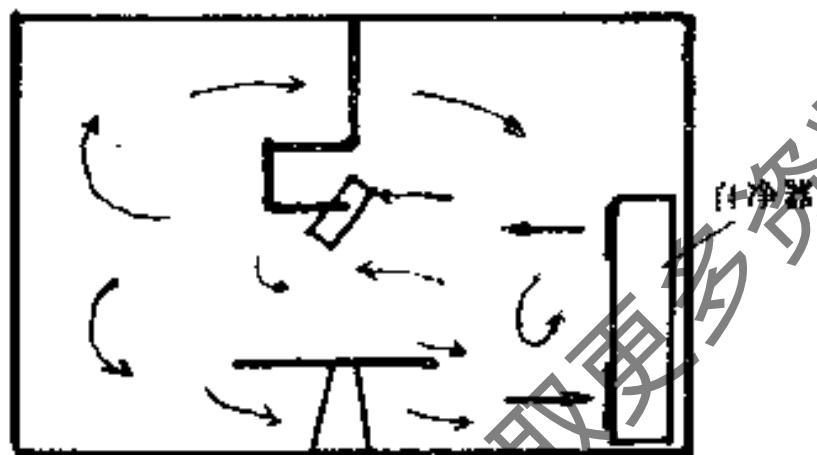


图 13.5-9 采用自净器手术室

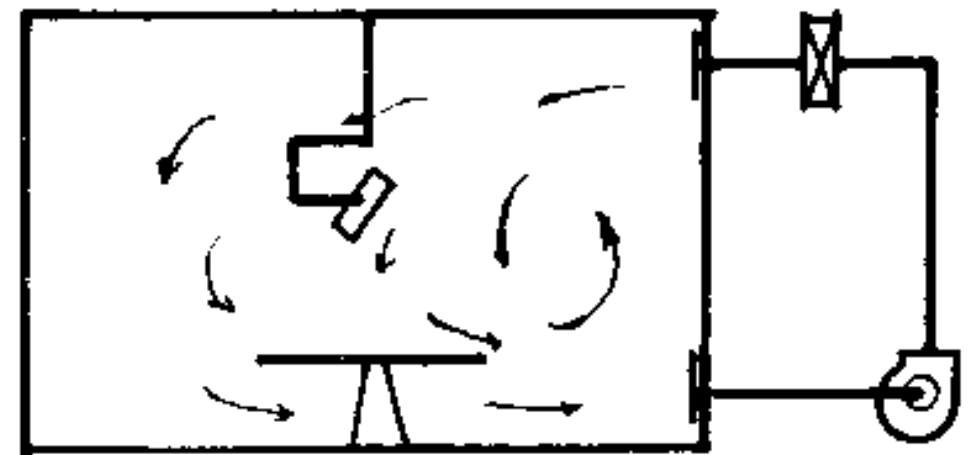


图 13.5-10 侧送侧回乱流
手术室

13.5.4 实验动物洁净室

1. 动物洁净室的分级(见表13.5 5)

动物实验设施的洁净度分级

表 13.5 5

名称	概念	人、物的出入	空气过滤器	差压	应用例
洁净区	符合无菌洁净室	充分灭菌、消毒、穿的衣服全换、淋浴等	用HEPA过滤器处理送风	+++ ++	屏障系统的洁净侧

续表

名称	概念	人、物的出入	空气过滤器	差压	应用例
清洁区	要求较低的洁净	简易灭菌、消毒、换上衣等	用准高效过滤处理送风	+	半屏障系统的洁净侧、屏障系统的污染侧
普通区	一般	根据需要消毒洗涤、白衣等	与一般居室同	±	开放系统的洁净侧、半屏障系统的污染侧
不洁净区	不洁净但无特殊危感	穿工作服退出时适当地清除污染	处理排气		开放系统的污染侧
污染区	有感染危险	穿防护衣, 严格清除污染、灭菌、焚烧等	用HEPA过滤器处理排气、高热等	-- ---	感染饲养室、输入野生动物检疫室

2. 实验动物饲养方式

对实验动物一般都需在无菌或尽可能无菌的环境下饲养。这种环境通称屏障环境。有以下几种形式（见表13.5-6）。

实验动物的饲养方式

表 13.5-6

方式	特点	图示
隔离式	在带有操作手套的箱体中饲养, 箱体内达到100级洁净度, 房间及操作人员不需无菌处理。此方式适用于少量动物短期饲养	图13.5-11
屏障式	主要用于实验动物长期饲养和繁殖, 适用于10000~100000级无菌洁净室	图13.5-12
半屏障式	适用于清洁式动物饲养, 放宽对人和物的管理	
层流架式	由分层柜式箱体、高效过滤器和风机组成, 可放置在半屏障式房间内, 洁净度可根据过滤器的效率及换气次数大小决定	图13.5-13
开放式	对人、物、空气进出房间不施行处理, 但进行一般的清洁管理	

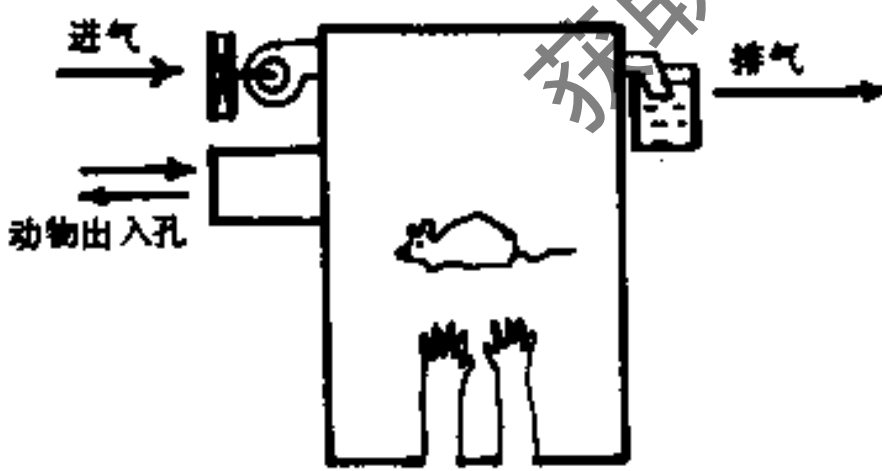


图 13.5-11 箱体内隔离饲养示意图

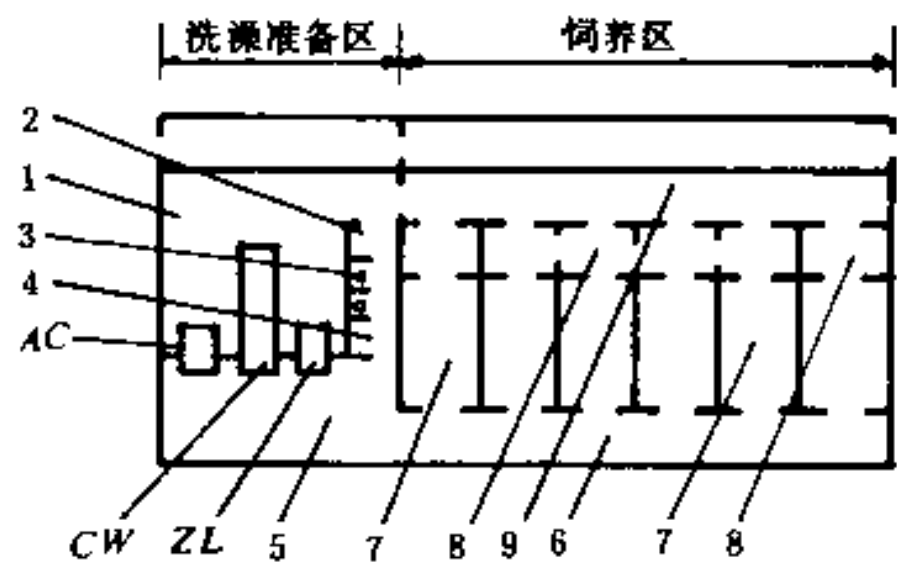


图 13.5-12 动物饲养室平面图

1—洗澡室; 2—更衣室; 3—淋浴室; 4—穿衣室; 5—洁净设备室; 6—洁净走廊; 7—饲养室; 8—后室; 9—污染走廊; AC—高压灭菌器; CW—笼具清洗机; ZL—灭菌气闸

3. 实验动物洁净室特点

(1) 净化空调系统24小时连续运行;

- (2) 净化空调系统所需换气量大, 为消除动物产生的臭味和氨气, 要送大量新风;
- (3) 送风和排风都要进行处理, 送风应除去微生物及尘埃, 排风要除去臭气;
- (4) 当保持室内洁净度时, 室内应为正压; 反之, 防止污染周围时, 室内应为负压。

4. 实验动物洁净室温湿度 (见表13.5-7)

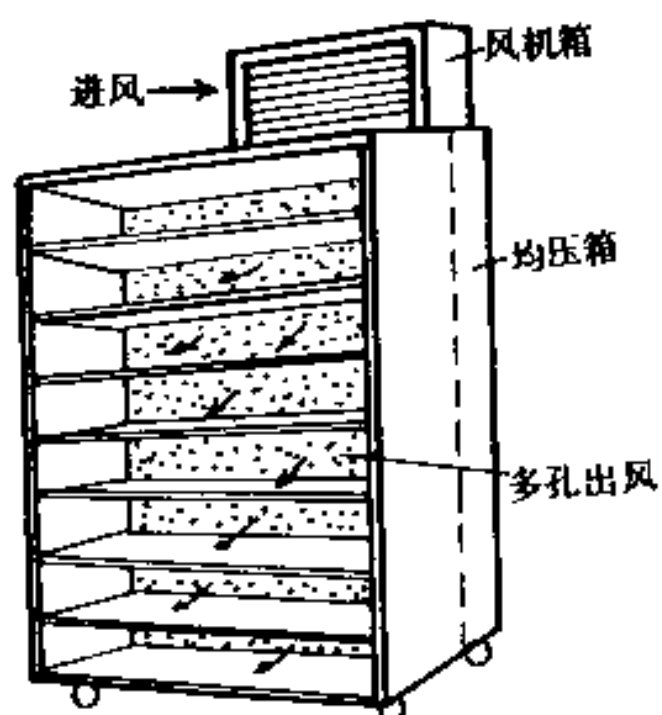


图 13.5 13 柜式无菌分格饲养箱

实验动物洁净室的温湿度 表 13.5-7

动物	温度 (°C)	相对湿度 (%)
小鼠	21~27	40~70
田鼠	21~23	40~70
大鼠	21~27	40~70
豚鼠	21~23	40~70
兔	16~24	40~45
猫	21~24	40~45
狗	18~24	45~55
灵长类	16~29	40~60

注: 冬季宜取下限, 夏季宜取上限。

5. 实验动物的发热量 (见表13.5-8)

实验动物的发热量 表 13.5-8

实验动物	重量 W (kg)	发热量 (W/只)			
		安静时全热量 M (基础代谢)	活动时		
			显热	潜热	全热量ATHG
小鼠	0.021	0.20	0.33	0.16	0.49
田鼠	0.119	0.71	1.18	0.58	1.76
灰鼠	0.28	1.36	2.28	1.13	3.41
豚鼠	0.41	1.79	3.00	1.48	4.48
兔	2.45	6.86	11.49	5.69	17.20
猫	3.0	8.01	13.38	6.63	20.00
猴	5.44	12.44	20.93	10.35	31.28
小狗	10.3	20.12	30.70	16.52	47.22
大狗	22.7	36.40	67.57	36.40	103.97
山羊	36.0	51.40	86.06	42.45	128.51
绵羊	44.9	60.71	101.65	50.13	151.78
猪	68.0	82.69	108.74	85.60	194.34
鸡	1.82	5.48	3.84	6.40	10.24

6. 实验动物饲养室的换气量

实验动物饲养室换气次数一般以 $10 \sim 15 \text{ h}^{-1}$ 为宜, 换气量可按表13.5-9计算。

实验动物饲养室的换气量

表 13.5 9

动物	项目	重量	所需空间	除臭用换气量	重量	笼具容积	换气量
小鼠		21g	28L	170L/h	23g	1.0L	248L/h
大鼠		200g	99L	1270L/h	250g	3.34L	1390L/h
豚鼠		410g	170L	2550L/h	350g	11.6L	1960L/h
兔		2.6kg	280L	3400L/h	3.6kg	0.116m ³	20.4m ³ /h
猫		3.0kg	1.0m ³	13.6m ³ /h	3.6kg	0.17m ³	20.4m ³ /h
猴		3.2kg	2.8m ³	3.4m ³ /h	5.45kg	0.28m ³	65m ³ /h
狗		14kg	4.2m ³	85m ³ /h	10.44kg~22.19kg	1.02m ³ ~1.27m ³	92m ³ /h~127m ³ /h
鸡		2.1kg	0.23m ³	3.4m ³ /h	2kg~4kg	0.06m ³	11m ³ /h~22m ³ /h

(a) 除臭用换气量 (b) 动物饲养室标准

注: 以上两种标准数值相差较大, 建议按大者取用, 并以换气(次数 10~15h⁻¹)核算

7. 动物饲养室空调方式比较

动物饲养室有如下几种空调方式 (见图13.5-14)

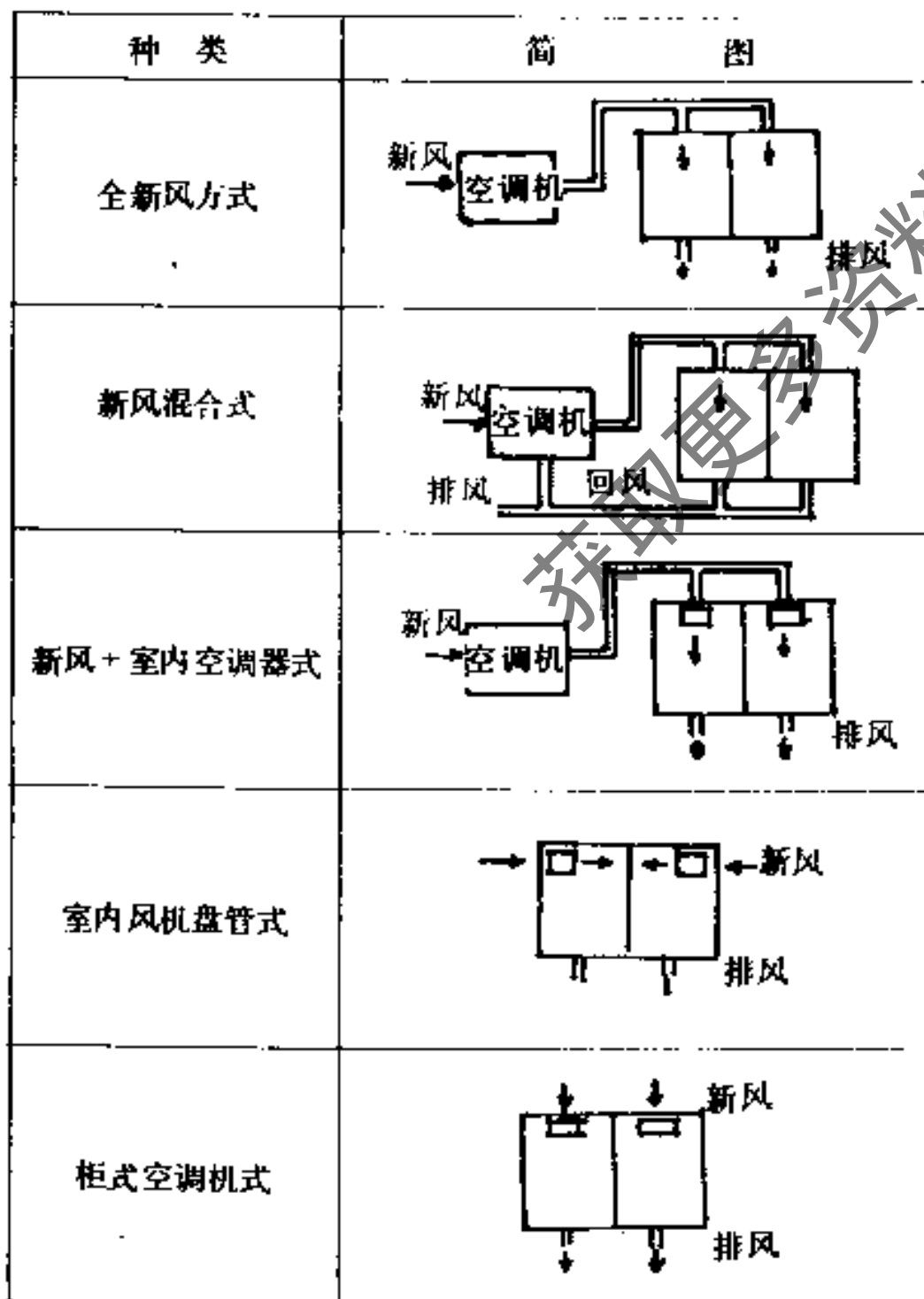


图 13.5-14 动物饲养室空调基本型式

几种空调方式性能比较见表13.5-10

几种空调方式性能比较 表 13.5 10

项目	方式	全新风	新风混合	新风室内空调器	室内风机盘管	柜式空调机
设备费		E	C	D	B	A
维修费		E	B	C	B	A
工期		C	C	E	B	A
室内感染		A	C	H	E	F
室内臭味		A	C	B	E	F
噪声		A	A	C	D	E
振动		A	A	C	D	F
顶棚内空间		E	E	C	B	A
机械室空间		E	D	C	B	A

注: A—有利; E—最不利。

13.6 洁净室的计算

13.6.1 送风量的计算

1. 层流洁净室

层流洁净室的送风量一般按室内断面风速(v)决定:100级垂直层流洁净室 $v < 0.25 \text{ m/s}$;
水平层流洁净室 $v < 0.35 \text{ m/s}$ 。

2. 乱流洁净室

一般按换气次数(n)估算:1000级洁净室 $n < 50 \text{ 1/h}$;10000级洁净室 $n < 25 \text{ 1/h}$;
100000级洁净室 $n < 15 \text{ 1/h}$ 。

13.6.2 排风量的计算

洁净室内产生有害物的工艺操作,通常在通风柜内进行,其排风量 $L (\text{m}^3/\text{h})$:

$$L = 3600v(A \times B) \quad (13.6-1)$$

式中 $A \times B$ ——操作孔(工作口)的有效面积, m^2 ;

v ——操作孔(工作口)的断面风速, m/s (按表13.6-1选用)。

通风柜操作孔(工作口)的断面风速

表 13.6-1

有害物性质	断面风速 (m/s)	有害物性质	断面风速 (m/s)	有害物性质	断面风速 (m/s)
无毒有害气体	0.3~0.5	有毒有害气体	0.7~1.0	剧毒有害气体	1.2~1.5

13.6.3 新风量的计算

洁净室新风量应取下列几项风量中的最大值:

1. 乱流洁净室总送风量的10~30%(1000级取10%,10000级取20%,100000级取30%);
层流洁净室总送风量的2~4%(100级垂直层流取2%,100级水平层流取4%);

2. 补偿室内排风和保持室内正压所需要的新风量;

3. 保证室内每人的新风量不少于 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

对于不同的换气次数和人员密度,新风量占总风量的百分比,见表13.6-2。

新风量占总风量的百分数(%)与换气次数的关系

表 13.6-2

每人新风量 (m^3/h)	人员密度 (人/ m^2)	换 气 次 数 (h^{-1})									
		10	20	30	40	50	60	70	80	200	400
30	0.1	12	6	4	3	3	2	2	2	1	1
	0.2	24	12	8	6	5	4	4	3	2	1
	0.3	36	18	12	9	8	6	6	5	2	1
	0.4	48	24	16	12	10	8	7	6	3	2

续表

每人新风量 (m ³ /h)	人员密度 (人/m ²)	换气次数 (h ⁻¹)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	200	400
40	0.1	16	8	6	4	4	3	3	2	1	1
	0.2	32	16	11	8	7	6	5	4	2	1
	0.3	48	24	16	12	10	8	7	6	3	2
	0.4	64	32	24	16	13	11	10	8	4	2
50	0.1	20	10	7	5	4	4	3	3	1	1
	0.2	40	20	14	10	8	7	6	5	2	1
	0.3	60	30	20	15	12	10	9	8	3	2
	0.4	80	40	28	20	16	14	12	10	4	2

13.6.4 洁净室正压计算

1. 缝隙法

洁净室维持不同正压值所需风量 Q (m³/h):

$$Q = a \cdot \Sigma (q \cdot L) \quad (13.6-2)$$

式中 a ——根据围护结构气密性确定的安全系数, 可取1.1~1.2;

q ——当洁净室为某一正压值时, 其围护结构单位长度缝隙的漏风量, m³/h·m;

L ——围护结构的缝隙长度, m。

围护结构单位长度缝隙的正压风量可按表13.6.3采用。

围护结构单位长度缝隙的正压风量

表 13.6.3

正压风量 (m ³ /h·m)	门窗 型式	压差 (Pa)						
		非密闭门	密闭门	单层固定 密闭木窗	单层固定 密闭钢窗	单层开启 式 密闭钢窗	传递窗	壁板
4.90		17	4	1.0	0.7	3.5	2.0	0.3
9.81		24	6	1.5	1.0	4.5	3.0	0.6
14.72		30	8	2.0	1.3	6.0	4.0	0.8
19.62		36	9	2.5	1.5	7.0	5.0	1.0
24.53		40	10	2.8	1.7	8.0	5.5	1.2
29.43		44	11	3.0	1.9	8.5	6.0	1.4
34.34		48	12	3.5	2.1	9.0	7.0	1.5
39.24		52	13	3.8	2.3	10.0	7.5	1.7
44.15		55	15	4.0	2.5	10.5	8.0	1.9
49.05		60	16	4.4	2.6	11.5	9.0	2.0

2. 换气次数法

设计时正压风量可根据正压值和房间换气次数的关系确定, 见表13.6-4。

13.6.5 洁净度的计算

1. 均匀分布理论法

设乱流洁净室如图13.6-1所示。

洁净室正压值与房间换气次数的关系

表 13.6-4

室内正压值 (Pa)	有外窗, 气密性较差的洁净室 (h ⁻¹)	有外窗, 气密性较好的洁净室 (h ⁻¹)	无外窗上建式洁净室 (h ⁻¹)
4.90	0.9	0.7	0.6
9.81	1.5	1.2	1.0
14.72	2.2	1.8	1.5
19.62	3.0	2.5	2.1
24.53	3.6	3.0	2.5
29.43	4.0	3.3	2.7
34.34	4.5	3.8	3.0
39.24	5.0	4.2	3.2
44.15	5.7	4.7	3.4
49.05	6.5	5.3	3.6

图中 N_t ——某时间 t (min) 的室内含尘浓度, 粒/L;

N ——室内稳定含尘浓度, 粒/L;

N_0 ——室内原始含尘浓度, 即 $t=0$ 时的含尘浓度, 粒/L;

V ——洁净室容积, m³;

n ——换气次数, h⁻¹;

G ——室内单位容积发尘量, 粒/m³·min;

M ——大气含尘浓度, 粒/L;

S ——回风量对于全风量之比;

η_1 ——初级过滤器效率;

η_2 ——中间过滤器效率;

η_3 ——末级过滤器效率。

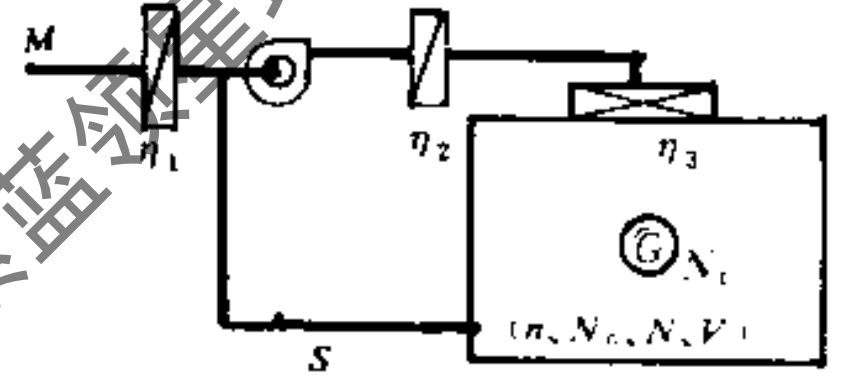


图 13.6-1 乱流洁净室的基本图示

新风通路上过滤器的总效率 η_n , 和回风通路上过滤器的总效率 η_r 分别为:

$$\eta_n = \eta_1 (1 - \eta_2)(1 - \eta_3)$$

$$\eta_r = 1 - (1 - \eta_2)(1 - \eta_3)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, 稳定的含尘浓度 N :

$$N = \frac{60G \times 10^{-3} + Mn(1-S)(1-\eta_n)}{n[1-S(1-\eta_r)]} \quad (13.6-3)$$

2. 不均匀分布理论法

洁净室含尘浓度 N_v (粒/L):

$$N_v = N_s + \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \left(\frac{1-\beta}{\varphi} + \frac{\beta}{1+\varphi} \right) \left(\varphi + \frac{V_b}{V} \right) \quad (13.6-4)$$

式中 N_s ——送风含尘浓度, 粒/L;

$$N_s = N_t \cdot S(1-\eta_r) + M(1-S)(1-\eta_n) \quad (13.6-5)$$

由于 N_s 比 M 小得多, 所以

$$N_s \approx M(1-S)(1-\eta_n) \quad (13.6-6)$$

式中 G ——单位容积发尘量, 粒/ $m^3 \cdot \text{min}$;
 n ——根据均匀分布理论计算确定的换气次数, 1/h;
 β ——主流区发尘量与总发尘量之比,

$$\beta = \frac{G_a}{G_a + G_b} = \frac{G_a}{G_0} \quad (13.6-7)$$

G_a ——主流区发尘量, 粒/min;
 G_b ——涡流区发尘量, 粒/min;
 G_0 ——总发尘量, 粒/min, $G_0 = G_a + G_b$;
 φ ——涡流区至主流区的引带风量与送风量之比

$$\varphi = \frac{Q'}{Q} \quad (13.6-8)$$

Q' ——涡流区至主流区的引带风量, L/min;
 Q ——送风量, L/min;
 V_b ——涡流区容积, L;
 V ——洁净室容积, L。

洁净室 N_v - n 通式的物理意义:

$$\text{在公式 (13.6-4) 中, } N = N_s + \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \quad (13.6-9)$$

即为尘粒均匀分布条件下的含尘浓度。

令不均匀系数

$$\psi = \left(\frac{1-\beta}{\varphi} + \frac{\beta}{1+\varphi} \right) \left(\varphi + \frac{V_b}{V} \right) \quad (13.6-10)$$

则公式 (13.6-4) 变为

$$N_v = N_s + \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \psi \quad (13.6-11)$$

根据公式 (13.6-9) 知, N_s 是很小的, 则公式 (13.6-11) 变为:

$$N_v = \psi \left(N_s + \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \right) = \psi \times N \quad (13.6-12)$$

由公式 (13.6-12) 可以看出, 按不均匀分布理论计算的含尘浓度等于按均匀分布理论计算的含尘浓度乘以不均匀系数。

为了便于计算, 根据上述理论计算公式和实际使用条件, 绘制成室内含尘浓度和换气次数关系曲线图, 见图13.6-2。

3. 几个计算参数的确定

(1) 室内单位容积发尘量 G

根据人员密度和人员动作的情况查图13.6-3。该图中的倍数表示人员动作时的发尘量 G_n 与其静止 (或基本静止) 时发尘量 G_m 的比值, 通常用 5 倍即可; 发尘量较小的, 可用 3 倍, 发尘量大的可用 7 倍。

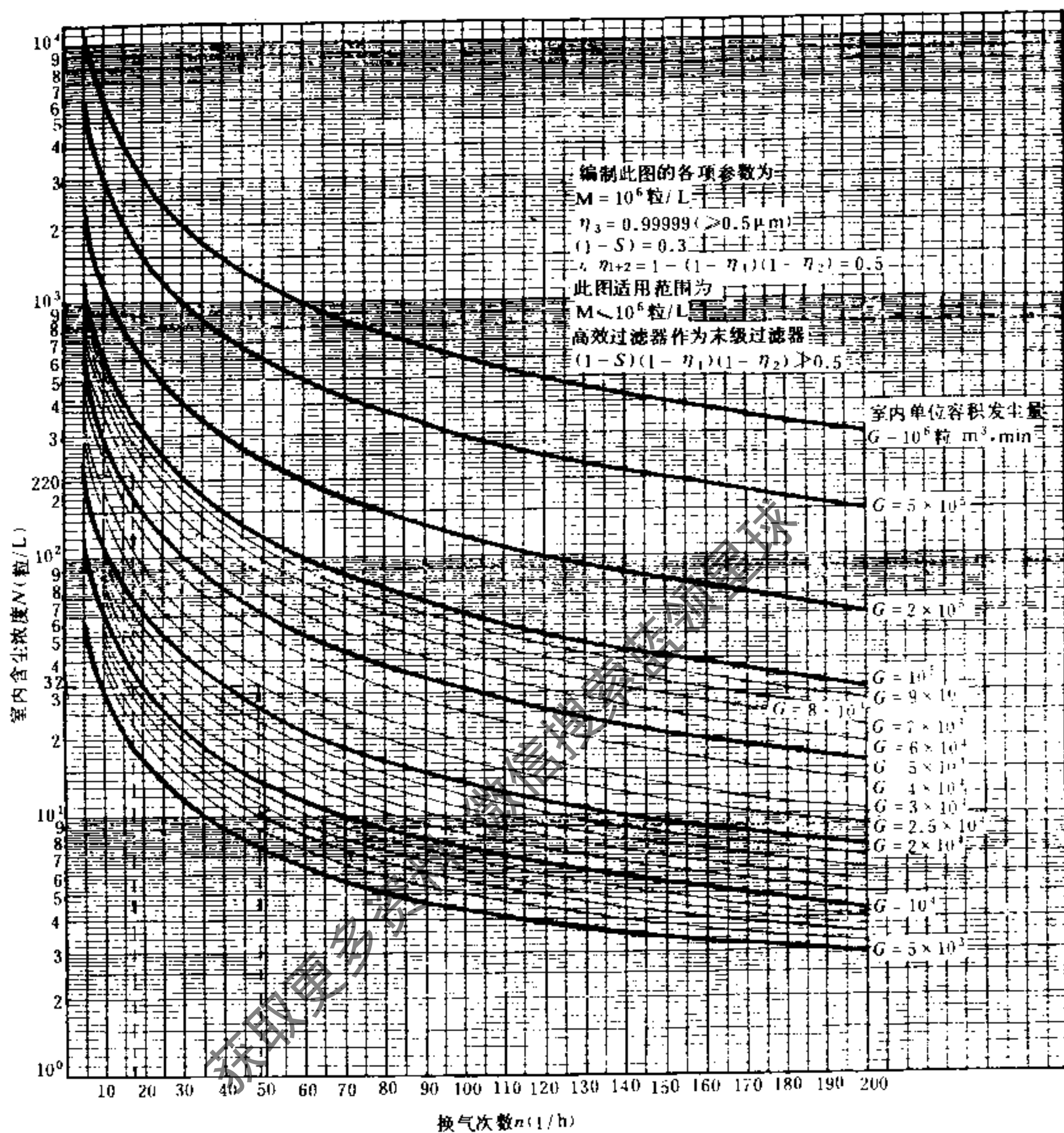


图 13.6.2 高效空气净化系统洁净室的 N n 计算图

(2) 过滤器的效率 η

粗孔泡沫塑料初效过滤器: $\eta_1 = 0.1 \sim 0.2$; 中细孔泡沫塑料中效过滤器: $\eta_2 = 0.3 \sim 0.4$; 玻璃纤维中效过滤器: $\eta_2 = 0.4 \sim 0.5$; 高效过滤器: $\eta_3 = 0.99999$; 亚高效过滤器: $\eta_4 = 0.9$ 。

(3) 不均匀系数 ψ 的确定

如果 B 、 ϕ 、 $\frac{V_b}{V}$ 不便于确定时, 因而不能具体计算 ψ 值。对于一般情况可由换气次数大致确定 ψ 值, 见表 13.6.5。

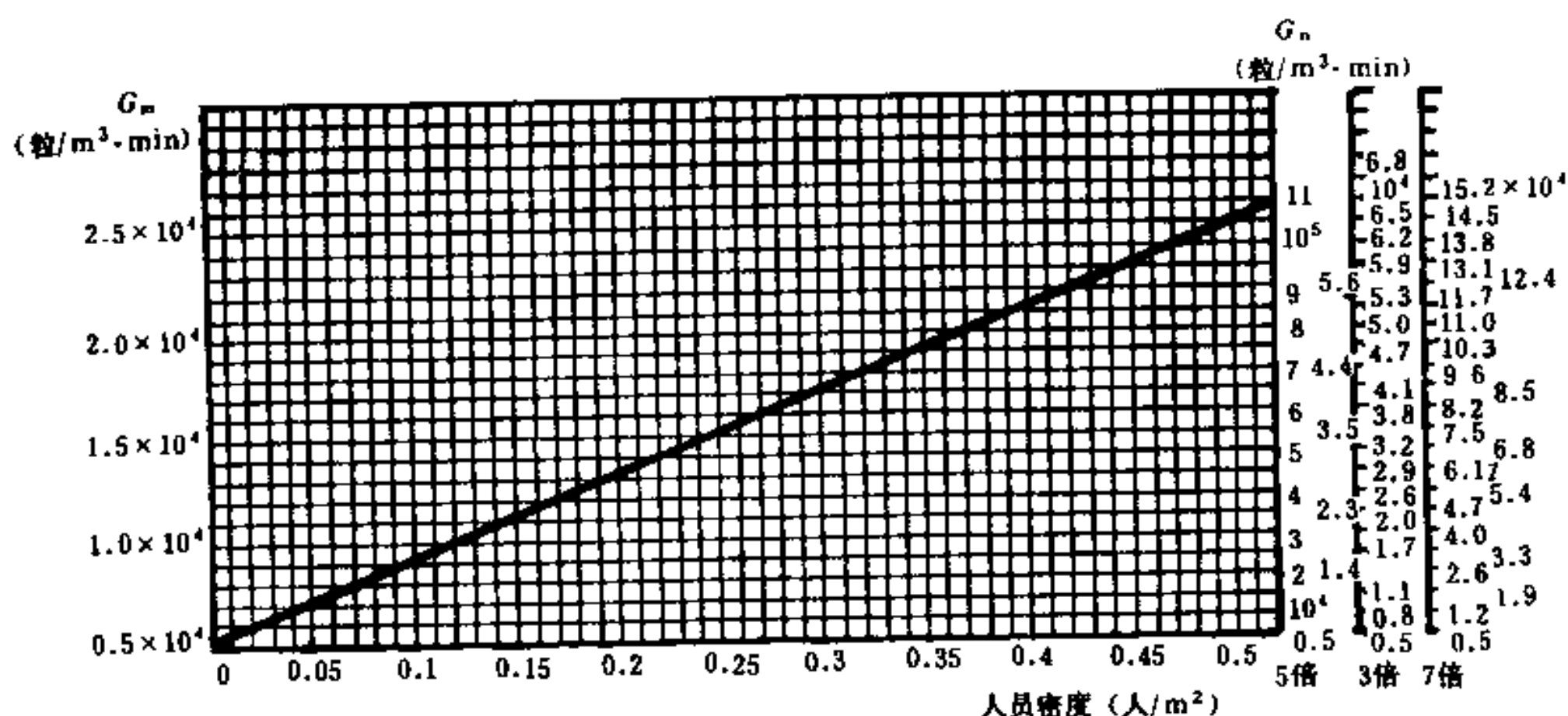


图 13.6.3 洁净室单位容积发生量计算图

φ 值的选用表

表 13.6.5

换气次数 $n(h^{-1})$	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
ϕ	1.5	1.22	1.16	1.06	0.99	0.9	0.65	0.51	0.51	0.43	0.43

13.6.6 计算例题

【例 1】某洁净室长、宽、高分别为6m、5m、2.5m，换气次数为 $30h^{-1}$ ，工作人员5人，新风比为30%，求室内可能达到的洁净度级别？

【解】

(1) 洁净室的人员密度 g

$$g = \frac{P}{F} = \frac{5}{6 \times 5} = 0.17 \text{ 人}/\text{m}^2$$

(2) 单位容积发生量 G

查图13.6.3, $G = 3.9 \times 10^4$ 粒/ $\text{m}^3 \cdot \text{min}$

(3) 送风含尘浓度 N_s , 见公式(13.6-6)

$$N_s = M(1-S)(1-\eta_n)$$

式中 M ——室外大气尘浓度, 取 100×10^4 粒/L;

S ——回风比, $(1-S)$ 为新风比, 本题为0.3;

η_n ——新风道路上过滤器的总效率;

$$1-\eta_n = (1-\eta_1)(1-\eta_2)(1-\eta_3)$$

根据 η_1, η_2, η_3 的效率, $(1-\eta_n) = 0.000005$;

则 $N_s = 100 \times 10^4 \times 0.3 \times 0.000005 = 1.5$ 粒/L。

(4) 按均匀扩散理论计算含尘浓度 N

$$\begin{aligned}
 N &= N_s + \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \\
 &= 1.5 + \frac{60 \times 3.9 \times 10^4 \times 10^{-3}}{30} \\
 &= 79.5 \text{ 粒/L}
 \end{aligned}$$

(5) 洁净室的含尘浓度 N_v :

根据公式 (13.6 12): $N_v \approx \psi \cdot N$

式中 ψ ——不均匀系数, 查表 13.6 5, $\psi = 1.19$ 。

则: $N_v \approx 1.19 \times 79.5 = 95 \text{ 粒/L}$

该洁净室可以达到 10000 级。

【例 2】 某高效空气净化系统乱流洁净室, 面积 28 m^2 (宽 5.5 m , 长 5 m), 高 2.5 m , 2 个侧送风口, 风口尺寸 $0.3 \times 0.2 \text{ m}$, 换气次数 28 h^{-1} , 新风比 25%。求 3 人工作时室内的含尘浓度 (N_v) 是多少? 换气次数 (n_v) 是多少?

【解】

(1) 人员密度 $q = \frac{3}{28} = 0.104 \text{ 人/m}^2$;

(2) 查图 13.6-3 (按图中 5 倍的纵坐标查得) $G_n = 2.7 \times 10^4 \text{ 粒/m}^3 \cdot \text{min}$;

(3) 由 G 和 n 查图 13.6-2, 得 $N = 60 \text{ 粒/L}$ 。

因为侧送风口间距接近 3 m , 取 $B = 0.6$ 。

取 $\frac{V_b}{V} = 0.6$

$$\begin{aligned}
 \text{按公式 } \phi &= 0.5 \frac{\sqrt{5.5 \times \frac{2.5}{2}}}{1.13 \sqrt{0.3 \times 0.2}} - 1 \\
 &= 4.6 - 1 \\
 &= 3.6
 \end{aligned}$$

所以得出 $\psi = 1.014$

$$N_v = \psi N = 1.014 \times 60 = 61 \text{ 粒/L}。$$

由 61 粒/L 和 $G_n = 2.7 \times 10^4 \text{ 粒/(m}^3 \cdot \text{min)}$, 查图 13.6-2, 得 $n = 26 \text{ h}^{-1}$ 。

同前求出 $\psi = 1.014$, 则

$$n_v = \psi n = 1.014 \times 26 = 26.4 \text{ h}^{-1}$$

取 27 h^{-1} 。

① 对于侧送风口, 可参照《空气调节设计手册》公式:

$$\phi = 0.5 \frac{\sqrt{F}}{d} - 1$$

式中 F ——每一个风口的房间截面积 (垂直于气流 m^2);

d ——风口当量直径, m ;

$$d = 1.13 \sqrt{L_1 \times L_2}$$

L_1, L_2 ——风口两个边长, m 。

以上参见许钟麟著《空气净化技术原理》P. 239。

【例 3】 某手术室容积为 $6 \times 6 \times 3.3 \text{ m}$ ，共有 10 人，室内人员发菌量为 1000 菌落/人·min。采用初、中效两级过滤器，滤菌效率分别为 0.5 及 0.95，新风量 30%，室内菌落数不高于 $350 \text{ 个}/\text{m}^3$ ，大气含菌落数为 $2000 \text{ 菌落}/\text{m}^3$ ，求所需通风量是多少？

【解】 按均匀扩散的假定，在稳定状况时：

$$N \textcircled{1} = \frac{60G \cdot m/V + nM(1-S)(1-\eta_1)(1-\eta_2)}{n[1-S(1-\eta_2)]} \quad \text{菌落}$$

式中 N ——室内控制的菌落，菌落/ m^3 ；
 M ——新风含菌浓度，菌落/ m^3 ；
 G ——室内人员发菌量，菌落/人·min；
 n ——房间换气次数， h^{-1} ；
 V ——房间体积， m^3 ；
 η_1, η_2 ——初、中效滤菌效率；
 S ——回风比；
 m ——室内人数。

由上式得：

$$n = \frac{60G \cdot m/V}{N[1-S(1-\eta_2)] - M(1-S)(1-\eta_1)(1-\eta_2)}$$

当 $N = 350 \text{ 菌落}/\text{m}^3$ 时：

$$\begin{aligned} n &= \frac{60 \times 1000 \times 10 / (6 \times 6 \times 3.3)}{350 [1 - 0.7(1 - 0.95)] - 2000(1 - 0.7)(1 - 0.5)(1 - 0.95)} \\ &= 15.6 \text{ h}^{-1} \end{aligned}$$

① 请参见许钟麟著《空气净化技术原理》P.271“室内菌浓的计算”。

第十四章 制 冷

本章仅指为空调服务的人工制冷。内容包括常用制冷机（压缩冷凝机组或冷水机组）的基本原理、选择方法、基本数据、以及管道设计与计算等。

14.1 制冷机的选择

制冷机的选择，应按建筑物的用途、各类制冷机的特性、结合当地水源（包括水量、水温及水质）、电源和热源（包括热源性质、品位高低）等情况，从初投资和运行费用进行综合技术经济比较来确定。并要注意以下几个问题：

1. 电力驱动的冷水机组在额定工况下^①的性能系数^② $COP(kW/kW)$ 及热力制冷设备的热力系数 $\varepsilon(kW/kW)$ 应满足下表的要求。

2. 要考虑建筑物全年空调冷负荷的分布规律，制冷机部分负荷下的调节特性系数^③ ϕ ，

制 冷 机 类 别	单机额定工况制冷量 (kW)	性能系数COP (kW/kW)	备 注
活塞式、螺杆式、离心式	<116	>3.5	
	116~349	>3.8	
	349~582	>3.9	
	582~1163	>4.10(螺杆式)	
		>4.4(离心式)	
>1163	>4.4		
制 冷 机 类 别	单机额定工况制冷量	热力系数 ε ^①	备 注
吸 收 式	单 效	$\varepsilon \geq 0.6$	
	双 效	$\varepsilon \geq 1.2$	

① 热力系数(ε)：是吸收式制冷机在规定工况下制冷量(kW)与输入热量(kW)之比。是衡量以热能为动力的制冷机的制冷效率高低的一个重要指标。

② 冷水机组的额定工况：系指水冷式冷水机组的蒸发器出水温度为7℃，冷凝器进水温度为32℃，蒸发器的单位制冷量的冷水流量为0.172 m³/kW，冷凝器的单位制冷量的冷却水流量为0.258 m³/kW，蒸发器、冷凝器的水侧污垢系数为0.086 m²·℃/kW时的工况。

③ 制冷系数(COP)：是制冷机在规定工况下制冷量(kW)与轴功率(kW)的比值。在实际工程中轴功率很难测定，故定义为单位输入功率的制冷量，kW/kW。COP是衡量制冷机制冷效率高低的一个重要指标。

④ 制冷机调节特性系数 ϕ ：是制冷机在规定工况下，部分负荷时的调节特性，其值等于部分负荷下的负荷率 $\eta_Q(\%)$ 与相应的输入(轴)功率百分率 $\eta_N(\%)$ 之比。 $\phi = \frac{\eta_Q(\%)}{\eta_N(\%)}$ 。部分负荷下的COP_B等于满负荷下的COP_M乘以 ϕ 值。即COP_B = COP_M · ϕ 。

合理地选择机型、台数和调节方式，提高制冷系统在部分负荷下的运行效率，以降低全年总能耗。

3. 对大型集中空调系统的冷源，宜选用结构紧凑、占地面积小、压缩机、电动机、冷凝器、蒸发器和自控元件等都组装在同一框架上的冷水机组。对小型全空气调节系统，宜采用直接蒸发式压缩冷凝机组。

4. 对有合适热源特别是有余热或废热的场所或电力缺乏的场所，宜采用吸收式冷水机组。

5. 制冷机组一般以选用 2 ~ 4 台为宜，中小型规模宜选用 2 台，较大型可选用 3 台，特大型可选用 4 台。机组之间要考虑其互为备用和轮换使用的可能性。同一站房内可采用不同类型、不同容量的机组搭配的组合式方案，以节约能耗。并联运行的机组中至少应选择一台自动化程度较高，调节性能较好，能保证部分负荷下能高效运行的机组。选择活塞式冷水机组时，宜优先选用多机头自动联控的冷水机组。

6. 选择电力驱动的冷水机组时，当单机空凋制冷量 $Q > 1163 \text{ kW}$ 时，宜选用离心式； $Q = 582 \sim 1163 \text{ kW}$ 时，宜选用离心式或螺杆式； $Q < 582 \text{ kW}$ 时，宜选用活塞式。

7. 电力驱动的制冷机的制冷系数 COP 比吸收式制冷机的热力系数高，前者为后者的三倍以上。能耗由低到高的顺序为：离心式、螺杆式、活塞式、吸收式（国外机组螺杆式排在离心式之前）。但各类机组各有其特点，应用其所长。

8. 选择制冷机时应考虑其对环境的污染：一是噪声与振动，要满足周围环境的要求；二是制冷剂 CFC_s 对大气臭氧层的危害程度和产生温室效应的大小，特别要注意 CFC_s 的禁用时间表。在防止污染方面吸收式制冷机有着明显的优势。

14.1.1 制冷机的种类

见表 14.1-1。

制 冷 机 的 种 类

表 14.1-1

种 类	特 性 及 用 途	适宜的单机容量 (kW)
压 缩 式	离心式 通过叶轮离心力作用吸入气体和对气体进行压缩，容量大、体积小，可实现多级压缩，以提高效率和改善调节性能。适用于大容量的空凋制冷系统	>580
	螺 杆 式 通过转动的两个螺旋形转子相互啮合而吸入气体和压缩气体。利用滑阀调节气缸的工作容积来调节负荷。转速高，允许压缩比高，排气压力脉冲性小，容积效率高，适用于大、中型空凋制冷系统和空气热源热泵系统	<1160
	活 塞 式 通过活塞的往复运动吸入气体和压缩气体，适用于冷冻和中、小容量的空凋制冷与热泵系统	<580 ^①
吸 收 式	蒸汽热水式 利用蒸汽或热水作为热源，以沸点不同而相互溶解的两种物质的溶液为工质，其中高沸点组分为吸收剂，低沸点组分为制冷剂。制冷剂在低压时沸腾产生蒸汽，使自身得到冷却。吸收剂遇冷吸收大量制冷剂所产生的蒸汽，受热时将蒸汽放出，热量由冷却水带走，形成制冷循环。在有废热和低位热能的场所应用较为经济，适用于中型、较大型容量且冷水温度较高的空凋水系统	170~3490

续表

种类		特 性 及 用 途	适宜的单机容量 (kW)
吸收式	直燃式	利用燃烧重油、煤气或天然气等作为热源。分为冷水和冷温水机组两种。原理与蒸汽热水式相同。由于减少了中间环节的热能损失，效率提高。冷温水机组一机两用，节约机房面积。有条件的场所均可使用	170~3490
蒸汽喷射式		以热能作动力，水作工质，当蒸汽在喷嘴中高速喷出时，在蒸发器中形成真空，水在其中汽化吸热而实现制冷。适用于需要10~20℃水温的工艺冷却和空调水的制取。因制冷热效率低，蒸汽和冷却水耗量很大，以及运行中噪声大等原因，现已很少应用	170~2090

① 模块化冷水机组最大单机容量可达1040kW (按8片计)。

14.1.2 各种制冷机的优缺点比较

见表14.1-2。

各种制冷机的优缺点比较

表 14.1-2

特点	压 缩 式			吸 收 式
	活 塞 式	离 心 式	螺 杆 式	单效或双效
动力来源	以 电 能 为 动 力			以热能为动力 蒸汽式或热水式 直燃式
制冷剂	R-12、R-22	R-11(高温) R-12、R-22	R-22、R-12	溴化锂
主要优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在空凋制冷范围内(一般压缩比为4左右),其容积效率仍比较高 2. 系统装置较简单 3. 用材为普通金属材料,加工容易,造价低 4. 采用多机头、高速多缸、短行程、大缸径后容量有所增大,性能可得到改善 5. 模块式冷水机组系活塞式的改良型,采用了高效板式换热器,机组体积小,重量轻,噪声低,占地少,采用标准化生产的模块片,可组合成多种容量,调节性能好,部分负荷时的COP保持不变(COP约为3.6)其自动化程度比较高,电脑控制单元模块的启、停,制冷剂为R22,对环境的危害程度小,安装简便。模块式单机容量可达1040kW 	<ol style="list-style-type: none"> 1. COP高,对R-11, 7~12℃冷水、冷却水进口温度为20℃时,可达5.67。改善换热器的传热性能,增加中间冷却器后,理论COP可达6.99 2. 叶轮转速高,压缩机输气量大,单机容量大,结构紧凑,重量轻,相同容量下比活塞式轻40%以上。占地面积小 3. 叶轮作旋转运动,运转平稳,振动小,噪声较低。制冷剂中不混有润滑油,蒸发器和冷凝器的传热性能好 4. 调节方便,在15~100%的范围内能较经济地实现无级调节。当采用多级压缩时,可提高效率10%~20%和改善低负荷时的喘振现象 5. 无气阀、填料、活塞环等易损件,工作比较可靠 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 与活塞式相比,结构简单,运动部件少,无往复运动的惯性力,转速高,运转平稳,振动小。中小型密闭式机组的噪声较低。机组重量轻 2. 单机制冷量较大,由于缸内无余隙容积和吸、排气阀片,因此具有较高的容积效率。单级活塞式压缩比通常不大于10,且容积效率随压缩比的增加急剧下降,而螺杆式容积效率高,压缩比可达10,且容积效率的变化不大。COP高 3. 螺杆式易损件少,零部件仅为活塞式的十分之一,运行可靠,易于维修 4. 对湿冲程不敏感,允许少量液滴入缸,无液击危险 5. 调节方便,制冷量可通过滑阀进行无级调节 6. 制冷剂为R-22的制冷机产品,对臭氧层的程度低,温室效应小 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加工简单,操作方便,制冷量调节范围大,可实现无级调节 2. 运动部件少,噪声低,振动小。溴化锂溶液无毒,对臭氧层无破坏作用 3. 热水式蒸汽式对能源要求不高,可利用余热、废热及其他低品位热能 1. 直燃式吸收式制冷机由于与锅炉结合为一体,减少了许多中间环节,热效率高。与单效蒸汽热水式比较,燃料消耗减少40%。机组可直接供冷和供热。一机两用,占地面积,及运行费用都较少,安全性比锅炉高,没有爆炸要求严格。直燃式在部分负荷下运行时,相对应的热效率不会下降。其调节性能比电制冷优越 2. 吸收式制冷的成本低,占地面积少,机房面积小,且能安装在室外

续表

特点 项目	压 缩 式			吸 收 式	
	活 塞 式	离 心 式	螺 杆 式	蒸 汽 式 或 热 水 式	直 燃 式
主要缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 往复运动的惯性力大, 转速不能太高, 振动较大 2. 单机容量不宜过大 3. 单位制冷量重量指标较大 4. 当单机头机组不变转速时, 只能通过改变工作气缸数来实现跳跃式的分级调节, 部分负荷下的调节特性较差 5. 模块式机组的主要缺点是由于制冷单元的水系统即蒸发器与冷凝器的进、出水没有相应的隔断措施, 不适用于变流量运行(冷媒变流量可节约输送能的25~30%)。水管直径均为$\phi 165 \times 5.5$, 如果采用13片流速将达到4 m/s以上, 因此片数不宜超过8片。模块式的COP只能达3.60左右, 且价格昂贵 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由于转速高, 对材料强度、加工精度和制造质量要求严格 2. R-11高温制冷剂在运行过程中, 低压侧在负压状态下工作, 容易漏入空气影响效率 3. 当运行工况偏离设计工况时效率下降较快。制冷量随蒸发温度降低而减少, 且减少的幅度比活塞式快。制冷量随转速降低而急剧下降 4. 单级压缩机在低负荷下, 容易发生喘振 5. R-11、R-12等制冷剂对臭氧层的破坏作用大, 且目前尚无R-22工质的产品 6. 小型离心式的总效率低于活塞式 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单机容量比离心式小 2. 转速比离心式低。润滑油系统比较庞大和复杂, 耗油量较大。噪声比离心式高(指大容量) 3. 要求加工精度和装配精度高 4. 部分负荷下的调节性能较差, 特别是在60%以下负荷运行时, 性能系数COP急剧下降, 只宜在60%~100%负荷范围内运行(指目前国内机组) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用寿命比压缩式短 2. 耗汽量大, 热效率低。热力系数单效为0.6左右、双效为1.2左右, 直燃式可达1.6左右 如果专门修建锅炉、或扩容以提供制冷机的低位能蒸汽(甚至降压使用)有时一次投资、运行费用虽然比较合算, 但是按热力学有效能理论, 从能源的利用角度出发是不合理的, 因为燃料燃烧所产生的是高温位能量。如果把高温位的蒸汽热能先经过汽轮机进行热电转换, 变成高级能——电能, 把剩余的低温位热能再提供吸收式制冷机利用, 即按质供应较为合理 	
使用范围	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单机容量$< 580 \text{ kW}$ 2. 有电源 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单机容量$> 580 \text{ kW}$ 2. 有电源 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单机容量$< 1160 \text{ kW}$ 2. 有电源 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单机容量在170~3490 kW之间 2. 有余热或废热利用的场合(用电极少) 	

注: 1. 几种制冷剂对臭氧的破坏能力和温室效应。

制 冷 剂	分 子 式	相对臭氧破坏能力 RODP	相对温室效应 RGE	制冷系数COP (指对离心式无中间冷却器的理论值)	备 注
R-11	CFCl_3	1	0.4	6.08	
R-12	CF_2Cl_2	0.9	1	5.63	
R-13	CF_3Cl	0.45	2.4		
R-14	CF_4	0	> 3		
R-22	HCF_2Cl	0.05	0.07	5.54	
R-113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	0.80	0.3~0.8	5.76	
R-114	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	0.60	0.5~1.5	4.84	
R-115	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$	0.32	1~3		
R-502	R-22占48.8% R-115占51.2%	0.19	0.5~1.5		
R-152a	$\text{H}_2\text{C}_2\text{F}_2$	0	< 0.1		
R-142b	$\text{H}_3\text{C}_2\text{F}_2\text{Cl}$	< 0.05	< 0.2		
R-134a	$\text{H}_2\text{C}_2\text{F}_4$	0	< 0.1		

- 我国将对采用R-11、R-12为制冷剂的制冷机，逐步停止生产。中、近期将以R-22作为替代R-12的过渡性制冷剂。现正加速研究新的替代物，如R-123、R-134a等。
- 国外离心式制冷机按COP的大小分为三种类型。
一般型：COP = 4.40
节能型：COP = 4.69
超节能型：COP = 5.02
- 活塞式压缩机按标准冷量大小分为大型：580kW以上，中型：58~580kW和小型：58kW以下。
- 离心式制冷机组系列型谱规定，R-11机组空调冷量以350kW为下限。R-12机组以870kW为下限。

14.1.3 制冷机的经济性比较

见表14.1-3

制冷机的经济性比较

表 14.1-3

比较项目	活 塞 式		螺 杆 式	离 心 式	吸 收 式
	直接膨胀型	冷 水 型			
设备费 (小规模)	A	B	A	D	C
设备费 (大规模)		B	A	D	C
运行费	D	D	C	B	A
容量调节性能	D	D	B	B	A
维护管理的难易	C	B	A	B	D
安装面积	A	B	B	C	D
必要层高	A	B	B	B	C
运转时的重量	A	B	B	C	D
振动和噪声	C	C	B	B	A

注：表中A、B、C、D表示有利至不利的顺序。

14.1.4 制冷机的性能系数 (COP)

见表14.1-4~5

1.井上宇市《空气调节手册》数据

表 14.1-4

类 型	名 称	容 量 (kW)	动 力 消 耗 (kW/kW) 或 (kg/kW·h)	COP		
				二 次 能	一 次 能	
电 动 式	供 冷 用	活 塞 式	69.8~139.5	0.315	3.2	1.12
		螺 杆 式	348.9~1744.2	0.307	3.3	1.16
		离 心 式	697.7~1744.2	0.281	3.6	1.26
	热 泵	离 心 式 (热 回 收)	697.7~1744.2	0.287/0.247	3.5/5.1	1.2 1.8
		空 气 活 塞 式	69.8~139.5	0.353/0.333	2.84/4.0	1.0 1.4
		热 泵 螺 杆 式	348.9~3489	0.301/0.533	3.33/3.1	1.2 1.1

续表

类 型	名 称	容 量 (kW)	动 力 消 耗 (kW/kW) 或 (kg/kW·h)	COP	
				二次能	一次能
吸 收 式	单 效	348.9~3489	2.35 (kg/kW·h)	0.58	0.50
	双 效	同 上	1.38 (kg/kW·h)	1.30	1.11
	燃气直燃冷热水发生器	同 上	0.18 (m ³ /kW·h)	0.97	0.83

注：1.冷水温度：电动式7/12℃，吸收式8/13℃，冷却水入口均为32℃，热泵热水温度为40/45℃。

2.热泵动力消耗栏和COP栏中数据分子表示供冷时的数据，分母表示供暖时的数据。

3.表中COP值均为满载条件下的数据。

4.所谓一次能是指石化燃料（重油、煤油、天然气等）消耗量换算的能。考虑电厂效率为0.39，输配电效率为0.9，总效率为0.351。即1度电在发电厂消耗的燃料的热量为： $860 \times 4.1868 \div 0.351 = 10258 \text{ kJ/kW} \cdot \text{h}$ 。所谓二次能，对电力来说，就是电功率1度电按发热量为3600kJ计的能。

2. 国内外常用水冷制冷机组的性能系数COP值

表 14.1-5

制 冷 机 型 号	制 冷 剂	制 冷 量 (kW)	性 能 系 数 COP	备 注	
国产LSG系列活塞式节能冷水机组	LSG170G	G2006	177	4.35	重 冷 厂
	LSG230G	G2006	232	4.30	
	LSG300G	G2006	339	4.37	
	LSG600G	G2006	679	4.37	
国产FJZ系列活塞式冷水机组	FJZ 175	R-22	175	4.34	上 一 冷 厂
	FJZ 230	R-22	230	4.32	
	FJZ 350	R-22	340	4.24	
	FJZ 450	R-22	455	4.20	
国产HS型离心式冷水机组	HS-13B	R-11	704	4.69	污垢系数: $0.086 \text{ m}^2 \cdot \text{℃} / \text{kW}$ (其中HS-500H·G冷凝器冷却水侧污垢系数为 $0.43 \text{ m}^2 \cdot \text{℃} / \text{kW}$, HS-20CL-A、B、C冷凝器冷却水侧污垢系数为 $0.172 \text{ m}^2 \cdot \text{℃} / \text{kW}$)
	HS-11B	R-11	878	4.88	
	HS-15B	R-11	1055	5.28	
	HS-360H·G	R-11	1268	5.34	
	HS-400H	R-11	1407	5.41	
	HS-500H·G	R-11	1756	5.49	
	HS-600H	R-11	2111	5.48	
	HS-700H	R-11	2460	5.41	
	HS-800H	R-11	2814	5.46	
	HS-19CL	R-11	3338	5.56	
	HS-20C	R-11	3727	5.56	
	HS-20L	R-11	4222	5.56	

续表

制冷机型号	制冷剂	制冷量 (kW)	性能系数 COP		备注		
			标准型	加长型	冷凝器水量L/s	蒸发器水量L/s	
开利半封闭式组合型活塞式冷水机组 30HK型(冷却水温: 30℃/35℃冷水温度 7/12℃。污垢系数: 0.086m ² ·℃/kW)	040	R-22	112		3.46	3.34~10.1	3.34~10.0
	050	R-22	149		3.37	4.17~13.0	4.17~12.5
	060	R-22	160		3.40	5.00~14.8	5.00~15.0
	080	R-22	223		3.45	6.67~20.5	4.67~20.0
	100	R-22	295		3.83	9.17~27.5	8.34~25.0
	120	R-22	335		3.45	10~33.3	10.0~30.0
特灵RTHA系列螺 杆式冷水机组(标 准型、加长型)	130	R-22	标准 328 加长 342		标准型 4.29 加长型 4.62		
	150	R-22	387 405		4.20 4.56		
	180	R-22	486 510		4.18 4.55		
	215	R-22	559 584		4.33 4.68		
	255	R-22	706 740		4.46 4.84		
	300	R-22	770 805		4.50 4.85		
开利封闭型离心 式冷水机组(单筒) 19DK	44	R-11	460		4.18	冷凝器进出水温度32~37℃ 蒸发器进出水温度12~7℃ 冷凝器水流量:145.2m ³ /h 蒸发器水流量121.2m ³ /h 污垢系数:0.088m ² ·℃·kW	
	55	R-11	686		4.64		
	63	R-11	974		4.68		
	73	R-11	1437		4.80		
	78	R-11	1619		4.78		
特灵三级压缩离 心式冷水机组 CVHE	300	R-123, R-11	949			备注同上	
	330	R-123, R-11					
	370	R-123, R-11					
	420	R-123, R-11					
	470	R-123, R-11					
	530	R-123, R-11			标准型5.02		
	590	R-123, R-11			加长型5.76		
	660	R-123, R-11					
	740	R-123, R-11					
	830	R-123, R-11					
930	R-123, R-11						
1040	R-123, R-11	3868					
约克Codepak离 心式冷水机组	150	R-11	527		一般 5.07~5.43 低能耗 5.55~5.74	开式电机	
	175	R-11	615		5.17~5.50 5.59~5.86		
	200	R-11	703		5.21~5.54 5.76~6.10		
	225	R-11	791		5.17~5.46 5.69~6.04		
	250	R-11	879		5.05~5.43 5.63~5.86		
	275	R-11	967		5.14~5.40 5.63~5.82		
	300	R-11	1055		4.95~5.33 5.64~6.03		
	325	R-11	1143		5.01~5.49 5.55~5.92		

续表

制冷机型号		制冷剂	制冷量 (kW)	性能系数 COP		备注
约克Codepak 离心式冷水机组	350	R-11	1231	一般 5.07~5.67	低能耗 5.75~6.25	开式电机
	400	R-11	1406	5.15~5.64	5.74~6.22	
	450	R-11	1582	5.26~5.53	5.65~6.34	
	500	R-11	1758	5.22~5.86	5.96~6.42	
	550	R-11	1934	5.36~5.75	5.81~6.32	
	600	R-11	2110	5.37~5.65	5.86~6.22	
	650	R-11	2286	5.23~5.52	5.67~6.21	
	700	R-11	2461	5.32~5.49	5.82~6.16	
	750	R-11	2637	5.23~5.72	5.83~6.19	
	800	R-11	2813	5.17~5.55	5.67~5.89	
	850	R-11	2989	5.07~5.49	5.61~5.79	
	900	R-11	3165	4.92~5.40	5.43~5.64	
950	R-11	3340	5.30	5.38		
约克YCWT18型活塞式冷水机组	R-22	853	4.07		冷凝器: 进出水温度 35/26.7℃ 水流量0.0359~ 0.0717kg/kW·s 蒸发器: 进出水温度 12.2/7.8℃ 进出水温差: 3.3~7.8℃ 污垢系数: 0.088m ² ·K/kW	
约克MD-3B3型吸收式冷水机组	LiBr	1143	(热力系数ε) 1.51			
模块化冷水机组	R-22	65~1690	3.60		污垢系数: 0.044m ² ·K/kW	
8FS-12.5	R-22		4.95		上海冷气机厂改进后	

14.1.5 制冷机的调节性能

1. 国产制冷机调节性能(见图14.1-1)
2. 常用进口制冷机调节性能(见图14.1-2)

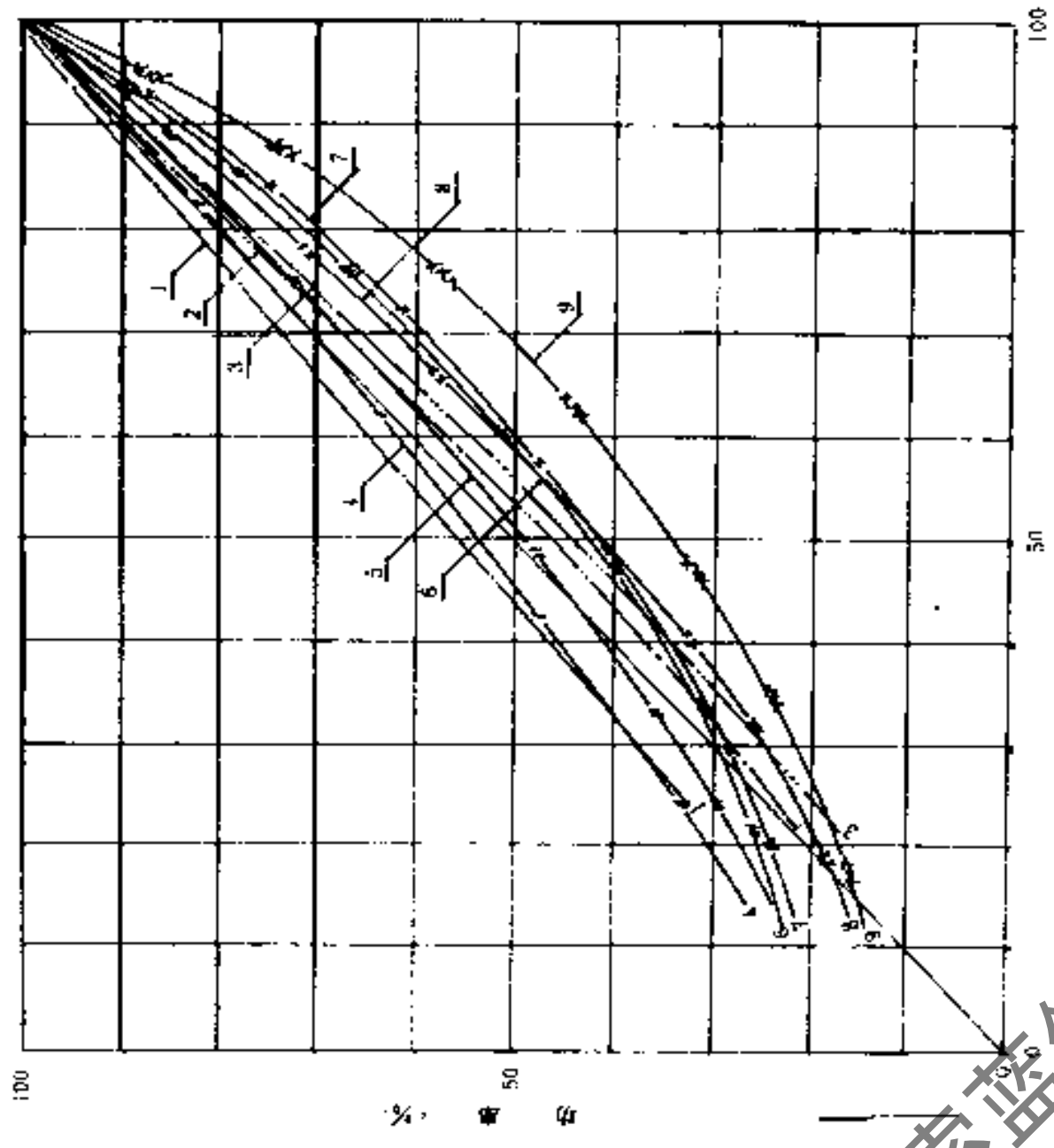


图 14.1-2 常用进口制冷机部分负荷特性

- 1 - 离心式
 - 2 - 单效吸收式 } (日) 井上宇市 { 冷却水入口温度 32℃
吸收式 7℃
 - 3 - 双效吸收式
 - 4 - 特灵单级开式离心式 (R-11)
 - 5 - 特灵单级闭式离心式 (R-11)
 - 6 - 开利 19DK63 离心式 (R-11)
 - 7 - 特灵单级离心式叶轮调节 (R-11)
 - 8 - 特灵双级离心式直联 (R-11)
 - 9 - 特灵螺杆式 (R-22)
- 冷却水温度 32℃/37℃
冷却水温度 12℃/7℃

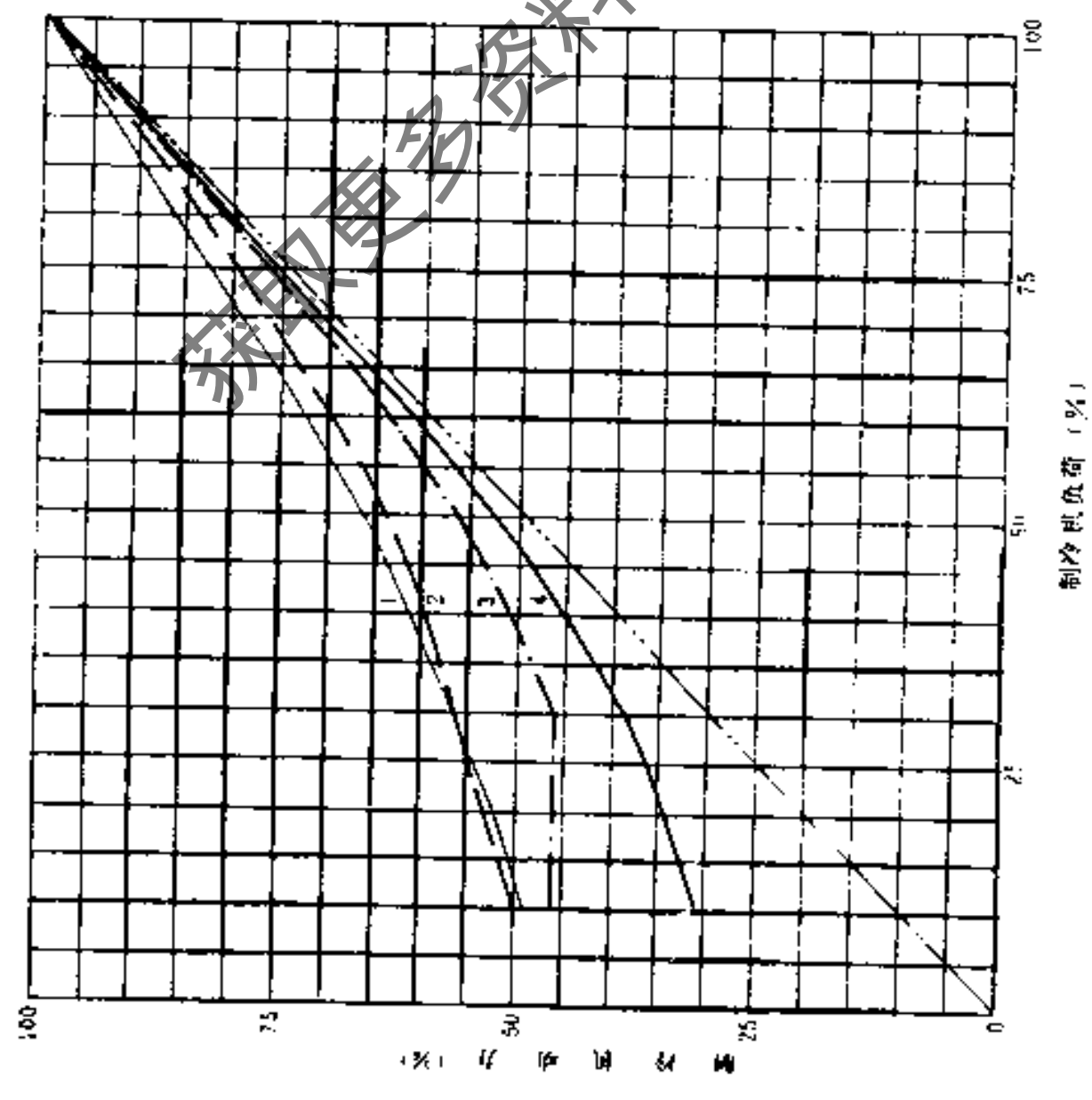


图 14.1-1 国产制冷机部分负荷特性

- 1 大连冷冻机厂螺杆 A20C, 15℃/40℃ 容积比 5
- 2 武汉冷冻机厂螺杆
- 3 一般离心式冷冻机 (冷却水出水温度 35℃)
- 4 重通日立离心式 (冷却水入口温度 32℃)

14.1.6 制冷机组全年运行能耗计算

在制冷机总容量和运行时间一定时,全年运行能耗的多少取决于所选制冷机的类型、单机容量、台数、不同机型不同容量机组的搭配方式等。但是上述设备选型方案,则应根据各类制冷机满负荷下的性能系数和部分负荷下的调节特性,结合用户全年空调负荷分布规律、空调运行负荷率及其时间频率等加以拟订。

全年运行能耗的计算,是设备选择中多方案比较不可缺少的一个重要步骤。

1. 制冷机全年能耗量 M (kW·h),按下式计算

$$M = \frac{\sum q_i \cdot t_i}{C_i} \cdot Q \cdot T \quad \text{kW} \cdot \text{h} \quad (14.1-1)$$

式中 q_i —— 制冷机运行负荷率 (%) ;

t_i —— 制冷机运行部分负荷时与 q_i 对应的时间频率 (%) ;

C_i —— 部分负荷下对应于 q_i 的性能系数 (kW/kW) ;

$$C_i = C \cdot \phi_i \quad (14.1-2)$$

C —— 满负荷时制冷机的性能系数 (kW/kW),见表14.1-5;

ϕ_i —— 部分负荷时制冷机的特性系数,查图14.1-1;

$$\phi_i = \frac{q_i}{n_i}$$

n_i —— 对应于 q_i 的轴功率百分率 (%) ;

Q —— 制冷机额定制冷量 (kW) ;

T —— 制冷机全年运行时间 (h)。

2. 制冷机全年平均能耗指标 C_p , kW/kW: 即全年平均单位冷量消耗的轴功率

$$C_p = \frac{\sum q_i \cdot t_i / C_i}{\sum q_i \cdot t_i} \quad \text{kW/kW} \quad (14.1-3)$$

C_p 值可作为评价制冷机性能的依据。

$$\text{全年能耗量 } M = C_p \cdot Q \cdot T \cdot \sum q_i \cdot t_i \quad \text{kW} \cdot \text{h} \quad (14.1-4)$$

式中符号同前。

注:美国制冷学会ARI-550标准中提出综合耗电指标,表示全年总能量消耗,以IPLV表示:

$$\text{IPLV} = 0.05A + 0.30B + 0.40C + 0.25D \quad (14.1-5)$$

$$\text{或IPLV} = 0.1 \frac{(A+B)}{2} + 0.5 \frac{(B+C)}{2} + 0.3 \frac{(C+D)}{2} + 0.1D \quad (14.1-6)$$

式中 A —— 100%负荷时的耗电量 (kW/Rt) ;

B —— 75%负荷时的耗电量 (kW/Rt) ;

C —— 50%负荷时的耗电量 (kW/Rt) ;

D —— 25%负荷时的耗电量 (kW/Rt)。

美国ARI-550标准中提出的综合耗电指标IPLV,只考虑了负荷频率分布的权重,而没有考虑负荷率本身的权重。本章中提出的制冷机全年平均能耗指标 C_p 值,则考虑了两者的综合权重系数,能比较全面的反映制冷机全年运行过程中的平均能耗水平,即每kW制冷量所消耗的轴功率kW数。

14.2 活塞式制冷机

14.2.1 活塞式制冷机的分类、基本参数和型号表示方法

1. 活塞式制冷机的分类

空调用活塞式制冷机为中、小型活塞式单级制冷压缩机和压缩机组，若制冷机与冷凝器、蒸发器等辅助部件组装成整体设备则称为冷水机组。

中型机组适用于R12、R22、R502、R717等制冷剂，气缸直径为70~170mm；

小型机组适用于R12、R22、R502等制冷剂，配用功率不小于0.37kW，气缸直径小于70mm。

2. 中、小型活塞式单级制冷压缩机的基本参数

中、小型活塞式单级制冷压缩机的基本参数见表14.2-1、表14.2-2。

中型压缩机基本参数

表 14.2-1

类别	缸径 (mm)	行程	转速范围 (r/min)	缸数	容积排量 (8缸)			
					最高转速 (r/min)	排量 (m ³ /h)	最低转速 (r/min)	排量 (m ³ /h)
半封闭式	70	70	1800~1000	2、3、4、6、8	1800	232.6	1000	129.2
		55				182.6		101.5
开启式	100	100	1500~750	2、4、6、8	1500	565.2	750	282.6
		80				452.2		226.1
	125	110	1200~600	2、4、6、8	1200	777.2	600	388.6
		100				706.5		353.3
170	140	1000~500	1000	1524.5	500	762.3		

注：表14.2-1~15均按(GB10871~10876-89)。

小型压缩机基本参数

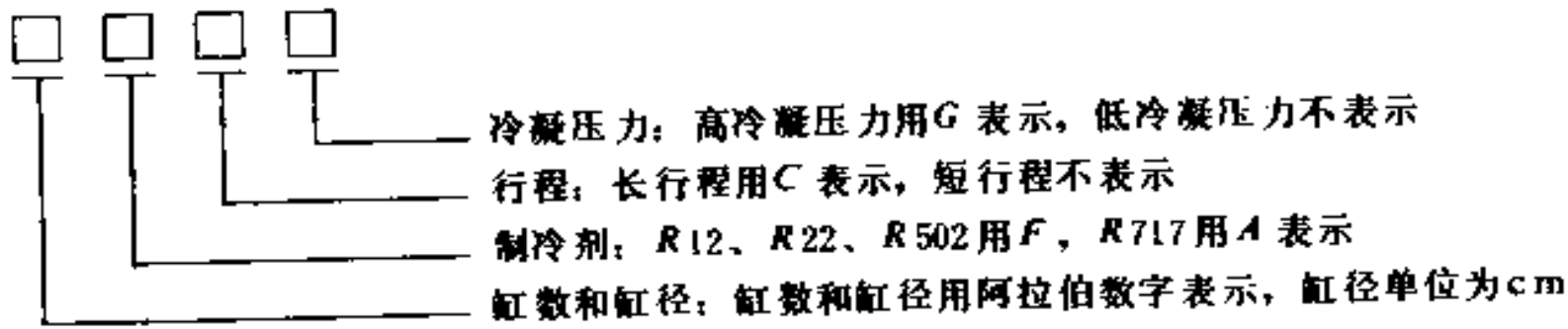
表 14.2-2

类别	缸径 (mm)	转速范围 (r/min)
半封闭式	30、40、50、60	600~1500
开启式	50、60	

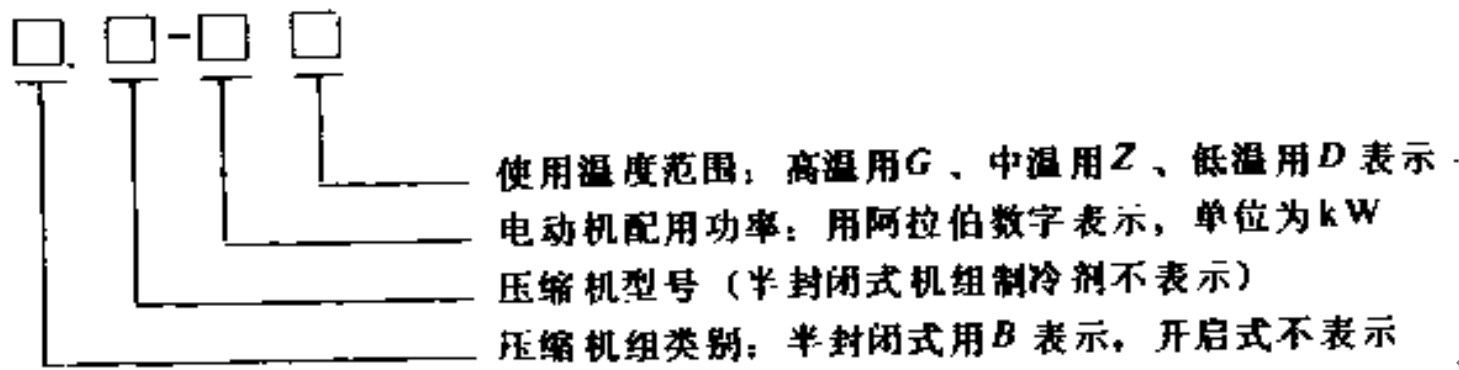
3. 中、小型活塞式单级制冷压缩机的型号表示方法

(1) 中型压缩机和压缩机组表示方法

a. 压缩机型号表示方法



b. 压缩机组型号表示方法



(2) 型号标记示例

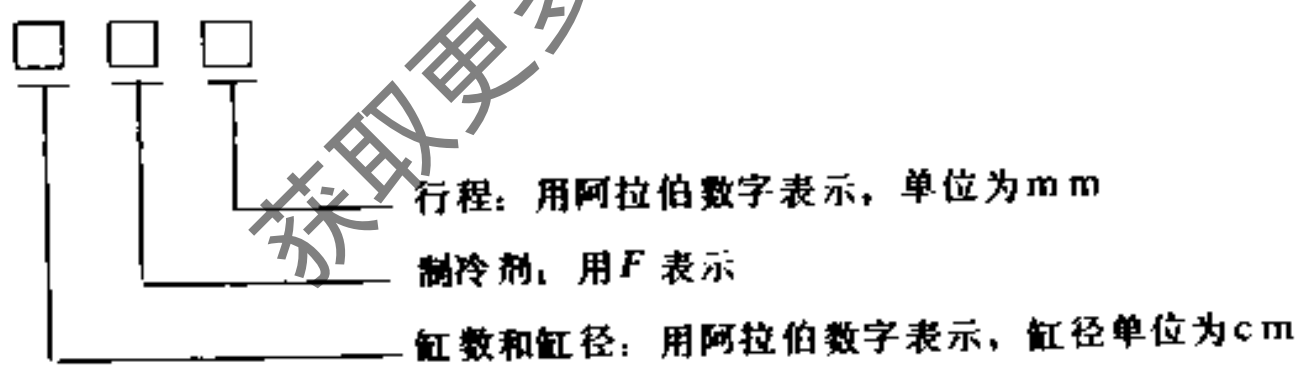
①812.5ACG：表示8缸扇形角度式布置，气缸直径125mm，制冷剂为R717，行程为110mm的高冷凝压力压缩机。

②B47-13Z：表示4缸扇形（或V形）角度式布置，气缸直径70mm，制冷剂为氟利昂，行程55mm，配用电动机功率为13kW，中温用，低冷凝压力半封闭式压缩机组。

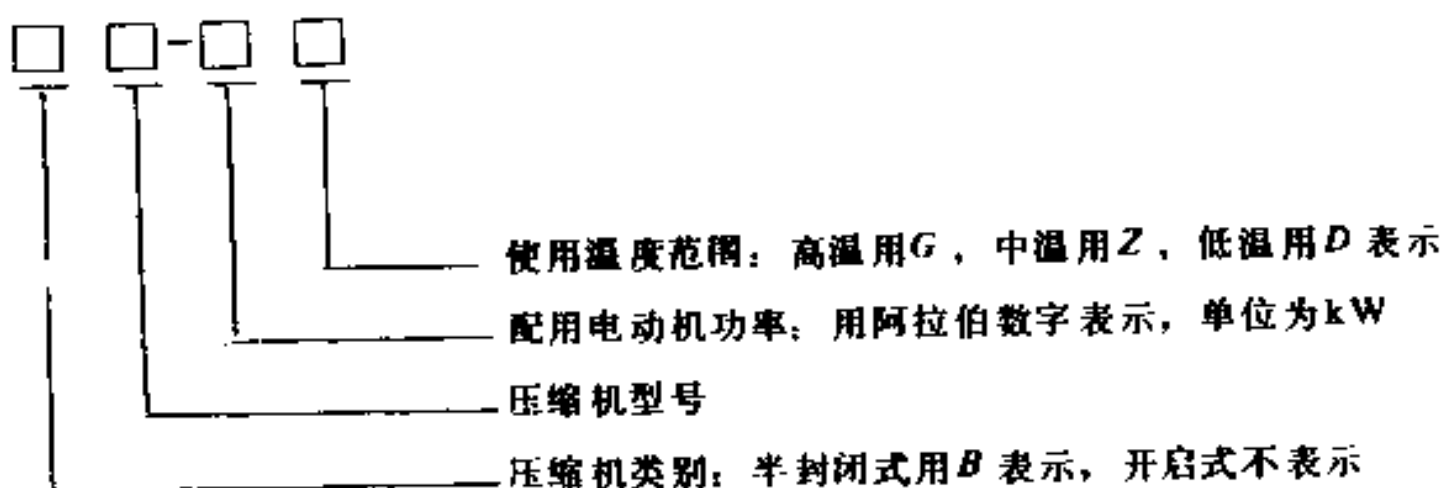
③610FG-75G：表示6缸W形角度式布置，气缸直径100mm，制冷剂为氟利昂，行程80mm，配用电动机功率75kW，高温用，高冷凝压力的开启式压缩机组。

(3) 小型压缩机和压缩机组表示方法

a. 压缩机型号表示方法



b. 压缩机组型号表示方法



(4) 型号标记示例

①25F44: 表示2缸, 50mm缸径, 使用氟利昂制冷剂, 44mm行程的压缩机。

②B25F44-3.7G: 表示2缸, 50mm缸径, 使用氟利昂制冷剂, 44mm行程, 配用电动机功率为3.7kW的高温用半封闭式压缩机组。

③25F44-2.2D: 表示2缸, 50mm缸径, 使用氟利昂制冷剂, 44mm行程, 配用电动机功率为2.2kW的低温用开启式压缩机组。

14.2.2 中、小型活塞式单级制冷压缩机的工况、设计使用条件及气缸布置形式

1. 名义工况和考核工况

名义工况即铭牌工况。在此工况下的压缩机和压缩机组性能, 适用于相同条件下(转速、电压、频率等)的所有同型号压缩机和压缩机组。

考核工况即产品性能指标。在此工况下的压缩机和压缩机组按规定条件(转速、电压、频率等)进行试验, 并作为性能比较的基准性能工况。

压缩机和压缩机组的名义工况、考核工况、考核工况值见表14.2-3~14.2-10。其中, 表14.2-7~8仅列出了缸数较多的压缩机组性能, 其它缸数较少的压缩机组性能按表14.2-11修正。

中型压缩机和压缩机组名义工况

表 14.2-3

使用温度	制冷剂	吸入压力饱和温度 (°C)	吸入温度 (°C)	排出压力饱和温度		制冷剂液体温度	
				低冷凝压力时 (°C)	高冷凝压力时 (°C)	低冷凝压力时 (°C)	高冷凝压力时 (°C)
高温	R12 R22	7	18	43	55	38	50
中温	R12 R22		1	35	—	30	—
	R717				—		—
低温	R12 R22 R502	-23	5		55		50
	R717		-15		—		—

小型压缩机和压缩机组名义工况

表 14.2-4

使用温度范围	制冷剂	吸入压力饱和温度 (°C)	吸入温度 (°C)	排出压力饱和温度 (°C)	制冷剂液体温度 (°C)
高温	R12	7	18	49	44
	R22				

续表

使用温度范围	制冷剂	吸入压力饱和温度 (℃)	吸入温度 (℃)	排出压力饱和温度 (℃)	制冷剂液体温度 (℃)
中 温	R12	- 7	18	43	38
	R22				
低 温	R12	- 23	5	43	38
	R22				
	R502				

中型压缩机和压缩机组考核工况

表 14.2-5

使用温度	制冷剂	吸入压力 饱和温度 (℃)	吸 入 温 度 (℃)	排出压力饱和温度		制冷剂液体温度	
				低冷凝压力时 (℃)	高冷凝压力时 (℃)	低冷凝压力时 (℃)	高冷凝压力时 (℃)
高 温	R12、R22	5	15	40	50	35	45
中温低温	R12、R22	- 15		15	30	—	
	R502		- 10				—
	R717			- 10	—	—	

小型压缩机和压缩机组考核工况

表 14.2-6

使用温度范围	制冷剂	吸入压力饱和温度 (℃)	吸入温度 (℃)	排出压力饱和温度 (℃)	制冷剂液体温度 (℃)
高 温	R12	5	15	40	35
	R22				
中 温	R12	- 15	15	30	25
	R22				
低 温	R12	- 15	15	30	25
	R22				
	R502				

表 14.2-7

中型开启式压缩机组考核工况值

制冷剂	使用温度范围	缸径	行程	缸数	R717				R12				R22												
					转速 (r/min)	考核制冷量 (kW)	单位轴功率 (kW/kW)	单位制冷量 (kg/kW)	转速 (r/min)	考核制冷量 (kW)	单位轴功率 (kW/kW)	单位制冷量 (kg/kW)	转速 (r/min)	考核制冷量 (kW)	单位轴功率 (kW/kW)	单位制冷量 (kg/kW)									
低 冷 凝 压 力	高 温	70	70	4	1440	39.2	3.47	6.0	1160	47.2	3.20	9.5	720	1027	5.27	3.6									
			8	78.6													3.8	6.4	3.44	6.2					
		100	55	4	1440	30.6	3.43	6.9	1160	18.4	3.12	11.4	7.7	960	470	5.10	2.2								
			8	61.2														4.6	7.0	3.27	4.7				
			110	231.5														3.47	3.3	112	3.23	7.0	179.4	3.43	4.1
			100																						
	中 低 温	125	110	8	1160	324	3.49	4.3	960	161	3.23	8.7	258	3.43	5.2										
			100													295.5	4.6	9.2	3.43	5.7					
		170	140	8	960	682	3.60	5.5	720	307	3.28	11.6	7.1	493	3.55	7.1									
			100	231.5													3.47	3.3	112	3.23	7.0	179.4	3.43	4.1	
			80																						185.5
			100	295.5													4.6	9.2	3.43	5.7					

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

冷凝压力	使用温度范围	缸径	行程	缸数	R717				R12				R22			
					转速 (r/min)	考核工况制冷量 (kW)	单位轴功率制冷量 (kW/kW)	单位制冷量 (kg/kW)	转速 (r/min)	考核工况制冷量 (kW)	单位轴功率制冷量 (kW/kW)	单位制冷量 (kg/kW)	转速 (r/min)	考核工况制冷量 (kW)	单位轴功率制冷量 (kW/kW)	单位制冷量 (kg/kW)
高冷凝压力	高温	70	70	4				42.6	3.66	5.6	67.6	4.07	3.5			
				8			85		3.6		135.5		2.3			
		70	55	4			33.2	3.56	6.3	53	3.97	4.0				
				8			66.2		4.3	105.5		2.7				
		100	100	8	1160	208.5	3.68	3.8	323	4.12	2.4					
					1440	207.5	3.60	3.8	320	3.95						
	125	110	8	960	299.5	3.88	4.7	464	4.12	3.0						
				1440	272.5		5.1	423		3.3						
	中低温	70	70	4			16.4	1.98	14.1	26	2.15	9.1				
				8			32.6		8.9	52.2		5.7				
		70	55	4			25.5	1.92	16.0	20.5	2.12	10.3				
				8			80.2	2.03	9.2	41.2		6.9				
100		100	8	1160	79.8	1.92		124	2.15	6.0						
				1440	115		11.7	178	2.21	7.6						
125	110	8	960	105		12.1	162		7.8							

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

表 14.2-8

中型半封闭式压缩机组考核工况值

制冷剂	使用温度范围	缸径 (mm)	行程 (mm)	缸数	转速 (r/min)	R12		R22		R502				
						考核工况 制冷量 (kW)	单位输入 功率制冷量 (kW/kW)	单位制冷量 重量 (kg/kW)	考核工况 制冷量 (kW)	单位输入 功率制冷量 (kW/kW)	单位制冷量 重量 (kg/kW)	考核工况 制冷量 (kW)	单位输入 功率制冷量 (kW/kW)	单位制冷量 重量 (kg/kW)
低 冷 凝 压 力	高 温	70	70	4	1440	22.9	2.83	13.4	36	3.09	9.1	38	3.13	8.7
				8		45.8	9.4	72	6.4	6.1	75.8	6.1		
				4		18	16.1	28.4	10.9	10.4	29.9	10.4		
				8		36	11.3	56.7	7.7	59.8	7.3			
	中 低 温	70	70	4	1440	41	2.67	8.9	66.4	6.2	6.2	4.4	4.4	
				8		82	6.3	132.8	4.4	4.4				
				4		32.4	10.7	50.4	7.5	7.5	7.5	7.5		
				8		64.6	7.5	100.5	5.2	5.2	5.2	5.2		
		高 冷 凝 压 力	中 低 温	70	70	1440	14.8	1.63	20.8	23.3	1.74	14.1	9.9	16.9
							8	29.5	14.6	46.6	9.9	9.9	9.9	9.9
							4	11.6	25	18.3	16.9	16.9	16.9	16.9
							8	23.3	17.5	36.6	11.9	11.9	11.9	11.9

小型半封闭式压缩机考核工况值

表 14.2-9

配用电动机 功率 (kW)	R12				R22				R502	
	中、低温		高温		中、低温		高温		中、低温	
	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)
0.37	0.87	2.33	—	—	0.92	2.38	—	—	0.97	2.41
0.55	1.29	2.49	1.84	3.45	1.35	2.55	2.13	3.49	1.41	2.60
0.75	1.82	2.62	2.59	3.67	1.87	2.69	2.91	3.77	1.97	2.73
1.10	2.54	2.69	3.78	3.78	2.69	2.77	4.35	3.88	2.87	2.80
1.50	3.45	2.73	5.10	3.78	3.70	2.77	5.88	3.88	3.90	2.80
2.20	4.51	2.78	7.51	3.86	5.44	2.83	8.75	3.96	5.84	2.85
3.00	6.87	2.81	10.23	3.92	7.38	2.86	11.88	4.01	7.69	2.92
3.70	8.75	2.84	12.75	3.96	9.16	2.88	14.00	4.04	9.75	2.94
4.00	9.24	2.84	13.54	3.96	9.88	2.88	15.62	4.04	10.39	2.94
4.50	10.40	2.84	15.35	3.97	10.93	2.88	17.71	4.04	11.57	2.94
5.50	12.75	2.87	18.75	4.00	13.29	2.93	21.11	4.07	13.87	2.96
7.50	16.88	2.93	25.81	4.05	18.14	2.94	28.75	4.14	23.11	2.99
9.00	—	—	30.75	4.05	21.88	2.94	36.24	4.14	23.11	3.00
11.0	—	—	—	—	26.77	2.98	43.23	4.16	27.63	3.02
13.0	—	—	—	—	—	—	51.08	4.16	—	—
15.0	—	—	—	—	—	—	58.06	4.20	—	—

小型开启式压缩机考核工况值

表 14.2-10

配用 电动机 功率 (kW)	折 算 系 数	R12				R22				R502	
		中、低温		高 温		中、低温		高 温		中、低温	
		制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)	制冷量 (kW)	单位功率 制冷量 (kW/kW)
0.55	1.10	1.15	2.46	—	—	1.29	2.50	—	—	1.01	2.56
0.75	1.37	1.67	2.60	3.01	3.76	1.82	2.67	—	—	1.42	2.74
1.10	1.31	2.42	2.71	4.24	3.83	2.65	2.76	4.21	3.89	2.00	2.79
1.50	1.29	3.34	2.77	5.73	3.91	3.82	2.83	5.82	3.97	2.93	2.85
2.20	1.26	4.93	2.88	8.77	4.04	5.41	2.91	8.36	4.08	3.96	2.95
3.00	1.24	6.61	2.93	11.79	4.11	7.29	2.95	11.69	4.16	5.94	3.00
4.00	1.21	9.55	2.98	15.72	4.20	9.87	3.01	15.89	4.27	8.01	3.06
5.50	1.19	12.42	3.05	21.32	4.32	13.60	3.11	22.44	4.39	10.82	3.17
7.50	1.17	16.31	3.12	28.59	4.35	18.60	3.15	28.85	4.42	14.92	3.19
11.0	1.16	—	—	—	—	27.21	3.20	43.01	4.49	20.45	3.24
15.0	1.15	—	—	—	—	—	—	50.98	4.53	—	—

注：1. 表中单位功率制冷量指直联电动机传动值，当为带传动时，传动效率按96.5%计算。

2. 开启式和半封闭式压缩机均按电动机输入功率计算。试验时应测定带配套电动机的输入功率，在需要对开启式压缩机单独进行考核时，允许将表中的单位功率制冷量乘以折算系数，作为单位轴功率制冷量指标进行考核。

中型压缩机考核值修正系数

表 14.2-11

缸 数	制 冷 量 (kW)	单 位 功 率 制 冷 量 (kW/kW)		单 位 制 冷 量 重 量 (kg kW)
		开 启 式	半 封 闭 式	
8	1	1	1	不做规定
6	0.66	0.995	0.99	
4	0.49	0.99	0.98	
3	0.32	0.98	0.97	
2	0.24	0.98	0.96	

2. 设计使用条件

中、小型活塞式单级制冷压缩机的设计和使用条件见表14.2-12、13。

3. 气缸布置形式

中、小型活塞式单级制冷压缩机的气缸布置形式见表14.2-14、15。

中型压缩机设计和使用条件

表 14.2-12

项 目	R717	R12		R22		R502
		高冷凝压力	低冷凝压力	高冷凝压力	低冷凝压力	
最高排气压力饱和温度 (°C)	46	60	49	60 ^①	49	
最大压力差 (MPa)	1.6	1.4		1.8	1.6	1.8
最高吸气压力饱和温度 (°C)	5	10				10
最高排气温度 (°C)	150	125		145		
使用温度范围 (°C)	高 温	10 ~ -10				
	中 温	5 ~ 15	0 ~ -10			
	低 温	-10 ~ -30			-10 ~ 35	10 ~ 40

① 中温时最高排气压力饱和温度为55°C。

小型压缩机设计和使用条件

表 14.2-13

项 目	R12	R22	R502
最高排气压力饱和温度 (°C)	60	60 ^①	49
最大压力差 (MPa)	1.4	1.8	1.8
最高吸气压力饱和温度 (°C)	10	10	10
最高排气温度 (°C)	125	145	145
使用温度范围 (°C)	高 温	10 ~ -10	
	中 温	0 ~ -10	
	低 温	10 ~ 30	-10 ~ -35

① 当使用于中温时为55°C；使用于低温时为49°C。

小型压缩机的气缸布置形式

表 14.2-14

缸 数	2	3	4
型 式	直 立 式	直 立 式 W形角度式	V形角度式

中型压缩机的气缸布置形式

表 14.2-15

气缸直径 mm	缸 数				
	2	3	4	6	8
70 100 125 170	V形角度式 或直立式	W形角度式	扇形或 V形角度式	W形角度式	扇形角度式
			V形角度式		

14.2.3 活塞式制冷机的选择计算

单级制冷压缩机及辅助设备的选择计算

项 目	公 式	备 注
(1) 制冷工况的确定 a. 蒸发温度 t_2 (°C)	(a) 采用壳管式、螺旋管式或立式列管式蒸发器时 (有载冷剂) $t_2 = t_2 - (1 \sim 6)$ (14.2-1) (b) 采用直接蒸发表面式空气冷却器时 $t_2 = t_2 - (8 \sim 10)$ (14.2-2)	公式中物理量的名称及单位符号见表 14.2-16, 以下同 此时空气冷却器中空气的对数平均温差约为 12~13°C。为了防止空气冷却器换热表面结冰, 蒸发温度不得低于表 14.2-17 中所列的数值。
b. 冷凝温度 t_1 (°C)	(a) 采用水冷却的冷凝器时 $t_1 = \frac{t_{s1} + t_{s2}}{2} + (5 \sim 7)$ (14.2-3) (b) 采用风冷式冷凝器或蒸发式冷凝器时 $t_1 = t_2 + (5 \sim 10)$ (14.2-4)	
(2) 计算冷负荷 Q_j (kW)	$Q_j = A Q_{y2}$ (14.2-5)	直接蒸发式系统 $A = 1.05 \sim 1.07$; 间接式系统 $A = 1.10 \sim 1.15$
(3) 压缩机的选择计算 a. 压缩机制冷量 Q (kW)	(a) 压缩机在设计工况下的制冷量 Q_{y1} $Q_{y1} = V_p q_v \lambda$ (14.2-6) 对于单作用压缩机的理论排气量 (m^3/h) $V_p = \frac{\pi}{4} D^2 S n z 60$ (14.2-7) (b) 已知在压缩机标准工况下的制冷量 Q , 求设计工况下的制冷量 Q_{y1} $Q_{y1} = K_1 Q$ (14.2-8) (c) 已知在压缩机某一种制冷工况下的制冷量, 求设计工况下的制冷量 Q_1 $Q_1 = Q_2 \frac{q_{v1} \lambda_1}{q_{v2} \lambda_2}$ (14.2-9)	λ 查表 14.2-18、19 K_1 查表 14.2-20、21
b. 压缩机及电动机功率 N (kW)	(a) 理论功率 N_t (kW) $N_t = G W$ (14.2-10) (b) 指示功率 N_{zs} (kW) $N_{zs} = \frac{N_t}{\eta_{zs}}$ (14.2-11) (c) 摩擦功率 N_m (kW) $N_m = \frac{V_p P_m}{3.672}$ (14.2-12) (d) 压缩机轴功率 N_y (kW) $N_y = N_{zs} + N_m = \frac{N_{zs}}{\eta_j}$ (14.2-13)	η_{zs} 值见表 14.2-22、23 立式和 V 型氨压缩机, $P_m = 0.05 \sim 0.07$ 氟利昂压缩机, $P_m = 0.035 \sim 0.065$ $\eta_j = 0.8 \sim 0.9$

项 目	公 式	备 注
(e) 电机轴功率 N_z (kW)	$N_z = \frac{N_y}{\eta_c} = \frac{N_{zs} + N_m}{\eta_c} \quad (14.2-14)$	压缩机与电动机直接传动时, $\eta_c = 1$; 压缩机与电动机用三角皮带传动时, $\eta_c = 0.97 \sim 0.98$
(f) 配套电机功率 N (kW)	$N = (1.10 \sim 1.15) N_z \quad (14.2-15)$	
c. 压缩机气缸套冷却水量的确定 G_s (kg/s)	$G_s = \frac{N_y \zeta}{4.187 \Delta t} \quad (14.2-16)$	冷却水量的数据, 一般由制造厂家提供。 在缺少资料时, 对于氨和氟利昂-22压缩机的冷却水量, 一般可按活塞行程容积计算, 即每 1 m^3 活塞容积需冷却水约 5 kg $\Delta t = 5 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$
(4) 冷凝器的选择计算		
a. 水冷式冷凝器的选择计算		
(a) 冷凝器的热负荷 Q_i (kW)	$Q_i = Q_c + N_{zs} \quad (14.2-17) \text{ 或简化为}$ $Q_i = \varphi Q_c \quad (14.2-18)$	见图 14.2-1
(b) 冷凝器传热面积 F (m^2)	$F = \frac{Q_i}{K \Delta t_d} = \frac{Q_i}{q} \quad (14.2-19)$	K 、 q 值见表 14.2-24
	其中, 对数平均温差 Δt_d ($^\circ\text{C}$) $\Delta t_d = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2.3 \log \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{t_2 - t_1}{2.3 \log \frac{t_1 - t_1}{t_1 - t_2}} \quad (14.2-20)$	
	算术平均温差 Δt ($^\circ\text{C}$) 或 $\Delta t = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = t_1 - \frac{t_1 - t_2}{2} \quad (14.2-21)$	当计算要求不严格, Δt_1 和 Δt_2 相差不到一倍时, 对数平均温差可用算术平均温差代替
(c) 冷凝器冷却水量 G_i (kg/s)	$G_i = \frac{Q_i}{c(t_{s1} - t_{s2})} \quad (14.2-22)$	普通淡水 $c = 4.187 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ 海水 $c = 4.313 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ 冷凝器、过冷器单位面积冷却水用量见表 14.2-25
(d) 冷凝器冷却水的阻力 ΔP (Pa)		
卧式壳管式	$\Delta P = \lambda_m Z \frac{l}{d_n} \frac{v^2 \rho}{2} + \sum \zeta \frac{v^2 \rho}{2} \quad (14.2-23)$	
	其中, 冷却水流速 v (m/s) $v = \frac{G_i Z}{3600 \frac{\pi}{4} d_n^2 n} \quad (14.2-24)$	
螺旋板式	$\Delta P = \left(0.02 + \frac{0.0018}{\sqrt{v d_e}} \right) \frac{L_1}{d_e} \frac{v^2 \rho}{2} \quad (14.2-25)$	
立式		由于冷却水由顶部靠重力自流, 沿管壁直通流过, 故不进行阻力计算
b. 风冷式冷凝器的选择计算		
(a) 风冷式冷凝器的传热面积 F_i (m^2)	$F_i = \frac{Q_i}{K_i \Delta t_d} = \frac{Q_i}{q_i} \quad (14.2-26)$	K_i 查表 14.2-24
(b) 风冷式冷凝器风量 G (kg/h)	$G = \frac{Q_i}{c_p(t_2 - t_1)} \times 3600 \quad (14.2-27)$	一般取 $c_p = 1 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$
(c) 风冷式冷凝器空气侧的阻力 ΔP (Pa)	错排管束: $\Delta P = 1.35 N \left(\frac{h}{d_w} \right)^{0.45} \left(\frac{l}{d_w} \right)^{-0.72} \times \text{Re}^{-0.24} \frac{v^2 \rho}{2} \quad (14.2-28)$	当 $\text{Re} = 10^4 \sim 6 \times 10^4$ 和 $\frac{S_1}{d} = \frac{S_2}{d} = 2$ 时

项 目	公 式	备 注
<p>c. 蒸发式和淋激式冷凝器的选择计算</p> <p>(a) 冷凝器传热面积 F (m^2)</p> <p>(b) 冷凝器空气量的选择</p> <p>(c) 冷凝器循环喷淋水量和补充水量</p>	<p>顺排管束:</p> $\Delta P = 0.094 N \left(\frac{h}{d_w} \right)^{0.50} \left(\frac{l}{d_w} \right)^{-0.58} \frac{v^2 \rho}{2} \quad (14.2-29)$ $F = \frac{Q_c}{K \Delta t_d} = \frac{Q_c}{q} \quad (14.2-30)$ <ul style="list-style-type: none"> • 按冷凝器冷凝面积, 即每 m^2 冷凝面积需空气量 $300 \sim 340 m^3/h$。 • 按每传递 $1.163 kW$ 热量所需的空气量, 即当室外空气湿球温度在 $20 \sim 28^\circ C$ 时, 需空气量为 $100 \sim 160 m^3/h$。当室外空气湿球温度高于 $28^\circ C$ 时, 还应加大。 • 按冷凝器冷凝面积, 每 m^2 冷凝面积需喷淋水量 $120 \sim 160 kg/h$。 • 按每传递 $1.163 kW$ 热量需喷淋水量 $40 \sim 70 kg/h$。 • 补充水量为循环喷淋水量的 $5 \sim 10\%$。 	<p>$Re = ev\rho/\mu$</p> <p>常用蒸发式冷凝器的 K 约为 $0.582 \sim 0.756 kW/m^2 \cdot ^\circ C$, q 约为 $1.396 \sim 1.861 kW/m^2$。此时的对数平均温度差为 $2 \sim 3^\circ C$</p> <p>(b)、(c) 均为经验数据</p>
<p>(5) 蒸发器的选择计算</p> <p>a. 冷却液体载冷剂的蒸发器</p> <p>(a) 蒸发器传热面积 F (m^2)</p> <p>(b) 载冷剂 (水或盐水) 循环量</p> <p>(c) 壳管式蒸发器水流程数计算</p> <p>每一水流程通道面积 f (m^2)</p> <p>每一根管子的流通面积 f' (m^2)</p> <p>每一水流程的管子数目 m</p> <p>载冷剂水流程数目 Z</p> <p>(d) 蒸发器内载冷剂的阻力 ΔP (Pa)</p> <p>(e) 立式列管式蒸发器的搅拌器计算</p> <p>搅拌器流量 V (m^3/h)</p> <p>搅拌器轴功率 N_s (kW)</p>	$F = \frac{Q_c}{K \Delta t_d} = \frac{Q_c}{q} \quad (14.2-31)$ <p>重量循环量 G_{z1} (kg/s)</p> $G_{z1} = \frac{Q_c}{c_p(t_1 - t_2)} \quad (14.2-32)$ <p>容积循环量 W_{z1} (m^3/h)</p> $W_{z1} = \frac{Q_c}{c_p \rho (t_1 - t_2)} \times 3600 \quad (14.2-33)$ $f = \frac{W_{z1}}{3600v} \quad (14.2-34)$ $f' = \frac{\pi d_n^2}{4} \quad (14.2-35)$ $m = \frac{f}{f'} \quad (14.2-36)$ $Z = \frac{n}{m} \quad (14.2-37)$ $\Delta P = \left[\lambda_m Z \frac{l}{d_n} + 1.5(Z-1) \right] \frac{v^2 \rho}{2} \quad (14.2-38)$ $\Delta P = 2(5.4 + 3.4M) Re^{-0.28} \frac{v^2 \rho}{2} \quad (14.2-39)$ $V = (bh - f) w 3600 \quad (14.2-40)$ $N_s = \frac{V \Delta P}{3600 \times 102 \eta} \quad (14.2-41)$	<p>K, q 值见表 14.2-26</p> <p>用于壳管式蒸发器</p> <p>用于立式列管式蒸发器</p> <p>η 一般取 $0.5 \sim 0.6$</p>

项 目	公 式	备 注
b. 直接蒸发式空气冷却器的选择计算		见空调部分
(6) 辅助设备的选择计算		
a. 油分离器的选择计算 筒身直径 D (m)	$D = \sqrt{\frac{4V_o \lambda v_2}{3600 \pi v_1 v}} = 0.019 \sqrt{\frac{\lambda V_o v_2}{v_1 v}} \quad (14.2-42)$	油分离器筒身高度与直径之比通常为: $\frac{h}{D} = 3.3 \sim 4.5$
b. 贮液器的选择计算 贮液器容积 V (m ³)	$V = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \frac{Gv'}{\beta} \times 3600$ $\left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \frac{Q_1 v'}{q_o \beta} \times 3600 \quad (14.2-43)$	小型制冷机组, 当使用卧式壳管式冷凝器时, 一般不单独设置贮液桶, 而是利用冷凝器壳体下部的空间贮存一定量的制冷剂 低压贮液桶一般只用于大、中型冷藏库的制冷系统中, 它的容积大多取 0.1 m ³
c. 循环贮液桶的选择计算 循环贮液桶容积 V (m ³)	$V = \frac{0.4V_1 + 0.6V_2 + V_3}{0.7} \quad (14.2-44)$	0.7 为桶内允许贮氨液容积与本身容积之比
d. 排液桶的选择计算 排液桶容积 V (m ³)	$V = \frac{L \cdot V_1 \cdot \varphi}{0.7} \quad (14.2-45)$	0.7 为桶内允许贮氨液容积与本身容积之比
e. 氨液分离器的选择计算 氨液分离器的筒身直径 D (m)	$D = \sqrt{\frac{4V_h \lambda}{\pi v}} \quad (14.2-46)$	氨液分离器筒身高度与直径之比通常为: $\frac{h}{D} = 3 \sim 4$
f. 中间冷却器的选择计算 中间冷却器筒身直径 D (m)	$D = \sqrt{\frac{4V_h \lambda}{\pi v}} \quad (14.2-47)$	
g. 集油器与空气分离器的选择 集油器	总制冷量 ≥ 232.6 kW 时, 采用筒身直径为 325 mm 的集油器; 总制冷量 < 232.6 kW 时, 采用筒身直径为 159 mm 的集油器	该项根据经验选择
空气分离器	总制冷量 > 1163 kW 时, 采用大号空气分离器; 总制冷量 < 1163 kW 时, 采用小号空气分离器	

公式物理量的名称及单位符号

表 14.2-16

符 号	物 理 量 的 名 称	单 位 符 号	公 式 索 引
A	附加系数 (包括制冷设备、制冷剂管道和载冷剂管道等损失)		(14.2-5)
b	流经蒸发器间隔壁的宽度	m	(14.2-40)
c	冷却水比热	kJ/(kg·°C)	(14.2-22)
c_p	平均定压比热	kJ/(kg·°C)	(14.2-32)(14.2-33)
c_p	空气定压比热	kJ/(kg·°C)	(14.2-27)
D	压缩机的气缸直径	m	(14.2-7)
d_e	通道当量直径	m	(14.2-25)
d_n	管道内径	m	(14.2-23)(14.2-35) (14.2-38)

续表

符 号	物 理 量 的 名 称	单 位 符 号	公 式 索 引
d_w	管道外径	m	(14.2-28)(14.2-29)
e	肋片间距	m	(14.2-28)
f	蒸发管组沿流动方向的横断面积	m^2	(14.2-40)
G	制冷剂循环量	kg/s	(14.2-10)(14.2-43)
g	重力加速度	m/s^2	(14.2-28)
h	肋片高度	m	(14.2-28)(14.2-29)
h	箱底至液面的高度	m	(14.2-40)
K	传热系数	$kW/(m^2 \cdot ^\circ C)$	(14.2-19)(14.2-30) (14.2-31)
K_1	换算系数		(14.2-8)
K_2	按肋管总外表面计算的传热系数	$kW/(m^2 \cdot ^\circ C)$	(14.2-26)
L	最大冷间管子总长度	m	(14.2-45)
L_1	螺旋通道长度	m	(14.2-25)
l	卧式壳管式冷凝器每根管道有效长度	m	(14.2-23)
l	壳管式蒸发器管板间距离	m	(14.2-38)
l	风冷式冷凝器肋管总长度	m	(14.2-28)(14.2-29)
M	立式列管式蒸发器沿流动方向上每列管子的数目		(14.2-39)
N	冷凝器列管排数		(14.2-28)(14.2-29)
n	压缩机转数	r/min	(14.2-7)
n	冷凝器管道总根数		(14.2-24)
n	蒸发器管道总根数		(14.2-37)
$N_{1.5}$	压缩机设计工况下的指示功率	kW	(14.2-17)
P_m	平均摩擦压力	MPa	(14.2-12)
Q_1	计算冷负荷	kW	(14.2-17)(14.2-18) (14.2-32)(14.2-33)
Q_1	蒸发器计算冷负荷	kW	(14.2-31)
Q_1	贮液器在设计工况下的计算制冷量	kW	(14.2-43)
Q_2	冷凝器热负荷	kW	(14.2-19)(14.2-22)
Q_3	用户提出的冷负荷	kW	(14.2-5)
Q_2	压缩机在某一种工况下的制冷量	kW	(14.2-9)
q	冷凝器热流密度	kW/m^2	(14.2-19)
q	蒸发式冷凝器热流密度	kW/m^2	(14.2-30)
q	蒸发器热流密度	kW/m^2	(14.2-31)

续表

符 号	物 理 量 的 名 称	单 位 符 号	公 式 索 引
q_t	按肋管总外表面积计算的风冷式冷凝器热流密度	$\text{kW} \cdot \text{m}^2$	(14.2-26)
q_v	制冷剂单位容积制冷量	$\text{kW} \cdot \text{m}^3$	(14.2-6)
q_{v1}	压缩机在设计工况下的单位容积制冷量	kW / m^3	(14.2-9)
q_{v2}	压缩机在某 - 工况下的单位容积制冷量	$\text{kW} \cdot \text{m}^3$	(14.2-9)
q_0	制冷量单位质量制冷量	kJ / kg	(14.2-43)
S	压缩机的活塞行程	m	(14.2-7)
S_1	肋管间距	m	(14.2-28)(14.2-29)
S_2	肋管排距	m	(14.2-28)(14.2-29)
t_1	冷凝器进水温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-20)(14.2-21)
t_1	蒸发式载冷剂进口温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-32)
t_1	风冷冷凝器进口风温	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-27)
t_2	冷凝器出水温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-20)
t_2	蒸发器载冷剂出口温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-1)(14.2-32)
t_2	风冷冷凝器出口风温	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-27)
t_2	空气冷却器中空气出口的干球温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-2)
t_2	空气出口的湿球温度, 按历年夏季室外平均每年不保证50小时 的湿球温度值, 见室外气象计算参数表	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-4)
t_c	冷凝温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-20)
t_{s1}	冷凝器冷却水的进口温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-3)(14.2-22)
t_{s2}	冷凝器冷却水的出口温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-3)(14.2-22)
t_e	蒸发温度	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-1)
Δt	气缸套的进、出水温度差	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-16)
Δt_d	对数平均温差	$^{\circ}\text{C}$	(14.2-26)(14.2-30) (14.2-31)
v	冷却水流速	m / s	(14.2-23)(14.2-25)
v	载冷剂流速	m / s	(14.2-34)(14.2-39)
v	液体的流速	m / s	(14.2-40)
v	管内或筒体内气体流速	m / s	(14.2-42)
v	空气通过最窄断面的流速	m / s	(14.2-29)
v	氨液分离器内气体的流速, 一般取 $0.5 \text{m} / \text{s}$	m / s	(14.2-46)
v	在中间冷却器横断面上氨气的流速, 一般不大于 $0.5 \text{m} / \text{s}$	m / s	(14.2-47)
V_1	蒸发排管的容积	m^3	(14.2-44)
V_1	每米管子的容积	m^3 / m	(14.2-45)

续表

符号	物理量的名称	单位符号	公式索引
V_2	吸入管路的容积	m^3	(14.2-44)
V_3	供液管路的容积	m^3	(14.2-44)
V_h	压缩机的理论输气量	m^3/s	(14.2-47)
V_P	压缩机的理论排气量	m^3/h	(14.2-6)(14.2-12) (14.2-42)
W	单位理论功	kJ/kg	(14.2-10)
W_{11}	载冷剂容积循环量	m^3/h	(14.2-34)
z	压缩机的气缸数目		(14.2-7)
Z	冷却水流程数		(14.2-23)
β	液体充满度, 考虑液体受热膨胀, 一般取0.8		(14.2-43)
ζ	比例数, 表示冷却水带走热量占总热量的份数, 一般可用0.13~0.18		(14.2-16)
η	搅拌器效率		(14.2-41)
η_c	传动效率		(14.2-14)
η_j	压缩机的机械效率		(14.2-13)
η_{rs}	指示效率		(14.2-11)
λ	压缩机的输气系数		(14.2-6)(14.2-42) (14.2-46)
λ_1	压缩机在设计工况下的输气系数		(14.2-9)
λ_2	压缩机在某一工况下的输气系数		(14.2-9)
λ_m	管道的摩擦阻力系数		(14.2-23)(14.2-38)
μ	空气的动力粘度	$kg \cdot s \cdot m$	(14.2-29)
$\Sigma \zeta$	局部阻力系数		(14.2-23)
ρ	载冷剂密度	kg/m^3	(14.2-28)(14.2-33)
ρ	冷却水密度	kg/m^3	(14.2-25)
ρ	空气的平均密度	kg/m^3	(14.2-28)(14.2-29)
v_1	压缩机吸入气体的比容	m^3/kg	(14.2-42)
v_2	压缩机排出气体的比容	m^3/kg	(14.2-42)
v'	冷凝温度下制冷剂液体比容	m^3/kg	(14.2-43)
φ	冷凝器负荷系数		(14.2-18)
φ	排管灌氨量百分数		(14.2-45)
ω	液体的流速	m/s	(14.2-40)

按空气进口干球温度决定的最低蒸发温度

表 14.2-17

迎风面风速(m/s)	1.5		2.0		2.5		3.0	
	4	6	4	6	4	6	4	6
空气进口干球温度(°C)								
18.3	-2.8	-0.6	-3.3	-1.7	3.9	-2.8	3.9	-3.9
21.1	-2.8	-1.1	-3.9	-2.2	3.9	-3.3	3.9	3.9
24.0	3.3	-1.7	-3.9	3.3	3.9	-3.9	-3.9	-3.9
26.7	3.9	-2.2	-3.9	3.9	-3.9	-3.9	-3.9	-3.9

立式和 V 型氟压缩机的气系数 λ

蒸发温度 (°C)		冷凝温度 (°C)															
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-15	0.728	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.686	0.680	0.674	0.668	0.661	0.654	0.647	0.640	0.633	
-14	0.736	0.730	0.724	0.718	0.712	0.706	0.700	0.694	0.688	0.682	0.676	0.669	0.662	0.655	0.648	0.641	
-13	0.744	0.738	0.732	0.726	0.720	0.714	0.708	0.702	0.696	0.690	0.684	0.677	0.670	0.663	0.656	0.649	
-12	0.752	0.746	0.740	0.734	0.728	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.685	0.678	0.671	0.664	0.657	
-11	0.760	0.754	0.748	0.742	0.736	0.730	0.724	0.718	0.712	0.706	0.700	0.693	0.686	0.679	0.672	0.665	
-10	0.768	0.762	0.756	0.750	0.744	0.738	0.732	0.726	0.720	0.714	0.708	0.701	0.694	0.687	0.680	0.673	
-9	0.776	0.770	0.764	0.758	0.752	0.746	0.740	0.734	0.728	0.722	0.716	0.709	0.702	0.695	0.688	0.681	
-8	0.784	0.778	0.772	0.766	0.760	0.754	0.748	0.742	0.736	0.730	0.724	0.717	0.710	0.703	0.696	0.689	
-7	0.792	0.786	0.780	0.774	0.768	0.762	0.756	0.750	0.744	0.738	0.732	0.725	0.718	0.711	0.704	0.697	
-6	0.800	0.794	0.788	0.782	0.776	0.770	0.764	0.758	0.752	0.746	0.740	0.733	0.726	0.719	0.712	0.705	
-5	0.808	0.802	0.796	0.790	0.784	0.778	0.772	0.766	0.760	0.754	0.748	0.741	0.734	0.727	0.720	0.713	
-4	0.816	0.810	0.804	0.798	0.792	0.786	0.780	0.774	0.768	0.762	0.756	0.749	0.742	0.735	0.728	0.721	
-3	0.824	0.818	0.812	0.806	0.800	0.794	0.788	0.782	0.776	0.770	0.764	0.757	0.750	0.743	0.736	0.729	
-2	0.832	0.826	0.820	0.814	0.808	0.802	0.796	0.790	0.784	0.778	0.772	0.765	0.758	0.751	0.744	0.737	
-1	0.840	0.834	0.828	0.822	0.816	0.810	0.804	0.798	0.792	0.786	0.780	0.773	0.766	0.759	0.752	0.745	
±0	0.848	0.842	0.836	0.830	0.824	0.818	0.812	0.806	0.800	0.794	0.788	0.781	0.774	0.767	0.760	0.753	
+1	0.856	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826	0.820	0.814	0.808	0.802	0.796	0.789	0.782	0.775	0.768	0.761	
+2	0.864	0.858	0.852	0.846	0.840	0.834	0.828	0.822	0.816	0.810	0.804	0.797	0.790	0.783	0.776	0.769	
+3	0.872	0.866	0.860	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830	0.824	0.818	0.812	0.805	0.798	0.791	0.784	0.777	
+4	0.880	0.874	0.868	0.862	0.856	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826	0.820	0.813	0.806	0.799	0.792	0.785	
+5	0.888	0.882	0.876	0.870	0.864	0.858	0.852	0.846	0.840	0.834	0.828	0.821	0.814	0.807	0.800	0.793	
+6	0.896	0.890	0.884	0.878	0.872	0.866	0.860	0.854	0.848	0.842	0.836	0.829	0.822	0.815	0.808	0.801	
+7	0.904	0.898	0.892	0.886	0.880	0.874	0.868	0.862	0.856	0.850	0.844	0.837	0.830	0.823	0.816	0.809	
+8	0.912	0.906	0.900	0.894	0.888	0.882	0.876	0.870	0.864	0.858	0.852	0.845	0.838	0.831	0.824	0.817	
+9	0.920	0.914	0.908	0.902	0.896	0.890	0.884	0.878	0.872	0.866	0.860	0.853	0.846	0.839	0.832	0.825	
+10	0.928	0.922	0.916	0.910	0.904	0.898	0.892	0.886	0.880	0.874	0.868	0.861	0.854	0.847	0.840	0.833	

表 14.2-1B

立式和 V 型氟利昂-12 压缩机的输气系数 λ

蒸发温度 (°C)	冷凝温度 (°C)															
	25	26	27	28	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-15	0.698	0.692	0.686	0.680	0.674	0.668	0.662	0.656	0.650	0.644	0.638	0.631	0.624	0.617	0.610	0.603
-14	0.706	0.700	0.694	0.688	0.682	0.676	0.670	0.664	0.658	0.652	0.646	0.639	0.632	0.625	0.618	0.611
-13	0.714	0.708	0.702	0.696	0.690	0.684	0.678	0.672	0.666	0.660	0.654	0.647	0.640	0.633	0.626	0.619
-12	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.686	0.680	0.674	0.668	0.662	0.655	0.648	0.641	0.634	0.627
-11	0.730	0.724	0.718	0.712	0.706	0.700	0.694	0.688	0.682	0.676	0.670	0.663	0.656	0.649	0.642	0.635
-10	0.738	0.732	0.726	0.720	0.714	0.708	0.702	0.696	0.690	0.684	0.678	0.671	0.664	0.657	0.650	0.643
-9	0.746	0.740	0.734	0.728	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.686	0.679	0.672	0.665	0.658	0.651
-8	0.754	0.748	0.742	0.736	0.730	0.724	0.718	0.712	0.706	0.700	0.694	0.687	0.684	0.673	0.666	0.659
-7	0.762	0.756	0.750	0.744	0.738	0.732	0.726	0.720	0.714	0.708	0.702	0.695	0.688	0.681	0.674	0.667
-6	0.770	0.764	0.758	0.752	0.746	0.740	0.734	0.728	0.722	0.716	0.710	0.703	0.696	0.689	0.682	0.675
-5	0.778	0.772	0.766	0.760	0.754	0.748	0.742	0.736	0.730	0.724	0.718	0.711	0.704	0.697	0.690	0.683
-4	0.786	0.780	0.774	0.768	0.762	0.756	0.750	0.744	0.738	0.732	0.726	0.719	0.712	0.705	0.698	0.691
-3	0.794	0.788	0.782	0.776	0.770	0.764	0.758	0.752	0.746	0.740	0.734	0.727	0.720	0.713	0.706	0.699
-2	0.802	0.796	0.790	0.784	0.778	0.772	0.766	0.760	0.754	0.748	0.742	0.735	0.728	0.721	0.714	0.707
-1	0.810	0.804	0.798	0.792	0.786	0.780	0.774	0.768	0.762	0.756	0.750	0.743	0.736	0.729	0.722	0.715
±0	0.818	0.812	0.806	0.800	0.794	0.788	0.782	0.776	0.770	0.764	0.758	0.751	0.744	0.737	0.730	0.723
+1	0.826	0.820	0.814	0.808	0.802	0.796	0.790	0.784	0.778	0.772	0.766	0.759	0.752	0.745	0.738	0.731
+2	0.834	0.828	0.822	0.816	0.810	0.804	0.798	0.792	0.786	0.780	0.774	0.767	0.760	0.753	0.746	0.739
+3	0.842	0.836	0.830	0.824	0.818	0.812	0.806	0.800	0.794	0.788	0.782	0.775	0.768	0.761	0.754	0.747
+4	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826	0.820	0.814	0.808	0.802	0.796	0.790	0.783	0.776	0.769	0.762	0.755
+5	0.858	0.852	0.846	0.840	0.834	0.828	0.822	0.816	0.810	0.804	0.798	0.791	0.784	0.777	0.770	0.763
+6	0.866	0.860	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830	0.824	0.818	0.812	0.806	0.799	0.792	0.785	0.778	0.771
+7	0.874	0.868	0.862	0.856	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826	0.820	0.814	0.807	0.800	0.793	0.786	0.779
+8	0.882	0.876	0.870	0.864	0.858	0.852	0.846	0.840	0.834	0.828	0.822	0.815	0.808	0.801	0.794	0.787
+9	0.890	0.884	0.878	0.872	0.866	0.860	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830	0.823	0.816	0.809	0.802	0.795
+10	0.898	0.892	0.886	0.880	0.874	0.868	0.862	0.856	0.850	0.844	0.838	0.831	0.824	0.817	0.810	0.803

立式和V型氟压缩机制冷量换算系数K₁

表 14.2-20

蒸发温度 (°C)	冷凝温度 (°C)															
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-15	1.07	1.06	1.04	1.03	1.01	1	0.99	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.91	0.90	0.88	0.87
-14	1.13	1.12	1.10	1.09	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.01	1.00	0.98	0.97	0.95	0.94	0.92
-13	1.19	1.18	1.16	1.15	1.13	1.12	1.11	1.09	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02	1.00	0.99	0.97
-12	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.18	1.17	1.15	1.14	1.12	1.11	1.09	1.08	1.06	1.05	1.03
-11	1.32	1.30	1.29	1.27	1.26	1.24	1.22	1.21	1.19	1.18	1.16	1.14	1.13	1.11	1.10	1.08
-10	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22	1.20	1.18	1.17	1.15	1.13
-9	1.46	1.44	1.42	1.41	1.39	1.37	1.35	1.34	1.32	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.22	1.20
-8	1.53	1.51	1.49	1.48	1.46	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.36	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26
-7	1.61	1.59	1.57	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.46	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.35	1.33
-6	1.68	1.66	1.64	1.63	1.61	1.59	1.57	1.55	1.53	1.51	1.49	1.47	1.45	1.43	1.41	1.39
-5	1.76	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.64	1.62	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.46
-4	1.85	1.83	1.81	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.68	1.66	1.64	1.62	1.60	1.58	1.56	1.54
-3	1.94	1.92	1.90	1.88	1.86	1.84	1.82	1.80	1.77	1.75	1.73	1.71	1.68	1.66	1.63	1.61
-2	2.04	2.02	1.99	1.97	1.94	1.92	1.90	1.88	1.85	1.83	1.81	1.79	1.76	1.74	1.71	1.69
-1	2.13	2.11	2.08	2.06	2.03	2.01	1.99	1.97	1.94	1.92	1.90	1.87	1.84	1.82	1.79	1.76
±0	2.22	2.20	2.17	2.15	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.98	1.95	1.92	1.90	1.87	1.84
+1	2.33	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.05	2.02	2.00	1.97	1.94
+2	2.44	2.41	2.39	2.36	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.18	2.15	2.12	2.10	2.07	2.04
+3	2.56	2.53	2.50	2.48	2.45	2.42	2.39	2.36	2.34	2.31	2.28	2.25	2.22	2.19	2.16	2.13
+4	2.67	2.64	2.61	2.58	2.55	2.52	2.49	2.46	2.44	2.41	2.38	2.35	2.32	2.29	2.26	2.23
+5	2.78	2.75	2.72	2.69	2.66	2.63	2.60	2.57	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.39	2.36	2.33
+6	2.91	2.88	2.85	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.66	2.63	2.60	2.57	2.54	2.50	2.47	2.44
+7	3.05	3.02	2.98	2.95	2.91	2.88	2.85	2.82	2.78	2.75	2.72	2.69	2.66	2.62	2.59	2.56
+8	3.18	3.15	3.11	3.08	3.04	3.01	2.98	2.94	2.91	2.87	2.84	2.81	2.77	2.74	2.70	2.67
+9	3.32	3.28	3.24	3.21	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.89	2.86	2.82	2.79
+10	3.45	3.41	3.37	3.34	3.30	3.26	3.22	3.19	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.94	2.90

立式和V型氟利昂-12压缩机制冷量换算系数K₁

表 14.2-21

蒸发温度 (°C)	冷凝温度 (°C)															
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-15	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02	1	0.98	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
-14	1.14	1.12	1.11	1.09	1.08	1.06	1.04	1.02	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.92	0.90	0.88
-13	1.20	1.18	1.16	1.15	1.13	1.11	1.09	1.07	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98	0.97	0.95	0.93
-12	1.27	1.25	1.23	1.21	1.19	1.17	1.15	1.13	1.11	1.09	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97
-11	1.33	1.31	1.29	1.26	1.24	1.22	1.20	1.18	1.16	1.14	1.12	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02
-10	1.39	1.37	1.35	1.32	1.30	1.28	1.26	1.24	1.21	1.19	1.17	1.15	1.13	1.10	1.08	1.06
-9	1.46	1.44	1.42	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.28	1.26	1.24	1.22	1.19	1.17	1.14	1.12
-8	1.54	1.52	1.49	1.47	1.45	1.42	1.40	1.37	1.35	1.32	1.30	1.28	1.25	1.23	1.20	1.18
-7	1.61	1.59	1.56	1.54	1.51	1.49	1.47	1.44	1.42	1.39	1.37	1.35	1.32	1.30	1.27	1.25
-6	1.69	1.66	1.64	1.61	1.59	1.56	1.53	1.51	1.48	1.46	1.43	1.41	1.38	1.36	1.33	1.31
-5	1.76	1.73	1.71	1.68	1.66	1.63	1.60	1.58	1.55	1.53	1.50	1.47	1.45	1.42	1.40	1.37
-4	1.85	1.82	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.66	1.63	1.61	1.58	1.55	1.52	1.49	1.47	1.44
-3	1.94	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73	1.70	1.68	1.65	1.62	1.59	1.56	1.54	1.51
-2	2.02	2.00	1.97	1.94	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.58
-1	2.11	2.08	2.05	2.02	1.99	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74	1.71	1.68	1.65
±0	2.20	2.17	2.13	2.10	2.07	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
+1	2.31	2.26	2.23	2.20	2.17	2.14	2.10	2.06	2.03	2.00	1.97	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80
+2	2.42	2.37	2.34	2.31	2.28	2.24	2.20	2.16	2.13	2.10	2.06	2.02	1.98	1.95	1.92	1.89
+3	2.52	2.47	2.44	2.41	2.38	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.16	2.11	2.06	2.03	2.00	1.97
+4	2.63	2.58	2.54	2.51	2.48	2.44	2.40	2.36	2.32	2.29	2.25	2.20	2.15	2.12	2.09	2.06
+5	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	2.50	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.26	2.22	2.18	2.14
+6	2.87	2.82	2.78	2.74	2.70	2.66	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	2.36	2.32	2.28	2.24
+7	3.00	2.95	2.90	2.86	2.82	2.78	2.73	2.68	2.64	2.60	2.56	2.51	2.47	2.43	2.39	2.35
+8	3.12	3.07	3.02	2.98	2.94	2.90	2.85	2.80	2.76	2.72	2.68	2.63	2.58	2.53	2.49	2.45
+9	3.25	3.20	3.15	3.10	3.06	3.02	2.97	2.92	2.87	2.83	2.79	2.74	2.69	2.64	2.60	2.56
+10	3.38	3.33	3.28	3.23	3.18	3.14	3.09	3.04	2.99	2.95	2.90	2.85	2.80	2.75	2.71	2.66

立式和 V 型氨压缩机的指示效率 η_{is}

蒸发温度 (°C)	冷凝温度 (°C)															
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-15	0.857	0.854	0.851	0.848	0.845	0.842	0.839	0.836	0.833	0.830	0.827	0.823	0.819	0.815	0.814	0.810
-14	0.861	0.858	0.855	0.852	0.849	0.846	0.843	0.840	0.837	0.834	0.831	0.827	0.823	0.819	0.815	0.814
-13	0.865	0.862	0.859	0.856	0.853	0.850	0.847	0.844	0.841	0.838	0.835	0.831	0.827	0.823	0.819	0.815
-12	0.869	0.866	0.863	0.860	0.857	0.854	0.851	0.848	0.845	0.842	0.839	0.835	0.831	0.827	0.823	0.819
-11	0.873	0.870	0.867	0.864	0.861	0.858	0.855	0.852	0.849	0.846	0.843	0.839	0.835	0.831	0.827	0.823
-10	0.877	0.874	0.871	0.868	0.865	0.862	0.859	0.856	0.853	0.850	0.847	0.843	0.839	0.835	0.831	0.827
-9	0.881	0.878	0.875	0.872	0.869	0.866	0.863	0.860	0.857	0.854	0.851	0.847	0.843	0.839	0.835	0.831
-8	0.885	0.882	0.879	0.876	0.873	0.870	0.867	0.864	0.861	0.858	0.855	0.851	0.847	0.843	0.839	0.835
-7	0.889	0.886	0.883	0.880	0.877	0.874	0.871	0.868	0.865	0.862	0.859	0.855	0.851	0.847	0.843	0.839
-6	0.893	0.890	0.887	0.884	0.881	0.878	0.875	0.872	0.869	0.866	0.863	0.859	0.855	0.851	0.847	0.843
-5	0.897	0.894	0.891	0.888	0.885	0.882	0.879	0.876	0.873	0.870	0.867	0.863	0.859	0.855	0.851	0.847
-4	0.901	0.898	0.895	0.892	0.889	0.886	0.883	0.880	0.877	0.874	0.871	0.867	0.863	0.859	0.855	0.851
-3	0.905	0.902	0.899	0.896	0.893	0.890	0.887	0.884	0.881	0.878	0.875	0.871	0.867	0.863	0.859	0.855
-2	0.909	0.906	0.903	0.900	0.897	0.894	0.891	0.888	0.885	0.882	0.879	0.875	0.871	0.867	0.863	0.859
-1	0.913	0.910	0.907	0.904	0.901	0.898	0.895	0.892	0.889	0.886	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867	0.863
±0	0.917	0.914	0.911	0.908	0.905	0.902	0.899	0.896	0.893	0.890	0.887	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867
+1	0.921	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906	0.903	0.900	0.897	0.894	0.891	0.887	0.883	0.879	0.875	0.871
+2	0.925	0.922	0.919	0.916	0.913	0.910	0.907	0.904	0.901	0.898	0.895	0.891	0.887	0.883	0.879	0.875
+3	0.929	0.926	0.923	0.920	0.917	0.914	0.911	0.908	0.905	0.902	0.899	0.895	0.891	0.887	0.883	0.879
+4	0.933	0.930	0.927	0.924	0.921	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906	0.903	0.899	0.895	0.891	0.887	0.883
+5	0.937	0.934	0.931	0.928	0.925	0.922	0.919	0.916	0.913	0.910	0.907	0.903	0.899	0.895	0.891	0.887
+6	0.941	0.938	0.935	0.932	0.929	0.926	0.923	0.920	0.917	0.914	0.911	0.907	0.903	0.899	0.895	0.891
+7	0.945	0.942	0.939	0.936	0.933	0.930	0.927	0.924	0.921	0.918	0.915	0.911	0.907	0.903	0.899	0.895
+8	0.949	0.946	0.943	0.940	0.937	0.934	0.931	0.928	0.925	0.922	0.919	0.915	0.911	0.907	0.903	0.899
+9	0.953	0.950	0.947	0.944	0.941	0.938	0.935	0.932	0.929	0.926	0.923	0.919	0.915	0.911	0.907	0.903
+10	0.957	0.954	0.951	0.948	0.945	0.942	0.939	0.936	0.933	0.930	0.927	0.923	0.919	0.915	0.911	0.907

表 14.2-23

立式和V型氟利昂压缩机的指示效率 η_{ZN}

蒸发温度 (°C)	冷凝温度 (°C)															
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-15	0.827	0.824	0.821	0.818	0.815	0.812	0.809	0.806	0.803	0.800	0.797	0.793	0.789	0.785	0.781	0.777
-14	0.833	0.830	0.827	0.824	0.821	0.818	0.815	0.812	0.809	0.806	0.803	0.799	0.795	0.791	0.787	0.783
-13	0.839	0.836	0.833	0.830	0.827	0.824	0.821	0.818	0.815	0.812	0.809	0.805	0.801	0.797	0.793	0.789
-12	0.845	0.842	0.839	0.836	0.833	0.830	0.827	0.824	0.821	0.818	0.815	0.811	0.807	0.803	0.799	0.795
-11	0.851	0.848	0.845	0.842	0.839	0.836	0.833	0.830	0.827	0.824	0.821	0.817	0.813	0.809	0.805	0.801
-10	0.857	0.854	0.851	0.848	0.845	0.842	0.839	0.836	0.833	0.830	0.827	0.823	0.819	0.815	0.811	0.807
-9	0.863	0.860	0.857	0.854	0.851	0.848	0.845	0.842	0.839	0.836	0.833	0.829	0.825	0.821	0.817	0.813
-8	0.869	0.866	0.863	0.860	0.857	0.854	0.851	0.848	0.845	0.842	0.839	0.835	0.831	0.827	0.823	0.819
-7	0.875	0.872	0.869	0.866	0.863	0.860	0.857	0.854	0.851	0.848	0.845	0.841	0.837	0.833	0.829	0.825
-6	0.881	0.878	0.875	0.872	0.869	0.866	0.863	0.860	0.857	0.854	0.851	0.847	0.843	0.839	0.835	0.831
-5	0.887	0.884	0.881	0.878	0.875	0.872	0.869	0.866	0.863	0.860	0.857	0.853	0.849	0.845	0.841	0.837
-4	0.893	0.890	0.887	0.884	0.881	0.878	0.875	0.872	0.869	0.866	0.863	0.859	0.855	0.851	0.847	0.843
-3	0.899	0.896	0.893	0.890	0.887	0.884	0.881	0.878	0.875	0.872	0.869	0.865	0.861	0.857	0.853	0.849
-2	0.905	0.902	0.899	0.896	0.893	0.890	0.887	0.884	0.881	0.878	0.875	0.871	0.867	0.863	0.859	0.855
-1	0.911	0.908	0.905	0.902	0.899	0.896	0.893	0.890	0.887	0.884	0.881	0.877	0.873	0.869	0.865	0.861
±0	0.917	0.914	0.911	0.908	0.905	0.902	0.899	0.896	0.893	0.890	0.887	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867
+1	0.922	0.919	0.916	0.913	0.910	0.907	0.904	0.901	0.898	0.895	0.892	0.888	0.884	0.880	0.876	0.872
+2	0.927	0.924	0.921	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906	0.903	0.900	0.897	0.893	0.889	0.885	0.881	0.877
+3	0.932	0.929	0.926	0.923	0.920	0.917	0.914	0.911	0.908	0.905	0.902	0.898	0.894	0.890	0.886	0.882
+4	0.937	0.934	0.931	0.928	0.925	0.922	0.919	0.916	0.913	0.910	0.907	0.903	0.899	0.895	0.891	0.887
+5	0.942	0.939	0.936	0.933	0.930	0.927	0.924	0.921	0.918	0.915	0.912	0.908	0.904	0.900	0.896	0.892
+6	0.947	0.944	0.941	0.938	0.935	0.932	0.929	0.926	0.923	0.920	0.917	0.913	0.909	0.905	0.901	0.897
+7	0.952	0.949	0.946	0.943	0.940	0.937	0.934	0.931	0.928	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.902
+8	0.957	0.954	0.951	0.948	0.945	0.942	0.939	0.936	0.933	0.930	0.927	0.923	0.919	0.915	0.911	0.907
+9	0.962	0.959	0.956	0.953	0.950	0.947	0.944	0.941	0.938	0.935	0.932	0.928	0.924	0.920	0.916	0.912
+10	0.967	0.964	0.961	0.958	0.955	0.952	0.949	0.946	0.943	0.940	0.937	0.933	0.929	0.925	0.921	0.917

各种类型冷凝器的传热系数与热流密度

表 14.2-24

制冷剂种类	冷凝器型式	传热系数K [kW/(m ² ·℃)]	热流密度q (kW/m ²)	平均温差 Δt _a (℃)
氨	立式壳管式	0.698~0.814	4.071~4.652	3~3.5
氨	卧式壳管式	0.698~0.930	4.071~5.234	4~6
氨	分组式壳管式	0.698~1.047	4.071~5.815	4~6
氨	套管式及组合式	0.930~1.047	3.489~4.071	4~6
氨	蒸发式	0.582~0.698	1.396~1.861	2~3
氨	套管式过冷器	0.465	1.512	3~5
氨	风冷式	0.014~0.035	0.140~0.349	8~12
氟利昂	卧式壳管式(肋管)	0.872~0.930	4.652~5.234	5
氟利昂	风冷式	0.023~0.029	0.233~0.291	8~12

冷凝器、过冷器单位面积冷却水用量

表 14.2-25

序号	型号	单位面积冷却水用量 (m ³ /(m ² ·h))	备注
1	立式壳管式冷凝器	1.0~1.7	Δt = 2~4℃
2	卧式壳管式冷凝器	0.5~0.9	Δt = 4~6℃
3	组合式冷凝器	0.5~0.9	Δt = 4~6℃
4	淋水式冷凝器	0.8~1.0 (循环水量)	补充水量按循环水量10~12%
5	蒸发式冷凝器 ^①	0.05~0.07 (循环水量)	补充水量按循环水量5~10%
6	套管式冷凝器	0.43	Δt = 3℃

①设计计算时蒸发式冷凝器的通风量一般每m²冷凝面积为300~400m³/h, 循环水量(即喷水量)每m²冷凝面积为120~160kg/h。

蒸发器的传热系数与热流密度

表 14.2-26

蒸发器的形式		传热系数K [W/(m ² ·℃)]	热流密度q (W/m ²)
氨	单程卧式	384~407	1861~2093
	多程卧式	407~465	2093~2558
	直立	523~582	2326~2908
	螺旋管式	465~523	2908~3489
氟利昂	卧式壳管式	465~523	2908~3489
	干式壳管式	523~582	

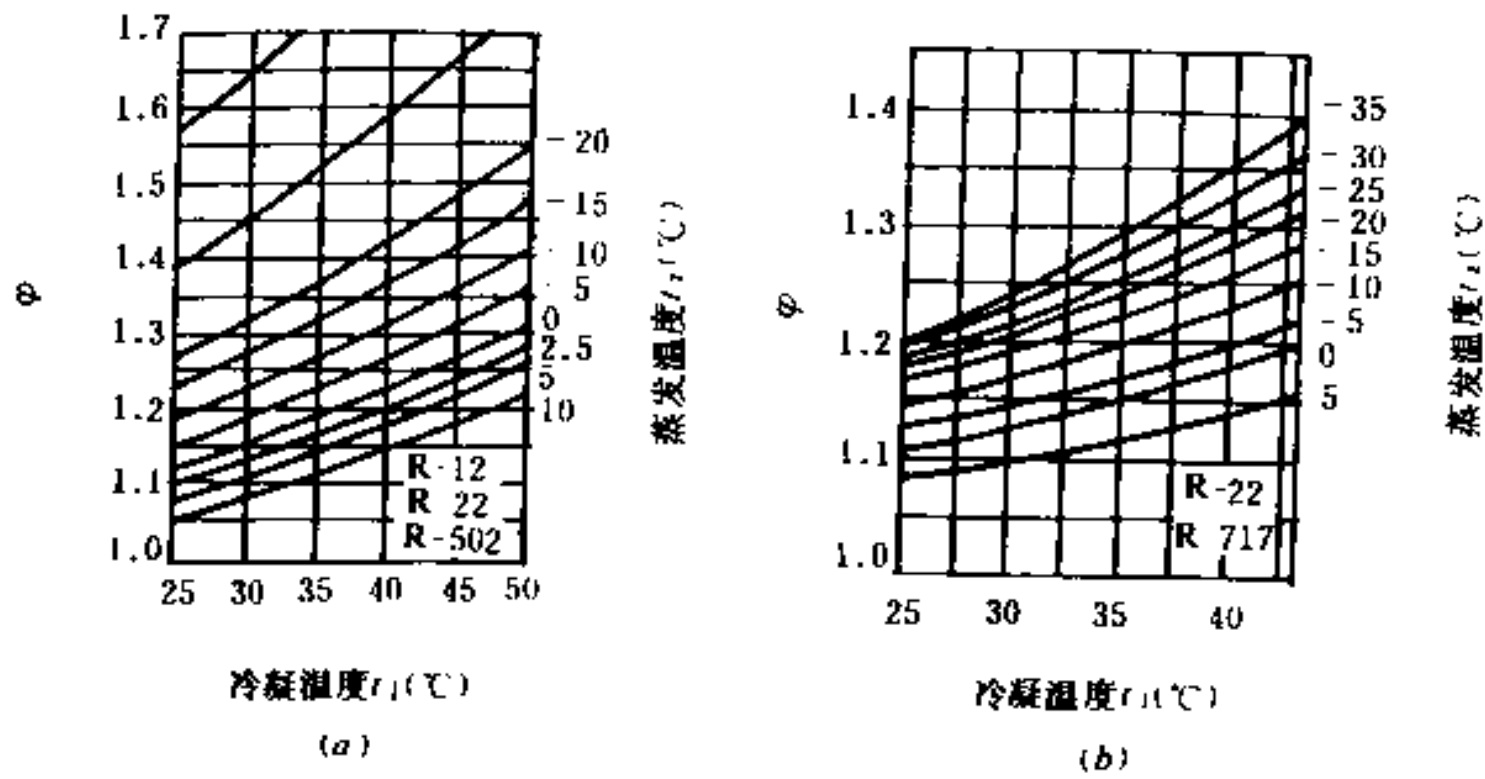


图 14.2-1 t_1 、 t_2 与 ϕ 的关系
(a) 气缸风冷; (b) 气缸水冷

14.3 离心式冷水机组

14.3.1 离心式冷水机组的分类

离心式冷水机组的分类见表 14.3 1。

离心式冷水机组分类表

表 14.3 1

分类方式	分 类
按驱动方式	蒸汽轮机驱动 燃气轮机驱动 电动机驱动
按压缩机与电动机连接方式	半封闭式 开 式
按蒸发器、冷凝器的结构型式	单筒式 双筒式
按冷凝器冷凝方式	水冷式 风冷式
按压缩机级数	单 级 双 级 三 级
按能量利用程度	单一制冷型 热泵型 热回收型
按能耗指标	一般型—能耗指标为 0.253 kW/kW 节能型—能耗指标为 0.238 kW/kW 超节能型—能耗指标 < 0.222 kW/kW
按制冷剂种类	R-11 R-12 R-22

14.3.2 离心式冷水机组的规格

国产空调用离心式冷水机组的主要产品规格和型号见表14.3-2。

国产离心式冷水机组的主要规格型号

表 14.3-2

型 号	制 冷 剂	额定制冷量 (kW)	蒸发温度 (℃)	冷凝温度 (℃)	转 速 (r/min)	主电动机功率 (kW)	机组型式
FLZ-600	R-11	750	5	38	9220	180	组 装 式
FLZ-1000 A	R-11	1250	4	38	7780	315	组 装 式
FLZ-1000 B	R-11	1150	4	38	7780	315	组 装 式
FTL120-11	R-11	1395	10	40	7500	350	分 散 式
FTL120-21	R-11	1395	4	40	4980	360	分 散 式
BF30×0	R-11	350	0	40	12200	100	组 装 式
BF40×0	R-11	465	0	40	12200	130	组 装 式
BF25×10	R-11	290	10	40	12200	100	组 装 式
BF50×10	R-11	580	10	40	12200	140	组 装 式
▯BF50×0	R-11	580	0	40	13000	180	组 装 式
BF60×0	R-11	700	0	40	11766	220	组 装 式
BF60×0(A)	R-11	814	6	40	11766	220	组 装 式
▯BF75×0	R-11	872	0	40	10800	250	组 装 式
▯BF100×0	R-11	1163	0	40	9350	320	组 装 式
▯BF120×3.3	R-11	1395	3.3	40	9200	320	组 装 式
▯BF140×9.1	R-11	1628	9.1	40	8500	320	组 装 式
▯BF120×0	R-11	1395	0	40	8500	400	组 装 式
BF150×0	R-11	1744	0	40	7650	500	组 装 式
KF240×0	R-12	2800	0	40	11500	800	组 装 式
KF190×0	R-12	2210	0	40	11500	630	组 装 式
KF150×0	R-12	1744	0	40	11500	500	组 装 式
HS-13B	R-11	704			8500	150	组 装 式
HS-14B	R-11	878			8500	180	组 装 式
HS-15B	R-11	1055			8500	200	组 装 式
HS-360H	R-11	1268			7800	235	组 装 式
HS-400H	R-11	1407			7800	260	组 装 式
HS-500H	R-11	1756			7800	320	组 装 式
HS-600H	R-11	2111			7800	385	组 装 式
HS-700H	R-11	2460			6200	455	组 装 式
HS-800H	R-11	2814			6200	515	组 装 式
HS-19CL	R-11	3338			4500	600	组 装 式
HS-20C	R-11	3727			4500	670	组 装 式
HS-20CL	R-11	4222			4500	760	组 装 式

14.3.3 离心式冷水机组的调节

离心式冷水机组的三种调节方法比较见表14.3-3。

离心式冷水机组的三种调节方法比较

表 14.3-3

比较项目 \ 调节方法	入口节流调节	变转速调节	入口可转导叶调节
调节范围	定	最大	较大
经济性	较差	最好	较好
结构	简单	简单	单级较简单多级复杂
特性趋势	曲线较陡	曲线平坦	曲线较陡
操作	方便, 自控系统复杂	最方便, 自控系统最简单	方便, 自控系统较简单
多级机组	效果差	效果好	效果差
超负荷调节	受闸阀开度限制	受叶轮强度限制	不受叶轮强度限制
等冷水出口温度 t_{s2} 调节	不易实现	方便	较方便
驱动要求	一般	变速驱动	一般
等制冷量调节	损失较大	损失最小	损失较小
维修和保养	较简单	最简单	较复杂
可靠性	较好	好	较差

14.3.4 离心式冷水机组的特点比较

见表14.3-4至14.3-7。

根据压缩机级数

表 14.3-4

比较项目 \ 比较种类	双级压缩	单级压缩
部分负荷时效率	较高	较低
部分负荷时喘振可能性	不易	易
制造成本	较高	较低

根据电机型式

表 14.3-5

比较项目	比较种类	
	全封闭结构	开式结构
检修	不便	方便
电动机冷却	用制冷剂冷却, 需多耗 3% 冷媒	用空气冷却, 电机散热进入机房
噪声	较低	较高
制造成本	高	低
部分负荷时电机效率	高	低
起动电流	小	大

根据制冷剂

表 14.3-6

比较项目	比较种类	
	R12	R11
压缩机尺寸	较小	较大
噪声	低	高
单位容积制冷量	较大	较小
制冷剂用量	少 15~30%	多 15~30%
对机器的密封性要求	较低	较高
空气和水份渗入的影响	小	大
排除空气时, 冷媒损耗	小	大
正压运转状况	各部分均处于正压	出口压力为正压、进口压力为负压
制冷剂毒性等级	6	5
贮液容器造价	较高	较低

根据冷凝器、蒸发器结构型式

表 14.3-7

比较项目	比较种类	
	双筒式结构	单筒式结构
效率	较高	较低
成本	较高	较低

14.3.5 离心式冷水机组的典型流程

离心式冷水机组的典型流程见图14.3-1、14.3-2。

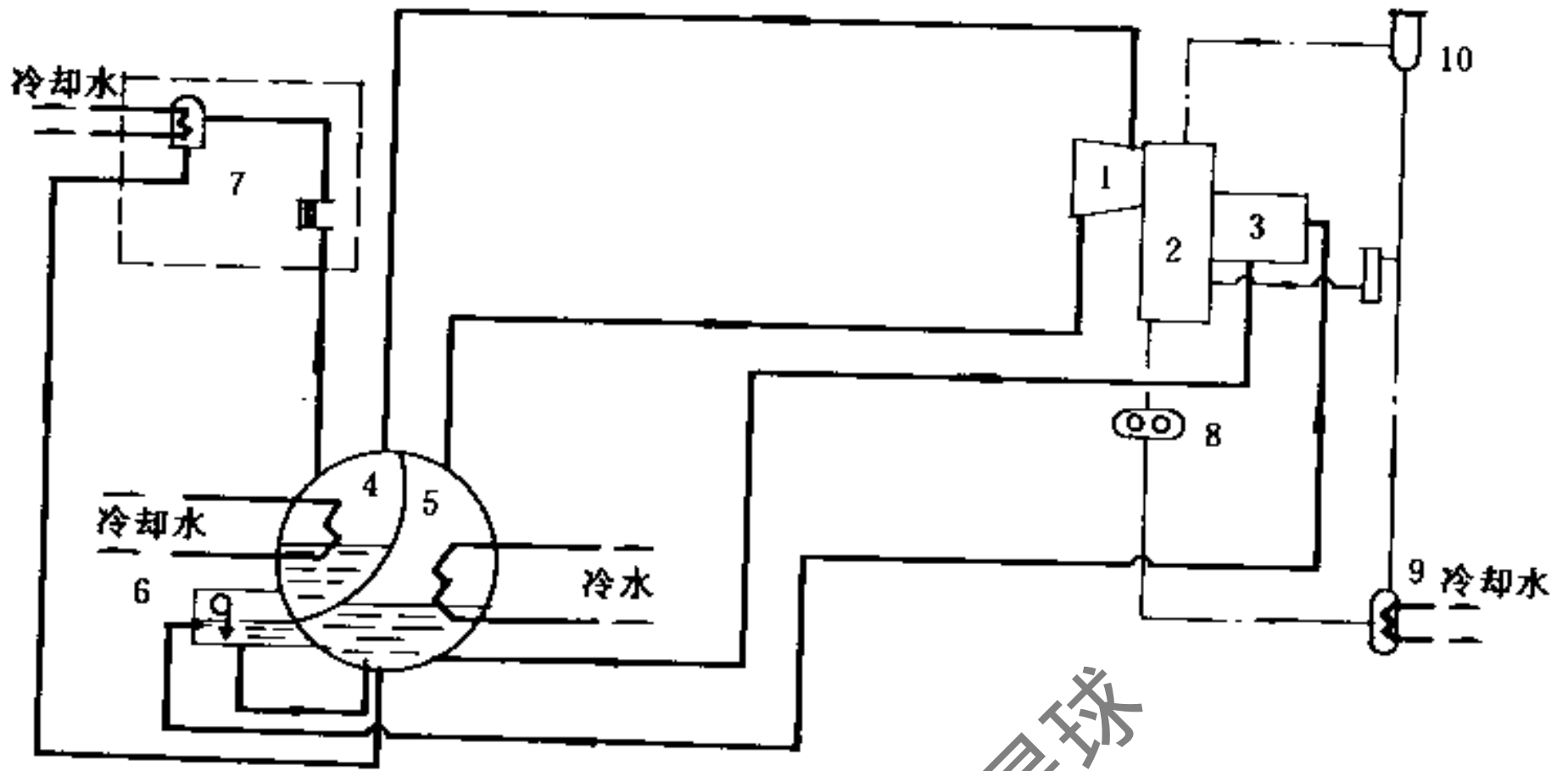


图 14.3-1 R11系列离心式冷水机组典型流程

1—离心式制冷压缩机；2—增速器；3—封闭式电动机；4—冷凝器；5—蒸发器；6—节流装置；7—制冷剂回收装置；8—油泵；9—油冷却器；10—油过滤器

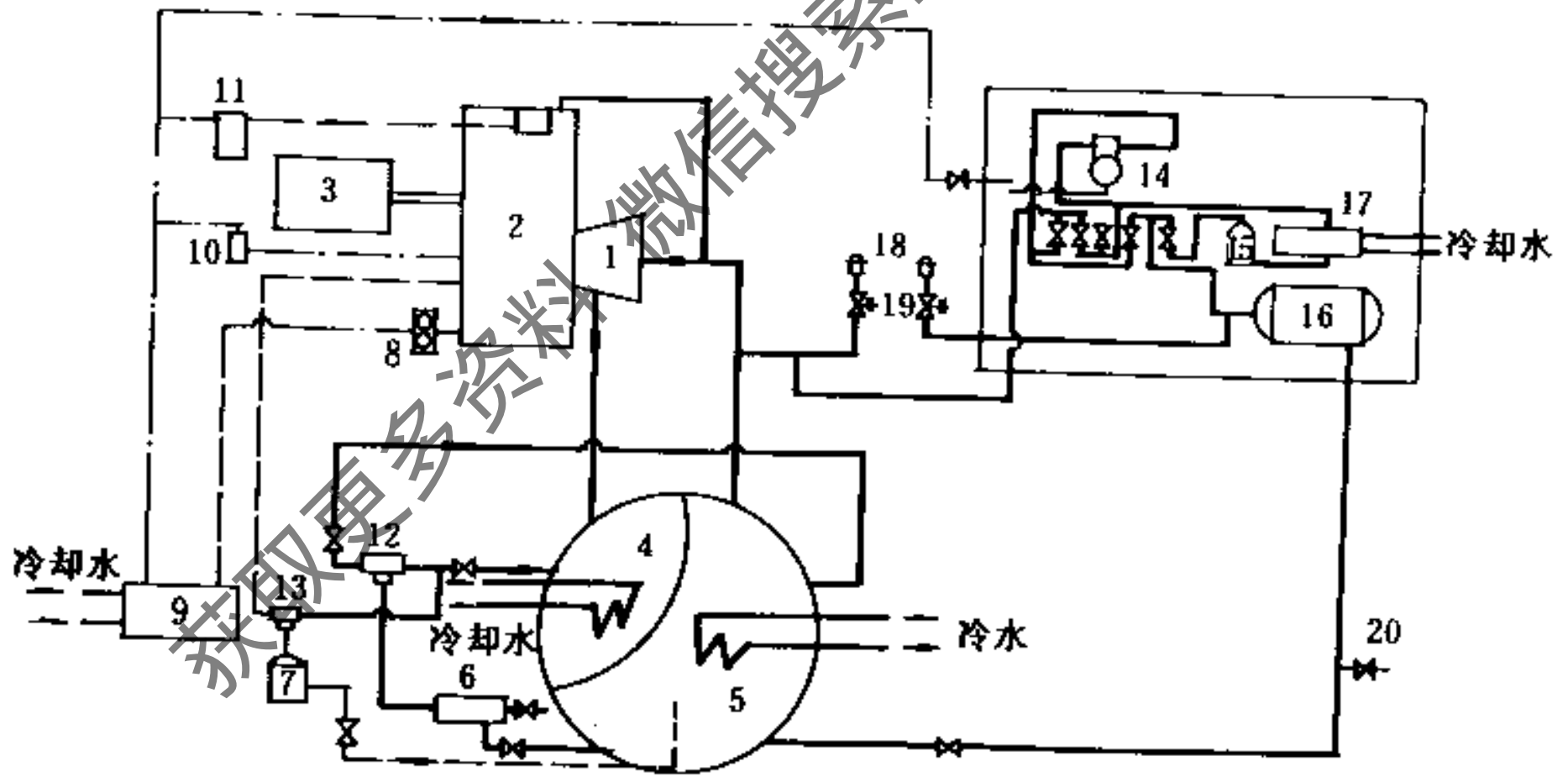


图 14.3-2 R12系列离心式冷水机组典型流程

1—离心式制冷压缩机；2—增速器；3—电动机；4—冷凝器；5—蒸发器；6—制冷剂干燥器；7—回油装置过滤器；8—油泵；9—油冷却器；10—油压调节阀；11—供油过滤器；12—射流器；13—射流器；14—制冷剂传送系统压缩机；15—制冷剂传送系统存液瓶；16—制冷剂传送系统贮液缸；17—制冷剂传送系统冷凝器；18—防爆膜；19—安全阀；20—充氟阀

14.3.6 离心式冷水机组的选用

一般厂家在产品样本中均列有离心式冷水机组的主要技术参数和特性表、特性曲线图。在冷凝器冷却水出水温度和蒸发器冷冻水出水温度已知的条件下，可选出合适的型号。表14.3-8~11，图14.3-3~5以FLZ系列为例，列出其主要技术参数和特性表、特性曲线图。

FLZ系列主要技术参数

表 14.3-8

项 目		型 号	FLZ-600	FLZ-1000A	FLZ-1000B
制冷量 (kW)			75	125	115
冷 水	进口温度 (°C)		12	12	12
	出口温度 (°C)		7	7	7
	流量 (m ³ /h)		120	200	200
	流程数		2	2	2
	压头损失 (MPa)		<0.06	<0.06	<0.06
	污垢系数 (m ² °C/kW)		0.086	0.086	0.086
	进出口通径 (mm)		150	200	200
	进口温度 (°C)		32	32	32
冷却水	流量 (m ³ /h)		160	250	300
	流程数		2	2	2
	压头损失 (MPa)		<0.07	<0.07	<0.07
	污垢系数 (m ² °C/kW)		0.086	0.086	0.344
	进出口通径 (mm)		150	200	200
电 机	配用功率 (kW)		180	315	315
	电源		3 φ·380V·50Hz		3 φ·6000V·50Hz
	压缩机转速 (r/min)		9220	7780	7780
	冷却方式		R 11	冷水	R 11
重 量	R 11 充填量 (kg)		550	800	1000
	润滑油充填量 (kg)		80	80	80
	机器重量 (kg)		6500	10500	14000
	运转重量 (kg)		7500	11900	15800
	运输重量 (kg)		8000	12300	16000

FLZ-600冷水机组特性表

表 14.3-9

冷却水进口温度 °C	冷 水 出 口 温 度 (°C)											
	4		5		6		7		8		9	
	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)
32	640	150	680	153	721	158	756	163	779	170	790	176

FLZ-1000 A冷水机组特性表

表 14.3-10

冷却水进口温度 °C	冷 水 出 口 温 度 (°C)											
	5		6		7		8		9		10	
	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)	Q ₀ (kW)	N _c (kW)
28	1204	262.5	1291	276.5	1361	287.5	1419	295.0	1460	303.0	1490	310.0
30	1140	268.0	1239	279.5	1308	290.0	1360	299.0	1430	307.0	1477	315.0
32	1076	272.0	1192	284.0	1250	294.5	1326	303.0	1396	310.0	1440	317.0

FLZ-1000B 冷水机组特性表

表 14.3-11

冷却水进口温度 ℃	冷水出口温度											
	5		6		7		8		9		10	
	Q_0 (kW)	N_e (kW)	Q_0 (kW)	N_e (kW)	Q_0 (kW)	N_e (kW)	Q_0 (kW)	N_e (kW)	Q_0 (kW)	N_e (kW)	Q_0 (kW)	N_e (kW)
30	1256	262.5	1361	277.0	1425	288.0	1483	297.0	1517	314.0	1605	304.0
32	1186	271.0	1256	285.0	1349	294.0	1430	302.6	1483	311.5	1547	309.0
34	1105	265.0	1198	280.0	1308	294.0	1367	304.0	1430	308.5	1489	311.0
36	989	247.0	1105	267.0	1198	284.0	1308	299.0	1367	304.0	1448	313.5

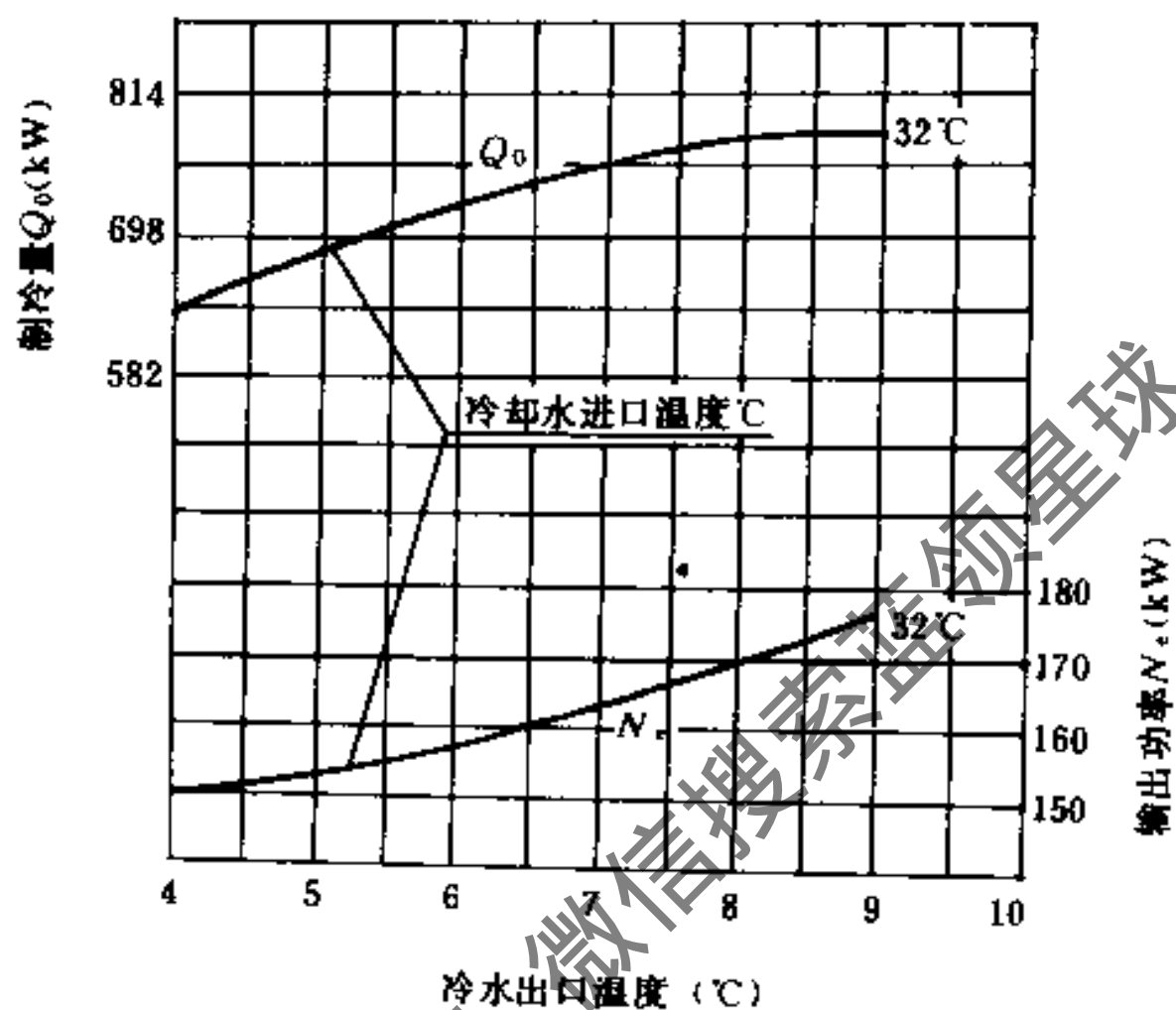


图 14.3-3 FLZ-600 离心式冷水机组特性曲线

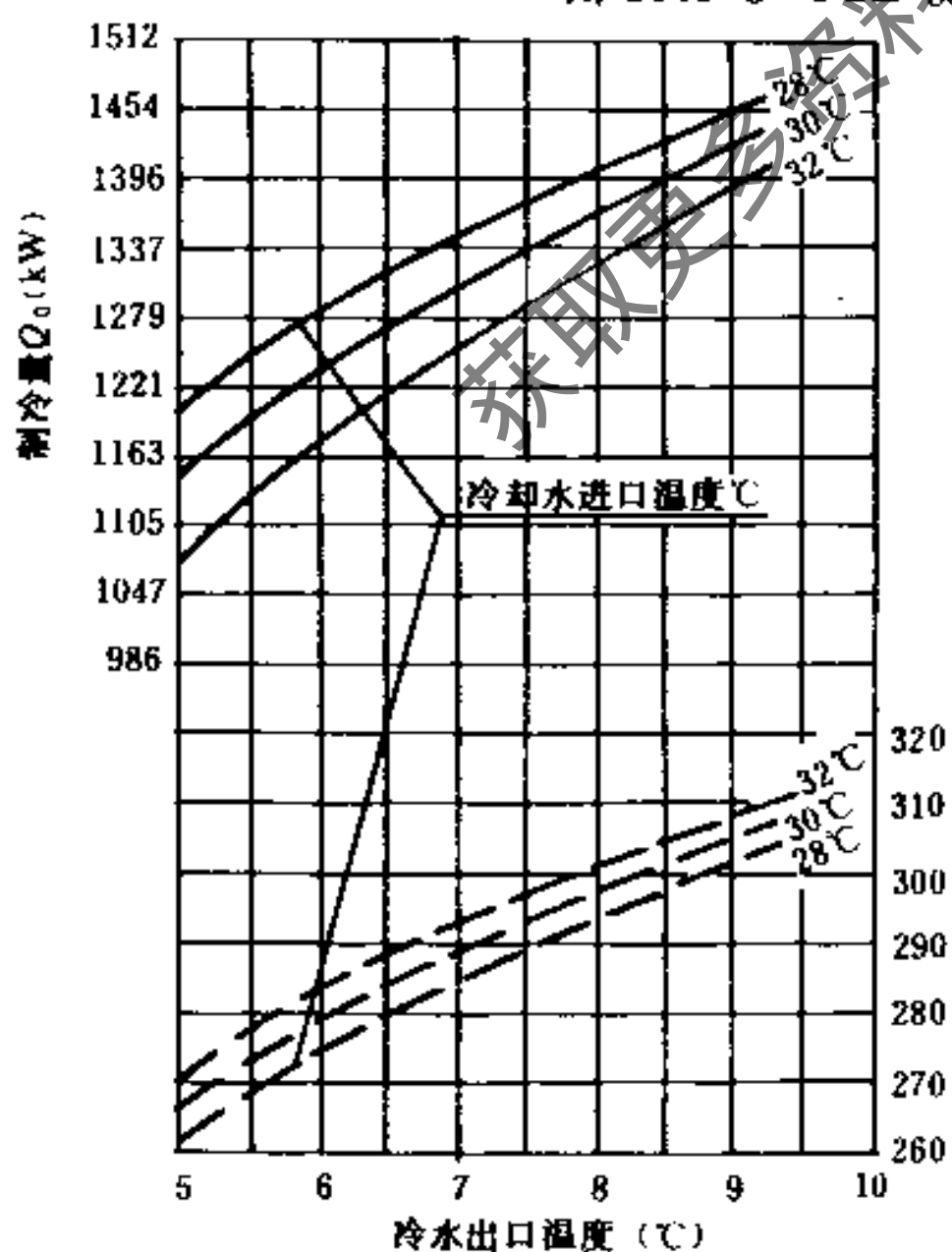


图 14.3-4 FLZ-1000A 离心式冷水机组特性曲线

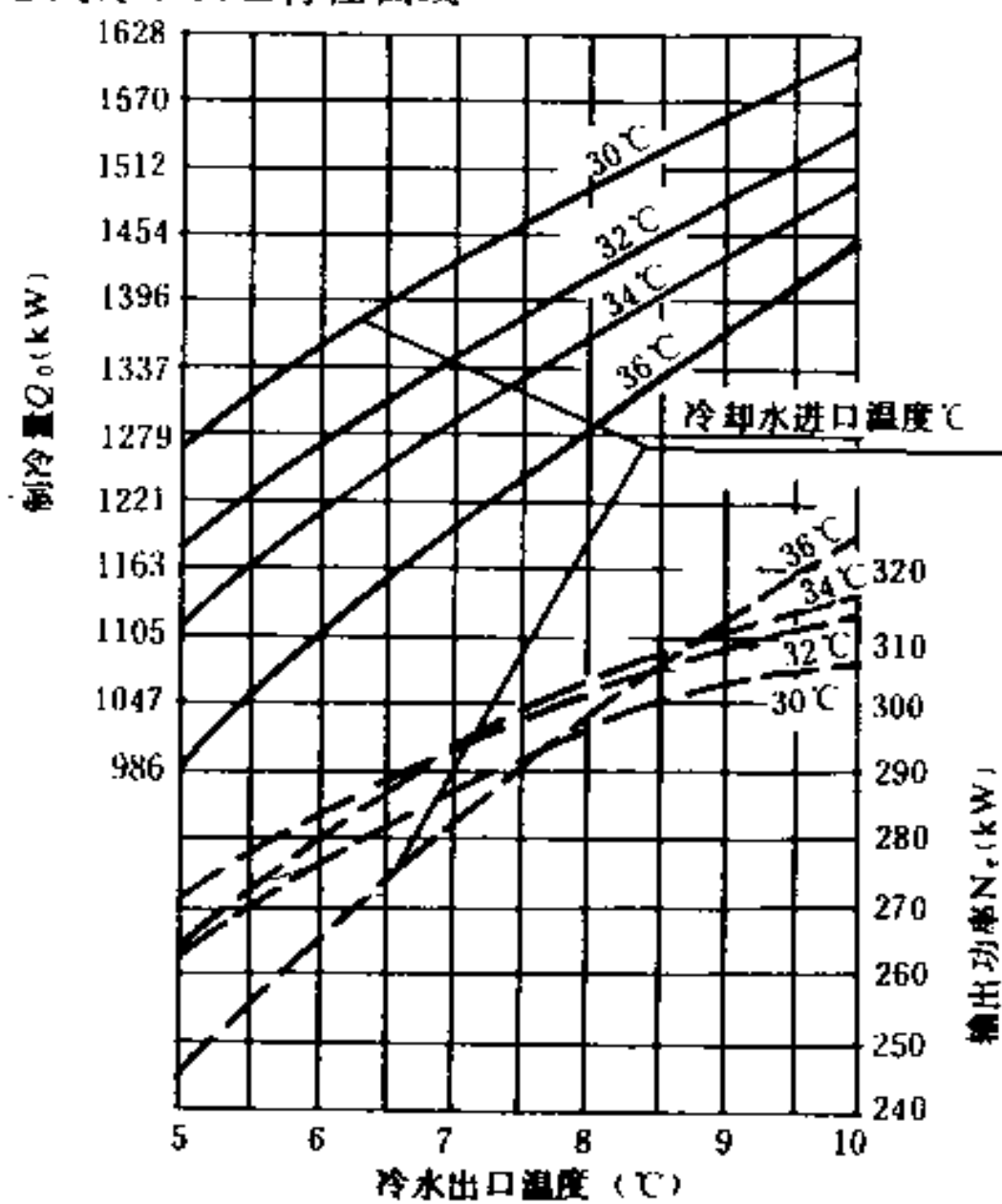


图 14.3-5 FLZ-1000B 离心式冷水机组特性曲线

14.4 螺杆式冷水机组

14.4.1 螺杆式冷水机组的设计制造条件、工况和型号表示方法

1. 螺杆式制冷机的设计制造条件(见表14.4-1)

螺杆式制冷机的设计制造条件

表 14.4-1

制 冷 剂		R717	R 22	R 12
工 况	最高冷凝温度	(℃)	45	55
	最低蒸发温度		- 40	
	最高蒸发温度		5	
	最高排气温度		<105	90

2. 螺杆式制冷机的工况

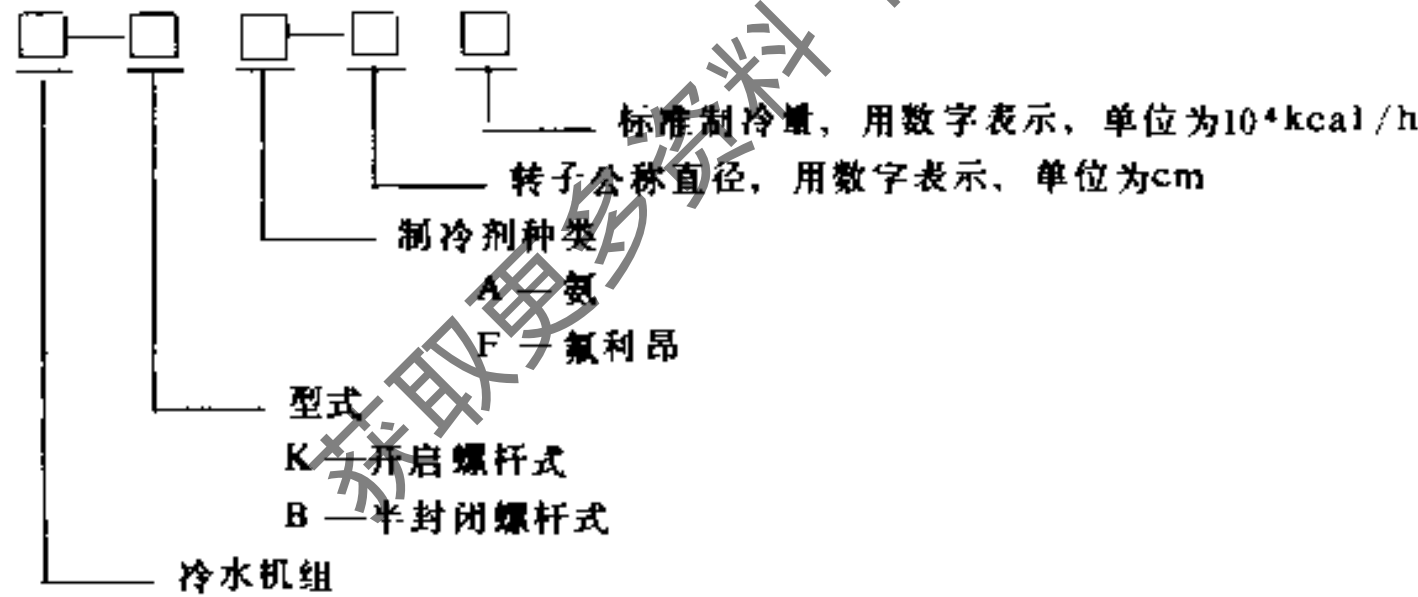
螺杆式制冷机确定标准制冷量和轴功率的工况见表14.4-2。

螺杆式制冷机确定标准制冷量和轴功率的工况

表 14.4-2

制 冷 剂	蒸发温度	吸气温度	冷凝温度	过冷温度	内容积比
	(℃)				
R717	- 15	- 10	+ 30	+ 25	3.6
R22、R12		+ 15			

3. 螺杆式制冷机和冷水机组型号表示方法



4. 型号标记示例

(1) KA20-50: 表示开启螺杆式, 以氨为制冷剂, 转子公称直径200mm, 标准制冷量为500000kcal/h的单级制冷机。

(2) BF12.5-4: 表示半封闭螺杆式, 以氟利昂为制冷剂, 转子公称直径为125mm, 标准制冷量为40000kcal/h的单级制冷机。

(3) JZS-KF20 96: 表示开启螺杆式, 以氟利昂为制冷剂, 转子公称直径200mm, 标准制冷量为 96×10^4 kcal/h的冷水机组。

14.4.2 螺杆式冷水机组的基本参数

螺杆式制冷机的基本参数见表14.4-3、14.4-4。

表 14.4-3

开启式螺杆制冷机的基本参数

序号	转子 名义 直径 (mm)	R717				R22				R12						
		标准制冷量 Q_0 (kW)		轴功率 N_b (kW)		标准制冷量 Q_0 (kW)		轴功率 N_b (kW)		标准制冷量 Q_0 (kW)		轴功率 N_b (kW)				
		长径比		长径比		长径比		长径比		长径比		长径比				
		阳 转 子 转 速 (r/min)	1	1.5	1	1.5	阳 转 子 转 速 (r/min)	1	1.5	1	1.5	阳 转 子 转 速 (r/min)	1	1.5		
1	63	4440	16.0	24.0	5.2	7.63	4440	15.23	22.56	5.46	8.10	4440	9.30	14.0	3.52	5.27
2	80	4440	33.84	51.0	10.8	16.0	4440	32.33	48.73	11.35	17.10	4440	19.89	30.12	7.47	11.25
3	100	4440	68.0	102.0	20.7	30.8	4440	64.84	97.46	21.45	32.2	4440	40.06	60.12	14.36	21.55
4	125	2960 (4440)	88.39	133.0	26.7	39.4	2960	84.32	126.54	26.90	40.3	2960	52.05	78.04	17.6	26.8
5	160	2960 4440	192.83	289.0	57.0	85.5	2960	182.95	269.24	53.0	83.0	2960	112.81	169.80	34.8	52.2
6	200	(1470) 2960	384.39	583.85	110.2	164.6	2960	275.0	412.80	83.0	124.5	(1470) 2960	109.90	166.54	35.0	53.0
7	250	(1470) 2960	751.51	1141.2	210.3	316.5	2960	709.46	1087.80	204.4	311.7	(1470) 2960	219.46	333.56	65.1	96.9
8	310	(1470) 2960	1500	2256.32	421.0	625.0	2960	1430.56	2149.32	410	615.0	(1470) 2960	444.63	670.26	127.6	191.9
													883.92	1325.88	253.0	380.0

半封闭式螺杆制冷机的基本参数

表 14.4-4

序号	转子名义直径 (mm)	R22					R12				
		阳转子转速 (r/min)	标准制冷量 Q_0 (kW)		轴功率 N_b (kW)		阳转子转速 (r/min)	标准制冷量 Q_0 (kW)		轴功率 N_b (kW)	
			长径比		长径比			长径比		长径比	
			1	1.5	1	1.5		1	1.5	1	1.5
1	63	4440	15.24	22.6	5.46	8.1	4440	9.3	14.07	3.52	5.27
2	80	4440	32.33	48.73	11.35	17.1	4440	19.89	30.12	7.47	11.25
3	100	4440	76.47	97.46	21.45	32.2	4440	40.0	60.12	14.36	21.55
4	125	2960	84.32	126.54	26.9	40.3	2960	52.0	78.0	17.90	26.80
		(4440)	129.56	194.58	40.2	60.5	(4440)	80.0	120.25	25.5	38.3
5	160	2960	183.53	275.0	53.0	83.0	2960	112.8	216.32	34.8	52.2
		(4440)	275.0	412.3	83.0	124.5	(4440)	169.8	254.7	52.2	78.2

14.4.3 螺杆式冷水机组的典型流程

(见图14.4-1)

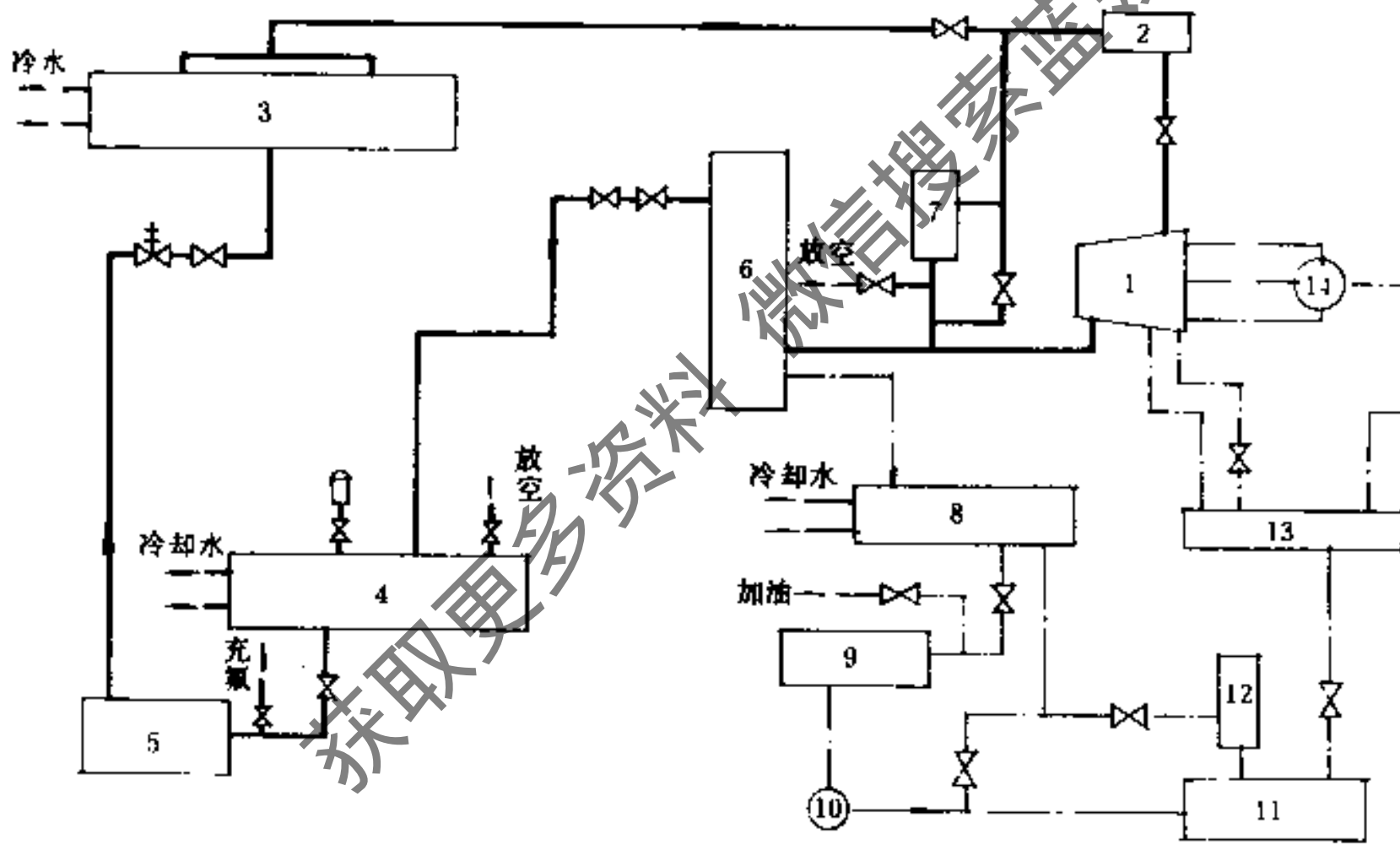


图 14.4-1 螺杆式冷水机组典型流程

1—螺杆式制冷压缩机；2—吸气过滤器；3—蒸发器；4—冷凝器；5—氟利昂干燥过滤器；6—油分离器；7—安全旁通阀；8—油冷却器；9—油粗滤器；10—油泵；11—油精滤器；12—油压调节阀；13—油分配器；14—四通阀

14.4.4 螺杆式冷水机组的选用

一般厂家在产品样本中均列有螺杆式冷水机组的主要技术参数和制冷量表、性能曲线图。在冷凝器冷却水出水温度和蒸发器冷冻水出水温度已知的条件下，可选出合适的型号。表14.4-5、14.4-6，图14.4-2~4以JZS-KF系列为例，列出其主要技术参数和制冷量表、性能曲线图。

JZS-KF系列主要技术参数

表 14.4-5

项 目		型 号	JZS-KF12.5-20	JZS-KF12.5-30	JZS KF16 48	JZS-KF20-96
空调工况制冷量 (kW)			232.6	348.9	558.2	1116.5
制冷剂充量R22 (kg)			80	100	210	400
润滑油注入量 (kg)			75	90	140	180
振 幅 (μm)			20~30	20~30	20~30	20~30
噪 声 dB (A)			78~85	86~89	<89	<91
压 缩 机	型 号		KF12.5 20	KF12.5-30	KF16-48	KF20-96
	理论排量 (m ³ /h)		264	396	552	1068
	能量调节范围 (无级)		15~100	15~100	15~100	15~100
	转子间的传动方式		阳带阴	阴带阳	阳带阴	阳带阴
主电动机	转 速 (r/min)		2960	2960	2960	2960
	电 压 (V)		380	380	380	380
	功 率 (kW)		65	85	125	250
蒸 发 器	型 式		干 式	干 式	满液式	满液式
	冷冻水量 (m ³ /h)		45~65	60~80	80~120	160~240
	水程阻力 (MPa)		0.039~0.058	0.058~0.077	0.04	0.07
	冷冻水接管内径 (mm)		100	100	125	150
冷 凝 器	冷却水量 (m ³ /h)		60	90	120	240
	水程阻力 (MPa)		0.039~0.058	0.058~0.077	0.06	0.09
	冷却水接管内径 (mm)		65	65	125	150
油冷却器	冷却水量 (m ³ /h)		1.2	2.5	10	16
	水程阻力 (MPa)		0.039~0.058	0.058~0.077	0.04	0.07
	冷却水接管内径 (in)		1 1/4"	1 1/2"	2"	2"
外形尺寸 (长×宽×高) (mm)			3420×1300×1665	3150×1500×1600	3570×1660×2200	4250×1900×2346
机组净重 (kg)			3200	3200	4900	7700

制冷量: kW

JZS-KF系列冷水机组制冷量表

表 14.4-6

蒸发器冷冻 水出水温度 (℃)	冷凝器冷却 水出水温度 (℃)							
	26	28	30	32	34	36	38	40
JZS-KF12.5-20								
5	241.9	232.6	223.3	213.9	200	195.4	188.4	179.1
6	255.9	246.6	237.3	227.9	216.7	209.3	202.4	193.1
7	266.3	257	247.7	238.4	229.1	219.8	210.5	203.5
8	284.4	273.3	261.7	250	238.4	226.8	216.3	209.3
9	287.3	276.8	266.3	255.9	245.4	234.9	223.3	216.3
10	291.9	281.4	272.1	261.7	252.4	241.9	231.4	223.3
JZS KF12.5-30								
5	336.1	325.6	315.2	304.7	294.2	283.8	273.3	264
6	358.2	346.6	336.1	324.5	314	302.4	291.9	282.1
7	372.2	361.7	351.2	339.6	329.1	318.7	309.4	300
8	383.8	373.3	362.9	353.6	344.2	333.8	326.8	311.7
9	393.1	383.8	373.3	364	353.6	344.2	332.6	316.3
10	400	390.8	381.5	370.9	361.7	352.4	343.1	326.8
JZS-KF16-48								
5	514	502.4	493.1	486.1	477.9	472.2	462.9	451.7
6	524.5	514	503.6	496.6	487.3	481.5	473.3	464
7	540.8	529.2	524.5	517.5	508.2	501.3	493.1	483.8
8	557.1	546.6	537.3	530.3	519.9	511.7	503.6	495.4
9	584.9	572.2	561.2	554.8	543.1	536.1	528	518.7
10	596.6	586.2	575.7	568.7	557.1	550.1	540.8	530.3
JZS-KF20-96								
5	1017.6	1004.8	985.1	972.3	954.8	941.4	925.7	916.4
6	1039.7	1028.1	1005.9	993.2	974.6	962.9	946.7	930.4
7	1068.8	1058.3	1047.9	1035.1	1016.5	1003.7	986.2	969.9
8	1107.2	1093.2	1075.8	1060.7	1038.6	1024.6	1007.2	990.9
9	1157.2	1144.4	1123.5	1109.5	1086.2	1073.4	1056	1044.4
10	1186.3	1172.3	1151.4	1137.4	1114.2	1100.2	1081.6	1073.4

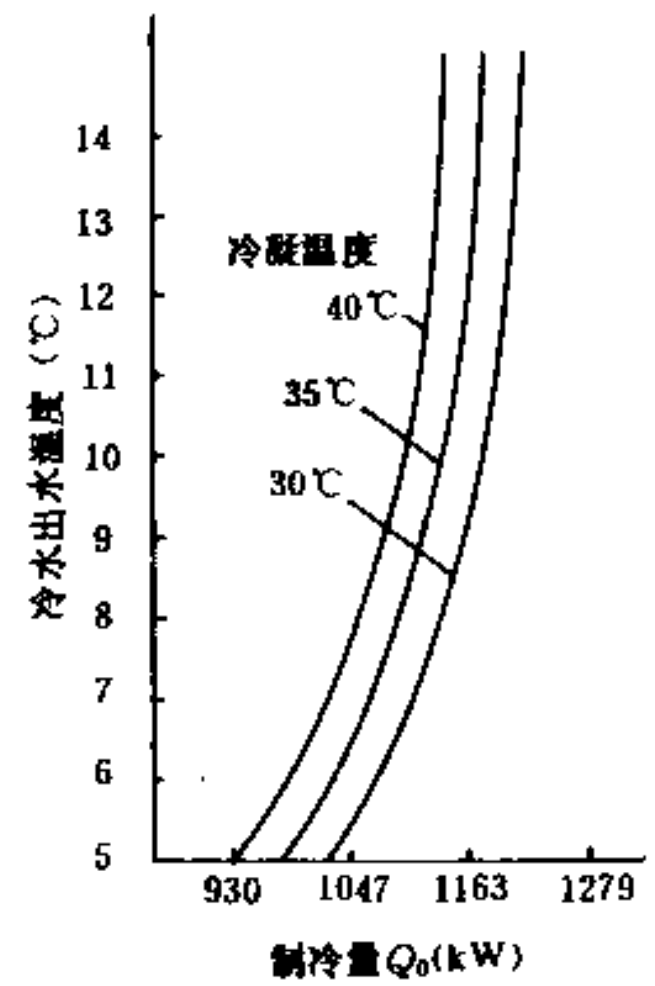
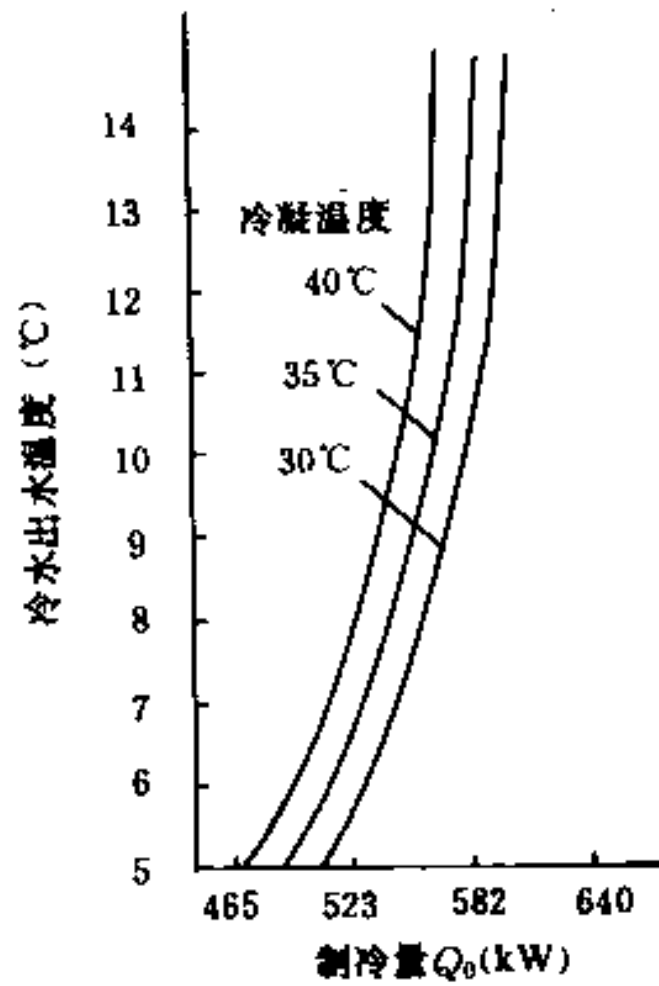
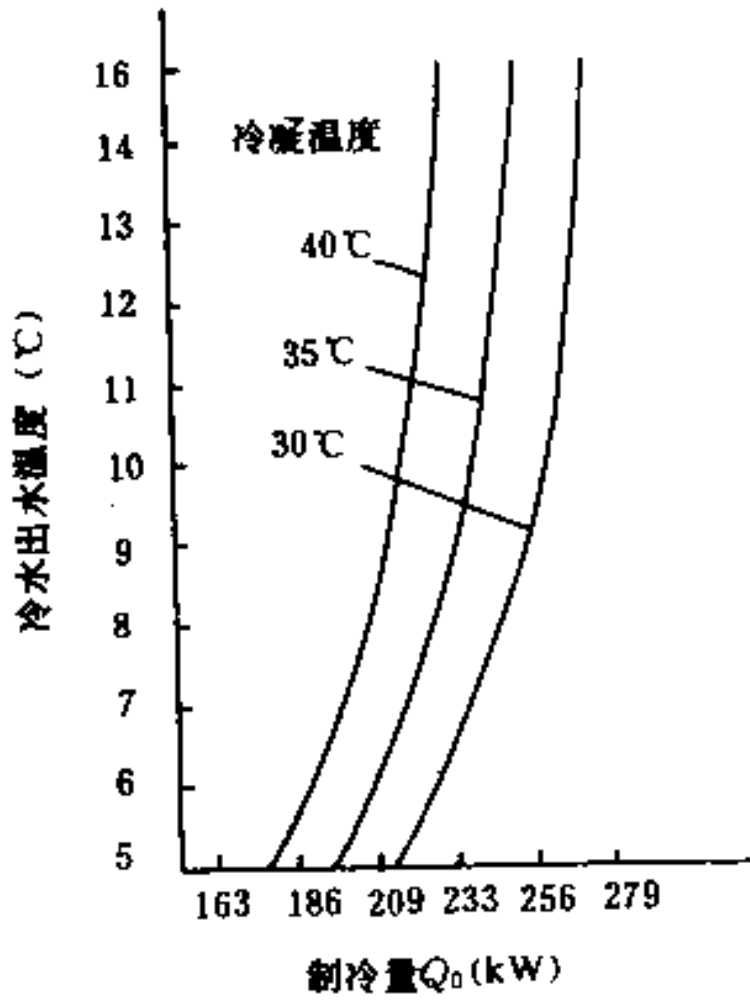


图 14.4-2 JZS-KF12.5-20型螺杆式冷水机组性能曲线图

图 14.4-3 JZS-KF16-48型螺杆式冷水机组性能曲线图

图 14.4-4 JZS-KF20-96型螺杆式冷水机组性能曲线图

14.5 溴化锂吸收式制冷机

14.5.1 溴化锂吸收式制冷机的特点

溴化锂吸收式制冷机是以溴化锂为吸收剂，以水为制冷剂，通过水在低压下蒸发吸热而进行制冷的。

水在不同压力下的蒸发温度见表14.5-1。

水在不同压力下的蒸发温度

表 14.5-1

绝对压力 (kPa)	1535	101	7.38	1.23	1.00	0.814	0.706
水的蒸发温度(°C)	200	100	40	10	7	4	2

溴化锂吸收式制冷循环原理见图14.5-1。

溴化锂吸收式制冷的特点：

- 制冷剂为水，而水是在高真空的情况下蒸发，其真空度是靠溴化锂溶液不断吸收蒸发的水份而保持的。
- 冷水温度必须高于零度。为了运行的安全，冷水出口温度不宜低于3~5℃。
- 发生器通过加热溴化锂稀溶液，使该溶液得到浓缩后又回到吸收器使用，故溴化锂吸收式制冷必须具备热源。一般宜用在有廉价的燃料、热源和废热的场合。
- 冷却水用量比压缩式制冷机大。
- 除冷剂和溶液循环泵外，基本上无运转部件，所以运转平稳，振动和噪声小。
- 设备体积大，耗用金属多，故设备价格偏高。

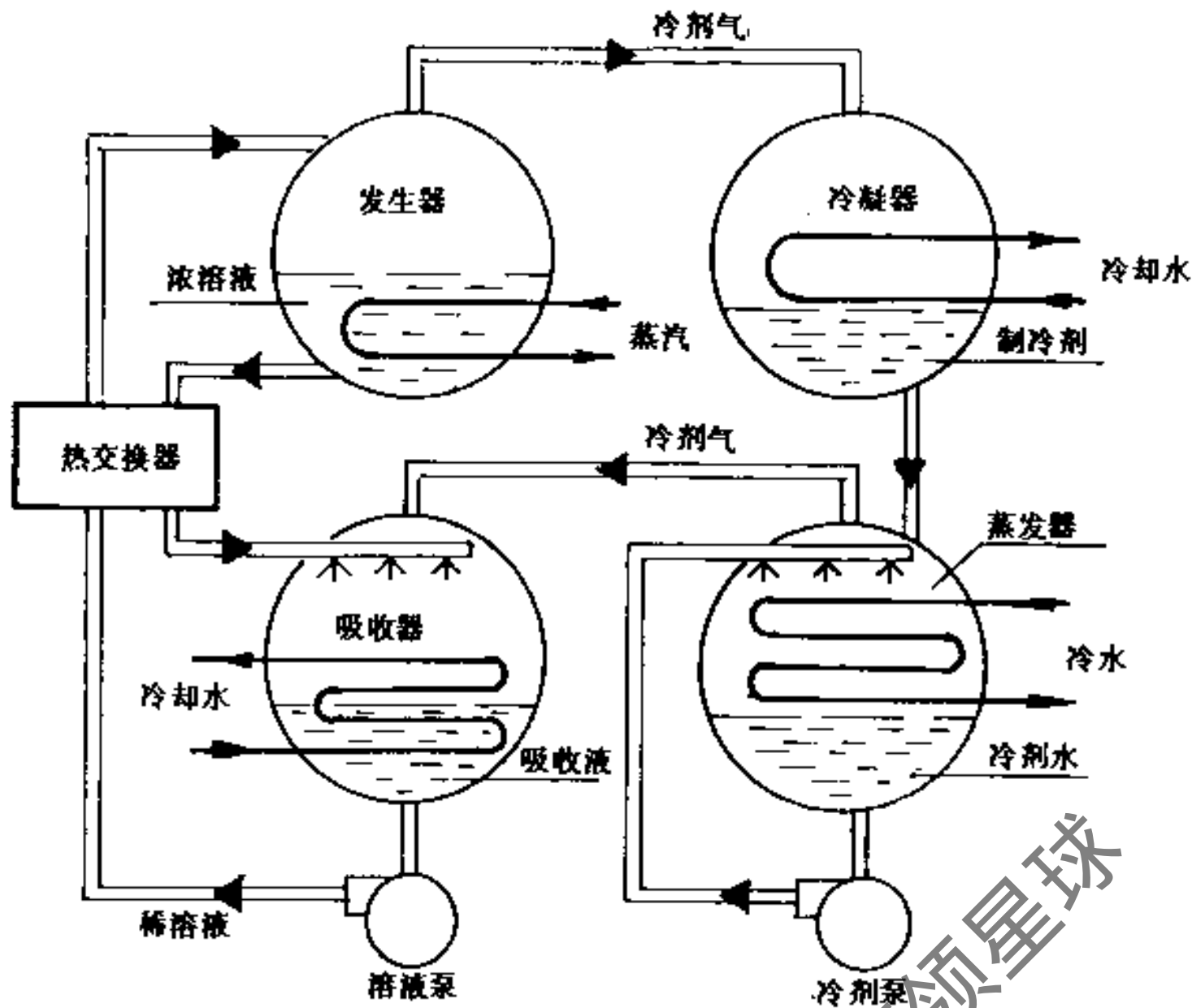


图 14.5-1 吸收式制冷循环原理图

• 溴化锂溶液对于金属，特别是黑色金属，在接触空气的情况下具有强烈的腐蚀性，故一定要保证设备的良好密封性能，并对腐蚀问题给予特别的重视，一般在溴化锂溶液中添加铬酸锂和氢氧化铝作为缓蚀剂。

14.5.2 溴化锂吸收式制冷机的分类

常用的溴化锂吸收式制冷机有：单效、双效和直燃式三种。

1. 单效溴化锂吸收式制冷机

单效溴化锂吸收式制冷机的主要部件有发生器、冷凝器、蒸发器和吸收器以及热交换器、屏蔽泵等。其制冷循环如图14.5-2所示。稀的吸收剂（溴化锂）溶液由发生器泵送出，经热交换器加热后送至发生器，被通过发生器盘管中的蒸汽或热水加热浓缩，稀溶液中的部分制冷剂水蒸发成制冷剂水蒸汽。制冷剂水蒸汽经挡水板后进入冷凝器，被流经冷凝器盘管内的冷却水冷凝成制冷剂水。制冷剂水经节流后进入蒸发器，并由蒸发器泵均匀地喷淋在蒸发器盘管的外表面上。由于蒸发器的压力较冷凝器的压力低得多，部分制冷剂水蒸发并吸收流经蒸发器盘管内的冷水的热量以达到制冷的目的。制冷剂水蒸汽进入吸收器被通过吸收器泵均匀地喷淋在盘管外的中间浓度混合吸收液所吸收，其吸收热由通过吸收器盘管内的冷却水带走。吸收了制冷剂水蒸汽的吸收液即为稀溶液，再次进行循环。

2. 双效溴化锂吸收式制冷机

双效吸收式制冷机有高压和低压两个发生器，其它则基本上和单效溴化锂吸收式制冷机一样。典型的双效溴化锂吸收式制冷循环见图14.5-3。稀释的溴化锂吸收剂溶液先到高压发生器，被通过高压发生器盘管中较高压力（0.4MPa~0.7MPa）的蒸汽加热。在高压发生器中产生的制冷剂蒸汽做为低压发生器的热源加热进到低压发生器的中间溶液。这就有效地利用了制冷剂蒸汽的潜热，节约了热能，并减少了冷凝负荷。

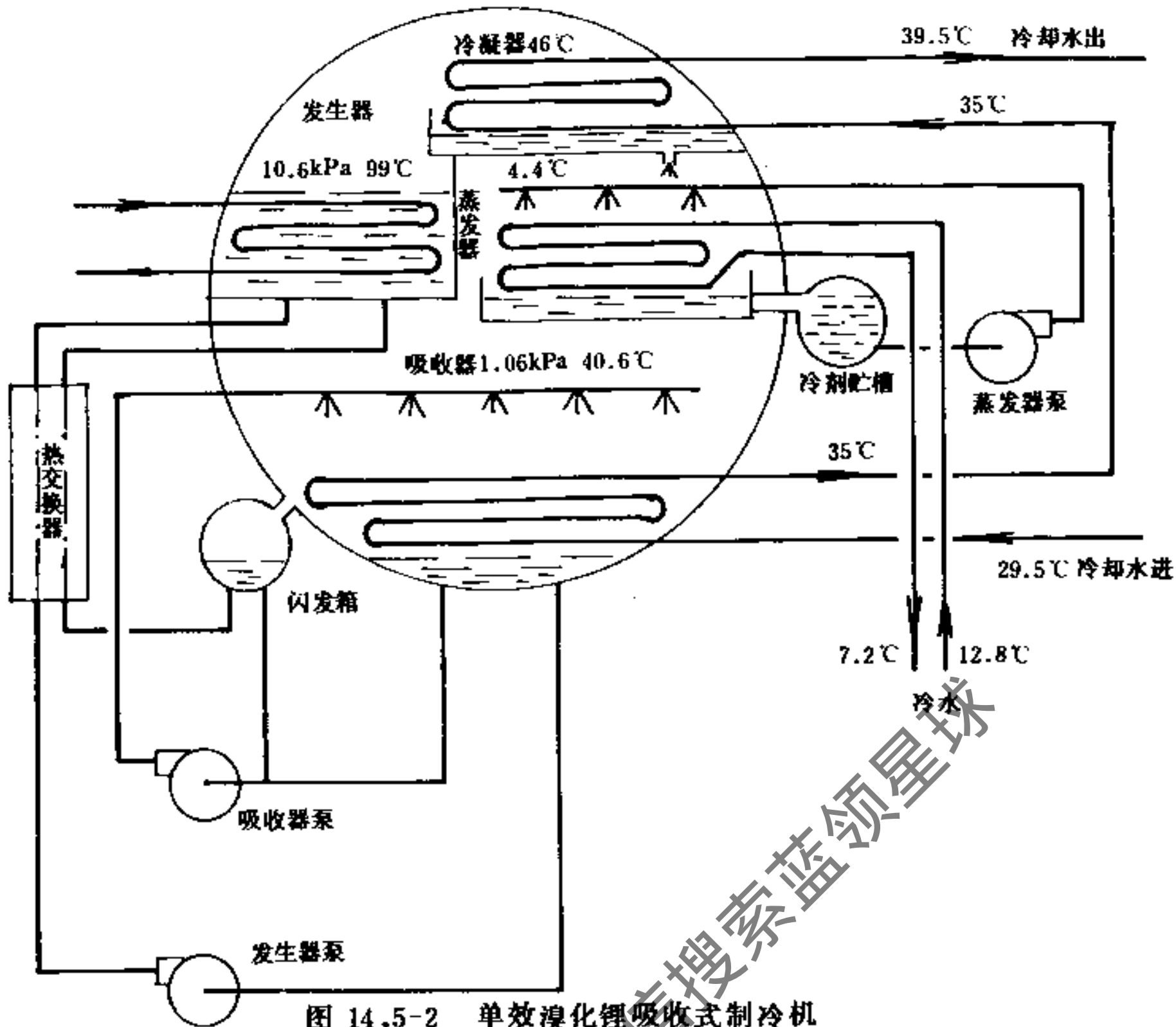


图 14.5-2 单效溴化锂吸收式制冷机

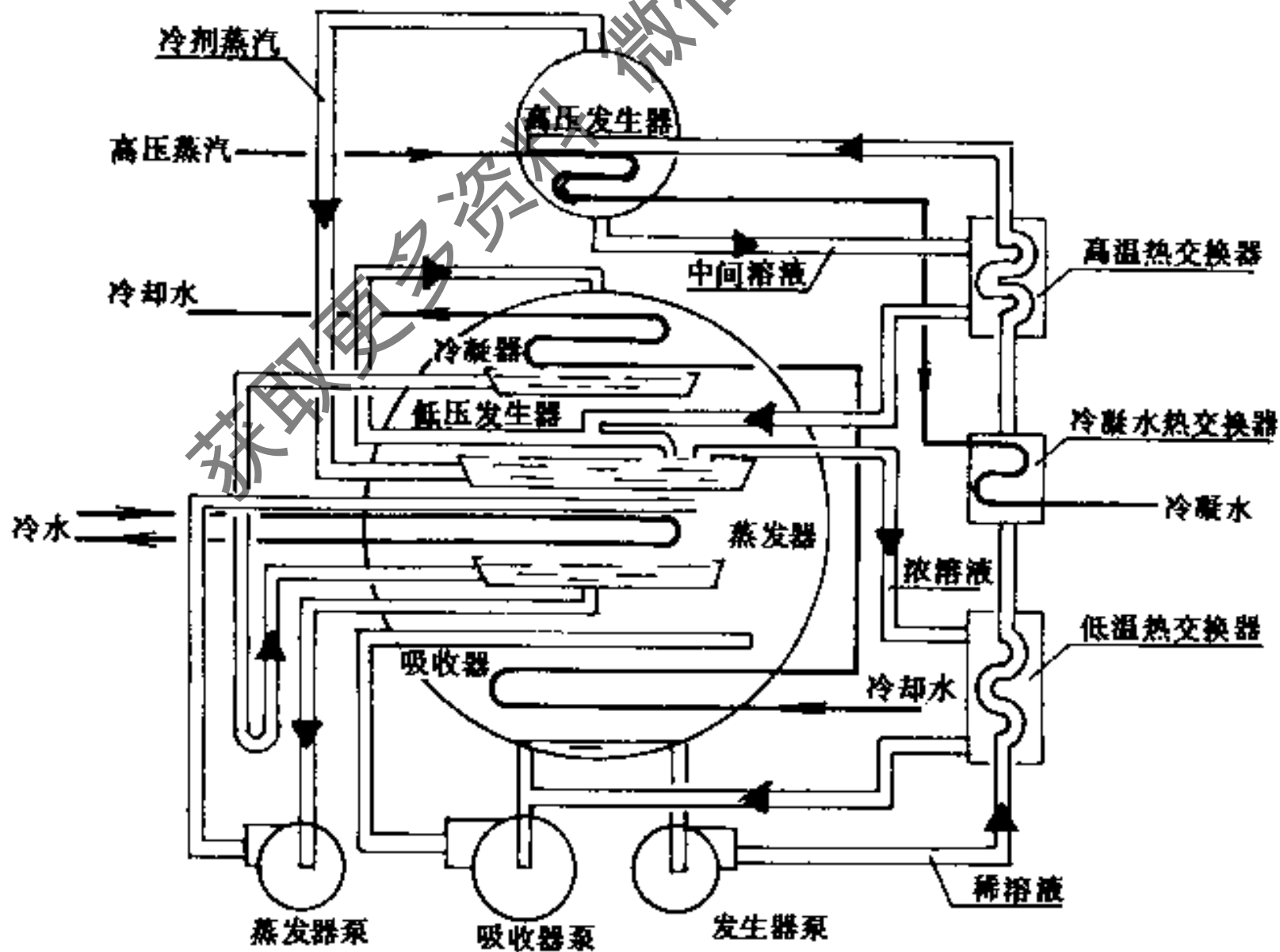


图 14.5-3 双效溴化锂吸收式制冷机

3. 直燃式冷温水机组

直燃式冷温水机组实际上是双效吸收式制冷机的另一种型式。其高压发生器的热源不是用高压蒸汽而是用燃气直接燃烧加热。高压发生器实际上是一个火管锅炉，用燃气直接

加热溴化锂稀溶液，而产生的冷剂蒸汽作为低压发生器的热源用。采用直燃式冷温水机组可不另设置锅炉，冬季也可用冷温水机组直接供应供暖和空调用热水。

高压发生器的燃烧装置热效率约为0.8左右，一般火管锅炉的燃烧效率约为0.85，考虑到用蒸汽加热溴化锂稀溶液过程的热损失，对燃料的利用率来说，也大约是0.8，故直燃式冷温水机组和双效溴化锂吸收式制冷机比较，其热效率是相近的。

典型的直燃式冷温水机组的制冷、供热循环图分别见图14.5-4和图14.5-5。

从图14.5-5可以看到，供热时冷却水停供，冷却水管路成为供暖空调的热水管道。热水进入吸收器先经吸收器中的低温稀溶液加热，再流经冷凝器被冷剂蒸汽加热到所需的温度。

在吸收器中加热热水的稀溶液通过热交换器后送至高压发生器被燃气加热，在低于大气压力下产生高温冷剂蒸汽。这个冷剂蒸汽进到低压发生器，加热在高压发生

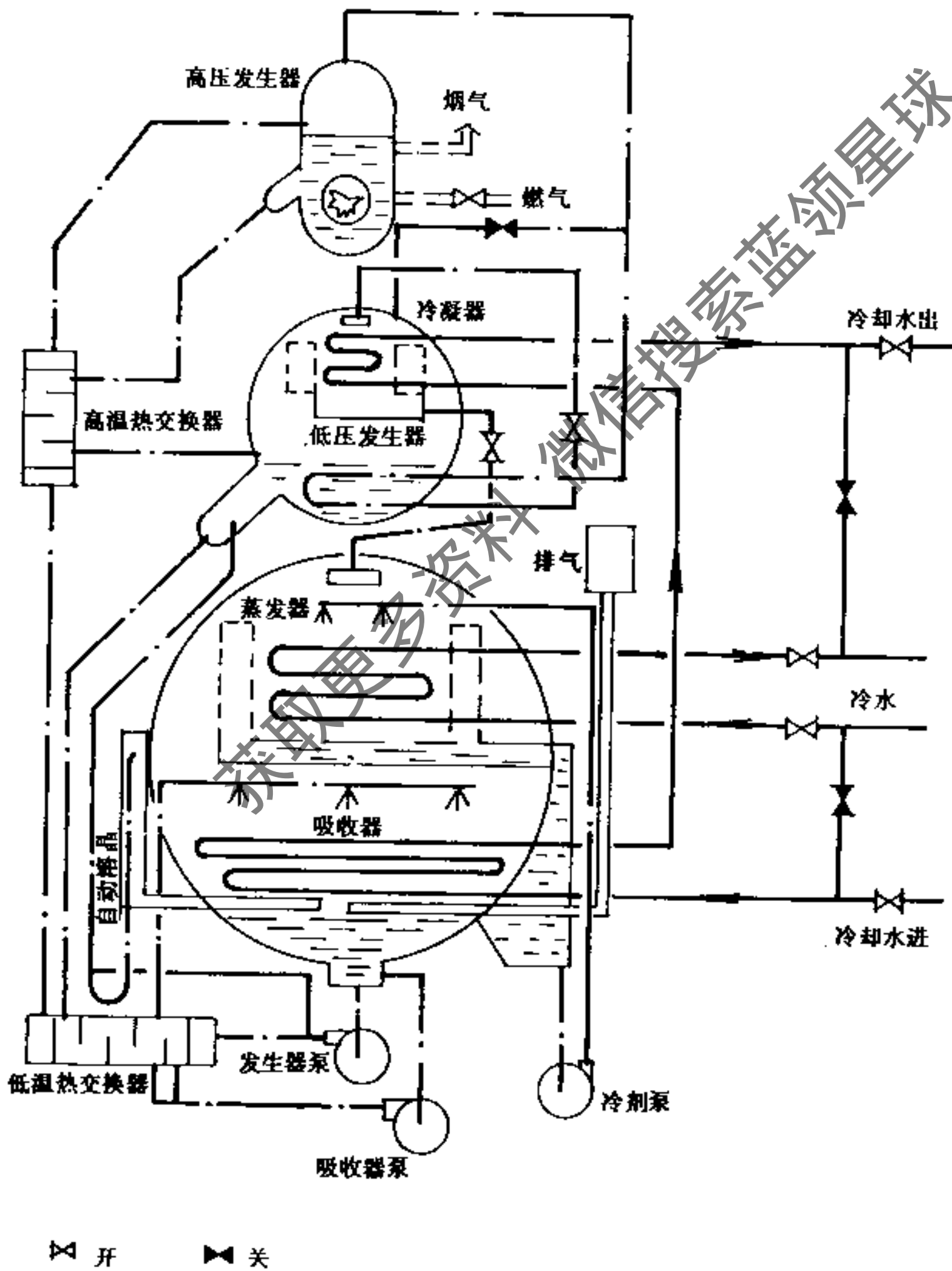


图 14.5-4 直燃式冷温水机组制冷循环

器中得到初步浓缩的溴化锂中间溶液并使之蒸发浓缩，所产生的冷剂蒸汽进到冷凝器冷凝成冷剂水，其热量用来加热通过冷凝器盘管中的热水，然后流回吸收器，完成冷剂蒸汽的循环。

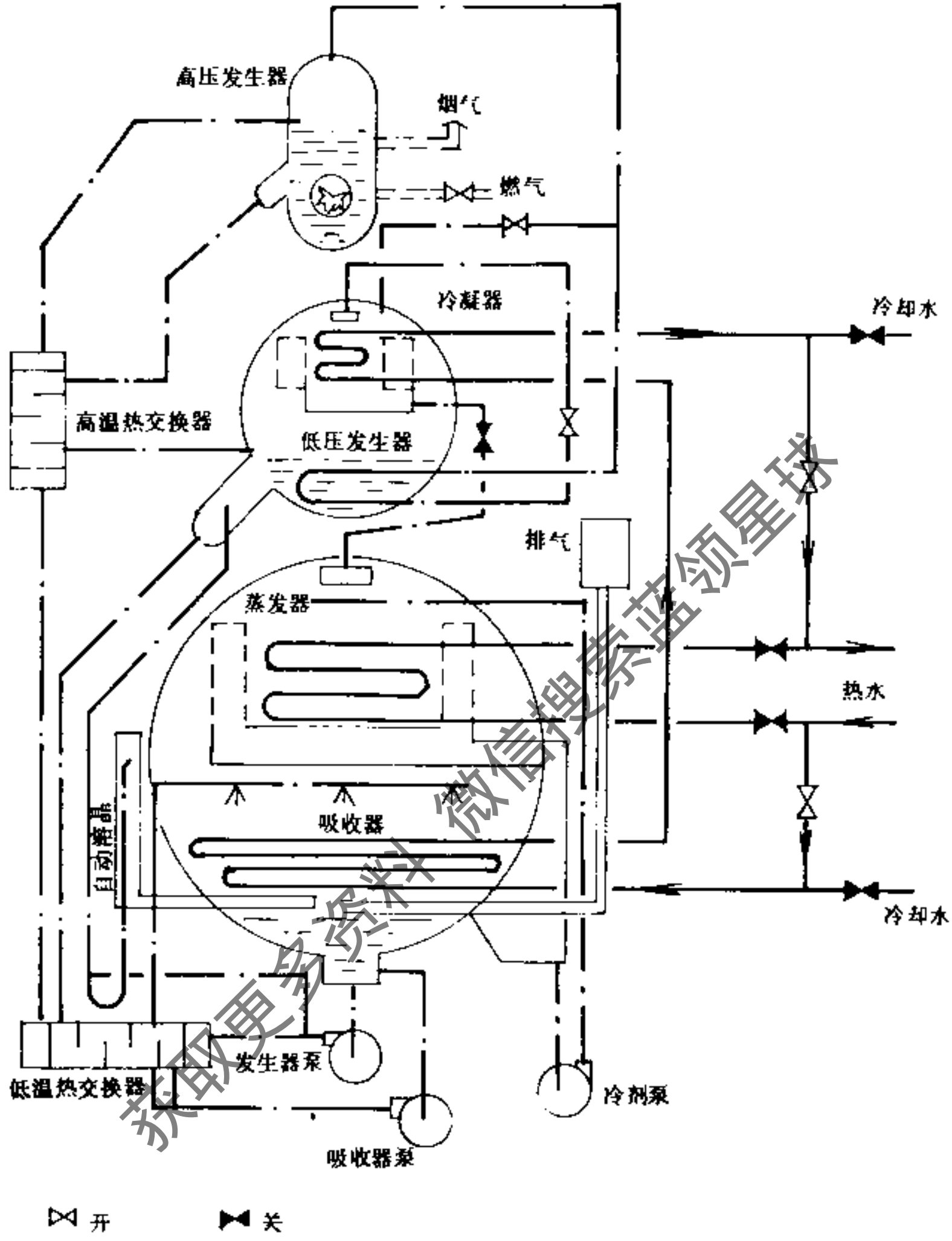


图 14.5-5 直燃式冷温水机组供热循环

4. 几种溴化锂吸收式制冷机的比较，见表14.5-2。

14.5.3 溴化锂吸收式制冷过程在*i - ξ*图上的表示方法

图14.5-6 给出双效吸收式制冷循环在*i - ξ*图上的表示方法。

浓度为 ξ_a 、温度为 t_2 的稀溶液（点2）经低温热交换器（点7）和高温热交换器（点10），到高压发生器，被高温蒸汽加热到饱和状态（点11），然后沸腾蒸发，产生冷剂蒸汽，溶液的温度和浓度均增加了（点12）。

溴化锂吸收式制冷机的比较

表 14.5-2

种类	项目	耗汽(热)指标 (kg/kW·h)	耗冷却水指标 (kg/kW·h)	冷却负荷/ 制冷量 (kW/kW)	优点	缺点
单效		2.4~2.6	239~258 ($\Delta t = 9^\circ\text{C}$)	2.45~2.7	可利用余热废热, 高于60℃的热水, 0.07MPa 低压蒸汽	设备大, 热效率低, 耗热、耗冷却水多
双效		1.2~1.5	260~280 ($\Delta t = 6^\circ\text{C}$)	1.8~2.0	热效率高	用高压蒸汽 0.4~0.7MPa
直燃		1.1	290 ($\Delta t = 5.5^\circ\text{C}$)	1.84	热效率高, 可不另设置供暖、空调用的锅炉	投资大, 制造工艺要求严格

注: 括号内为冷却水温升。

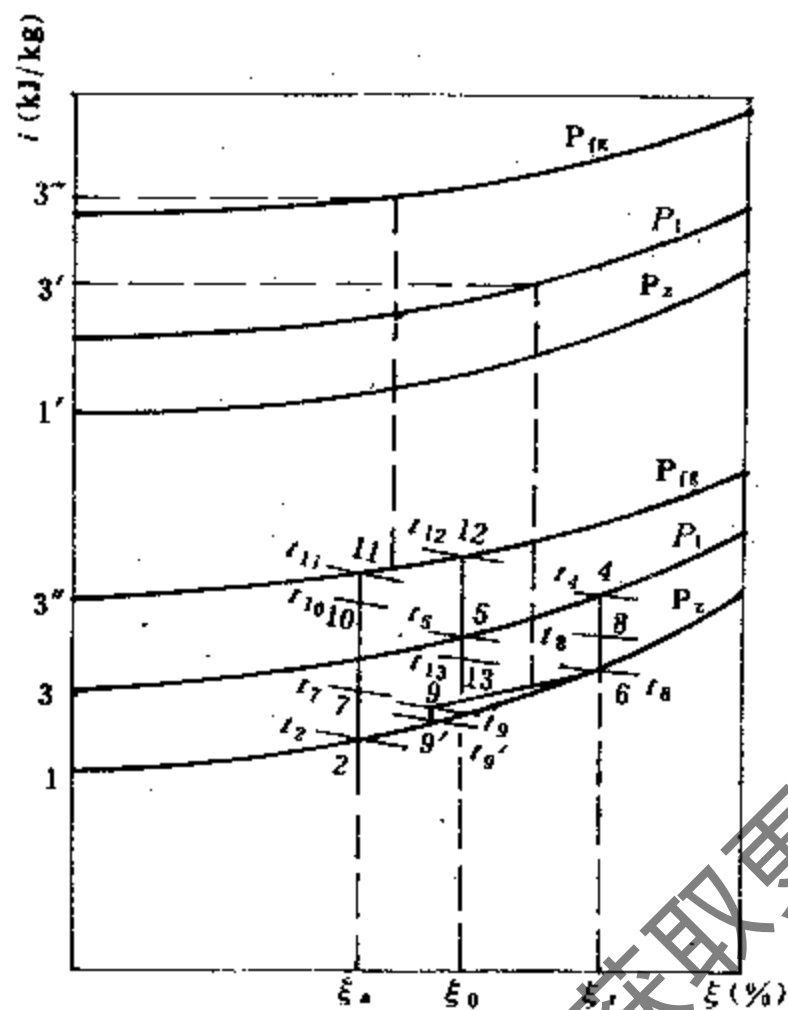


图 14.5-6 双效溴化锂吸收式制冷机制冷循环

吸收器泵喷洒在吸收器盘管上(点9), 吸收蒸发器中的冷剂蒸汽, 吸收过程中所放出的热量由冷却水带走, 浓度和温度降低为 ξ_a 、 t_2 (点2)。循环反复进行, 就能不断制冷。

高压发生器出来的浓度为 ξ_0 , 温度为 t_{12} 的中间溶液, 经高温热交换器后温度降低(点13)进入低压发生器, 被由高压发生器产生并进入低压发生器内的冷剂蒸汽加热, 再次产生冷剂蒸汽, 溶液的浓度和温度分别提高到 ξ_1 和 t_4 (点4)出低压发生器。

在高压发生器中产生的冷剂蒸汽(点3'')进入低压发生器加热中间溶液后, 放出潜热, 凝结成液体(点3'), 经U形管减压与低压发生器的冷剂蒸汽(点3')一起进入冷凝器, 冷凝成冷剂水(点3), 经减压进入蒸发器。在蒸发器中, 由于压力急剧降低, 冷剂水用蒸发器泵输送喷洒在蒸发器内的盘管上, 吸收盘管内冷水的热量而蒸发制冷。其状态点由点3变成点1'。

另一方面, 从低压发生器出来的浓溶液, 经低温热交换器降低温度后(点8), 与吸收器中的稀溶液混合(浓度 ξ_9 , 温度 t_9), 通过

14.5.4 溴化锂吸收式制冷机的调节性能

1. 溴化锂

溴化锂是无色的晶状结晶物, 与一般盐类相似, 性质稳定, 在大气中不会变质, 也不会分解挥发。

无水溴化锂的主要性质见表14.5-3。

溴化锂具有强烈的吸水性，利用这种特性在溴化锂吸收式制冷系统中应用溴化锂作为吸收剂溶液。

溴化锂水溶液的平衡曲线见图14.5-7，从图中可以看出，在室温状态下，溴化锂溶液的饱和浓度为63%左右，高于此浓度，就要有结晶盐析出，故一般溴化锂吸收式制冷机其浓度控制在58~62%之间进行变化。一般制冷机均设有防结晶措施。

图14.5-8给出溴化锂溶液的比热和浓度、温度的关系。

溴化锂水溶液无毒，对人体无害，但有强烈的吸水性。特别要注意的是溴化锂水溶液具有极强的腐蚀性，在有空气时，对黑色金属腐蚀性很强。

溴化锂的主要性质 表14.5-3

分子式	LiBr
组成	锂 7.99% 溴 92.01%
分子量	86.856
外形	一般为无色晶状结晶物
比重	3.464 (25℃)
沸点	1265℃

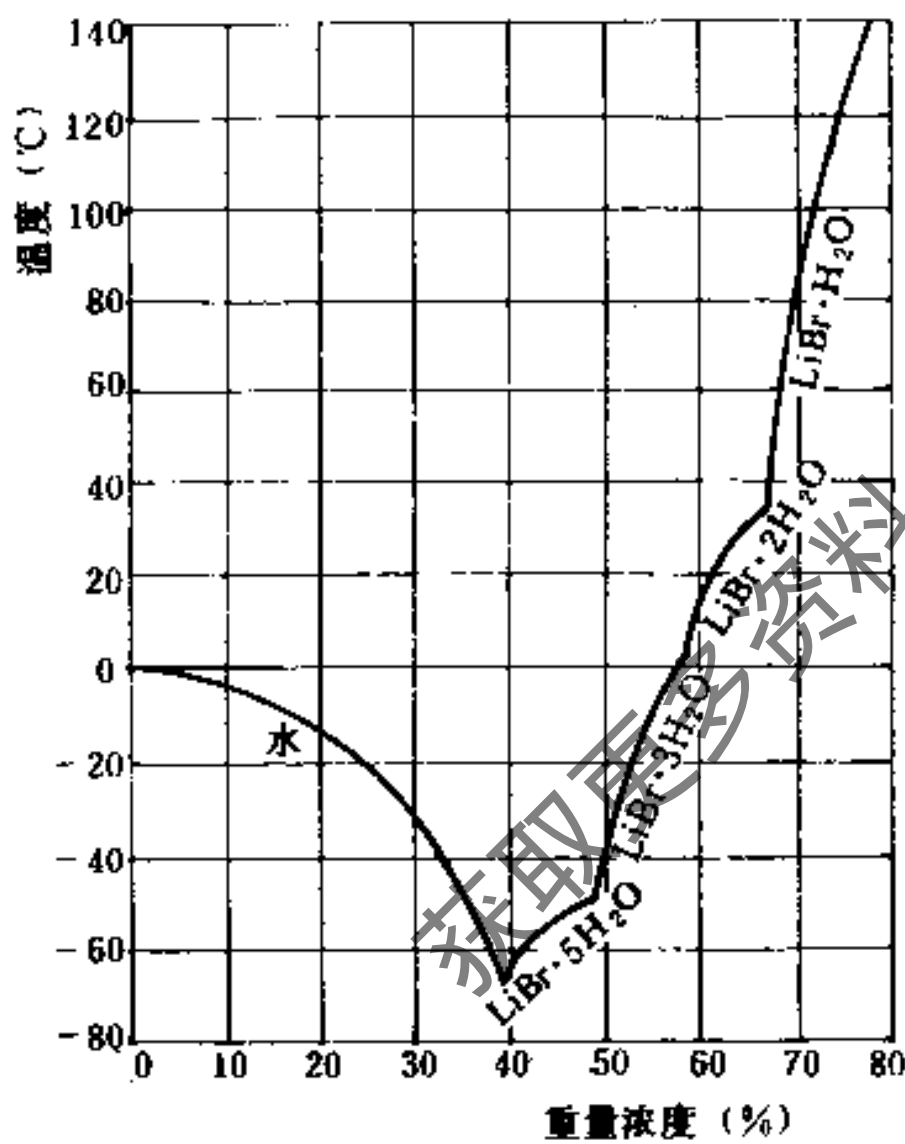


图 14.5-7 溴化锂溶液平衡曲线

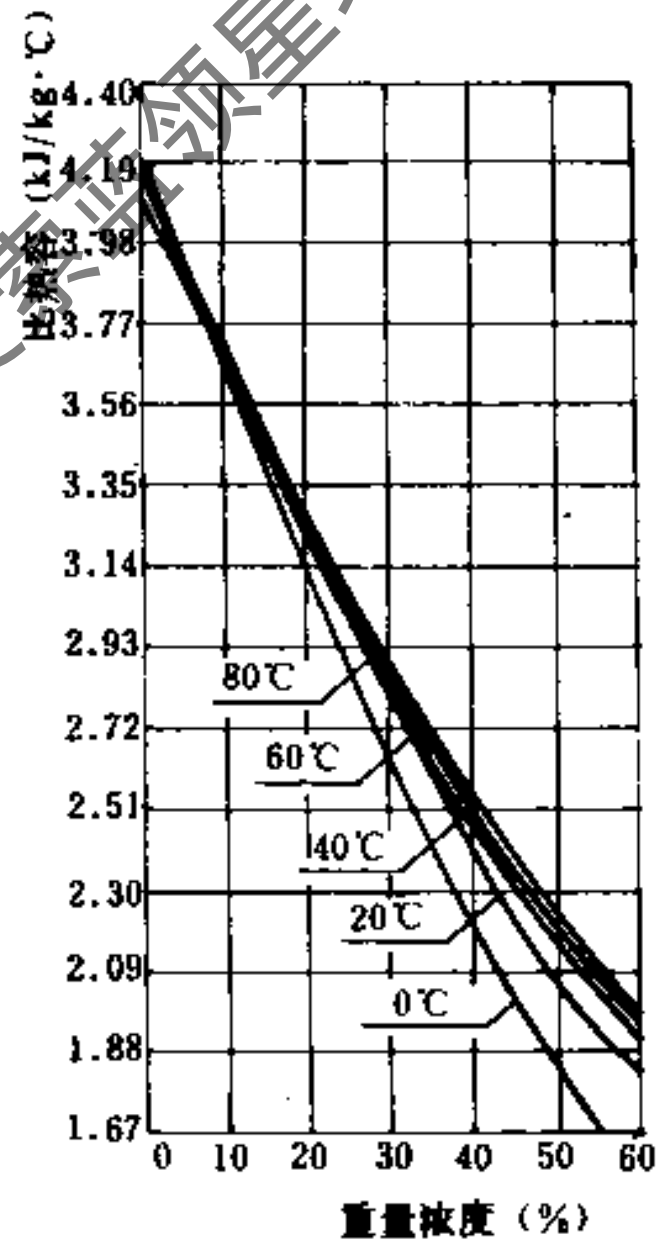


图 14.5-8 溴化锂水溶液比热

2. 溴化锂吸收式制冷机的选型

厂家根据设定的蒸汽压力、冷水温度和冷却水温度给出额定的制冷能力。若设计采用的参数与给定值一致，则可按此选择设备。若设计值与给定值有差值，则选型时其制冷能力要根据图14.5-9、14.5-10、14.5-11进行修正。

表14.5-4给出一个产品系列的性能选用表为例。其额定运行工况为蒸汽压力0.4 MPa (表压)、冷水温度15℃至10℃、冷却水温度32℃至38℃、冷水和冷却水的污垢系数 $0.086\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{kW}$ 、蒸汽凝水温度不大于85℃。

SXZ4溴化锂吸收式制冷机性能表

表 14.5-4

型号	SXZ4	24Z	36Z	60Z	115Z	175Z	230Z	290Z	350Z	
冷量	(kW)	240	360	600	1150	1750	2300	2900	3500	
冷水	流量	(t/h)	40	60	100	200	300	400	500	600
	压力降	(kPa)	80	80	80	100	100	120	120	120
	接管尺寸	(mm)	80	100	125	150	200	250	300	300
冷却水	流量	(t/h)	65	95	165	315	475	625	750	900
	压力降	(kPa)	100	100	120	120	140	140	140	140
	接管尺寸	(mm)	100	125	150	200	250	300	350	400
蒸汽	耗量	(kg/h)	310	470	780	1560	2360	3100	3900	4680
	进口接管	(mm)	40	50	70	80	100	125	150	150
	出口接管	(mm)	25	25	25	40	50	50	70	70
耗电	发生泵	(kW)	1.1	1.1	2.2	2.2	5.5	7.5	7.5	7.5
	制冷剂泵	(kW)	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	2.2	2.2
	真空泵	(kW)	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	2.2	2.2
充溶液量 (50%)	(t)	1.3	1.5	2.2	4.2	5.2	7.0	8.5	9.5	
运行重量	(t)	7.5	10	13	21	28	37	45	49	
运输重量	(t)	5.6	7.6	10	15.8	21.5	27.5	34	38	
外形尺寸	长	(mm)	2750	3600	5100	5800	6925	7660	9160	9260
	宽	(mm)	1700	1800	1800	1850	2185	2300	2400	2800
	高	(mm)	2500	2880	2880	3100	3280	3400	3400	3800

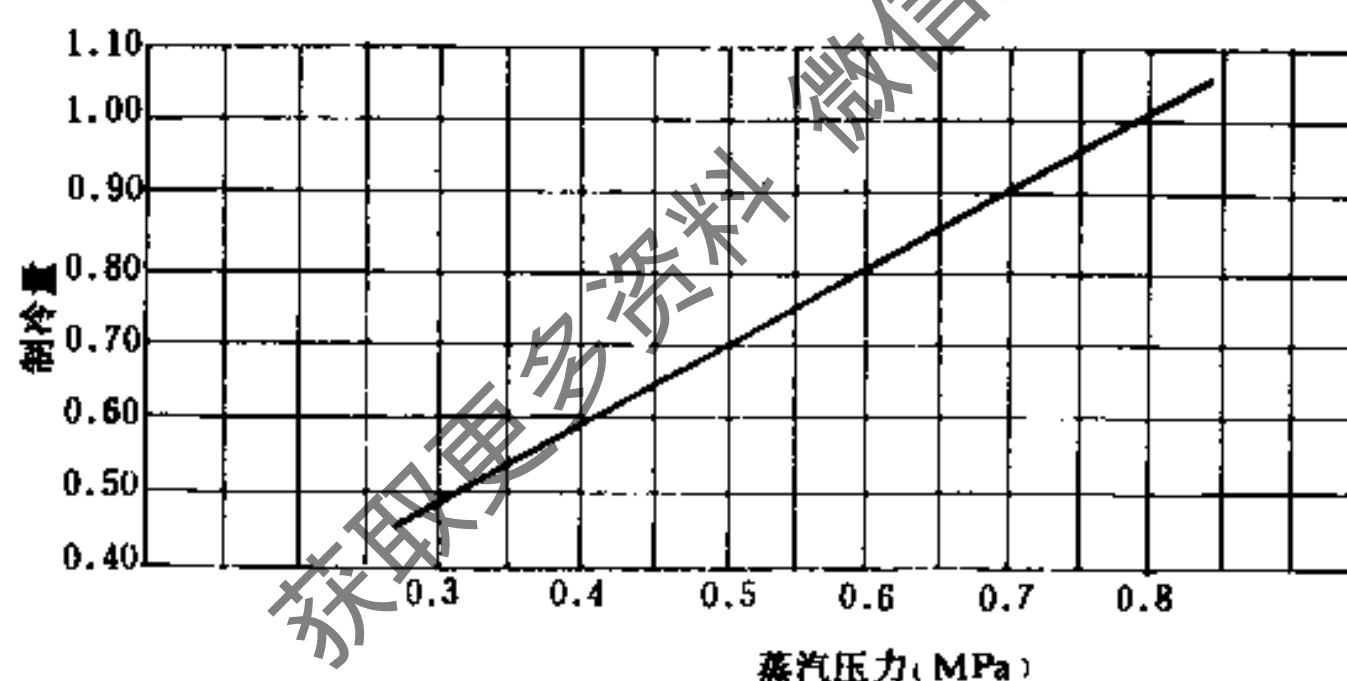


图 14.5-9 蒸汽压力与制冷量的关系

3. 蒸汽压力变化对制冷量的影响

图14.5-9给出一种双效吸收式制冷机蒸汽压力和制冷量的关系，该设备的额定设计为0.8MPa高压蒸汽。从图中可以看出，当蒸汽压力下降0.1MPa时，制冷机的制冷量要降低10%左右。

4. 蒸发器出水温度和制冷量的关系 (见图14.5-10)

5. 冷却水进口温度与制冷量的关系 见图14.5-11 该设备的额定进水温度为32℃。

6. 部份负荷的运行特性

溴化锂吸收式制冷机可在10~100%的负荷范围内运行。在部分负荷运行时，耗蒸汽量随负荷的降低而减少，如图14.5-12所示。

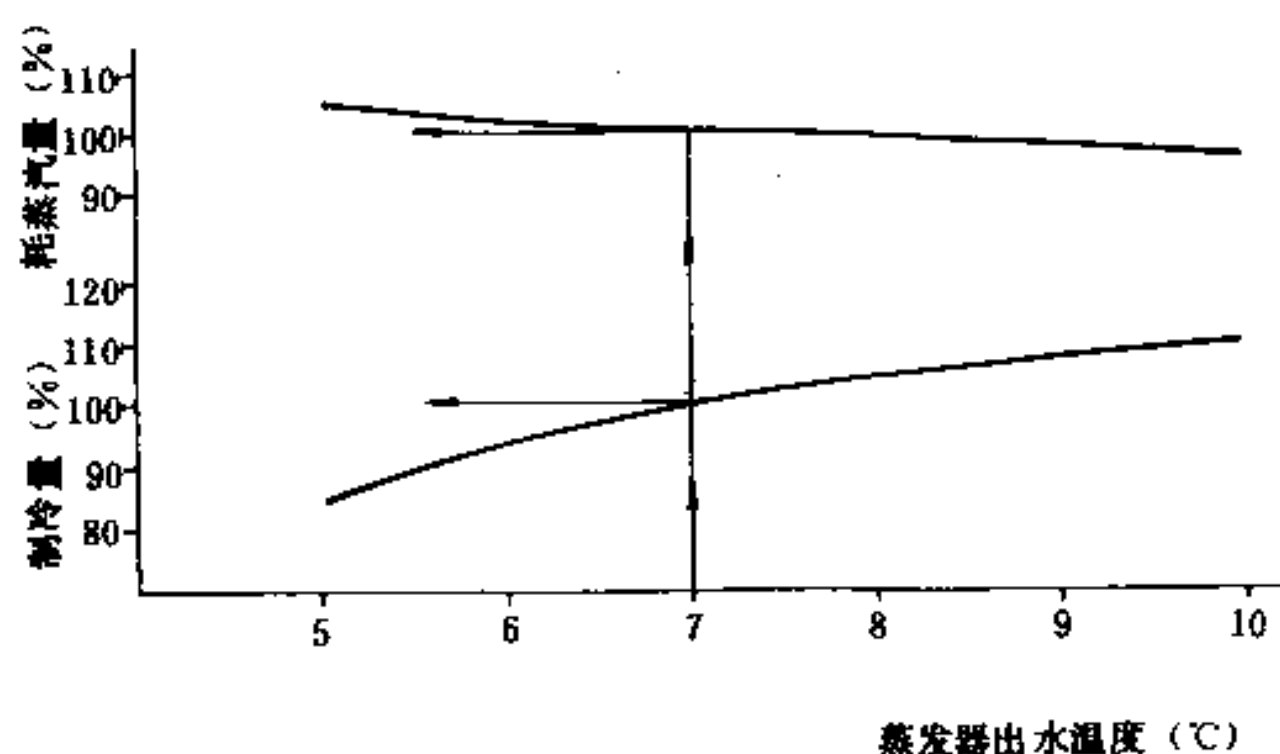


图 14.5-10 蒸发器出水温度与制冷量的关系

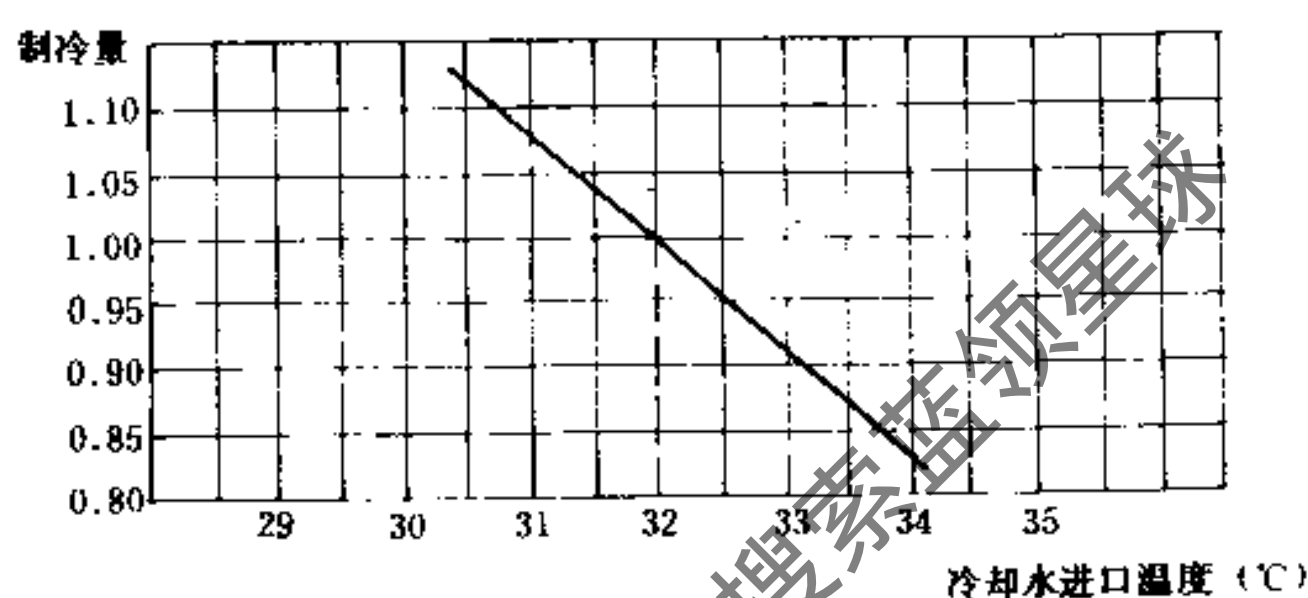


图 14.5-11 冷却水进口温度与制冷量的关系

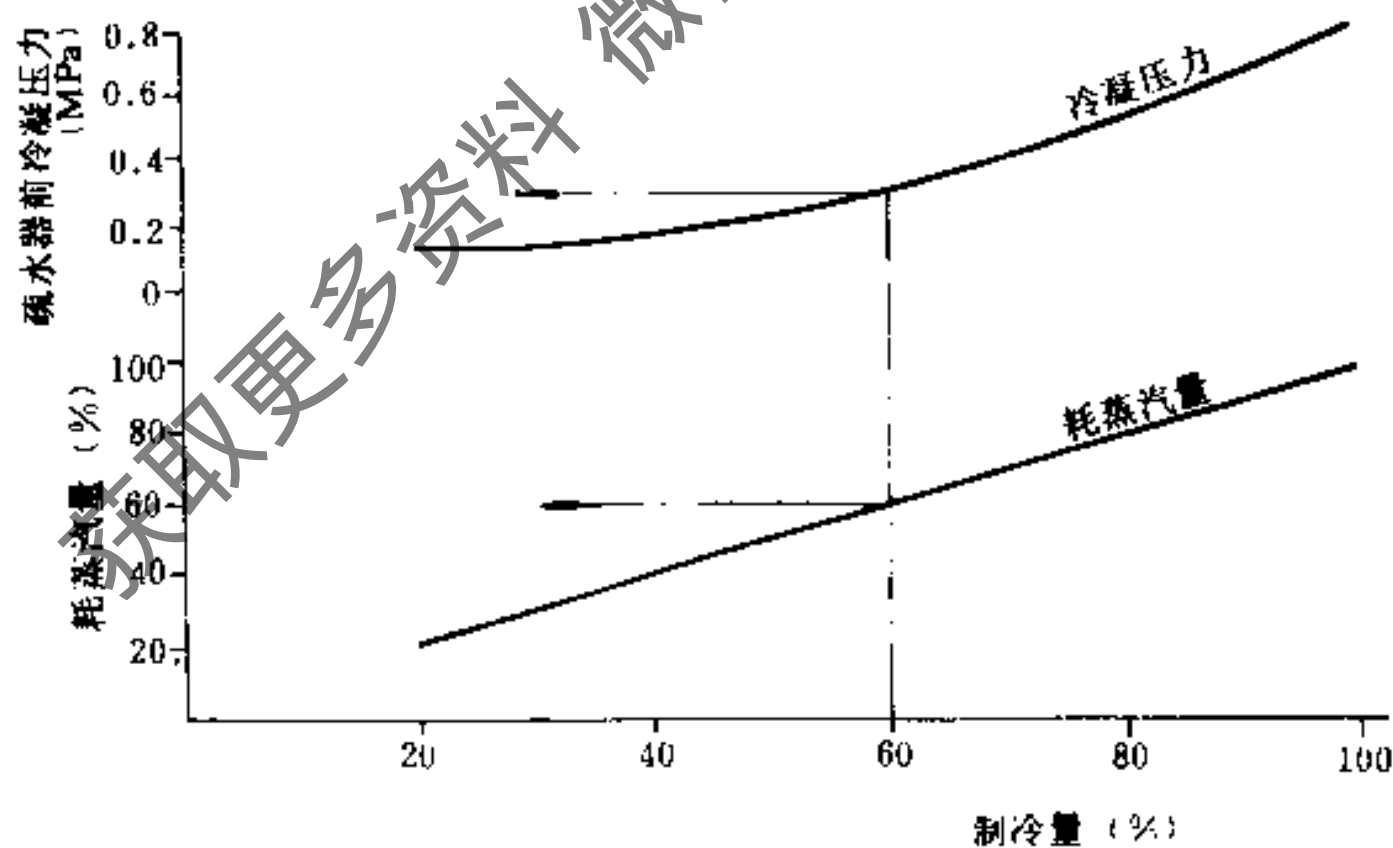


图 14.5-12 部份负荷特性曲线

14.5.5 设计安装和运行注意事项

1. 机组蒸汽入口端应比凝结水出口端略高，以利排除凝水。
2. 制冷站房应尽可能靠近冷热源。冷水和冷却水的水质要严格保证。
3. 应严格保持各个容器的真空度，以防发生腐蚀。机组配带有真空泵，视机组真空度保持的情况决定其开启次数，以抽出机组内的不凝性气体。
4. 机组的下列部位应进行保温：蒸汽、凝结水和冷水供回管路；高低压发生器、蒸发

器以及高低温热交换器。

5. 制冷机的运行应有一套完整的记录, 既可了解日常的运行情况, 又能从测定中发现机组是否有不正常因素的存在。

表14.5-5给出一般常用的双效溴化锂吸收式制冷机的运行记录表。

一般溴化锂吸收式制冷机机组上安装有保护设备的量测仪表, 各个厂家配的仪表不一致。从设计运行角度看, 必须设有冷水和冷却水进出口的温度、压力和流量的测量, 蒸汽管上的压力和流量的测量, 最好能配有遥测记录和积算结果, 以利分析运行状况。

6. 溴化锂吸收式制冷机一般应设下列保护措施

(1) 冷却水泵和制冷机联锁: 当冷却水泵停止运行时, 制冷机自动停车。

双效溴化锂吸收式制冷机运行记录

表 14.5-5

项 目	序 号	细 目	单 位	时 间
蒸 汽 及 凝 结 水	1	蒸汽压力	MPa	
	2	高压发生器的蒸汽压力	MPa	
	3	冷凝压力	MPa	
	4	冷凝水温度	℃	
	5	蒸汽流量	kg/h	
	6	热 量	kW	
冷 水	7	冷水进口温度	℃	
	8	冷水出口温度	℃	
	9	冷水进口压力	MPa	
	10	冷水出口压力	MPa	
	11	冷水流量	m ³ /h	
	12	制冷量	kW	
冷 却 水	13	冷却水进吸收器温度	℃	
	14	冷却水进吸收器压力	MPa	
	15	冷却水出吸收器温度	℃	
	16	冷却水出冷凝器温度	℃	
	17	冷却水出冷凝器压力	MPa	
	18	冷却水流量	m ³ /h	
	19	吸收器放热量	kW	
	20	冷凝器放热量	kW	
压 力	21	蒸发器压力	Pa	
	22	吸收器压力	Pa	
	23	冷凝器压力	Pa	
	24	高压发生器压力	Pa	
	25	低压发生器压力	Pa	
液 位	26	蒸发器液位	mm	
	27	吸收器液位	mm	
	28	高压发生器液位	mm	

(2) 冷水量保护：为了防止因冷水循环量突然减少而造成结冰及损坏设备的危险，通过量测冷水进出口的压差确定冷水流量，当流量低于额定流量值的某一比例时，制冷机自动停车。

(3) 冷水温度过低保护：当冷水温度低于保护的设定值，例如 3.5°C 时，自动关断蒸汽阀门和吸收器泵。

(4) 高压发生器超压保护：当高压发生器压力偏高时，将引起溶液的温度升高，易对管道设备造成腐蚀。

7. 溴化锂吸收式制冷机一般宜设下列控制措施

(1) 自动溶晶控制：当浓溶液管线开始出现结晶时，自动溶晶设施开始动作，使高温溶液通过溢流管旁通到吸收器，从而提高吸收器的温度而达到除晶。

(2) 溶液温度控制：当高压发生器中溶液温度太高时，易发生腐蚀。一般当测到温度超过设定值时，自动关断蒸汽管道上的进汽阀。当溶液温度正常后，阀门自动慢慢开启，恢复正常运行。

(3) 冷水温度控制：当制冷机负荷降到最小部份负荷以下时，冷水温度将降低，且制冷机运行不稳定。当降到某一设定值，例如 3.5°C 时，冷水出口温度触点动作，制冷机停止运行。直到冷水温度上升到设定的低值以上时，制冷机又恢复正常运行。

(4) 制冷剂液位控制：当制冷剂液位低于规定的位置时，制冷机停止正常运行。

8. 溴化锂吸收式制冷机的管路安装

(1) 吸收式制冷机的蒸汽和凝结水配管如图14.5-13所示。当蒸汽压力比制冷机要求的压力高时，应加装减压阀，若二者的压力相近，则仅需设关断用的闸阀，控制蒸汽量的控制阀、过滤器和压力表。凝结水管路上应设疏水器。

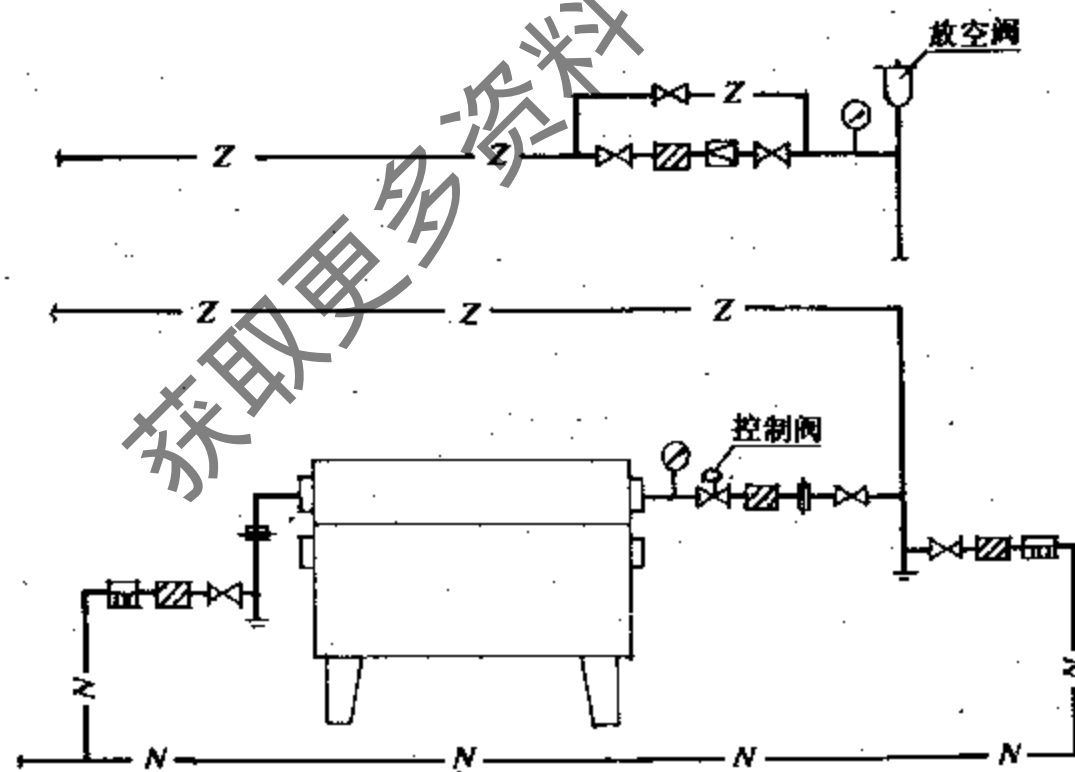


图 14.5-13 蒸汽和凝结水管路的接法

(2) 冷却水管路的接法如图14.5-14所示。进出水管上应装设温度计、压力表和检修用的活接头、关断用的闸阀。还应装设一个平衡阀。

(3) 冷水管路的接法可参照冷却水管路的接法，应在进出水管上安装压力表、温度计、闸阀和检修用的活接头。

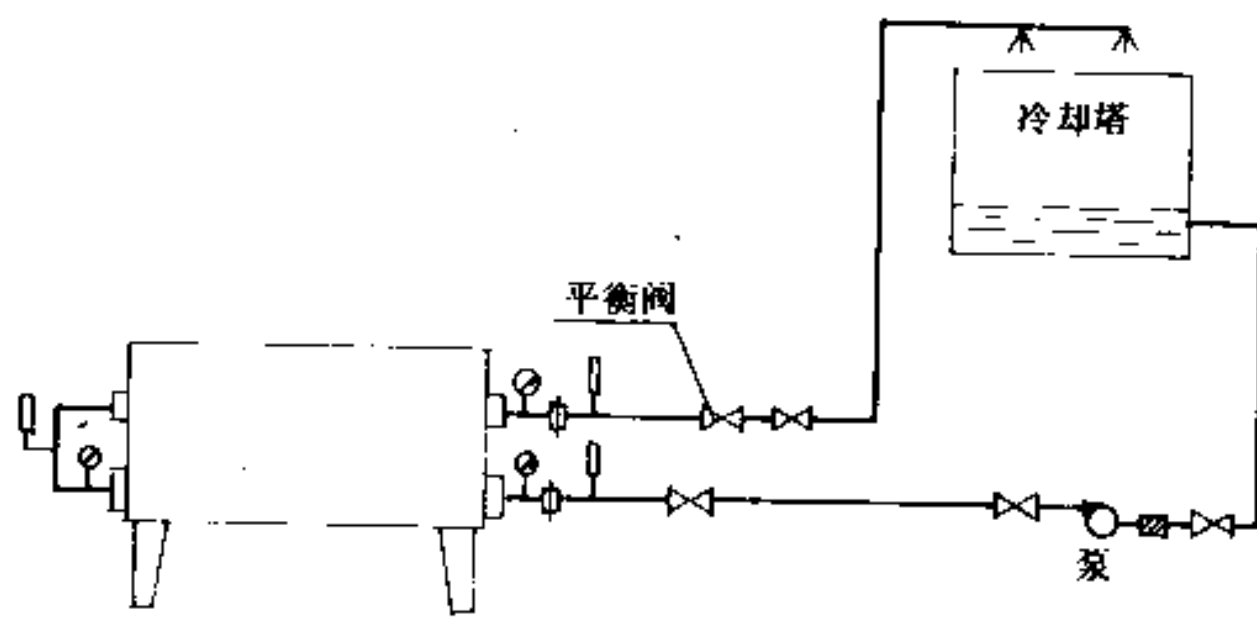


图 14.5-14 冷却水管路的接法

14.6 模块化冷水机组

14.6.1 简介

模块化冷水机组，又称积木式冷水机组，由多个模块化冷水机单元片并联组合而成。每片的制冷量为130kW，内有两个完全独立的冷量为65kW的制冷系统，两台全封闭活塞式双速或单速压缩机。两套蒸发器、两套冷凝器及控制器等。模块片之间靠DN165×5.5的冷水及冷却水供回水管端部的沟槽以Victaulic型管接头连接。每片模块的尺寸为460×1250×1622mm(长×宽×高)，模块化冷水机组为水冷式，冷却水温度的范围为28.4℃至40℃，提供的冷水出水温度为5℃~8℃。采用的制冷剂为R-22。模块化冷水机组采用单元组合化设计，用不同数量的单元片，可组合成多种容量的冷水机组，最多可组合成十三片，最大容量为1690kW。因水管内流速的限制，一般以不多于8片为宜。每台模块化冷水机组，不论单元数目多少，都有一台40K8位精密微处理机配带于控制模块片上，通过此模块进行控制和显示，所有操作和微处理机信息的存取都通过面板上的8个键盘来实现。根据空调负荷的变化电脑适时地控制各台压缩机的启停或将高速变为低速，有关的状态和输出信息由面板上的双行40字液晶显示屏显示。接口适合R232标准接口，可以连接电视监视器和打印机，也能与楼宇管理系统，DDC连网。

模块化冷水机组的突出优点是调节性能好，部分负荷下的效率高。此外由于采用了板式换热器，传热效率高，传热系数为管壳式的三倍以上，因此尺寸小、重量轻，只有其他同容量机组的1/3。占地面积小，甚至可以不要专用机房。噪声低，一般都在65~79dB(A)范围以内。启动电流小，可单台电机启动。自动化程度高，可不要人工管理。但由于蒸发器、冷凝器的进出水环路上没有相应的启闭装置，使用受到一定的限制。在大容量恒定满负荷运行情况下与离心式和螺杆式相比，模块化机组仍处于劣势。

14.6.2 技术规格与性能参数

1. 技术规格 (见表14.6-1)
2. 性能参数 (见表14.6-2)

表 14.6-1 技术规格表

型号规格	RC130 1	RC130 2	RC130 3	RC130 4	RC130 5	RC130 6	RC130 7	RC130 8	RC130 9	RC130 10	RC130 11	RC130 12	RC130 13
参数													
制冷量 (kcal/h)	112000 130	224000 260	336000 390	448000 520	560000 650	672000 780	784000 910	896000 1040	1008000 1170	1120000 1300	1232000 1430	1344000 1560	1456000 1690
电机功率(kW×台数)	14.7×2	14.7×4	14.7×6	14.7×8	14.7×10	14.7×12	14.7×14	14.7×16	14.7×18	14.7×20	14.7×22	14.7×24	14.7×26
电 源	380V·10% 三相四线 50Hz												
电流运行/满载(A)	60/70	120/140	180/210	240/280	300/350	360/420	420/490	480/560	540/630	600/700	660/770	720/840	780/910
冷冻 标准(L/s)	5.5	11	16.5	22	27.5	33	38.5	44	49.5	55	60.5	66	71.5
水量 最小(L/s)	3.26	6.52	9.78	13.04	16.3	19.56	22.82	26.08	29.34	32.6	35.86	39.12	42.38
最大(L/s)	6.24	12.48	18.72	24.96	31.2	37.44	43.68	49.92	56.16	62.4	68.64	74.88	81.12
标准水阻力(kPa)	36												
出水 标准(°C)	7												
温度 调节范围(°C)	2~12												
进水 标准(°C)	12.6												
温度 调节范围(°C)	9~19												
接管尺寸及方向	所有规格的尺寸均为φ165×5.5(6"管), 接管方向任意												
冷却 标准(L/s)	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91
水量 最小/最大	4/8	8/16	12/24	16/32	20/40	24/48	28/56	32/64	36/72	40/80	44/88	48/96	52/104
标准水阻力(kPa)	56												
进水温度(°C)	29.4°C (适用20~45°C)												
接管尺寸及方向	所有规格的尺寸均为φ165×5.5(6"管), 接管方向任意												
R22充量·系统数	4.7×2	4.7×4	4.7×6	4.7×8	4.7×10	4.7×12	4.7×14	4.7×16	4.7×18	4.7×20	4.7×22	4.7×24	4.7×26
噪 声dB(A)	65~79 (≤NR75)												
组合后长度(mm)	520	980	1440	1900	2360	2820	3280	3740	4200	4660	5120	5580	6040
重量(每块重kg·块数)	510·1	510·2	510·3	510·4	510·5	510·6	510·7	510·8	510·9	510·10	510·11	510·12	510·13

注: 在相邻两规格间可增设1/2模块, 制冷量0.5kW (0.5·10⁴kcal/h)

性能参数表

表 14.6-2

型号	冷冻水流出温度 (°C)	流入冷却水温度/流出冷却水温度 (°C)													
		28.4/34		29.4/35		30.4/36		31.4/37		32.4/38		33.4/39		34.4/40	
		(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入
RC130-0.5	5	61.5	16.0	60.0	16.2	57.0	16.4	56.5	16.6	56.0	16.8	55.0	17.1	54.5	17.2
	6	63.5	16.2	62.0	16.4	61.0	16.7	60.0	17.0	59.0	17.0	58.0	17.4	57.0	17.4
	7	66.0	16.4	65.0	16.7	63.5	16.9	62.0	17.2	61.5	17.4	61.0	17.6	60.0	17.8
	8	69.5	16.7	66.5	16.9	66.0	17.2	65.0	17.5	63.5	17.7	62.0	17.9	61.5	18.1
RC130-1.0	5	123.0	32.0	120.0	32.3	114.0	32.7	113.0	33.1	112.0	33.5	110.0	34.1	109.0	34.3
	6	127.0	32.3	124.0	32.8	122.0	33.3	120.0	33.9	118.0	34.0	116.0	34.7	114.0	34.8
	7	132.0	32.8	130.0	33.3	127.0	33.8	124.0	34.3	123.0	34.7	122.0	35.1	120.0	35.5
	8	139.0	33.3	133.0	33.7	132.0	34.3	130.0	34.9	127.0	35.3	124.0	35.8	123.0	36.1
RC130-1.5	5	184.5	48.0	180.0	48.5	171.0	49.1	169.5	49.7	168.0	50.3	165.0	51.2	163.5	51.5
	6	190.5	48.5	186.0	49.2	183.0	50.0	180.0	50.9	177.0	51.0	174.0	52.1	171.0	52.2
	7	198.0	49.2	195.0	50.0	190.5	50.7	186.0	51.5	184.5	52.1	183.0	52.7	180.0	53.3
	8	208.5	50.0	199.5	50.6	198.0	51.5	195.0	52.4	190.5	53.0	186.0	53.7	184.5	54.2
RC130-2.0	5	246.0	64.0	240.0	64.6	228.0	65.4	226.0	66.2	224.0	67.0	220.0	68.2	218.0	68.6
	6	254.0	64.6	248.0	65.6	244.0	66.6	240.0	67.8	236.0	68.0	232.0	69.4	228.0	69.6
	7	264.0	65.6	260.0	66.6	254.0	67.6	248.0	68.6	246.0	69.4	244.0	70.2	240.0	71.0
	8	278.0	66.6	266.0	67.4	264.0	68.6	260.0	69.8	254.0	70.6	248.0	71.6	246.0	72.2
RC130-2.5	5	307.5	80.0	300.0	80.8	285.0	81.8	282.5	82.8	280.0	83.8	275.0	85.3	272.5	85.8
	6	317.5	80.8	310.0	82.0	305.0	83.3	300.0	84.8	295.0	85.0	290.0	86.8	285.0	87.0
	7	330.0	82.0	325.0	83.3	317.5	84.5	310.0	85.8	307.5	86.8	305.0	87.8	300.0	88.8
	8	347.5	83.3	332.5	84.3	330.0	85.8	325.0	87.3	317.5	88.3	310.0	89.5	307.5	90.3
RC130-3.0	5	369.0	96.0	360.0	96.9	342.0	98.1	339.0	99.3	336.0	100.5	330.0	102.3	327.0	102.9
	6	381.0	96.9	372.0	98.1	366.0	99.9	360.0	101.7	354.0	102.0	348.0	104.1	342.0	104.4
	7	396.0	98.4	390.0	99.9	381.0	101.4	372.0	102.9	369.0	104.1	366.0	105.3	360.0	106.5
	8	417.0	99.9	399.0	101.1	396.0	102.9	390.0	104.7	381.0	105.9	372.0	107.4	369.0	108.3
RC130-3.5	5	430.5	112.0	420.0	113.1	399.0	114.5	395.5	115.9	392.0	117.3	385.0	119.1	381.5	120.1
	6	444.5	113.1	434.0	114.8	427.0	116.6	420.0	118.7	413.0	119.0	406.0	121.5	399.0	121.8
	7	462.0	114.8	455.0	116.6	444.5	118.3	434.0	120.1	430.5	121.5	427.0	122.9	420.0	124.3
	8	486.5	116.6	465.5	118.0	462.0	120.1	455.0	122.2	444.5	123.6	434.0	125.3	430.5	126.4
RC130-4.0	5	492.0	128.0	480.0	129.2	456.0	130.8	452.0	132.1	448.0	134.0	440.0	138.1	436.0	137.2
	6	508.0	129.2	496.0	131.2	488.0	133.2	480.0	135.6	472.0	136.0	464.0	138.8	456.0	139.2
	7	528.0	131.2	520.0	133.2	508.0	135.2	496.0	137.2	492.0	138.8	488.0	140.1	480.0	142.0
	8	556.0	133.2	532.0	134.8	528.0	137.2	520.0	139.6	509.0	141.2	496.0	143.2	492.0	144.1
RC130-4.5	5	553.5	144.0	540.0	145.4	513.0	147.2	508.5	149.0	504.0	150.8	495.0	153.5	490.5	154.1
	6	571.5	146.4	558.0	147.6	549.0	149.9	540.0	152.6	531.0	153.0	522.0	156.2	513.0	156.6
	7	594.0	147.6	585.0	149.9	571.5	152.1	558.0	154.4	553.5	156.2	549.0	158.0	540.0	159.8
	8	625.5	149.9	598.5	151.7	594.0	154.4	585.0	157.1	571.5	158.9	558.0	161.1	553.5	162.5
RC130-5.0	5	615.0	160.0	600.0	161.5	570.0	163.5	565.0	165.5	560.0	167.5	550.0	170.5	545.0	171.5
	6	635.0	161.5	620.0	164.0	610.0	166.5	600.0	169.5	590.0	170.0	580.0	173.5	570.0	174.0
	7	660.0	164.0	650.0	166.5	635.0	169.0	620.0	171.5	615.0	173.5	610.0	175.5	600.0	177.5
	8	695.0	166.5	665.0	168.5	660.0	171.5	650.0	174.5	635.0	176.5	620.0	179.0	615.0	180.5
RC130-5.5	5	676.5	176.0	660.0	177.7	627.0	179.9	621.5	182.1	616.0	184.3	605.0	187.6	599.5	188.7
	6	698.5	177.7	682.0	180.4	671.0	183.2	660.0	186.5	649.0	187.0	638.0	190.9	627.0	191.4
	7	725.0	180.4	715.0	183.2	698.5	185.9	682.0	188.7	676.5	190.9	671.0	193.1	660.0	195.3
	8	764.5	183.2	731.5	185.4	726.0	188.7	715.0	192.0	698.5	194.2	682.0	196.9	676.5	198.6
RC130-6.0	5	738.0	192.0	720.0	193.8	684.0	196.2	678.0	198.6	672.0	201.0	660.0	204.6	654.0	205.8
	6	762.0	193.8	744.0	196.8	732.0	199.8	720.0	203.4	708.0	204.0	696.0	208.2	684.0	208.8
	7	792.0	196.8	780.0	199.8	762.0	202.8	744.0	205.8	738.0	208.2	732.0	210.6	720.0	213.0
	8	834.0	199.8	798.0	202.2	792.0	205.8	780.0	209.4	762.0	211.8	744.0	214.8	738.0	216.6
RC130-6.5	5	799.5	208.0	780.0	210.0	741.0	212.6	734.5	215.2	728.0	217.8	715.0	221.7	708.5	223.0
	6	825.5	210.0	806.0	213.2	793.0	216.5	780.0	220.4	767.0	221.0	754.0	225.6	741.0	226.2
	7	858.0	213.2	845.0	216.5	825.5	219.7	806.0	223.0	799.5	225.6	793.0	228.2	780.0	230.8
	8	903.5	216.5	864.5	219.1	858.0	223.0	845.0	226.9	825.5	229.5	806.0	232.7	799.5	234.7

续表

型号	冷冻水流出 温度 (℃)	流入冷却水温度/流出冷却水温度 (℃)													
		28.4/34		29.4/35		30.4/36		31.4/37		32.4/38		33.4/39		34.4/40	
		(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入	(kW) 制冷	(kW) 输入
RC130-7.0	5	861.0	224.0	840.0	226.1	798.0	228.9	791.0	231.7	784.0	234.5	770.0	238.7	763.0	240.1
	6	889.0	226.1	868.0	229.6	854.0	233.1	840.0	237.3	826.0	238.0	812.0	242.9	798.0	243.6
	7	924.0	229.6	910.0	233.1	889.0	236.6	868.0	240.1	861.0	242.9	854.0	245.7	840.0	248.5
	8	973.0	233.1	931.0	235.9	924.0	240.1	910.0	244.3	889.0	247.1	868.0	250.6	861.0	252.7
RC130 7.5	5	922.5	240.0	900.0	242.3	855.0	245.3	847.5	248.3	840.0	251.3	825.0	255.8	817.5	257.3
	6	952.5	242.3	930.0	246.0	915.0	249.8	900.0	254.3	885.0	255.0	870.0	260.3	855.0	261.0
	7	990.0	246.0	975.0	249.8	952.5	253.5	930.0	257.3	922.5	260.3	915.0	263.3	900.0	266.3
	8	1042.5	249.8	997.5	252.8	990.0	257.3	975.0	261.8	952.5	264.5	930.0	268.5	922.5	270.8
RC130-8.0	5	984.0	256.0	960.0	258.4	912.0	261.6	904.0	264.8	896.0	268.0	880.0	272.8	872.0	274.4
	6	1016.0	258.4	992.0	262.4	976.0	266.4	960.0	271.2	944.0	272.0	928.0	277.6	912.0	278.4
	7	1056.0	262.4	1040.0	266.4	1016.0	270.4	992.0	274.4	984.0	277.6	976.0	280.8	960.0	284.0
	8	1112.0	266.4	1064.0	269.6	1056.0	274.4	1040.0	279.2	1016.0	282.4	992.0	286.4	984.0	288.8
RC130-8.5	5	1045.5	272.0	1020.0	274.6	969.0	278.0	960.5	281.4	952.0	284.8	935.0	289.9	926.5	291.6
	6	1079.5	274.6	1054.0	278.8	1037.0	283.1	1020.0	288.2	1003.0	289.0	986.0	295.0	969.0	295.8
	7	1122.0	278.8	1105.0	283.1	1079.5	287.3	1054.0	291.6	1045.5	295.0	1037.0	298.4	1020.0	301.8
	8	1181.5	283.1	1130.5	286.5	1122.0	291.6	1105.0	296.7	1079.5	300.1	1054.0	304.3	1045.5	306.9
RC130-9.0	5	1107.0	288.0	1080.0	290.7	1026.0	294.3	1017.0	297.9	1008.0	301.5	990.0	306.9	981.0	308.7
	6	1143.0	290.7	1116.0	295.2	1098.0	299.7	1080.0	305.1	1062.0	306.0	1044.0	312.3	1026.0	313.2
	7	1188.0	295.2	1170.0	299.7	1143.0	304.2	1116.0	308.7	1107.0	312.3	1098.0	315.9	1080.0	319.5
	8	1251.0	299.7	1197.0	303.3	1188.0	308.7	1170.0	314.1	1143.0	317.7	1116.0	322.2	1107.0	324.9
RC130-9.5	5	1168.5	304.0	1140.0	306.8	1083.0	310.7	1073.5	314.5	1064.0	318.3	1045.0	324.0	1035.5	325.8
	6	1208.5	306.8	1178.0	311.6	1159.0	316.3	1140.0	322.1	1121.0	323.0	1102.0	329.7	1083.0	330.6
	7	1254.0	311.6	1235.0	316.3	1206.5	321.1	1178.0	325.8	1168.5	329.7	1159.0	333.5	1140.0	337.3
	8	1320.5	316.3	1283.5	320.2	1254.0	325.8	1235.0	331.6	1206.5	335.3	1178.0	340.1	1168.5	343.0
RC130-10.0	5	1230.0	320.0	1200.0	323.0	1140.0	327.0	1130.0	331.0	1120.0	335.0	1100.0	341.0	1090.0	343.0
	6	1270.0	323.0	1240.0	328.0	1220.0	333.0	1200.0	339.0	1180.0	340.0	1160.0	347.0	1140.0	348.0
	7	1320.0	328.0	1300.0	333.0	1270.0	338.0	1240.0	343.0	1230.0	347.0	1220.0	351.0	1200.0	355.0
	8	1390.0	333.0	1330.0	337.0	1320.0	343.0	1300.0	349.0	1270.0	353.0	1240.0	358.0	1230.0	361.0
RC130 10.5	5	1291.5	336.0	1260.0	339.4	1197.0	343.4	1186.5	347.6	1176.0	351.8	1155.0	358.1	1144.5	360.1
	6	1333.5	339.1	1302.0	344.4	1281.0	349.6	1260.0	355.9	1239.0	357.0	1218.0	364.4	1197.0	365.4
	7	1386.0	344.4	1365.0	349.6	1333.5	354.9	1302.0	360.1	1291.5	364.4	1281.0	368.6	1260.0	372.8
	8	1459.5	349.6	1396.5	353.9	1386.0	360.1	1365.0	366.4	1333.5	370.6	1302.0	375.9	1291.5	379.1
RC130-11.0	5	1353.0	352.0	1320.0	355.3	1254.0	359.7	1243.0	364.1	1232.0	368.5	1210.0	375.1	1199.0	377.3
	6	1397.0	355.3	1364.0	360.8	1342.0	366.3	1320.0	372.9	1298.0	374.0	1276.0	381.7	1254.0	382.8
	7	1452.0	360.8	1430.0	366.3	1397.0	371.8	1364.0	377.3	1353.0	381.7	1342.0	386.1	1320.0	390.5
	8	1529.0	366.3	1463.0	370.7	1452.0	377.3	1430.0	383.9	1397.0	388.3	1364.0	393.8	1353.0	397.1
RC130-11.5	5	1414.5	368.0	1380.0	371.4	1311.0	376.1	1299.5	380.7	1288.0	385.3	1265.0	392.2	1253.5	394.4
	6	1460.5	371.4	1426.0	377.2	1403.0	382.9	1380.0	389.8	1357.0	391.0	1334.0	399.1	1311.0	400.2
	7	1518.0	377.2	1495.0	382.9	1460.5	388.7	1426.0	394.4	1414.5	399.1	1403.0	403.7	1380.0	408.3
	8	1598.5	382.9	1529.5	387.6	1518.0	394.4	1495.0	401.3	1460.5	405.9	1426.0	411.7	1414.5	415.2
RC130-12.0	5	1476.0	384.0	1440.0	387.6	1368.0	392.4	1356.0	397.2	1344.0	402.0	1320.0	409.2	1308.0	411.6
	6	1524.0	387.6	1488.0	393.6	1464.0	399.6	1440.0	406.8	1416.0	408.0	1392.0	416.4	1368.0	417.6
	7	1584.0	393.6	1560.0	399.6	1524.0	405.6	1488.0	411.6	1476.0	416.4	1464.0	421.2	1440.0	426.0
	8	1668.0	399.6	1596.0	404.4	1584.0	411.6	1560.0	418.8	1524.0	423.6	1488.0	429.6	1476.0	433.2
RC130-12.5	5	1537.5	400.0	1500.0	403.7	1425.0	408.8	1412.5	413.8	1400.0	418.8	1375.0	426.3	1362.5	428.7
	6	1587.5	403.7	1550.0	410.0	1525.0	416.2	1500.0	423.7	1475.0	425.0	1450.0	433.8	1425.0	435.0
	7	1650.0	410.0	1625.0	416.2	1587.5	422.5	1550.0	428.7	1537.5	433.8	1525.0	438.8	1500.0	443.8
	8	1737.5	416.2	1662.5	421.3	1650.0	428.7	1625.0	436.2	1587.5	441.2	1550.0	447.5	1537.5	451.3
RC130 13.0	5	1599.0	416.0	1560.0	419.9	1482.0	425.1	1469.0	430.3	1456.0	435.5	1430.0	443.3	1417.0	445.9
	6	1651.0	419.9	1612.0	426.4	1586.0	432.9	1560.0	440.7	1534.0	442.0	1508.0	451.1	1482.0	452.4
	7	1716.0	428.4	1690.0	432.9	1651.0	439.4	1612.0	445.9	1599.0	451.1	1586.0	456.3	1560.0	461.5
	8	1807.0	432.9	1729.0	438.1	1716.0	445.9	1690.0	453.7	1651.0	458.9	1612.0	465.4	1559.0	469.3

14.6.3 配管与进出水管连接

1. 配管示意图(见图14.6-1), 配管及设备部件名称(详见表14.6-3):

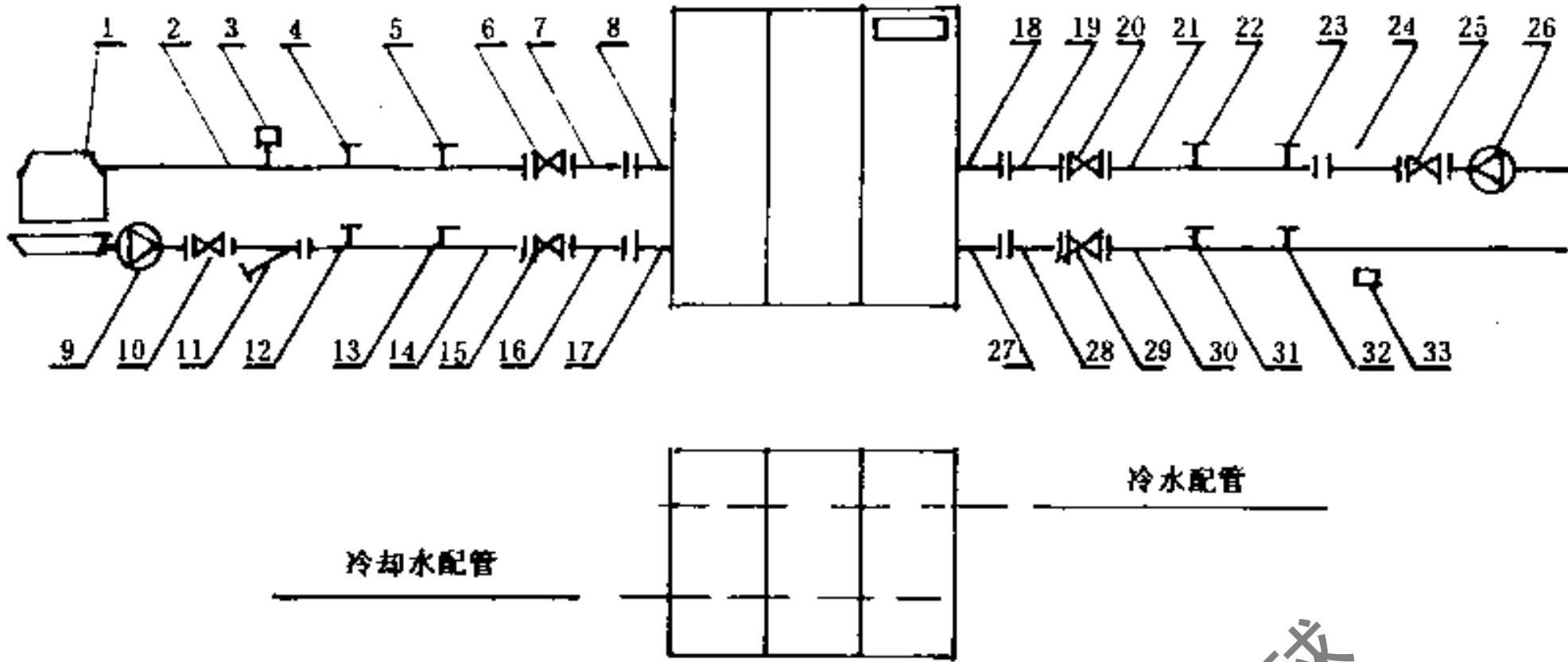


图 14.6-1 配管示意图

配管明细表

表 14.6-3

序号	名称	规格	备注	序号	名称	规格	备注
1	冷却塔	选配		18	外接管	同序号 8	随机供货
2	出水管	选配		19	避震接头	选配	
3	流量开关	ZSJZ型(上海消防器材厂)		20	闸阀	选配	
4	温感器	白色测温线	随机供货	21	进水管	选配	
5	压力表	选配		22	压力表	选配	
6	闸阀	选配		23	温感器	红色测温线	随机供货
7	避震接头	选配		24	水过滤器	选配	
8	外接管	6"水煤气管, 长200mm	随机供货	25	闸阀	选配	
9	冷却水泵	选配		26	冷水泵	选配	
10	闸阀	选配		27	外接管	同序号 8	随机供货
11	水过滤器	选配		28	避震接头	选配	
12	温感器	蓝色测温线	随机供货	29	闸阀	选配	
13	压力表	选配		30	出水管	选配	
14	进水管	选配		31	压力表	选配	
15	闸阀	选配		32	温感器	绿色测温线	随机供货
16	避震接头	选配		33	流量开关	同序号 3	
17	外接管	同序号 8	随机供货				

2. 进出水管方向

进出水管方向可按机房情况任意选择。见图14.6-2:

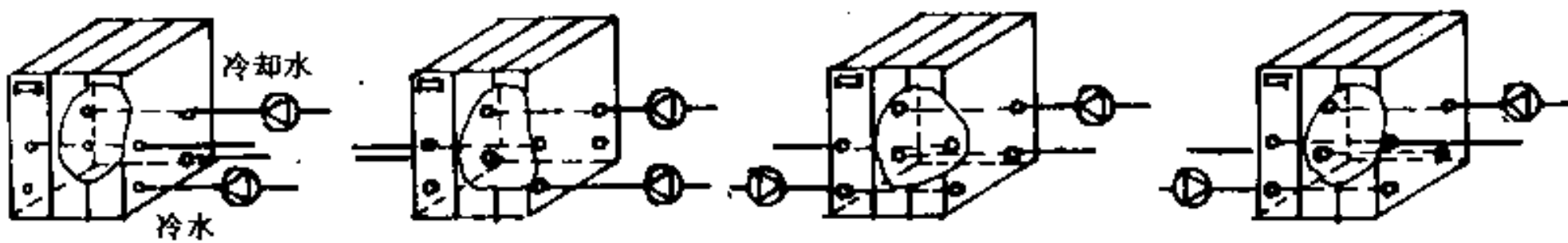


图 14.6-2 进出水管方向

14.6.4 外形尺寸及安装尺寸要求

见图14.6-3

1. 外形尺寸(见图14.6-3)

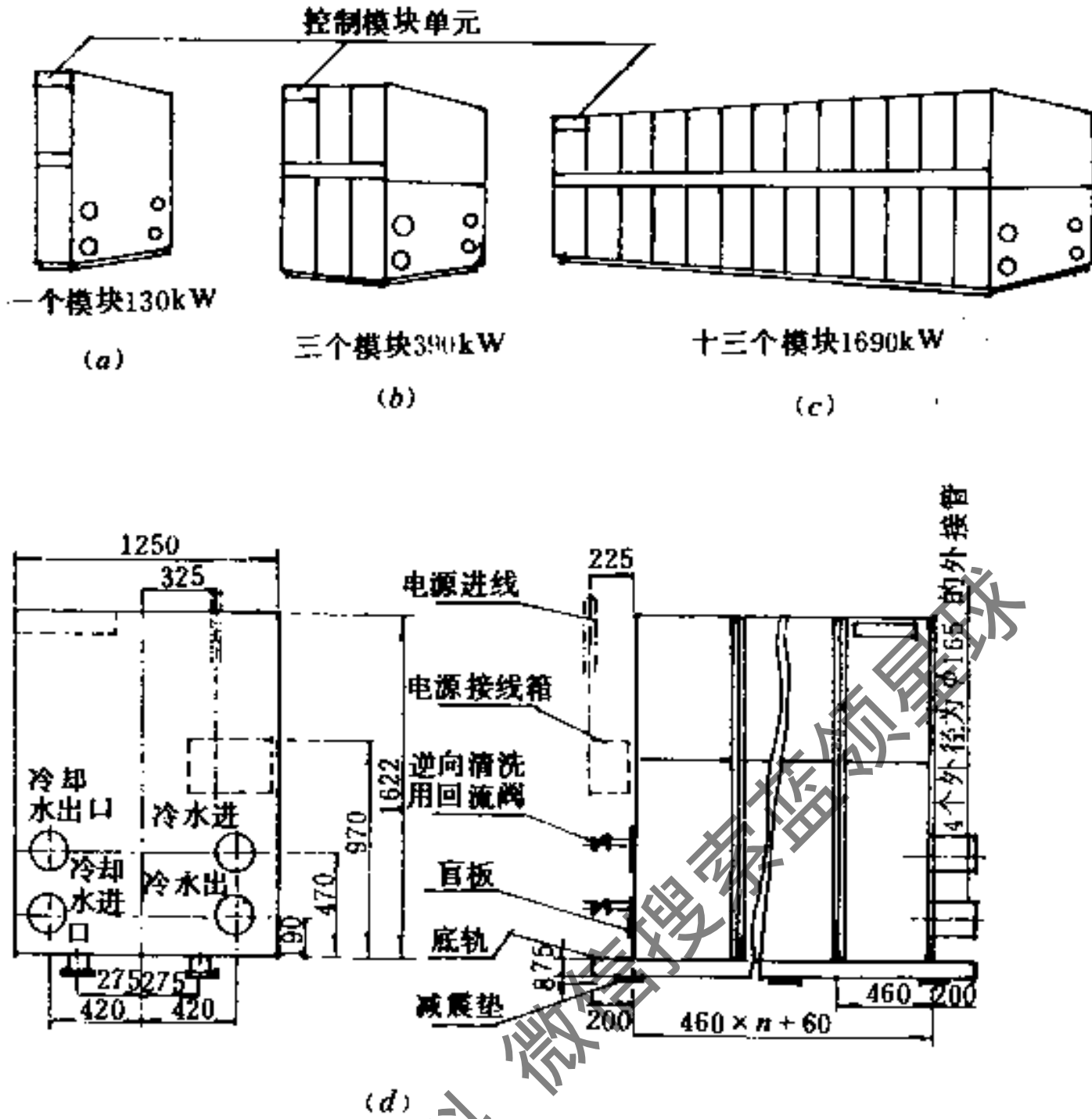


图 14.6-3 外形尺寸

2. 机房布置最小安装尺寸要求(见图14.6-4)

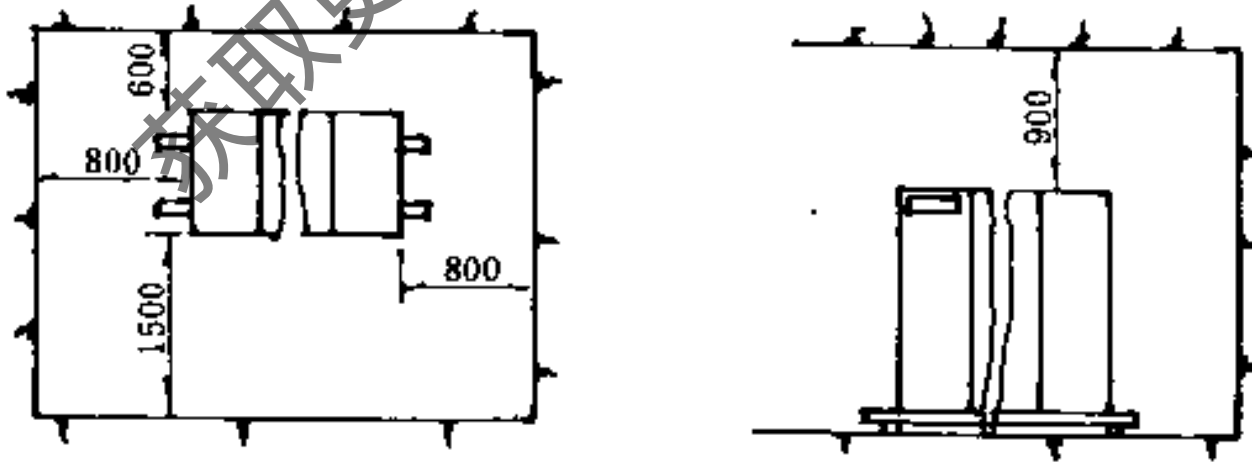


图 14.6-4 安装尺寸

14.6.5 选型示例

【例一】 已知：冷水出水7℃，回水13℃，流量19.9L/s；
冷却水出水36℃，进水30℃。

【解】

1. 模块机的制冷量及模块数、输入功率

制冷量

$$Q = \text{冷水流量} \times \text{冷水温差} \times 4.187 \quad (\text{kW})$$

$$= 19.9\text{L/s} \times (13^\circ\text{C} - 7^\circ\text{C}) \times 4.187 = 500 \quad (\text{kW})$$

查性能参数表 14.6-2, 在冷却水出水温度 36°C , 冷水出水温度 7°C 时要达到 500kW 制冷量的机组型号是 RC 130-4 (即四个单元模块), 此时制冷量为 508kW , 输入功率为 135.2kW 。

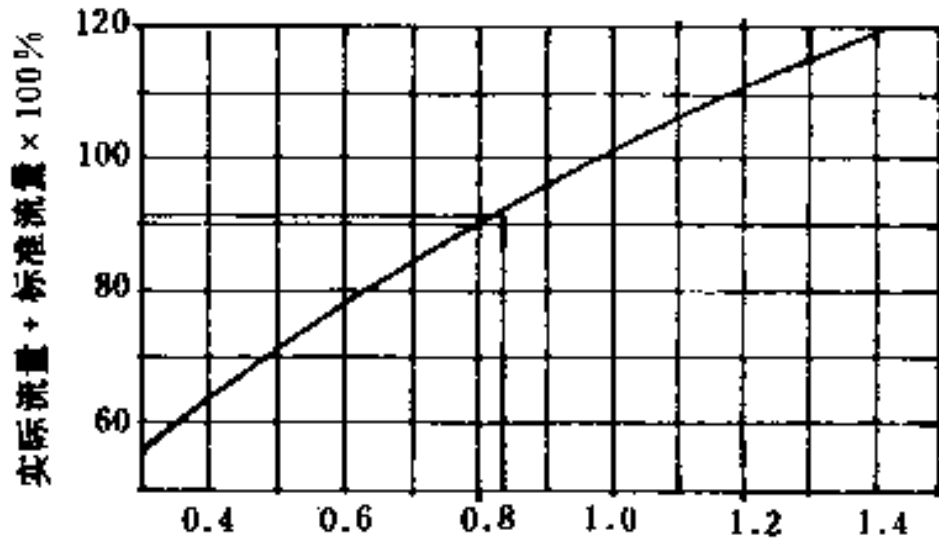


图 14.6-5 水阻力修正系数

2. 蒸发器水阻力

a. 各个单元流量为 5.5L/s 的标准水阻力为 36kPa , RC 130-4 型是 4 单元的机组, 所以标准流量为 $5.5\text{L/s} \times 4 = 22.0\text{L/s}$ 。

b. 算出实际应用流量与标准流量的百分比。

此例中, 实际流量是 19.9L/s , 标准流量是 22.0L/s , 其比值: $[(19.9\text{L/s}) \div (22.0\text{L/s})] \times 100\% = 91\%$

c. 查水阻力修正系数图 14.6-5。得修正系数为 0.83 。蒸发器的实际水阻力 $\Delta H =$ 蒸发器标准水阻力 \times 水阻力修正系数 $= 36\text{kPa} \times 0.83 = 30\text{kPa}$ 。

3. 冷却水流量及冷凝器水阻力

a. 冷却水流量 $(\text{L/s}) W = [\text{制冷量}(\text{kW}) + \text{输入功率}(\text{kW})] \div [\text{冷却水出入温差}(\text{C}) \times 4.187] = [508 + 135.2] \div [(36 - 30) \times 4.187] = 25.6\text{L/s}$ 。

b. 标准冷却水流量为每单元 7.0L/s 的标准水阻力是 56kPa , 由于选择 RC 130-4 (4 片) 的总标准流量为 $7.0\text{L/s} \times 4 = 28.0\text{L/s}$ 。流量比 $= (25.6 \div 28.0) \times 100\% = 91.4\%$ 。查图 14.6-5 得水阻力修正系数为 0.83 。故冷凝器的实际水阻力 $\Delta H =$ 冷凝器标准水阻力 \times 阻力修正系数 $= 56\text{kPa} \times 0.83 = 47\text{kPa}$

【例二】 已知: 所需制冷量为 750kW ; 冷水出水 6.5°C , 回水 12.5°C , 冷却水进水 29.4°C 。

【解】

1. 用性能参数表查出在冷却水进水温度 29.4°C , 冷水进水温度 6.5°C 时能达到 750kW 冷量的型号是 RC 130-6 (6 片), 此时制冷量为 762kW (插值法)。输入功率为 199.8kW 。

2. 冷水流量 $W = \text{制冷量}(\text{kW}) \div [\text{冷水温差} \times 4.187] \text{L/s}$
 $= 750 \div [(12.5 - 6.5) \times 4.187] = 29.85\text{L/s}$ 。

3. 蒸发器水阻力 ΔH 。

a. $(\text{实际流量} \div \text{标准流量}) \times 100\% = [29.85\text{L/s} \div (5.5\text{L/s} \times 6)] \times 100\% = 90\%$

b. 查图得阻力修正系数为 0.8 , 故实际阻力 $\Delta H =$ 标准阻力 \times 阻力修正系数 $= 36\text{kPa} \times 0.8 = 28.8\text{kPa}$ 。

4. 冷却水流量及冷凝器水阻力

因为是 6 个模块, 选标准冷却水流量 $W = 7.0\text{L/s} \times 6 = 42\text{L/s}$ 。其水阻力为标准水阻力 56kPa 。

5. 求冷却水温度差, 以便选配冷却塔。

$$\begin{aligned} \text{冷却水温度差} &= (\text{制冷量} + \text{输入功率}) \div (\text{冷却水量} \times 4.187) \\ &= (750\text{kW} + 199.8\text{kW}) \div (42\text{L/s} \times 4.187) \\ &= 5.4^\circ\text{C} \end{aligned}$$

【例三】 已知数据同例二,但本例需加备机 1 片。即计算模块为 6 片,加备机 1 片,计 7 片。

【解】

1. 冷水量。与例二相同为 29.85L/s。

2. 蒸发器水阻力 (标准流量按 7 片)

a. 实际流量百分比:

$$\begin{aligned} & (\text{实际流量} \div \text{标准流量}) \times 100\% = [29.85\text{L/s} \div (5.5\text{L/s} \times 7)] \times 100\% \\ & = 77.5\% \end{aligned}$$

b. 查图得阻力修正系数为 0.64。

实际阻力 $\Delta H = \text{标准阻力} \times \text{阻力修正系数} = 36\text{kPa} \times 0.64 = 23\text{kPa}$ 。

3. 冷却水流量及冷凝器水阻力

A 方案: 选 7 个模块的标准水流量作为实际水流量。

a. 冷却水流量 = $7\text{L/s} \times 7 = 49\text{L/s}$ 。

b. 冷却水阻力 = 标准水阻力 = 56kPa 。

c. 进出水温差 = $(\text{制冷量} + \text{输入功率}) \div (\text{冷却水量} \times 4.187) = (750\text{kW} + 199.8\text{kW}) : (49\text{L/s} \times 4.187) = 4.63^\circ\text{C}$ 。

B 方案: 选 6 个模块的标准冷却水流量作为实际水流量,但实际使用 7 个模块,此时水阻力需修正。

a. 冷却水流量 = $7\text{L/s} \times 6 = 42\text{L/s}$

b. 冷却水阻力修正系数及阻力:

$$\text{实际水流量百分比} = [42\text{L/s} \div (7\text{L/s} \times 7)] \times 100\% = 85.7\%$$

查图得阻力修正系数为 0.75。

实际阻力 $\Delta H = \text{标准阻力} \times \text{阻力修正系数} = 56\text{kPa} \times 0.75 = 4.2\text{kPa}$

c. 进出水温差 = $(750\text{kW} + 199.8\text{kW}) \div (42\text{L/s} \times 4.187) = 5.4^\circ\text{C}$ 。

注: 1. 在计算冷却水进出水温差时,其输入功率应对应于所需制冷量时的值,而不是增加备用机后的输入功率。其制冷量也应是所需制冷量,而不是加备用机后机组能输出的制冷量。

2. 选型完毕后查技术规格表 14.6-1,检查冷水、冷却水流量是否在最大/最小范围内,否则需作修正。

14.7 制冷系统管道设计与配置

14.7.1 基本原则及布置要点

1. 基本原则

- 保证充分供给各组蒸发盘管 (蒸发器) 所必需的液体制冷剂;
- 合理选择管径和尽量缩短制冷管线,避免过大的管道压力损失和防止产生闪发气体;
- 防止润滑油积沉在管道系统中;
- 防止液态制冷剂进入制冷机;
- 保持制冷系统内的气密、清洁和干燥。

2. 布置要点

• 管道不论采用何种形式敷设，应以经济合理、压降小、操作和检修方便为原则，并应尽可能的注意整齐美观。

• 设备之间连接管道的敷设坡度、坡向应符合表14.7-1的规定。

• 系统中的供液管不应有“气囊”现象，吸气管不应有“液囊”现象。

• 从液体主管接出支管时，支管应从主管底部接出；从气体主管接出支管时，支管应从主管上面接出，或者从侧面接出。

• 吸气和排气管道设置在同一支、吊架上时，吸气管应放在排气管的下面；平行管道之间一般保持200~250mm间距，以利安装和维修。

• 从制冷机到冷凝器的排气管道，在通过易燃墙壁和楼板时，应采用不燃材料进行隔离。

• 在进行管道和支架布置时，应考虑排气管路的热膨胀。

• 管道布置时，安装高度应符合表14.7-2。

制冷管道敷设坡向、坡度 表 14.7-1

管道名称	坡向	坡度
制冷机进气水平管(氨)	蒸发器	≥ 0.005
制冷机进气水平管(氟)	制冷机	≥ 0.01
制冷机排气水平管	油分离器	0.01~0.02
油分离器至冷凝器的水平管	油分离器	
机器间至调节站的供液管	调节站	
调节站至机器间的回气管	调节站	

管道安装高度 表 14.7 2

安装场所	安装高度(m)	备注
机房内架空管道通过人行道时	> 2.0	管底至室内地坪
机房外高支架时	0.3~0.8	管底与地面之间净距
机房外架空管道通过人行道时	> 2.5	
机房外架空管道通过车道时	1.0~4.5	
不防水地沟	0.5	沟底应比地下水位高

14.7.2 管材及管件

1. 管材不同介质应采用不同材质的管道，其连接方式也不同，见表14.7-3

管 材 表 14.7 3

介质名称	管 材	连 接 方 式	备 注
R717	当工作温度 $> -50^{\circ}\text{C}$ ，使用A10、A20优质碳素钢的无缝钢管，当工作温度 $< -50^{\circ}\text{C}$ ，使用经过热处理的无缝钢管或低合金钢管（如09Mn）	除设备、附件连接处采用法兰连接外，一律采用焊接连接	管壁内不得镀锌
R11 R12 R22	紫铜管或无缝钢管 当 $DN < 25\text{mm}$ 选用紫铜管 当 $DN \geq 25\text{mm}$ 选用无缝钢管	钢管与钢管采用焊接 钢管与铜管采用银焊 铜管与铜管采用银焊	管壁内不宜镀锌 法兰处不得用天然橡胶，也不得涂矿物油
冷却水 盐水 润滑油	一般采用焊接钢管 采用镀锌焊接钢管 与制冷剂管相同	焊接、法兰、螺纹均可 焊接、法兰、螺纹均可 与制冷剂管相同	与制冷剂管相同

2. 管件及附件(见表14.7.4)

表 14.7.4

名称	安 装 要 求
弯 头	冷弯时, 曲率半径不应小于 4 倍的管外径
三 通	宜采用顺流三通, Y形羊角弯头, 也可采用斜三通
阀 门	各种阀门应符合制冷剂的专用产品。氟里昂制冷系统中用的膨胀阀应垂直放置, 不得倾斜, 更不得颠倒安装
温 度 计	要有金属保护套, 在管道上安装时, 其水银(或酒精)球应处在管道中心线上, 套筒的感温端应迎着流体运动的方向
压 力 表	高压容器及管道应安装 0~2.5MPa 压力表, 中、低压容器及管道应安装 0~1.6MPa 压力表
感 温 包	安装在离制冷机吸气管道 1.5m 以外的平直管道上

14.7.3 氟制冷系统管道设计与配置

氟里昂能溶解不同数量的润滑油, 在管路设计与配置时必须解决两个问题:

- 润滑油能顺利地由吸气管返回制冷机曲轴箱。
- 当多台制冷机并联运行时, 润滑油能均匀地回到每台制冷机。

1. 吸气管的配置

- 水平管应有不小于 0.01 的坡度 (坡向制冷机); 在上升管下部应设存油弯, 如图 14.7.1。
- 蒸发器的不同组合与制冷机相对位置不同时, 吸气管线的配置详见图 14.7-2。

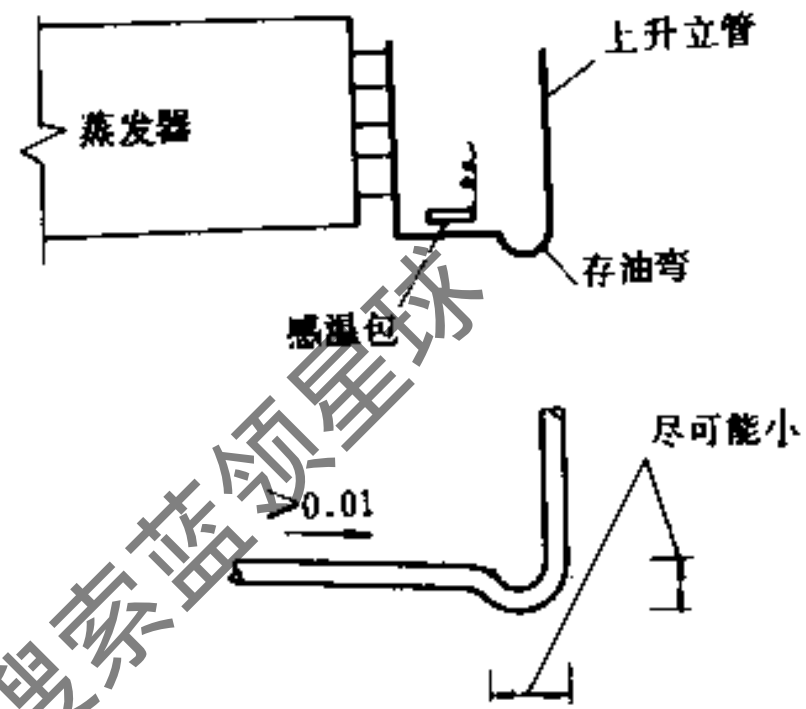


图 14.7.1 存油弯

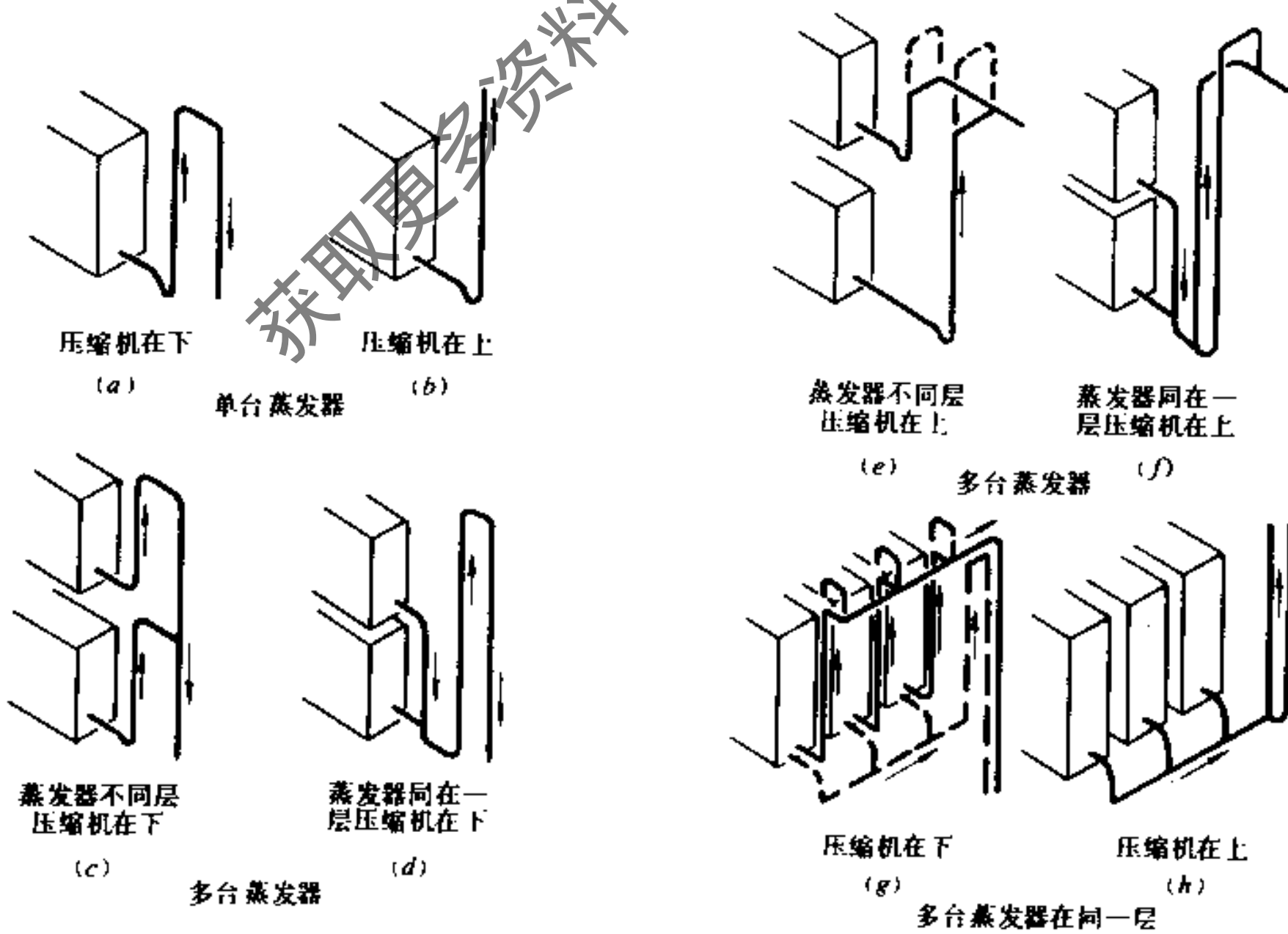


图 14.7-2 氟吸气管线的布置

图 号	图 面 说 明
图14.7-2a	制冷机位于单台蒸发器下，在吸气管上有一倒U形环路，最高点应高过蒸发器，以防止停用时液体冷媒流入制冷机。
图14.7-2b	单台蒸发器位于制冷机下，此式不用倒U形环路，因蒸发器本身即可容纳所有液体冷媒。
图14.7-2c	在不同楼层的多台蒸发器位于制冷机之上，每个蒸发器的吸气管必须先升至该器之顶上后，再接至共同吸气管上，以防止停用时液体冷媒流入制冷机。
图14.7-2d	同一层楼的重叠蒸发器连在一起或是两只蒸发器共同使用一个供液电磁阀而制冷机在下方者，此式配管只需一个倒U形环路即可。
图14.7-2e	在不同楼层的多台蒸发器位于制冷机之下，各有独立的供液电磁阀，则每台蒸发器也应有独立的吸气上行管，以便有最好的回油效果。
图14.7-2f	为同一层楼的重叠蒸发器位于制冷机之下方时的配管。
图14.7-2g	同一平面的多台蒸发器位于制冷机之上，每一吸气管均引向上经一倒U形环路接到共同的吸气管；或者每一吸气管均向下接到共同的吸气管，然后再引向上经一倒U形环路接入制冷机（图中用虚线表示）
图14.7-2h	为多台蒸发器位于制冷机之下时的配管。

• 制冷机吸气管的配置，见图14.7-3。

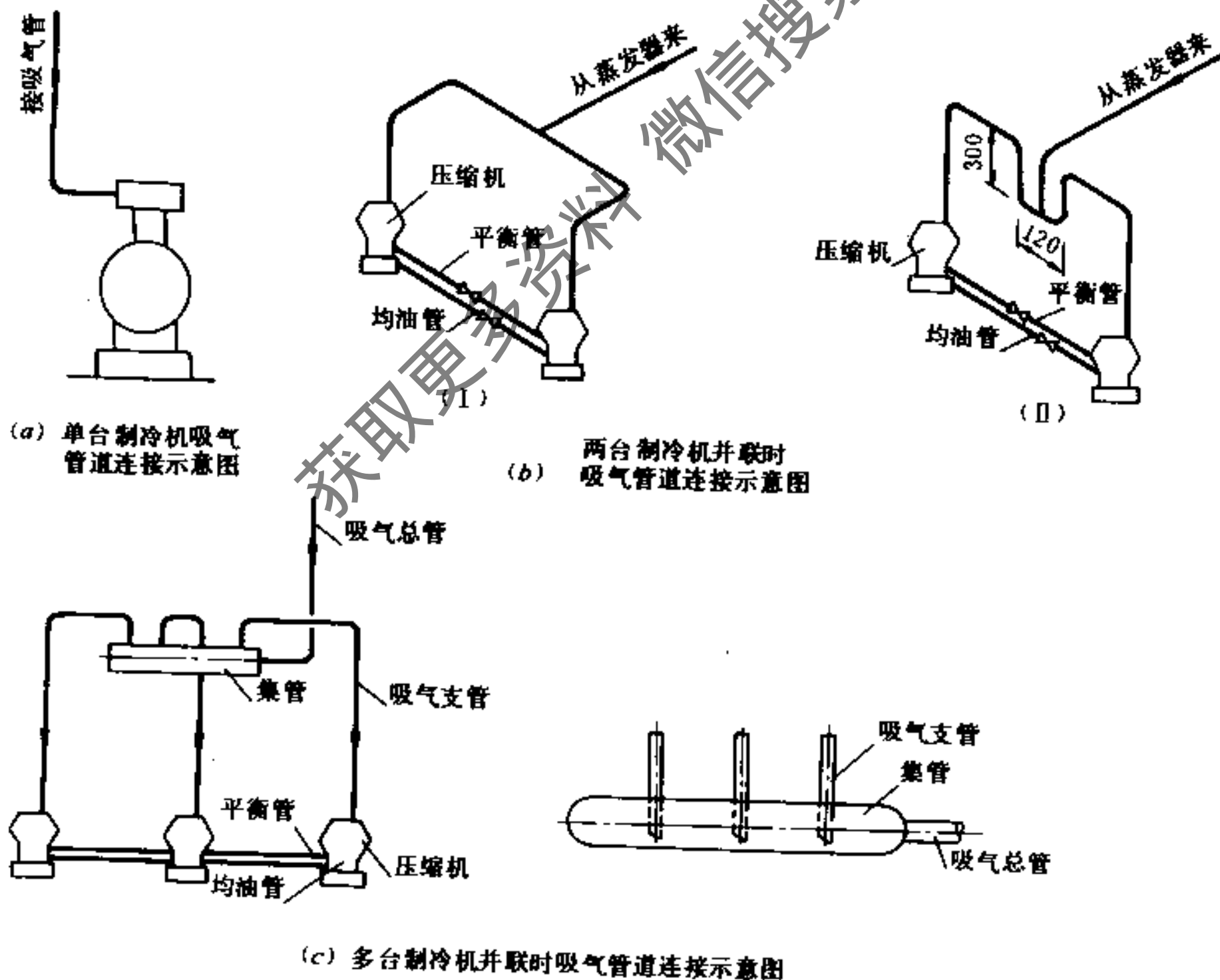


图 14.7-3 多台制冷机并联时吸气管道布置

图 号	图 面 说 明
图14.7 3a	单台制冷机时,在其入口处不装设集油弯管,否则停机后再启动时,会有大量的润滑油进入制冷机,致使产生不良效果
图14.7 3b	两台制冷机并联接管时,方式有两种(I)吸气管对称布置,使两台制冷机的阻力近乎相等; (II)直联接管,设置U形集油弯,用以防止当一台制冷机停机,另一台制冷机运行时润滑油流进停用的制冷机吸气管道入口处。同时曲轴箱油面上部与下部均应装设平衡管与均油管
图14.7-3c	三台或多台制冷机并联连接时,应设置一个集气管,且使吸入气体能够顺利地流入集气管;吸气管支管应插到集气管的底部,端部设计成45°斜口

• 双吸气管:连接形式见图14.7-4。

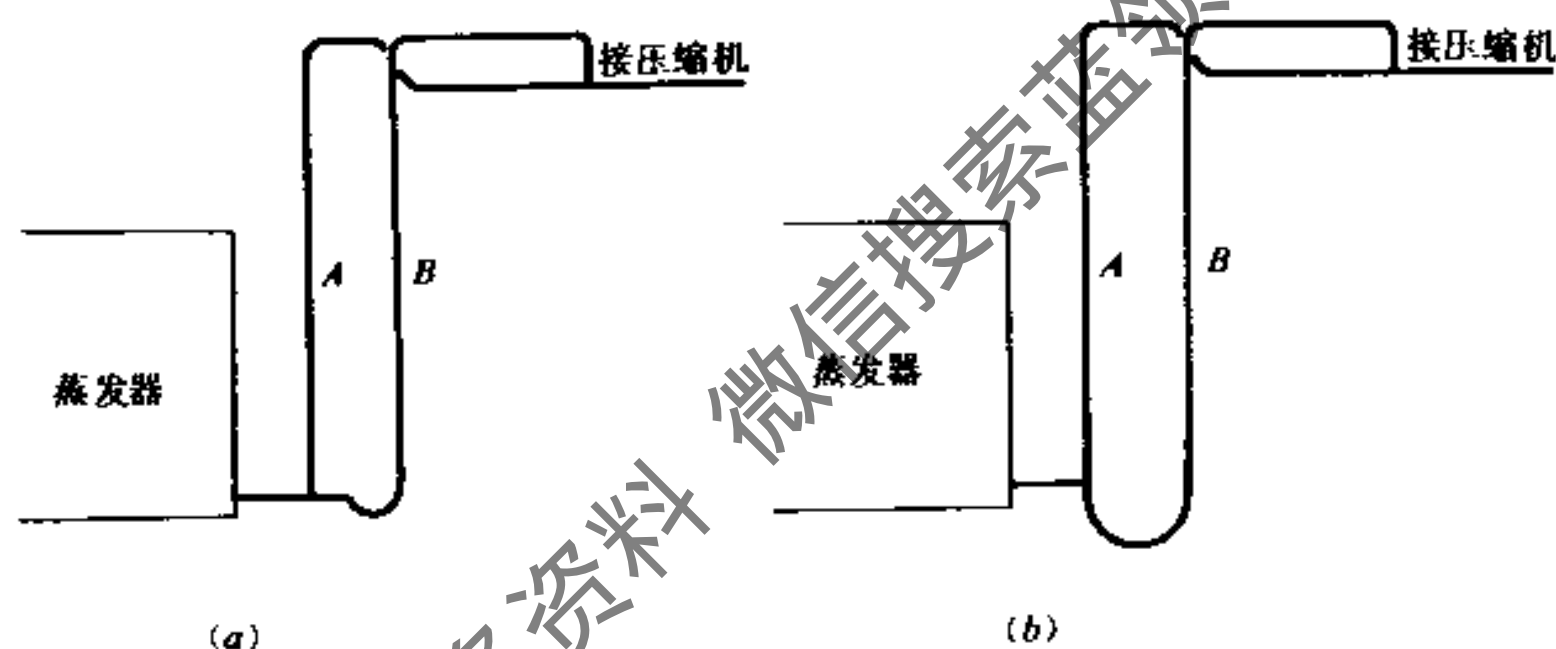


图14.7 4 双吸气竖管的两种连接形式

一般情况下吸气管道接制冷机的最大工作容量设计成单管。对于有能量调节的制冷机或多台制冷机的情况,应采用双吸气管。这样,既可保证压力损失在允许范围内,又可使润滑油被气流带回制冷机。

图中小竖管“*A*”的管径设计,必须保证制冷系统在最低负荷运行时,润滑油能被气流带回制冷机。

图中大竖管“*B*”的管径设计,必须考虑到制冷系统在满负荷运行时,气体是通过双吸气竖管回至制冷机,则竖管“*A*”和“*B*”的有效面积之和应等于或稍大于单根竖管时的有效面积。

在两根竖管之间用一个集油弯管连接。其水平宽度越小越好,一般情况下采用两个90°弯头紧密相连即可,其高度也应尽可能做低。竖管*B*形成一个顶弯管,从顶部接至水平吸气管道上,这样可以防止制冷系统在低负荷工作时润滑油流入没有投入工作的竖管中去。

2. 排气管的配置 (详见图14.7-5)

3. 冷凝器至贮液器之间的管道配置 (见图14.7-6)

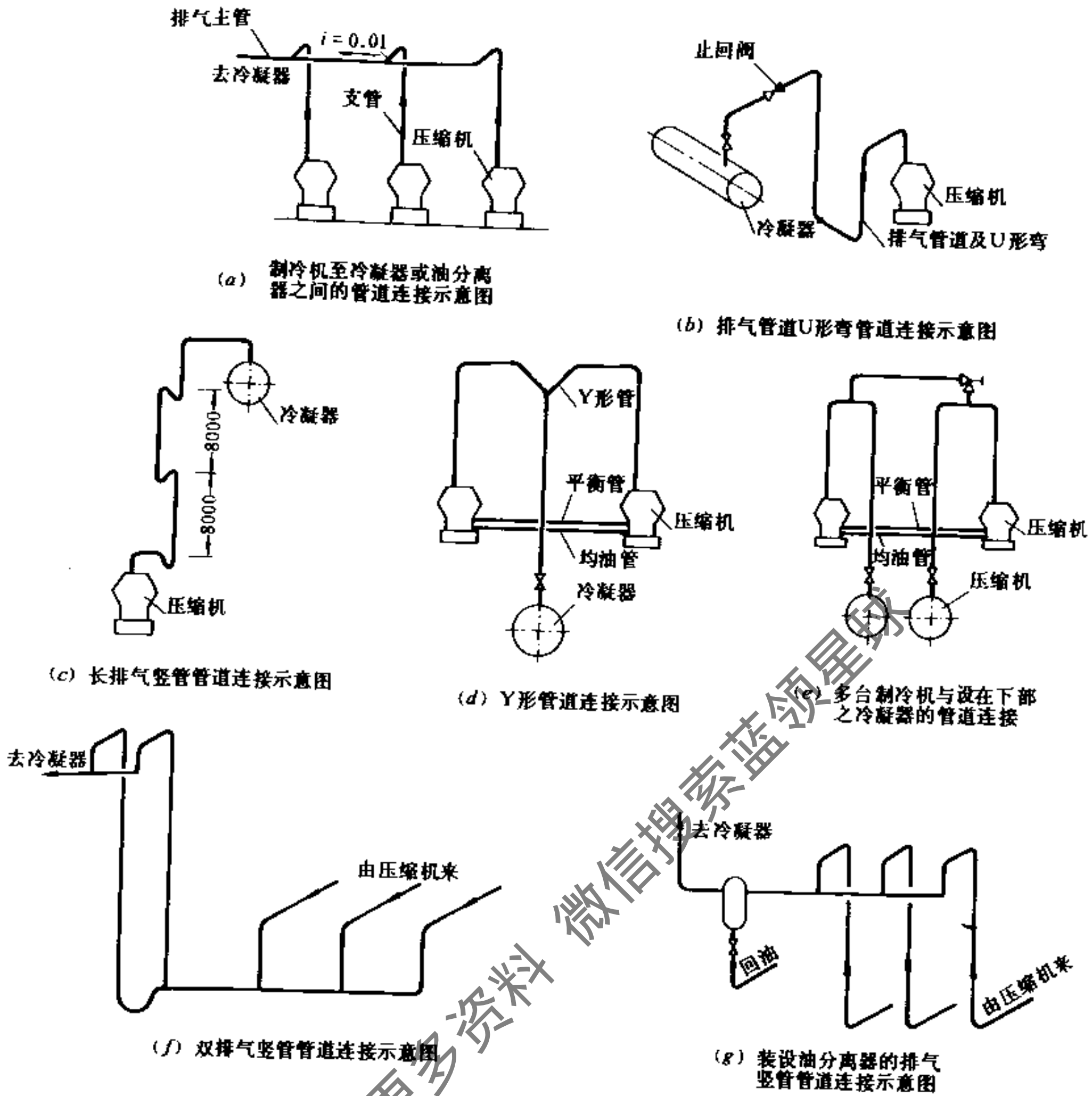
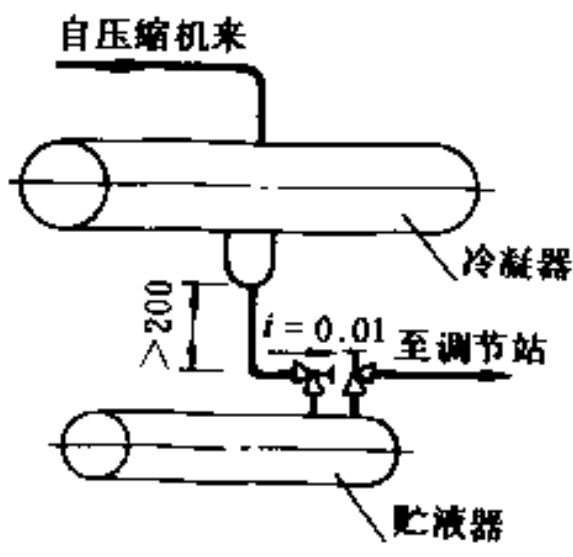
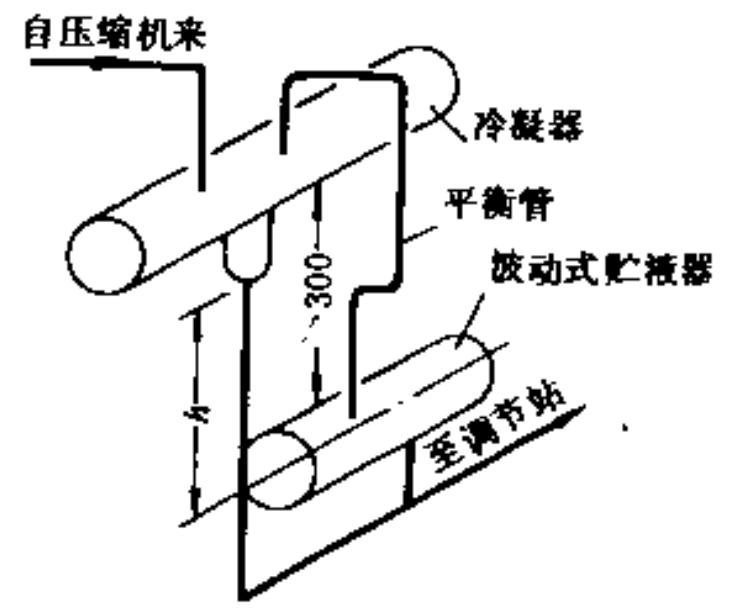


图 14.7-5 排气管道的布置

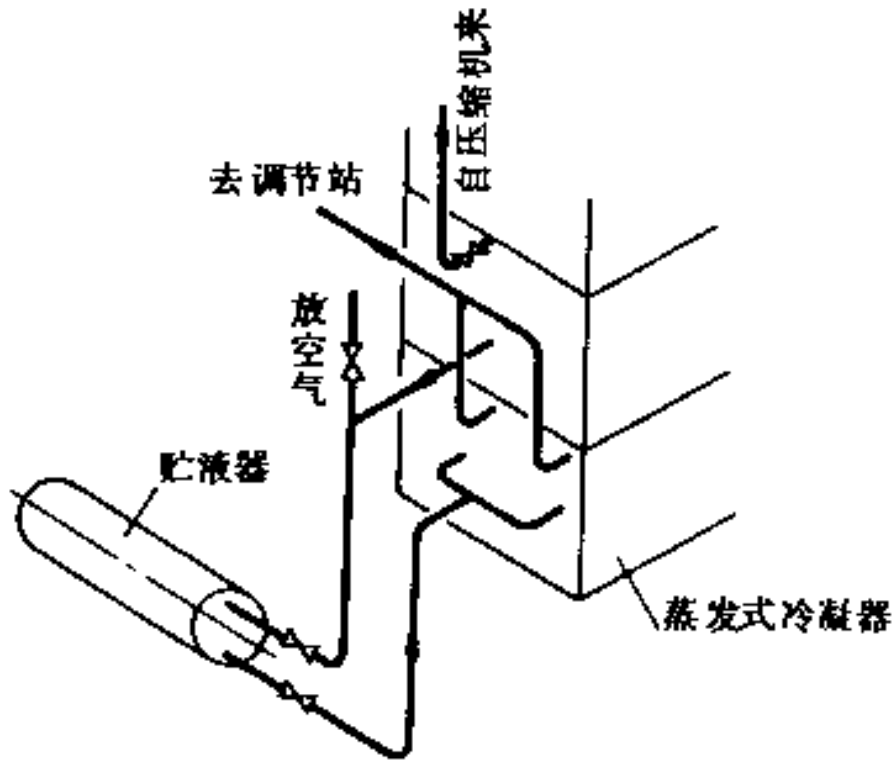
图 号	图 面 说 明
图 14.7-5a	排气管应保持大于或等于0.01的坡度,且必须坡向油分离器或冷凝器,确保竖管中的润滑油均匀地随制冷剂气体一起流向油分离器或冷凝器
图 14.7-5b	对于不设油分离器的制冷机,当制冷机位于冷凝器下方时,应将排气管道靠近制冷机先向下弯至地面处,然后再向上接往冷凝器形成U形弯,这样可以防止冷凝的液体制冷剂及润滑油回流回制冷机,避免再次开车时造成液击事故
图 14.7-5c	当制冷机排气管道的竖向长度超过3m时,在靠近制冷机处的管段上设一集液弯管,然后再每隔8m设一集液弯管
图 14.7-5d	当两台制冷机合用一台冷凝器,且冷凝器位于制冷机之下时,用45°Y形三通连接,能防止一台制冷机运行时,润滑油流入另一台制冷机
图 14.7-5e	当制冷机和冷凝器均在两台以上,而且制冷机位于冷凝器之上时,排气管道的直径应与制冷机的排气管道上的阀门直径相同
图 14.7-5f	对有能量调节的制冷机,应考虑排气竖管在制冷系统的低负荷运行时,能将润滑油从竖管中带出
图 14.7-5g	装设油分离器的排气竖管应如图所示连接,油分离器回收的润滑油应均匀地送回各台正在运行的制冷机



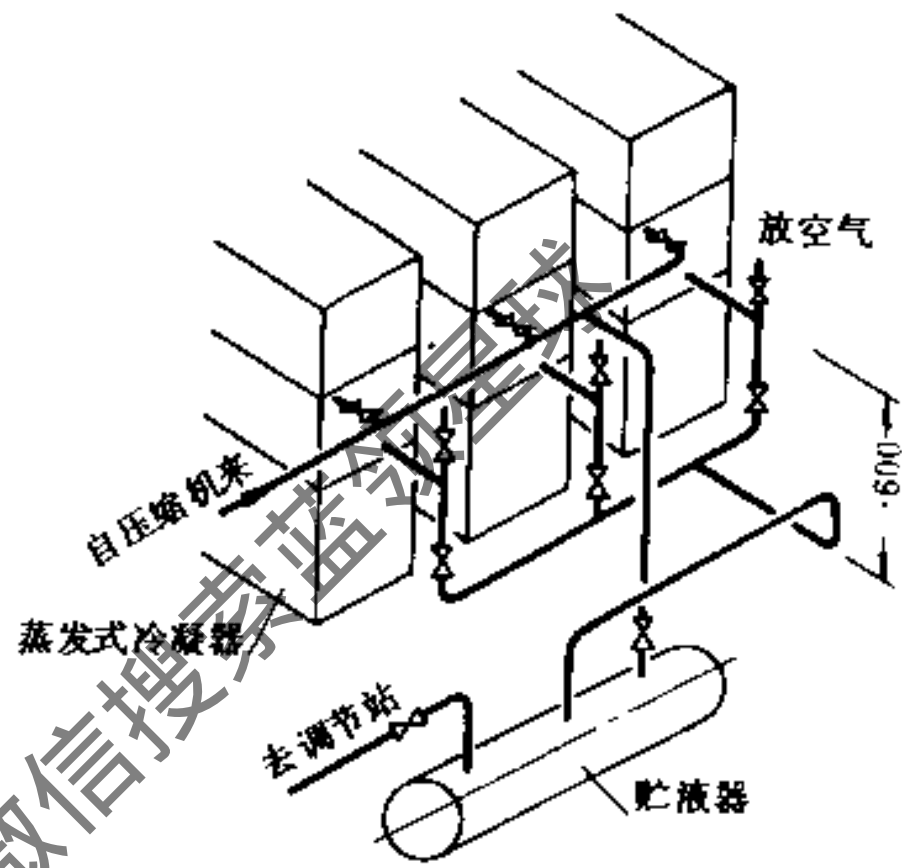
(a) 卧式冷凝器至贮液器
间管道连接示意图



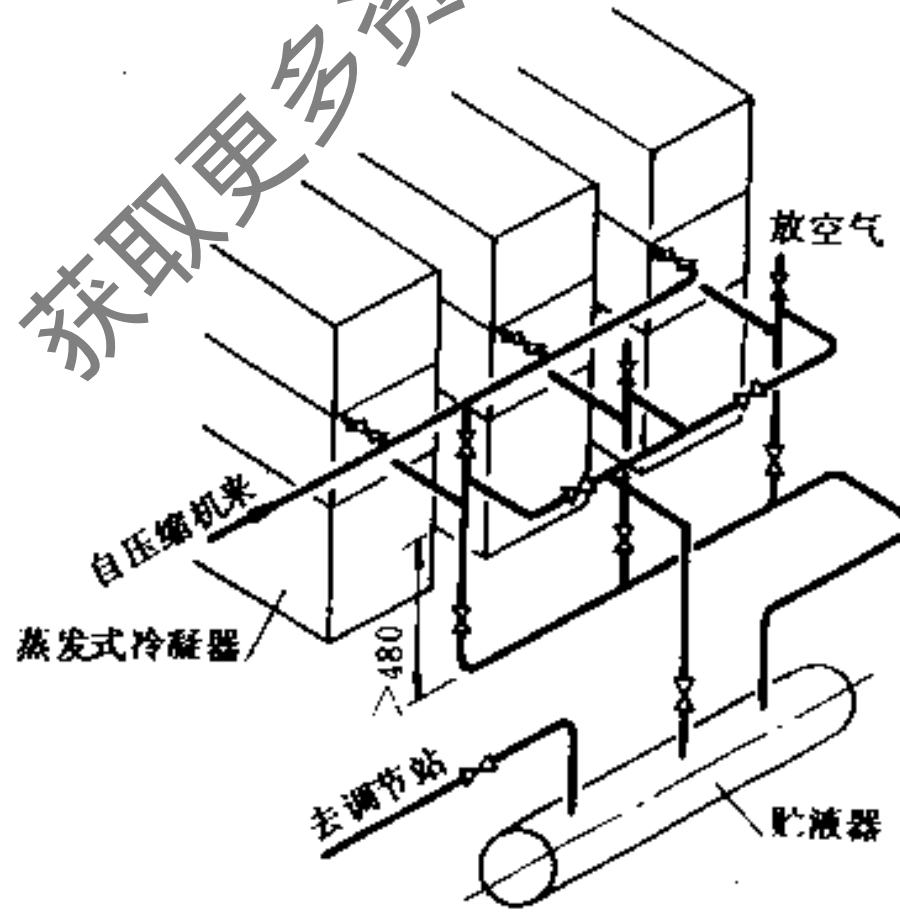
(b) 波动式贮液器管道连接示意图



(c) 蒸发式冷凝器至贮液器
之间的管道连接示意图



(d) 多台蒸发式冷凝器与贮液器
间管道连接示意图之一



(e) 多台蒸发式冷凝器与贮液器
间管道连接示意图之二

图 14.7-6 冷凝器至贮液器间的配管

图 号	图 面 说 明
图14.7-6a	壳管式冷凝器配有重力排液到高压贮液器顶部入口的排液管, 应保证冷凝器出液管至角阀中心的高度不小于200mm, 管内液体流速在满负荷运行时不超过0.5m/s, 敷设坡度不小于0.01, 坡向贮液器。这时可不设外部平衡管
图14.7-6b	当室内环境温度高于冷凝温度时, 为了保持制冷循环的过冷温度或当冷媒流速大于0.5m/s(不应超过0.8m/s), 应采用波动式贮液器。此时, 冷凝器与贮液器之间应设平衡管, 且均从顶部引出接管。 排液高度 h 和平衡管的公称直径见表14.7-5和表14.7-6
图14.7-6c	为蒸发式冷凝器至贮液器之间的配管图。液体流速应小于0.5m/s
图14.7-6d	多台蒸发式冷凝器并联运行时, 冷凝器的液体出口和贮液器进液水平管之间的垂直距离不小于600mm, 液体流速应小于0.5m/s, 且应有0.02的坡度, 坡向贮液器。必须设计平衡管, 从贮液器接至冷凝器进气总管处
图14.7-6e	多台蒸发式冷凝器并联运行时, 当冷凝器内压力降较大而又不便于安装很长的竖管时, 可按本图连接。平衡管接至冷凝器出口管段上, 可降低冷凝器的安装高度, 但各台冷凝器的技术规格必须完全相同

波动式贮液器需要的排液高度 h (mm)

表 14.7-5

最大负荷下液管的断面流速 (m/s)	冷凝器与贮液器间的阀门类型	h (mm)	最大负荷下液管的断面流速 (m/s)	冷凝器与贮液器间的阀门类型	h (mm)
0.5	角阀或球阀	350	0.8	角 阀	400
0.8	无 阀	350	0.8	球 阀	700

平衡管的公称直径 (mm)

表 14.7-6

公 称 直 径 (mm)	15	20	25	32	40	50
最大负荷 (kW)	R-12	125	245	420	695	965
	R-22	175	315	515	890	1250

4. 冷凝器或贮液器至蒸发器的管道配置

(1) 管道的连接示意图见图14.7-7。

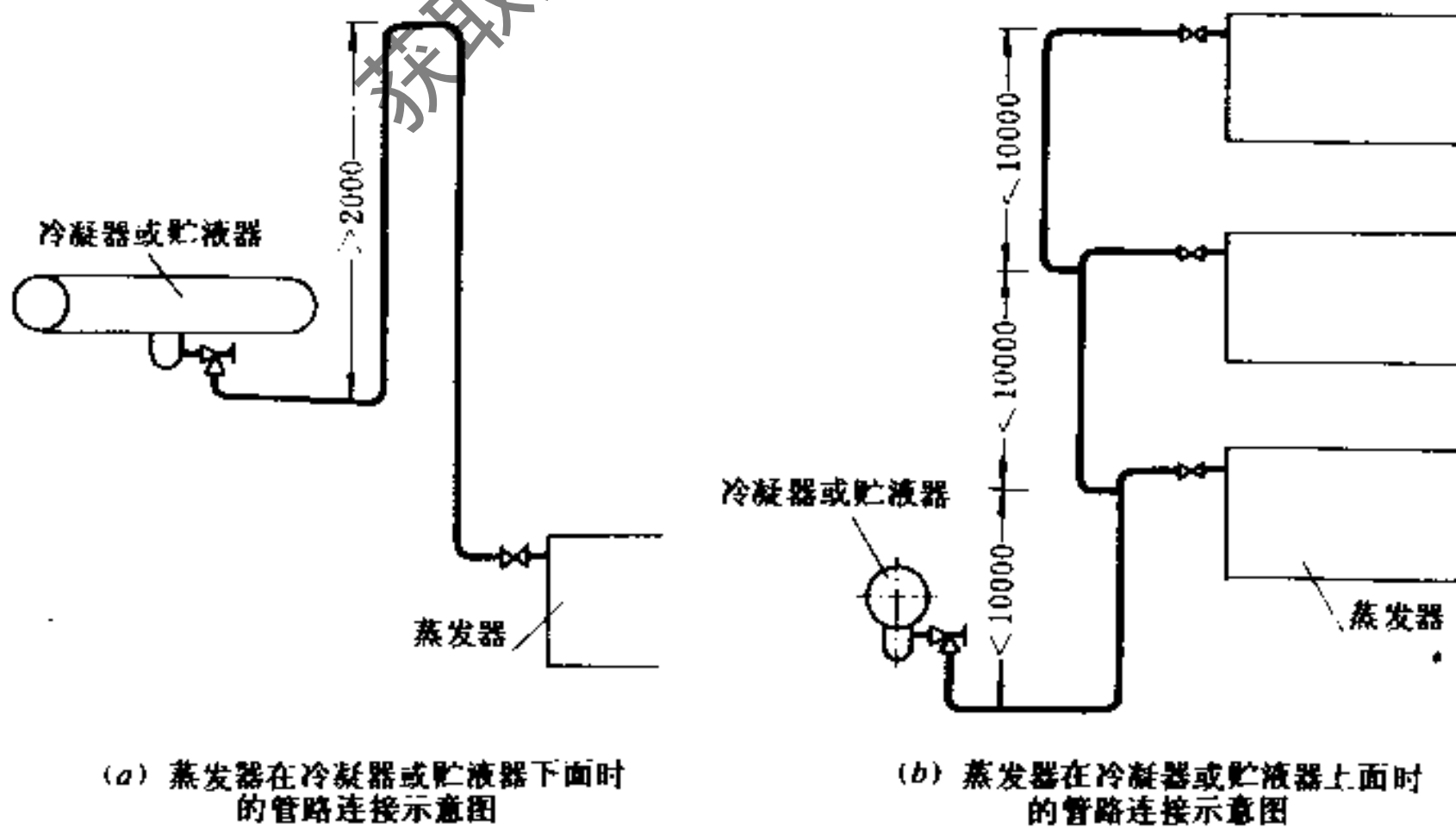


图 14.7-7 冷凝器或贮液器至蒸发器的管道配置

图 示	图 面 说 明
图14.7-7a	蒸发器位于冷凝器或贮液器下方时，在液体管道上要设计成倒“U”形液封，高度不小于2m。当液体管道上装有电磁阀时，可不设置倒“U”液封
图14.7-7b	多台蒸发器在冷凝器或贮液器上方，且不能避免闪发气体时，管道连接要注意三点： <ul style="list-style-type: none"> • 尽可能避免闪发气体。 • 应在膨胀阀前选定准确的压力降。 • 当液体管道的环境温度高于冷凝温度时，管道应进行保温

(2) 应保持适当的过冷度，以防制冷剂气化。一般可设回热式热交换器或并联一个直接蒸发式热交换器来实现，见图14.7-8。

(3) 应考虑液管升高时，液柱静压力对制冷剂气化的影响，详见表14.7-7。

(4) 低压液管的阻力倍数，见表14.7-8。

(5) 制冷剂为R-12时冷却盘管的允许串联长度，可按图14.7-9和图14.7-10确定。

(6) 制冷剂为R-22时冷却盘管的允许串联长度，可按图14.7-11和图14.7-12确定。

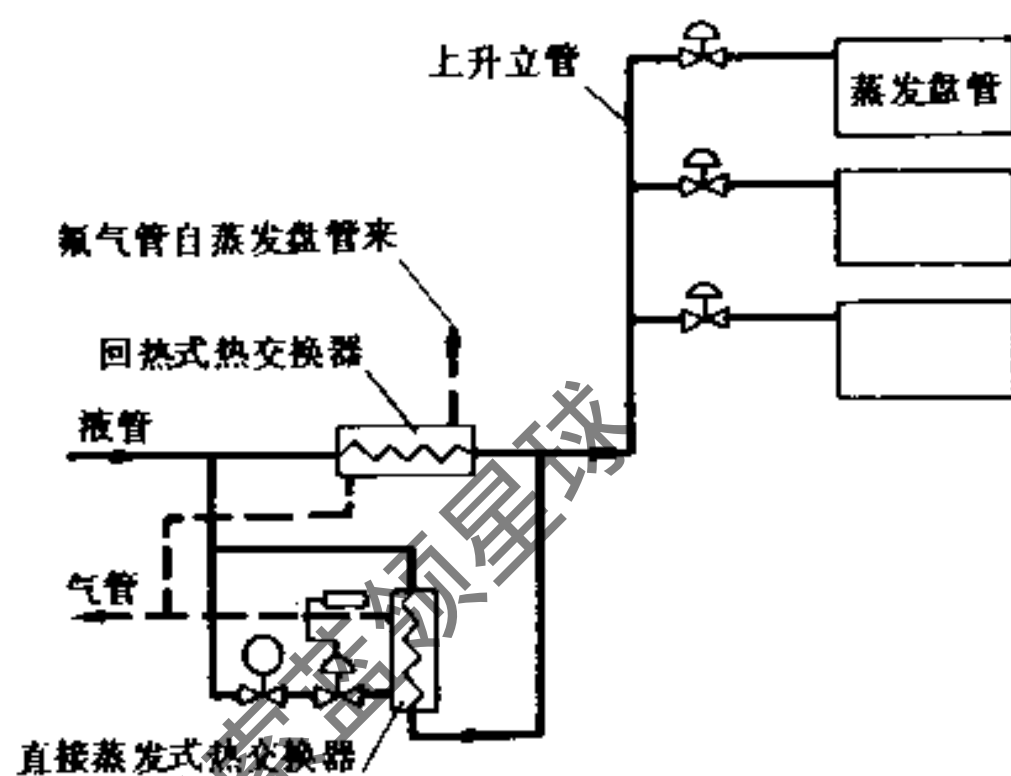


图 14.7-8 闪发气体的防止示意图

每1m液柱的静压差及相应的饱和温度降

表 14.7-7

参 数	制 冷 剂 种 类							
	R-12					R-22		
冷凝温度 (°C)	50	45	40	35	30	40	35	30
冷凝压力 (MPa)	1.24	1.10	0.98	0.86	0.76	1.58	1.39	1.23
液柱压差 (MPa)	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.011	0.012	0.012
饱和温度降 (°C)	0.44	0.47	0.53	0.59	0.67	0.29	0.33	0.37

低压液管的阻力倍数

表 14.7-8

膨胀阀前的液温 (°C)	蒸发温度 (°C)	阻 力 倍 数		膨胀阀前的液温 (°C)	蒸发温度 (°C)	阻 力 倍 数	
		R-12	R-22			R-12	R-22
30	10	14.0	12.0	40	10	19.0	17.0
	0	21.5	18.5		0	29.0	24.5
	-10	33.5	28.5		-10	43.0	35.5
	-20	52.0	43.5		20	61.0	51.0
	-30	76.5	64.0		-30	93.0	77.0

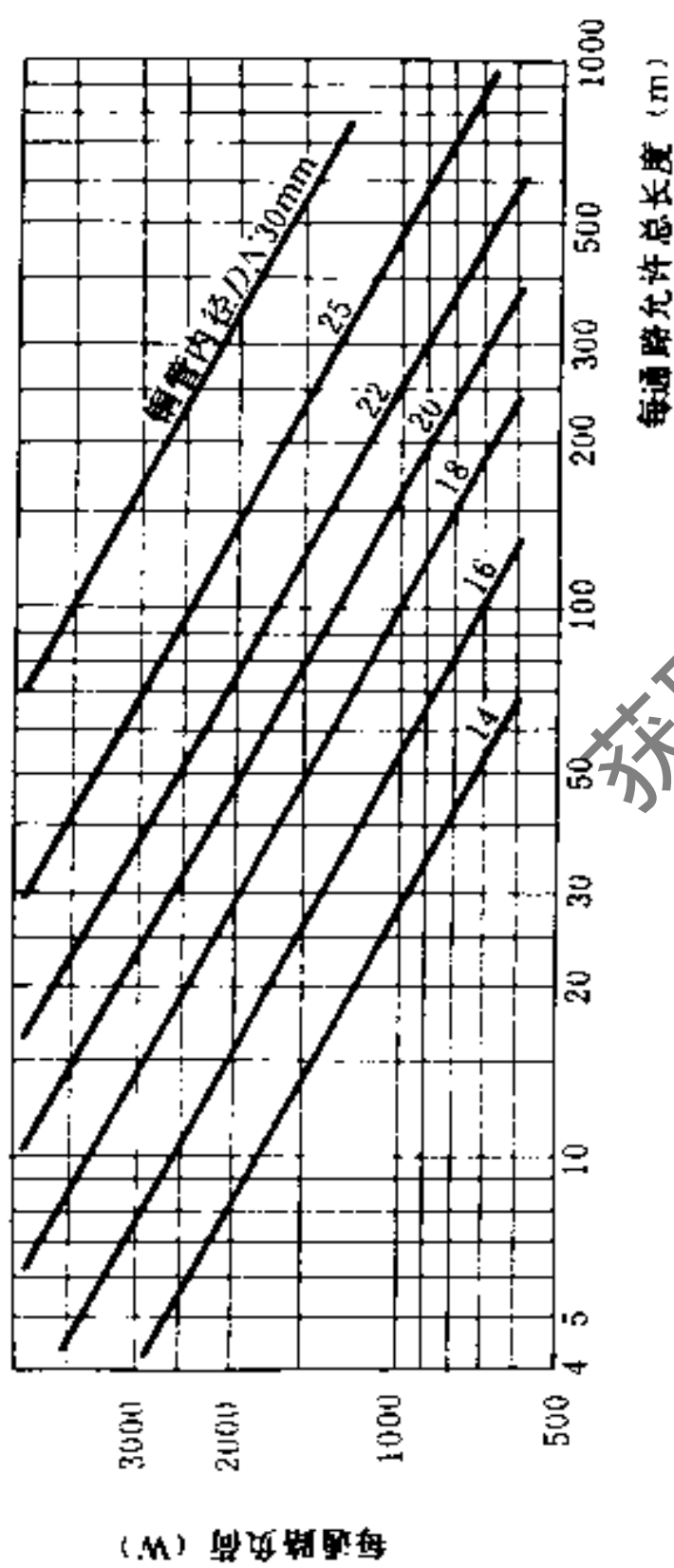


图 14.7-9 R-12 冷却盘管允许串联长度
(蒸发温度 -20°C , 膨胀阀前液温 30°C ,
允许压力降相应于饱和蒸发温度降 2°C)

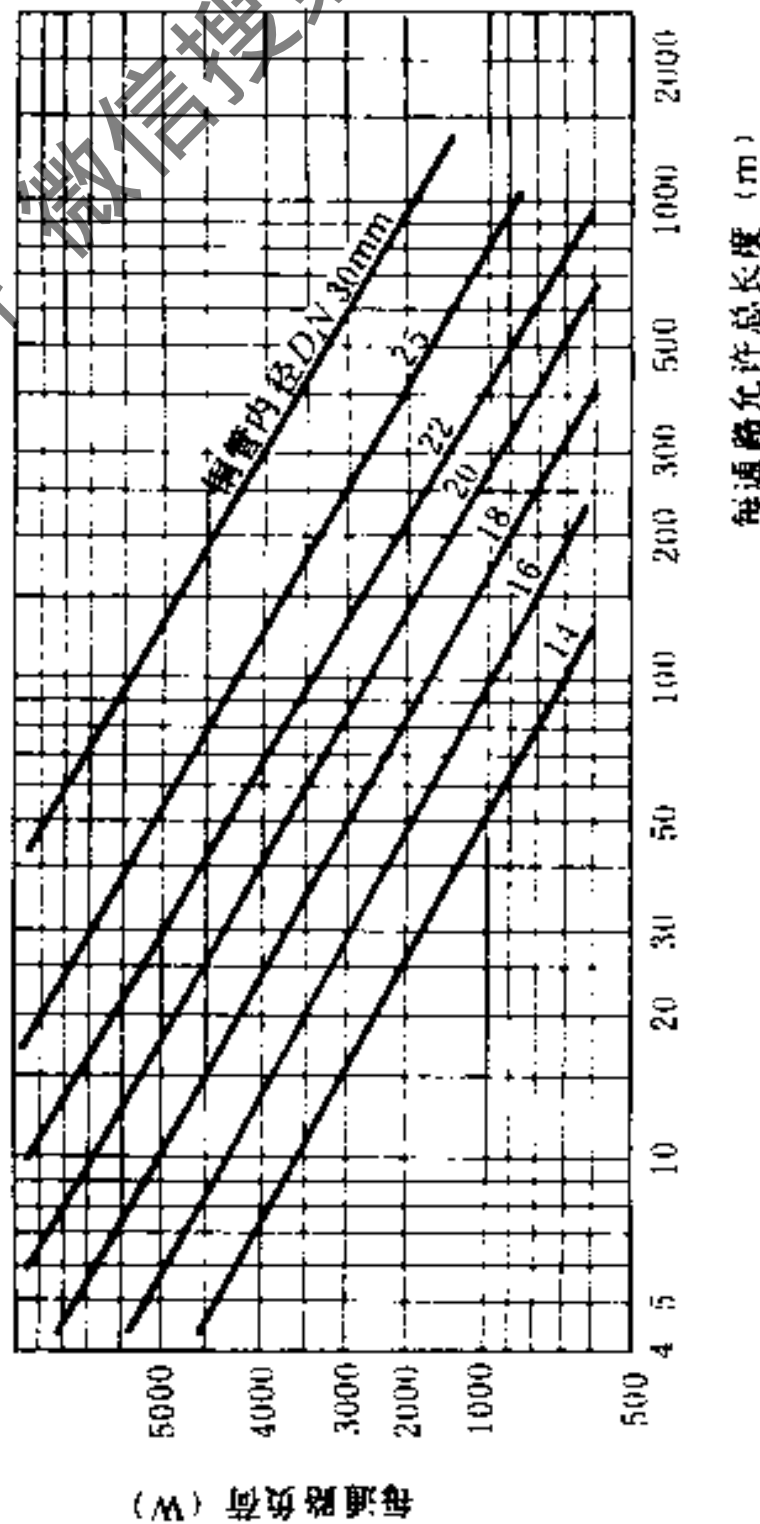


图 14.7-11 R-22 冷却盘管允许串联长度
(蒸发温度 20°C , 膨胀阀前的液温 30°C ,
允许压力降相应于饱和温度降 1°C)

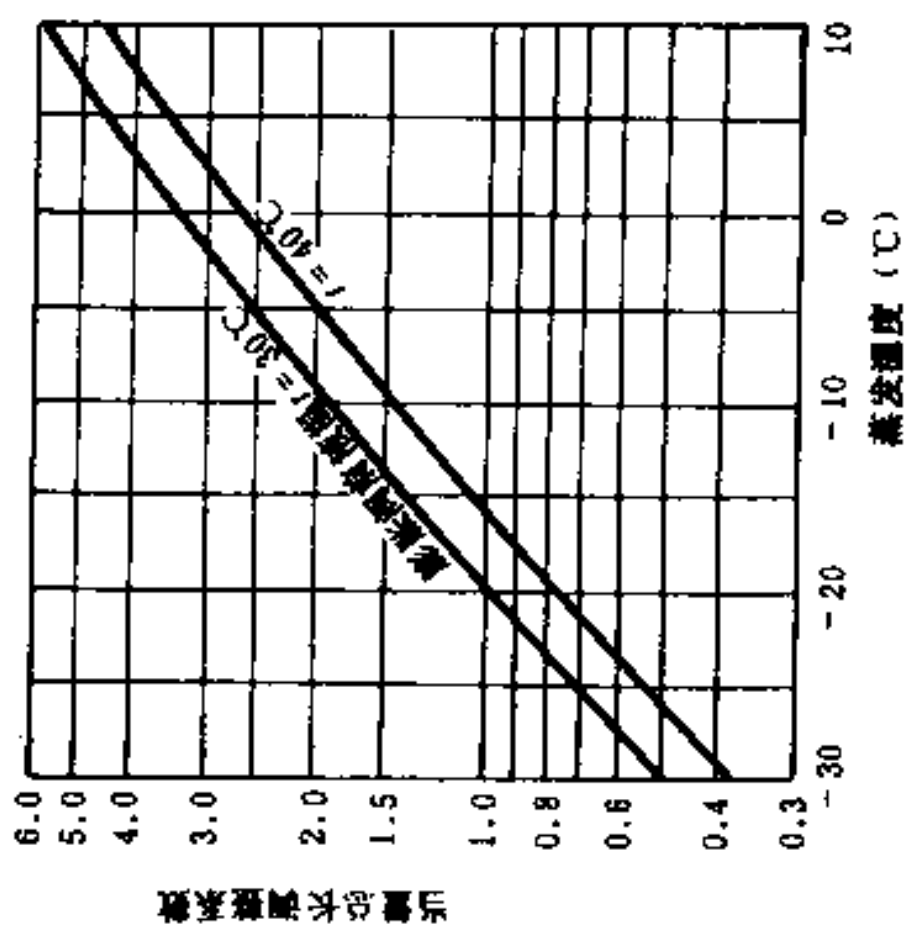


图 14.7-10 图 14.7-9 的调整系数

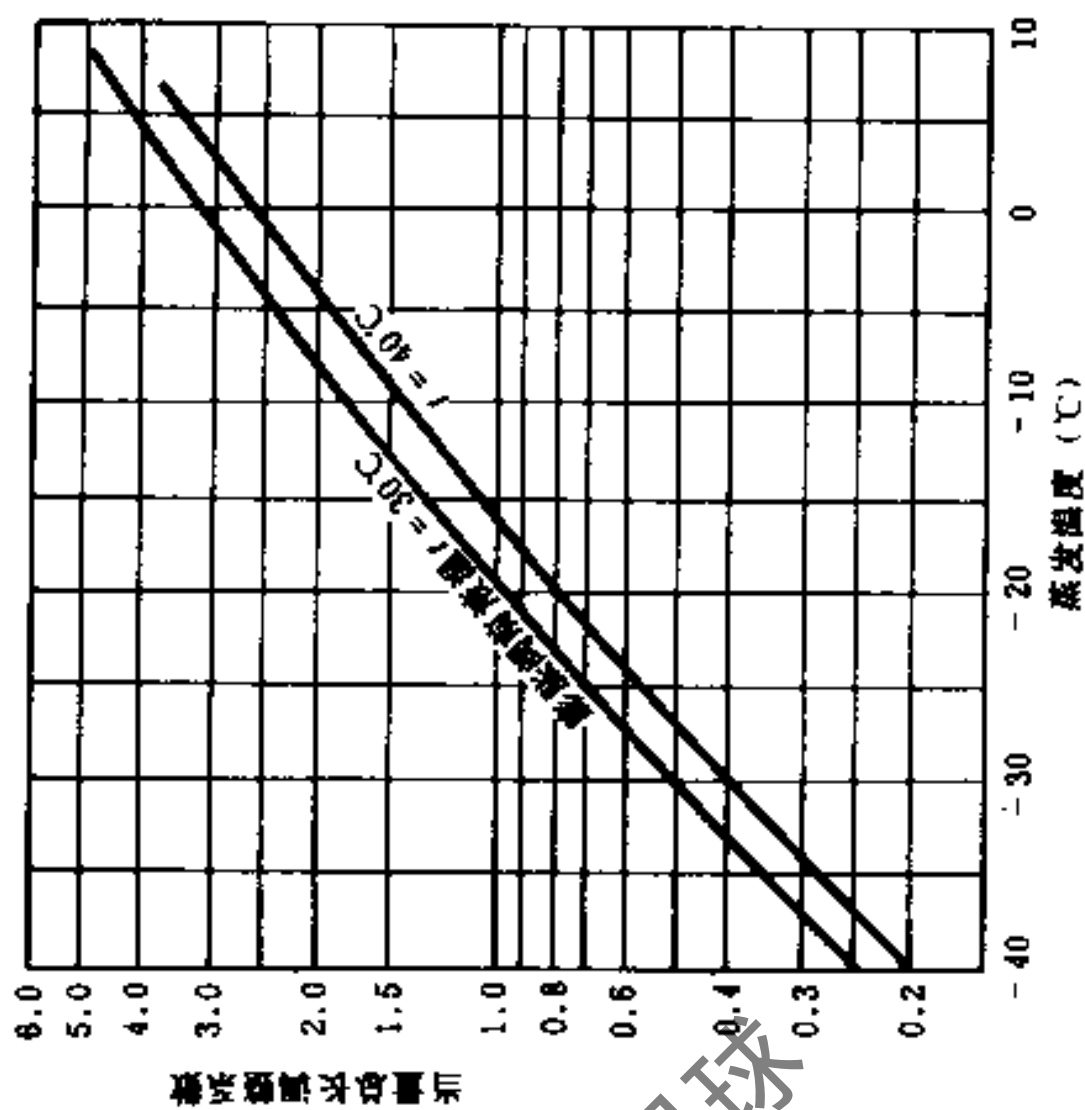


图 14.7-12 图 14.7-11 的调整系数

14.7.4 氨制冷系统管道设计与配置

氨有毒性，且有爆炸危险；润滑油不能溶解在氨液中。因此在设计时必须解决两个问题：

- 要确保系统的安全运行，减少泄漏，设备之间须设置阀门；
- 润滑油的排放和回收。

1. 氨制冷机吸气、排气管道的配置（见图14.7-13）

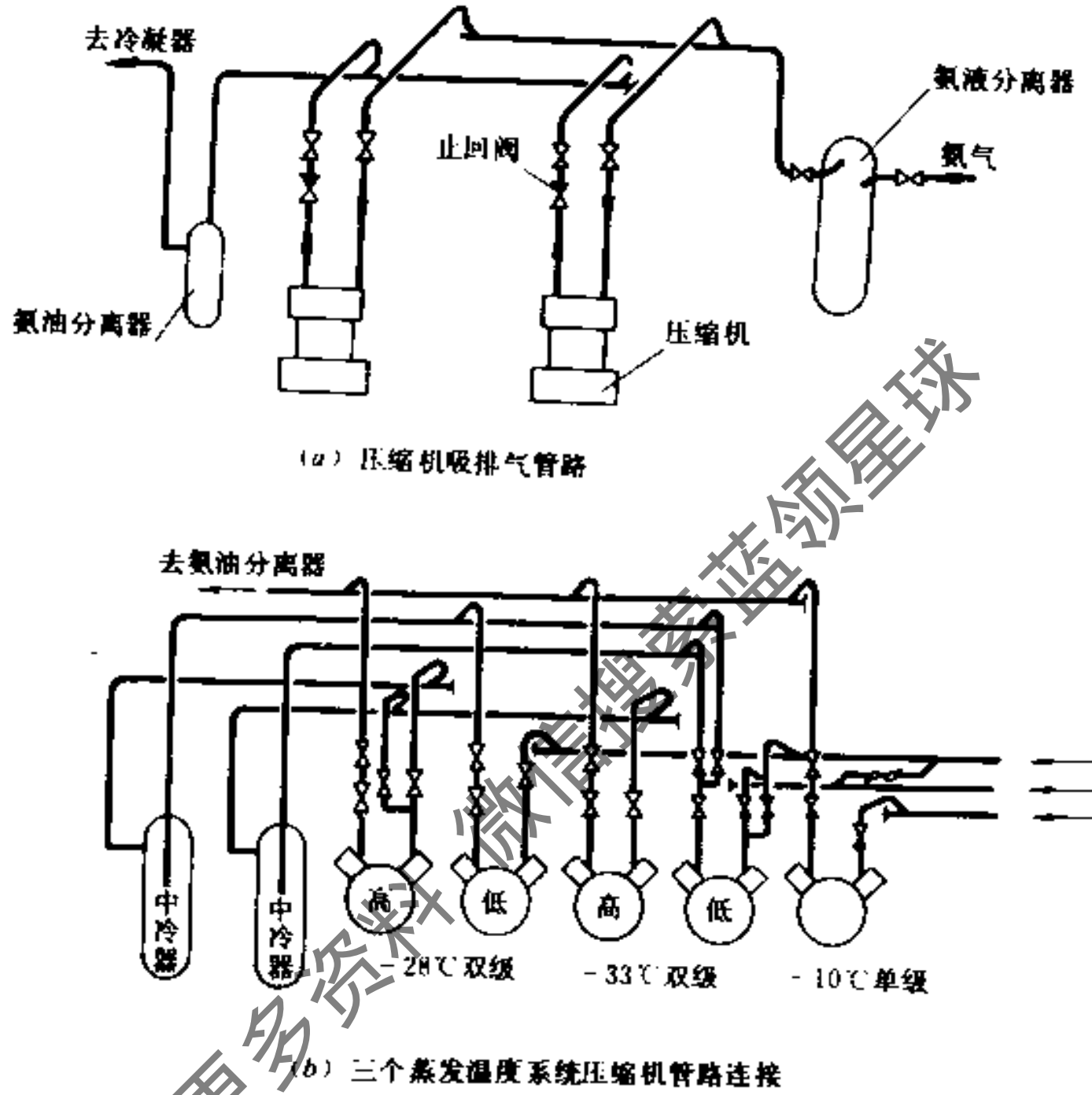


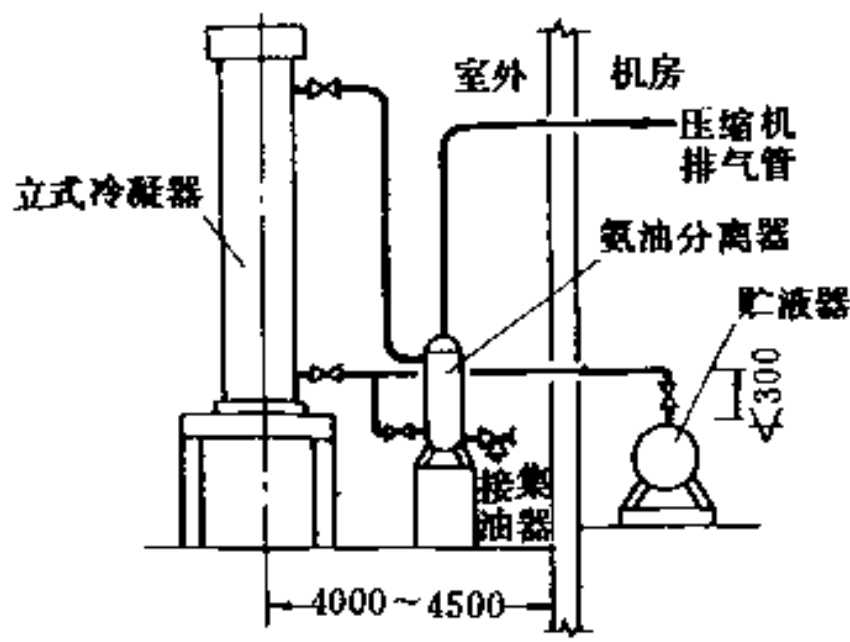
图 14.7-13 氨制冷机吸排气管道布置

图 号	图 面 说 明
图14.7-13a	<p>单一蒸发温度的制冷系统单级制冷压缩机的管道连接：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 吸气管：为防止液体吸入制冷机，吸气支管应从主管顶部接出； • 排气管：为防止润滑油进入不工作的制冷机，排气支管应从主管顶部或斜角接出
图14.7-13b	<p>三个蒸发温度的制冷系统，不同类型的制冷机管道的连接，为了机组之间能互相备用，管路系统中增加了旁通管和“共同”管</p>

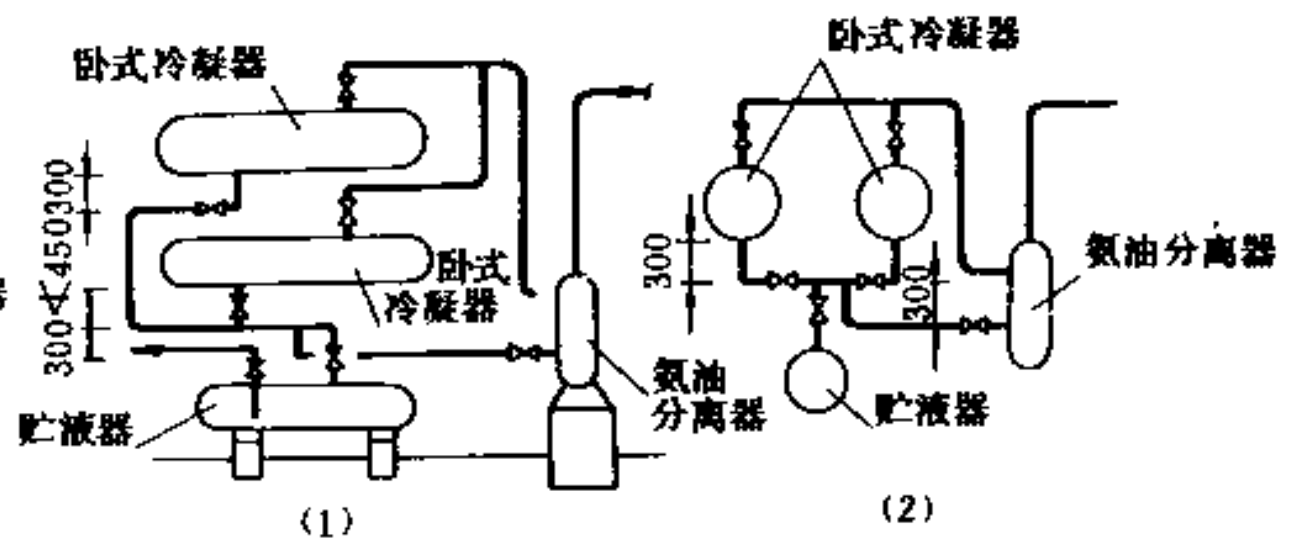
2. 氨油分离器、冷凝器及高压贮液器的管路配置（见图14.7-14）

3. 排油管路的配置

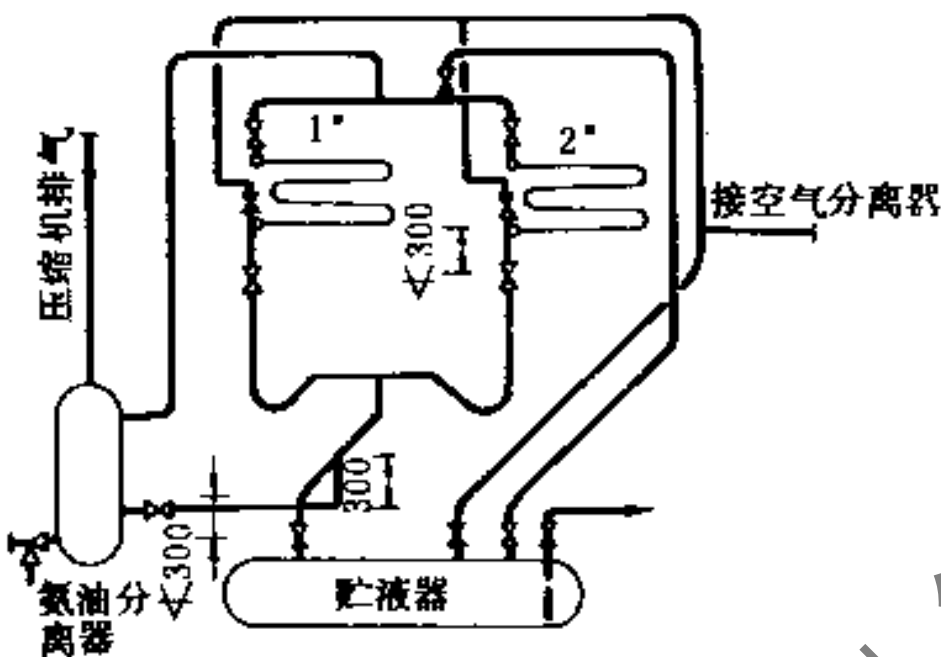
由于润滑油的容重大于液体氨的容重，所以系统中的油都积聚在冷凝器、贮液器及蒸发器的底部，油管均从设备底部接出，见图14.7-15。



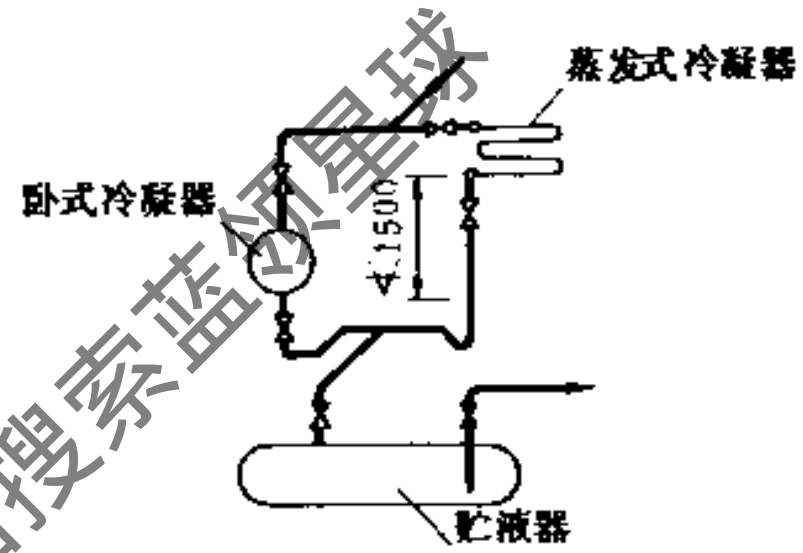
(a) 立式冷凝器、贮液器与氨油分离器的连接



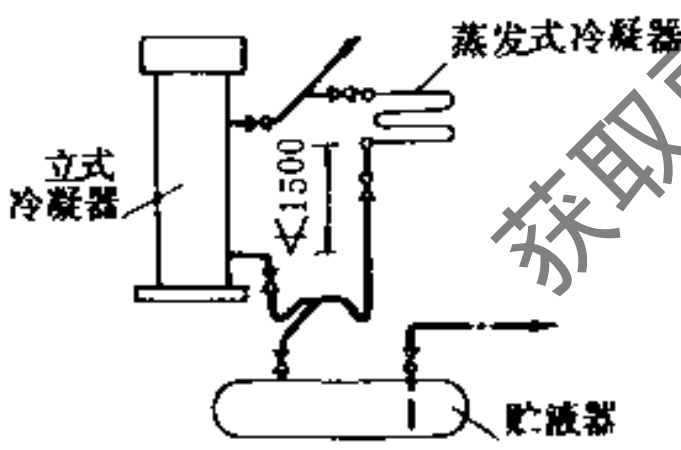
(b) 卧式冷凝器与高压贮液器的连接



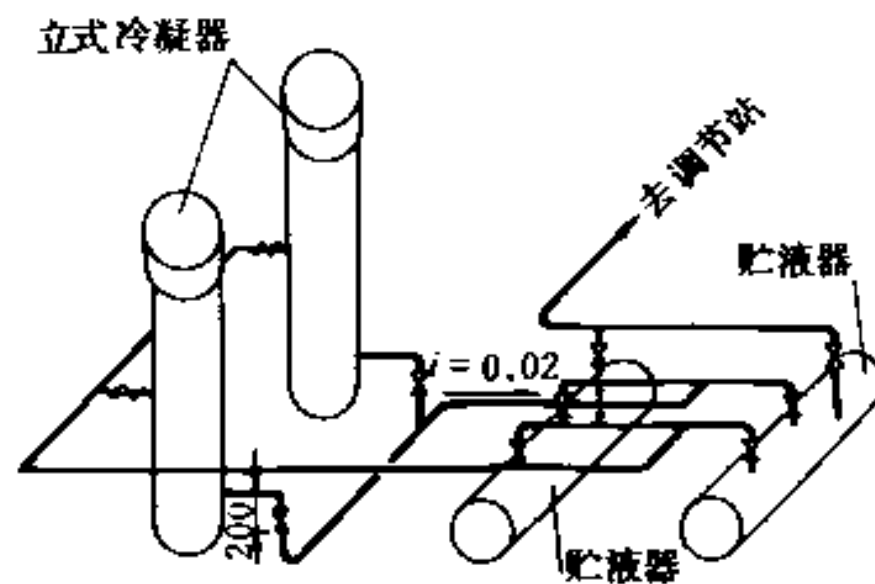
(c) 蒸发式冷凝器与贮液器的连接



(d) 蒸发式冷凝器与卧式冷凝器并联



(e) 蒸发式冷凝器与立式冷凝器并联



(f) 多台立式冷凝器至贮液器间管道连接示意图

图 14.7-14 高压氨管布置

4. 浮球调节阀的管路配置

见图 14.7-16。

5. 热氨融霜系统管路配置

见图 14.7-17a、b。

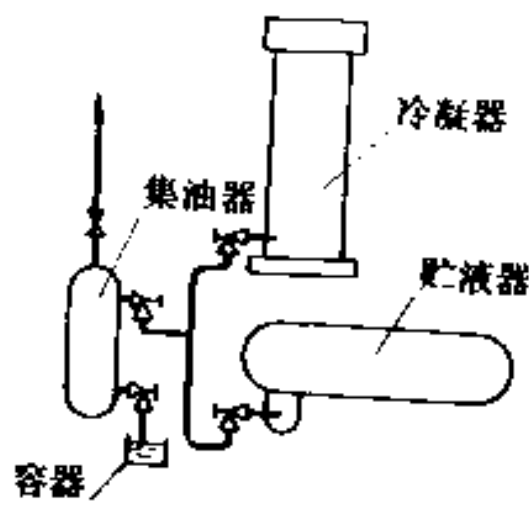


图 14.7-15 集油器放油管路连接

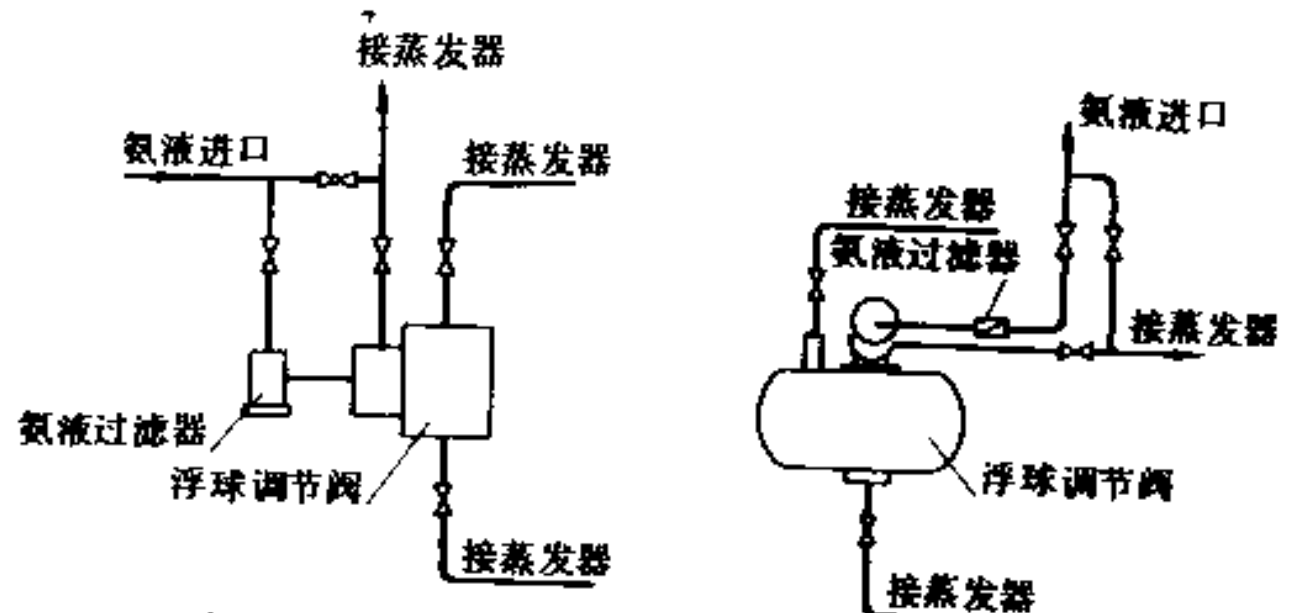
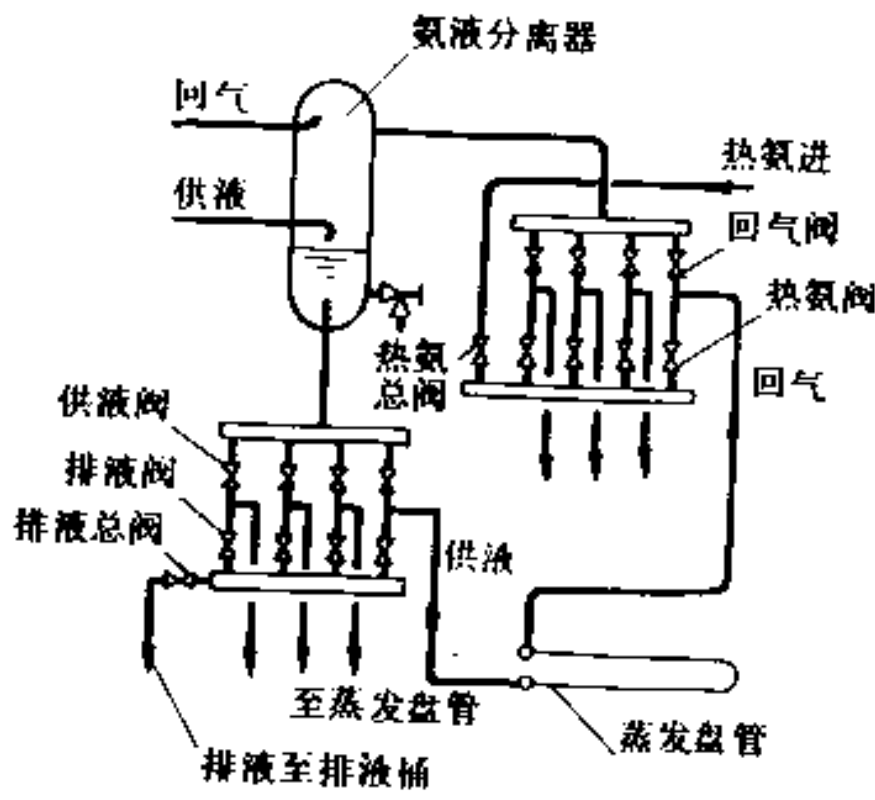
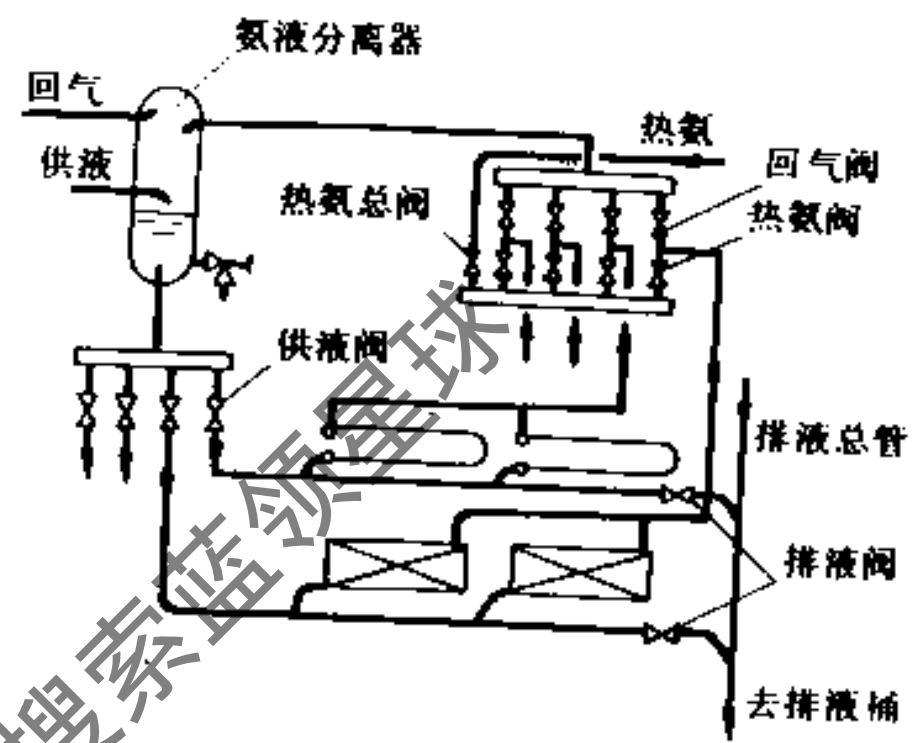


图 14.7-16 浮球调节阀的管路布置



(a) 热氨融霜、加压排液调节站



(b) 热氨融霜、重力排液调节站

图 14.7-17 热氨融霜系统管路配置

14.8 管道

14.8.1 常用管道的规格

1. 无缝钢管：根据GB8163 87“输送流体用无缝钢管”，摘录如表14.8-1。有冷拔（冷轧）钢管和热轧（挤压、扩）钢管两种：

外径 (mm)	壁厚 (mm)	理论重量 (kg/m)	外径 (mm)	壁厚 (mm)	理论重量 (kg/m)
冷拔管			热轧管		
10	2	0.395	32	3.5	2.46
14	2	0.592	15	3.5	3.58
18	2	0.789	57	3.5	4.62
22	2	0.986	73	3.5	6.00
32	3.5	2.16	89	4	8.38
38	3.5	2.98	108	4	10.26
45	3.5	3.58	133	4	12.72
57	3.5	4.62	159	4.5	17.14
73	3.5	6.00	219	6	31.52

2. 焊接钢管：现行国标为GB 3092-82“低压流体输送用焊接钢管”，现摘录如表14.8-2

焊接钢管规格（普通管）

表 14.8-2

公称直径		外径 × 壁厚 (mm × mm)	理论重量 (kg/m)	公称直径		外径 × 壁厚 (mm × mm)	理论重量 (kg/m)
(mm)	(in)			(mm)	(in)		
8	1/4	13.5 × 2.25	0.62	50	2	60.0 × 3.50	4.88
10	3/8	17.0 × 2.25	0.82	65	2 1/2	75.5 × 3.75	6.64
15	1/2	21.3 × 2.75	1.25	80	3	88.5 × 4.00	8.34
20	3/4	26.8 × 2.75	1.63	100	4	114.0 × 4.00	10.85
25	1	33.5 × 3.25	2.12	125	5	140.0 × 4.50	15.04
32	1 1/4	42.3 × 3.25	3.13	150	6	165.0 × 4.50	17.81
40	1 1/2	48.0 × 3.50	3.84				

3. 螺旋缝自动埋弧焊接钢管 根据SY-500标准，摘录如表14.8-3。

4. 无缝铜管 摘录如表14.8-4。

螺旋缝自动埋弧焊接钢管 表 14.8-3

公称直径 (mm)	外径 (mm)	壁 厚 (mm)				理论重量 (kg/m)
		6	7	8	9	
200	219	32.02	37.10	42.13	47.11	
250	273	40.01	46.42	52.78	59.10	
300	325	47.70	55.40	63.04	70.64	
350	377	55.40	64.37	73.30	82.18	
400	426	62.65	72.83	82.97	93.05	
450	478	69.84		92.72		
500	529	77.89	90.61	103.29	115.92	
600	630	92.83	108.05	123.22	138.33	
700	720	106.15	123.59	140.47	158.31	

无缝铜管规格 表 14.8-4

公称直径 (mm)	外径 × 壁厚 (mm)	每米管重 (kg/m)
3	6 × 1	
6	9 × 1	0.140
10	12 × 1	0.232
15	16 × 1.5	
15	18 × 1.5	0.566
20	24 × 1.5	0.775
25	28 × 1.5	
32	36 × 2	
38	45 × 2.5	
50	55 × 2.5	
65	75 × 2.5	

14.8.2 管道水力计算

1. 管道的沿程压力损失 ΔP_m (Pa)

$$\Delta P_m = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (14.8-1)$$

式中 λ ——沿程摩擦阻力系数；

l ——管道长度，m；

d ——管道直径，m；

ρ ——流体密度，kg/m³；

v ——管道断面平均流速，m/s。

摩擦阻力系数和雷诺数有关

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (14.8-2)$$

式中 ν ——流体的运动粘度，m²/s。

当 $Re < 2320$ 时:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (14.8-3)$$

当 $Re > 3000$ 时:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{K}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (14.8-4)$$

式中 K ——管道的绝对粗糙度 (见表 14.8-5)。

管道的绝对粗糙度 K 表 14.8-5

管道种类	K 值(mm)
新的无缝钢管或黄铜管	0 ~ 0.0015
新的钢管	0.05 ~ 0.10
新的铸铁管	0.26 ~ 0.30
新的镀锌钢管	0.15
使用若干年后的钢管	
非腐蚀性气体及蒸汽通过	0.10
非腐蚀性液体通过	0.30
弱腐蚀性液体通过	0.50
强腐蚀性液体通过	0.80

各种阀门和管道附件的当量直径 (l_d/d_n) 表 14.8-6

阀门和管件的名称		当量直径 (l_d/d_n)
阀门	球形阀 (全开)	340
	角阀 (全开)	170
	闸阀 (全开)	8
	单向阀 (全开)	80
丝扣弯头	90°	30
	45°	14
焊接弯头	由两段焊成 45° 时	15
	由两段焊成 60° 时	30
	由两段焊成 90° 时	60
	由三段焊成 90° 时	20
变径管	$d/D=1/4$	30
	$d/D=1/2$	20
	$d/D=3/4$	17
	管径缩小	$d/D=1/4$
$d/D=1/2$		11
$d/D=3/4$		7

2. 管道的局部压力损失 ΔP_j (Pa)

$$\Delta P_j = \xi \frac{\rho v^2}{2} = \lambda \cdot \frac{l_d}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (14.8-5)$$

式中 ξ ——局部阻力系数;

l_d ——当量管长, m, 可按表 14.8-6 确定。

14.8.3 氟管道计算

1. 常用的 R-12、R-22 之液体和气体在管道中的摩擦损失可在图 14.8-1、图 14.8-2 和图 14.8-3 中查得。

对于 R-22 液体, 其值要乘以 1.10 系数。

氟利昂液体管道的压力损失, 宜采用相当于制冷剂温度变化 $0.5 \sim 1.0^\circ\text{C}$ 的压力变化值。

制冷剂的循环量可从图 14.8-4 和图 14.8-5 查得。

2. 吸气管道的压力降将直接影响到压缩机的制冷量, 因此, 吸气管道的压力降宜控制在相当于饱和温度差为 1°C 的范围以内, 按此原则制成图 14.8-6 和图 14.8-7, 根据制冷能力、蒸发温度、管材种类和当量长度就可确定管径。

氟利昂制冷剂有与润滑油互相溶解的特点: R-12 与润滑油是无限溶解, 而 R-22 与润滑油是有限溶解。故必须保证从制冷压缩机带出的油能全部回到压缩机的曲轴箱中。因此。

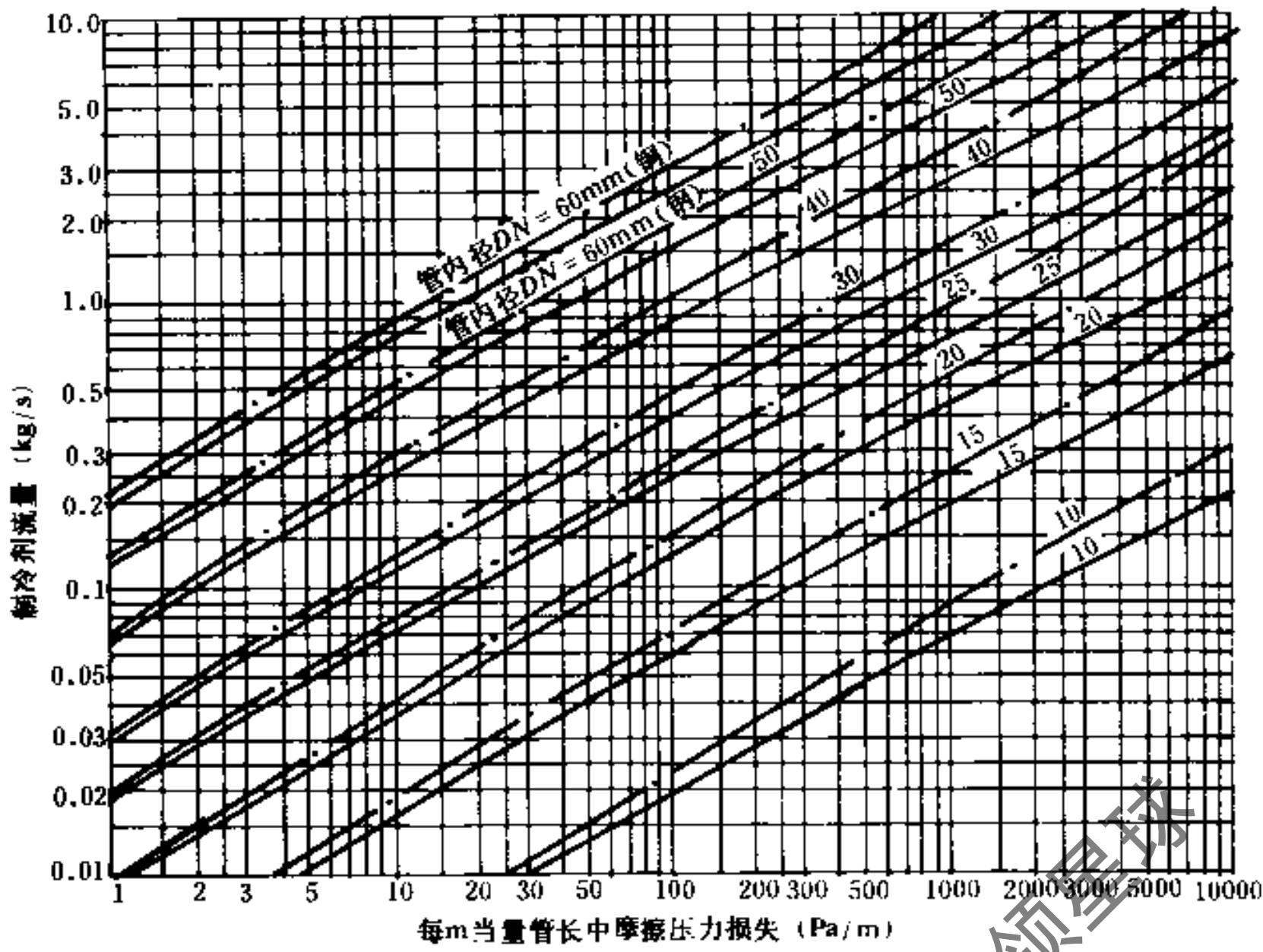


图 14.8-1 R-12液体在管道中的摩擦损失

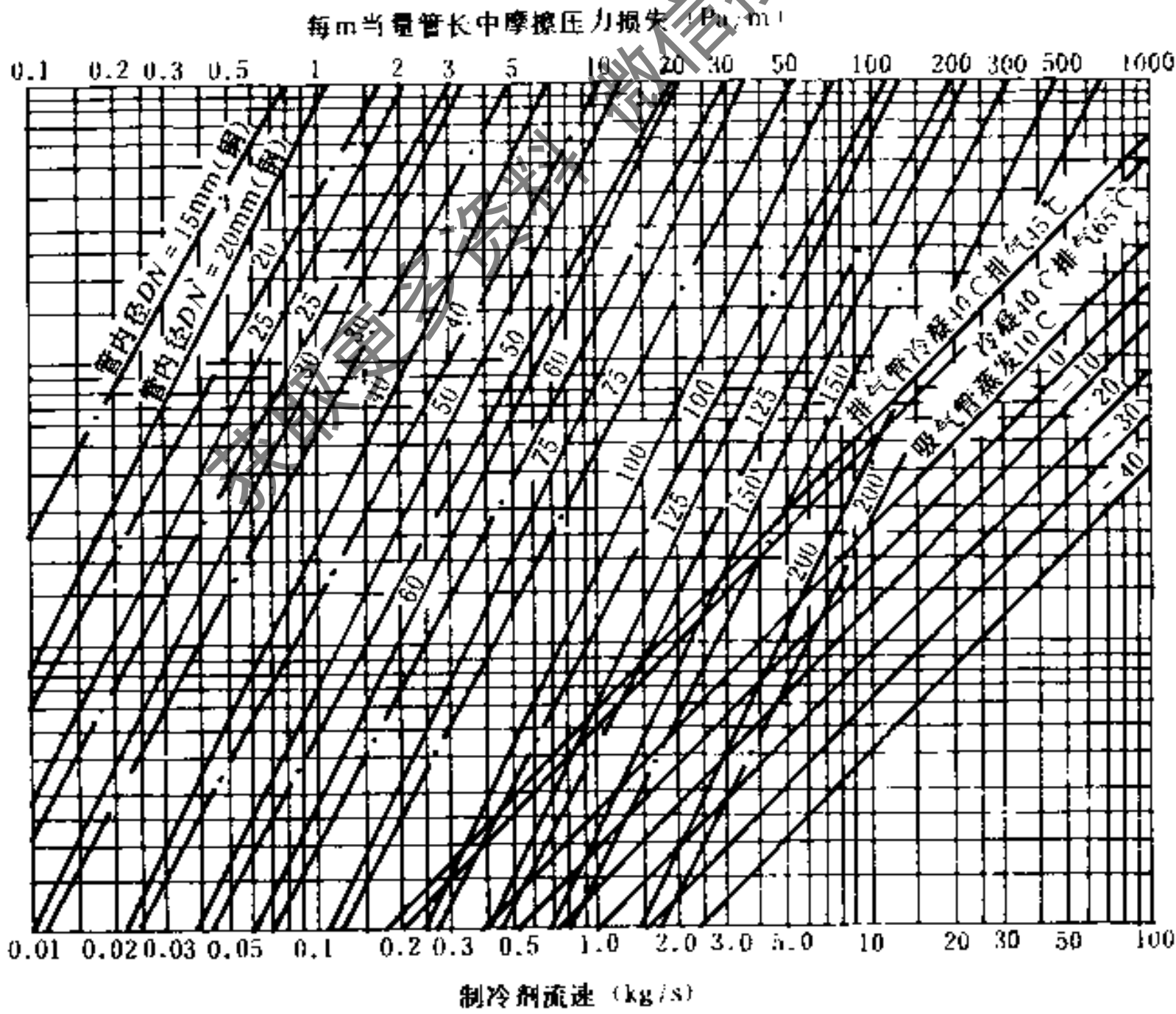


图 14.8-2 R-12气体在管道中的摩擦损失

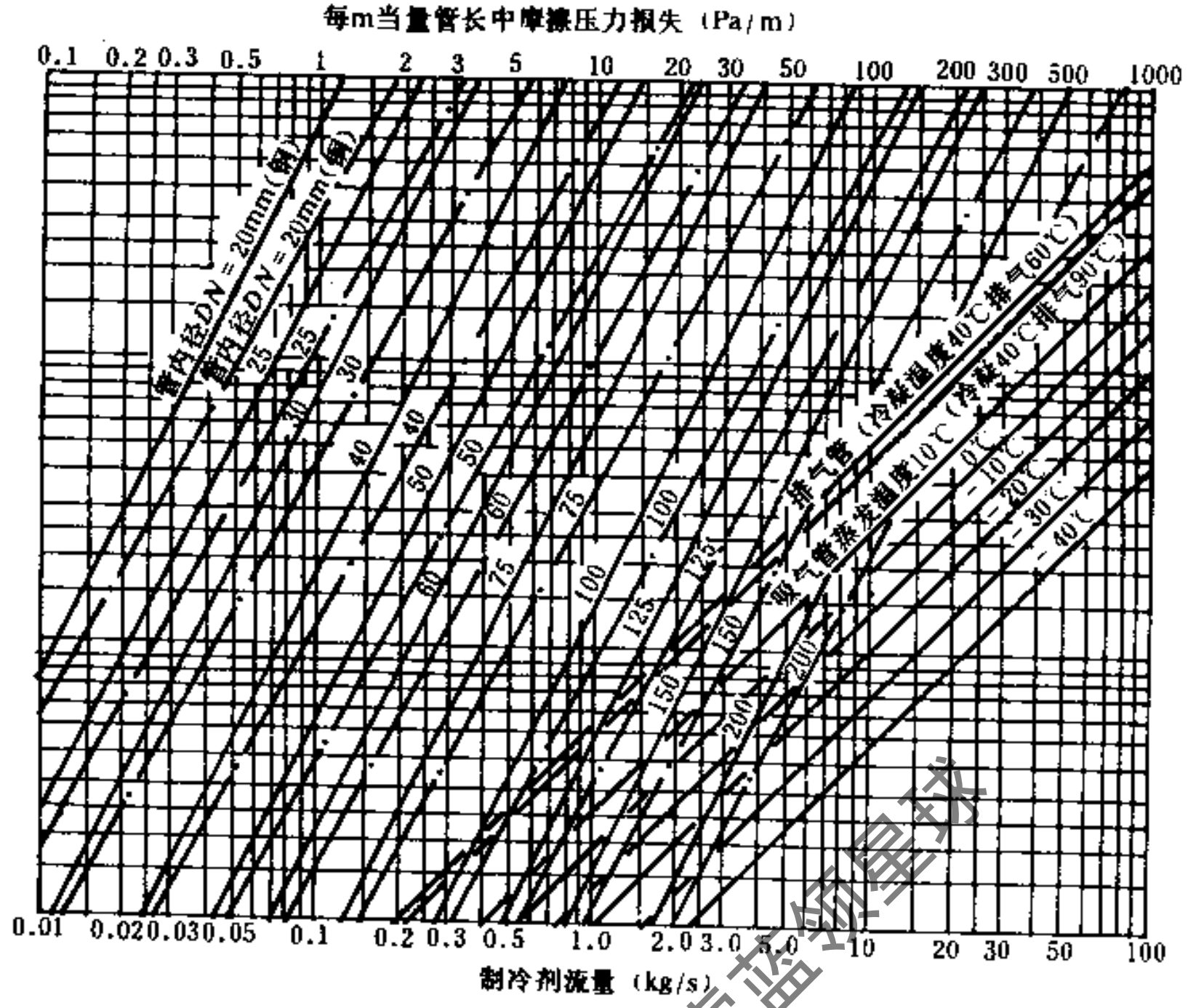


图 14.8-3 R-22气体在管道中的摩擦损失

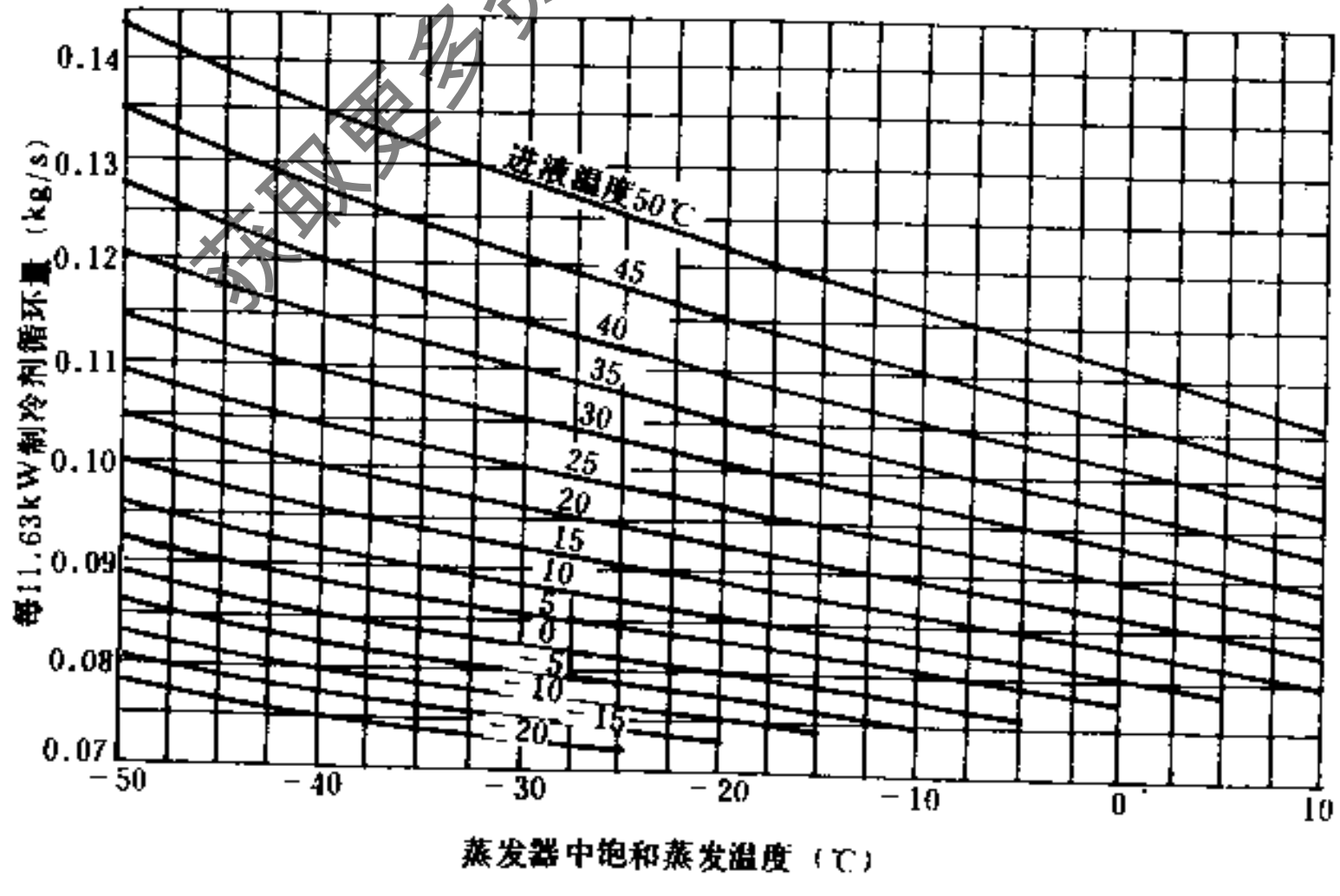


图 14.8-4 R-12的循环量

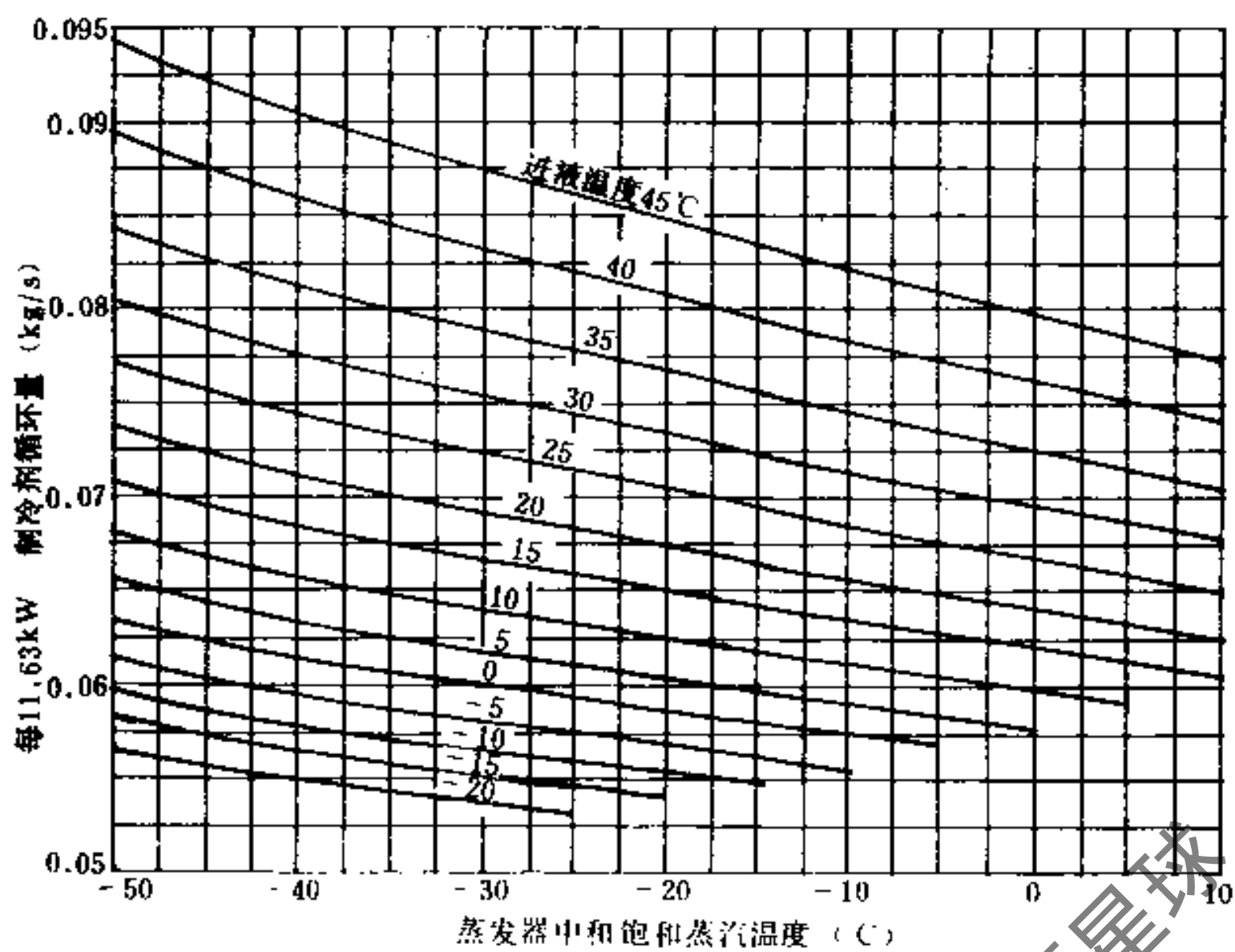


图 14.8-5 R-22的循环量

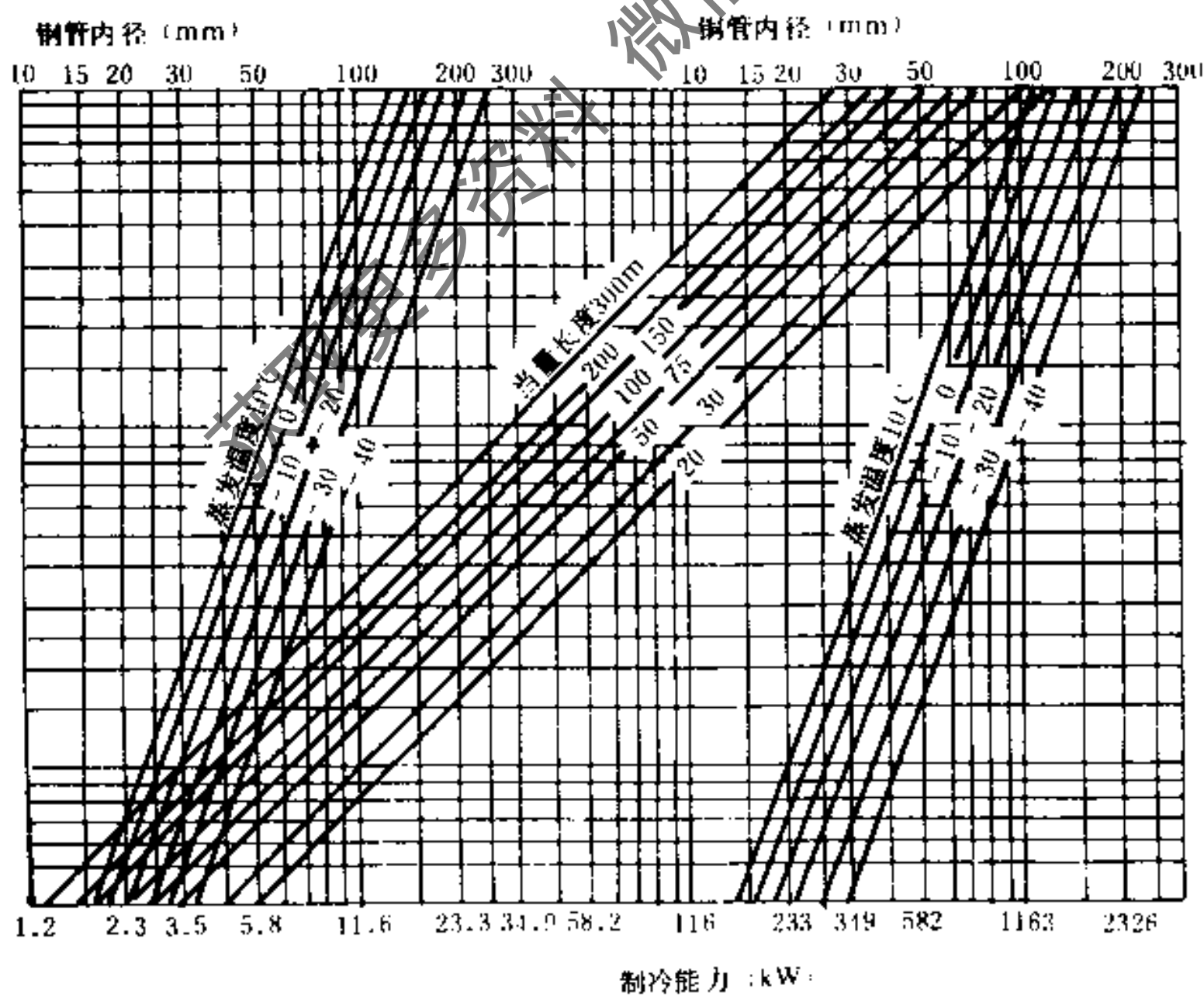


图 14.8-6 R-12吸气管道的能量

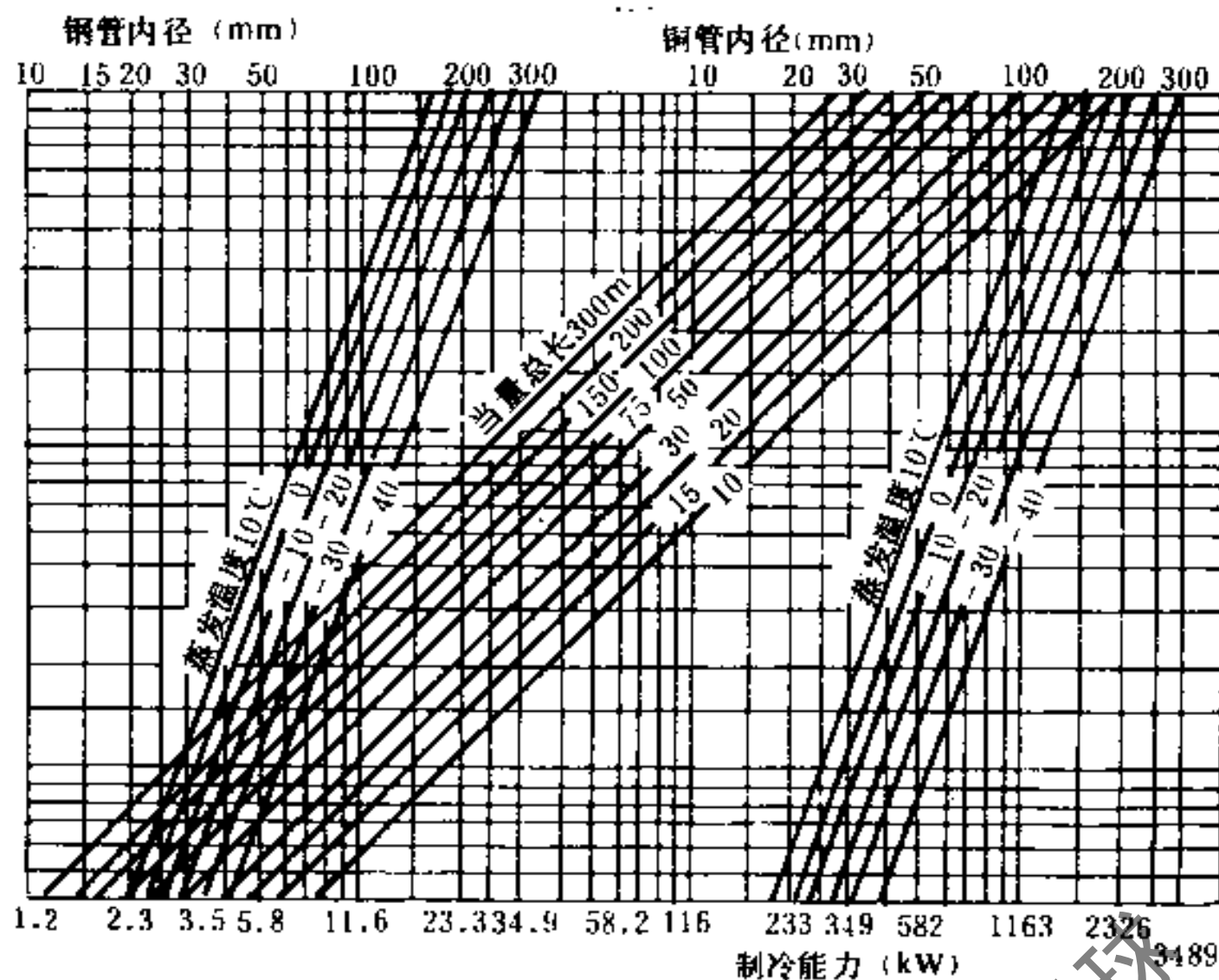


图 14.8-7 R-22吸气管道的能量

对于上升的吸气竖管应考虑必要的带油速度，以满足回油的需要。其最低的流速分别见图 14.8-8和图 14.8-9。

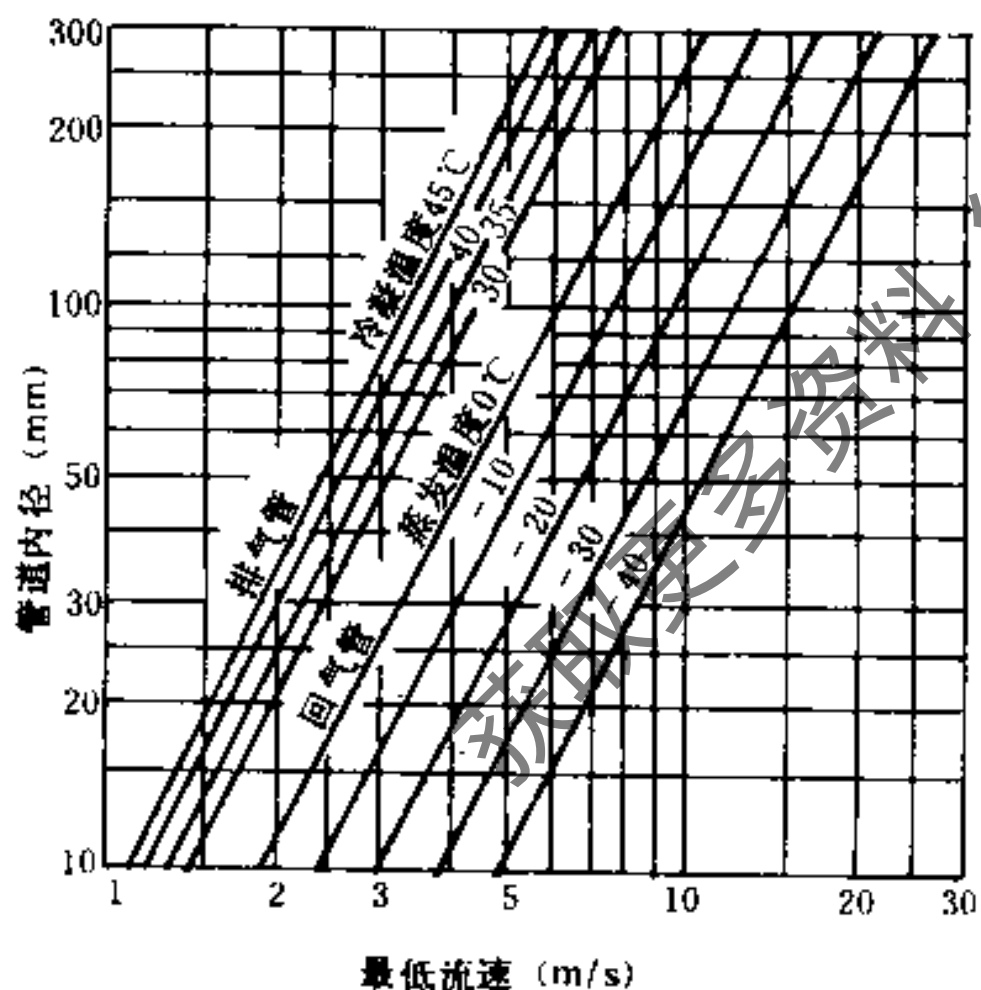


图 14.8-8 R-12上升吸气管道与排气管道的回油最低流速

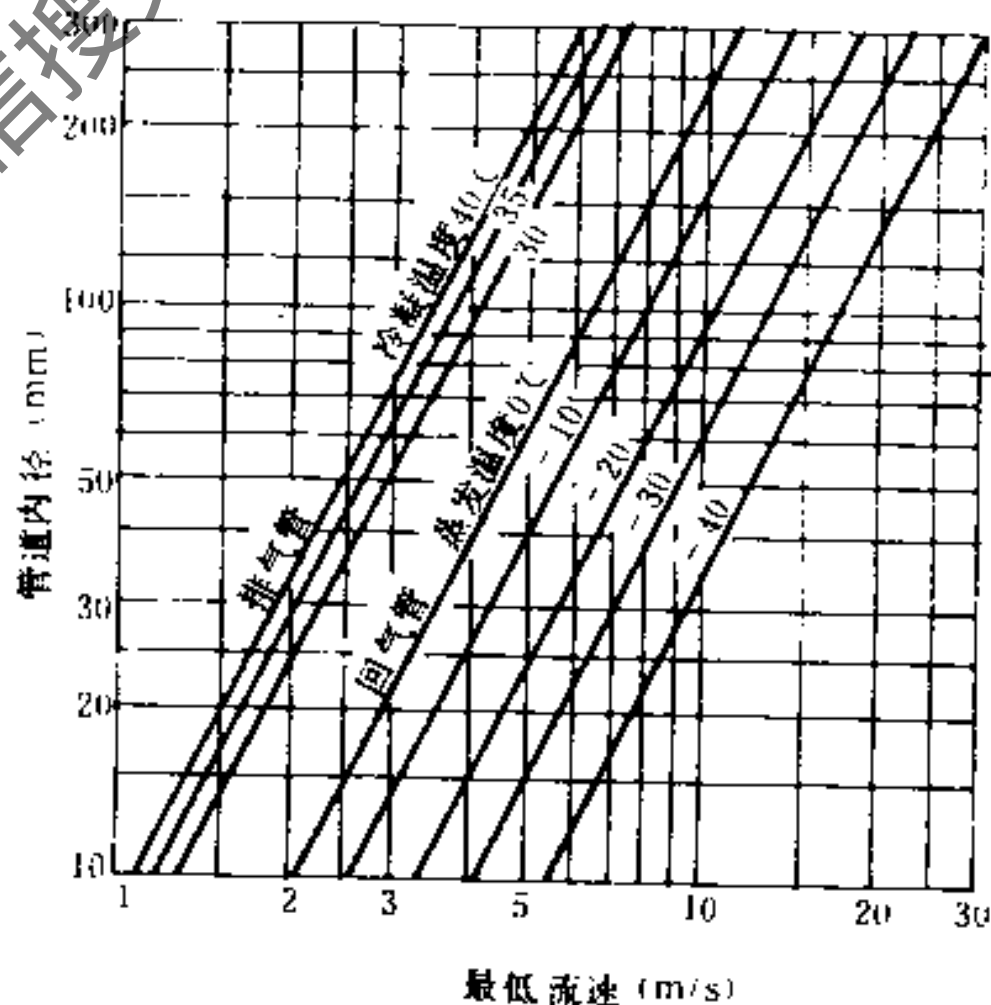


图 14.8-9 R-22上升吸气管道与排气管道的回油最低流速

按最小冷负荷确定管径大小见图 14.8-10和图 14.8-11。

3. 排气管道的压力降将直接影响到压缩机的需用功率，一般按其损失不大于饱和温度变化为 1°C 的压力值。管径的选择可见图 14.8-12和图 14.8-13；冷凝器的泄液管道其值见图 14.8-14。

各个不同蒸发温度下R12和R22的 $0.5 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 压力降见表 14.8-7。

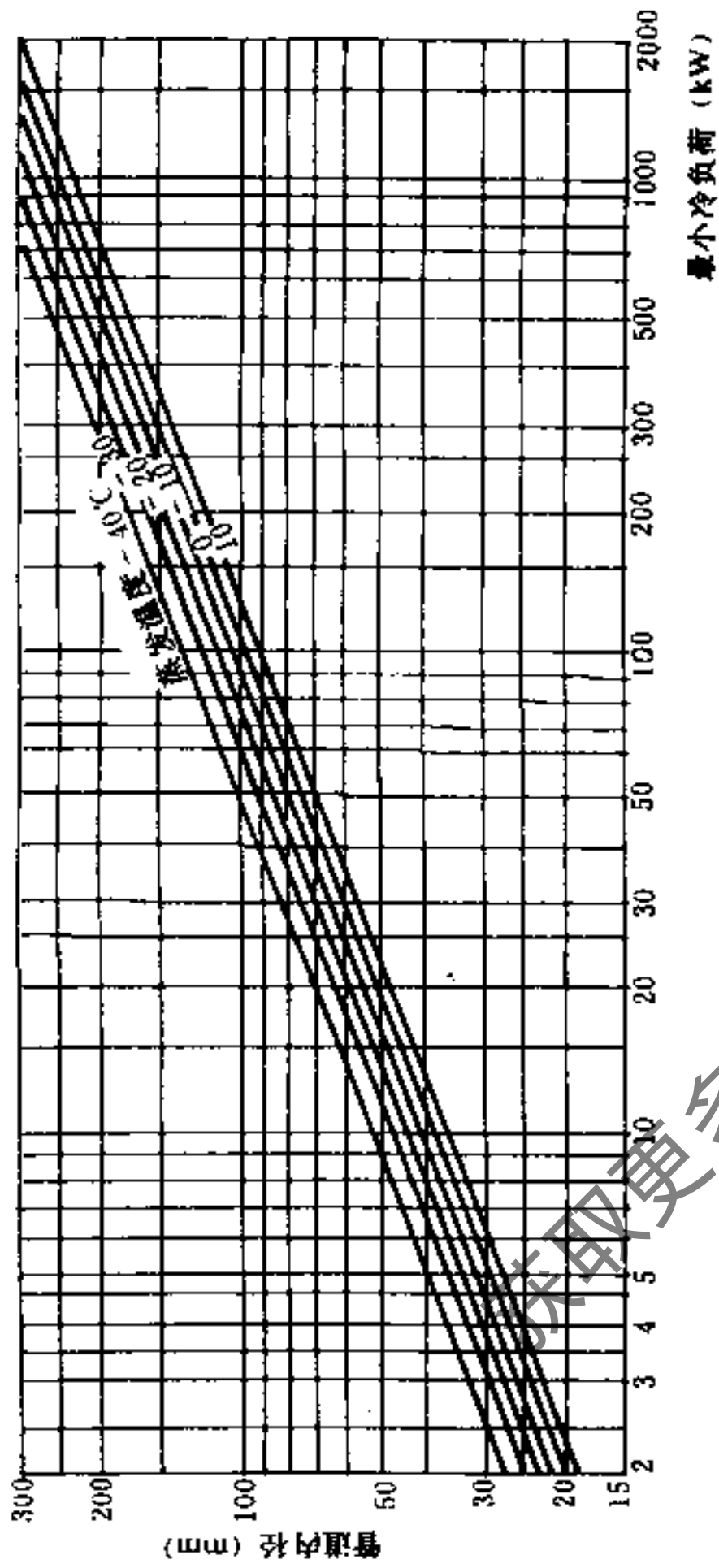


图 14.8.10 R-12 上升吸气竖管最小冷负荷

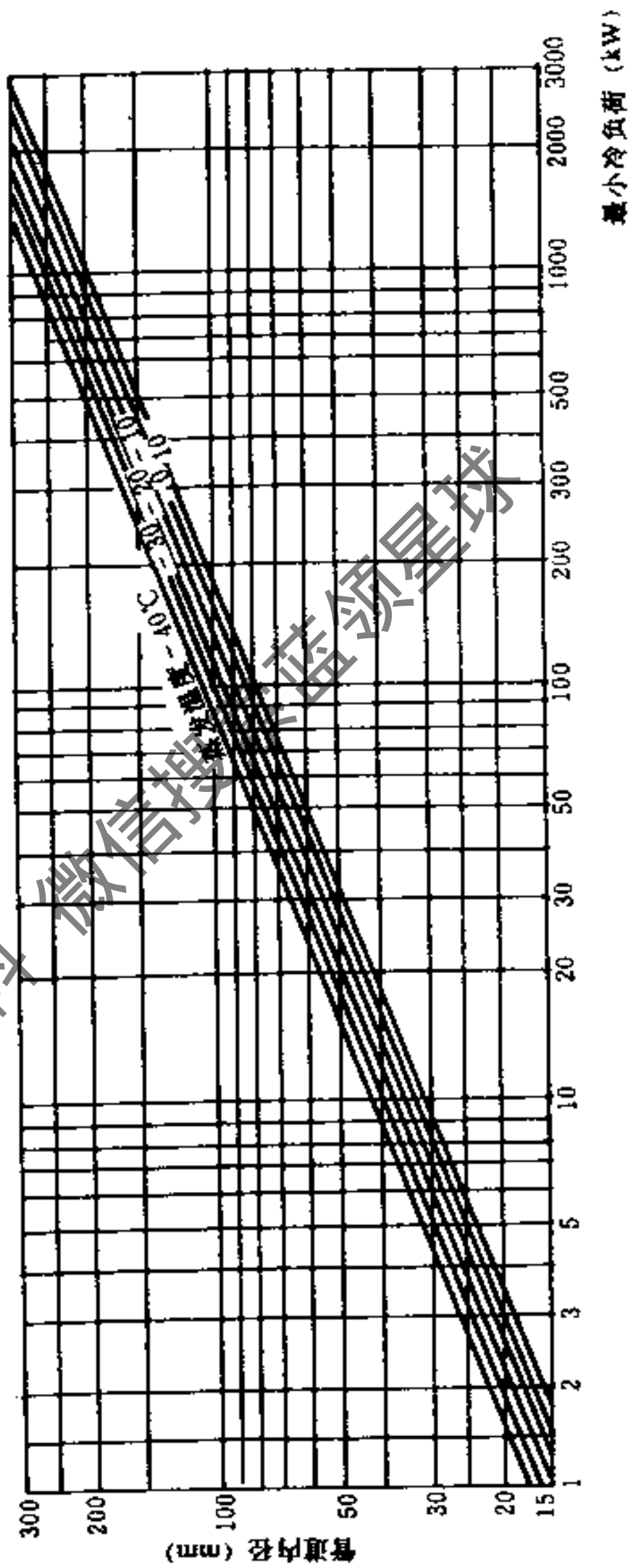


图 14.8.11 R-22 上升吸气竖管最小冷负荷

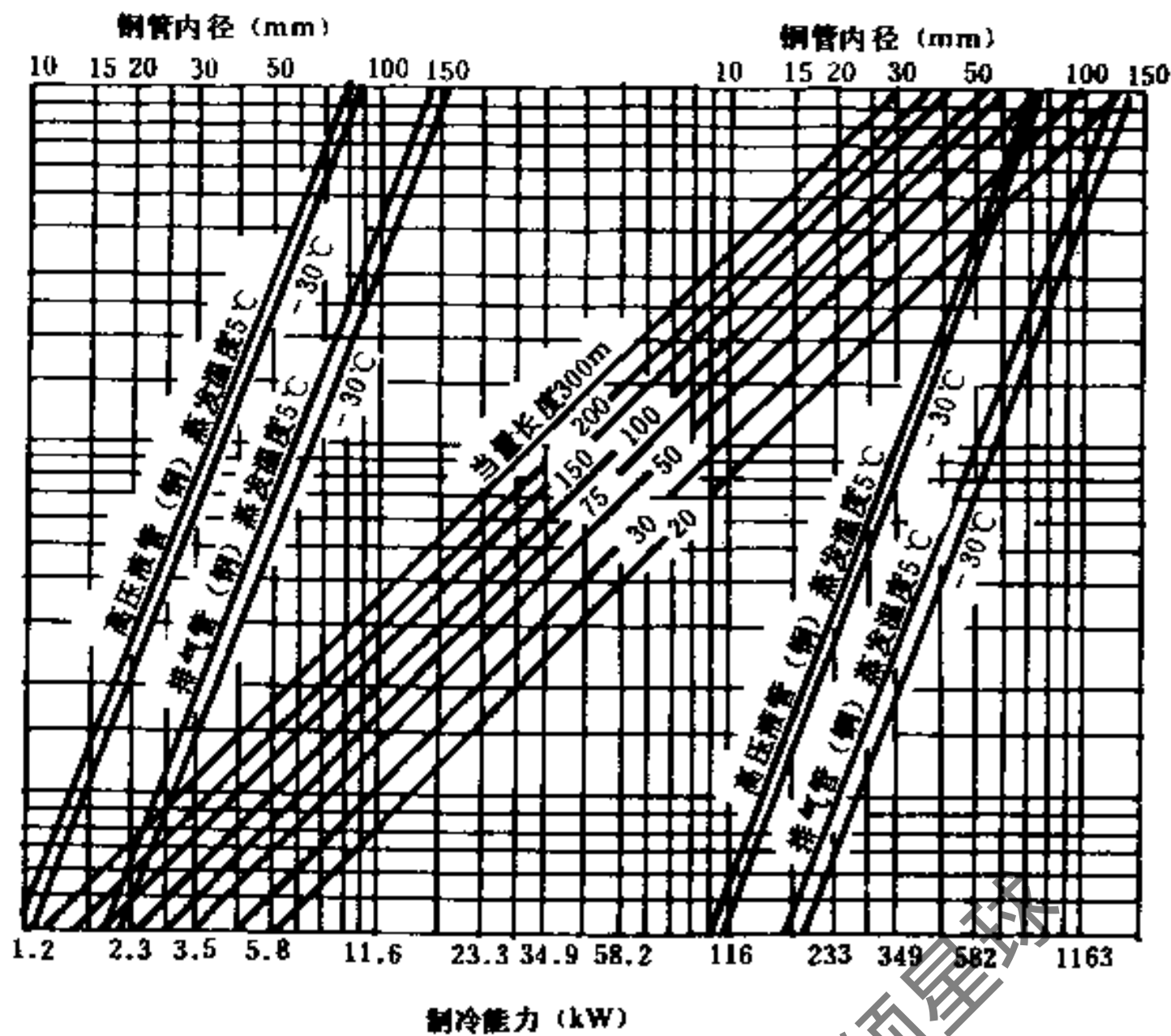


图 14.8-12 R-12排气管道与高压液体管道的能力

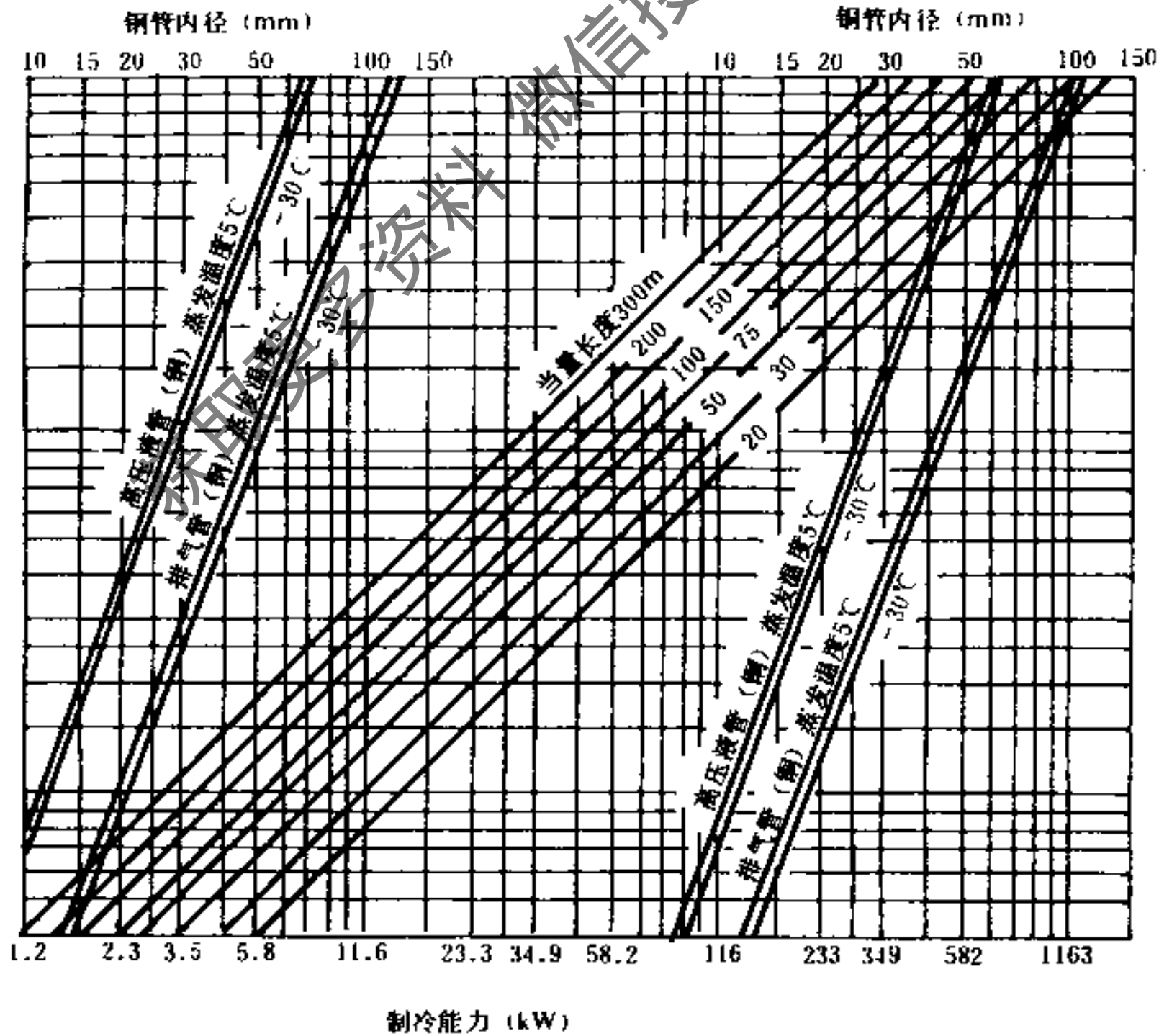


图 14.8-13 R-22排气管道与高压液体管道的能力

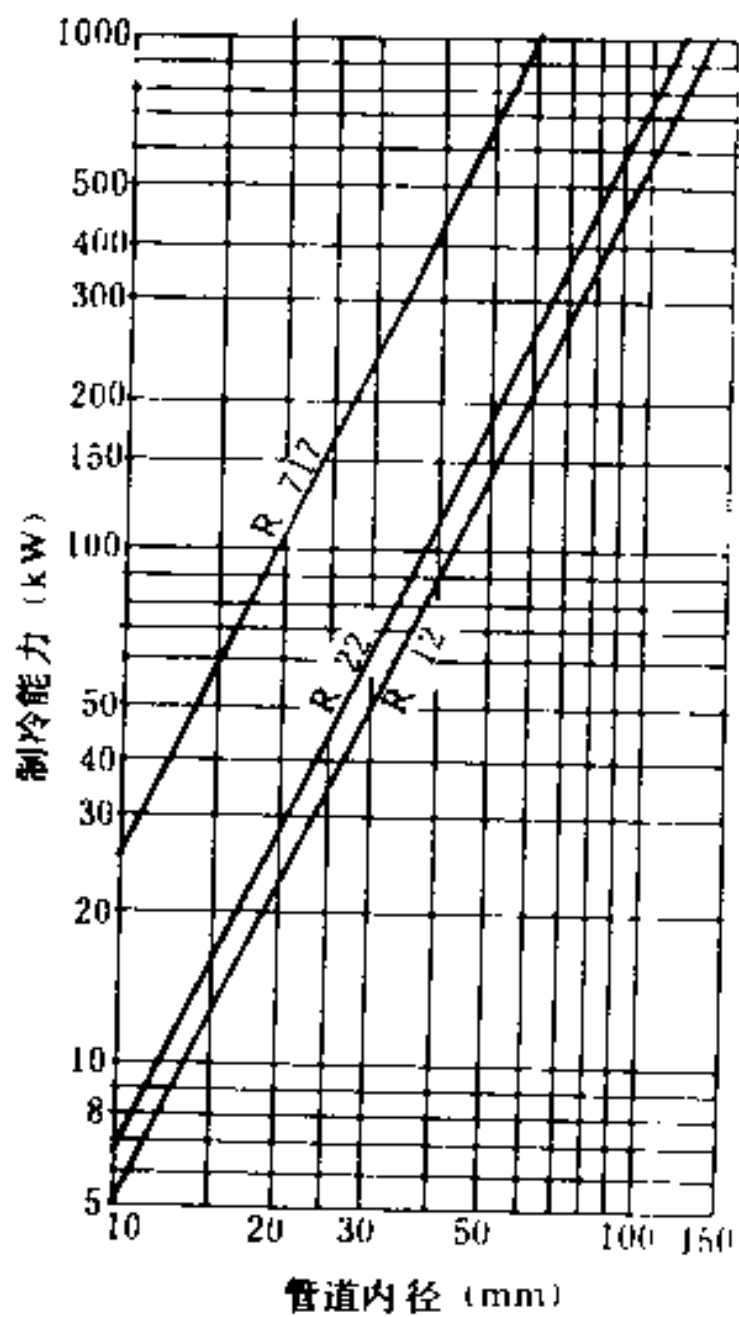


图 14.8-14 冷凝器泄液管道的能力

表 14.8-7

饱和温度 (°C)	R 12		R 22	
	0.5°C压力降 (kPa)	1.0°C压力降 (kPa)	0.5°C压力降 (kPa)	1.0°C压力降 (kPa)
10	11.90	23.90	20.10	40.10
10	6.60	13.20	10.90	21.80
5	5.90	11.70	9.10	18.20
0	5.20	10.30	8.60	17.20
-5	4.50	9.00	7.30	14.70
-10	4.00	8.00	6.60	13.20
-20	2.80	5.60	4.80	9.60

14.8.4 氨管道计算

1. 氨液体和气体在管道中流动的摩擦压力损失可在图14.8-15和图14.8-16中查得。
气体管道查图顺序：

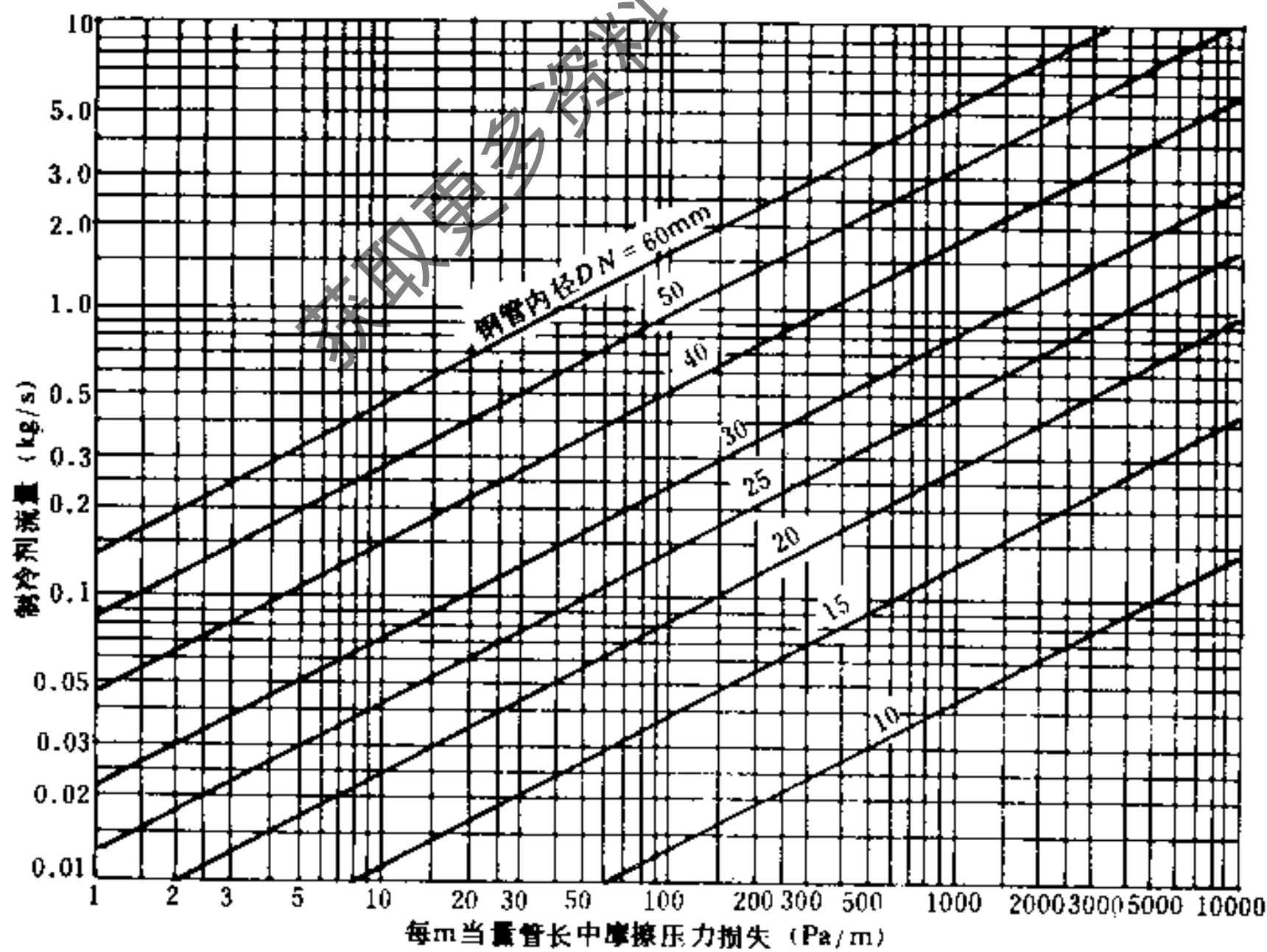


图 14.8-15 R-717 液体在管道中的摩擦损失

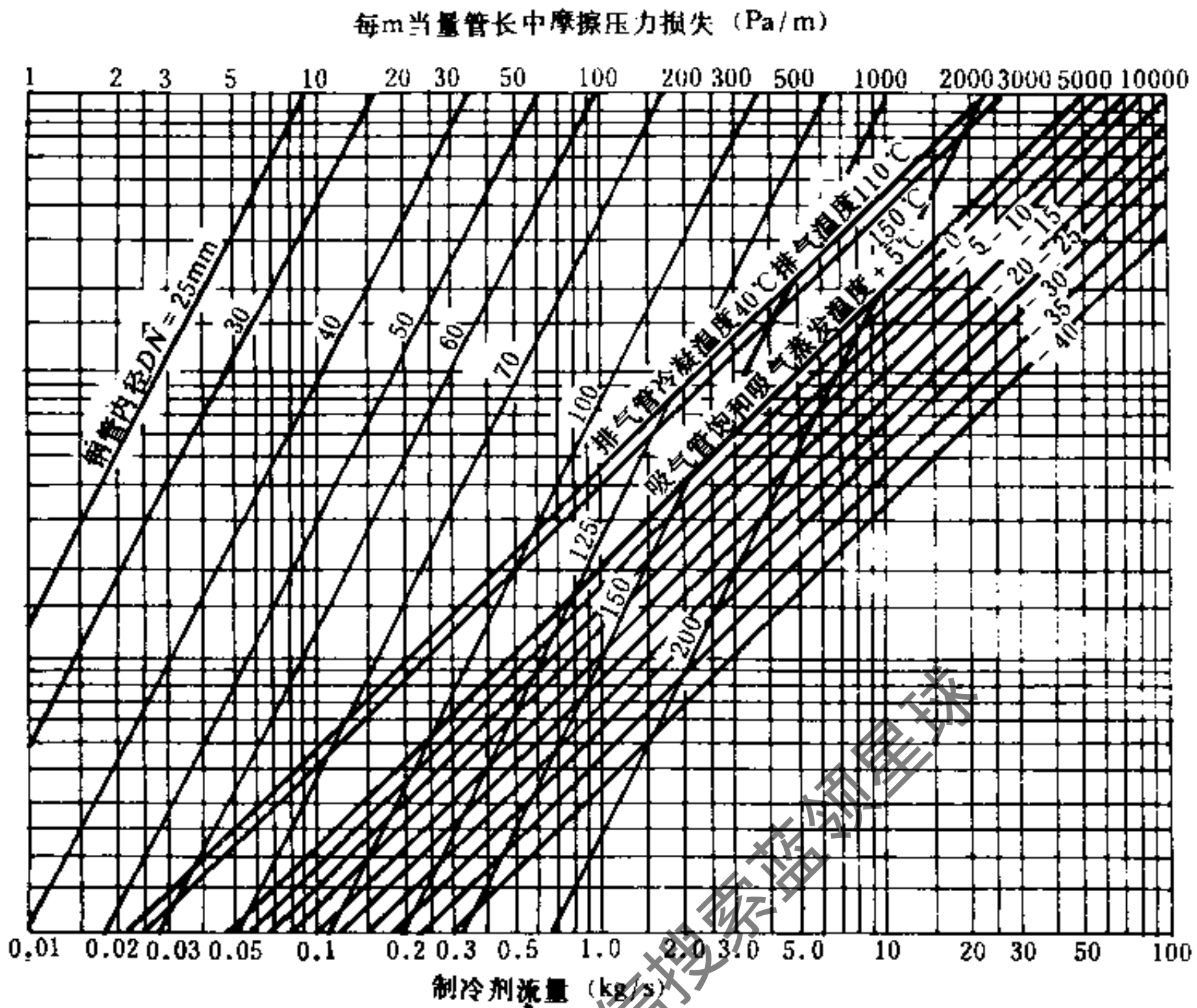


图 14.8 16 R-717 气体在管道中的摩擦损失

制冷剂流量——管内径——排气管的冷凝温度或吸气管的蒸发温度——摩擦压力损失。
根据制冷能力计算氨循环量，见图 14.8 17。

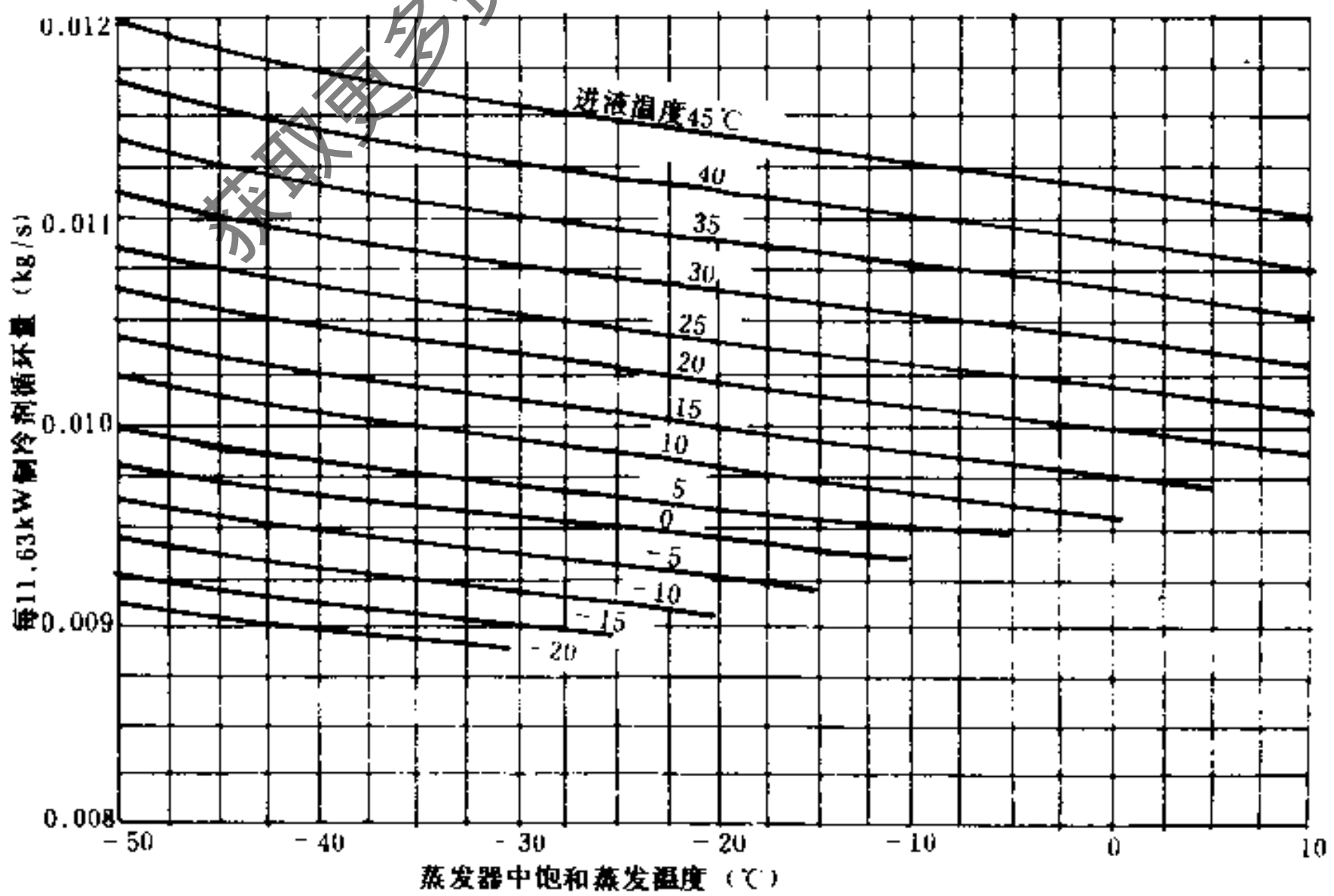


图 14.8-17 R-717 的循环量

2. 根据规范规定,管道中的压力损失值按制冷剂饱和温度的变化值加以控制氨吸气管、排气管和液体管,其饱和温度的变化值不宜大于 0.5°C ,见表14.8-8。

0.5 $^{\circ}\text{C}$ 压力降

表 14.8-8

饱和温度 ($^{\circ}\text{C}$)	40	10	5	0	-5	-10	-20
压力降 (kPa)	22.3	11.1	9.1	8.1	7.1	6.1	4.1

按此压力降作出的氨管道计算图见图14.8-18。

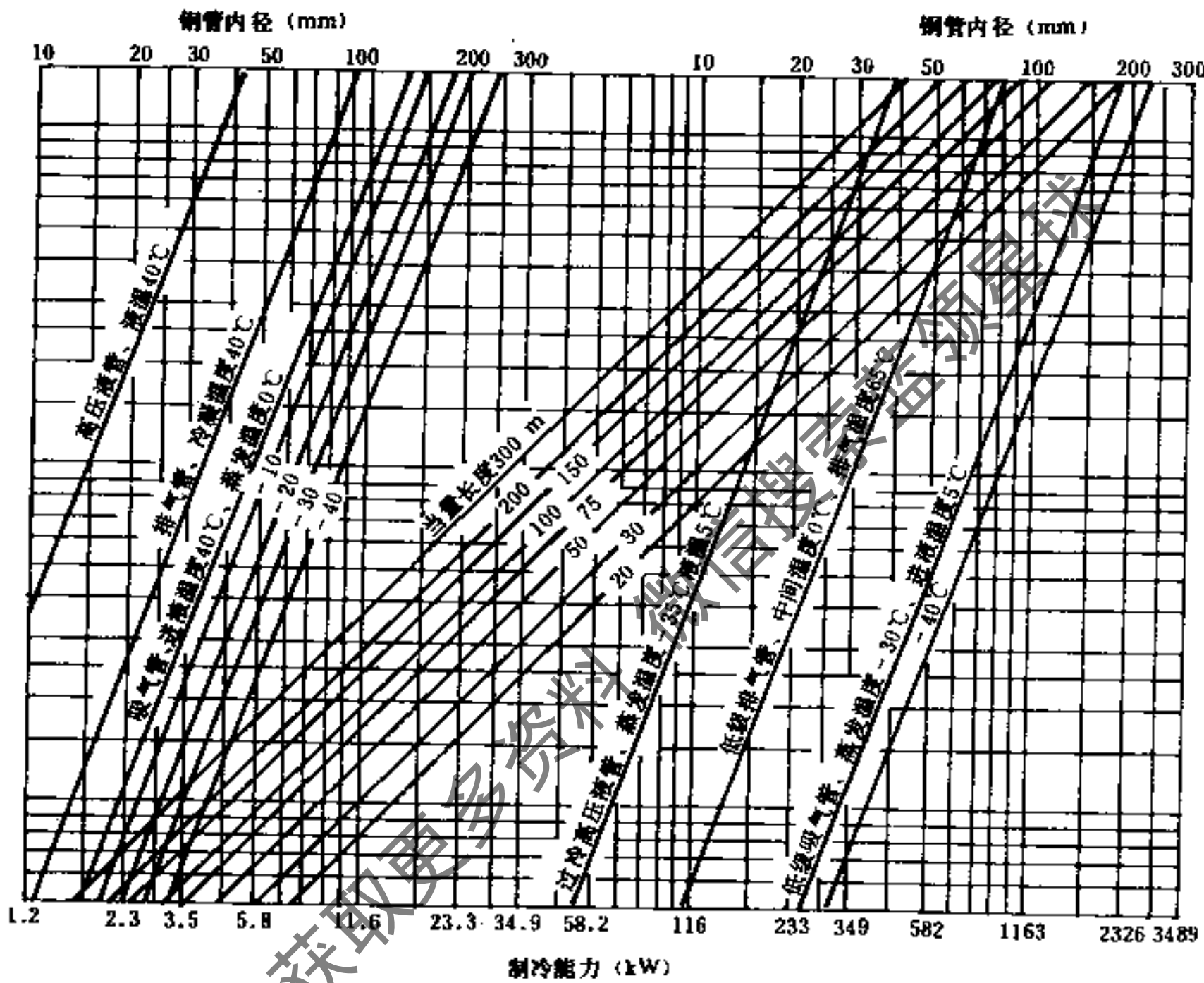


图 14.8-18 R-717管道的能力

14.9 制冷机房的设计原则

1. 制冷机房的位置应尽可能靠近冷负荷中心,力求缩短输送管道。吸收式和蒸汽喷射制冷机房还应尽可能靠近热源。

氟利昂制冷机,可布置在民用建筑、生产厂房和辅助建筑物内,也可布置在地下室。

氨制冷机不得布置在民用建筑和工业企业辅助建筑物内,也不允许布置在地下室内。通常应布置在单独的建筑物或隔开的房间内。

溴化锂吸收式制冷机宜布置在建筑物内及地下室。条件许可时,亦可露天布置,但制

冷装置的电气设备和控制仪表，应布置在室内。

2. 大中型制冷机房内的主机宜与辅助设备及水泵等分间布置。

制冷机房宜与空调机房分开设置。

3. 大中型制冷机房内应设置值班室、控制室、维修间和卫生设施。有条件时，应设置通讯装置。

4. 在建筑设计中，应根据需要预留大型设备的进出安装和维修用的孔洞，并应配备必要的起吊设施。

5. 氨制冷机房应设置两个互相尽量远离的对外出口，其中至少有一个出口直接对外，大门应设计成由室内向外开。

氨制冷机房的电源开关，应布置在外门附近。发生事故时，应有立即切断电源的可能性，但事故电源不得切断。

氨制冷机房应设置每小时不小于3次的机械通风系统和每小时不小于7次事故排风设施，配用的电机必须采用防爆型。并应设置必要的消防和安全器材（如灭火器和防毒面具等）。

6. 制冷机房设备布置的间距见表14.9-1。

设备布置的间距

表 14.9-1

项 目	间 距 (m)
主要通道和操作通道宽度	>1.5
制冷机突出部分与配电盘之间	>1.5
制冷机突出部分相互间的距离	>1.0
制冷机与墙面之间的距离	>0.8
非主要通道	>0.8
溴化锂吸收式制冷机侧面突出部分之间	>1.5
溴化锂吸收式制冷机的一侧与墙面	>1.2

7. 布置卧式壳管式冷凝器、蒸发器、冷水机组和溴化锂吸收式制冷机时，必须考虑在其一端预留清洗和更换管簇的必要距离。

8. 机房内应考虑留出必要的检修用地，当利用通道作为检修用地时，应根据设备的种类和规格而适当加宽。

9. 制冷机房的高度应按表14.9-2选用，设备顶部与梁底的间距不应小于1.2m。

制冷机房的净空高度

表 14.9-2

制 冷 机 种 类	机 房 净 空 (m)
氟里昂制冷机	>3.6
氨制冷机	>4.8
溴化锂吸收式制冷机设备顶部距梁底	>1.2

第十五章 小型冷库设计

15.1 食品冷藏条件和冷藏间的组成

15.1.1 冷藏条件

小型冷库指容积在1000m³以内，贮量200t以下的冷藏库，和与该规模相近的冷加工场所。

不同类别的食品其物理特性各不相同，详见表15.1-1。

食品冷藏物理特性

表 15.1-1

类别	食品名称	贮藏温度 (℃)	相对湿度 (%)	贮藏期天 (月)	含水量 (%)	冰冻点 (℃)	贮藏容积 (m ³ /t)	比热 [kJ/(kg·℃)]		潜热 (kJ/kg)
								高于冰点	低于冰点	
蔬菜类	卷心菜	0~1	85~90	(1~3)	91	-0.5	15.6	3.89	1.97	306
	胡萝卜	0~1	80~95	(2~5)	83	-1.7	7.5	3.64	1.88	276
	黄瓜	2~7	75~85	10~14	96.4	0.8	0.8	4.06	2.05	318
	青豌豆	0	80~90	7~21	74	-1.1	8.1	3.31	1.76	247
	葱头	1.5	80	(3)	87.5	-1	9.4	3.77	1.93	289
	萝卜	0~1	85~95	14	93.6	-2.2	8.1	3.98	2.01	310
	生西红柿	10~20	85~90	21~28	94	-0.9	9.4	3.98	2.01	310
	西红柿	1~5	80~90	7~21	94	-0.9	9.4	3.98	2.01	310
	芹菜	-0.6~0	90~95	(2~4)	94	1.2	9.4	3.98	1.93	314
	菠菜	0~1	90	10~14	92.7	-0.9	9.4	3.94	2.01	306
	茄子	7~10	85~90	7~10	92.7	1	9.4	3.94	2.01	306
	南瓜	0~3	80~85	(2~3)	90.5	1	9.4	3.85	1.97	301
	土豆(生)	0	85~90	7~14	74.3	1	12.5	3.43	1.80	269
	土豆(干)	1.5~4.5	~	(7~6)	—	—	—	1.17	0.92	33.5
红白薯	13~15.5	75~80	(4~6)	68.5	2	—	3.14	1.67	226	
扁豆	1~7.5	85~90	8~10	89	—	—	3.85	1.97	297	
莴苣	0~1	85~90	(1~2)	94.8	0.3	—	4.02	2.01	318	
水果类	西瓜	2~4	75~85	14~21	92.1	-1.6	—	4.06	2.01	301
	苹果	-1~1	85~90	(2~7)	85	2	7.5	3.85	2.09	281
	桔子	0~1.2	85~90	56~70	90	2.2	9.4	3.77	1.93	289
	桃子	-0.5~1	80~85	11~28	86.9	1.5	7.5	3.77	1.93	289
	梨	0.5~1.5	85~90	(1~6)	83	2	7.5	3.77	2.01	281
	李子	-0.5~0	80~95	21~56	86	2.2	8.1	3.68	1.88	285
	杨梅	0.5~1.5	75~85	7~10	90	1.3	—	3.85	1.97	301
	草莓	-0.5~0	80~85	7~10	90	1.5	—	3.85	1.97	301
	菠萝	4~12	85~90	14~28	85.8	1.2	8.1	3.68	1.88	285
	柿子	-0.5~0	85~90	14~21	78.2	2	—	3.52	1.8	260
	柠檬	5~10	85~90	(2)	89	2.1	9.4	3.85	1.93	297
	香蕉	13.5~22	85~95	14	75.5	1.7	15.6	3.35	1.76	251
	葡萄	-1~3	85~90	(1~4)	82	1	9.4	3.60	1.84	272
	杏子	-0.5~1.6	78~85	7~14	85.4	2	7.5	3.68	1.93	285

续表

类别	食品名称	贮藏温度 (℃)	相对湿度 (%)	贮藏期天 (月)	含水量 (%)	冰冻点 (℃)	贮藏容积 (m ³ /t)	比热 [kJ/(kg℃)]		潜热 (kJ/kg)
								高于冰点	低于冰点	
水果类	杏子干	0.5	75	(6)			7.5			
	櫻桃	0.5~1	80	7~21	82	-4.5	15.6	3.64	1.93	276
	椰子	4.5	75	(12)	83	-2.8	7.5	3.43		
	柚子	0~10	85~90	(3~12)	89	-2		3.85	2.01	297
畜产	牛肉 鲜冻	1.5~0 -24~-18	88~92 90~95	7~42 (9~12)	62~77 —	5~-1.5		2.93~3.52	1.59~1.72	205~255
	猪肉 鲜冻	0~1.5 24~-18	85~90 85~95	3~7 (2~8)	35~42	-2.5~-1.5		2.01~2.26	1.26~1.34	117~138
	家禽 鲜冻	0 -30~-10	80 90~95	7 (12~3)	73 —	-1.5 —		3.31	-	251
	火腿 鲜冻	0~1.5 -24~-18	85~90 90~95	7~10 (6~8)	47~54	-2.5~-1.5		2.51~	1.47	167
	熏猪肉 鲜熏	24~-18 15~18	90~95 85	(4~6) (4~6)				1.26~1.8	1.00~1.21	41.87~96.3
品	香肠	4.5~7	85~90	—	—	—	—	—	—	—
	奶油	-14	80	(6)	12	-2.5		1.38	1.05	54.4
	干酪	1	65~70	(3~10)	37~36	-2.5		2.09	1.3	125.6
	咸肉	0.5~0	—	—	—	—		3.14	1.51	175.9
	蛋(带壳)	-1.5~0.5	85~90	(9)	67.0	-2.5		3.1	1.67	222
	冰蛋	-18	—	(12)	73	-2.2			1.76	242.8
水产品	牛奶	0~2	80~95	7	87	-2.8		3.77	1.93	289
	黄油	-10~-1	75~80	(6)	14~15	2.2				
水产品	鱼 鲜冻	0.5~4.5 -20~10	90~95 90~95	5~20 (8~10)	80	-1	12.5 8.1	3.43	1.72	213
	熏鱼	1.5~10 -1~-1.5	50~60 60~70	(6~8) —				2.34	1.42	150.7
	干虾	-4~4.5	80	(1)	76			3.39	1.76	243
	贝 蛤	-25~18	90~100	(6~10)						
其他	葡萄酒	10	85	(6)			7.5			
	糖汁(听)	1	80	42	36	-2.2	6.2	2.68		
	糖	7~10	<60	(12~36)	0.5	0.20		0.84		167
	米	1.5	65	(6)	10	-1.7	7.5	1.09		
	啤酒	0~5		(6)	89~91	-2	6.2~10.6	3.77	1.88	301
	栗子	0.5	75	(3)			12.5			
	谷类	10~-2	70	(3~12)						
菜油	1~12		(6~12)	14.4~ 15.4						
巧克力		75	(6)	1.6			5.5	3.18	3.11	

各种食品在不同条件下的冻结时间见表15.1-2。

主要食品在表列条件下的冻结时间 (h)

表 15.1-2

食品品种	冻结间温度 (°C)	冷分配设备类型	进货温度 (°C)	出货温度 (°C)	食品在冻结间内的装载方式	冻结加工时间 (h)	说 明
白条肉	-23~-30	冷风机	+30	-15	吊挂在轨道上4.5~5头/m	20	直接冻结
分割肉剔骨兔	-23~-30	吹风式管架排管或冷风机	+4	15	金属板箱包装,箱厚100mm,30~40kg/m ² 管架面积	20	冻好以后换箱
分割肉剔骨兔	-23~-30	"	+4	15	瓦楞纸箱,箱厚>100mm,60~80kg/m ² 管架面积	44	冻结时不扣盖,冻好后扣盖打捆
分割肉剔骨兔	-23~-30	"	+4	-15	同上	68	冻结时扣盖打捆,冻好后直接转入冷藏
整只兔	-25~-30	"	+30~+25	-15	瓦楞纸箱,60~70kg/m ² 管架面积	36	冻结时不扣盖,冻好后再扣盖打捆
整只兔	-23~-30	"	+30~+25	15	同上	70	冻结时扣盖打捆,冻后直接入冷库
鱼 类	-23~-30	"	+15	-15	铁盘装,装盘厚<120mm,30~40kg/m ² 管架面积	10	
鱼 类	-23~-30	"	+15	-15	铁盘装,装盘厚>120mm,60~80kg/m ² 管架面积	20	
虾、贝类	-23~-30	"	+15	-15	铁盘装,装盘厚<60mm,20~30kg/m ² 管架面积	8	
冰 蛋	-23~-30	"		-15	铁盘装,装盘厚<100mm,30~40kg/m ² 管架面积	20	
冰 蛋	-23~-30	"	+10	-15	马口铁皮听装,60~80kg/m ² 管架面积	52	巴斯德消毒器冷却蛋液温度-5~-10°C
家 禽	-25~-30	"		-15	铁盘装	11~18	与种类有关,鸡最短,鹅最长
家 禽	-25~-30	"		15	箱装不扣盖	24~36	同上

15.1.2 冷藏间的组成

冷藏间的组成与功能见表15.1-3。

冷藏间的组成

表 15.1-3

名 称	温 度	功 能	备 注
门 斗		防止开门时室外热气流与室内冷空气造成对流	可在冷藏或冻结间门外侧设空气幕,代替门斗
高温冷藏库	0~2°C	存放蔬菜、水果、蛋、豆制品等	肉类、家禽的解冻和保鲜等
低温冷藏库	-8°C以下	肉类、鱼类、家禽等冻结物的贮藏。库温低,保存质量好,保存周期可长	
熟食贮藏	0~5°C	保证熟食卫生,有可能时应与生食分开,设单间	最好单独设外门
特殊要求的冷藏间	-8°C以下	存放异味食品,或因少数民族食用牛羊肉需要而单独存放要求,并应单独设外门	
气 调 库	-1~+10°C	有良好的气密性,控制室内的氧和二氧化碳含量,提高食品保存质量	见本章第九节

15.2 围护结构的热工要求

15.2.1 隔汽层的设计原则

1. 当库温常年低于室外温度时, 隔汽层应设在保温层的热侧, 冷侧应设汽阻小的材料, 以利于保温层的水份向库内渗出, 集到蒸发器, 从而保持保温层干燥。
2. 低温库的内隔墙, 如两侧都为低温室, 其分隔仅为分间贮存而设置时, 可不设隔汽层。
3. 室温变化大的结冻间, 或室外温度有时会低于室内温度时(如严寒地区的高温库), 应考虑在保温层的两侧都设隔汽层, 并应满足双向的汽阻。
4. 应注意隔汽层各个面的搭接, 并采取因沉降、伸缩位移而撕裂隔汽层的预防措施和节点处理。
5. 围护结构隔热层, 高温侧的蒸汽渗透阻力 H_0 ($\text{m}^2 \text{hPa/g}$)可按以下经验公式计算:

$$H_0 > 0.016(e_0 - e_i) \quad (15.2-1)$$

式中 e_0 、 e_i ——围护结构高温侧、低温侧空气的水蒸汽分压力, Pa。

常用材料的蒸汽渗透阻值, 见本手册建筑热工章。

15.2.2 保温层的设计原则

1. 保温材料应具备以下性能:
 - a. 导热系数小, 价格合理;
 - b. 无异味、不挥发有毒物质、不易变质;
 - c. 不易变形, 易于加工, 安装、粘贴;
 - d. 地面用隔热材料, 要有一定的抗压强度, 一般不小于250kPa。
2. 围护结构的传热系数 K ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$)和总热阻 R_0 ($\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$)见表15.2-1。

围护结构传热系数 K 和总热阻 R_0 值

表 15.2-1

位置 两侧温差 ($^{\circ}\text{C}$)	外墙、顶棚		架空层上地坪		直铺地坪		库内	
	K [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$]	R_0 [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$]	K [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$]	R_0 [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$]	K [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$]	R_0 [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$]	K [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$]	R_0 [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$]
80	0.139	7.18	0.175	5.71	低温	不宜		
70	0.162	6.15	0.197	5.06	低温	不宜		
60	0.197	5.07	0.24	4.08	低温	不宜		
50	0.232	4.30	0.29	3.44	0.314	3.18		
40	0.29	3.44	0.37	2.71	0.395	2.54		
30	0.39	2.58	0.465	2.15	0.58	1.72	0.24	4.08
20	0.58	1.72					0.30	3.31
10	0.638	1.55					0.38	2.58

15.2.3 地面防冻

冷库吸取地面的热量, 当库温低于 0°C , 而库地面稍大时, 库四周土壤的热就来不及补充, 引起库地面下土壤温度逐渐下降、土壤结冰膨胀而使地坪冻胀, 严重时破坏结构。

小型冷库常用防止地面冻胀的方式见表15.2.2。

地坪防冻做法

表 15.2-2

地面类型	构造方式	适用条件	备注
自然通风	通风管 垫层上埋置预制混凝土空心 楼板 $\phi 90 \sim \phi 120 \text{mm}$	适用于非严寒地区穿越冷间 地面下的长度 $< 4 \sim 6 \text{m}$	孔端应护以网板
	垫层上埋置内径 $\phi 250 \sim \phi 300$ mm 混凝土管或陶土管	适用于非严寒地面直通管总 长度不应大于 30m ，穿越冷间 地面下的长度 $< 24 \text{m}$	
	架空地面	砖砌地坎墙将库地面架空	规模较大，外气温度较高的 地区
机械通风	利用外气	采用 $\phi 250 \sim \phi 300 \text{mm}$ 水泥管 通风道机械通风带走地面冷量	自然通风不能满足散冷
	热风循环	同上	户外温度低的场合
热油管地坪	无缝钢管蛇形管预埋在混凝 土地坪内	用汽、油换热器利用冷煤排 气的热加热油，带走地坪内的 冷量	供油温度，不应高于 20°C 。 地坪内应预埋测温元件

15.3 冷藏库容量的确定

冷库容量以贮藏间的公称容积为计算标准，其贮藏吨位 G (t) 可按下列式求得：

$$G = \frac{\sum V \rho \eta}{1000} \quad (15.3-1)$$

式中 V ——冷藏库公称容积， m^3 ；

ρ ——食品的计算密度， kg/m^3 ，见表15.3-2；

η ——冷藏库容积利用系数，见表15.3-1。

小冷库容积利用系数 η

表 15.3-1

公称容积 (m^3)	501~1000	101~500	51~100	≤ 50
容积利用系数	0.41	0.35	0.30	0.25

食品的计算密度

表 15.3-2

序号	食品类别 (容器)	密度 (kg/m^3)	序号	食品类别 (容器)	密度 (kg/m^3)
1	肉类 (去头蹄)	400	9	新鲜水果 (箱装)	350
2	鱼类 (冻块)	470	10	鲜豆类 (箱装)	280
3	冻鸭 (块状)	450	11	甜椒 (箱装)	170
4	冻分割肉 (纸盒)	750	12	苹果 (箱装)	350
5	冻副产品 (纸盒)	700	13	土豆 (箱装)	130
6	鲜蛋 (箱装)	280	14	西红柿 (箱装)	380
7	冰蛋 (块状)	700	15	刀豆 (箱装)	230
8	新鲜蔬菜 (箱装)	230			

如贮存单一品种货物，表内公称容积为全部冷藏间的容积，当存贮数种货物时，按各自所占的容积分别查出容积利用系数。

当同时存贮猪、牛、羊肉时，肉类的密度均按 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 计；当只存羊腔时，按 $250\text{kg}/\text{m}^3$ 计；只存牛、羊肉时按 $330\text{kg}/\text{m}^3$ 计。

15.4 冷藏间冷负荷计算

冷藏间的冷负荷 Q (W) 包括：

1. 围护结构的温差传热 Q_1 (W)

$$Q = KF(t_w - t_N)a \quad (15.4-1)$$

式中 K ——围护结构传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

t_N ——库内空气温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_w ——库外空气温度，取夏季空调日平均温度，并考虑不同方位的修正值，见表15.4-1；

a ——不同方位的温度修正系数，见表15.4-1。

不同方位的温度修正值

表 15.4-1

围护物方位	外 壁				屋 面	地	内 壁
	东	西	南	北			
修正值 ($^\circ\text{C}$)	-3	-3	-2	0	-8	-20	邻室温度

2. 换气耗冷量 Q_2 (W)

$$Q_2 = 0.28 \frac{1}{24} EVn \quad (15.4-2)$$

式中 E ——室外空气由 30°C 冷却至室内温度的热量， kJ/m^3 ，见表15.4-2；

n ——每日的换气次数， d^{-1} ，见表15.4-3；

V ——库房的公称容积， m^3 。

室外空气由 30°C 冷却至室内温度的热量

表 15.4-2

库温 ($^\circ\text{C}$)	-40	-35	-30	-25	20	15	10	5	0	备 注
E (kJ/m^3)	79.92	74.21	68.50	62.79	57.08	51.37	45.67	39.96	34.25	室外温度高于 32°C 时 $\times 1.1$

换 气 次 数 n

表 15.4-3

库内容积 (m^3)	<50	100	300	600	1000	>2000
n (d^{-1})	10	7	4	2.5	2	1.5

3. 入库冷藏物品的耗冷量 Q_3 (W)

$$Q_3 = 0.0117[G(i_1 - i_2) + g(t_1 - t_2)c] \quad (15.4-3)$$

式中 G ——食品重量， kg ；

i_1 、 i_2 ——食品加工或贮存前、后的含热量， kJ/kg ；

g ——包装材料重量， kg ；

t_1 、 t_2 ——入、出库包装材料的温度， $^\circ\text{C}$ ；

c ——包装材料的比热容， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

食品在各种温度下的含热量 i 见表15.4-4。

食品温度 (°C)	牛肉及家禽	羊肉	猪肉	猪	肉类副产品	去骨肉和原料	瘦鱼	肥鱼	鱼块	鲜蛋	全脂牛奶	奶油	熟黄油	奶油冰淇淋	牛奶冰淇淋	李子 樱 杏桃	各类水果及浆果	糖及浆果	糖果
-25	-10.9	-10.9	-10.5	-11.7	-11.3	-12.1	-12.6	-8.8	-12.6	-9.2	-8.8	-16.3	-14.7	-17.2	-14.2	-17.6	-22.2		
-20	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	0.0	0.0
-19	2.1	2.1	2.1	2.5	2.5	2.5	2.1	2.9	1.7	1.7	3.4	2.9	3.8	3.4	3.4	3.8	5		
-18	4.6	4.6	4.6	5	5	5	4.2	5.4	3.8	3.4	7.1	6.3	7.5	6.7	6.7	8	10.1		
-17	7.1	7.1	7.1	8	7.5	8	6.3	8.4	5.9	5	11.3	9.6	11.7	10.1	10.1	12.1	15.5		
-16	10.1	9.6	9.6	10.9	10.5	10.9	11.3	8.4	8	7.1	15.5	13.4	15.9	13.4	13.4	16.8	20.9		
-15	13	12.6	12.1	13.8	13.4	14.2	10.5	10.5	10.1	9.2	19.7	17.6	20.5	17.2	17.2	21.4	26.8		
-14	15.9	15.5	15.1	17.2	16.8	17.2	18	17.2	12.6	11.3	24.3	22.2	25.5	20.9	20.9	26.4	33.1		
-13	18.8	18.4	18	20.5	20.1	20.5	21.8	16.1	15.1	13.4	29.3	27.2	31	25.1	25.1	31.4	40		
-12	22.2	21.8	21.4	24.3	23.5	24.3	25.5	17.6	17.6	15.9	34.8	33.1	35.2	29.7	29.7	36.8	46.9		
-11	26	25.5	25	28.5	27.2	28.1	29.7	20.1	20.5	18	40.6	39.8	42.7	34.3	34.3	41	54.9		
-10	30	29.7	28.9	33.1	31.4	32.7	34.8	22.6	23.5	20.5	46.9	47.3	49.8	39.4	39.4	49.4	63.6		
-9	34.8	33.9	33.1	38.1	36	37.3	40.2	25.5	26.4	23.5	54	55.7	57.8	44.8	44.8	52.3	73.7		
-8	39.4	38.5	37.3	43.1	41	42.3	45.6	28.5	29.3	26	62.4	65.3	66.6	51.1	51.1	64.9	85.8		
-7	44.4	43.5	41.9	48.6	46.1	47.7	51.5	31.8	32.7	28.5	72.9	77	78.7	58.6	58.6	75.8	101		
-6	50.7	49.4	47.3	55.3	52.3	54.4	58.6	36	35.2	31.4	86.7	92.1	93.8	68.7	68.7	89.6	120		
-5	57.4	55.9	54.4	62.8	59.9	61.6	67	41.5	40.6	34.3	106	112	116	83	83	108	117		

续表

食品温度(°C)	牛肉及家禽	羊肉	猪肉	猪肉副产品	去骨牛肉和原料	瘦鱼	肥鱼	鱼块	鲜蛋	全脂牛奶	奶油	熟黄油	奶油冰淇淋	牛奶冰淇淋	李子 葡萄 杏桃	各类水果及浆	糖及水浆果	糖浆果
4	66.2	64.5	62	72.9	69.1	74.1	71.2	77.5	47.7	73.7	44.8	36.8	132	139	149	104	135	170
-3	75.4	77	73.7	87.9	82.9	88.2	85.4	93.8	227.8 ^① 578	88.8	50.7	39.8	179	182	202.6	139	180.5	173
-2	98.8	95.9	91.7	110	103	112	106	118	230.7 ^① 758	111.4	60.3	43.1	221	230	229	211	240	176
-1	186	180	170	204	194	212	200	221	234 ^① 128.5	171.7	91.7	49	224	233	233	268	244	180
0	232	224	212	261	243	266	249	282	237	319	95	52	228	237	236	272	247	183
1	236	227	215	265	246	270	253	286	240	323	98	55	231	240	240	276	251	186
2	241	230	218	268	250	273	256	289	244	327	101	58	235	243	243	279	254	189
3	242	234	221	272	253	277	260	293	247	331	105	61	238	247	247	283	258	192
4	245	237	224	275	256	280	263	296	250	335	108	64	241	250	250	287	261	195
5	248	240	227	279	260	284	266	300	253	339	111	67	245	254	254	291	265	199
6	252	243	230	282	263	287	270	306	256	343	114	71	248	257	258	294	268	201
7	255	246	233	286	266	291	273	307	259	346	118	74	251	260	261	298	272	205
8	258	249	236	289	269	294	277	311	263	350	121	78	255	264	265	302	276	208
9	261	253	239	293	273	298	280	315	265	354	126	81	258	267	268	306	279	211

食品温度 (°C)	牛肉及家禽	羊肉	猪肉	肉类副产品	去骨牛肉和原料	瘦鱼	肥鱼	鱼块	鲜蛋	全脂牛奶	奶油	热黄油	奶油冰淇淋	牛奶冰淇淋	李子	各类水果及浆果	糖及水浆果	糖果
10	265	255	242	296	276	301	284	318	269	358	130	85	261	271	272	309	283	214
11	268	259	245	300	279	305	287	322	272	362	134	90	266	274	276	313	286	217
12	271	262	248	303	283	308	290	326	275	366	139	95	268	278	279	317	290	220
13	274	265	251	307	286	312	294	329	278	370	144	101	271	281	283	321	294	224
14	278	268	254	310	289	315	297	333	281	374	150	106	274	284	286	325	297	227
15	281	271	257	314	293	319	301	337	285	379	155	112	278	288	290	328	301	230
16	284	274	260	317	296	322	304	341	288	382	161	119	281	291	293	332	304	233
17	287	278	263	321	299	326	307	344	291	386	167	125	285	294	297	336	308	236
18	290	281	266	324	303	330	311	348	294	391	172	130	288	298	300	340	311	239
19	294	284	269	327	306	333	314	351	298	394	178	136	291	301	304	343	315	242
20	297	287	273	331	309	336	317	355	300	399	183	141	295	304	307	347	318	245
21	300	290	276	335	313	340	321	358	304	402	188	146	298	308	311	351	322	249
22	303	293	278	338	316	343	325	362	307	407	192	151	302	311	314	355	325	252
23	307	296	281	342	319	347	328	366	310	410	196	155	305	314	318	358	329	255
24	310	299	286	345	322	350	331	369	313	415	201	160	308	318	322	362	332	258
25	313	303	288	349	326	354	335	373	316	418	205	164	312	321	325	366	336	261

续表

食品温度(°C)	牛肉及家禽	羊肉	猪肉	猪	肉类副产品	去骨牛肉原料	瘦鱼	肥鱼	鱼块	鲜蛋	全脂牛奶	奶油	熟黄油	奶油冰淇淋	牛奶冰淇淋	牛奶冰淇淋	椰子	浆	糖及	糖
26	316	306	291	352	329	358	338	377	320	423	209	168	315	325	370	340	264			
27	320	309	294	356	332	361	341	381	322	426	212	171	318	328	374	343	267			
28	322	312	297	359	336	365	345	384	326	430	216	174	322	332	377	347	271			
29	326	315	300	363	339	368	348	388	329	434	219	178	325	335	381	350	273			
30	329	318	303	366	343	371	352	392	332	438	223	181	328	338	385	354	277			
31	332	322	306	370	346	375	355	395	335	442	227	185	332	342	389	358	280			
32	335	325	309	373	349	379	358	399	338	446	230	189	335	345	392	361	283			
33	339	328	312	377	353	382	362	402	341	450	234	192	338	348	396	365	261			
34	342	331	315	380	356	386	366	406	345	454	237	196	342	352	400	368	289			
35	345	334	318	384	359	389	369	410	348	458	240	199	345	356	405	372	292			
36	348	337	321	387	362	393	372	413	351	462	243	204	348	359	407	375	296			
37	352	340	324	391	366	396	376	417	354	466	246	204	353	362	411	379	299			
38	355	343	327	394	369	400	379	421	357	470	249	206	355	366	415	382	302			
39	358	347	330	398	372	403	382	424	360	474	251	208	358	369	419	386	305			
40	361	350	333	401	376	407	386	428	363	477	254	211	362	372	423	389	308			

(1) 分子为冷却鸡蛋的热量, 分母为冰蛋的热量。

注：入库食品的数量 G ，常常不能确定，而小冷库的制冷设备又不可能有较大的容量，所以允许库温在短期内超过设定的温度。进货量可以按库容量15%计算，如有结冻间的低温冷库，进货量可按日冻结能力计算。

食品包装材料的比热容见表15.4-5。

食品包装材料的比热容

表 15.4-5

包装材料名称	C [kJ/(kg·°C)]	包装材料名称	C [kJ/(kg·°C)]
木板类	2.51	马粪纸类	1.465
铁皮类	0.4187	布类	1.256
玻璃容器	0.837	竹器类	1.507

注：当提不出包装材料数量时，可近似以10%食品耗冷量计算。

4. 入库食品的呼吸热 Q_4 (W)

$$Q_4 = 0.0117G\varepsilon \quad (15.4-4)$$

式中 G —— 入库量，t；

ε —— 呼吸热量，kJ/(t·d)。

各种食品的呼吸热见表15.4-6。

食品呼吸热 ε kJ/(t·d)

表 15.4-6

品名	库温			
	0°C	2°C	5°C	10°C
葡萄	419~837	1005~1465	1424~2093	2052~2931
柑子	419~921	542~1089	921~1633	1800~3014
柠檬	502~837	628~1139	921~1675	1465~2805
梨 (早熟)	670~1256	1130~2261	1884~3977	2512~5443
梨 (晚熟)	670~921	921~1926	1507~3559	2010~4815
苹果 (早熟)	921~1424	1414~1800	1340~2721	3559~5024
苹果 (晚熟)	461~921	921~1172	1172~1800	1758~2680
桃	1172~1633	1507~1884	2177~3517	5443~7955
梅	1172~1842	1549~3014	2512~5652	5024~10886
杏子	1340~1465	1633~2303	2847~4815	5443~8792
樱桃	1340~1842	1507~268	2386~3977	3308~8374
草莓	2931~4019	3475~5443	4019~7955	7536~15072
香蕉 (绿)			1884~4396	3433~8374
香蕉 (熟)			3422~5024	5652~10048
菠萝			3422~3894	5652~6071
胡萝卜	837~2428	1884~2931	2428~3349	2721~3768
土豆	921~2261	921~2093	1047~1475	1465~1675
大葱	1005~1675	1089~1842	1340~2177	1968~2931
西红柿	1364~1507	1382~1675	1675~2303	2721~3559
甜瓜	1172~1675	1507~2010	1884~2303	3559~3977
卷心菜	1256~2093	1465~2512	1884~3559	3140~4605
芹菜	1256~2093	1675~2512	2721~3977	4605~7118

续表

品名	库温			
	-0℃	2℃	5℃	10℃
萝卜	1591~2303	1591~2512	1758~3349	4815~5862
黄瓜	1633~1758	1675~2093	2093~2931	4396~5234
蚕豆(带壳)	1675~2512	3056~3768	4815~6490	9211~12560
大蒜	1884	2763	3977	6071
花椰菜(带叶)	2093~5443	3014~6070	4610~6699	10676~11932
韭菜	3056~4605	5024~9630	11095~13188	23655~24702
莴苣	2721~3349	2931~2768	3559~4396	6071~8792
芦笋	5024~5443	5862~6284	6699~7327	12560~13816
菠菜	5234~7118	6699~10258	11095~17166	18003~27005
豌豆	7536~9002	10048~12351	13398~16329	17166~23027

5. 工作人员耗冷量 Q_5 (W)

$$Q_5 = \frac{1}{24} n q T \quad (15.4-5)$$

式中 q ——人的发热量, 见表15.4-7;

n ——人数;

T ——一日中人在库内的作业时间, 一般为3小时。

人体发热量 q

表 15.4-7

库内温度 (℃)	5	0	-10	20	-30
发热量 (W/人)	256	279	337	395	442

6. 电灯、电气设备发热量 Q_6 (W)

$$Q_6 = \frac{1}{24} N T \quad (15.4-6)$$

式中 N ——用电设备的功率, W;

T ——用电设备开启时间, h。

7. 安全系数 Q_7 (W)

$$Q_7 = \sum_{i=1}^6 Q_i \times 0.1 \quad (15.4-7)$$

15.5 制冷设备的选择

小型冷库一般采用氟里昂制冷剂的整體型冷机, 常用的制冷剂有R-12、R-22和R-502, 后者是R-22和R-115的混合物, 属共沸溶液, 它的单级制冷可以比R-12和R-22达到更低的蒸发温度, 当小型冷库要求蒸发温度-30℃时, 仍可采用单级压缩制冷。

为了提高制冷效率, 应采用回热循环, 即让制冷剂在膨胀前过冷, 但小冷库通常不设回热热交换器, 而是将膨胀阀前的供液管和回气管捆扎在一起, 进行耦合保温, 达到液体

过冷，回气过热的效果。

R-12制冷剂每过冷1℃，约增大制冷量0.8~1%；R-22制冷剂每过冷1℃，约增大制冷量0.15%。由于制冷剂过冷，可以减少因节流而产生的闪发气体，对冷液分配均匀有良好的作用。

当蒸发器位置比冷凝器位置高很多时，由于液压随上升而降低，会使膨胀阀前液体气化，靠供液管和回气管间热交换已不够时，应采用回热热交换器。

15.5.1 氟里昂制冷系统的图式

典型制冷系统的图式见图15.5-1~15.5-5。

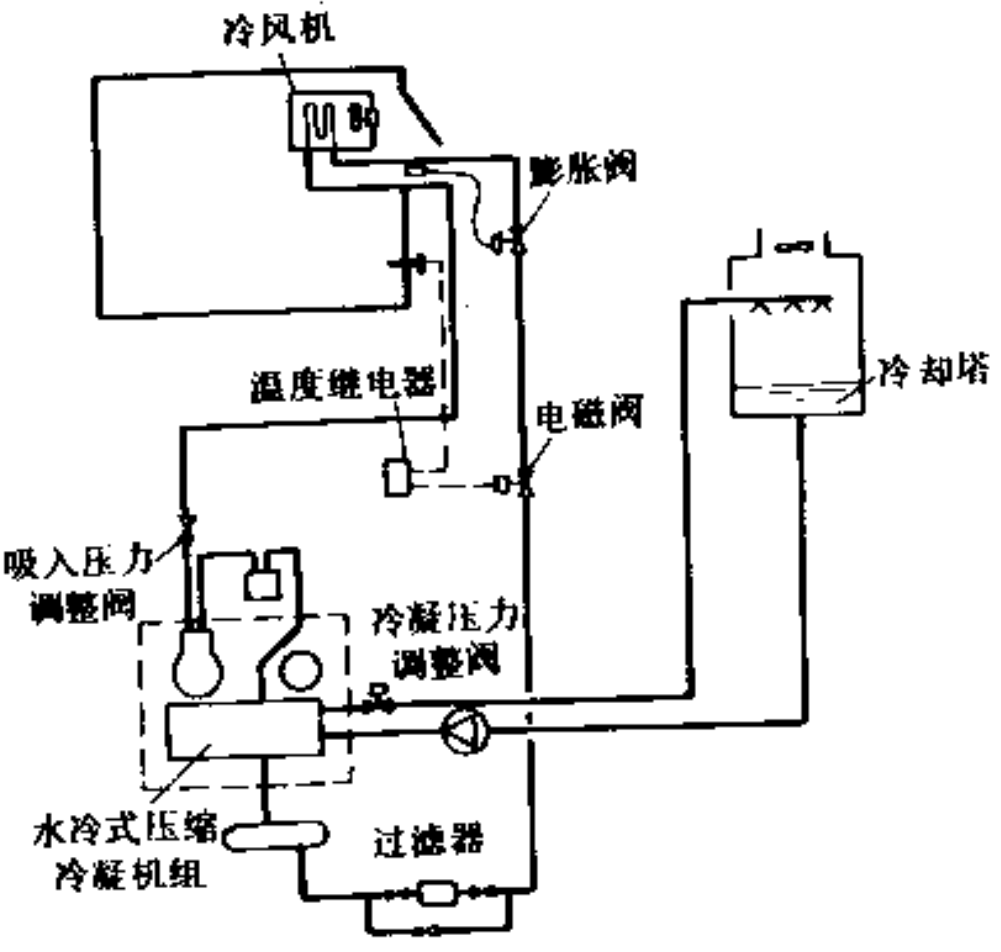


图 15.5-1 水冷冷风式

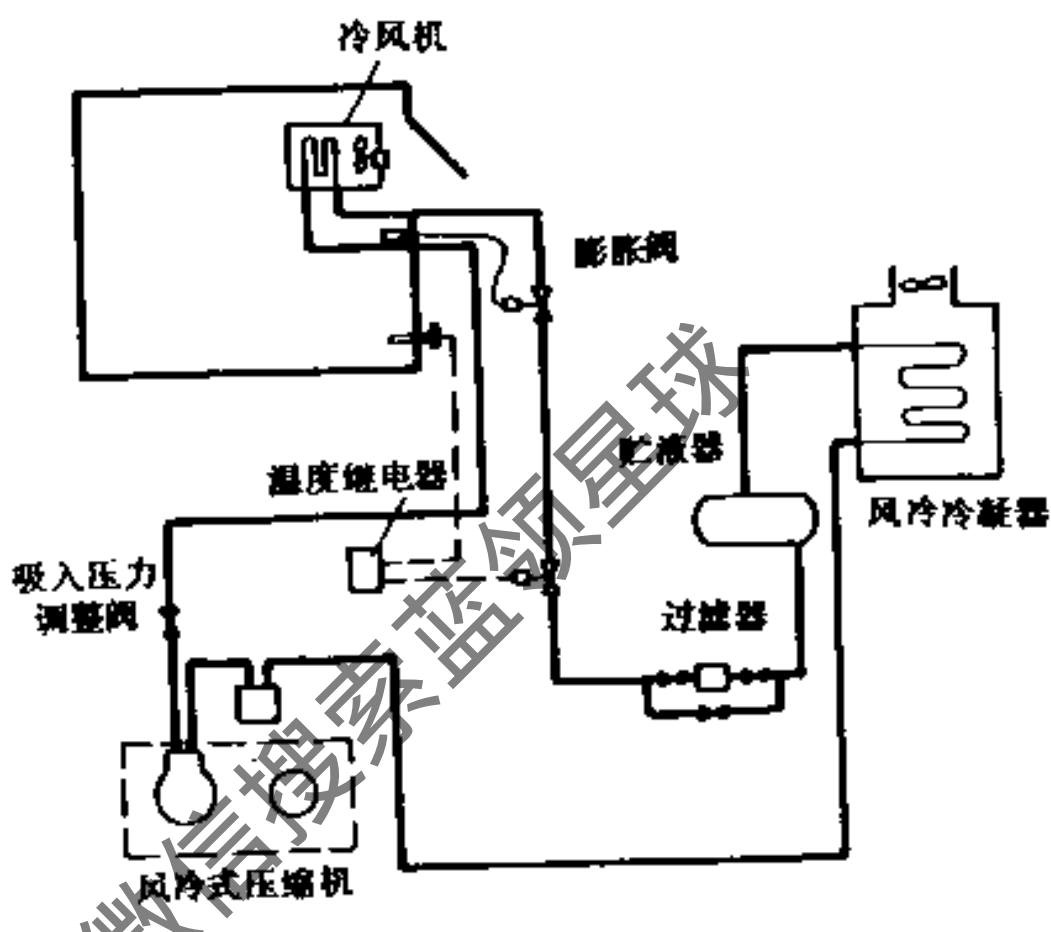


图 15.5-2 风冷冷风式

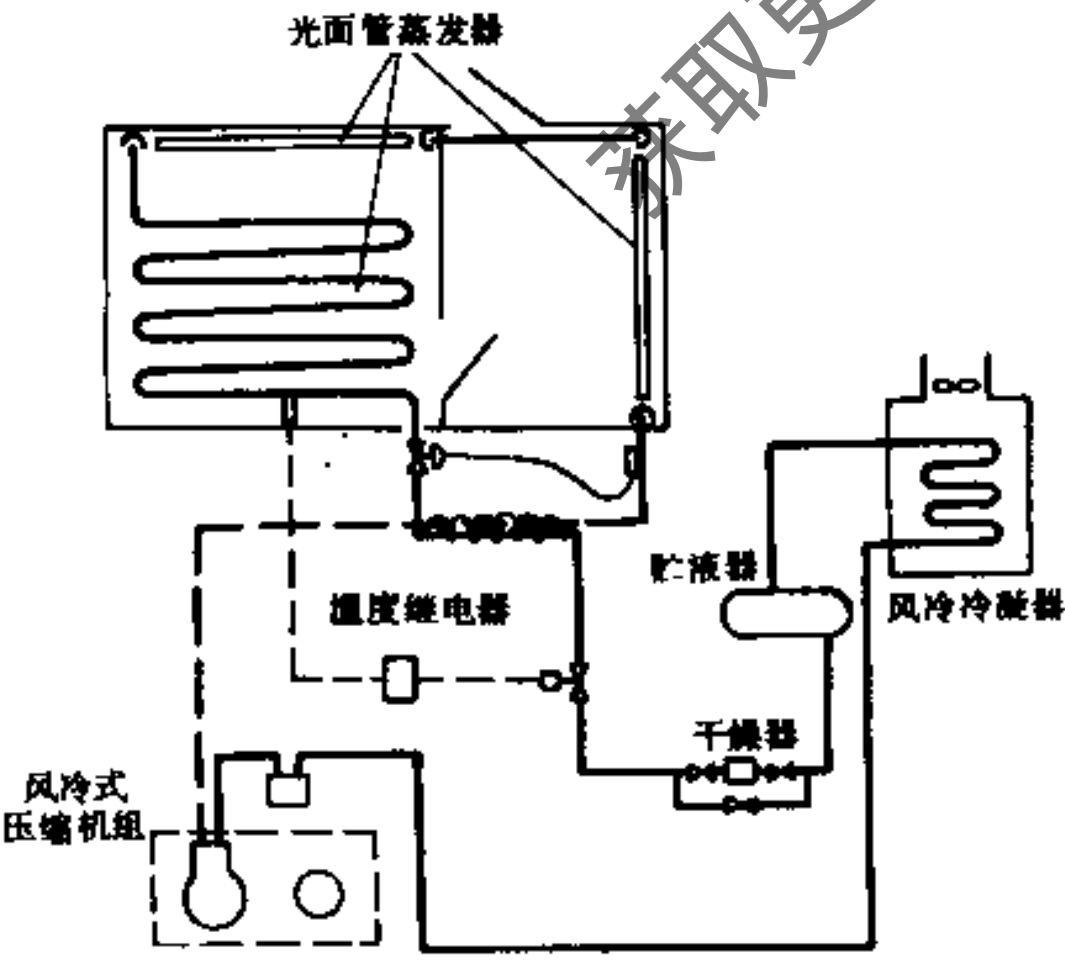


图 15.5-3 风冷排管高低温串接

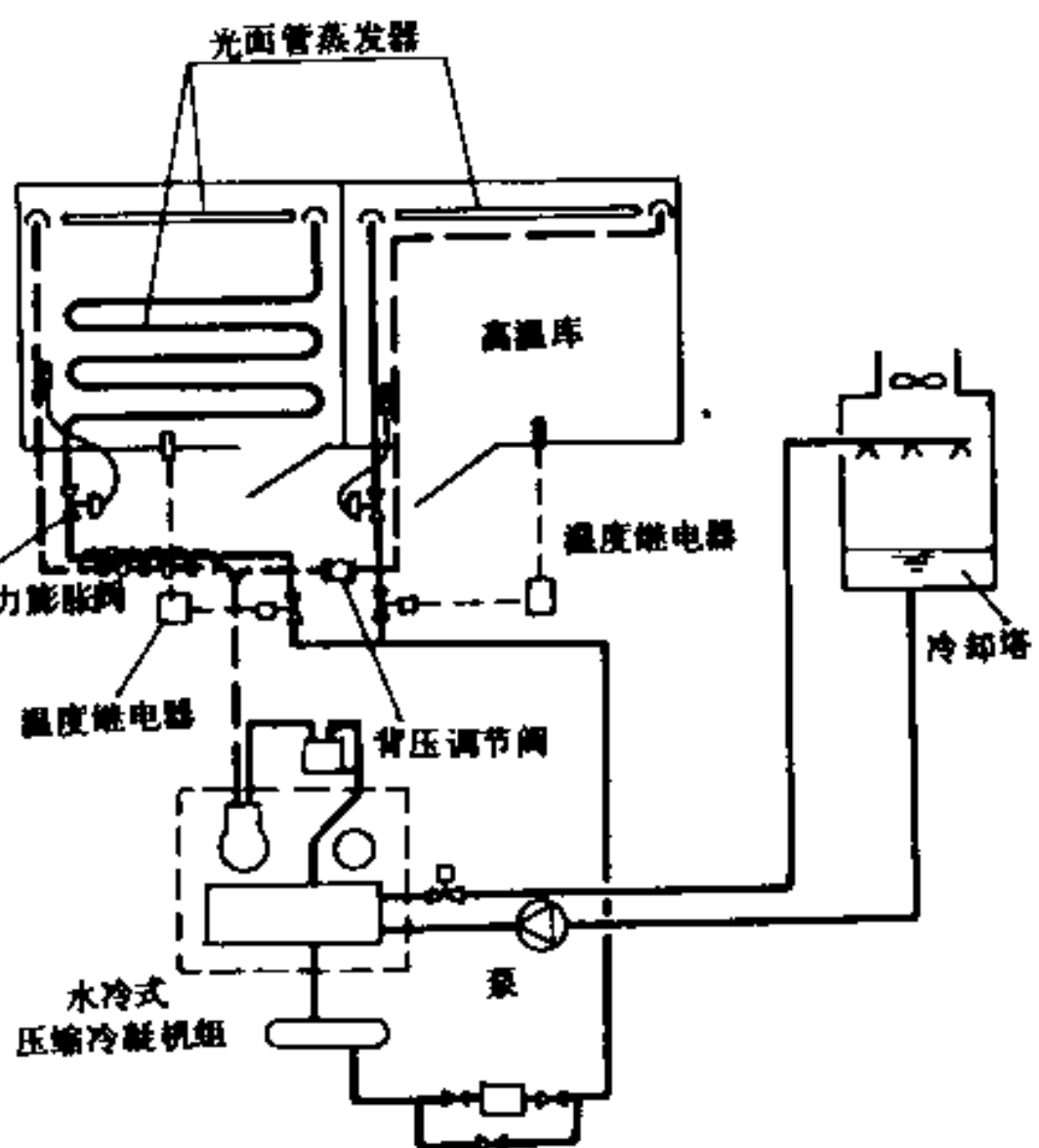


图 15.5-4 水冷排管高低温库

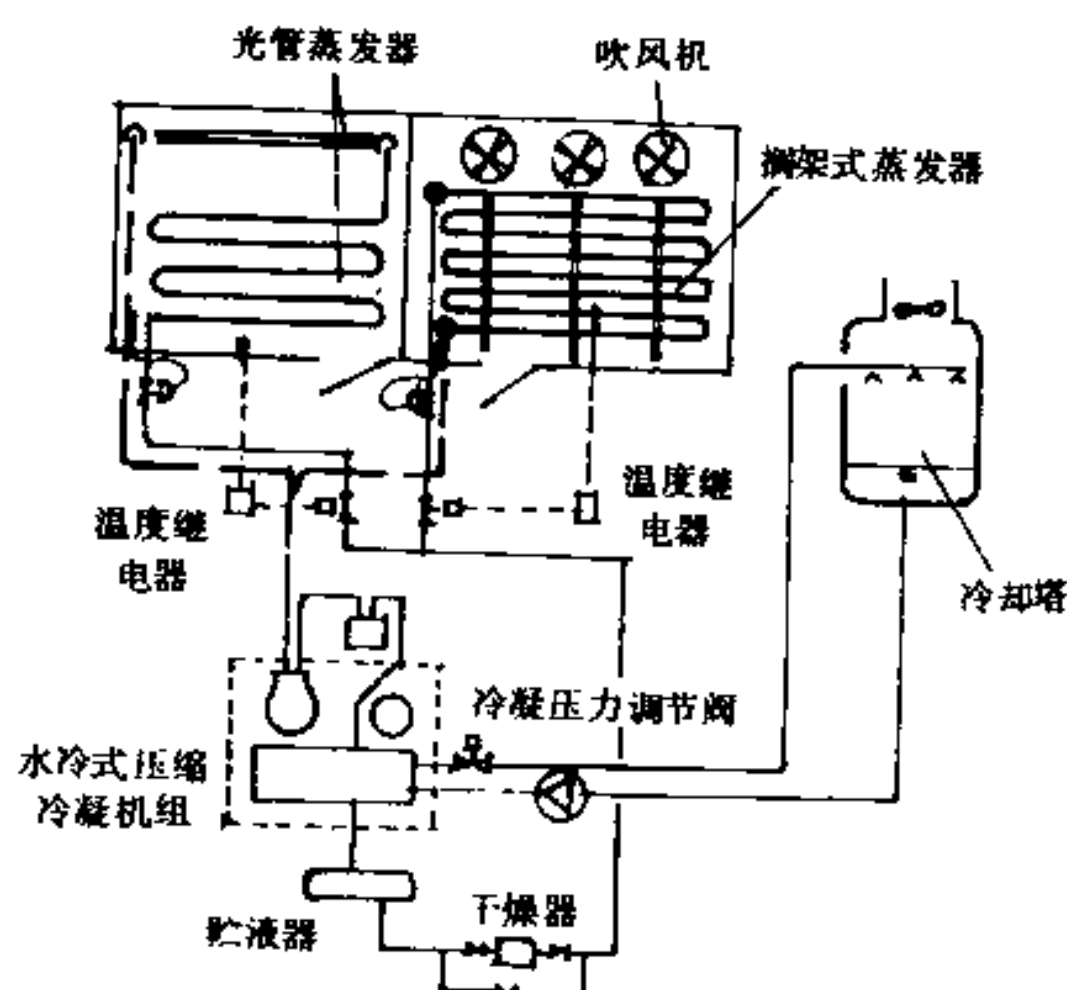


图 15.5-5 水冷排管搁架吹风式

15.5.2 蒸发器的选择

食品冷加工，结冻的质量与蒸发器的形式、蒸发温度的高低、室内温湿度、气流速度有密切关系。

食品保鲜或回笼食品(出库前升温)则要求迅速降温或升温，并要求一定的气流速度。各类蒸发器的特性见表15.5-1。

各种食品的贮存温度、相对湿度见表15.1-1；推荐的最大温差和室内空气的流速见表15.5-2。

蒸发器特性表

表 15.5-1

冷却方式	自然循环冷却器	强制循环冷却器	混合式冷却器
蒸发器形式	光排管(顶管、墙管、搁架式排管)	吹风式翅片冷却器	带吹风搁架式蒸发器
特点	室内温度稳定，空气流动缓慢，无电耗。手工扫霜，通常扫霜时要移动货物，旋转除霜。当有未经结冻的食品进货时，量大时将引起库温回升，会造成霜层融化，高温库(0℃库)会产生滴水，当再次降温时，霜层外形成冰壳，造成除霜困难。	室内温度较均匀，有一定的气流速度，降温速度较快，金属耗量少，易实现融霜自动化，不必移动货物。室内有冷风机，耗一定动力，遇停电时，温度回升快，层高要求高一些，库容积大时要做风管送风，食品干耗大。	被冷却物直接接触蒸发管架，同时存在传导、对流和辐射传热，冷却速度快，适用于盘装食品的急冻。当无结冻任务时，也可兼作低温冷藏(这时可以不开启吹风机)。配管多，金属耗量大。
适用场合	结冻物的冷藏和小型多用冷库	保鲜食品的贮藏，回笼食品(出库前升温)，结冻和低温贮藏	小型鲜货的结冻，适用于鱼虾及猪内脏、分割肉结冻

食品贮藏的最大温差和流速

表 15.5-2

食品	牛肉(1/4条)	猪肉(块)	鲜蛋(箱)	水果	甘菜	猪肉	干果
室温和蒸发温差(℃)	6.7	6.7	6.7	6.7	9	11	9
室内空气流速(m/s)	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.3

低温冷藏间要求库温稳定,干耗小,宜采用盘管式;小型结冻室宜采用搁架式,或带吹风的搁架。采用冷风机方式时,具有冷却速度快、除霜可自动化等优点,是一种较好的方式。

1. 小型冷库设计时应注意以下要点

(1) 正常情况下,应设两台以上制冷机,以便可有两个蒸发温度运行,并可在两台制冷机之间设备用通道;当一台机修时,冷库仍能部份供冷。

(2) 如果只有一台制冷机,负担两个库温差异较大的系统时,在回气管上应设置蒸发压力调节阀,以保持回气压力彼此接近,见图15.5-4。

(3) 结冻间和低温冷藏间可以按一个蒸发温度设计,室温和蒸发温度的差 Δt ,可以取 10°C ,而实际结冻过程的蒸发温度不是定值,开始时, Δt 较大,到后期才接近设计值,无结冻任务时,结冻间可作低温冷藏用。

(4) 带吹风的搁架蒸发器,通常用于包装食品、盘装鱼虾、猪内脏等食品结冻,其效果较好。当盘装厚度在 $10\sim 15\text{cm}$,经 $12\sim 24\text{h}$ 后便可达到送冷藏的要求,对小型冷库是一种可取的结冻方式。

吹风搁架配置的风机,风量可取每吨结冻物 $8000\sim 10000\text{m}^3/\text{h}$ (风压 $250\sim 300\text{Pa}$)。通过结冻物处的风速一般为 $1.5\sim 2\text{m/s}$ 。

2. 蒸发器传热面积的计算

(1) 蒸发器面积 $F(\text{m}^2)$

$$F = \beta \frac{Q}{K \Delta t} \tag{15.5-1}$$

式中 β —— 过热面积系数,取 $1.15\sim 1.2$,蒸发温度低时取大值,反之取小值;

Q —— 蒸发器的设计冷负荷, W ;

K —— 蒸发器的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

Δt —— 冷藏间温度与蒸发温度之差, $^{\circ}\text{C}$ 。

各种蒸发器的传热系数,推荐的计算温差值见表15.5-3(定型设备则以制造厂技术数据为准)。

蒸发器的传热系数和温差表 表 15.5-3

散热方式	蒸发器类型	传热系数 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)	温差 Δt ($^{\circ}\text{C}$)	备注
自然对流	光盘管(钢)	$9.28 \times c_1 \times c_2$	10	c_1, c_2 见表15.5-4、15.5-5
	铜翅片管			
	0 $^{\circ}\text{C}$ 以下	4.64	10	
	0 $^{\circ}\text{C}$ 以上	5.80	10	
	搁架式光盘管(钢)	17.4	10	
机械循环	搁架式光盘管(钢)		Δt_m	气流宜对排管横向吹刷,轴流风机设于排管顶部或后部,使结冻室或冷库处于横向气流中,这样结冻室的操作走道可不设挡板
	风速 1.5m/s	20.9	低温10	
	风速 2.0m/s	23.3	高温8~10	
	翅片管冷风机按制造厂提供技术数据采用,估算时可取 $q = 115\sim 150\text{W}/\text{m}^2$			

室温 t_n 修正系数 c_1 表 15.5-4

t_n (°C)	5	0	-5	-10	-15	-20
c_1	1.5	1.2	1.03	1.00	1.00	1.00

温差 Δt 修正系数 c_2 表 15.5-5

Δt (°C)	5	10	15
c_2	0.1	1.0	1.1

(2) 冷风机计算温差 Δt_m (°C)

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_L - \Delta t_S}{\ln \frac{\Delta t_L}{\Delta t_S}}$$

式中 Δt_L 为大差, Δt_S 为小差

(3) 蒸发器允许压力降, 相应于冷媒饱和蒸气温降, R-12 为 2°C; R-22 为 1°C。当超过时, 应采用外平衡管的热力膨胀阀供液。

(4) 当低温冷藏间蒸发器和结冻间蒸发器合用一个蒸发回路时, 结冻间的计算温差不应大于 10°C。

(5) 翅片管冷风机的翅片距, 当自行设计蒸发器时, 可参考表 15.5-6 确定。

翅片片距表 表 15.5-6

库内温度 (°C)	0~5	-5~-15	-15~-25	20~30	-25~-30	>30
片距 (mm)	4	6	8	10	12	15~20

15.5.3 热力膨胀阀的选择

热力膨胀阀一般使用在非满液式蒸发器前, 实现制冷剂按比例自动节流。

制冷剂由冷凝压力降到蒸发压力, 节流阀的开启度是由蒸发器出来的制冷剂蒸气过热度来控制的, 使制冷剂供液量与蒸发器的负荷相适应, 既保证必要的供液量, 又防止制冷剂未达到充分蒸发而造成“冲缸”的危险。

热力膨胀阀分内平衡式和外平衡式两种。当制冷剂在蒸发器内的流动阻力小时, 宜选用内平衡式; 阻力大时, 或当采用分液器配液时, 宜采用外平衡式。压力损失是以制冷剂饱和蒸气温降 (R12 > 2°C, R22 > 1°C) 和制冷剂过热度 (> 5°C) 为标准, 小时用内平衡式, 大时用外平衡式。

选择热力膨胀阀的要点:

(1) 热力膨胀阀的额定能量, 是指全开状态下的产冷量, 阀前不应有闪发气体, 一般要有 1°C 以上的过冷度, 否则阀的通过能量会显著降低, 见表 15.5-7。

阀前压降对热力膨胀阀能量影响

表 15.5-7

阀前液管压力损失 (MPa)	能量修正 (%)		需过冷度 (°C)		备注
	R-12	R-22	R-12	R-22	
0.05	0.75	0.90	2.5	1.2	具有过冷度时不考虑能量修正, 若无过冷度, 应考虑能量修正
0.10	0.65	0.75	4.5	3.0	
0.15	0.55	0.70	7.0	4.5	
0.20	0.45	0.60	9.5	6.0	
0.25	0.40	0.57	12.0	7.5	
0.30	0.35	0.53	15.0	9.0	
0.35	0.30	0.50	18.5	10.5	

(2) 热力膨胀阀的容量, 要注意工作工况, 如和选择样本提供的工况不同时, 应进行换算, 氟里昂 (R-12, R-22) 制冷剂的标准工况是: 蒸发温度 -15°C , 吸气温度 15°C , 冷凝温度 30°C , 过冷温度 25°C 。

(3) 阀前后的压降 ΔP , 是指进出口间的压差, 而阀前后的管道都有流动损失, 所以 ΔP 不是冷凝压力和蒸发压力的差。

(4) 当冷却水不设调节阀时, 或因冬季冷却水温度低而造成冷凝压力降低时, 要求膨胀阀容量应比额定负荷放大 $20\sim 30\%$, 或按表 15.5-7 进行修正。

(5) 蒸发压力 (蒸发温度) 对膨胀阀容量的影响, 见表 15.5-8。

不同蒸发温度对膨胀阀容量的修正 表 15.5-8

蒸发温度 ($^{\circ}\text{C}$)	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
系数 (k)	1	0.9	0.8	0.75	0.66	0.57	0.49	0.41	0.39	0.38

(6) 热力膨胀阀的通路面积 $f(\text{cm}^2)$

$$f = \frac{G}{K \mu \sqrt{\Delta P}} \quad (15.5-2)$$

$$G = 3600Q / \Delta i \quad (15.5-3)$$

$$\mu = 0.02 \sqrt{\rho} + 0.634v \quad (15.5-4)$$

式中 G —— 理论流量, kg/h ;

Q —— 蒸发器的负荷, kW ;

Δi —— 蒸发压力下冷剂气态和液态的焓差, kJ/kg ;

K —— 常数, R12: $K = 57400$ R22: $K = 54700$;

ΔP —— 热力膨胀阀前后压降, Pa ;

μ —— 流量系数;

ρ —— 膨胀阀入口处制冷剂密度, kg/m^3 ;

v —— 膨胀阀入口处制冷剂比容积, m^3/kg 。

(7) 根据计算所得 f , 求出孔径, 查表 15.5-9 选择合适的热力膨胀阀。

RF型热力膨胀阀主要数据 表 15.5-9

型号	孔径 (mm)	制冷工质	标准 (kW)	空调 (kW)	平衡方式	接管		外平衡	外形尺寸		
						进口	出口		长	宽	高
RF0.8	0.8	R12	1.16	1.05	RF(RF _w)内(外)平衡	$\phi 10 \times 1$	$\phi 12 \times 1$	$\phi 6 \times 1$	108	68.5	152
		R22	1.86	1.57							
RF1	1	R12	1.40	1.28							
		R22	2.33	1.92							
RF1.2	1.2	R12	1.74	1.51							
		R22	2.91	2.27							
RF1.5	1.5	R12	2.21	1.98							
		R22	3.61	2.97							

续表

型号	孔径 (mm)	制冷工质	标准 (kW)	空调 (kW)	平衡方式	接管		外平衡	外形尺寸		
						进口	出口		长	宽	高
RF2	2	R 12	2.91	2.56	RF(RF _w)内(外)	φ10×1	φ12×1	φ6×1	108	68.5	152
		R 22	4.77	3.84							
RF3	3	R-12	5.81	5.35							
		R 22	10.0	8.02							
RF4	4	R 12	10.5	9.30							
		R 22	17.4	13.95							
RF5	5	R 12	13.14	11.63		φ10×1	φ16×1.5		115	68.5	152
		R 22	21.5	17.44							
RF _w 6	6	R 12		17.44		φ12×1	φ19×1.5		115	68.5	152
		R 22		26.16							
RF _w 7	7	R 12		24.42	φ16×1.5	φ19×1.5	126	74	130		
		R 22		36.63							
RF _w 8	8	R 12		31.40	φ16×1.5	φ19×1.5	126	74	130		
		R 22		47.09							
RF _w 9	9	R 12		38.37	φ16×1.5	φ19×1.5	126	74	130		
		R 22		57.56							

适用温度范围: R12 +10~-40℃

R22 +10~-50℃

可调节关闭过热度 2~8℃

15.5.4 过滤器、干燥器

为了防止固体杂质进入电磁阀、自控部件和制冷机气缸,在这些设备之前应设置过滤器。

氟里昂系统过滤器的滤网一般采用0.2mm左右的网眼(80~120目),以粗网做衬架。气体过网流速一般为1~1.5m/s,液体过网流速一般为0.07~0.1m/s。

氟里昂中含有水份会引起制冷剂分解,金属腐蚀;在冰点以下时,还可能形成“冰塞”,因此,必须设置干燥器。

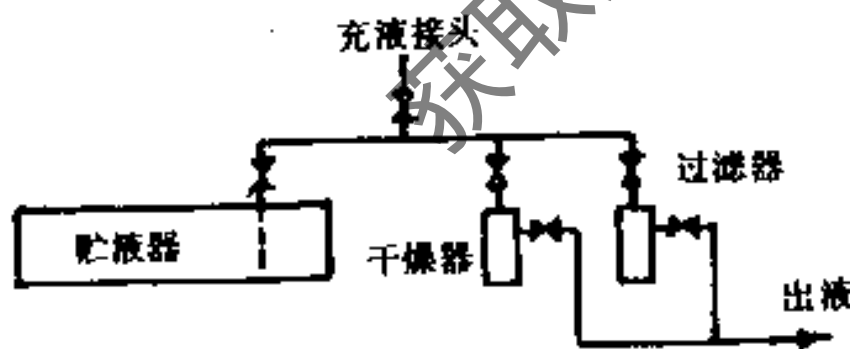


图 15.5-6 干燥器的安装

常用的是带有干燥剂的过滤器,干燥剂采用硅胶,分子筛及活性氧化铝等,粒径3~5mm。

干燥器应装在高压液管上,为减少阻力,可以将干燥器与过滤器并联安装(见图15.5-6),制冷剂经多次循环即可达到过滤和干燥的目的。

15.5.5 回热式热交换器

结构及类型,一般有以下三种方式:

(1) 将供液管与回气管扎在一起,耦合保温,同行段的长短决定其热交换量的多少;

(2) 套管式热交换器(图15.5-7)气体在管中流动,液体在套管间被冷却,换热量受套管长度和气体过热度的限制,对R-22仅需较少的过热度时,较为合适,套管长度A可根据表15.5-10采用。

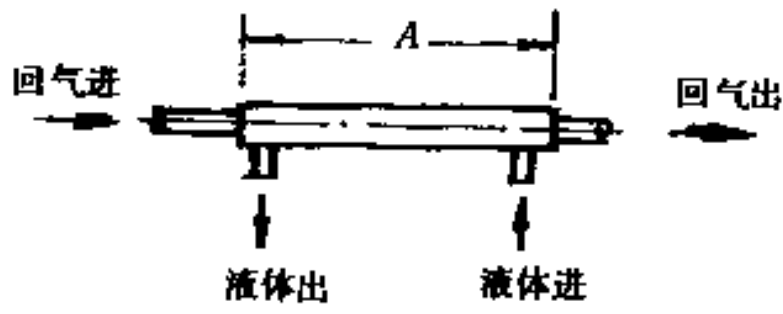


图 15.5-7 套管式热交换器

套管式热交换器的推荐长度 表 15.5-10

制冷量 (kW)	长度 A (m)
175	2.5
350	3.7
525	4.6

(3) 盘管式热交换器, 液体在盘管内流动, 流速为 $0.8 \sim 1 \text{ m/s}$; 气体在盘管外, 其流速通常为 $8 \sim 10 \text{ m/s}$, 其传热系数约为 $232 \sim 290 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ 。

15.5.6 气液分离器

气液分离器的功能是使回气中的液体分离, 液体由器内 U 形管底部的小孔, 均匀的将液体混入回气, 防止压缩机“冲缸”。

1. 设置原则

- (1) 蒸发器负荷变动幅度大时;
- (2) 使用热排气融霜时;
- (3) 使用满液式蒸发器时。

2. 容量计算

气液分离器容量 V (L):

$$V = 0.75CG \quad (15.5-5)$$

式中 C ——系数, R12 $C = 0.86$, R22 $C = 0.98$,
R502 $C = 0.93$;

G ——系统制冷剂注入量, kg。

3. 小型气液分离器

小型气液分离器外形见图 15.5-8。

分离器的参考数据见表 15.5-11。

小型气液分离器数据 表 15.5-11

主要数据					相应水冷压缩 冷凝机组功率 (R12, R22)
筒径×长 (mm)	制冷剂容量 (kg)	接管口径 (mm)	平衡孔 (mm)	回油孔 (mm)	
D219×400	8	DN25	φ7	φ2	3.7kW以下
D273×500	16	DN32	φ9	φ2.5	4.5~5.5kW
D325×550	24	DN40	φ11	φ3	7.5~11kW

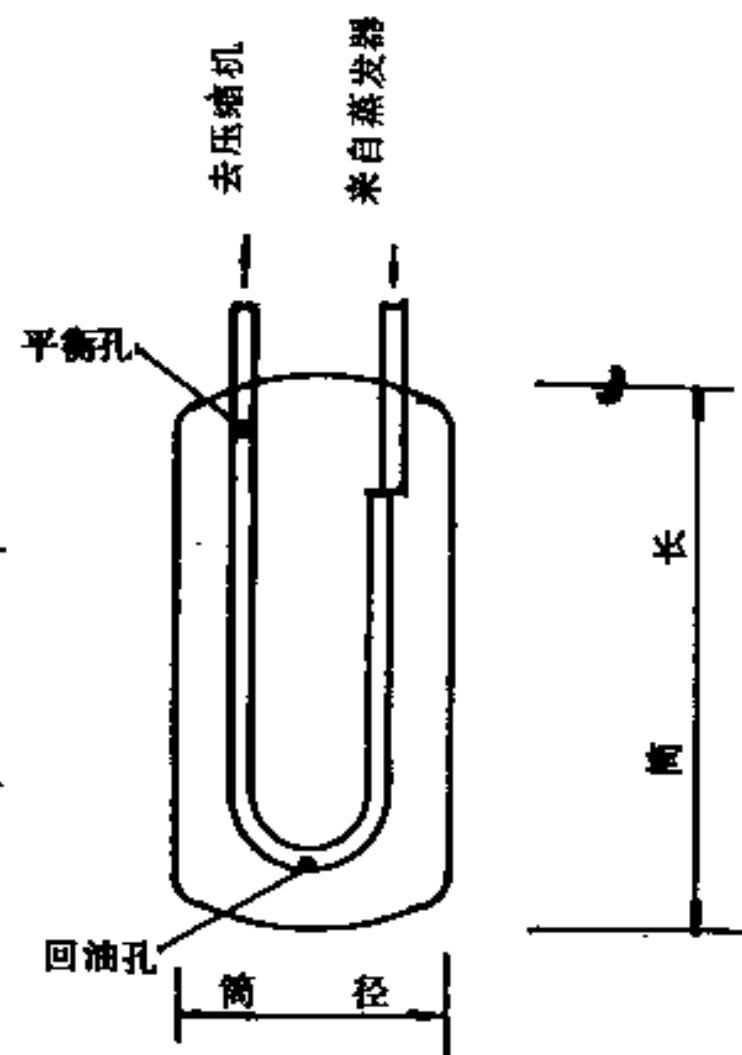


图 15.5-8 气液分离器图

15.5.7 排管及搁架

1. 盘管式排管

小冷库大都采用蛇形盘管, 其设置位置有顶棚式和墙式。每组的形式有单通路和双通路, 后者是两组单排, 为节省占地采取叠置形式, 用“双套弯”解决弯头叠合, 如图 15.5-9 所示。

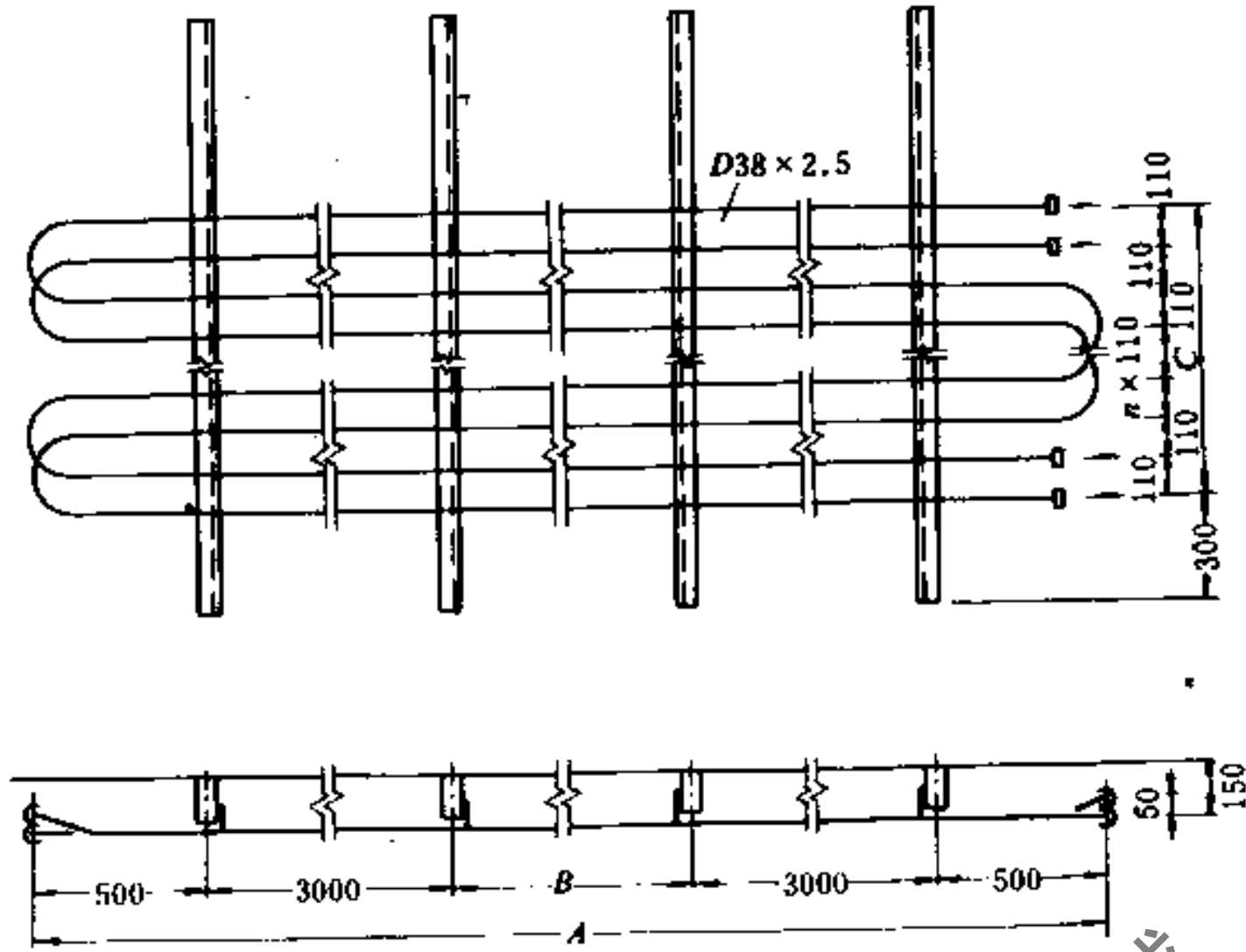


图 15.5-9 双通路蛇形排管单列墙式安装示例

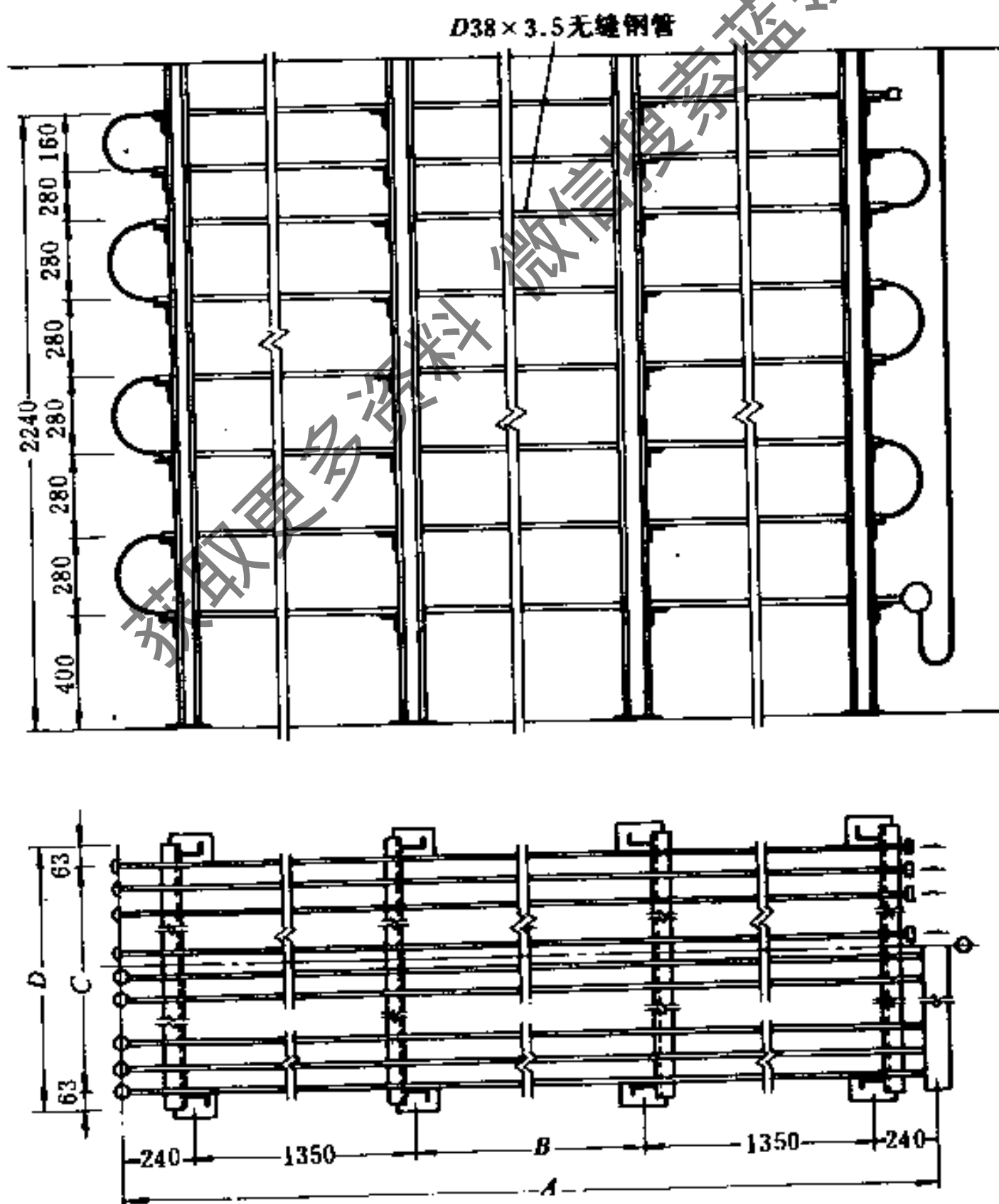


图 15.5-10 搁架式排管实例

盘管用 $D38 \times 2.5$ 或 $D32 \times 2.5$ 无缝钢管制作,弯头要用壁厚稍厚的无缝钢管,用弯管机冷弯,盘管制作用钎焊,以保护管内通路不减小。

2. 搁架式排管

用于小型冷库结冻间,用盘装或盒装结冻,由于易磨损,无缝钢管用 $D38 \times 3$ 或 $D38 \times 3.5$ 的蛇形管组成搁架,平面管间距 80mm ,组合宽 600 或 1000mm ,常用的货盘 400×600 可以在其上组合排列。竖向间距取决于结冻物品种,鱼虾 230mm ,家禽 $250 \sim 280\text{mm}$,通用型可做 280mm 。搁架的立柱间距 1350mm ,扣除槽钢后的净距可容三直或二横盘宽。搁架冷却器由于冷空气的重力作用,下部货物冻结效果比上部好,因此经常在上部不放货处做两排空管,间距可做 160mm ,最下排离地不宜太低,以方便取货清扫,通常可做 400mm 。

吹风机的功率不宜过大,以减少发热。纵向吹刷时,走道应设挡板,以防空气短路,横向吹刷时,应在顶部设挡板,下部操作方便些。

制冷剂应有分液器均流配到搁架上部各并列之管组,下部可汇到集管,设存油弯回气,如图15.5-10所示。

15.6 制冷管管件及连接

氟里昂制冷系统多采用紫铜管和无缝钢管, $DN < 20\text{mm}$ 用紫铜管, $DN > 25\text{mm}$ 用无缝钢管。常用铜管和无缝钢管规格见本手册第十四章有关表。

1. 管道连接 氟里昂管道为避免泄漏,一般采用焊接。

2. 对需拆卸的部件的连接,可采用管接头或法兰连接。

当 $DN < 20\text{mm}$ 时,采用铜制管接头,见图15.6-1及图15.6-2;当 $DN > 25\text{mm}$ 时,采用法兰连接,见图15.6-3。

管径 (mm)	材质	连接方法
$DN > 40$	钢-钢	气 焊
$DN < 32$	钢-铜	铜 焊
	铜-铜	银焊、铜焊

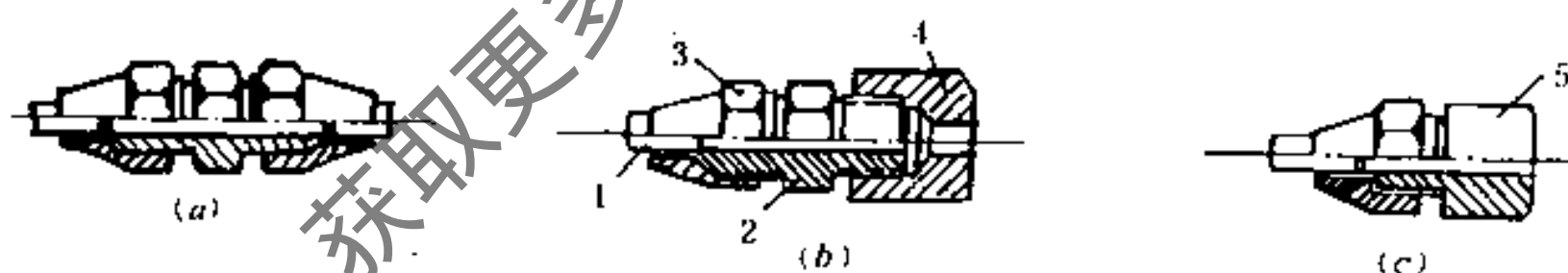


图 15.6-1 活接头组合件

(a)管子与管子相连;(b)管子与设备相连;(c)管子与管件相连
1—紫铜管; 2—活接头; 3—长颈螺母; 4—设备; 5—管件

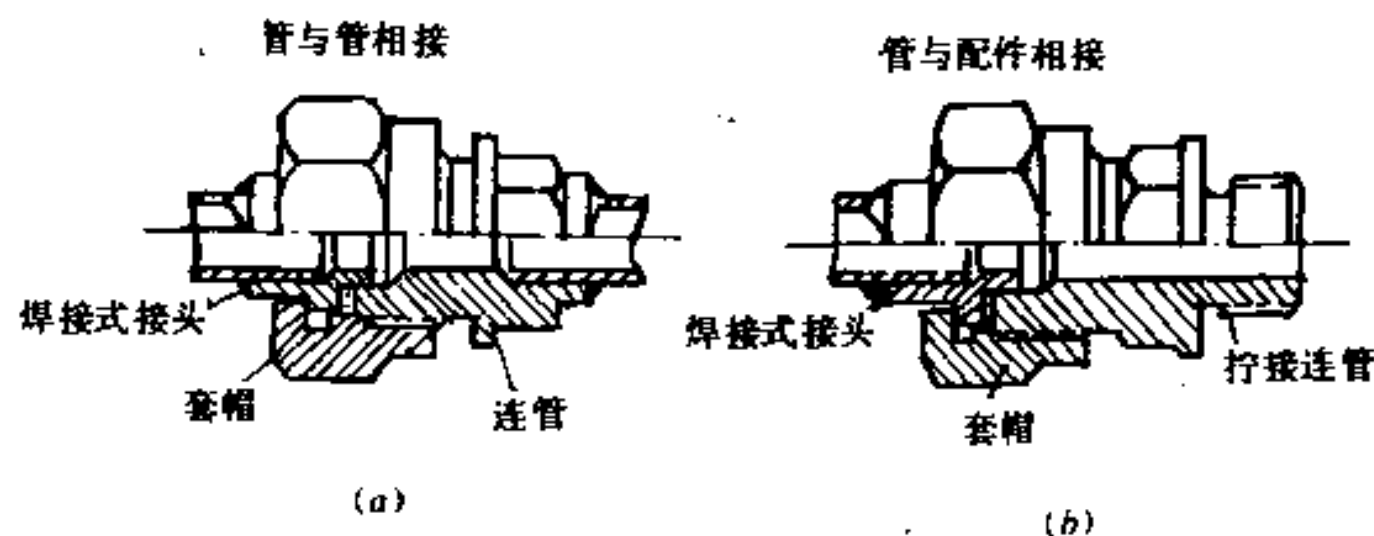


图 15.6-2 铜管或钢管活接头组合件

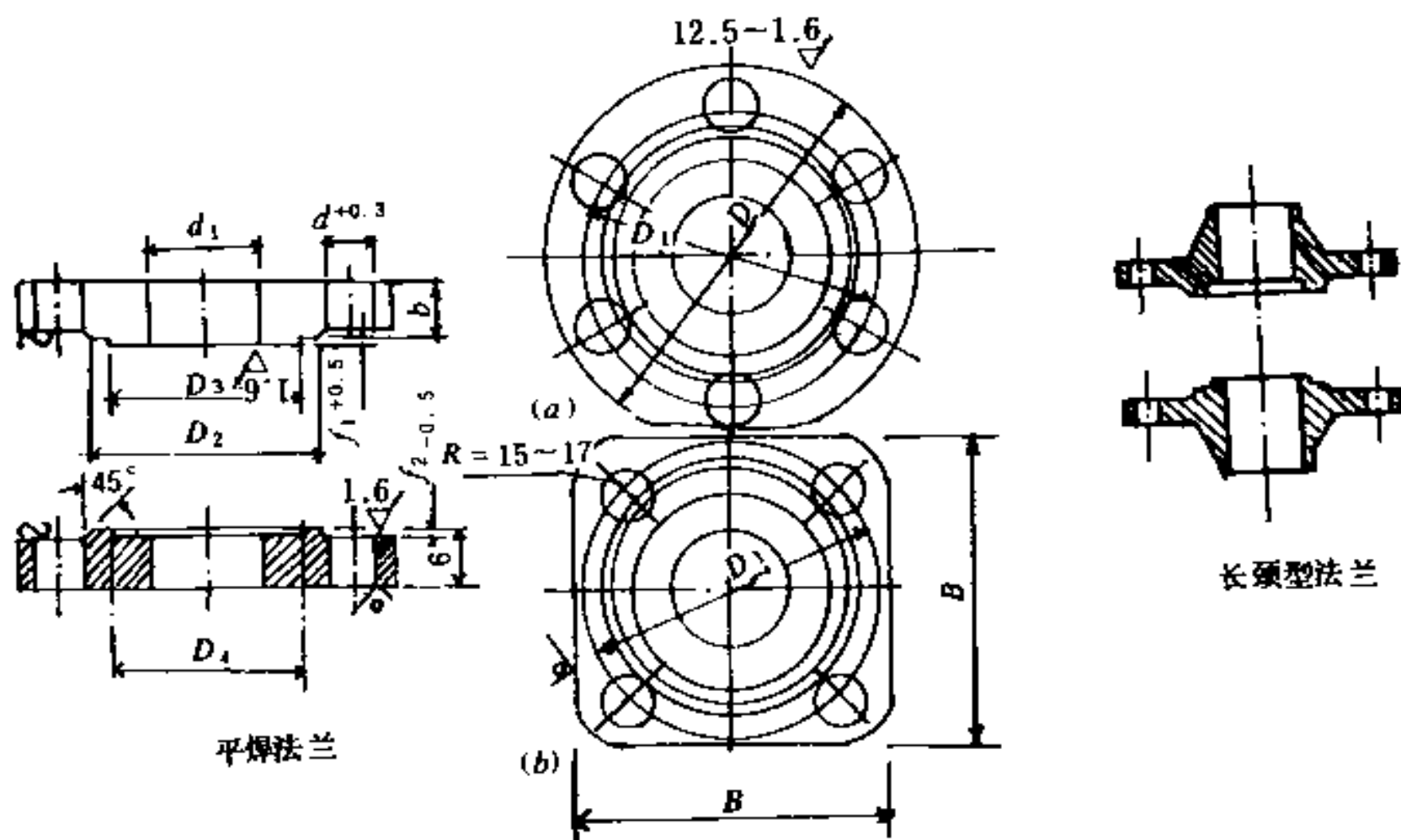


图 15.6.3 法兰
(a)圆型; (b)方型

铜制管接头采用黄铜件加工, 连接时将铜管上先套上一个长颈螺母, 用专用工具将紫铜管扩张成 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的喇叭口, 然后用活接头紧固。活接头通径 $DN: 8、10、13、16、19\text{mm}$ 。

当无缝钢管或铜管管径较大时, 则采用法兰连接(带有两道密封槽的法兰盘), 密封面带凹凸形, 不得使用天然橡胶及矿物油作垫料与涂层。法兰盘通径 $DN: 20、25、32、40、50\text{mm}$ 。

3. 分液器

在向多通路盘管式蒸发器配液时, 由于各通路的负荷和阻力不可能都均匀, 阻力大的配液不足, 严重时会造成某些通路不制冷。分液器采用细管, 让各通路的阻力加大, 从而使各通路阻力差比缩小, 以达到配液均匀。

分液器的阻力值只对选择膨胀阀的进出口压差有影响, 而与蒸发温度无关, 故分液器必须与外平衡热力膨胀阀配合使用, 以保证蒸发器出口回气的过热度不至太大。

分液器由分液头及多路分液管组成, 分液头内部结构见图15.6-4。

分液管的规格有 $\phi 5 \times 1、\phi 6 \times 1、\phi 8 \times 1、\phi 10 \times 1$ 等, 其长度由 $0.25 \sim 2.5\text{m}$ 范围内选取。

每个通路的制冷能力与制冷剂种类、蒸发温度、分液器阻力有关, 表15.6-1、15.6-2、15.6-3可供选用。

选择时须知以下条件: 制冷剂种类、蒸发器所需制冷能力、蒸发温度及冷凝温度、蒸发器的通路数等。

布置分液器时应注意莲蓬头向上, 各路配液管长度必须相等。分液器的阻力, 主要是分液管两相流动的压力损失。

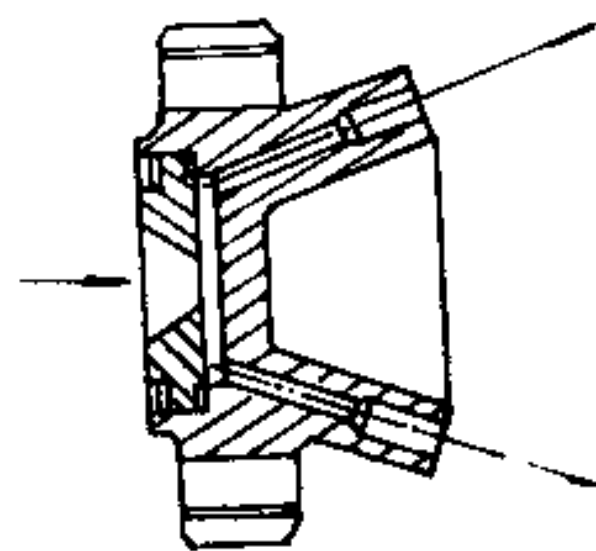


图 15.6-4 分液器的分液头

分液管每通路 (长1m) 的制冷能力 (W)

表 15.6-1

蒸发温度 (°C)	分液管规格 (mm)									
	φ4×0.75		φ5×1		φ6×1		φ8×1		φ10×1	
	R-12	R-22	R-12	R-22	R-12	R-22	R-12	R-22	R-12	R-22
5	1413	2477	2268	4012	4071	7152	9246	16282	18608	32564
	942	1651	1512	2675	2733	4768	6164	10816	12444	21748
	238	413	378	675	686	1192	1547	2704	3111	5437
0	1186	2070	1919	3408	3408	6106	7850	13782	15701	27214
	791	1384	1279	2268	2268	4071	5234	9188	10467	18143
	198	749	320	570	570	1018	1303	2297	2617	4536
-5	989	1745	1628	2844	2908	5146	6629	11630	13084	22155
	663	1163	1082	1896	1954	3431	4419	8839	8723	15235
	169	291	273	477	488	861	1105	1948	2181	3809
-10	837	1465	1361	2390	2442	4274	5408	9420	10990	19190
	558	977	907	1593	1628	2849	3605	6280	7327	12793
	140	244	227	407	407	721	907	1570	1832	3198
-15	698	1233	1151	2006	2058	3611	4536	7850	9304	16282
	465	814	768	1337	1372	2413	3024	5234	6164	10816
	116	204	192	337	349	605	756	1308	1541	2704
-20	593	1047	959	1675	1710	2965	3838	6804	7676	13432
	395	698	640	1116	1140	1977	2559	4536	5117	8955
	99	174	163	279	291	500	640	1134	1279	2239
-25	488	855	802	1396	1430	2495	3227	5582	6455	11339
	326	570	535	930	964	1663	2152	3722	4303	7560
	81	145	140	233	244	419	541	930	1076	1890
-30	410	670	680	1186	1232	2128	2704	4710	5408	9420
	267	465	454	791	814	1419	1803	3140	3605	6280
	70	116	116	198	204	361	454	7850	901	1570

注: 1. 表中第一行表示允许最大制冷能力, 第二行为标准制冷能力, 第三行为允许最小制冷能力。
2. 冷凝温度为30°C。

分液管长度的负荷修正系数

表 15.6-2

分液管长 (m)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.50
修正系数	2	1.43	1.16	1.0	0.89	0.81	0.75	0.70	0.66	0.62

分液器的压力损失 (MPa)

表 15.6-3

选用负荷与标准 负荷比 (%)	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
压力损失	0.03	0.033	0.042	0.052	0.062	0.072	0.082	0.092	0.104	0.115	0.128	0.142	0.158	0.175

15.7 自控和安全保护装置

15.7.1 库温自控

1. 单间库温自控 库温自控一般采用位式调节, 它通常由温度传感器、温度指示调节器和供液电磁阀等组成。当库温升高到设定值时, 在控制系统作用下, 电磁阀自动开启, 向蒸发器供液, 使库温下降。当库温降到设定下限值时, 则切断电磁阀的供电, 使电磁阀关闭, 停止向蒸发器供液。

库温控制环节应与冷却水系统和制冷机的启停等联锁, 即当库温达到设定下限值时, 温度调节器在使电磁阀关闭的同时, 应使制冷机与冷却水系统也停止运行。反之, 当库温达到设定上限值时, 应先使冷却水系统和制冷机依次投入运行, 再开启电磁阀。

2. 多间库温自控 当多间库房的温度全都达到下限时, 温度继电器才切断, 发出信号, 通过延时使中间继电器断开, 压缩机停止运行, 然后延时停水泵及其他辅助设备。

当有一个库房温度升到上限时, 这个温度继电器的上限接点接通, 启动该库的控制继电器, 接通中间继电器, 一方面发出启动水泵等信号, 一方面接通压缩机启动延时继电器, 准备开启压缩机。

3. 结冻间自控 结冻间自控不同于冷藏间, 为了防止结冻间建筑物产生冻融循环, 不管是空库或是进货结冻, 必须使库温保持在 -5°C 以下, 当温度回升到该值时, 一定要打开供液电磁阀, 使压缩机投入运行。

另外制冷系统运行一是受库温控制, 二是受结冻时间控制, 这样就能避免结冻过程中出现库温到达下限时, 制冷系统已停止运行, 但食品还未冻透的现象。

4. 背压调节 (吸入压力调节) 当不同库温的冷间合用一台制冷机时, 在蒸发压力高的吸气管上应装置背压阀 (压力恒定阀), 使阀前压力保持在给定范围, 而通过节流后又能与阀后回气管上较低的蒸发压力相适应, 以保证蒸发器在不同工况下正常运行。背压调节只适用于直接供液系统, 见图15.7-1。

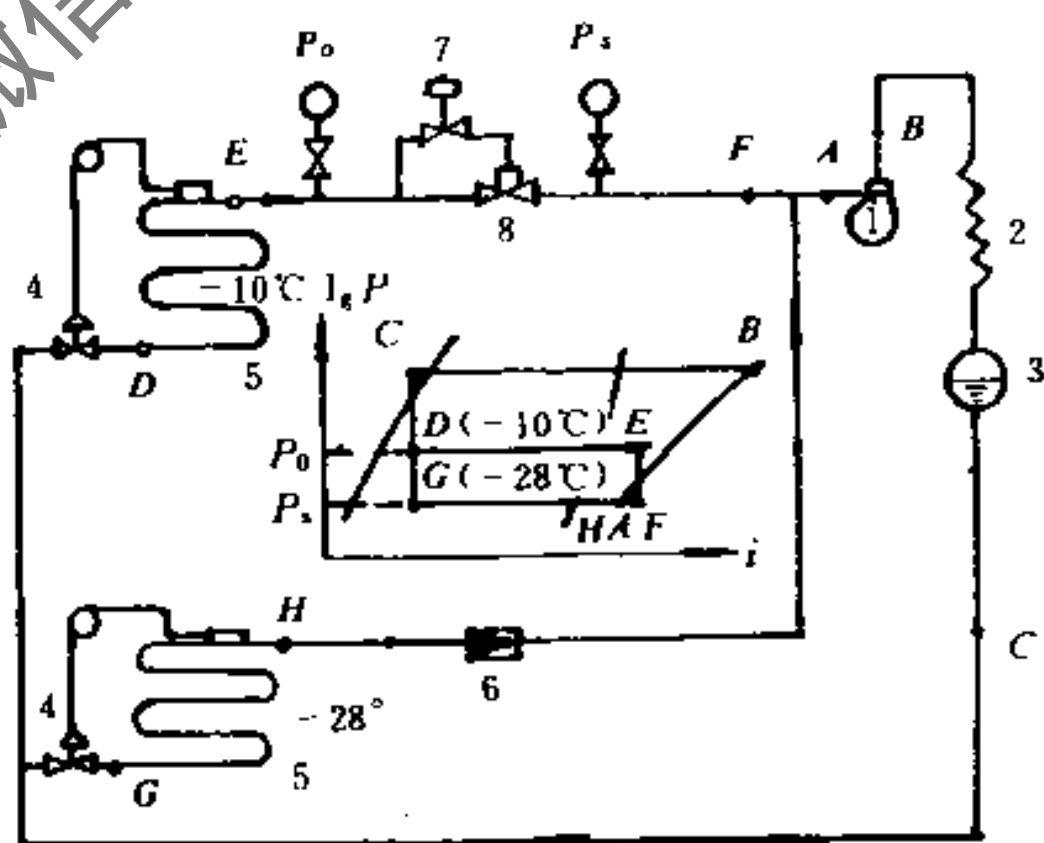


图 15.7-1 背压调节控制原理图

1—压缩机; 2—冷凝器; 3—贮液桶; 4—膨胀阀;
5—蒸发器; 6—止回阀; 7—恒压导阀; 8—回气主阀

15.7.2 自控系统框图

自动控制系统框图中仅绘出了自动状态下的开机、停机过程和安全保护装置, 使用手动控制方式运行时, 操作人员必须按照框图的顺序开、停机。公称容积 150m^3 (20t) 小冷库的自控系统框图, 见图15.7-2。

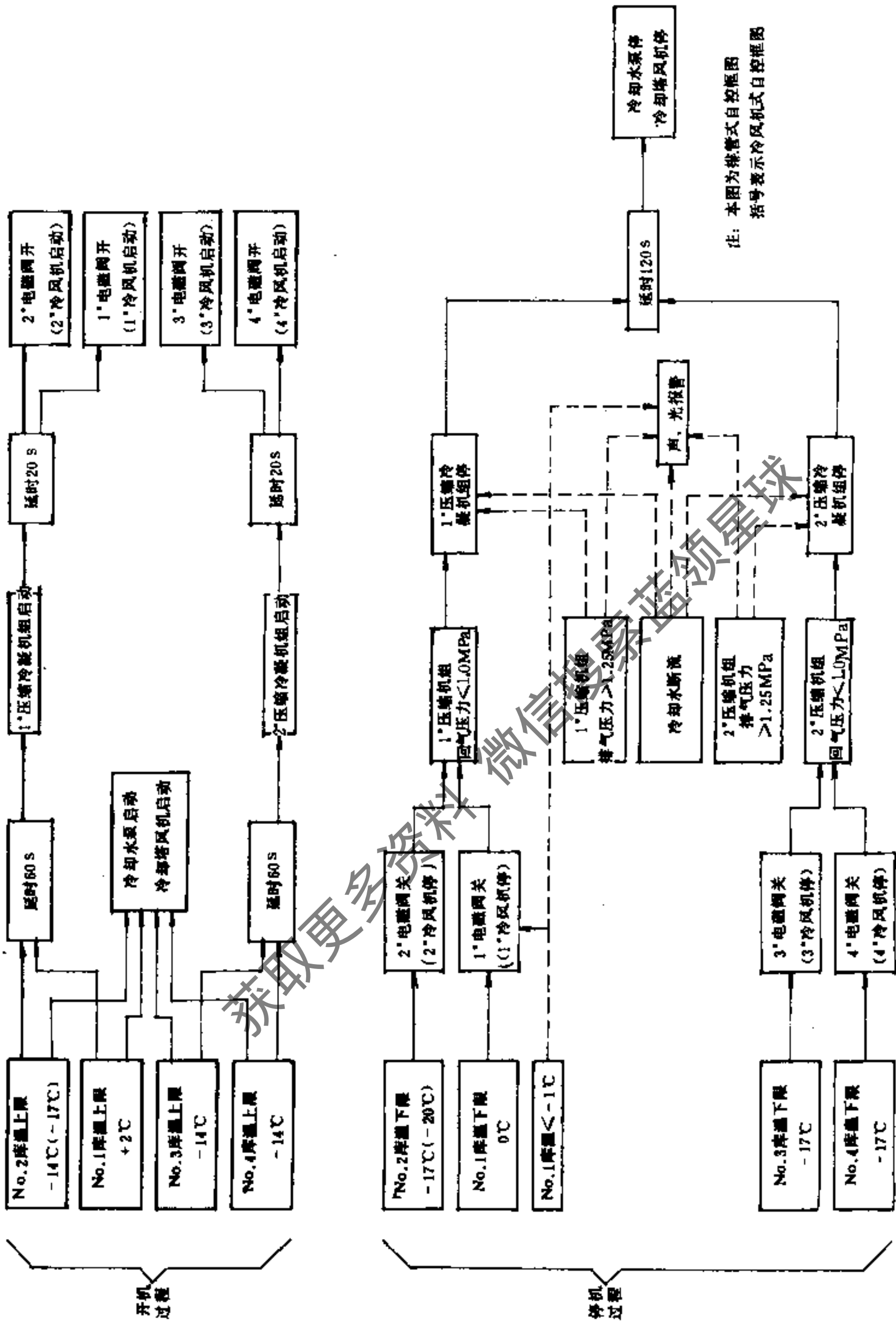


图 15.7-2 小冷库自控系统框图

15.7.3 制冷系统的安全保护

为了保证设备的安全运行,需设置一套较完善的安全保护装置,见表15.7-1。

安全保护措施表

表 15.7-1

名 称	安 全 保 护 措 施
排 气 压 力	排气压力大于设定值时,通过高压继电器自动停机
吸 气 压 力	吸气压力低于设定值时,通过低压继电器自动停机
油 压 差	油压差低于设定值时,通过油压差继电器自动停机
冷 却 水	冷却水断水或水量过小时,通过断水保护装置或水压差保护装置自动停机并报警
压 缩 机	压缩机过电流通过继电器断路停机
冬季冷却水结冰	控制冷却塔出水温度,通常用下列方法实现 ①停冷却塔风机; ②调节冷却塔进水分流阀
单相运行保护	当电动机某相短路时,自动停机并发出警报

15.8 装配式冷库

15.8.1 组成和特点

1. 装配式冷库的组成

(1) 围护结构采用工业化生产的模数制复合保温壁板,其面层材料有彩色钢板、不锈钢板、铝合金板、或玻璃钢板,保温材料通常有聚氨酯和聚苯乙烯两种,由于复合板尺寸是标准规格,用户可按模数组合成各种形式,见图15.8-1。其面积和容量亦可按需选择。装配式冷库系列组合见表15.8-1。

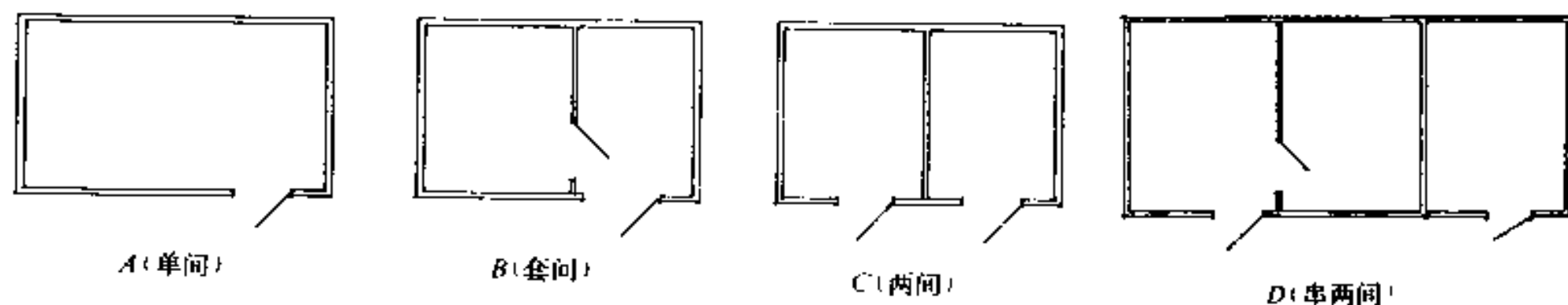


图 15.8-1 装配式冷库组合方式

(2) 制冷系统采用氨或氟利昂制冷机组,风冷或水冷可因地而异,工质有R-12、R-22、R-502等,库房冷分配设备有冷风机(吊顶式、落地式)或蒸发排管供选择。库内温度调节可通过制冷系统实现,当库温升(降)超过设定值时,制冷系统可自动开(停)。

2. 装配式冷库与土建式冷库的比较

装配式冷库系列组合表

表 15.8-1

A (mm) \ B (mm)		L ₁			L ₂			L ₃			L ₄		
		S	V	G	S	V	G	S	V	G	S	V	G
W ₁	h ₁												
	h ₂												
	h ₃												
W ₂	h ₁												
	h ₂												
	h ₃												

表中: A ——冷库长, mm, L₁、L₂、L₃...;
 B ——冷库宽, mm, W₁、W₂、W₃...;
 h ——库内净高, mm, h₁、h₂、h₃...;
 S ——面积, m², S = A × B;
 V ——体积, m³, V = S × h;
 G ——库容量, t, 可按 350kg/m³冻肉计。

装配库与土建库的比较

表 15.8-2

项 目	装 配 库	土 建 库	项 目	装 配 库	土 建 库
建造周期	短	长	严密性	好	稍差
建造投资	大	小	灵活性	灵活	不灵活
维护费用	较大	小	运行电耗	较大	小
降温速度	快	慢 (初运行)	温度回升	快	慢
热惰性	小	大	使用寿命	较短	长

15.8.2 冷 负 荷 估 算

根据实际经验推荐适用于公称容积在 200m³ 以下的装配式冷库冷负荷估算图 (见图 15.8-2 及图 15.8-3), 其设计条件:

(1) 冷库外的环境温度为 +32℃, 相对湿度 80%。

(2) 冷库内温度为 L 级冷藏库: +5℃ ~ -5℃;

D 级冷藏库: -10℃ ~ -20℃;

J 级冷藏库: -25℃。

(3) 有效容积是库内公称容积的 60%, 贮藏果蔬时可以将有效容积再乘以 0.8 修正系数。

(4) 食品进货温度 L 级冷藏库 +30℃;

D 级、J 级冷藏库 -5℃。

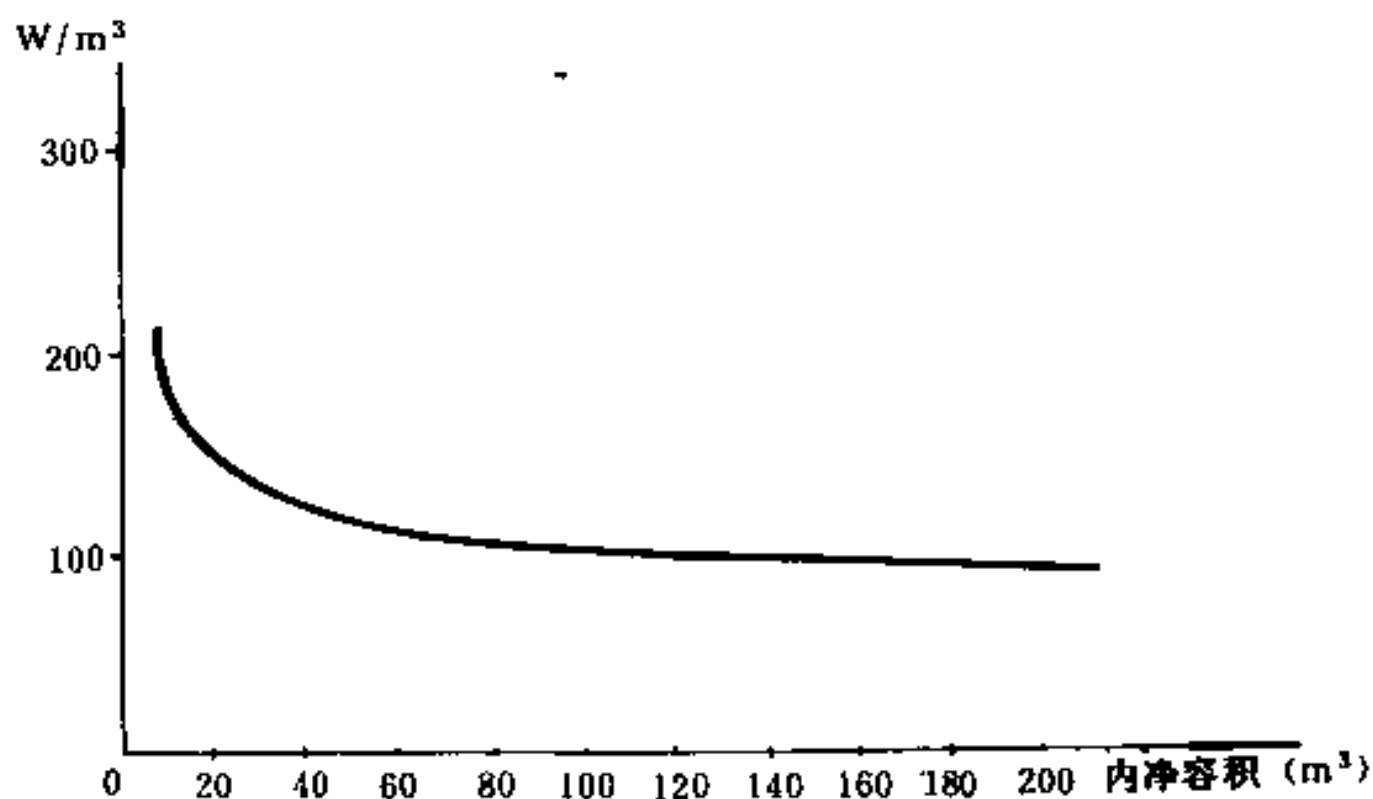


图 15.8-2 L 级冷藏库单位内净容积冷负荷估算图

注：由图查到的单位内净容积冷负荷，即为需配的制冷机产冷量，对库温在 $0 \sim +5^{\circ}\text{C}$ 来讲，已考虑到制冷机工作时间系数，对库温在 $-5 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 来讲，还需考虑制冷机工作时间系数。

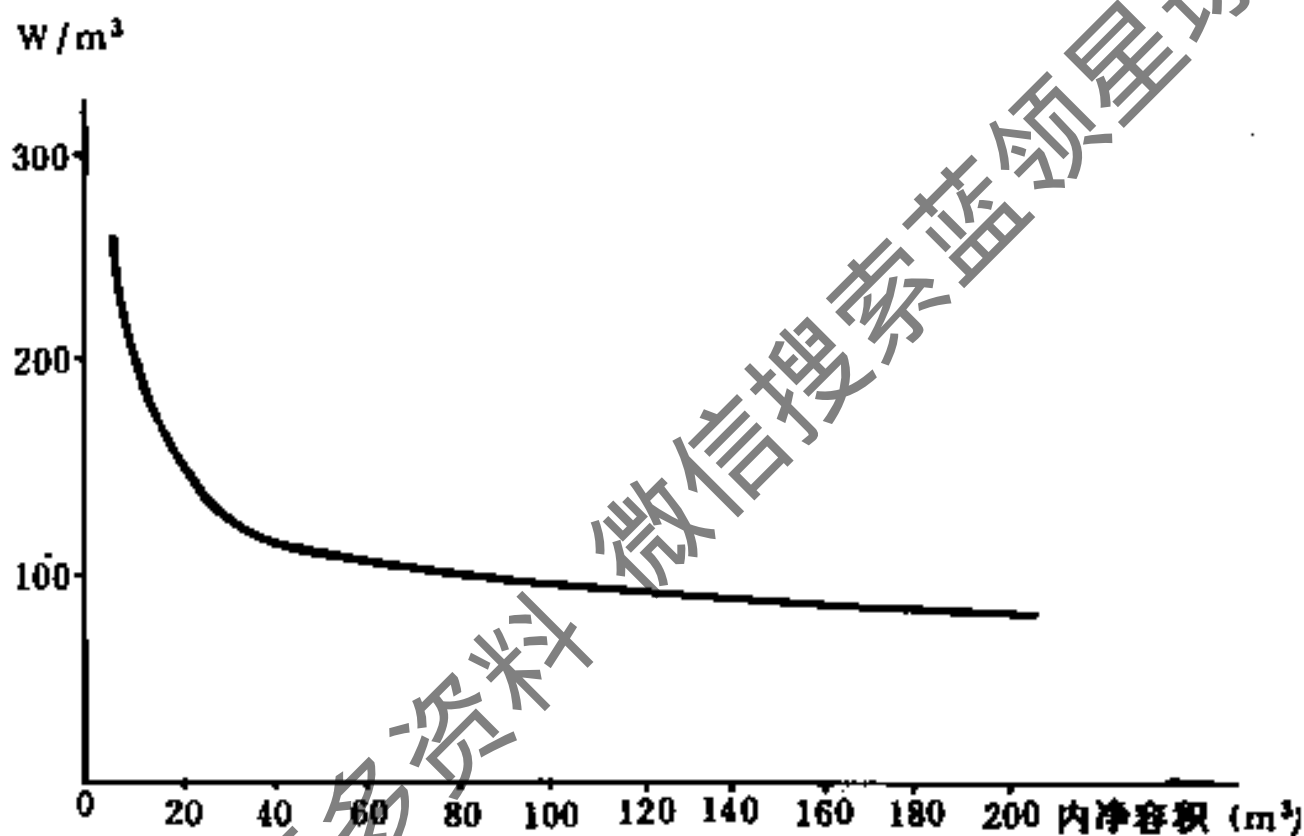


图 15.8-3 D、J 级冷藏库单位内净容积冷负荷估算图

注：由图查到的单位内净容积冷负荷，即为需配的制冷机产冷量，对 D 级冷藏库来讲已考虑到制冷机工作时间系数，对 J 级冷藏库来讲还需考虑制冷机工作时间系数。

- (5) 每天进库量为有效容积的 15~20%。
- (6) 制冷压缩机工作时间系数为 50~75%。

15.9 气调冷库

果蔬类食品的冷藏与湿度和空气的成份有密切关系，气调冷藏方法的特点是：

1. 保证果蔬类食品的稳定性，抑制它的成熟过程，减少低温伤害，生理损伤及微生物损害。
2. 延长贮藏时间，保存果蔬的生理结构，减少干耗。
3. 提高果蔬的保鲜质量。

4. 初投资和经常费较高。

气调库设计参考数据见表15.9-1。

气调库设计参考数据

表 15.9-1

内 容	特 征	备 注
温 湿 度	$t = -1 \sim +10^{\circ}\text{C} \quad \phi \quad 80 \sim 95\% \quad (\Delta t < \pm 0.5^{\circ}\text{C})$	
温湿度检测	自动控制, 自动显示自动记录	
气 密 性	<p>压差 < 100Pa</p> <p>(库内压力由200Pa降至100Pa时间 < 10min)</p> <p>气密性合格标准: $S < 0.09$</p> $S = \frac{\lg \frac{P_1}{P_2}}{t}$ <p>式中 P_1——库内起始压力, 一般取200~250Pa; P_2——t分钟后的压力, Pa; t——时间间隔, 一般取20min</p>	换气次数 $\frac{1}{50}$ 次 24h
空气成份 ^①	含O ₂ 量	2~5% 首次降氧时间单间960m ³ < 120h
	含CO ₂ 量	1.0~5%

①对室内气体成份的要求, 不同品种果蔬是不同的, 必须根据试验确定, 但对大多数水果来讲, 空气中含有2~3%的氧, 1~1.5%的二氧化碳, 其余由氮气平衡是较合适的, 这样在贮藏温度条件下, 水果的呼吸率可降低1/3, 贮藏期可延长2~4个月。

与普通高温冷库相比, 气调库的最大特点是要求保持好的气密性, 同时还要增加一些设备, 见表15.9-2。

气调库特有的一些设备

表 15.9-2

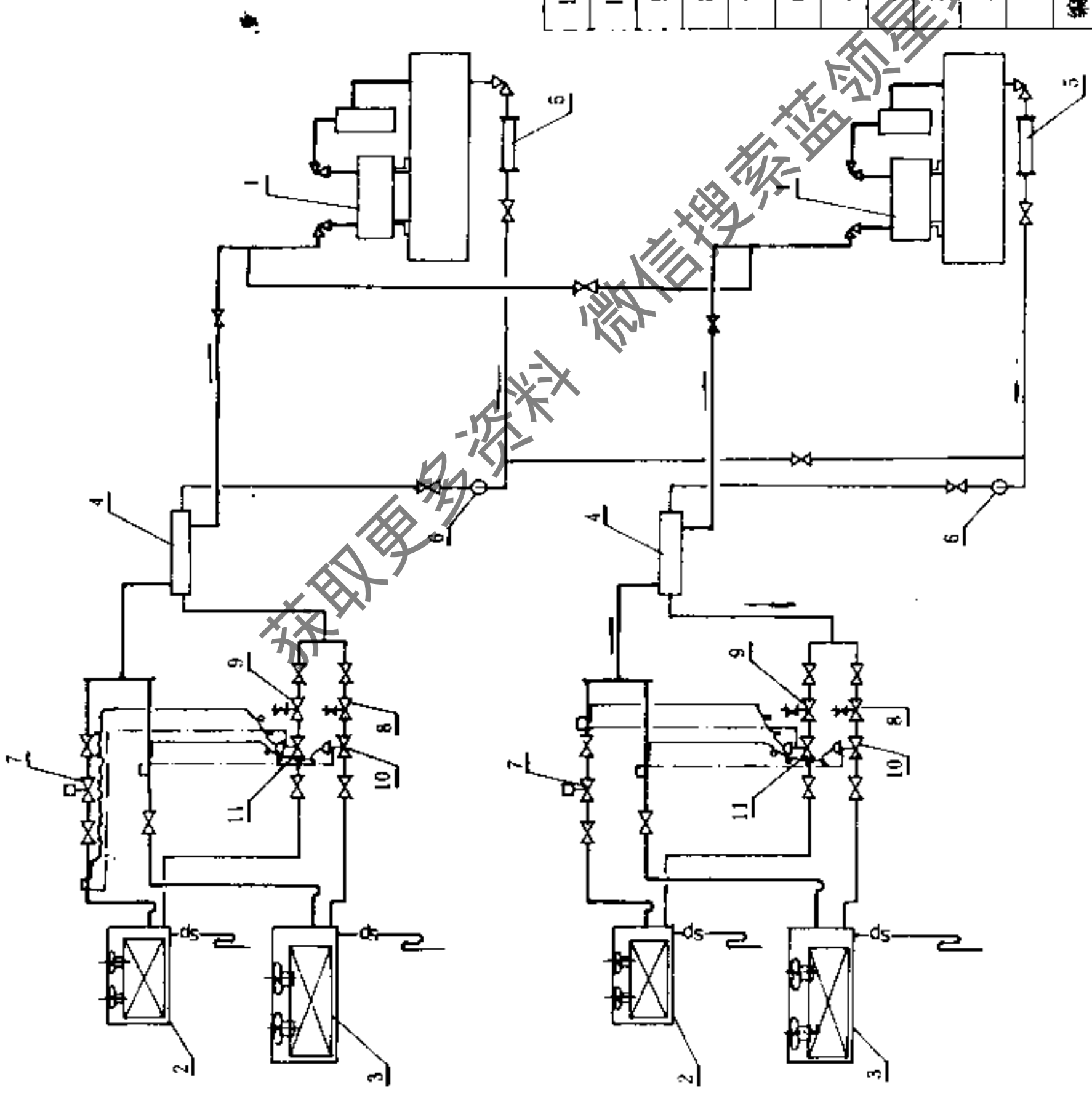
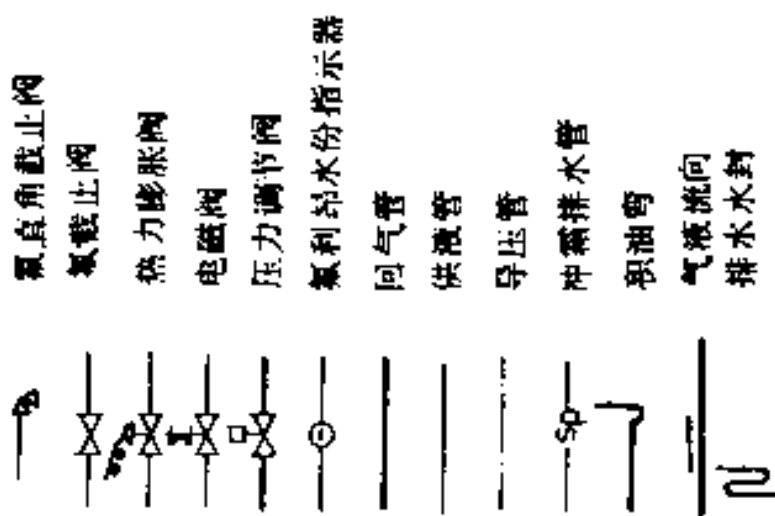
序 号	名 称	序 号	名 称
1	催化燃烧式降氧机	5	贮气袋
2	二氧化碳脱除机	6	水封泄压袋
3	液化石油气罐 (降氧机用)	7	气体测量仪表
4	气密门帘及门底水槽		

气调库的单间容积一般在600~5000m³左右, 库内高度一般在4~7.5m之间。

15.10 小冷库工程实例

见图15.10 1~图15.10-4

图例



11	热力膨胀阀	XRF4 6	只	2
10	热力膨胀阀	XRF5-9	只	2
9	电磁阀	FDF8	只	2
8	电磁阀	FDF10	只	2
7	压力调节阀	ZFY 19	只	2
6	氟利昂水份指示器	FYS-16	只	2
5	干燥过滤器	GGL-16	只	2
4	热交换器	HR 0.2m ²	个	2
3	吊顶冷风机	DD12-5.8/40	台	2
2	吊顶冷风机	DD12 2.0/12	台	2
1	压缩冷凝机组	JZ 35(4FS7B)	台	2
编号	设备名称	规格、型号	单位	数量

图 15.10 1 公称容积150m³ (20t冷风机式) 小冷库制冷工艺原理图

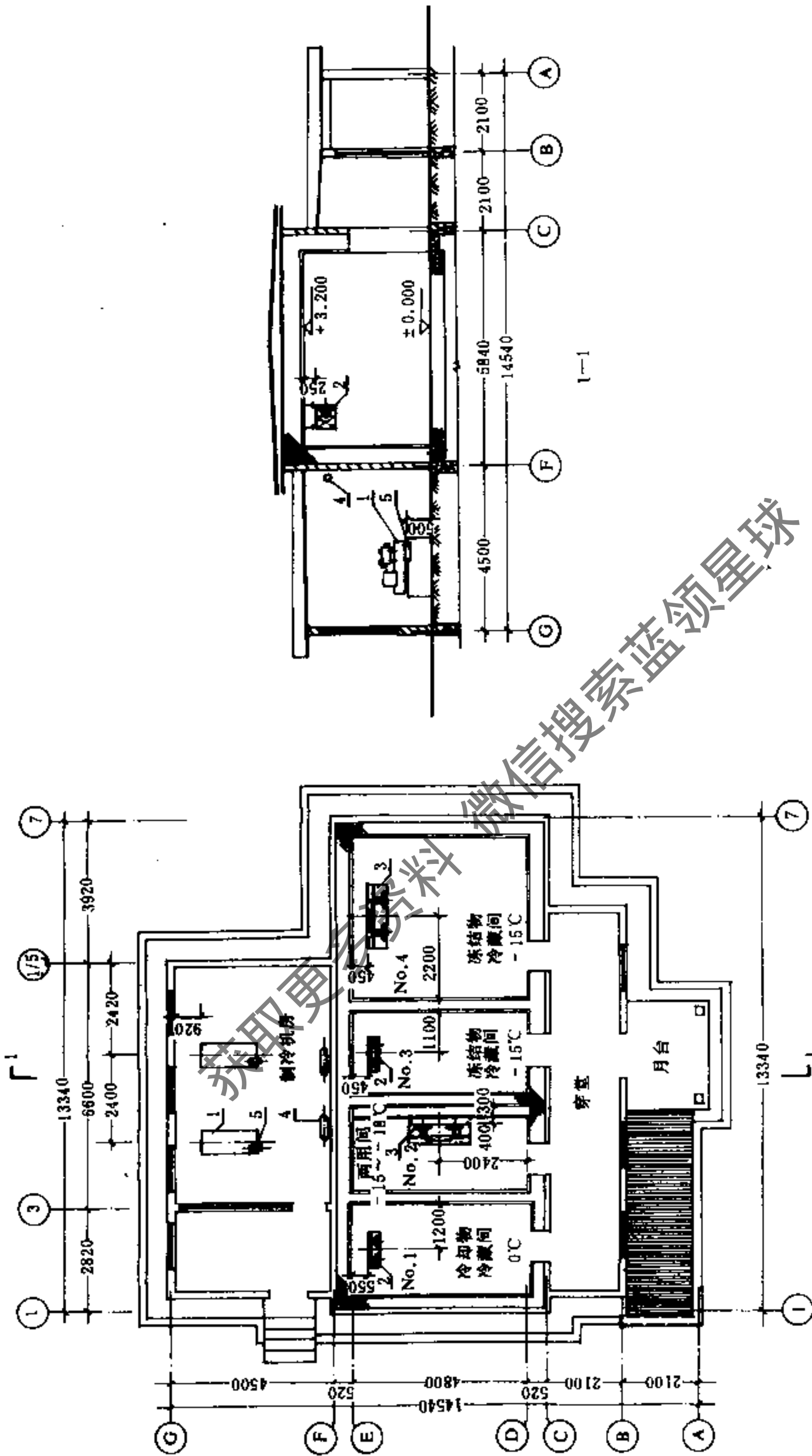
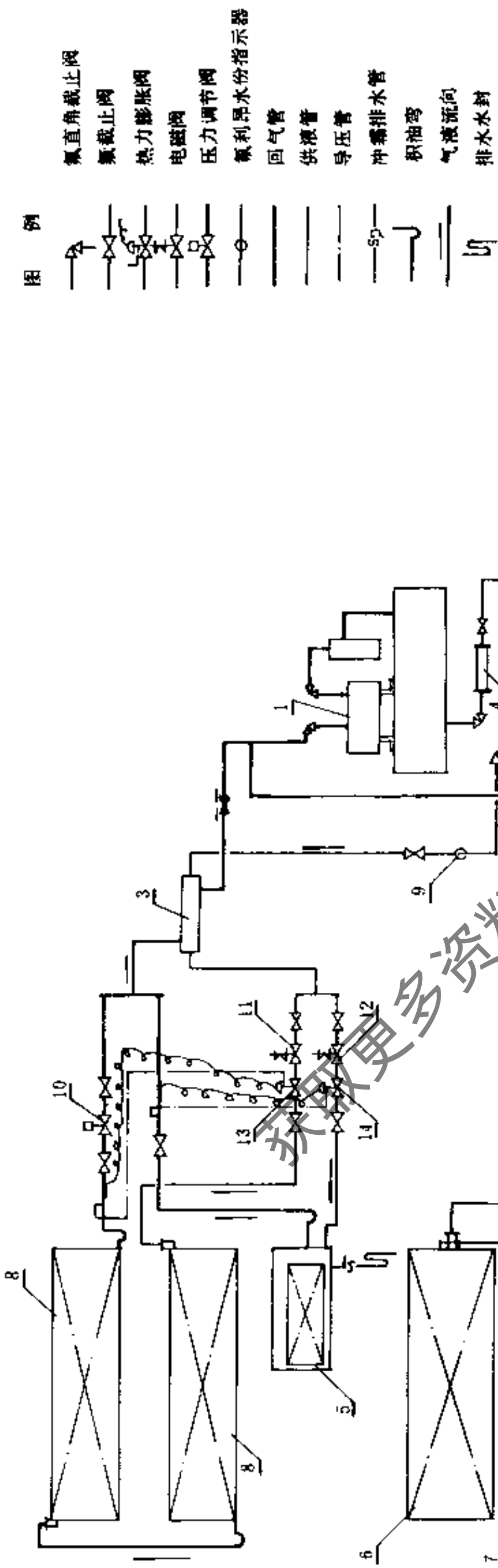


图 15.10.2 公称容积150m³ (20t冷风机式) 小冷库制冷工艺平面图



14	热力膨胀阀	XRF5-9	只	2		
13	热力膨胀阀	XRF4-6	只	2		
12	电磁阀	FDF10	只	2		
11	电磁阀	FDF8	只	2		
10	压力调节阀	ZFY-19	只	1		
9	氟利昂水份指示器	FYS-16	个	2		
8	墙排管蒸发器(二)	18根×4.0(m)	组	2		
7	墙排管蒸发器(一)	20根×4.0(m)	组	3		
6	顶排管蒸发器	20根×4.0(m)	组	3		
5	吊顶冷风机	DD12-5.8/40	台	1		
4	干燥过滤器	GGL-16	只	2		
3	热交换器	HR-0.2m ²	台	2		
2	贮液器	V = 0.1m ³	个	2		
1	压缩冷凝机组	JZ-35(4FS7B)	台	2		
编号	设备名称	规格、型号	单位	数量	备注	

图 15.10 3 公称容积150m³ (201排管式) 小冷库制冷工艺原理图

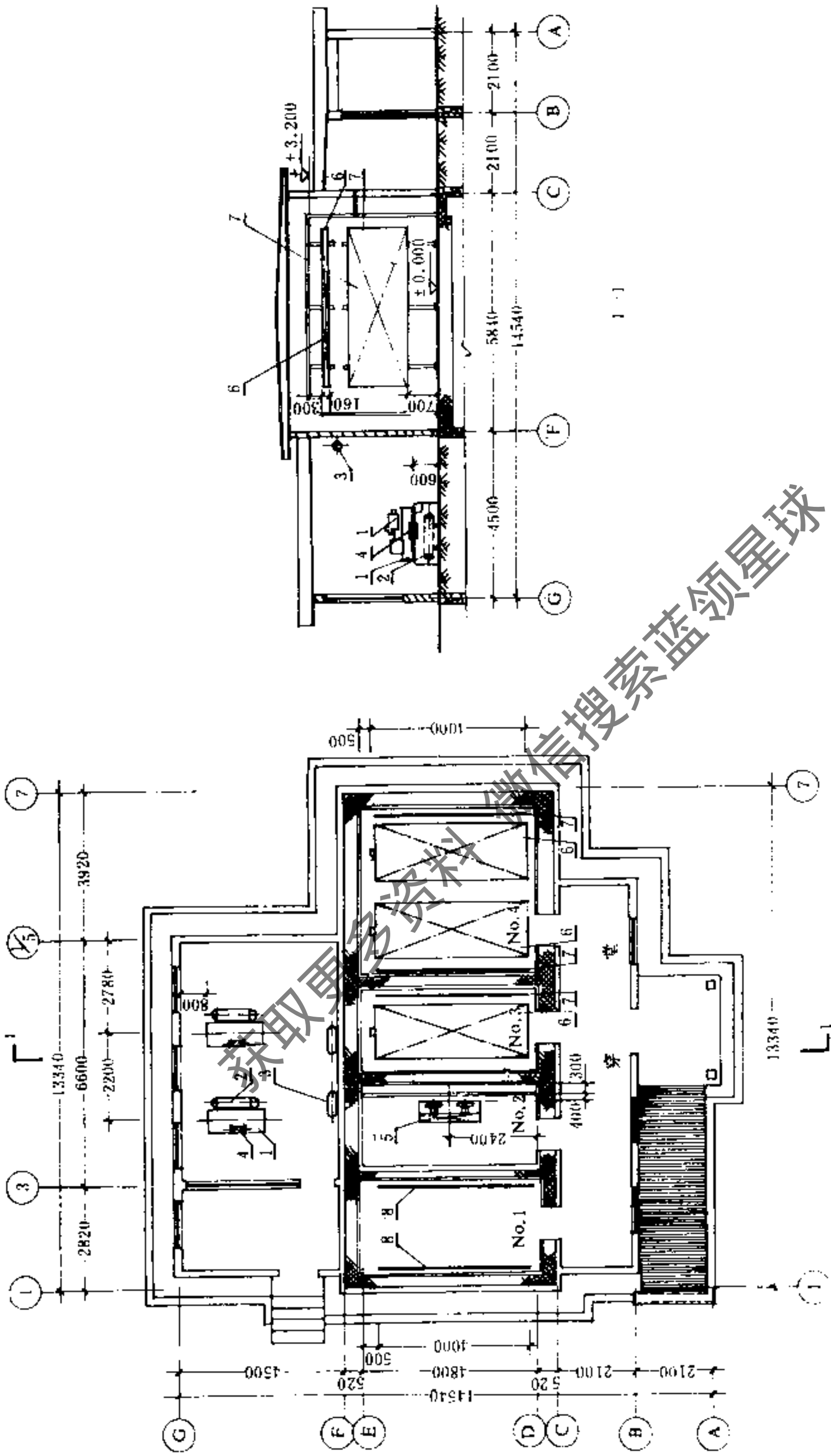


图 15.10 4 公称容积 150m^3 (20 排管式) 小冷库制冷工艺平面剖面图

第十六章 噪声与振动控制设计

16.1 噪声源及噪声控制标准

16.1.1 风机噪声

风机噪声由空气动力性噪声及机械噪声两部分组成，其中又以空气动力性噪声为主。风机噪声的大小取决于风机的结构型式、流量、全压及转速等因素。

常用风机噪声的评价量为声功率级和比声功率级及其频率特性，通风机的总声功率级 L_w (dB)：

$$L_w = L_{wc} + 10 \lg(QH^2) - 20 \quad (16.1-1)$$

式中 L_{wc} ——通风机的比声功率级，dB (定义为同一系列风机在单位风量“ m^3/h ”和单位风压“10 Pa”条件下所产生的总声功率级，dB)；

Q ——通风机的风量， m^3/h ；

H ——通风机的全压，Pa。

同一台风机的最佳工况点就是其最高效率点，也是比声功率级的最低点。一般中低压离心通风机的比声功率级值在最佳工况点时可取24dB。

国内几种风机的比声功率级值见表16.1-1。

几种风机的比声功率级值

表 16.1-1

T4-72型			4-79型			4-72 11型			4-62型			4-68型		
\bar{Q}	L_{wc}	η	\bar{Q}	L_{wc}	η	\bar{Q}	L_{wc}	η	\bar{Q}	L_{wc}	η	\bar{Q}	L_{AC}	η
0.10	27	0.68	0.12	35	0.78	0.05	40	0.60	0.05	34	0.50	0.14	2	0.65
0.14	23	0.78	0.16	34	0.82	0.10	32	0.70	0.10	24	0.68	0.17	1	0.79
0.18	22	0.84	0.20	26	0.85	0.15	23	0.81	0.14	23	0.73	0.20	1	0.88
0.20	22	0.86	0.25	21	0.87	0.20	19	0.91	0.18	25	0.72	0.23	2	0.87
0.24	23	0.86	0.30	23	0.85	0.25	21	0.87	0.22	28	0.65	0.25	6	0.81
0.28	28	0.75	0.35	28	0.74	0.30	27	0.76	0.26	35	0.50	0.27	9	0.66

注： \bar{Q} —流量系数； η —全压效率； L_{AC} —比A声功率级。

风机各倍频带的声功率级 L_{wf} (dB)：

$$L_{wf} = L_w + \Delta L_w \quad (16.1-2)$$

式中 ΔL_w ——风机各倍频带的声功率级修正值，dB (见表16.1-2)。

离心通风机与轴流风机的典型噪声频谱特性如图16.1-1所示：

轴流风机的声功率级 L_w (dB)：

$$L_w = 19 + 10 \lg Q + 25 \lg H + \delta \quad (16.1-3)$$

式中 Q ——风量， m^3/h ；

H ——风压，Pa；

δ ——工况修正值，见表16.1-3。

风机倍频带声功率级修正值 表 16.1-2

频率	倍频带中心频率 (Hz)							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
通风机类型								
离心通风机 (叶片前弯)	-2	-7	-12	-17	-22	-27	-32	-37
离心通风机 (叶片后弯)	-5	-6	-7	-12	-17	-22	-26	-33
轴流通风机	-9	-8	-7	-7	-8	-10	-14	-18

注: T4-72型为强后倾弯叶式; 4-79型为后倾弯叶式; 4-72型为后倾机翼式; 4-62型为后倾平板式。

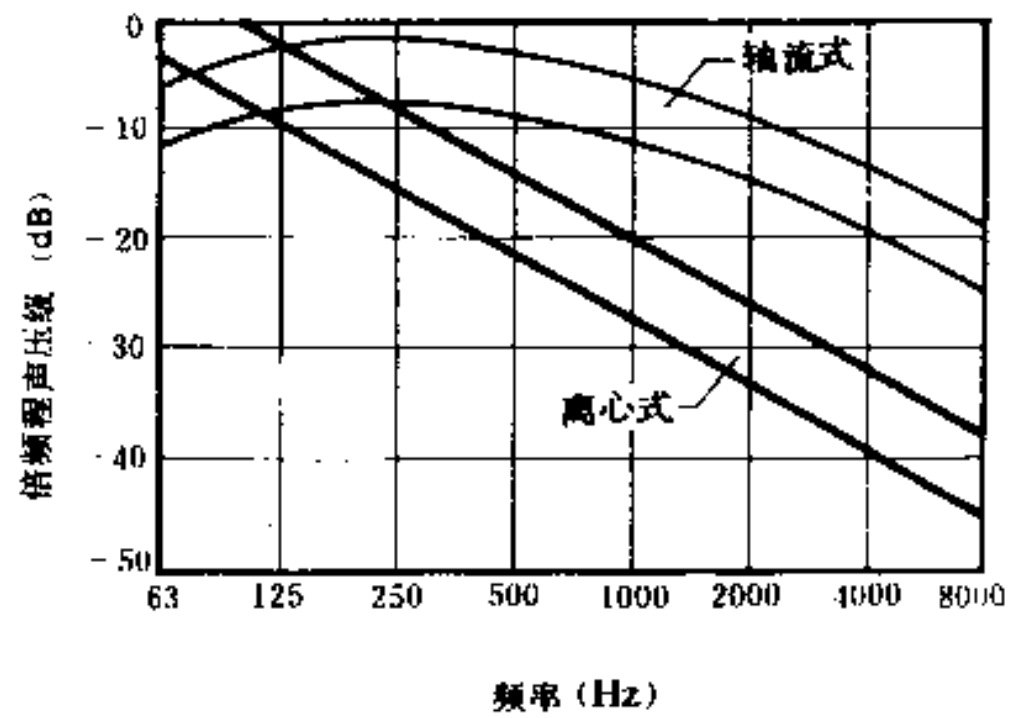


图 16.1-1 典型风机噪声频谱特性

轴流风机声功率级工况修正值 表 16.1-3

流量比		Q/Q_m						
叶片数 z	叶片角度 θ	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
4	15°	—	3.4	3.2	2.7	2.0	2.3	4.6
8	15°	-3.4	5.0	5.0	4.8	5.2	7.4	10.6
4	20°	-1.4	-2.5	4.5	-5.2	-2.4	1.4	3.0
8	20°	4.0	2.5	1.8	1.9	2.2	3.0	—
4	25°	4.5	2.0	1.6	2.0	2.0	4.0	—
8	25°	9.0	8.0	6.4	6.2	8.0	6.4	—

注: Q_m 是轴流风机最高效率点的风量, 一般应为 $Q/Q_m = 1$ 。

多台风机串联或并联运行时, 其总声功率级 L_w (dB):

$$L_w = L_{wh} + \Delta\beta \quad (16.1-4)$$

式中 L_{wh} ——两台风机中噪声较高一台的声功率级值, dB;

$\Delta\beta$ ——附加声功率级值, dB, 它可根据两台风机声功率级的差值 ΔL_w 查表 16.1-4 得到:

$\Delta\beta$ 值 表 表 16.1-4

ΔL_w (dB)	0	1	2	3	4	6	9
$\Delta\beta$ (dB)	3.0	2.6	2.2	1.8	1.5	1.0	0.5

16.1.2 气流噪声

1. 直管道

直管道的气流噪声声功率级 L_w (dB):

$$L_w = L_{wc} + 50 \lg V + 10 \lg F \quad (16.1-5)$$

式中 L_{wc} ——直管比声功率级, 一般取 10 dB;

V ——直管内气流速度, m/s;

F ——直管道的断面积, m^2 。

直管道气流噪声的倍频程修正值可由表16.1 5查得。

直管道气流噪声倍频带修正值

表 16.1-5

中心频率 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K
修正值 (dB)	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-13	-20

2. 弯头

弯头的气流噪声声功率级 L_w (dB):

$$L_w = L_{wc} + 10 \lg f_D + 30 \lg d + 50 \lg V \quad (16.1-6)$$

式中 L_{wc} ——弯头比声功率级 (由图16.1-2及图16.1-3查得);

f_D ——倍频带低限频率, Hz, $f_D = f_z / \sqrt{2}$;

f_z ——倍频带中心频率, Hz;

d ——风管的直径或当量直径, m;

V ——弯头内流速, m/s。

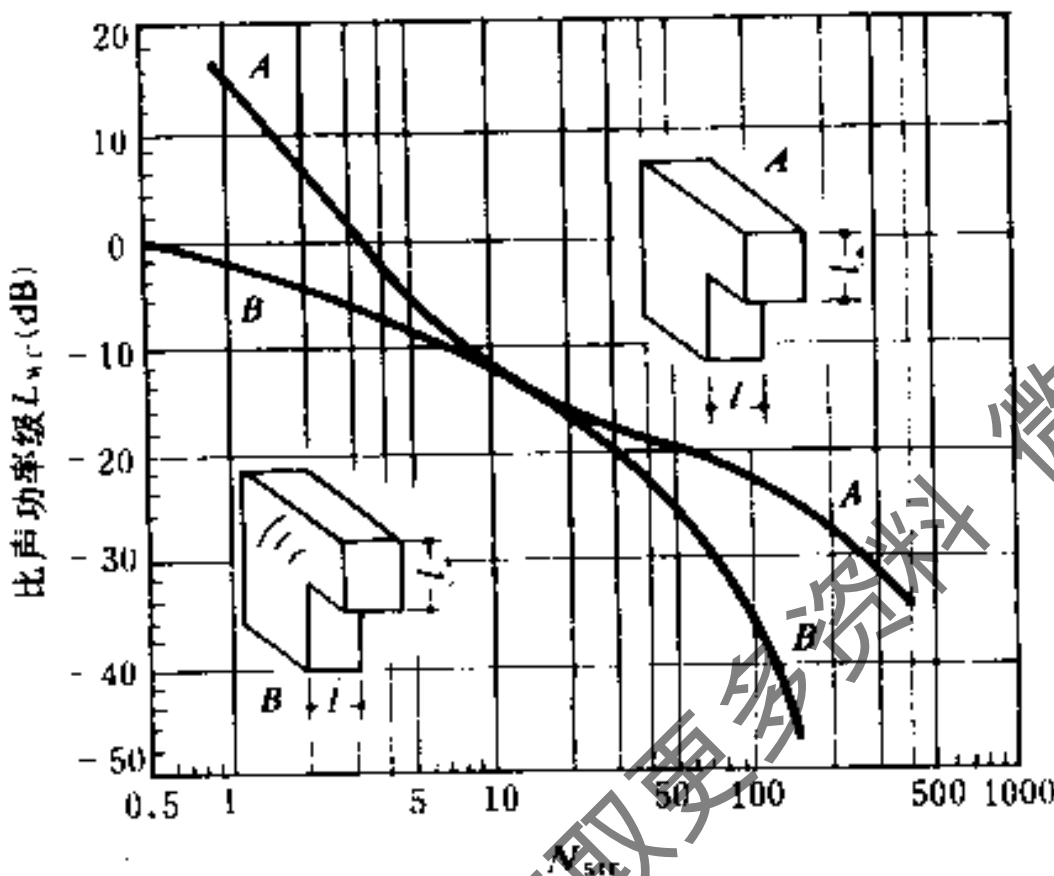


图 16.1-2 正方形弯头的 L_{wc} 值

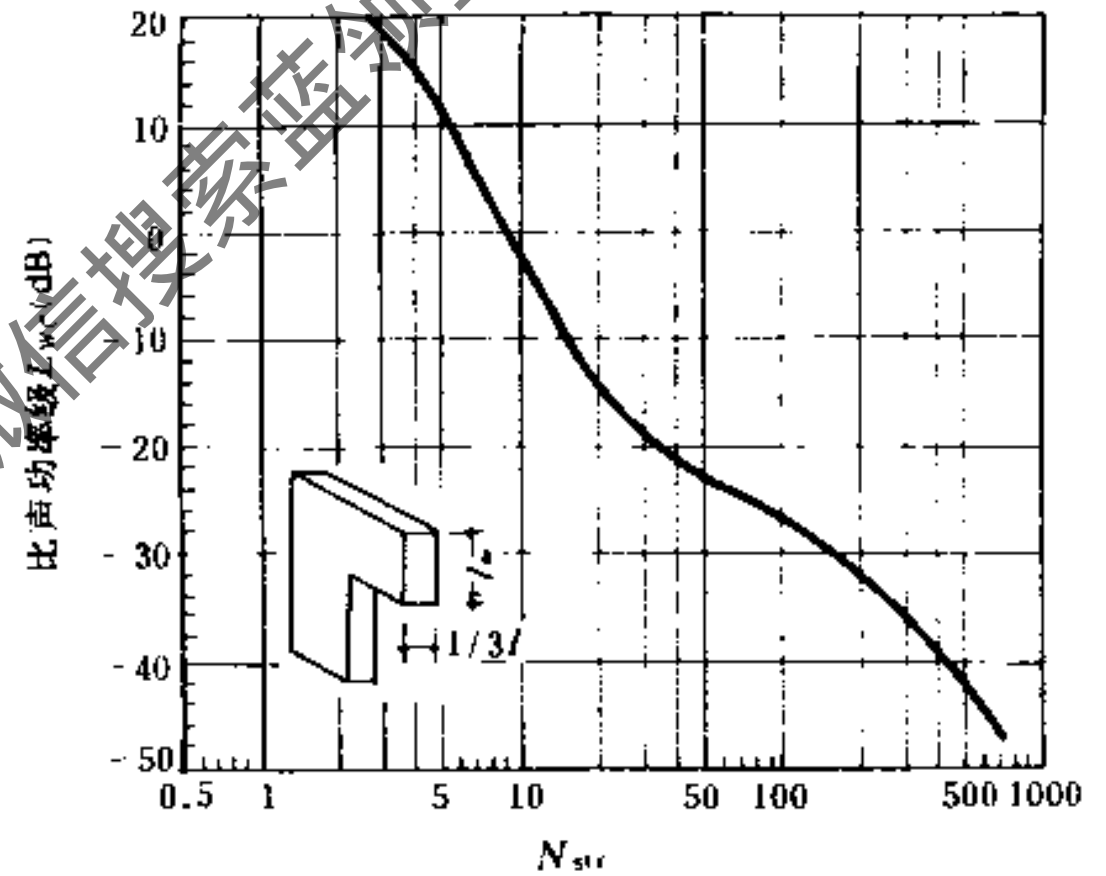


图 16.1-3 矩形弯头的 L_{wc} 值

图中的 N_{str} 为斯脱立哈尔数, 由 $N_{str} = f_z \cdot d / V$ 算得。

3. 三通

三通的气流噪声声功率级 L_w (dB):

$$L_w = L_{wc} + 10 \lg f_D + 30 \lg d + 50 \lg V_a \quad (16.1-7)$$

式中 L_{wc} ——比声功率级, 可根据 V_i / V_a 值由图16.1-4查得;

V_i ——进入三通的流速, m/s;

V_a ——离开三通的流速, m/s。

从图16.1-4查得的 L_{wc} 仅适用于 $r/d_e = 0.15$ 条件 (r 为弯头曲率半径), 对于不同的 r/d_e 值, 应按图16.1-5进行修正。

4. 出风口

(1) 定风速扩散型出风口的气流噪声声功率级 L_w (dB):

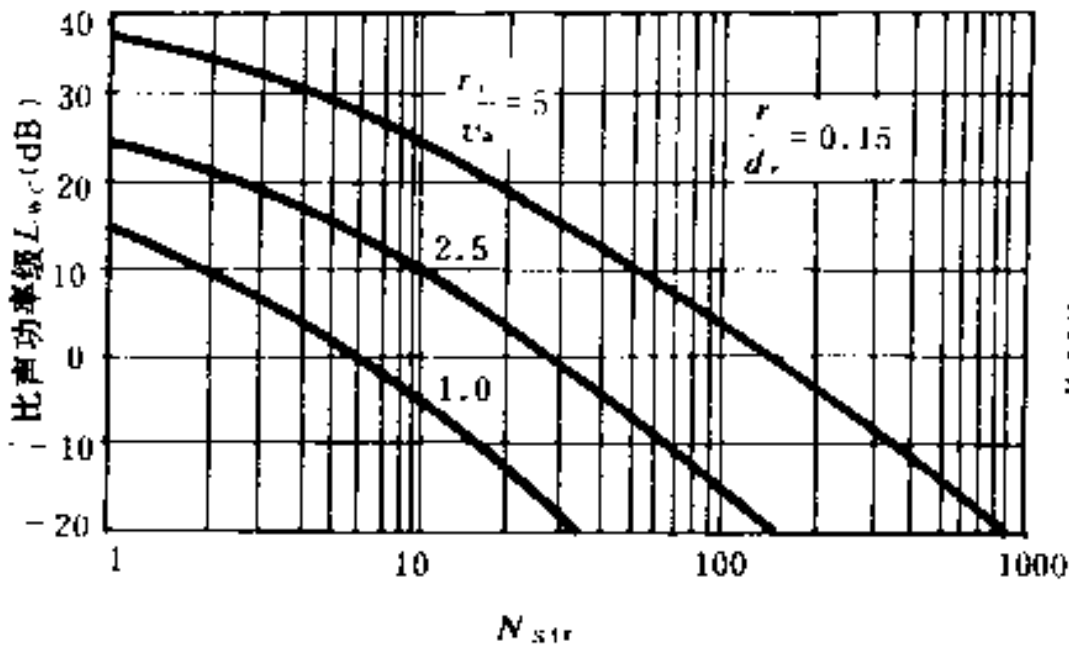


图 16.1-4 三通的 L_{wc} 值

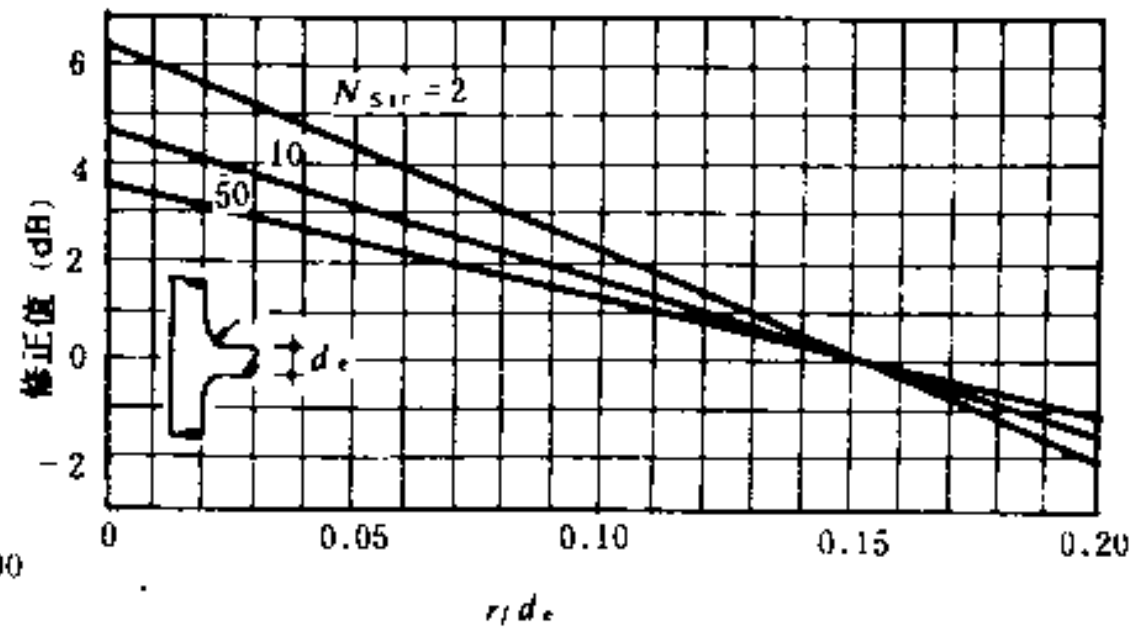


图 16.1-5 三通的 ΔL_{wc} 修正值

$$L_w = L_{wc} + 10 \lg f_D + 30 \lg (d \cdot V) \quad (16.1-8)$$

式中 L_{wc} ——比声功率级值, dB。由图16.1-4查得;

d ——散流器颈部直径, m;

V ——散流器颈部流速, m/s。

(2) 带调节百页出风口的气流噪声声功率级值可由图16.1-7查得。

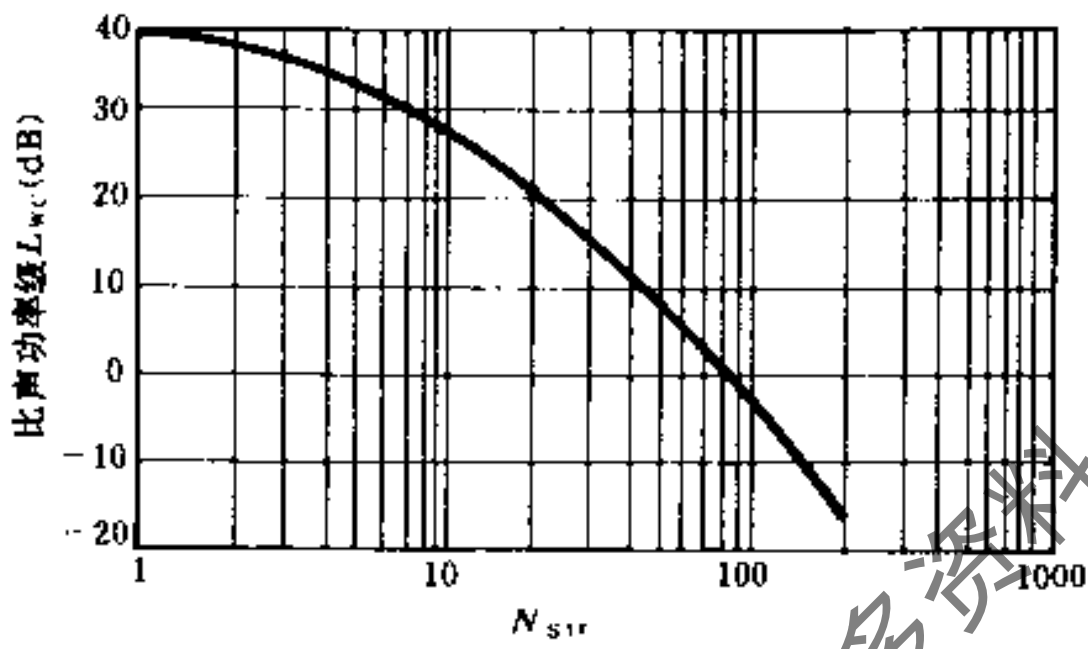


图 16.1-6 定风速扩散型出风口的气流噪声声功率级

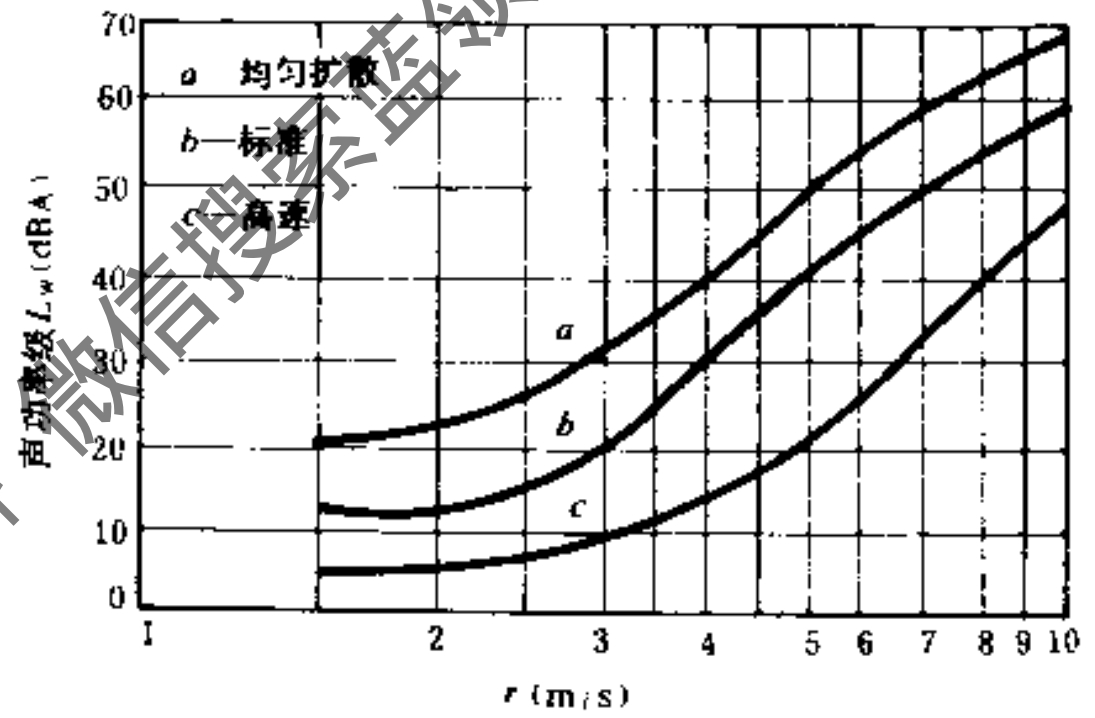


图 16.1-7 带调节百页出风口的气流噪声声功率级

(图中以有效流通面积 $F_T = 0.01 \text{ m}^2$ 为条件, 如 $F_T \neq 0.01$,

则应加修正值 $10 \lg \frac{F_T}{0.01}$)

(3) 孔板出风口的气流噪声声功率级 L_w (dB):

$$L_w = 15 + 60 \lg V + 30 \lg \xi + 10 \lg F \quad (16.1-9)$$

式中 V ——孔板前的流速, m/s;

ξ ——孔板的阻力系数;

F ——孔板的总面积, m^2 。

16.1.3 噪声控制标准

1. 睡眠、交谈和听力保护的 建议标准 (见表16.1-6)
2. 工业企业噪声卫生标准 (试行) (见表16.1-7)
3. 工业企业噪声控制设计规范 (GBJ87-85)

睡眠、交谈及听力保护的 建议标准 表 16.1-6

适用范围	理想值 (dBA)	极大值 (dBA)
睡 眠	30	50
交谈思考(脑力劳动)	40	60
听力保护(体力劳动)	70	90

工业企业噪声卫生标准(试行)表 16.1-7

生产车间工人每天接触噪声时间 (h)	容许噪声级 (dBA)	
	现有企业	新建企业
8	90	85
4	93	88
2	96	91
1	99	94

注: 最高噪声不得超过115dB(A)。

本规范对工业企业厂区内各类地点的A声级提出了允许标准,见表16.1-8。表中噪声限制值均为每天8h连续A声级,如接触噪声时间减半,则噪声限制值可以增加3dB(A)。表中室内背景噪声级,系在室内无声源发声的条件下,从室外经由墙、门、窗(门窗启闭状况为常规状况)传入室内的室内平均噪声级。

工业企业厂区内各类地点噪声标准

表 16.1-8

序号	地 点 类 别	噪声限制值 (dBA)	
1	生产车间及作业场所(工人每天连续接触噪声8h)	90	
2	高噪声车间设置的值班室、观察室、休息室(室内背景噪声级)	无电话通讯要求时	75
		有电话通讯要求时	70
3	精密装配线、精密加工车间的工作点、计算机房(正常工作状态)	70	
4	车间所属办公室、实验室、设计室(室内背景噪声级)	70	
5	主控制室、集中控制室、通讯室、电话总机室、消防值班室(室内背景噪声级)	60	
6	厂部所属办公室、会议室、设计室、中心实验室(包括试验、化验、计量室)(室内背景噪声级)	60	
7	医务室、教室、哺乳室、托儿所、工人值班宿舍(室内背景噪声级)	55	

4. 城市区域环境噪声标准 (GB3096-82)

我国城市各类区域的环境噪声如表16.1-9所示。表中数值均为等效连续A声级,评价

城市区域环境噪声标准 (GB3096-82)

表 16.1-9

适 用 区 域	昼 间 (6:00~22:00)	夜 间 (22:00~5:00)
特殊住宅区(特别需要安静的住宅区)	45	35
居民、文教区(居民及文教机关区)	50	40
一类混合区(一般商业与居民混合区)	55	45
二类混合区(工业、商业、少量交通与居民混合区)商业中心区(商业集中的繁华地区)	60	50
工业集中区(城市区域规划明确的工业区)	65	55
交通干线道路两侧(车流量>100辆/h的道路)	70	55

点为受影响者的居住或建筑物外 1 m 点，如必须在室内测量时，则室内标准值应低于所在区域 10 dBA。

5. 民用建筑室内噪声允许标准

民用建筑隔声设计规范 (GBJ118-88) 中对四类建筑物室内允许噪声级作了规定，见表 16.1-10、表 16.1-11、表 16.1-12 和表 16.1-13。

住宅室内允许噪声级 表 16.1-10

房间类别	允许噪声级 (dBA)		
	一级	二级	三级
卧室	<40	<45	<50
起居室	<45	<50	

学校室内允许噪声级 表 16.1-11

房间类别	允许噪声级 (dBA)		
	一级	二级	三级
有特殊安静要求的房间	<40	/	/
一般教室	/	<50	/
无特殊安静要求的房间	/	/	<55

旅馆室内允许噪声级

表 16.1-12

房间类别	允许噪声级 (dBA)			
	特级	一级	二级	三级
客房	<35	<40	<45	<55
会议室	<40	<45	<50	
多用途大厅	<40	<45	<50	/
办公室	<45	<50	<55	
餐厅、宴会厅	<50	<55	<60	/

医院室内允许噪声级 表 16.1-13

房间类别	允许噪声级 (dBA)		
	一级	二级	三级
病房、医生休息室	<40	<45	<50
门诊室	<55		<60
手术室	<45		<50
测听室	<25	<30	

6. NR 噪声评价曲线 (图 16.1-8)

NR 噪声评价曲线由国际标准化组织 (ISO) 提出，简称 NR 曲线，NR 曲线相应的 A 声级值可近似由 $L_A = 0.8NR + 18$ 求得。

通风空调系统噪声控制设计中常用 NR 曲线，对应的倍频程声压级值，可由表 16.1-14 查得。

7. 各类建筑物室内允许噪声级

我国尚未制定出各类建筑物室内噪声允许标准，表 16.1-15 所列数值可供设计参考。

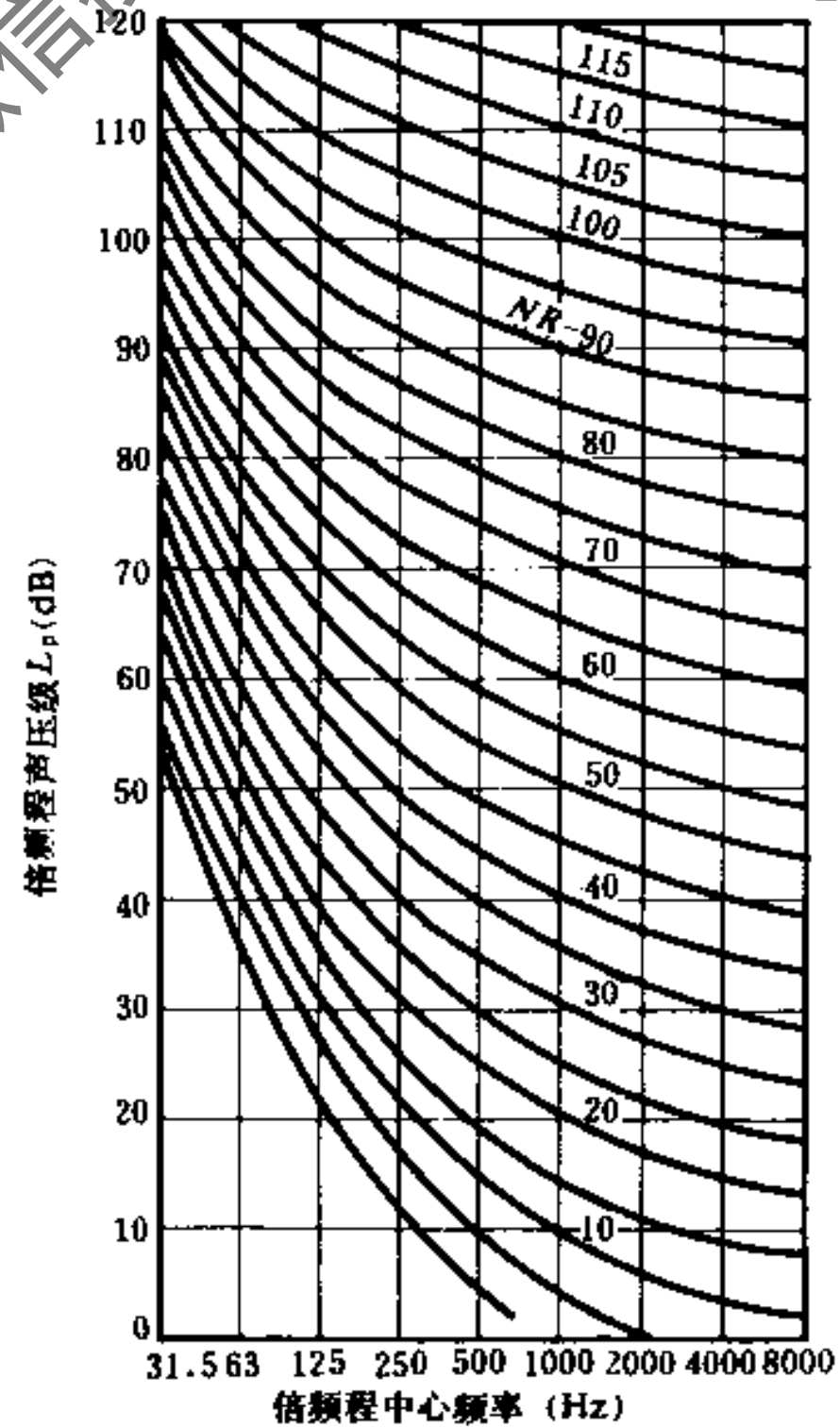


图 16.1-8 噪声评价曲线

NR曲线的倍频程声压级

表 16.1-14

频率(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR数								
10	43.4	30.7	21.3	14.5	10	6.6	4.2	2.3
15	47.3	35.0	25.9	19.4	15	11.7	9.3	7.4
20	51.3	39.4	30.6	24.3	20	16.8	14.4	12.6
25	55.2	43.7	35.2	29.2	25	21.9	19.5	17.7
30	59.2	48.1	39.9	34.0	30	26.9	24.7	22.9
35	63.1	52.4	44.5	38.9	35	32.0	29.8	28.0
40	67.1	56.4	49.2	43.8	40	37.1	34.9	33.2
45	71.0	61.1	53.6	48.6	45	42.2	40.0	38.3
50	75.0	65.5	58.5	53.5	50	47.2	45.2	43.5
55	78.9	69.8	63.1	58.4	55	52.3	50.3	48.6
60	82.9	74.2	67.8	63.2	60	57.4	55.4	53.8
65	86.8	78.5	72.4	68.1	65	62.5	60.5	58.9
70	90.8	82.9	77.1	73.0	70	67.5	65.7	64.1
75	94.7	87.2	81.7	77.9	75	72.6	70.8	69.2
80	98.7	91.6	86.4	82.7	80	77.7	75.9	74.4
85	102.6	95.9	91.0	87.6	85	82.8	81.0	79.5
90	106.6	100.3	91.7	92.5	90	87.8	86.2	84.7

各类建筑物室内允许噪声级

表 16.1-15

建 筑 物 类 别	噪声评价数NR等级	A声级值dB (A)
广播录音室、播音室	10~20	26~34
音乐厅、剧院、电视演播室	20~25	34~38
电影院、讲演厅、会议厅	25~30	38~42
办公室、设计室、阅览室、审判厅	30~35	42~46
餐厅、宴会厅、体育馆、商场	35~45	46~54
候机厅、候车厅、候船厅	40~50	50~58
洁净车间、带机械设备的办公室	50~60	58~66

16.2 消 声 设 计

16.2.1 管路系统的自然衰减

1. 直管道

矩形管道和圆形管道的噪声自然衰减量可按表16.2-1查得。

2. 弯头

方形及圆形直角弯头的噪声自然衰减量可查表16.2-2得到。

3. 三通（分支管）

管道分叉时，噪声能量一般按分支管面积比例分给各个支管，由主管到支管的噪声自然衰减量 ΔL_w (dB)：

$$\Delta L_w = 10 \lg \frac{F_i}{\sum F_i} \quad (16.2-1)$$

式中 F_i ——计算支管的截面积, m^2 ;
 ΣF_i ——三通分叉后的全部支管面积, m^2 。

直管道噪声自然衰减量

表 16.2-1

风管形状及尺寸(m)		倍频带衰减量 (dB/m)				
		63	125	250	500	>1000
矩形 风管	0.075~0.2	0.6	0.6	0.45	0.3	0.3
	0.2~0.4	0.6	0.6	0.45	0.3	0.2
	0.4~0.8	0.6	0.6	0.30	0.15	0.15
	0.8~1.6	0.45	0.3	0.15	0.10	0.06
圆形 风管	0.075~0.2	0.1	0.1	0.15	0.15	0.3
	0.2~0.4	0.06	0.1	0.10	0.15	0.2
	0.4~0.8	0.03	0.06	0.06	0.10	0.15
	0.8~1.6	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06

注: 1. 风管尺寸均为直径或当量直径 (矩形风管);
 2. 本表仅适用于管路较长, 管内流速较低 ($<8m/s$) 条件, 否则直管噪声衰减可忽略不计。

弯头噪声的自然衰减量

表 16.2-2

弯头形状及尺寸(m)		倍频带衰减量 (dB)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
圆形 弯头	0.125~0.25	—	—	—	1	2	3	3
	0.28~0.50	—	—	1	2	3	3	3
	0.53~1.00	—	1	2	3	3	3	3
	1.05~2.00	1	2	3	3	3	3	3
方形 弯头	0.125	—	—	1	5	7	5	3
	0.250	—	—	5	7	5	3	3
	0.50	1	5	7	5	3	3	3
	1.00	5	7	5	3	3	3	3

注: 1. 带有内衬材料弯头, 其衰减量会有明显改善;
 2. 设有导流片的弯头, 其衰减量可取圆弯头及方弯头的平均值。

4. 变径管

管道截面积的突然扩大或缩小处, 噪声衰减量 ΔL (dB) (由图16.2-1查得):

$$\Delta L = 10 \lg [(1+m)^2 / 4m] \quad (16.2-2)$$

式中 $m = \frac{F_2}{F_1}$ —— F_2 、 F_1 分别为变径后及变径前的管道截面积, m^2 。

5. 风口末端损失

当风口管内的噪声由风口进入房间内时会因末端反射而产生衰减量, 称为风口末端损失, 可由图16.2-2查得。图中风口位置分四种条件:

- I、房间中间 (即风口突出墙面);
- II、墙或顶棚中部;
- III、侧墙或侧墙与顶棚交角线上;
- IV、三面交角部。

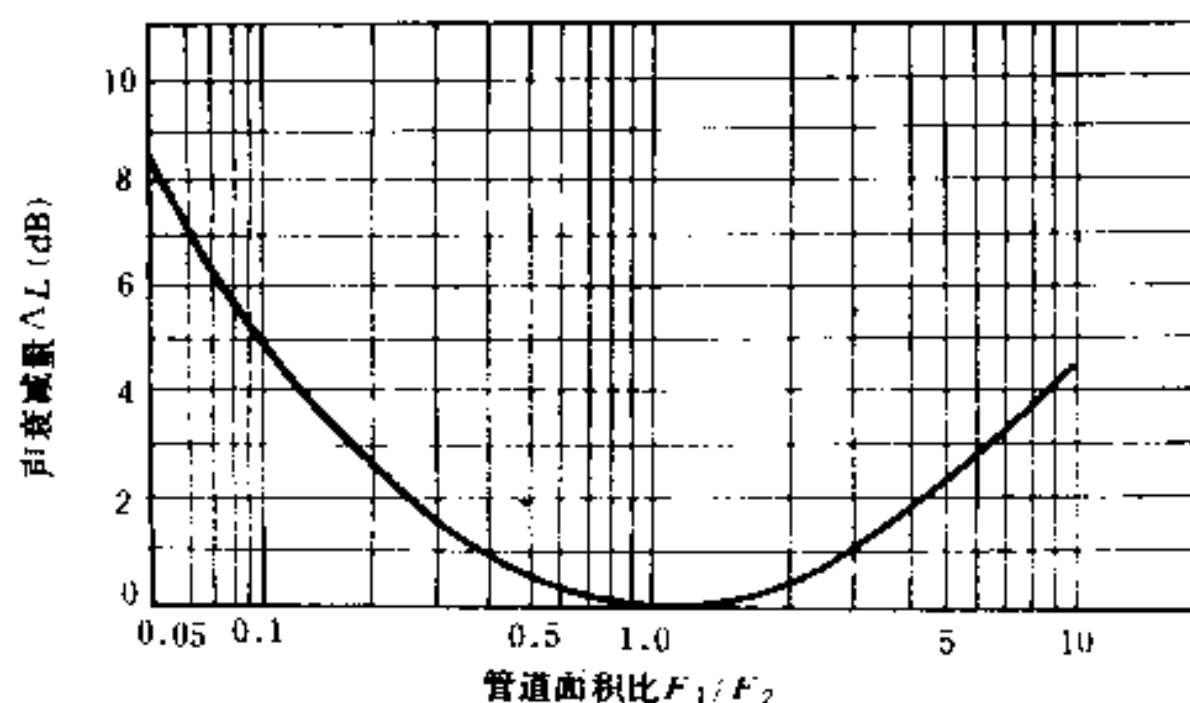
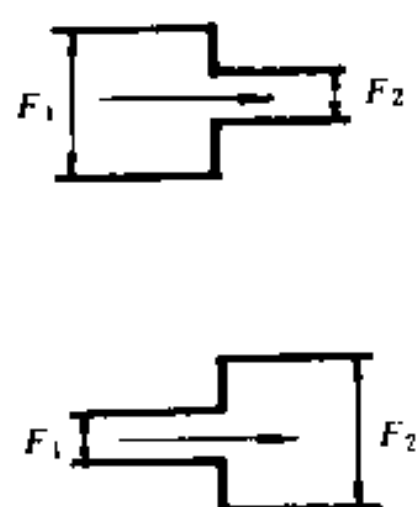


图 16.2-1 变径管的自然衰减量

6. 房间衰减

由风口传至房间内某定点的噪声级 L_p (dB):

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (16.2-3)$$

式中 L_w ——风口进入房间的声功率级, dB;

Q ——风口的指向性因数, 与风口位置及其与接收点的辐射角有关, 也可由图16.2-3查得;

r ——离风口距离, m;

R ——房间常数, m^2 , $R = \frac{F\bar{a}}{1-\bar{a}}$;

F ——房间内总表面积, m^2 ;

\bar{a} ——房间内平均吸声系数。

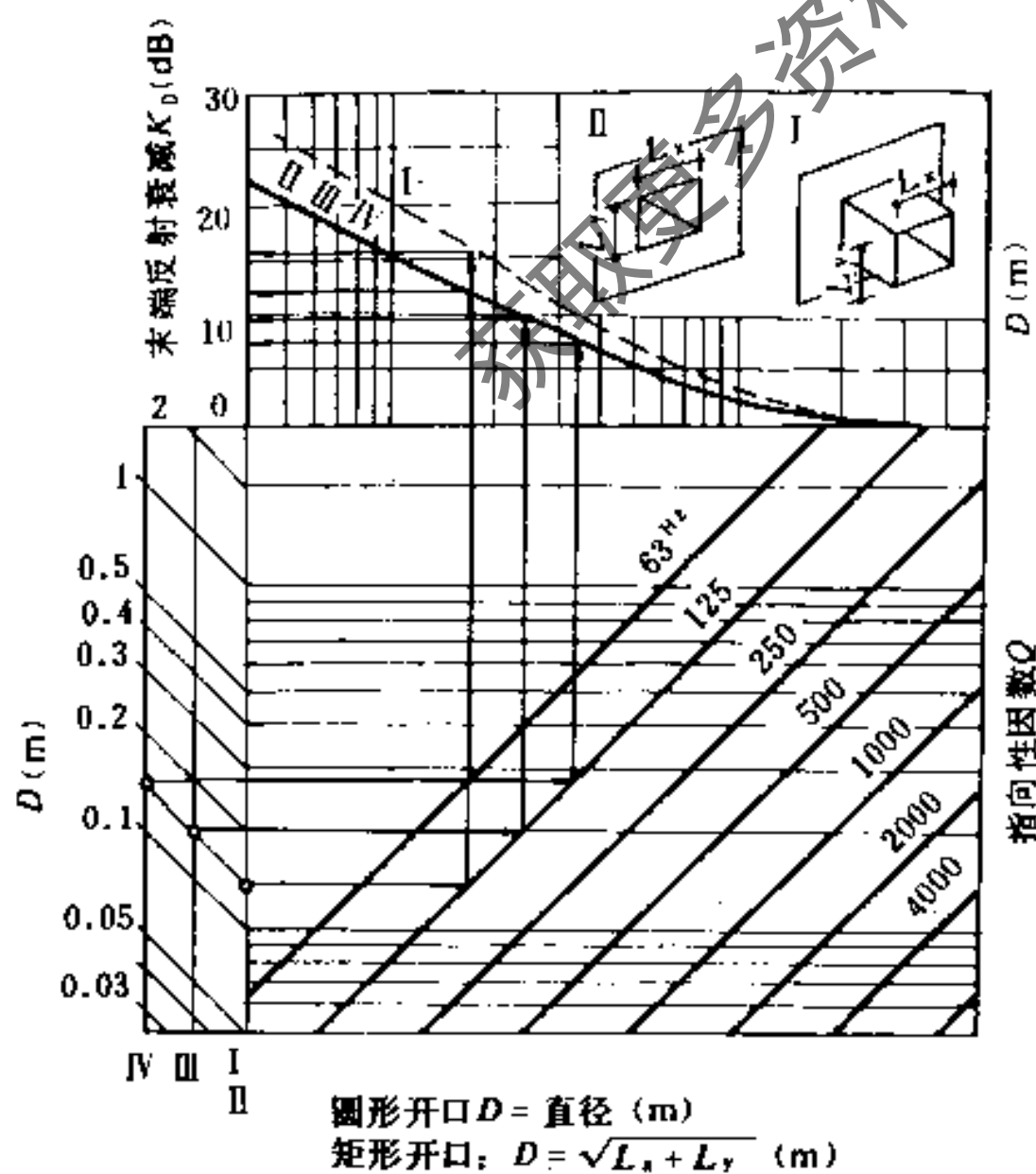


图 16.2-2 末端反射损失计算图

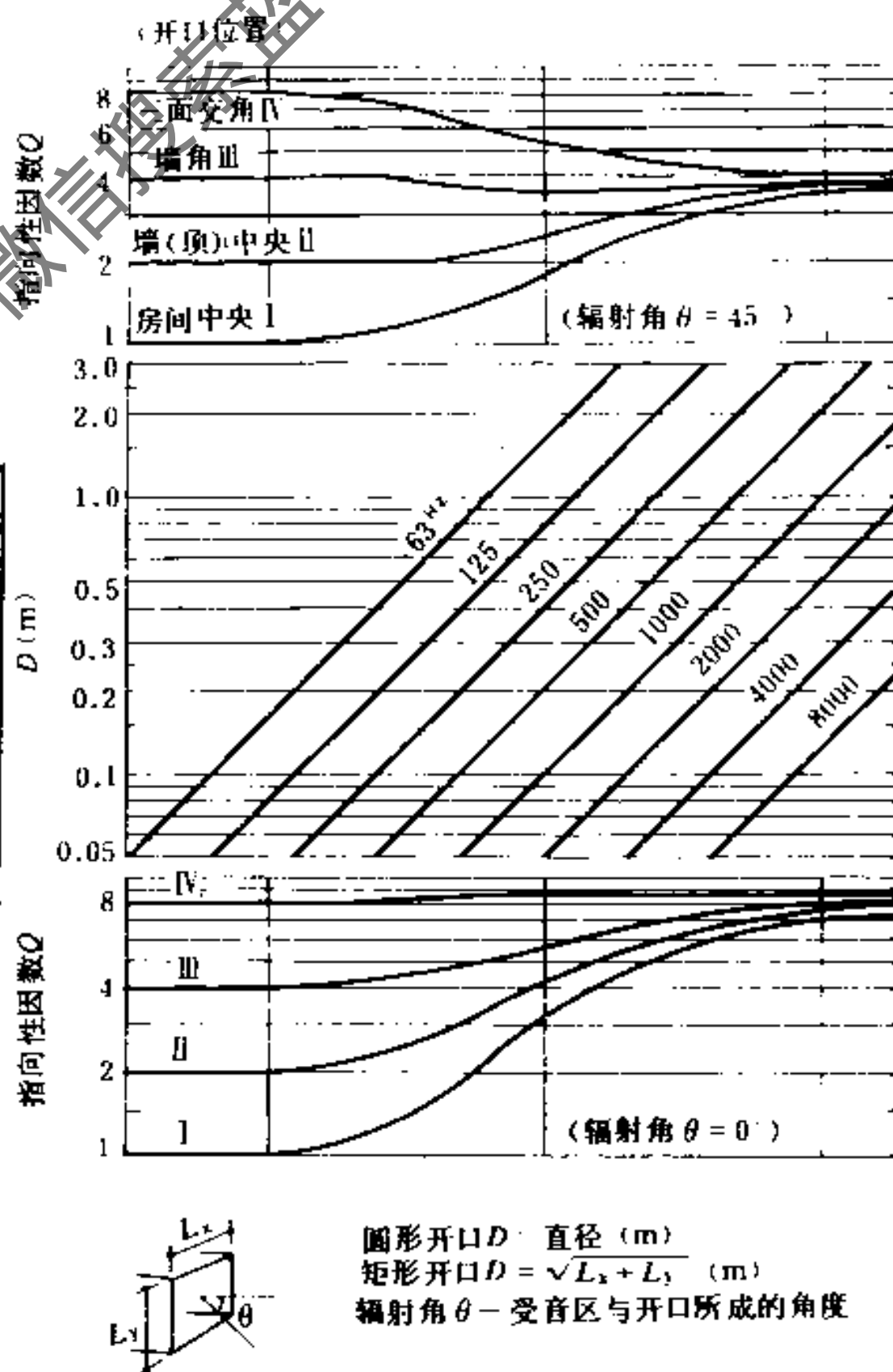


图 16.2-3 风口指向性因数求算图

16.2.2 阻性消声器设计

阻性消声器的声学性能主要决定于吸声材料的种类、吸声层厚度及密度、气流通道断面形状及大小、气流速度及消声器长度等因素。

阻性消声器的空气动力性能则取决于其结构形式及气流速度。

矩形直管消声器的消声量 ΔL (dB):

$$\Delta L = 1.1\varphi(a_0)\frac{P}{F}l \quad (16.2-4)$$

式中 $\varphi(a_0)$ ——与吸声材料的正入射吸声系数有关的消声系数 (查表16.2-3);

P ——消声器通道截面周长, m;

F ——消声器通道截面积, m^2 ;

l ——消声器的有效长度, m。

$\varphi(a_0)$ 与 a_0 关系表

表 16.2-3

正入射吸声系数 a_0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7~1.0
消声系数 $\varphi(a_0)$	0.11	0.24	0.39	0.55	0.75	0.9	1.0~1.5

不同截面形状的阻性直管消声器的周长截面比 $(\frac{P}{F})$ 如表16.2-4及图16.2-4所示:

不同管式消声器的周长截面比值表

表 16.2-4

消声器截面形状	特征长度	通道截面积 F	通道截面周长 P	周长截面比 P/F
圆管	直径 D	$\pi D^2/4$	πD	$4/D$
方管	边长 d	d^2	$4d$	$4/d$
矩形管	宽 a 高 h	ah	$2(a+h)$	$2(a+h)/ah$
扁矩形管	宽 a 高 h	ah	$\approx 2a$	$\approx 2/h$

圆管消声器的消声量 ΔL (dB):

$$\Delta L = 4.4\varphi(a_0)\frac{l}{D} \quad (16.2-5)$$

式中 l ——消声器有效长度, m;

D ——消声器通道直径, m, 一般使

$D < 0.3m$ 。

片式消声器的消声量 ΔL (dB):

$$\Delta L = 2.2\varphi(a_0)\frac{l}{h} \quad (16.2-6)$$

式中 h ——消声片的片间距, m; 一般取 $h = 10 \sim 20cm$; 消声片厚常取 $5 \sim 10cm$ 。

以上直管式消声器的通道尺寸大到一定程度时, 其高频性能将显著下降, 即“高频失效”, 出现高频失效的上限失效频率 f_s (Hz):

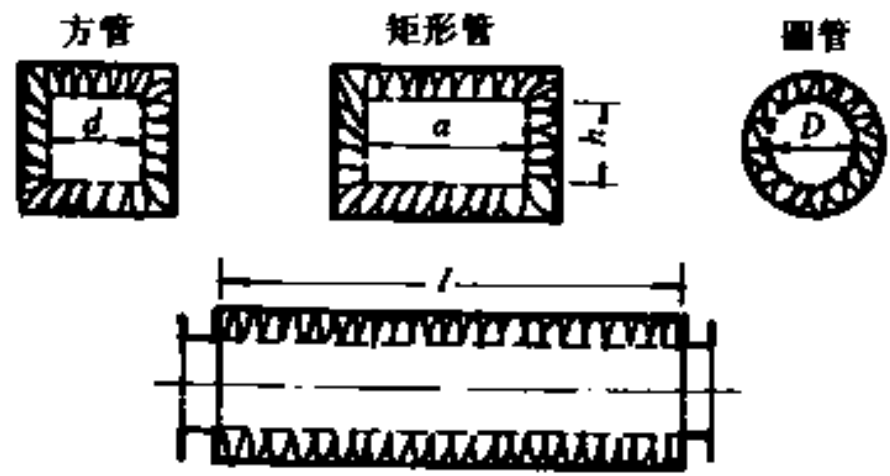


图 16.2-4 不同截面形状的阻性直管消声器

$$f_s = 1.85 \frac{C}{D} \quad (16.2-7)$$

式中 C ——声速, m/s;

D ——通道截面的直径或当量直径, m。

小室式消声器的单室消声量 ΔL (dB) 为: (见图16.2-5)

$$\Delta L = -10 \lg F_D \left(\frac{\cos \theta}{2\pi d^2} + \frac{1}{R} \right) \quad (16.2-8)$$

式中 F_D ——小室开口截面积, m^2 ;

θ ——小室进出风口对角线与出风口截面法线之夹角;

d ——小室进出风口对角线距离, m;

R ——小室内的房间常数, m^2 (见式16.2-3)。

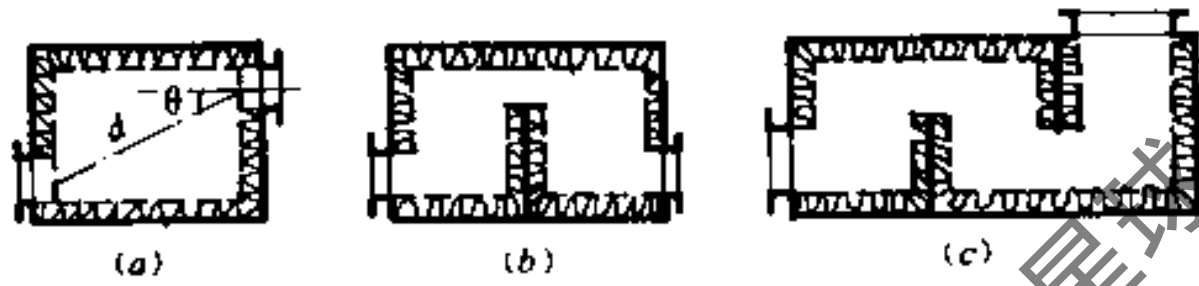


图 16.2-5 小室式消声器的基本形式

注: 小室内气流速度宜 $< 5 \text{ m/s}$

16.2.3 抗性消声器设计

抗性消声器主要用于消除以低频或低中频噪声为主的设备声源。抗性消声器有多种结构型式, 如图16.2-6所示。

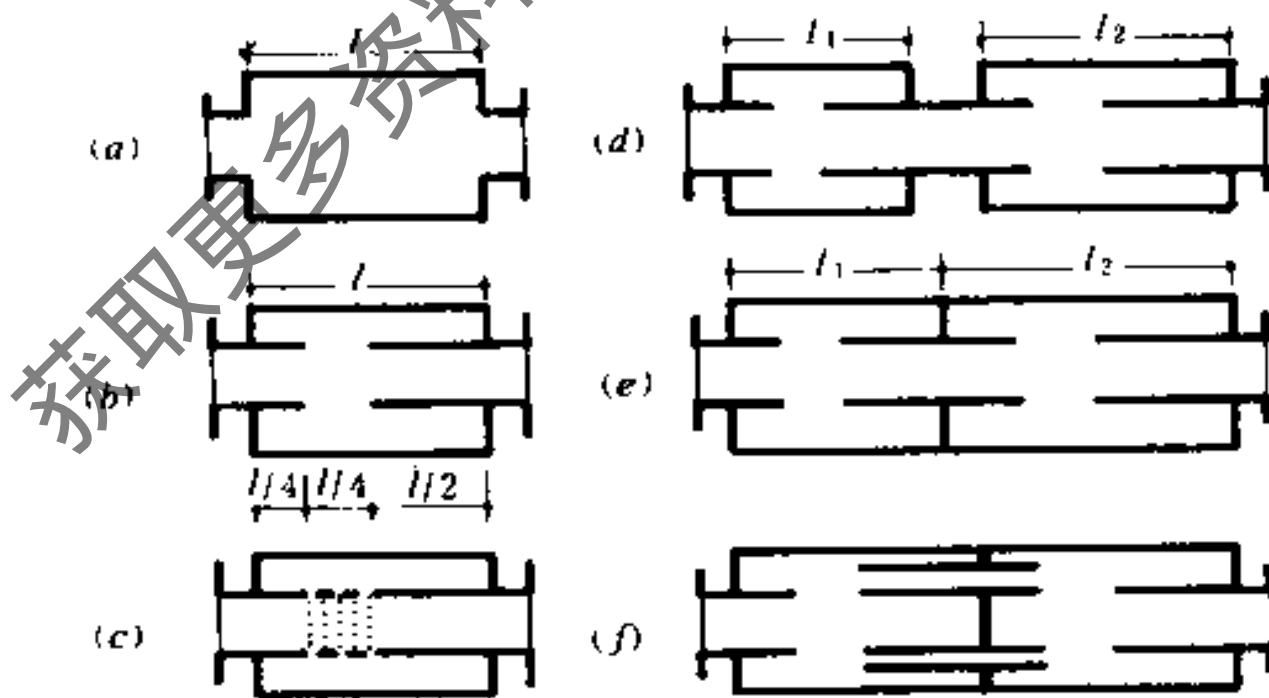


图 16.2-6 抗性消声器的几种基本形式

抗性消声器的消声性能主要取决于扩张比 m 和扩张室长度 l 。

单室抗性消声器的消声量 ΔL (dB) 可由下式计算或由图16.2-7查得。

$$\Delta L = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{4} \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kl \right] \quad (16.2-9)$$

式中 m ——扩张比, $m = \frac{F_2}{F_1}$ (常取 $m = 4 \sim 10$);

k ——波数, $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{C}$;

l ——扩张室长度, m;

λ ——波长, m;

f ——频率, Hz。

当 $m > 5$ 时, 消声量 ΔL_{\max} (dB) 近似为:

$$\Delta L_{\max} = 20 \lg m - 6 \quad (16.2-10)$$

当扩张室截面过大, 或频率较高时, 抗性消声器也将出现上限失效频率, 上限失效频率可按 (16.2-11) 式计算或查表 16.2-5。

$$f_s = 1.22 \frac{C}{D} \quad (16.2-11)$$

式中 C ——声速, m/s;

D ——扩张室直径或当量直径, m。

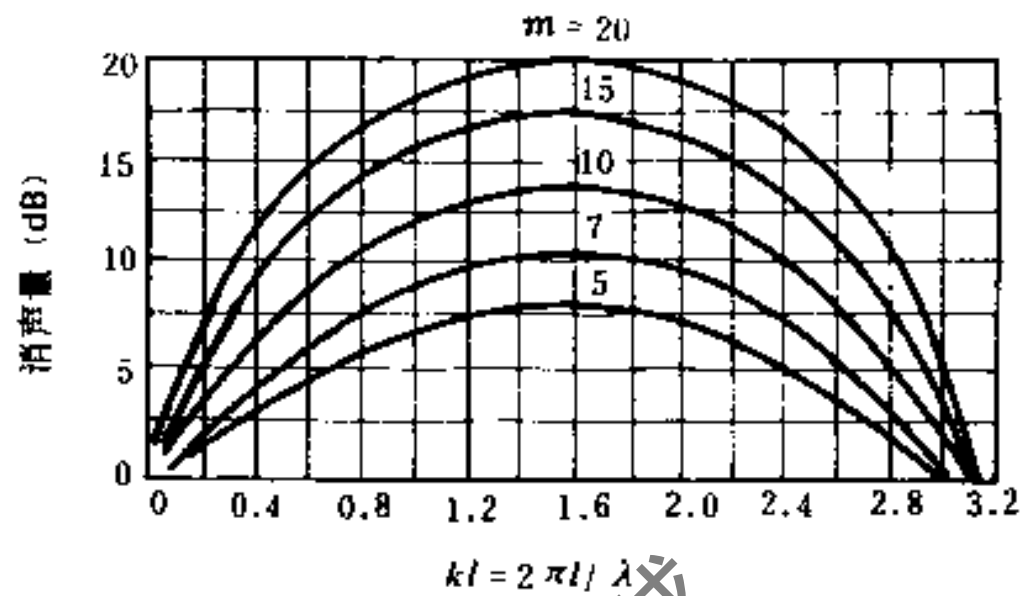


图 16.2-7 抗性消声器的消声量与扩张比及长度的关系

f_s 与 D 关系表

表 16.2-5

D (mm)	100	200	300	400	500	600	700	800
f_s (Hz)	4200	2100	1400	1025	840	700	600	525

16.2.4 共振性消声器设计

共振性消声器也可属抗性的范畴, 主要用于消除低频或中频窄带噪声或噪声峰值, 且具有阻力小, 不用吸声材料等特点。

1. 共振消声器的设计计算

共振消声器的共振频率 f_0 (Hz) 可由下式计算:

$$\left. \begin{aligned} f_0 &= \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{V}} \\ f_0 &= \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{tD}} \end{aligned} \right\} \quad (16.2-12)$$

或

式中 G ——传导率, $G = \frac{nF_d}{t} = \frac{n\pi d^2}{4(t_0 + 0.8d)}$;

n ——小孔个数;

F_d ——单个小孔面积, m^2 ;

t, t_0 ——穿孔板的有效板厚和实际板厚, m (一般取 1 ~ 5 mm);

d ——小孔直径, m (一般取 3 ~ 10 mm);

V ——共振腔体积, m^3 ;

D ——共振腔深度, m (一般取10~20cm);

p ——穿孔板开孔率 (一般取0.5~5%)。

消声频带宽度 Δf (Hz):

$$\Delta f = 4\pi D \frac{f_0}{\lambda_0} \quad (16.2-13)$$

共振消声器的消声量 ΔL (dB) (或查图16.2-8):

$$\Delta L = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{K}{\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}} \right)^2 \right] \quad (16.2-14)$$

式中 $K = \frac{\sqrt{GV}}{2F}$;

F ——消声器通道截面积, m^2 。

共振消声器的频带消声量可近似由表16.2-6查得。

共振消声器的频带消声量表

表 16.2-6

ΔL (dB) \ K	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1倍频带	3.6	4.8	9.5	12.8	15.2	17.4	18.6	20	21.1	22.1	23
1/3倍频带	11.2	13.0	18.9	22.4	24.8	26.8	28.4	29.7	30.9	31.9	32.8

2. 微穿孔板消声器设计

当共振消声器的穿孔板孔径缩小到 $< 1\text{ mm}$ 时, 就成为微穿孔板消声器, 它具有结构简单, 不需用吸声材料, 特别适用于有高温、潮湿及洁净要求的管路系统消声。

常用微穿孔板消声器的设计参数:

板厚: 0.5~1.0mm;

孔径: $\phi 0.5 \sim 1.0\text{ mm}$;

穿孔率: 1~3%。

空腔深度: 5~20cm (低频取15~20cm, 中频10~15cm, 高频5~10cm)。

孔板层数 (或腔数): 单层或双层 (单腔或双腔)。

表16.2-7为几种常用的微穿孔板消声结构及其吸声特性。

常用微穿孔板吸声性能表

表 16.2-7

微穿孔板吸声结构	穿孔率 (%)	腔深 (cm)	频率 (Hz)				
			125	250	500	1000	2000
单层 $\phi 0.8/0.8$ 厚	1	7	—	0.40	0.86	0.37	0.14
同上	2	7	0.12	0.24	0.57	0.70	0.17
同上	3	7	0.12	0.22	0.82	0.69	0.21

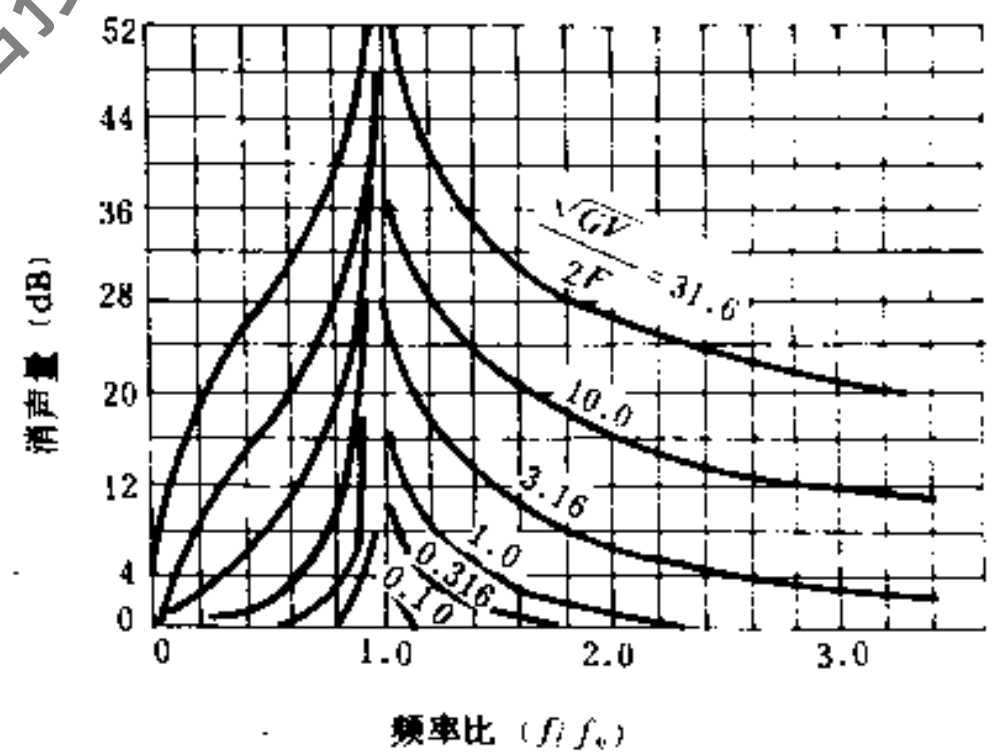


图 16.2-8 共振消声器消声量查算图

续表

微穿孔板吸声结构	穿孔率 (%)	腔深 (cm)	频率 (Hz)				
			125	250	500	1000	2000
双层 $\phi 0.8/0.9$ 厚	内1外2	内12外8	0.48	0.97	0.93	0.64	0.15
同上	内1外3	内12外8	0.40	0.92	0.95	0.66	0.17
同上	内1外2.5	内3外7	0.26	0.71	0.92	0.65	0.35
同上	内1.5外2.5	内5外5	0.18	0.69	0.97	0.99	0.24
同上	内1外2.5	内4外6	0.21	0.72	0.94	0.84	0.30

16.2.5 空调系统声学计算举例

空调系统声学计算的主要内容包括以下四个方面:

- (1) 风机噪声声功率级的计算;
- (2) 系统管道各部件气流噪声声功率级的计算;
- (3) 系统管道各部件噪声自然衰减的计算;
- (4) 系统所需消声器消声量的计算。

现举算例如下:

会议室的体积 75m^3 , 房间常数 $R = 20\text{m}^2$, 空调风机为4-72-11No4A型, 总风量为 $2740\text{m}^3/\text{h}$, 全压为 470Pa , 转速 $1450\text{r}/\text{min}$, 送风由主风道经支管及散流器送风口送入房间, 送风量为 $365\text{m}^3/\text{h}$, 要求办公室内的空调噪声满足NR35曲线的安静要求。系统布置见图16.2-9。

系统声学设计计算按顺气流方向进行, 计算项目, 计算方法及步骤见表16.2-8。

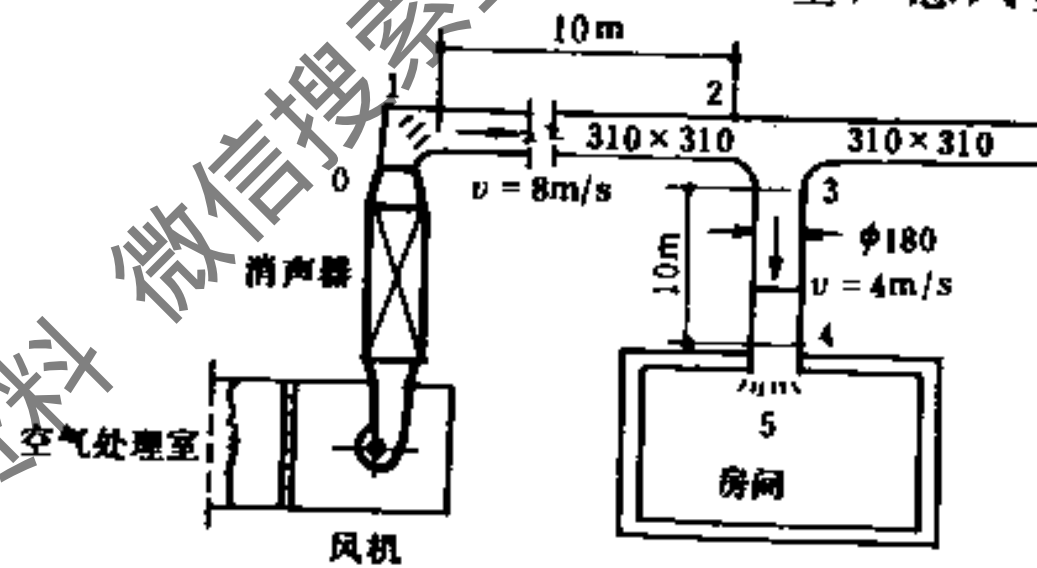


图 16.2-9 空调系统消声计算实例系统布置图

空调系统消声设计计算实例

表 16.2-8

项目序号	项目内容	计算方法	倍频程中心频率 (Hz)							
			63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
1	0至1弯头气流噪声功率级	$L_w = L_{wc} + 10\lg f_D + 30\lg d + 50\lg V$ 式(16.1-6)	51	44	41	39	35	31	20	23
2	0至1弯头自然衰减	无内衬方弯头, 查表16.2-2	—	—	3	6	6	4	3	3
3	传至2点处的气流噪声	不计直管段(1至2) ($V = 8\text{m}/\text{s}$) 自然衰减, 即等于第1项	51	44	41	39	35	31	20	23
4	1至2直管段气流噪声	$L_w = L_{wc} + 50\lg V + 10\lg F$ 式(16.1-5)	40	39	38	37	36	35	32	25
5	2点处气流噪声总和	3、4两项噪声叠加	51	45	43	41	39	37	32	27

续表

项目序号	项目内容	计算方法	倍频程中心频率 (Hz)							
			63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
6	三通(2至3)自然衰减	$\Delta L_w = 10 \lg \frac{F_1}{F_2}$	9	9	9	9	9	9	9	9
7	传至3点处的气流噪声	5项减6项	42	36	34	32	30	28	23	18
8	三通(2至3)气流噪声	$\Delta L_w = L_{wc} + 10 \lg f_D + 30 \lg d + 50 \lg V$, 式(16.1-7)	40	39	35	31	26	23	23	26
9	3点处气流噪声总和	7、8两项噪声叠加	44	41	38	35	32	29	26	27
10	(3至4)直管段自然衰减 ($V=4\text{m/s}$)	查表16.2-1, 再乘10m	1	1	2	2	3	3	3	3
11	传至4点处的气流噪声	9项减10项	43	40	36	33	29	26	23	24
12	4点处气流噪声总和	不计(3至4)段($V=4\text{m/s}$)气流噪声, 则等于第11项	43	40	36	33	29	26	23	24
13	送风口散流器自然衰减	ΔL_w 由图16.2-2查得(风口在平顶中部)	16	11	5	2	—	—	—	—
14	传至5点处的气流噪声	12项减13项	27	29	31	31	29	26	23	24
15	送风口的气流噪声	$L_w = L_{wc} + 10 \lg f_D + 30 \lg (d \cdot V)$	48	48	46	41	34	28	18	14
16	5点处气流噪声总和	14、15两项噪声叠加	48	48	46	41	35	30	24	24
17	房间自然衰减	$\Delta L_w = L_w - L_p = -10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$ ($r=2\text{m}$, $R=20\text{m}^2$)	6	6	6	6	5	5	5	5
18	传至房间内气流噪声声压级	16项减17项	42	42	40	35	30	25	19	19
19	房间允许噪声级	要求达到NR35曲线	63	52	44	39	35	32	30	28
20	房间计算允许噪声级	19项与18项能量之差	63	52	42	37	34	31	30	28
21	风机噪声	$L_w = L_{wc} + 10 \lg (QH^2) - 20$ ($L_{wc}=19$)	82	81	80	75	70	65	61	54
22	传至送风口风机剩余噪声声功率级	21项减(2+6+10+13)项	56	60	61	56	52	49	46	39
23	房间内风机剩余噪声声压级	22项减17项	50	54	55	50	47	44	41	34
24	系统需设消声器的消声量	$\Delta L_p = 23$ 项减20项	—	2	13	13	13	13	11	6

注: 1.表中1至18项为系统管路各部件的气流噪声和自然衰减的计算, 如果18项(即传至房间内的气流噪声)大于19项(即房间内允许噪声级), 则应停止计算。必须降低管道内流速, 以减小气流噪声, 否则消声器将起不到实际作用;

2.如果房间允许噪声级较大(如 $NR \geq 60$), 管道内流速较低(如 $V < 10\text{m/s}$), 而声源风机噪声又较高, (如 $L_w > 90\text{dB}$), 则一般可以不考虑气流噪声影响, 计算表可以大为简化, 即仅保留2, 6, 10, 13, 17, 19, 21, 22, 23和24等10项即可。

16.3 隔声设计

16.3.1 隔声设计的计算方法

1. 平均隔声量 \overline{TL} (dB)为(或查图16.3-1):

$$\overline{TL} = 16 \lg m + 8 \quad (m > 200 \text{ kg/m}^2) \quad (16.3-1)$$

$$\overline{TL} = 13.5 \lg m + 14 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (16.3-2)$$

式中 m ——单层隔声构件面密度, kg/m^2 。

不同频率的隔声量 TL (dB) 为:

$$TL = 16 \lg m + 14 \lg f - 29 \quad (16.3-3)$$

式中 f ——频率, Hz。

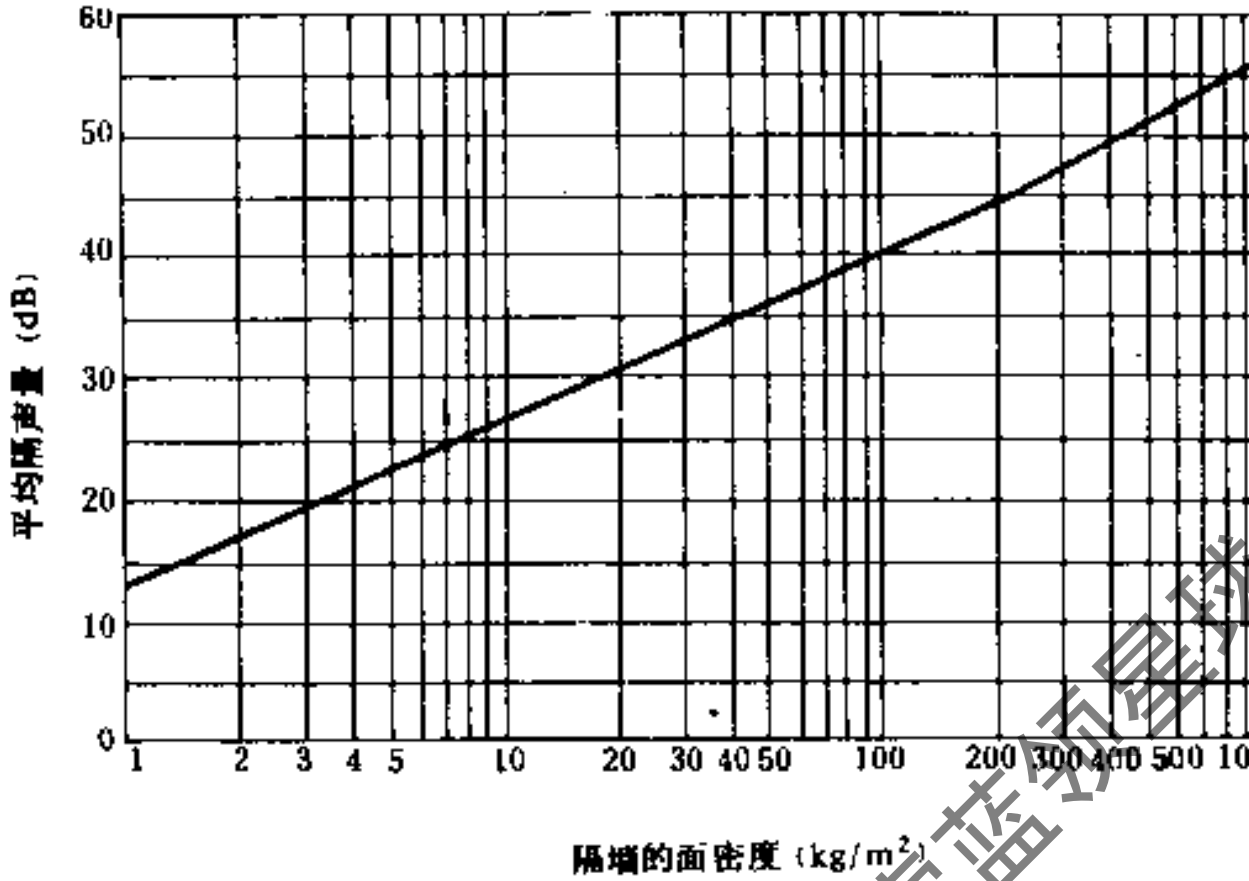


图 16.3-1 墙的面密度与隔声量的关系曲线

2. 组合墙的隔声量 \overline{TL} (dB) 的计算 (或查图 16.3-2):

$$\overline{TL} = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \left(\frac{\sum F_i}{\sum F_i \tau_i} \right) \quad (16.3-4)$$

式中 τ ——组合墙的平均透射系数, $\tau = \frac{\sum F_i \tau_i}{\sum F_i}$;

F_i ——组合墙各部分的面积, m^2 ;

τ_i ——组合墙各部分的透射系数。

3. 隔声房间实际隔声量及室内总噪声级的计算

控制室、值班室等隔声房间一般由多种不同隔声性能的隔声物件 (如墙、门、窗、屋顶等) 组成, 其实际隔声量 TL (dB) 为:

$$TL = \overline{TL}_0 + 10 \lg \frac{A}{F_0} \quad (16.3-5)$$

式中 \overline{TL}_0 ——组合墙的实际平均隔声量; dB;

A ——隔声间内表面的总吸声量, $A = \sum F_i d_i$, m^2 ;

F_0 ——隔声间的透声面积, m^2 。

式 (16.3-5) 表明提高隔声间内的平均吸声系数和减小隔声间与声源室的相邻透声

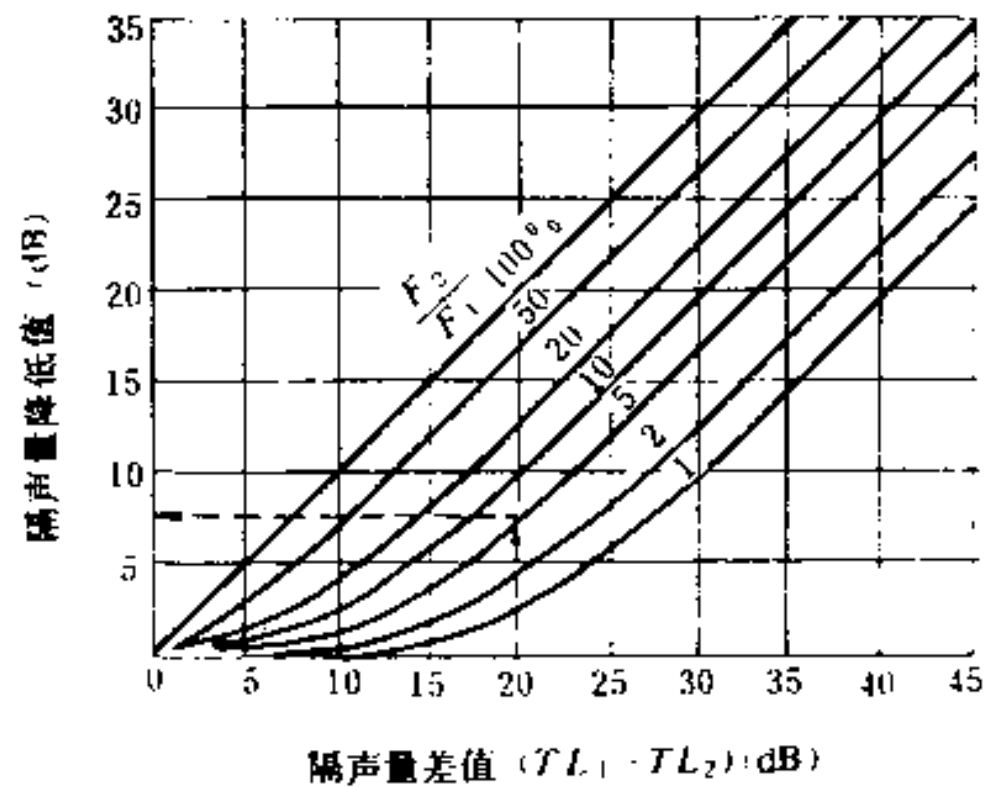


图 16.3-2 组合墙隔声量计算图

墙面积,是提高隔声间实际隔声量的有效措施。

隔声间内的实际总噪声级 L_A (dB):

$$L_A = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^n F_i \times 10^{0.1(L_i - TL_i)} \right] - 10 \lg A \quad (16.3-6)$$

式中 F_i ——隔声间各个构件的面积, m^2 ;

TL_i ——隔声间各个构件的隔声量, dB;

L_i ——隔声间各个构件外侧的噪声级, dB;

A ——隔声间内的总吸声量, m^2 。

4. 隔声罩隔声量的计算

隔声罩的隔声量 TL (dB):

$$TL = TL_0 + 10 \lg \bar{a} \quad (16.3-7)$$

式中 TL_0 ——隔声罩壳体的隔声量, dB;

\bar{a} ——隔声罩内壁平均吸声系数。

由于 \bar{a} 值小于1, $10 \lg \bar{a}$ 均为负值,故要使隔声罩隔声量大,就应尽可能提高隔声罩内表面的平均吸声系数。见表16.3-1。

隔声罩内 \bar{a} 对隔声性能的影响表

表 16.3-1

\bar{a}	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$10 \lg \bar{a}$ (即 $TL - TL_0$)	-13	-10	-7	-5.2	-4	-3	-2.2	-1.5	-1	-0.5

不同封闭程度隔声罩的隔声性能如表16.3-2所示。

不同结构型式隔声罩的隔声性能表

表 16.3-2

隔声罩结构型式	A声级隔声量 (dB)	隔声罩结构型式	A声级隔声量 (dB)
固定密闭型隔声罩	30~40	局部开敞式隔声罩	10~20
组装式密闭型隔声罩	15~30	带通风散热消声器的隔声罩	15~25

注:隔声罩的设计必须兼顾罩内设备的通风散热要求。

16.3.2 设备机房噪声控制设计的主要措施

设备机房噪声控制设计的主要技术措施汇总见表16.3-3,常用隔声构件隔声性能汇总见表16.3-4。

表 16.3-3

措施	风 机 房	水 泵 房	冷 冻 机 房	冷 却 塔
隔声措施	风机隔声箱隔声机房 隔声值班室	局部隔声罩隔声泵房 隔声值班室	隔声机房隔声值班室	隔声屏障
消声措施	进风消声器出风消声器	—	—	进风消声器出风消声器 淋水消声装置

续表

措施	机房	风 机 房	水 泵 房	冷 冻 机 房	冷 却 塔
吸声措施		吸声平顶、墙面空间吸声体	同风机房	同风机房	—
减振措施		风机减振器软接管	水泵减振垫	橡胶软接管	底脚减振
通风散热措施		利用进风消声器冷却电机散热	机械排风（低噪声轴扇+消声器），消声柜，消声百页或通风消声窗进风		

注：隔声机房措施中包括：隔声门、隔声窗、隔声通风采光窗罩，声闸小室等。

常用隔声构件隔声性能表

表 16.3-4

序号	隔 声 构 件 及 材 料	面 密 度 (kg/m ²)	平均隔声量 \bar{T}_L (dB)
1	一砖墙, 24cm厚, 双面抹灰	480	53
2	半砖墙, 12cm厚, 双面抹灰	240	45
3	空心砖墙, 12cm厚, 双面抹灰	180	43
4	纸面石膏板, 1.2cm厚	9	25
5	钢丝网抹灰墙, 1.5cm厚	45	33
6	双层5厚硬质纤维板, 中空8cm, 木龙骨	10	28
7	双层12厚纸面石膏板, 中空8cm, 木龙骨	25	36
8	双层12厚纸面石膏板, 中填80矿棉毡	29	45
9	双层15厚钢丝网粉刷, 中填50矿棉毡	95	38
10	双层1.5厚钢板, 中填65厚超细棉	27	50
11	双层8厚水泥石棉板, 中空145, 填50矿棉	36	41
12	普通隔声门(五夹板, 矿棉板40, 三夹板)	橡胶条密缝	28
13	国标J649单扇隔声门(橡胶条密缝)		37
14	声闸(单门隔声量为27dB)		≥50
15	单层3厚普通钢窗(半开)		21
16	单层铝合金推拉窗(5厚玻璃)		23
17	双层固定木窗(3+90+6厚)(一层可开启)		45
18	双层固定钢窗(5+100+5厚)		33

16.4 吸 声 设 计

16.4.1 吸声减噪计算方法

由于房间内壁面对声波的反射, 使室内的噪声级相应提高, 吸声减噪的目的就是要尽可能地降低这个提高量。表16.4-1为室内壁面平均吸声系数 \bar{a} 与声级提高量的关系。

室内吸声处理后, 在离声源足够远处的吸声减噪量的最大值 ΔL_{\max} (dB) 为 (或查图16.4-1):

$$\Delta L_{\max} = 10 \lg \frac{R_2}{R_1} = 10 \lg \left(\frac{\bar{a}_2}{\bar{a}_1} \cdot \frac{1 - \bar{a}_1}{1 - \bar{a}_2} \right) \quad (16.4-1)$$

式中 R_1 、 R_2 ——吸声处理前、后室内房间常数, m²;

\bar{a}_1 、 \bar{a}_2 ——吸声处理前、后室内平均吸声系数。

室内 \bar{a} 与声级提高量关系表

表 16.4-1

平均吸声系数 \bar{a}	声级提高量 ΔL (dB)	平均吸声系数 \bar{a}	声级提高量 ΔL (dB)	平均吸声系数 \bar{a}	声级提高量 ΔL (dB)
0.01	20.0	0.12	9.2	0.35	4.6
0.02	17.0	0.14	8.5	0.40	4.0
0.03	15.2	0.16	8.0	0.45	3.5
0.04	14.0	0.18	7.5	0.50	3.0
0.05	13.0	0.20	7.0	0.55	2.6
0.06	12.2	0.22	6.6	0.60	2.2
0.07	11.6	0.24	6.2	0.70	1.5
0.08	11.0	0.26	5.8	0.80	1.0
0.09	10.5	0.28	5.5	0.90	0.5
0.10	10.0	0.30	5.2	1.00	0

离声源足够远处一般指距离大于临界距离 r_L (m) 的远场范围。

$$r_L = 0.14\sqrt{RQ} \quad (16.4-2)$$

式中 Q ——由声源在室内位置而定的指向性因数
(在房间中央为1, 在一个面中心为2, 在棱线中心为4, 在某一角为8)。

房间内经吸声处理后的平均吸声减噪量 $\overline{\Delta L}$ (dB) 可按式 (16.4-3) 计算或查表16.4-2。

$$\begin{aligned} \overline{\Delta L} &= 10 \lg \frac{\bar{a}_2}{\bar{a}_1} = 10 \lg \frac{A_2}{A_1} \\ &= 10 \lg \frac{T_1}{T_2} \end{aligned} \quad (16.4-3)$$

式中 \bar{a}_1 、 \bar{a}_2 ——吸声处理前、后室内平均吸声系数；
 A_1 、 A_2 ——吸声处理前、后室内总吸声量， m^2 ；
 T_1 、 T_2 ——吸声处理前、后室内混响时间，s。

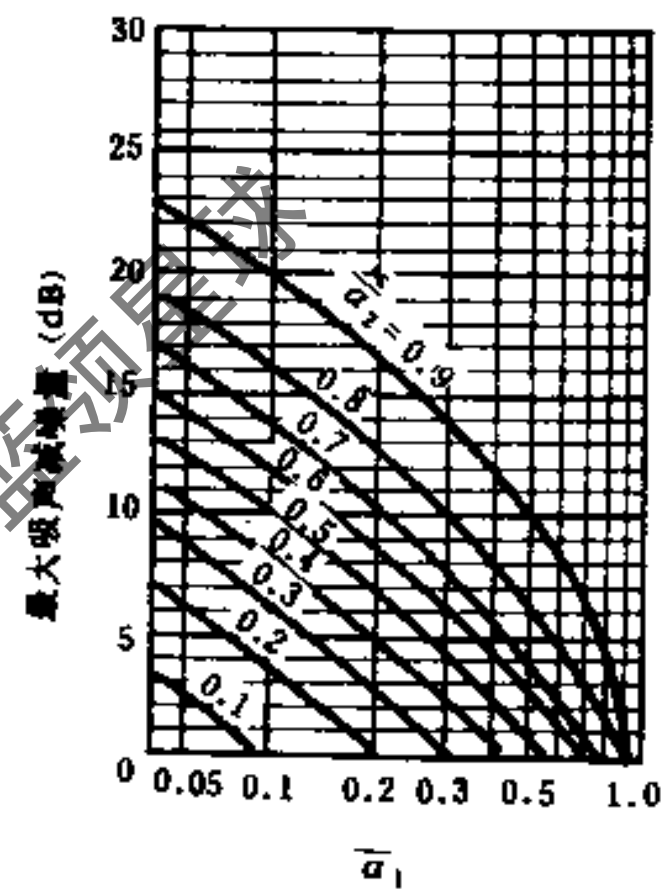


图 16.4-1 ΔL_{max} 与 \bar{a}_1 、 \bar{a}_2 的关系图

平均吸声减噪量计算表

表 16.4-2

$\frac{\bar{a}_2}{\bar{a}_1}$ (或 $\frac{A_2}{A_1}$ 或 $\frac{T_1}{T_2}$)	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	16
ΔL (dB)	0	3	5	6	7	8	8.5	9	10	11	12

16.4.2 吸声减噪设计

1. 吸声减噪设计的原则

- (1) 吸声减噪只对混响声 (即反射声) 有效, 而对直达声不起作用;
- (2) 吸声减噪效果与房间内原有平均吸声系数有关, 原有 \bar{a} 越小, 吸声减噪效果越显著;

(3) 吸声减噪效果与吸声材料数量不成正比, 必须合理确定吸声处理面积, 以取得较好技术经济效益;

(4) 吸声材料及结构的选择必须与声源的频谱特性相适应, 使吸声减噪设计具有针对性;

(5) 吸声减噪效果达 5 ~ 7dB 时, 已属满意的效果, 主观感到室内噪声已有明显减低;

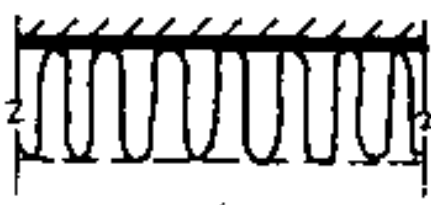

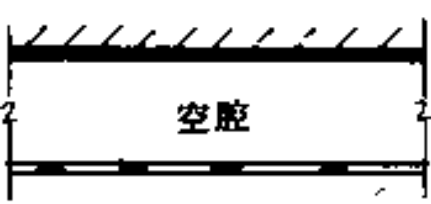

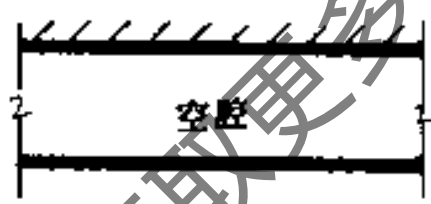
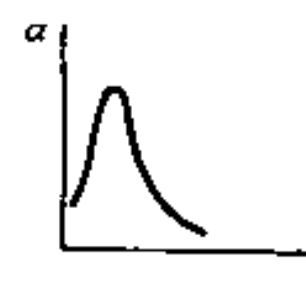
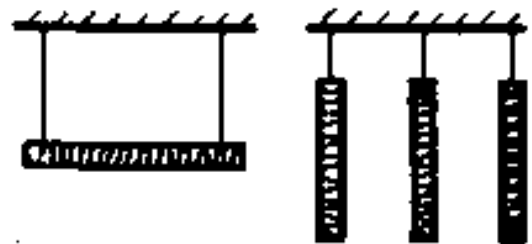
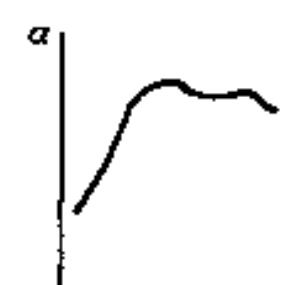
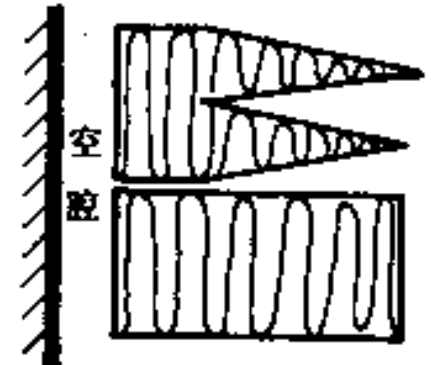
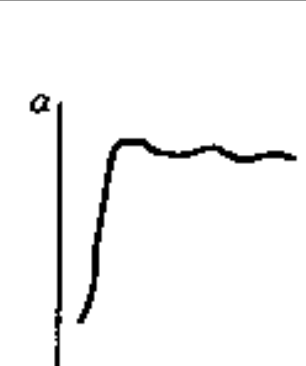
(6) 在吸声减噪设计中, 一般应同时考虑隔声、消声及隔振等噪声综合治理措施。

2. 吸声材料及结构的选用

吸声材料及吸声结构的种类很多, 吸声特性也不尽相同, 详见表 16.4-3, 常用吸声材料及性能见表 16.4-4。

吸声材料及结构的类型与特性

表 16.4-3

类型	基本构造	代表性材料	吸声特性
多孔材料		离心玻璃棉毡、棉板, 矿棉板, 聚氨酯泡沫塑料, 木丝板, 软质纤维板, 膨胀珍珠岩板等	
穿孔板共振吸声结构		穿孔胶合板, 穿孔硬质纤维板, 穿孔石膏板, 穿孔FC板, 穿孔钢板, 穿孔铝板等	
薄板共振吸声结构		胶合板, 热压纤维板, 石膏板, FC板等	
空间吸声体		板状空间吸声体, 圆筒吸声体, 方筒吸声体, 十字形吸声体, 环形吸声体, 锥形吸声体等	
吸声尖劈		超细玻璃棉, 离心玻璃棉, 聚氨酯泡沫塑料, 酚醛玻璃纤维板等	

常用吸声材料性能表

表 16.4-4

序号	材料名称	厚度 (cm)	密度 (kg/m ³)	频率 (Hz)					
				125	250	500	1K	2K	4K
1	超细玻璃棉	5	20	0.15	0.35	0.85	0.85	0.86	0.86
2	离心玻璃棉毡	5	32	0.24	0.63	0.99	0.97	0.98	0.99 ^①
3	防水超细棉毡	10	20	0.25	0.94	0.93	0.90	0.96	—
4	沥青矿棉毡	6	200	0.19	0.51	0.67	0.68	0.85	0.86
5	酚醛矿棉毡	6	80	0.11	0.32	0.66	0.90	0.97	—
6	腈纶棉	5	20	0.14	0.37	0.68	0.75	0.78	0.82
7	毛毛虫矿棉板	1.2	后空10	0.54	0.51	0.38	0.41	0.51	0.60 ^①
8	珍珠岩穿孔复合板	4	~300	0.16	0.28	0.81	0.76	0.73	0.60 ^①
9	聚氨酯泡沫塑料	2	13	0.03	0.08	0.15	0.30	0.50	0.50 ^①
10	聚氨酯泡沫塑料	4	40	0.10	0.18	0.36	0.70	0.75	0.80
11	木丝板	2.5	470	0.05	0.15	0.30	0.50	0.70	0.65
12	木丝板	2.5后空5	470	0.20	0.20	0.50	0.45	0.55	0.65
13	半穿孔软质纤维板	1.3后空5	320	0.25	0.35	0.30	0.40	0.45	0.60 ^①
14	穿孔金属板 $\phi 6, @12$	空腔10	填棉10	0.31	0.37	1.0	1.0	1.0	1.0 ^①
15	穿孔FC板, $\phi 9, 2.5\%$	"	"	0.23	0.61	0.50	0.36	0.16	0.03 ^①
16	穿孔FC板, $\phi 9, 5\%$	"	"	0.19	0.56	0.57	0.48	0.26	0.07 ^①
17	穿孔FC板, $\phi 9, 10\%$	"	"	0.19	0.58	0.61	0.63	0.48	0.33 ^①
18	穿孔FC板, $\phi 9, 14\%$	"	"	0.18	0.63	0.70	0.66	0.55	0.33 ^①

① 为混响法测定。

3. 吸声设计的程序 (见例表 16.4-5)

- (1) 实测吸声处理前室内的噪声水平;
- (2) 确定降噪点的允许噪声级及要求的吸声减噪量;
- (3) 计算室内经吸声处理后应有的平均吸声系数及房间常数;
- (4) 选择并确定在平顶及墙面上设置的吸声材料或结构、数量及安装方式, 以达到吸声减噪的要求。

具体计算实例见表 16.4-5 所示。

吸声减噪设计实例表

表 16.4-5

序号	项 目	频 率 (Hz)						说 明
		125	250	500	1K	2K	4K	
1	降噪点原有噪声 (dB)	70	66	69	64	62	60	实 测
2	降噪点噪声允许值 (dB)	75	69	64	60	58	56	NR-60标准
3	所需吸声减噪量 ΔL (dB)	—	—	5	4	4	4	①-②
4	原有室内 $\bar{\alpha}_1$	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.13	计算或由实测混响时间推算
5	吸声后应有 $\bar{\alpha}_2$	0.05	0.07	0.29	0.28	0.33	0.33	由 $\Delta L = 10 \lg \frac{\bar{\alpha}_2}{\bar{\alpha}_1}$ 推算
6	原有室内总吸声量 A_1 (m ²)	6.3	8.8	11.3	13.9	16.4	16.4	由 $A_1 = F\bar{\alpha}_1$ 推得
7	吸声后应有总吸声量 A_2 (m ²)	6.3	8.8	35.9	35.3	41.6	41.6	由 $A_2 = F\bar{\alpha}_2$ 求得
8	所需增加总吸声量 A_3 (m ²)	0	0	24.6	21.4	25.2	25.2	⑦-⑥
9	选择吸声材料的 α (5cm厚水平吊挂板状吸声体离顶30cm)	0.34	0.76	1.22	1.48	1.79	1.92	混响法实测或由资料查得, 因板状吸声体 α 可 > 1.0
10	需要空间吸声板的面积 (m ²)	0	0	20	14	14	13	⑧ ÷ ⑨

注: 实例房间尺寸为6m × 5m × 3m (高), $F = 126\text{m}^2$, $V = 90\text{m}^3$ 。

16.5 隔振控制设计

16.5.1 隔振参数传递率 η 及隔振效率 T

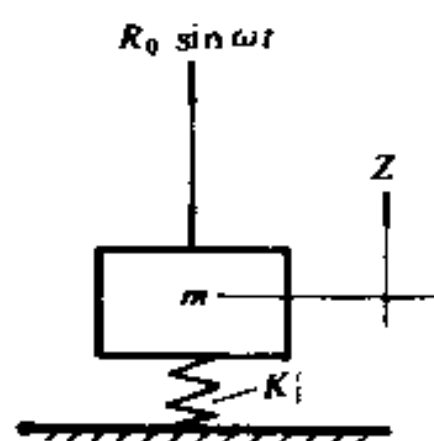
1. 单自由度无阻尼隔振系统

由只能在竖向运动的刚体和无质量的弹簧所组成, 见图16.5-1。

图16.5-1的数学式:

$$m\ddot{Z} + KZ = R_0 \sin \omega t \quad (16.5-1)$$

$$Z = \frac{R_0}{K - m\omega^2} \sin \omega t \quad (16.5-2)$$



式中 R_0 ——干扰力, N;
 ω ——干扰圆频率, 1/s;
 t ——时间, s;
 Z ——竖向振幅, m;
 K ——弹簧刚度, N/m;
 m ——刚体质量, kg。

图 16.5-1 单自由度
无阻尼隔振系统

将式 (16.5-2) 改写如下:

$$Z = \frac{R_0/K}{1 - m\omega^2/K} \sin \omega t = \frac{R_0/K}{1 - m\omega^2/m\omega_n^2} \sin \omega t$$

$$= \frac{R_0/K}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \sin \omega t \quad (16.5-3)$$

$$K = m\omega_n^2$$

式中 ω_n ——隔振系统固有圆频率, 1/s;

R_0/K ——干扰力作用下弹簧静变形。

将式 (16.5-3) 改写为:

$$\frac{Z}{R_0/K} = \frac{1}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \quad (16.5-4)$$

$$\frac{Z}{R_0/K} = \frac{ZK}{R_0} = \frac{\text{弹性力}}{\text{干扰力}} = \frac{\text{传到支承结构上的干扰力}}{\text{干扰力}} = \text{传递率} = \eta$$

$$\therefore \eta = \left| \frac{1}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \right| = \left| \frac{1}{1 - (f/f_n)^2} \right| \quad (16.5-5)$$

$$\omega_n = 2\pi f_n, \quad \omega = 2\pi f, \quad f = n/60$$

式中 f_n ——隔振系统的固有频率, Hz;

f ——干扰频率, Hz;

n ——机械设备转速, r/min。

注: 当一台设备有几种转速时用最低转速。

传到支承结构上的干扰力 R' 为:

$$R' = ZK = R_0 \eta \quad (16.5-6)$$

隔振系统的隔振效率 T :

$$T = (1 - \eta) \times 100\% \quad (16.5-7)$$

传递率越小隔振效率越大, 隔振装置越好。

2. 单自由度有阻尼隔振系统

由只能在竖向运动的刚体、无质量的弹簧和无质量的阻尼器组成, 见图 16.5-2。

图 16.5-2 的数学式:

$$m\ddot{Z} + C\dot{Z} + KZ = R_0 \sin \omega t \quad (16.5-8)$$

$$Z = \frac{R_0}{\sqrt{(C\omega)^2 + (K - m\omega^2)^2}}$$

$$= \frac{R_0/K}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2 \frac{C}{C_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (16.5-9)$$

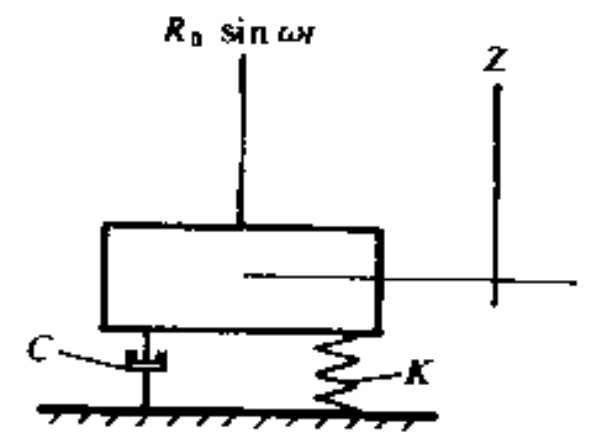


图 16.5-2 单自由度有阻尼隔振系统

$$C_c = 2m \sqrt{\frac{K}{m}} = 2\sqrt{mK} = 2m\omega_n$$

式中 C_c ——临界阻尼系数;

C ——阻尼系数。

由图 16.5-3 可知:

$$\text{传递力} = Z \sqrt{K^2 + (C\omega)^2} = R_0 \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{C\omega}{K}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\frac{C}{C_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (16.5-10)$$

有阻尼时的传递率:

$$\eta_z = \sqrt{\frac{1 + \left(2\frac{C}{C_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\frac{C}{C_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (16.5-11)$$

有阻尼时的隔振效率:

$$T_z = (1 - \eta_z) \times 100\% \quad (16.5-12)$$

传到支承结构上的干扰力:

$$R' = ZK = R_0 \eta_z \quad (16.5-13)$$

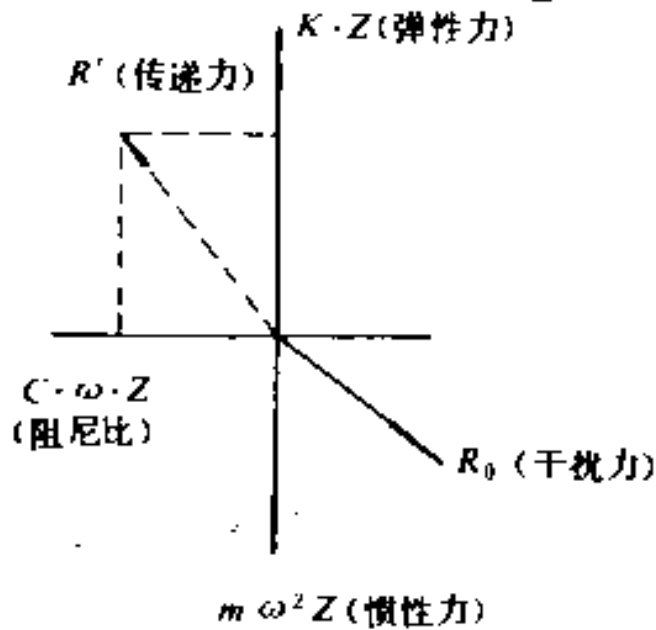


图 16.5-3 力的矢量图

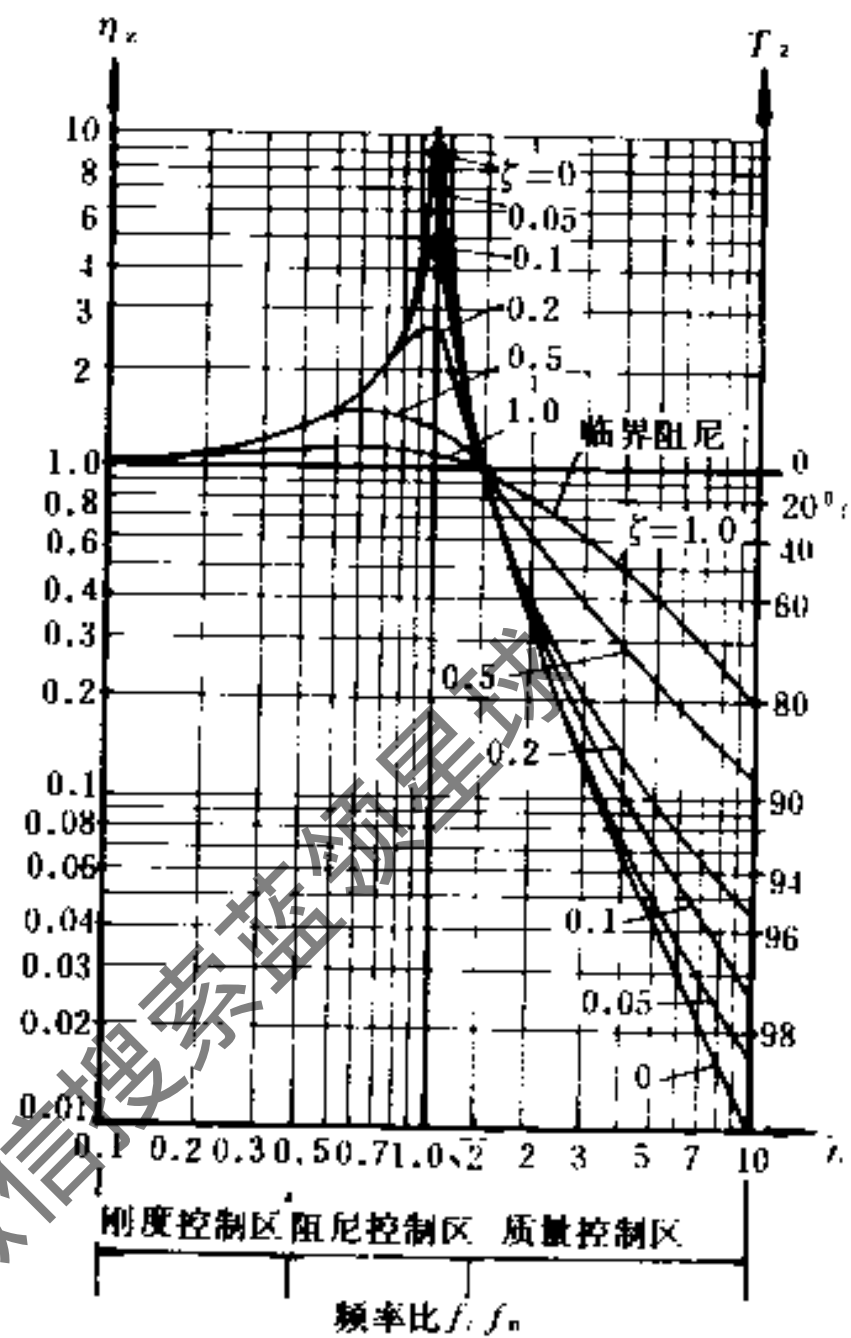


图 16.5-4 有阻尼隔振系统的 $\lambda, \zeta, \eta_z, T_z$ 关系图

有阻尼隔振系统的频率比 λ , 阻尼比 ζ , 传递率 η_z , 隔振效率 T_z 的关系见图 16.5-4 和表 16.5-1 所示。

$\lambda, \zeta, \eta_z, T_z$ 的关系

表 16.5-1

λ	ζ	η_z	T_z	特 性
$= \sqrt{2}$	不论大小	1	0	所有传递率 η_z 曲线都在 $\lambda = \sqrt{2}$ 处相交, 这时的干扰力 R_0 全部传给支承结构, $R' = R_0$ 隔振不起作用。
$> \sqrt{2}$	大	增大	降低	1. 传递率 $\eta_z < 1$ 时才有隔振效率, 随着 λ 的增大 η_z 变小, T_z 增大。一般 $\lambda = 2.5 \sim 4.5$ 之间, 即 $T_z = 80\% \sim 90\%$ 就可以了。频率比再增大, 隔振效率已无显著提高, 必须注意当频率比过大, 减振器需要很大的静态压缩量, 隔振系统的刚度和稳定性变差, 易摇晃 2. 当 $\lambda > \sqrt{2}$ 时, 有阻尼会使隔振性能降低。最佳阻尼比在 $\zeta = 0.05 \sim 0.2$ 。在此范围内, 开机和停机所产生的共振振幅不会过份的大, 隔振效率不致降低过多
	小	减小	增大	3. 在 $\lambda > \sqrt{2}$ 时开机和停机过程要通过共振区。如选用有阻尼的减振器, 应使 $\zeta = 0.08 \sim 0.2$, 这样即使在共振时, 相应的传递率仅为 $\eta_z = 2.4 \sim 5$, 这在实际工程中是允许的, 因为共振时, 往往是在低频区域, 而干扰力在低频时是很小的, 而且实际情况振动常是快速的通过共振区, 因此隔振系统来不及充份的振动, 已经转入到安全区了

续表

λ	ζ	η_z	T_z	特 性
$< \sqrt{2}$	大	放 大		传给支承结构的干扰力将成倍的增加。设计时可人为的增加阻尼来抑制振幅。这样可使自由振动很快的消失，特别是当隔振对象在开机和停机过程中通过共振区时，阻尼的作用就更大。单从隔振观点来看，阻尼增大会降低隔振效率，但在实际工程中常会遇到不规则的外界干扰力或冲击，为了避免隔振物体产生大幅度的自由振动，增加一些阻尼是有益的
	小	放大加激		
0.8~1.2	大	1.2~1.5		共振区，隔振设计必须避开这个区域。
	小	∞		振幅放大加激，当无阻尼时在理论上振幅可达无穷大，但实际上隔振系统多少总存在一些阻尼，所以振幅不可能达到无穷大
0.4~0.6	大	1.2~1.5		当频率比 λ 值只能小于 $\sqrt{2}$ 时，也要避开共振区，使 $\lambda=0.4\sim 0.6$ 而相应的传递率 η_z 为1.2~1.5，即将振幅放大20%~50%，这时的隔振目的主要是为了隔离高频声的振动

注：不论阻尼大小，只有当 $f/f_0 > \sqrt{2}$ 时才有隔振效果。

$$\lambda = \frac{f}{f_0} \quad \zeta = \frac{C}{C_c}$$

ζ 值一般由实验而得，减振器样本中也可查到。

在隔振设计中最关心的是 T_z 值的大小，它关系到隔振效率的好坏。但 T_z 值又与频率比 λ 及阻尼比 ζ 有关。

注：阻尼实质上是来自任何消耗机械能的装置，通常假设是“粘性阻尼”，即阻尼力与振动速度成正比，而方向相反，与弹性力相位差 90° 。

16.5.2 振 动 控 制

振动控制可以通过频率比来确定，见表16.5.2。

振动控制方法

表 16.5-2

频 率	控 制 方 法	响 应 特 性
$f \ll f_0$	采用大块式刚性基础	$A = R_0 K$
$f \gg f_0$	采用弹性元件隔振，要求支承设备的基座(指性块)有足够的质量	$A = R_0 m\omega^2$
$f = f_0$	共振状态，设法改变频率 f 或增大阻尼	$A = R_0 C \cdot \omega$

表中： A ——振幅。

16.5.3 设备转速与隔振的关系

1. 转速高的设备便于隔振处理，也可以得到较好的隔振效率。
2. 转速低时干扰频率小，频率比往往达不到 $f/f_0 > 2.5$ 的要求。
3. 目前国内定型的减振器产品，可供实际应用的固有频率，在2Hz以上，低于2Hz的减振器价格昂贵，无特殊要求的工程不宜采用。
4. 一般希望设备转速选在大于500 r/min，低于500 r/min的设备，其干扰力相应较小，不一定采取隔振措施。

16.6 隔 振 设 计

16.6.1 隔 振 设 计 要 求

1.明确隔振设计任务性质,是积极隔振还是消极隔振,积极隔振是防止或减少设备振动对外界的影响。消极隔振是防止或减少外界振动对精密设备的影响。两者都是通过设在设备基座与支承结构之间设置弹性元件来实现的。

2.控制频率比 $\lambda = f/f_0 \geq 2.5$ 。

3.设备振动量控制按有关标准规定及规范执行,在无标准可循时,一般无特殊要求可控制振动速度 $[V] \leq 10 \text{ mm/s}$ (峰值),开机或停机通过共振区时 $[V] \leq 15 \text{ mm/s}$ (峰值)。

4.根据使用环境性质的类别确定支承结构的振动许可值,可查有关标准规定或规范。

5.按不同性质的振源,选用不同性能的减振元件,才能达到预期的隔振目的。

6.提高频率比降低传递率使传到支承结构上的干扰力尽可能的小,以振动量不影响环境为度。

7.各类设备在不同场所的隔振传递率参见表16.6-1和16.6-2。

机械设备隔振系统隔振传递率参考值 表 16.6-1

分类根据	机器功率 (kW)	隔 振 传 递 率 η (%)		
		底 层	二 层 以 上 (重型结构)	二 层 以 上 (轻型结构)
设备功率	< 7	只考虑隔声	50	10
	10~20	50	25	7
	27~54	20	10	5
	68~136	10	5	2.5
	136~400	5	3	1.5

机械设备隔振系统隔振传递率参考值 表 16.6-2

分类根据	机 器 种 类	隔 振 传 递 率 η (%)	
		地下室、工厂底层	二 层 以 上
设备种类	泵	20~30	5~10
	往复式冷冻机	20~30	5~15
	密封式冷冻设备	30	10
	离心式冷冻机	15	5
	通风机	30	10
	管路系统	30	5~10
	发电机	20	10
	冷却塔	30	15~20
	冷凝器	30	20
	换气装置	30	20
空气调节设备	30	20	

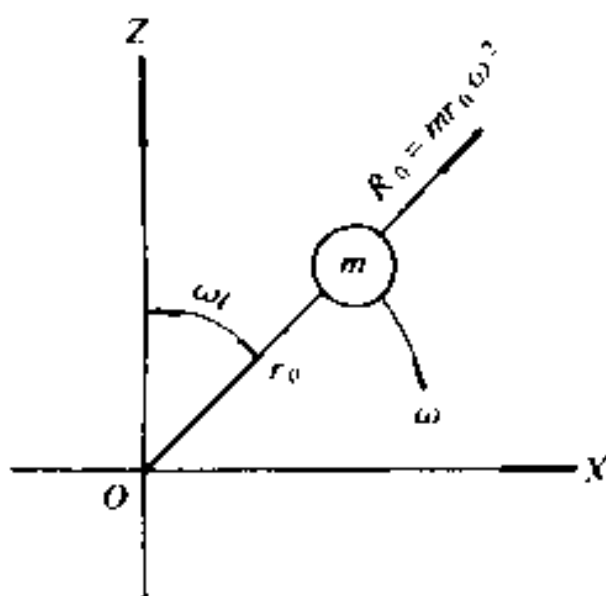
续表

分类根据	场 所	示 例	隔振传递率(%)
建 筑 性 质	只考虑隔声	工厂、地下室、仓库、车库	80
	一般场所	办公室、商店、食堂	20~40
	须注意的场所	旅馆、医院、学校、教室	5~20
	特别注意的场所	播音室、音乐厅、宾馆	1~5

注：以上机械转速一般大于500r/min。

16.6.2 干 扰 力 计 算

一般旋转型机械如风机、水泵等的干扰力 R_0 见图16.6-1：



$$R_0 = mr_0\omega^2 \times 10^{-3} = 1.1 \times 10^{-5} m r_0 n^2 \quad (16.6-1)$$

式中 m ——旋转部件的总质量, kg;
 R_0 ——最大干扰力, N;
 r_0 ——偏心距, mm;
 n ——机械设备转速, r/min。

为了计算方便,也可仅用叶轮或转子的质量来代替旋转部件的总质量,并用调整偏心距来弥补:调整后的偏心距称为当量偏心距。当设备在潮湿和腐蚀性较为严重的环境中使用,旋转部件的质量应乘以介质系数1.2。

旋转部件质量 m 在缺乏实际资料时可用设备重量乘以系数来计算,系数见表16.6-3。

旋转部件质量 m

表 16.6 3

设备及形式	风 机						水 泵		电 机		
	A 式	C、D式	B、E式	E 式	2E式	塑料、玻璃钢 A、C式	玻璃钢 A 式、C、D式	3~4极	4~8极		
m (kg)	0.3 Q_1	0.15 Q_1	0.14 Q_1	0.3 Q_1	0.4 Q_1	0.16 Q_1	0.25 Q_1	0.13 Q_1	0.05 Q_1	0.25 Q_1	0.34 Q_1
Q_1 (kg)	设备重量、不包括电机或水泵底座								电机重量		

风机、电机、水泵的当量偏心距见表16.6-4。

当量偏心距 r_0 (mm)

表 16.6 4

设备及形式	风 机			水 泵				电 机				
	A 式	C、B式	D、E式	转 速 (r/min)				转 速 (r/min)				
r_0	0.25	0.5	0.1	2900	1450	1000	750	2900	1450	1000	750	~600
				0.2	0.4	0.6	0.8	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3

注：1.引风机、鼓风机的当量偏心距 $r_0 = 0.7 \sim 1\text{mm}$ 。

2.对于中低压离心通风机,不论机号大小,当用实际旋转部件总质量来计算干扰力时,不用当量偏心距,用偏心距 $R_0 = 0.25\text{mm}$ 。

16.6.3 隔振基座

1. 隔振基座的作用:

(1) 使隔振元件受力均匀, 设备振动受到控制, 因此要求隔振基座有一定的质量和刚度。

(2) 减少因机械设备重心位置的计算误差导致的不利影响。

(3) 降低隔振系统的重心位置, 增加隔振系统的稳定性。

(4) 提高隔振系统的刚度, 减少其他外力引起的设备的变位或倾斜等不利影响。

(5) 减少机械设备通过共振时, 隔振系统的整体稳定性。

(6) 便于减振器安装, 更便于调整减振器位置使基座水平。

2. 隔振基座重量与机组重量的比例关系, 一般情况下可参见表 16.6-5。

隔振基座重量与机组重量比值推荐值

表 16.6-5

机组名称	离心水泵	离心风机	往复式压缩机	柴油机
比值 = $\frac{Q_1}{Q_2}$	1	$\frac{0.5}{1} \sim \frac{3}{1}$	$\frac{3}{1} \sim \frac{6}{1}$	$\frac{2}{1} \sim \frac{3}{1}$

注: 1. 表中比值为一般情况下的关系, 但应以动力计算为准。

2. 表中 Q_2 —设备机组重量, Q_1 —基座重量。

3. 隔振基座刚度:

对于钢筋混凝土平板型的基座厚度 H 一般可取基座长度 L 的 $1/10$, 即 $H \approx L/10$ 。对于型钢结构基座, 基座承重梁挠度不大于 $L/500$ 。对于高重心的设备, 一般取基座宽度接近于设备的重心高度。对于往复式运动的机械多采用 T 形钢筋混凝土基座, 以降低机组重心保证隔振系统的稳定性。

对于中低压离心通风机, 采用型钢基座推荐用料见表 16.6-6。

中低压离心通风机隔振基座型钢用料

表 16.6-6

传动方式	机号	基座槽钢型号	支架角钢型号	传动方式	机号	基座槽钢型号	支架角钢型号
A	2.8~3.6	[5	L50×6	B	11	[16a	L75×6
	4~5	[6.3	L6.3×6		16	[18a	L80×8
D	6	[8	L70×6	E	18	[20a	L80×8
C	8	[10	L70×6		20	[22a	L80×8
E	10	[12.6	L70×6				
	12	[14a	L75×6				

注: 支架为支承电机及轴承箱的架子。

4. 隔振基座结构形式的确定原则:

(1) 高压离心通风机, 一般采用钢筋混凝土平板型结构基座, 或槽钢钢筋混凝土混合型结构基座 (槽钢边框内上下焊双向钢筋再浇混凝土), 既有一定的刚度和质量, 又可比钢筋混凝土基座厚度小, 厚度可参见表 16.6-6。支架则用槽钢制作以增加其刚度。

(2) 中低压离心通风机, 一般采用型钢结构基座。

- (3) 压缩机或压缩机组, 以及高重心的设备, 一般采用钢筋混凝土 T形结构基座。
- (4) 对于冷水冷凝机组的制冷设备, 一般宜采用型钢钢筋混凝土混合型结构基座。
- (5) 水泵隔振基座宜采用钢筋混凝土结构基座。
- (6) 每台机械设备宜采用单独的隔振基座, 不宜做成多台联合基座。

16.6.4 隔振系统的振动量计算

隔振系统的重心(机组、基座、支架的总重心), 与隔振元件的刚度中心应力求在同一垂线上, 当难于满足时, 其偏心不应大于偏心方向基座边长的 5%。当隔振基座平面为矩形, 隔振系统重心与隔振元件刚度中心重合, 隔振元件采取对称布置时, 其重心处的振动速度幅值 V mm/s 可假定按单自由度来计算:

$$V = \frac{R_0}{\sum K_z} \cdot \eta_z \cdot 2\pi f \ll [V] \quad (16.6-2)$$

式中 K_z ——单只减振器的竖向刚度, N/mm;

R_0 ——干扰力, N;

振动的振幅、速度、加速度之间的关系:

$$\text{速度} \quad V = A 2\pi f$$

$$\text{加速度} \quad a = A (2\pi f)^2$$

式中 A ——振幅(位移)。

16.6.5 风机隔振后的振动影响范围

当风机隔振效率 $T \geq 90\%$, 这时隔振后的风机振动对支承结构的振动影响范围, 一般在水泥地坪上约为 5m。钢筋混凝土楼板上, 6号以下风机约为 7 m, 8号以上风机约为 12m。不与风机同层, 可不考虑隔振后的风机振动影响。

16.7 隔振元件

16.7.1 隔振材料及减振器

1. 隔振材料基本特性见表 16.7 1。

隔振材料基本特性

表 16.7 1

材料名称	固有频率 (Hz)	适用干扰频率 (Hz)	动静刚度比	特 性
软 木	11~30	$\geq 30 \sim 75$	1.1~1.8	固有频率与厚度有关, 厚度厚频率低, 厚度薄频率高, 一般厚度在 50、100、150mm
毛 毡	20~40	$\geq 50 \sim 100$		一般厚度在 12~25mm, 注意防腐
酚醛树脂玻璃纤维板	4~10	$\geq 10 \sim 25$	2~2.2	不会腐坏和老化, 但水易渗入, 产品特性变化大, 不易控制
矿 棉 毡	15~20	$\geq 40 \sim 50$		厚度在 20~50mm

隔振材料的固有频率 f_n (Hz):

$$f_n = \frac{5\zeta}{\delta_j} \quad (16.7-1)$$

式中 ζ ——动静刚度比;

δ_j ——静态压缩量, cm;

2. 减振器基本特性见表16.7-2。

各类减振器基本特性

表 16.7 2

减振器种类	固有频率 (Hz)	适用于扰频率 (Hz)	特 性
空气弹簧减振器	0.7~3.5	2.5以上	是利用空气内能的减振器。性能取决于绝对温度, 并随工作气压和胶囊形状的改变而变动, 具有很高的隔振效率。刚度根据需要选用。非线性适用各种荷载。安装、保养及环境有一定要求, 价格较贵
金属螺旋弹簧减振器	2~5	5以上	弹簧的动静刚度基本相等, 计算与实测一致。长期使用下不产生松弛, 性能稳定, 耐高低温, 耐油耐腐蚀, 寿命长, 可做成压缩型的减振器, 用于支承或悬吊减振。阻尼很小
预应力阻尼弹簧减振器, 阻尼弹簧减振器	1.8~5	5以上	具有金属弹簧减振器和橡胶减振器的双重优点, 克服弹簧减振器的小阻尼的缺点, 由于设计时设置了橡胶配件, 隔离高频噪声效果好, 价格适中
橡胶减振器	10~30	25以上	在轴向、横向和回转方向振动有隔振作用。阻尼大, 隔离高频噪声性能好。可根据动力特性需要, 设计各种形状。可与金属件硫化粘结, 价格相对较低。耐高低温性能差, 适应温度在-5~50℃。寿命相对较低, 一般约5~10年
橡胶剪切减振器	4.5~18	10以上	
不锈钢金属丝网减振器	12~14	30以上	阻尼大, 耐油、耐高低温, 寿命长, 加工工艺复杂, 价格高, 防冲击性能好
橡胶减振垫	10~14	25以上	具有橡胶的高弹性, 造型和压制方便, 内阻大, 吸收高频振动能量好。可多层叠合使用, 以降低固有频率。价廉, 易受温度、油质、臭氧、日光、化学溶剂的侵蚀, 易老化, 寿命一般约5~10年

3. 隔振元件选型与振源性质的关系见表16.7-3。

隔振元件选型与振源性质的关系

表 16.7-3

振源性质	转速 (r/min)	选用减振元件或隔振材料类型
旋 转 振 动	≥ 1500	橡胶减振垫或其他隔振材料橡胶减振器
	≥ 900	橡胶剪切减振器或固有频率低于6Hz的减振器
	≥ 600	金属弹簧减振器, 阻尼弹簧减振器, 预应力阻尼弹簧减振器
	≥ 300	空气弹簧减振器
冲 击 振 动		橡胶减振垫或专用的减振器, 金属丝网减振器或隔振材料
水 平 方 向 振 动		选用专用的减振器, 能承受水平荷载。减振器应具有较大的水平刚度
管 道 振 动		选用专用的挠性接管安装于水泵的进出水口处及管道弯折处。风机进出风口处用人造革软管。管路中安装悬吊或支承型的金属或橡胶减振器, 管道穿过墙体或楼板时, 安放弹性材料或橡胶减振带隔离振源

16.7.2 减振器承受的荷载

减振器承受静动两种荷载

1. 静荷载：设备机组和隔振基座等总重量。
2. 动荷载：设备机组产生的全部干扰力。

这两种荷载叠加后为减振器的使用总荷载 W (N)：

$$W = Q_j + 1.5R_0 \quad (16.7.2)$$

式中 $Q_j = Q_2 + Q_3$ ——设备机组与隔振基座总荷载，N；

1.5 ——减振器疲劳系数。

减振器的使用荷载应小于减振器的额定荷载，一般选用额定荷载的85%左右。对于隔振要求不太严格的场所或设备，且又难于取得计算干扰力的有关资料时，可用设备机组重量 Q_2 乘以动荷系数 β 来代替设备机组重量加干扰力，即

$$G = Q_2 + R_0 - Q_2 \cdot \beta \quad (16.7.3)$$

式中 G ——设备机组重量加干扰力。

动荷系数 $\beta = 1.1 \sim 1.4$ 。

动荷系数 β 一般可根据设备机组总重量 Q_2 与其转速 n 的大小来选择，当 Q_2 大 n 小时 β 取下限，当 Q_2 小 n 大时， β 取上限。

这时减振器的使用总荷载 W ：

$$W = G + Q_3 \quad (16.7.4)$$

16.8 管道隔振

设备和管道内的介质以及固定管道的构件，均能传递振动和辐射噪声。管道隔振一般是通过设置挠性接管和悬吊或支承的减振器来实现的，它与基座下设置减振器隔振不同。管道隔振后，管道内介质的振动仍然可以沿着管道传递。因此在振动力和辐射面相当条件下，其隔振降噪的效果，远不及支承式的基座隔振效果显著。

风机进出风口与管道之间的软管，目前普遍采用人造革材料制作。其合理长度 L 可根据风机的机号来确定：

No2.8 ~ 6 $L = 200\text{mm}$

No 8 ~ 20 $L = 400\text{mm}$

水泵的进出水口处应配置橡胶挠性接管。

输送高温高压流体及氟利昂、氨等介质的管道，采用不锈钢波纹管。设备与管道之间配置挠性接管或软管后，还需要采取支承或悬吊支架隔振装置。

16.9 隔振设计示例

1. 风机隔振

型号4-68，机号No8，传动方式C式，转速 $n = 1400\text{r/min}$ ，风机重量 $Q_1 = 661\text{kg}$ ，配用电机Y180M-4。查表16.6-4采用当量偏心距 $r_0 = 0.5\text{mm}$ ， $f = 1400/60 = 23\text{Hz}$ ，查

表16.6-3。

旋转部件质量 m 取风机重量的0.15。

$$m = 0.15Q_1 = 0.15 \times 661 = 99\text{kg}$$

按式(16.6-1):

$$R_0 = 1.1 \times 10^{-5} m r_0 n^2 = 1.1 \times 10^{-5} \times 99 \times 0.5 \times 1400^2 = 1067\text{N}$$

不考虑电机干扰力的影响。

隔振系统静荷载 Q_j :

风机荷载	$Q_1 = 6610\text{N}$
电机荷载	$= 1770\text{N}$
滑轨荷载	$= 150\text{N}$
风机电机槽轮荷载	$= 500\text{N}$
支架荷载	$= 750\text{N}$

机组总荷载 $Q_2 = 9780\text{N}$

基座荷载 $Q_3 = 2600\text{N}$

隔振系统静荷载 $Q_j = 12380\text{N}$

注: $1\text{kg} \approx 10\text{N}$ (牛顿)

减振器使用总荷载:

$$W = Q_j + 1.5R_0 = 12380 + 1.5 \times 1067 = 13981\text{N}$$

选用8只减振器隔振。

每只减振器使用荷载:

$$P = 13981 / 8 = 1748\text{N}$$

查减振器样本选用TJ5-7型预应力阻尼弹簧减振器。其刚度 K_z 为68.6N/mm, 减振器额定荷载 $[P] = 2120\text{N}$

$$[P] = 2120\text{N} > P = 1748\text{N} \text{ “可以”}$$

减振器竖向总刚度 ΣK_z : $68.6 \times 8 = 548.8\text{N/mm}$

计算减振器固有频率及减振器压缩量用隔振系统静荷载 Q_j 。

$$P = Q_j / 8 = 12380 / 8 = 1548\text{N} \text{ 查减振器样本得:}$$

$$f_n = 3.4\text{Hz}, \text{ 减振器压缩量 } \Delta F = 7\text{mm},$$

$$\text{减振器原始高度 } H = 131\text{mm},$$

$$\text{减振器安装后高度 } H' = H - \Delta F = 131 - 7 = 124\text{mm}.$$

$$\text{频率比 } \lambda = \frac{f}{f_n} = \frac{23}{3.4} = 6.76 > 2.5 \text{ “可以”}.$$

查减振器样本或按公式(16.5-11)计算得 $\eta_z = 0.022$ 。

隔振效率 $T_z = 1 - \eta_z = 97.8\%$ “很好”

传到支承结构的干扰力

$$R' = R_0 \cdot \eta_z = 1067 \times 0.022 = 23\text{N}$$

隔振系统振动速度(假定符合单自由度条件)。

按公式(16.6-2)

$$V = \frac{R_0}{\Sigma K_z} \cdot \eta_z \cdot 2\pi f = \frac{1067}{548.8} \times 0.022 \times 2 \times 3.1416 \times 23$$

$$= 6.45 \text{ mm/s} < [V] = 10 \text{ mm/s}$$

满足振动要求，隔振效率甚佳。

2. 水泵隔振

水泵型号 IS80 50-200

水泵重量 $Q_1 = 60 \text{ kg}$

配用电动机 Y132S-2

转速 $n = 2900 \text{ r/min}$, $f = \frac{n}{60} = 48 \text{ Hz}$

水泵旋转部件质量，由表 16.6-3

$$m = 0.05Q_1 = 0.05 \times 60 = 3 \text{ kg}$$

按公式 (16.6-1) 由表 16.6-4 得 $r_0 = 0.2 \text{ mm}$ 。

计算水泵干扰力：

$$R_0 = 1.1 \times 10^{-5} \cdot m \cdot r_0 \cdot n^2 = 1.1 \times 10^{-5} \times 3 \times 0.2 \times 2900^2 = 55 \text{ N}。$$

不考虑电机干扰力的影响。

隔振系统静荷载 Q_1 ：

水泵荷载	$Q_1 = 600 \text{ N}$
电机荷载	$= 1270 \text{ N}$
水泵底盘荷载	$= 880 \text{ N}$

机组荷载	$Q_2 = 2750 \text{ N}$
------	------------------------

基座荷载	$Q_3 = 3730 \text{ N}$
------	------------------------

隔振系统静荷载 $Q_1 = 6480 \text{ N}$

减振器使用总荷载：

$$W = Q_1 + 1.5R_0 = 6480 + 1.5 \times 55 = 6563 \text{ N}$$

选用 TJ₁-3 型橡胶减振垫隔振。

隔振系统采用 8 个支点隔振，每个支点荷载：

$$P = 6563/8 = 820 \text{ N}$$

每块减振垫额定荷载，查减振器样本取：

$[P] = 500 \text{ N/块}$ ，每块减振垫尺寸 $60 \times 60 \times 20 \text{ (mm)}$

每个支点需要减振垫块数：

$n = 820/500 = 1.64 \text{ 块}$ ，采用 2 块。四层叠合使用可以降低隔振系统的固有频率。

每个支点减振垫静荷载：

$$P_j = 6480/8 = 810 \text{ N}$$

每块减振垫静荷载为：

$P_j/2 = 810/2 = 405 \text{ N}$ ，查减振垫样本得：

隔振系统固有频率 $f_0 = 12 \text{ Hz}$

四层减振垫压缩量 $\Delta F = 7 \text{ mm}$

四层减振垫高度 $H = 56\text{mm}$

减振垫安装后的高度 $H' = H - \Delta F = 56 - 7 = 49\text{mm}$

每个支点减振垫刚度 $K_z = 810/7 \approx 116\text{N/mm}$

隔振系统总刚度 $\Sigma K_z = 116 \times 8 = 928\text{N/mm}$

频率比 $\lambda = \frac{f}{f_n} = \frac{48}{12} = 4 > 2.5$ “可以”

查减振垫样本或按公式 (16.5-11) 计算得:

$\eta_z = 0.09$ 隔振效率 $T_z = 1 - \eta_z = 91\%$, “很好”

传到支承结构的干扰力:

$$R' = R_0 \cdot \eta_z = 55 \times 0.09 \approx 5\text{N}$$

隔振系统振动速度 (假定符合单自由度条件)。

按公式 (16.6-2)

$$V = \frac{R_0}{\Sigma K_z} \cdot \eta_z \cdot 2\pi f = \frac{55}{928} \times 0.09 \times 2 \times 3.1416 \times 48 \\ = 1.6\text{mm/s}$$

$$V = 1.6\text{mm/s} < [V] = 10\text{mm/s}$$

满足振动要求, 隔振效果甚佳。

3. 管道隔振

管道荷载 $g = 700\text{N/m}$ (包括保温重量)

求管道吊点间距 L

选用悬吊减振器, 减振器额定荷载:

$$[P] = 2080\text{N}$$

吊点间距 $L = [P]/g = 2080/700 = 2.93\text{m}$

采用 $L = 2.5\text{m}$ 但要小于管道本身许可支点间距。

16.10 机械设备及管道隔振措施示例图

1. 图 16.10-1 风机隔振降噪系统示意图 (一) (安装于地坪或楼盖上)。
2. 图 16.10-2 风机隔振降噪系统示意图 (二) (安装于屋面上)。
3. 图 16.10-3 水泵隔振降噪系统示意图 (安装于地坪或楼盖上)。
4. 图 16.10-4 冷却水泵隔振降噪系统示意图 (安装于屋面上)。
5. 图 16.10-5 管道安装于楼盖或屋面上隔振降噪示意图。
6. 图 16.10-6 管道隔振降噪安装示意图。
7. 图 16.10-7 冷却塔安装于屋面上隔振降噪示意图。
8. 图 16.10-8 隔噪平顶及管道隔振降噪安装示意图。
9. 图 16.10-9 管道隔振组合安装示意图。
10. 图 16.10-10 制冷压缩机隔振基座 (一) (平置式)。
11. 图 16.10-11 制冷压缩机隔振基座 (二) (凹下式)。
12. 图 16.10-12 节点图。

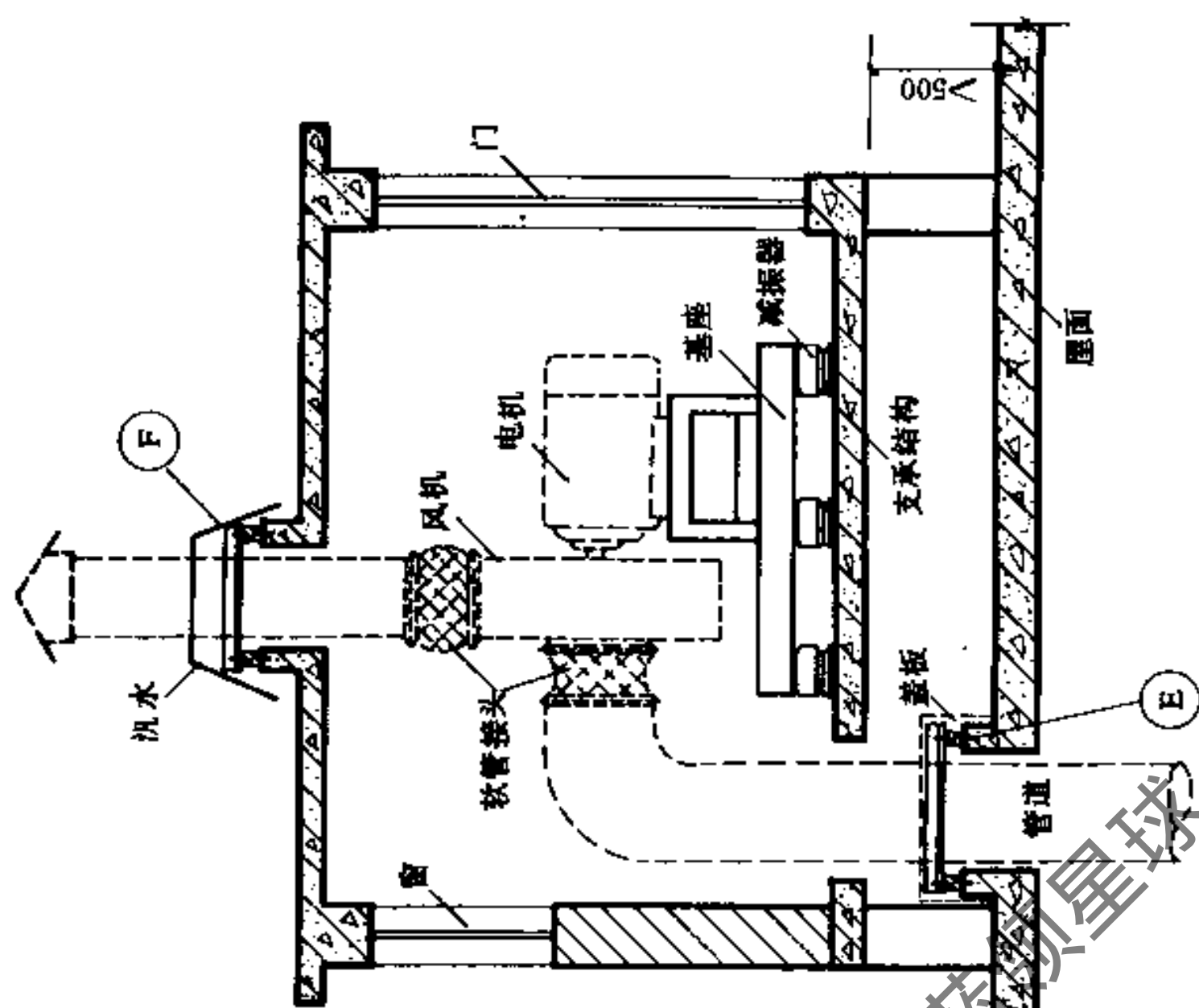


图 16.10.2 风机隔振降噪系统示意图 (二)
(安装于屋面上)

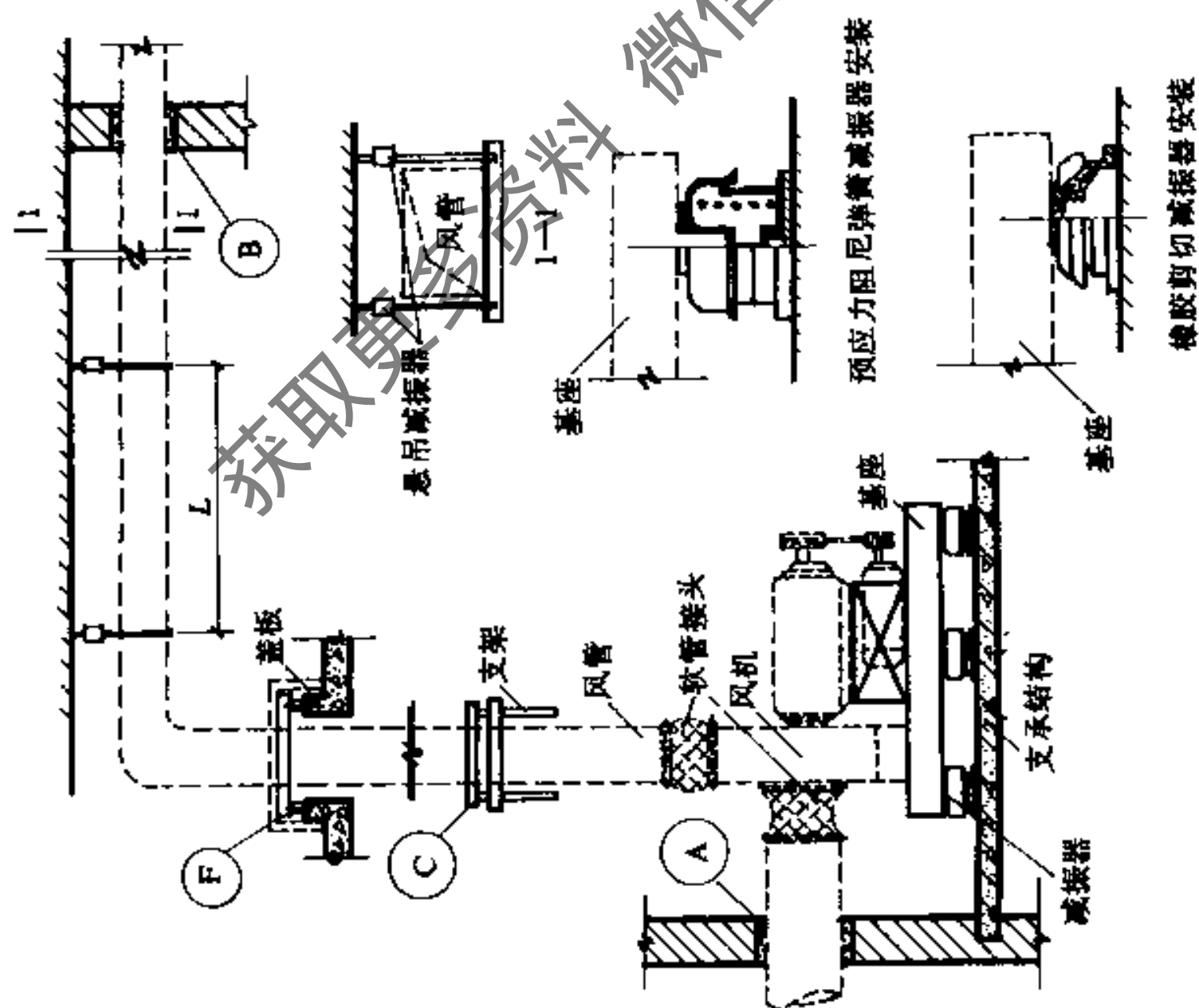


图 16.10.1 风机隔振降噪系统示意图 (一)
(安装于地坪或楼盖上)

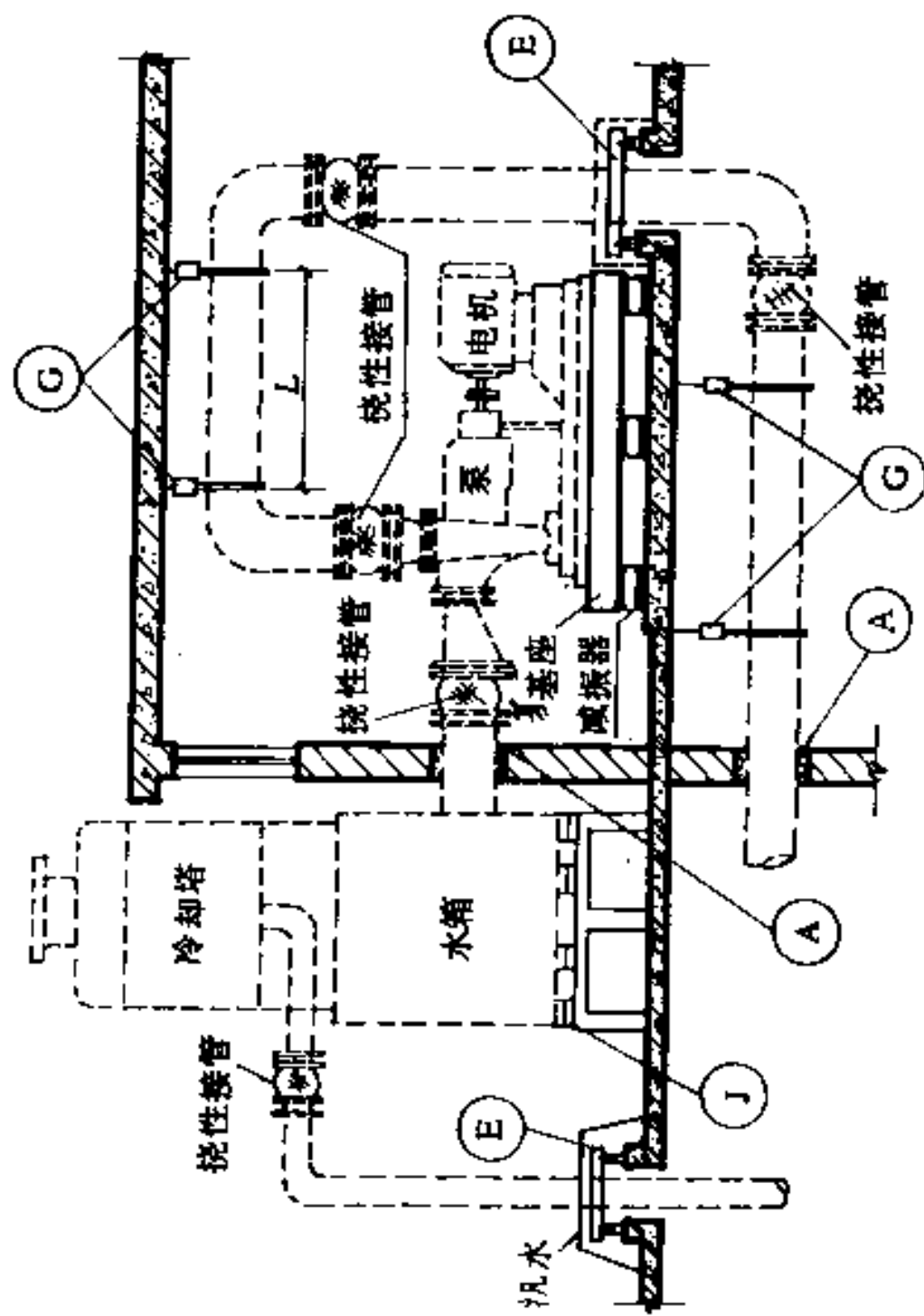


图 16.10.4 冷却水泵隔振降噪系统示意图
(安装于屋面上)

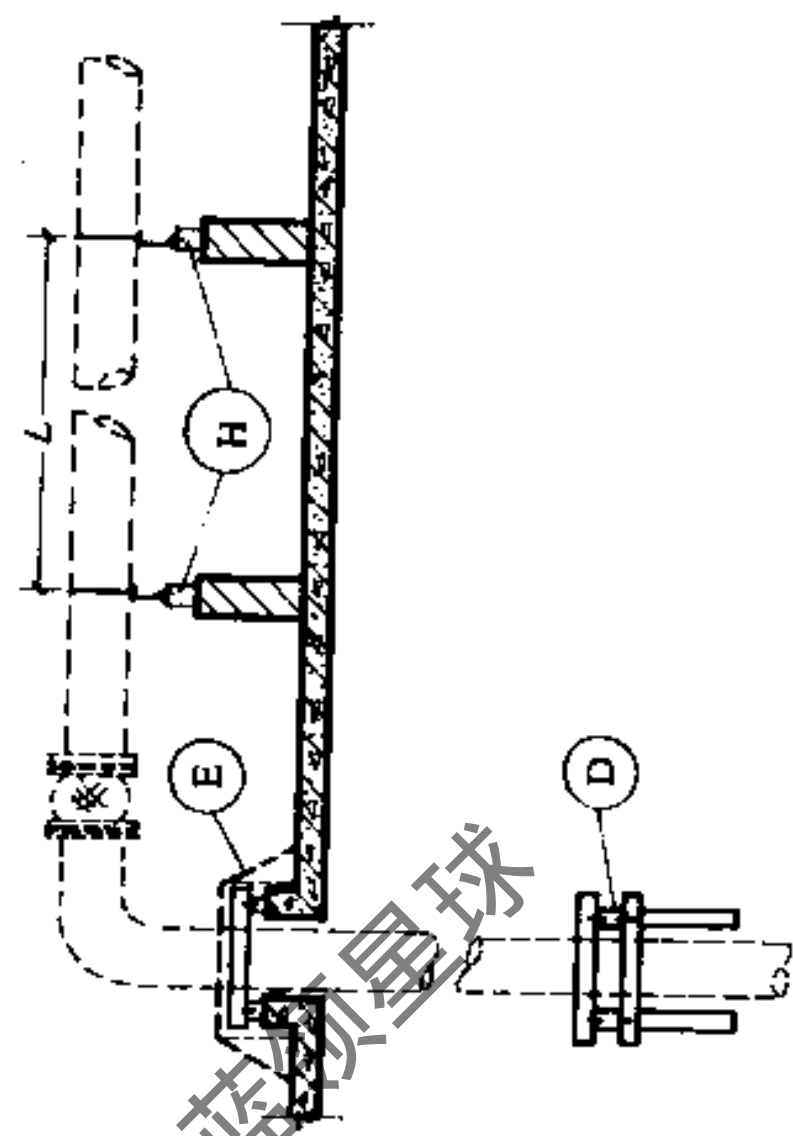


图 16.10.5 管道安装于楼盖或屋面上隔振降噪示意图

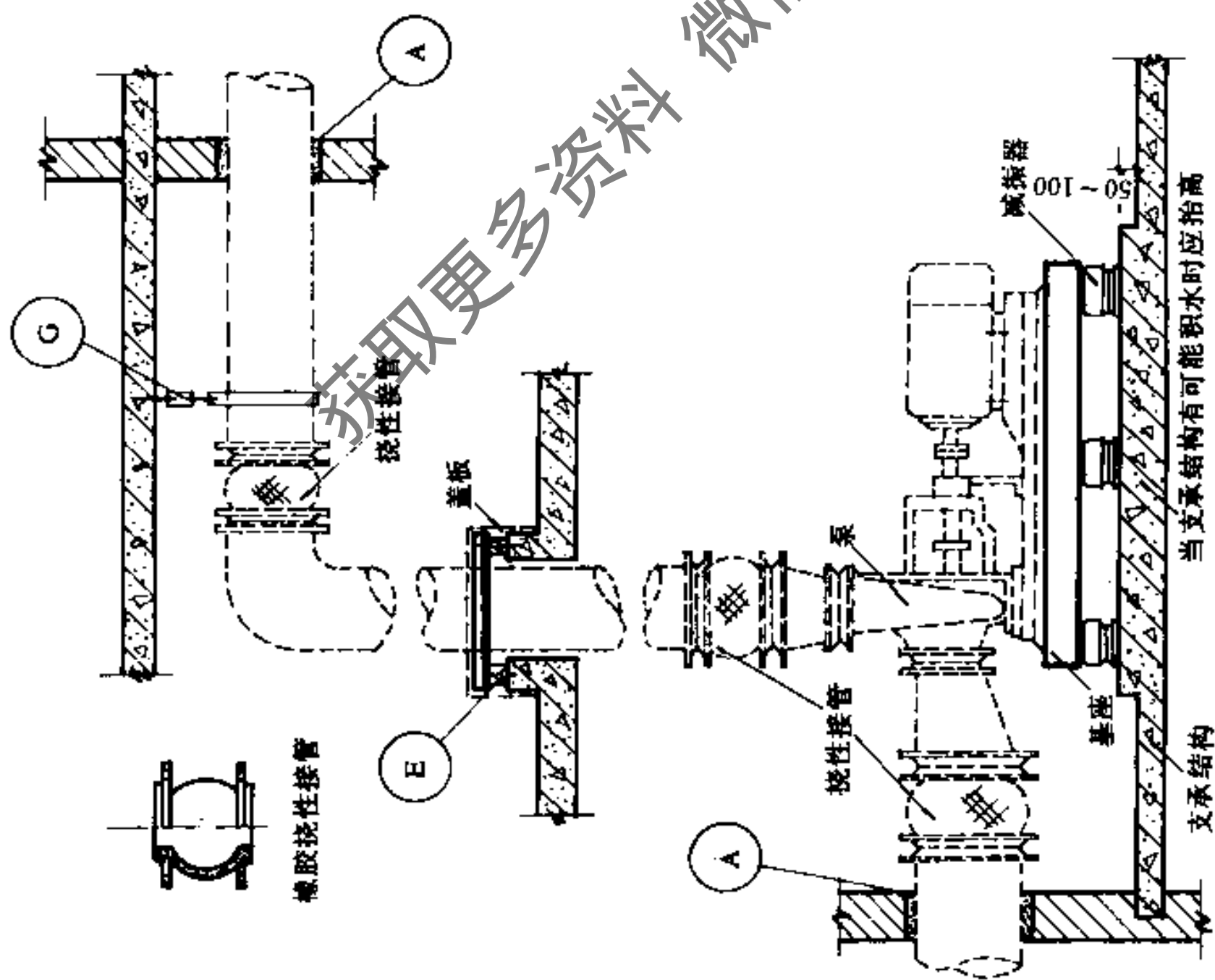
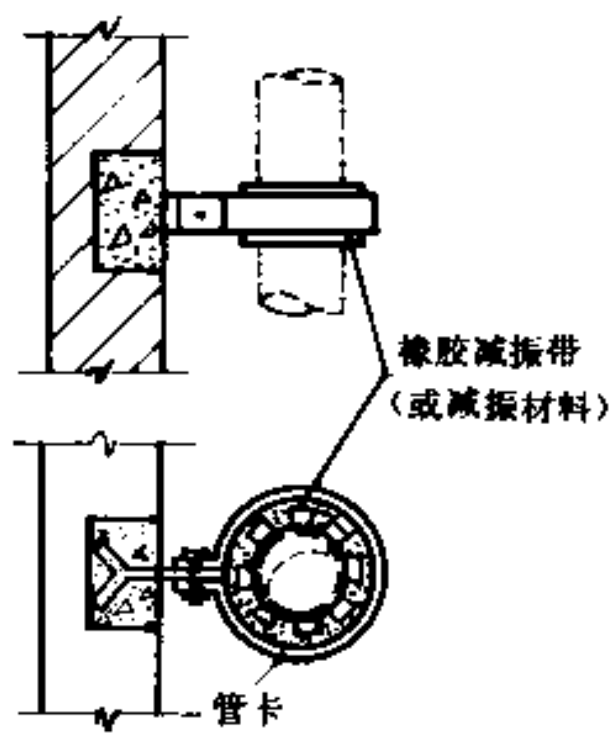
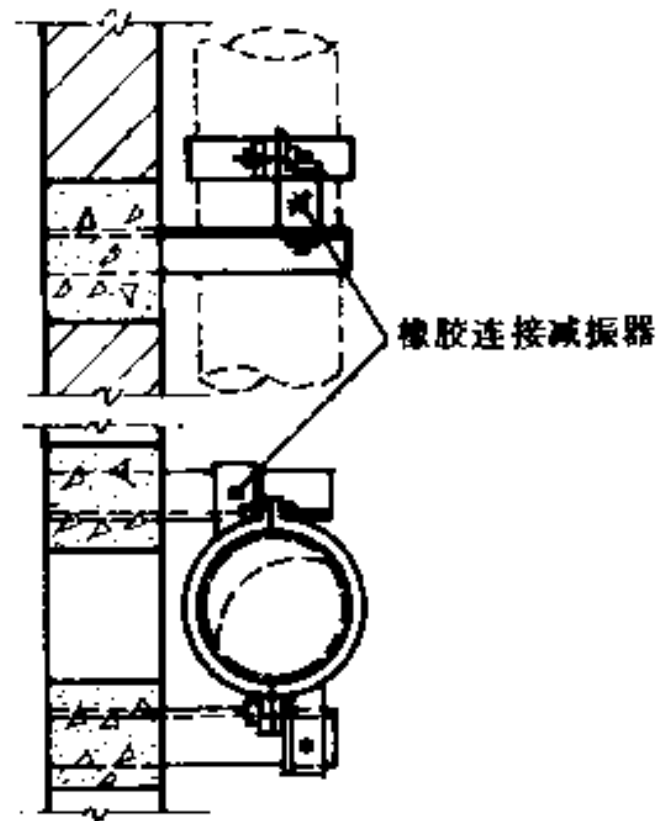


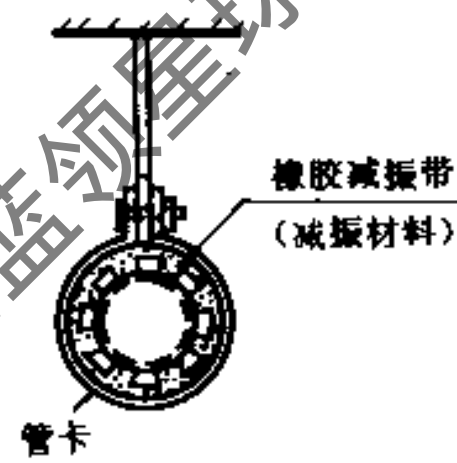
图 16.10.3 水泵隔振降噪系统示意图
(安装于地坪或楼盖上)



竖管用橡胶减振带隔振安装



竖管用橡胶连接减振器隔振安装



水平管道用橡胶减振带悬吊隔振安装

图 16.10-6 管道隔振降噪安装示意图

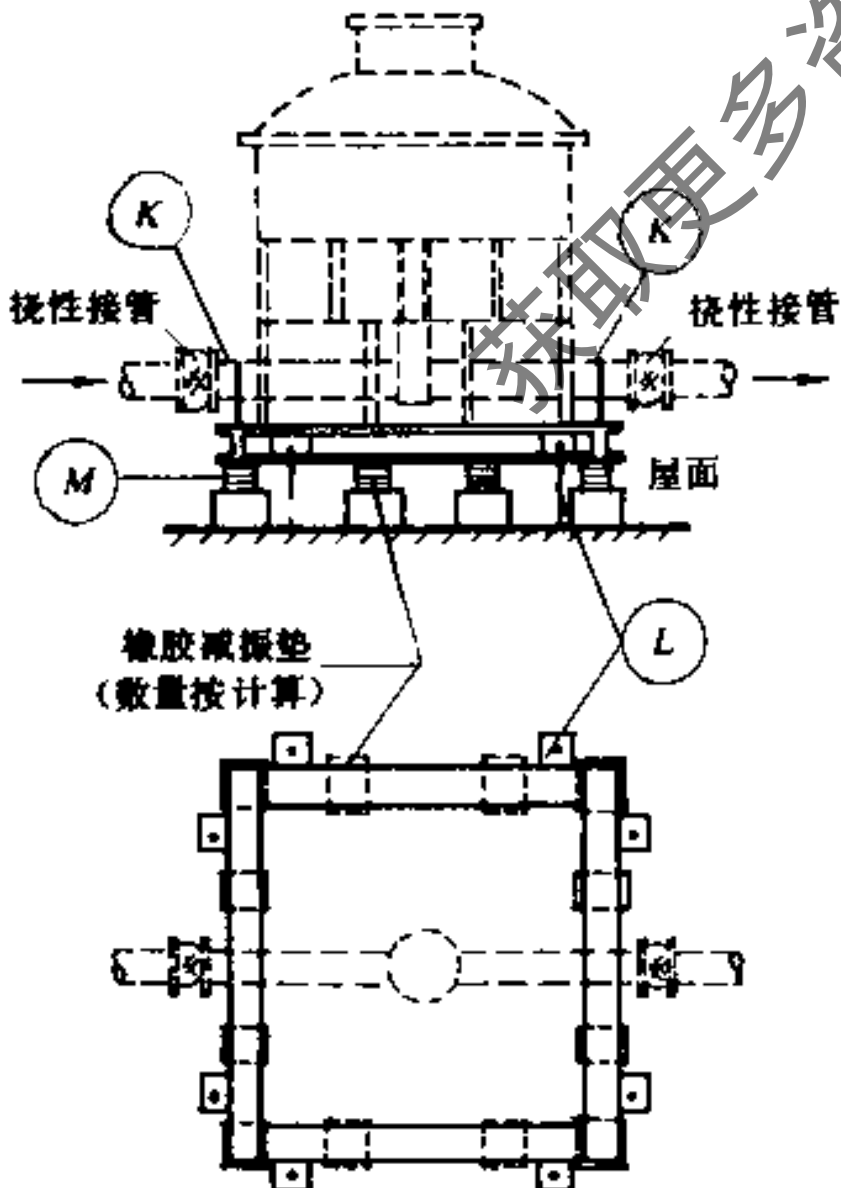


图 16.10-7 冷却塔安装于屋面上隔振降噪示意图

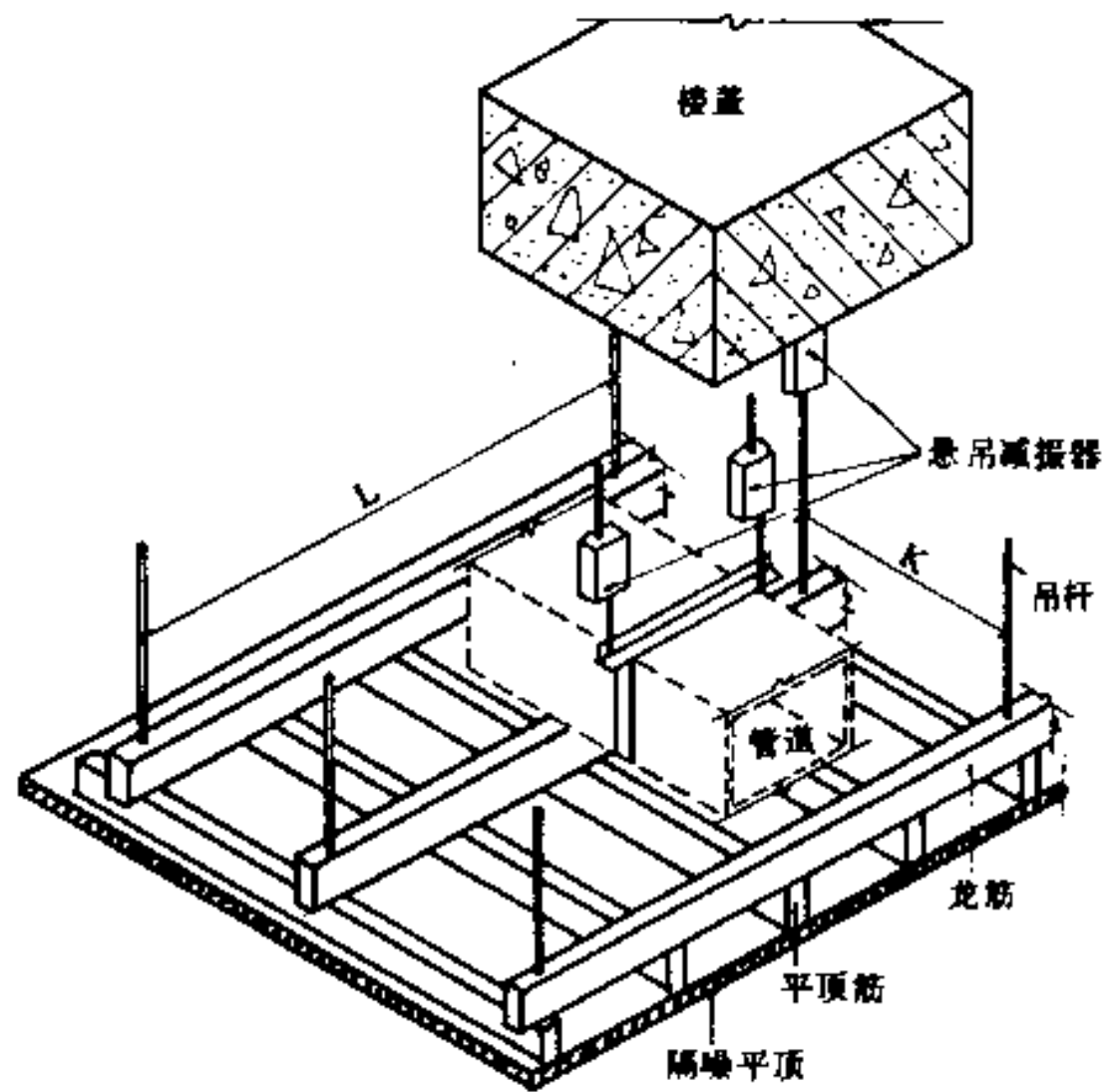


图 16.10 8 隔噪平顶及管道隔振降噪安装示意图

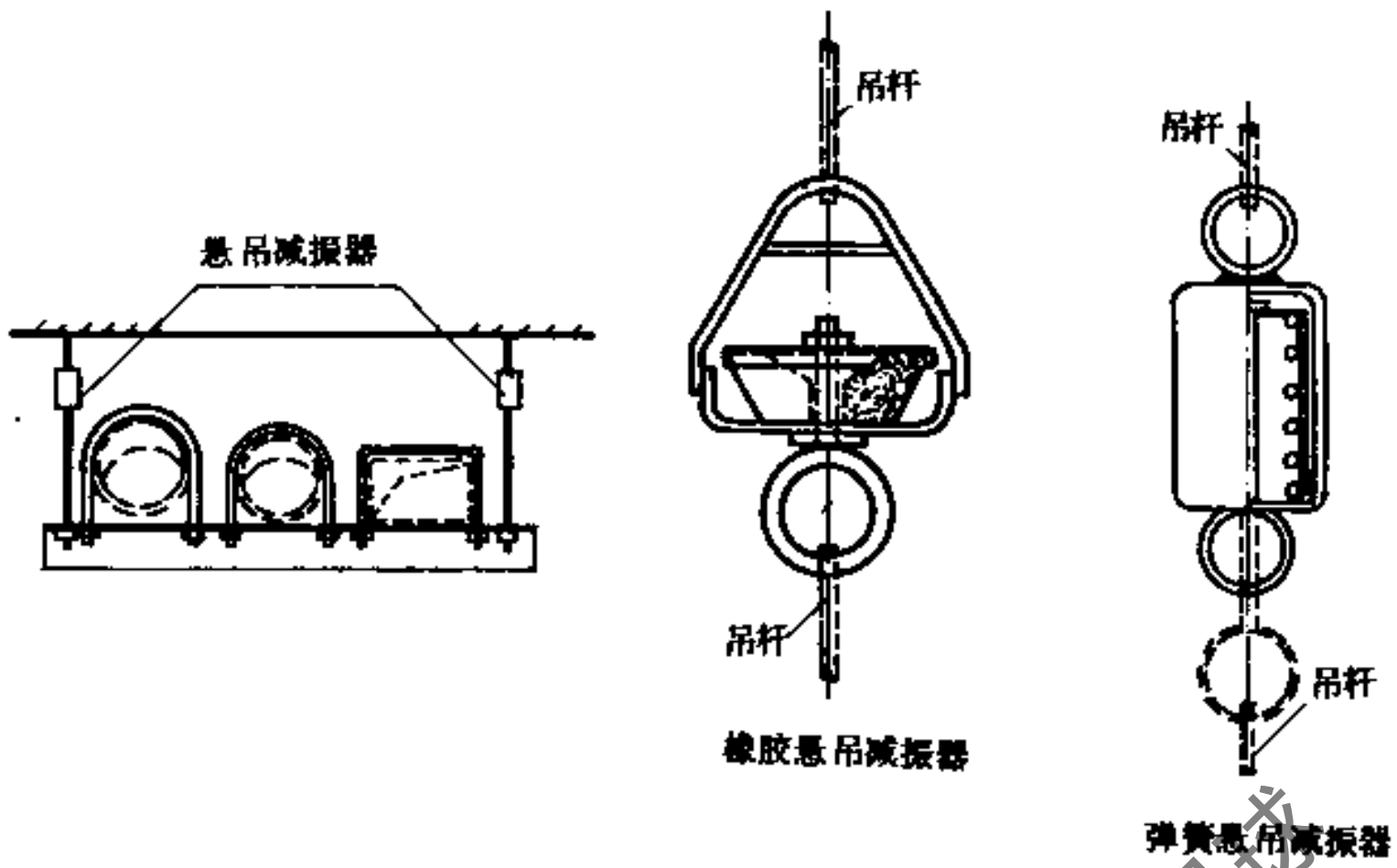


图 16.10-9 管道隔振组合安装示意图

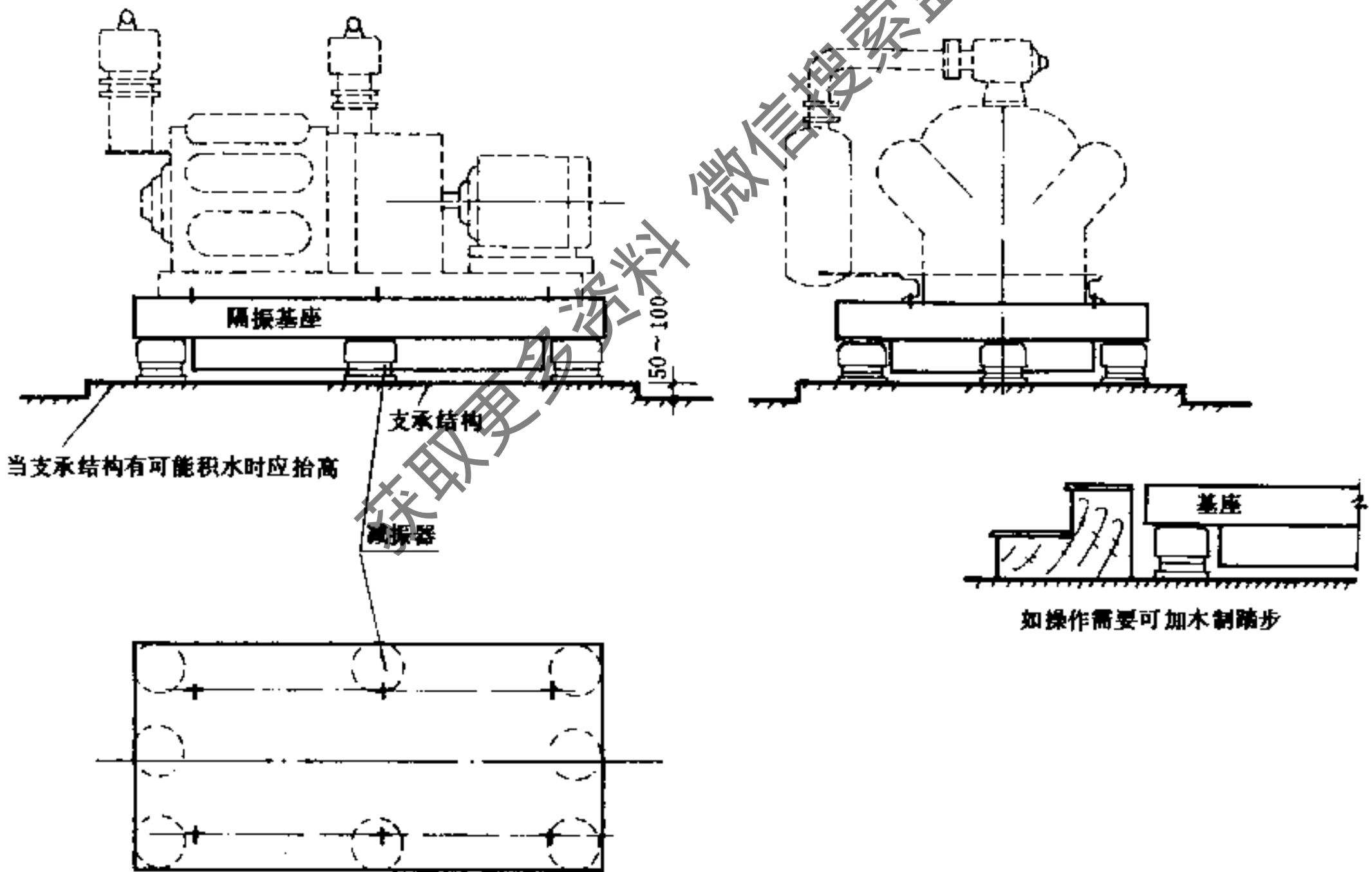


图 16.10-10 制冷压缩机隔振基座 (一)(平置式)

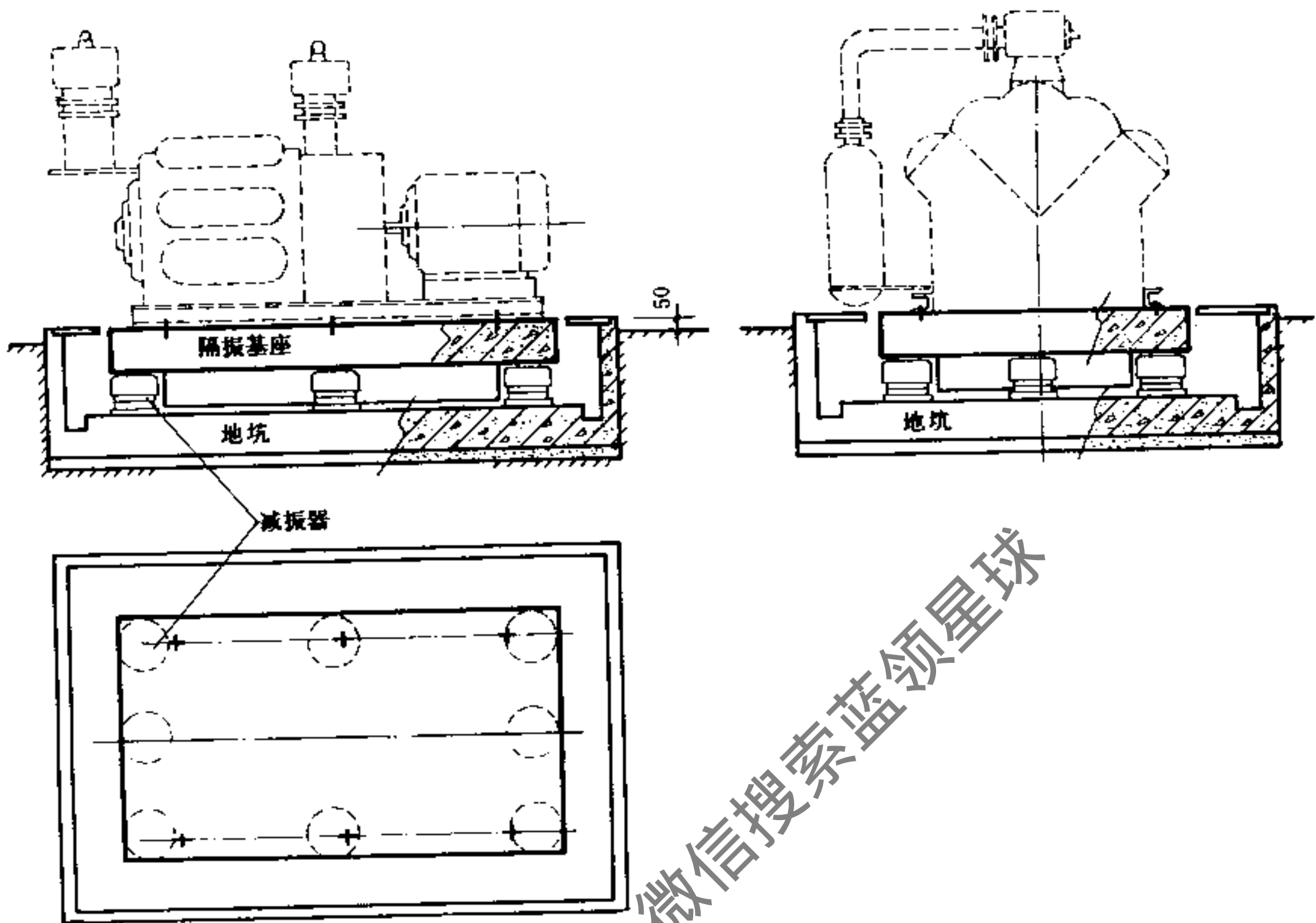


图 16.10-11 制冷压缩机隔振基座 (二)(凹下式)

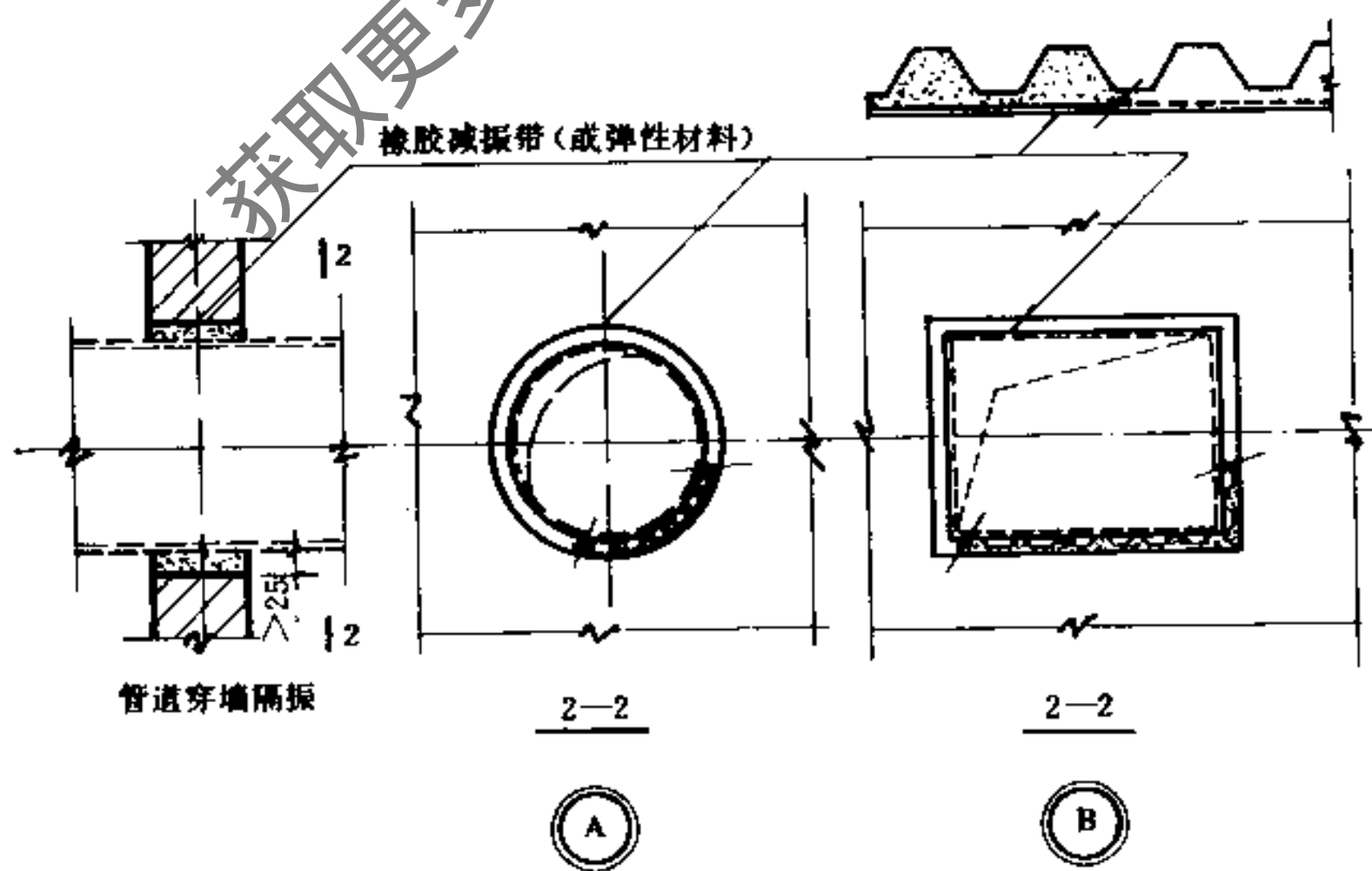
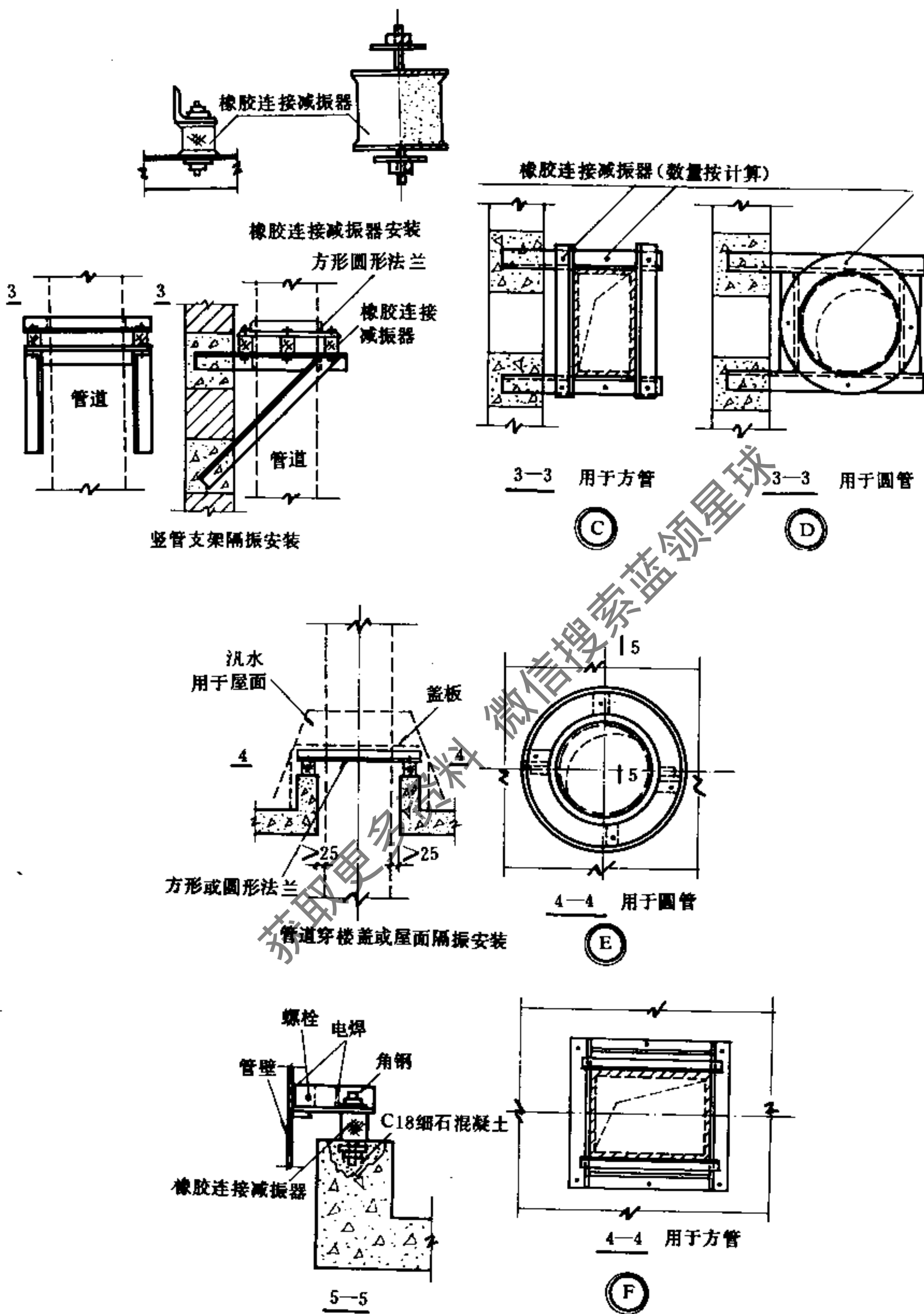
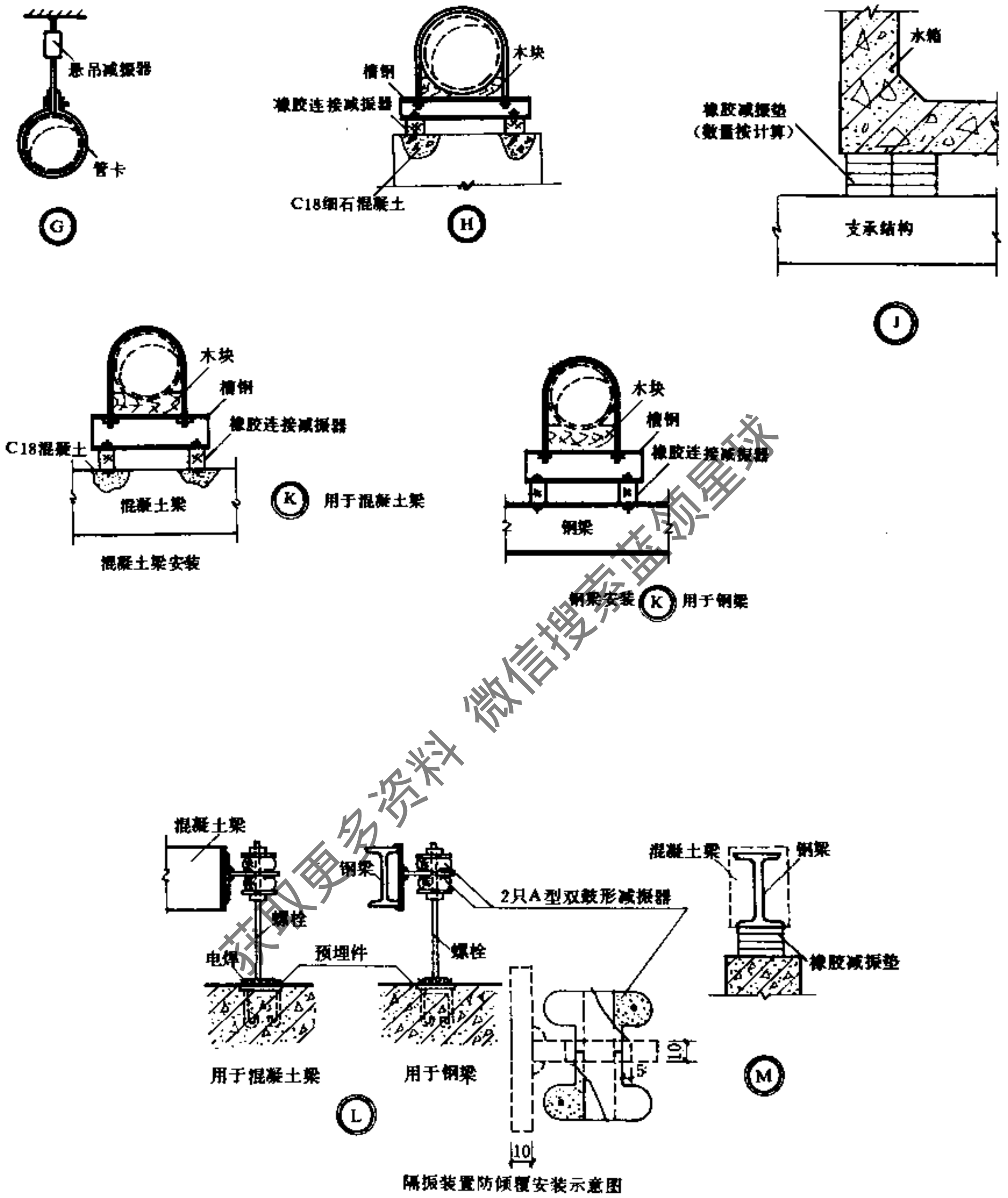


图 16.10 12 节点图



续图 16.10-12



续图 16.10 12

第十七章 供暖与空调系统的自动控制

17.1 供暖系统的自动控制

17.1.1 室内温度的自动控制

1. 自力式温控阀

自力式温控阀一般装置在供暖散热器的入口支管上,如图17.1-1所示。

温控阀的外壳上,标有1、2、3……一组数字,每个数字对应一个温度,旋转手轮就可以使室温自动保持在规定的范围之内。

每个数字所对应的温度,大致如表17.1-1所示。

温控阀标记数字对应的大致温度 表 17.1-1

标记数字	1	2	3	4	5
对应温度 (°C)	10	15	20	25	28

装置温控阀时,应注意以下事项:

- 应避免热源如阳光直接照射阀体。
- 应避免冷风直吹阀体。
- 温控器应保持水平状态,如图17.1-1所示。
- 组装时,应先把温控器连接座的内六角对准阀门的外六角(温控器指示头朝上),然后将连接螺母拧至阀门上,直至无相对轴向位移为止。

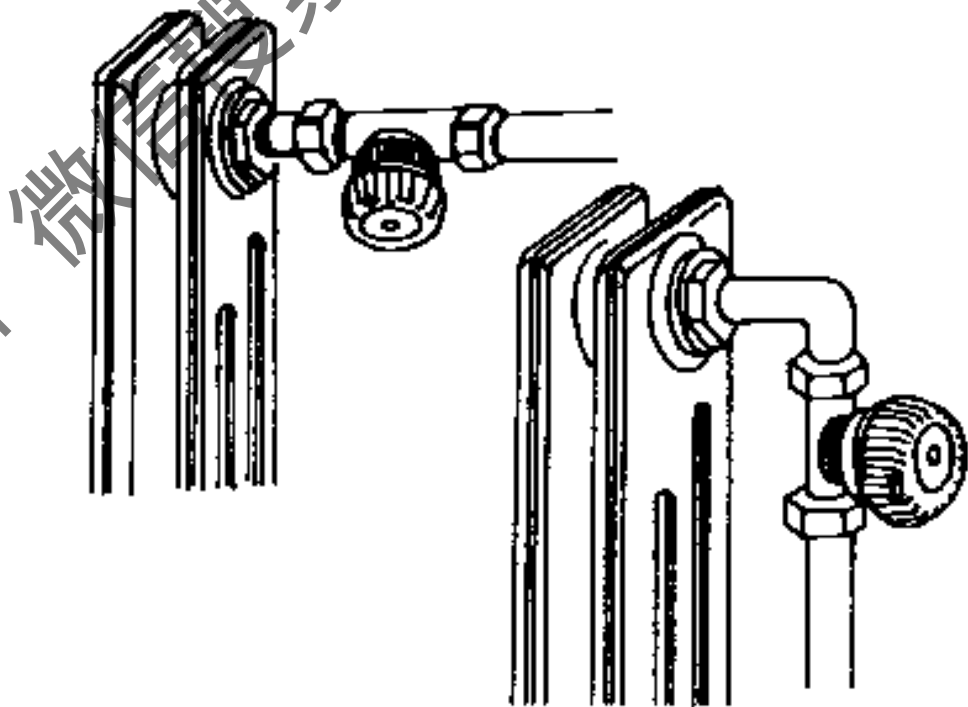


图 17.1-1 温控阀的安装

2. 房间温度调节器

通过温度调节器N1、根据室内温度的高低,

调节三通或直通调节阀的开度,以改变供水量,使室温波动在允许的范围之内。

根据调节阀的类型和连接方式的变化,一般有如图17.1-2所示的几种主要形式。

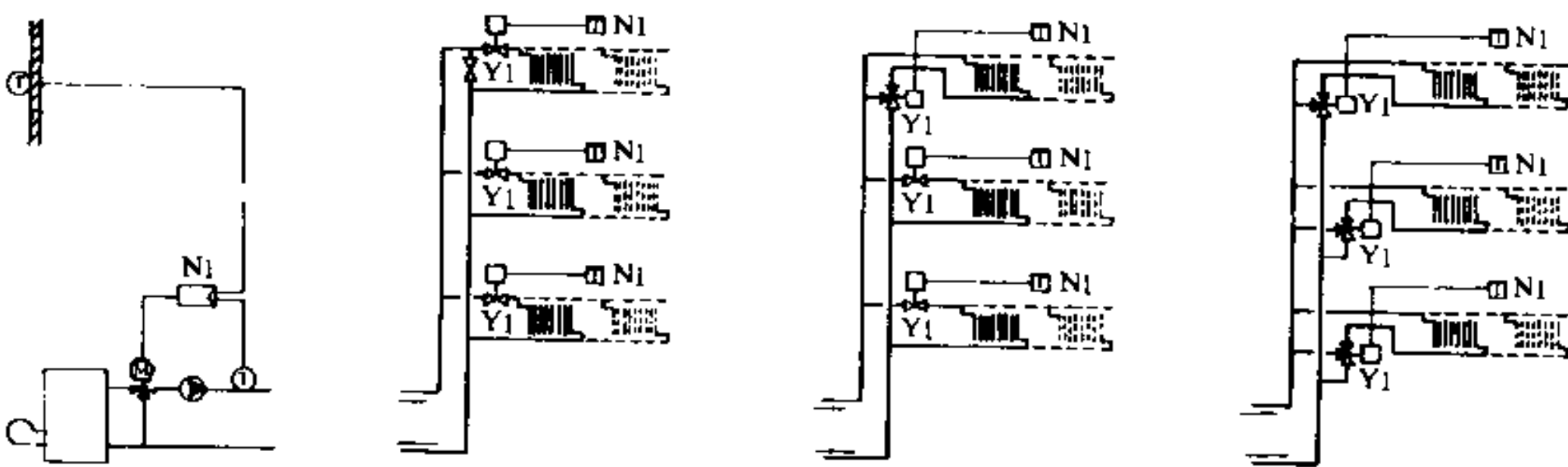


图 17.1-2 房间温度调节的方式

为了使供水温度能随室外气候条件的变化而升降，宜在锅炉出口处设计气候补偿控制环节，如图17.1-2左侧所示。

17.1.2 供暖系统的自动控制

1. 带“白天/黑夜”供暖程序的室温串级控制 (Cascaded control) (见图17.1-3)

主要功能

- 通过改变供水温度控制室内温度；
- 通过混合改变供水温度；
- 在规定时间内供水温度自动降低。

动作概述

安装在房间内的元件B2测出的室内温度，在供暖（温度）调节器N1内与设定值进行比较，从而确定供水温度的设定值；然后，与由传感器B1测得的实际供水温度进行比较，根据两者的偏差控制三通调节阀的动作。

转换元件B2的“白天/黑夜”自动程序，可以变化为连续白天或连续黑夜程序。

2. 供水温度的气候补偿自动控制 (一) (见图17.1-4)

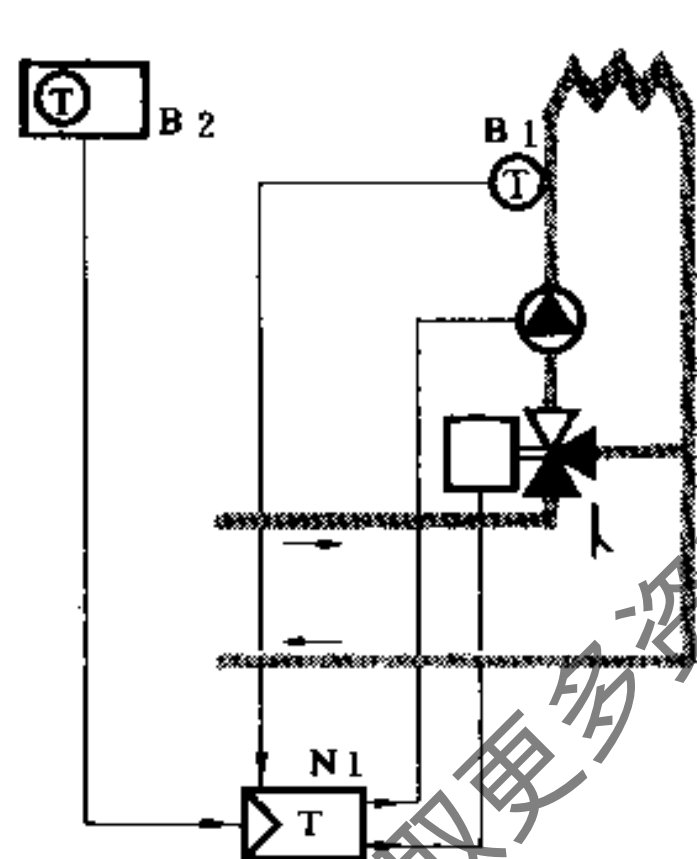


图 17.1-3 室温串级控制

B1—温度传感器；B2—室内元件〔带温度检测、设定值改变游标和超驰控制 (Override control) 时间开关〕；N1—LANDIS& GYR RVP31.31 功能模块化供暖调节器 (带“白天/黑夜”程序选择开关)

主要功能

- 根据气候变化自动控制供水温度；
- 在规定时间内自动降低供水温度；
- 在规定时区内自动升高供水温度，使之超出正常供水温度 (达到迅速供暖)；
- 选择“白天/黑夜”不同的工作程序；
- 自动限制最高和最低供水温度。

动作概述

由室外温度传感器B4测得的温度与N1中的供暖曲线进行比较后，确定供水温度的设

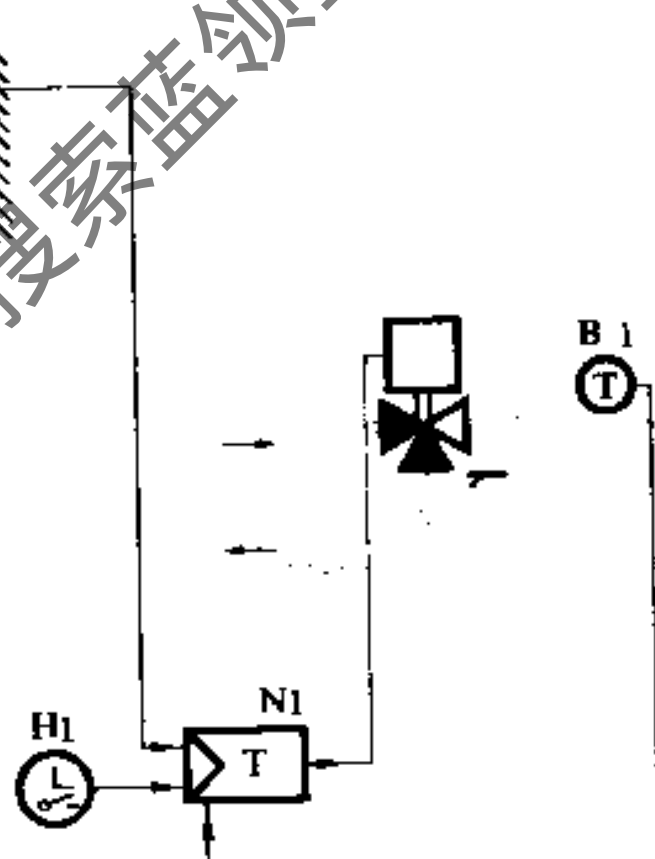


图 17.1-4 供水温度的气候补偿自动控制 (一)

B1—供水温度传感器；B4—室外温度传感器；H1—时间开关；N1—LANDIS& GYR RWF61.120 功能模块化供暖调节器

定值；然后，与B1测得的实际供水温度再进行比较，并根据两者的偏差控制三通调节阀的动作。

调节器内的限制器，用以防止供水温度超过最大设定值和低于最低设定值。

时间开关是用于降低调节器的设定供水温度（供暖曲线）；它对最高、最低限值没有作用。

3. 供水温度的气候补偿自动控制（二）（见图17.1-5）

主要功能与图17.1-4相同，只是增加了限制最低回水温度的环节。

4. 供水温度的气候补偿自动控制（三）（见图17.1-6）

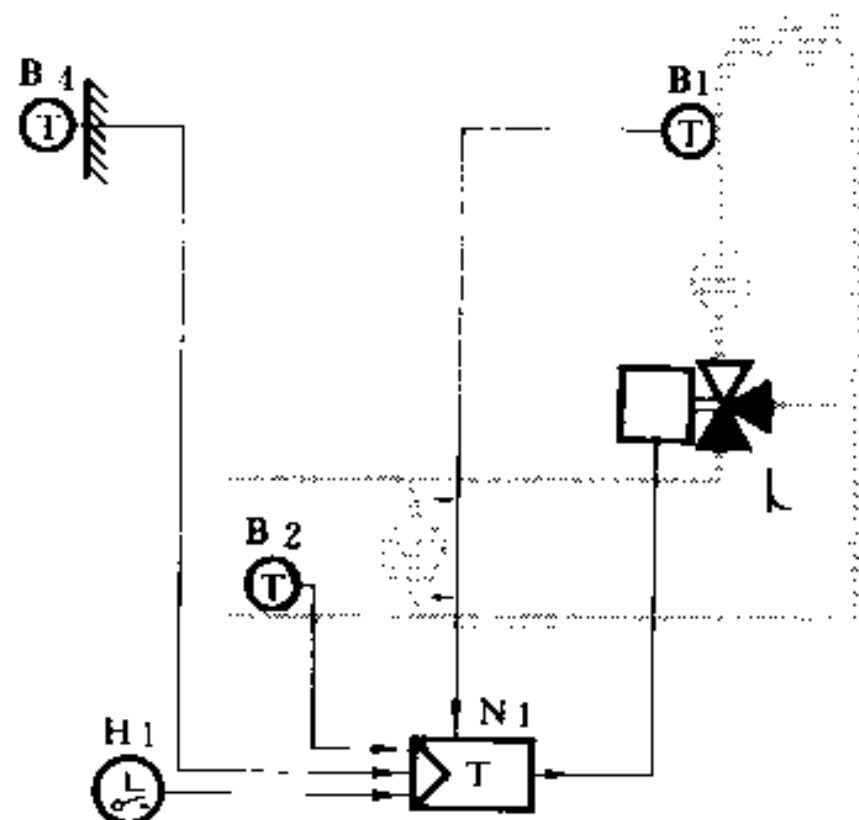


图 17.1-5 供水温度的气候补偿自动控制（二）

B1—供水温度传感器；B2—回水温度传感器；B4—室外温度传感器；H1—时间开关；N1—LANDIS&GYR RWF61.120功能模块化供暖调节器

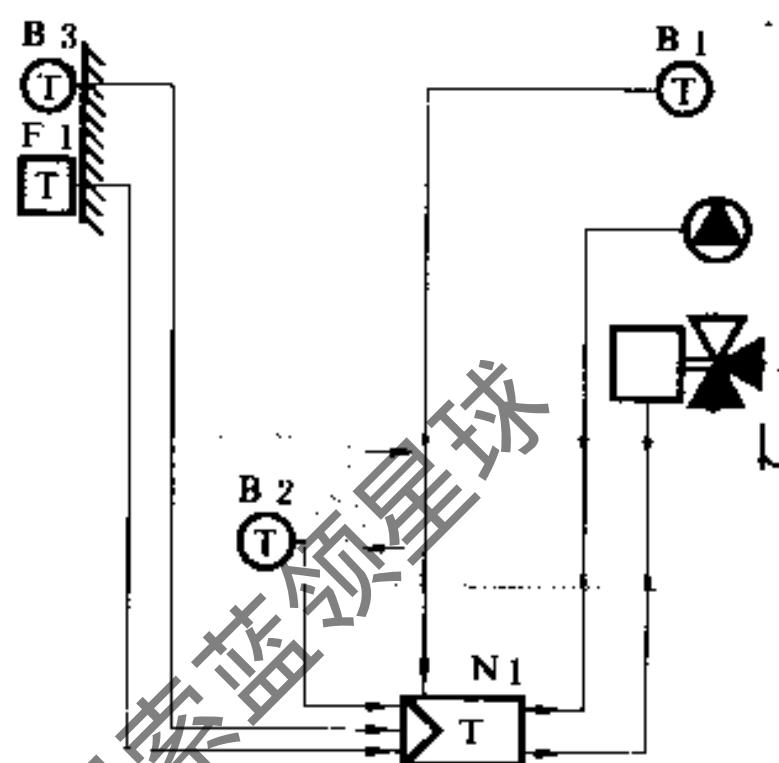


图 17.1-6 供水温度的气候补偿自动控制（三）

B1—供水温度传感器；B2—回水温度传感器；B3—室外温度传感器；F1—防冻元件；N1—LANDIS&GYR RVL411.11功能模块化供暖调节器

主要功能

- 根据气候变化自动控制供水温度；
- 回水温度不低于规定值；
- 在规定时间内供水温度自动降低；
- 带“白天/黑夜”或“周”不同的工作程序；
- 防止系统冻结。

动作概述

室外传感器测得的室外温度与供暖调节器里设定的供暖曲线进行比较后，确定供水温度的设定值，然后与由B1测得的实际供水温度相比较，并根据两者的偏差控制三通调节阀的动作。

供暖调节器里的限制器，通过测得的实际回水温度，限制回水温度不低于设定的最低值。

当夜间温度下降至低于 3°C 而程序选择开关处于“黑夜关”位置时，防冻元件通过供暖调节器启动水泵，使供水温度保持相当于维持室内温度接近于 $+2^{\circ}\text{C}$ 所需的温度。

5. 供水温度的气候补偿自动控制——两个供暖区 见图17.1-7。

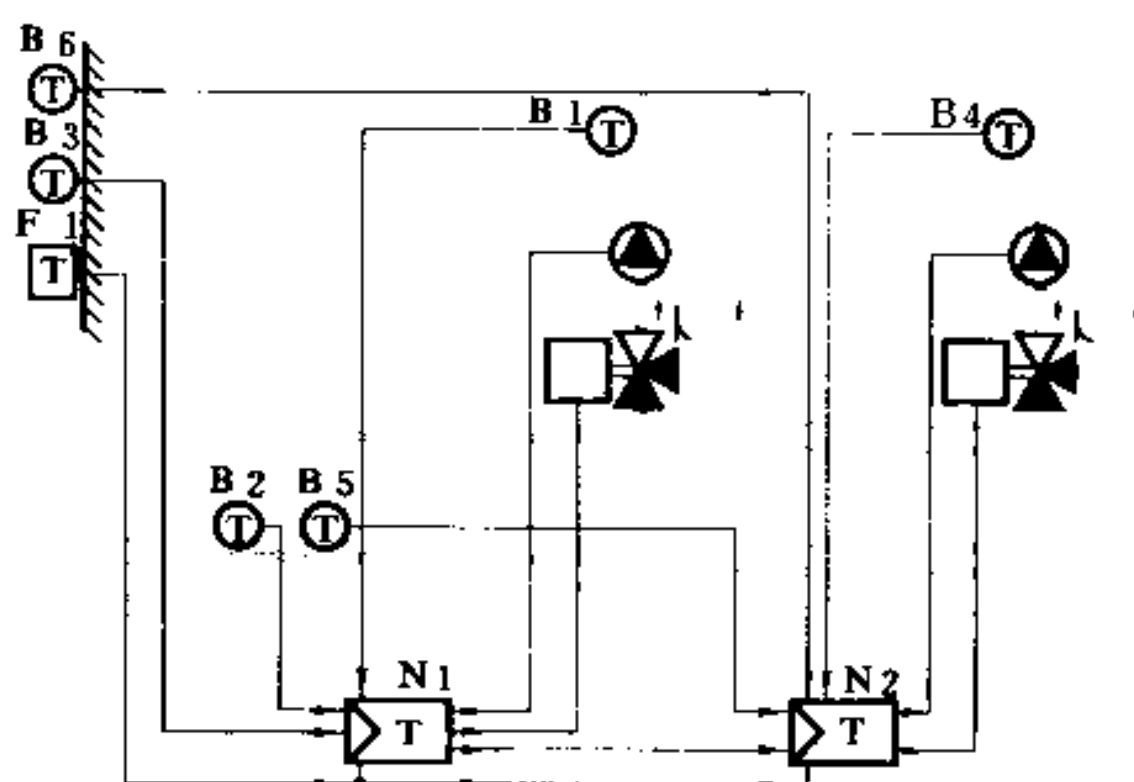


图 17.1-7 供水温度的气候补偿自动控制—两个供暖区

B1、B4—供水温度传感器；B3、B6—室外温度传感器；B2、B5—回水温度传感器；F1—防冻元件；N1、N2—LANDIS & GYR RVL41.11 和 RVL41.01 功能模块式供暖调节器

主要功能

- 根据气候变化自动控制供水温度；
- 回水温度不降低至规定值以下；
- 在规定时间内供水温度自动降低；
- 有“白天/黑夜”或“周”不同的工作程序；
- 防止系统冻结。

动作概述

传感器 B3 和 B6 测得的室外温度，分别与调节器 N1 和 N2 里设定的供暖曲线比较后，确定供水温度的设定值；传感器 B1 和 B4 测得的实际供水温度与前述设定值相比较后，根据比较结果的偏差对三通调节阀进行控制。

调节器 N1 和 N2 内的限制器，和传感器 B2 和 B5 一起防止回水温度低于设定的最小值。第二供暖区的时间程序受第一供暖区时间开关的控制，所以，第二区不必设时间开关。

17.1.3 间接供热供暖系统的自动控制

1. 供水温度定值控制（见图 17.1-8）

主要功能 保持供暖环路的供水温度为定值。

动作概述

温度调节器的设定值与 B1 测得的实际温度进行比较，若有偏差，则指挥调节阀进行工作，直至达到设定值为止。

为了防止热交换器过热，当达到规定的设定上限时，F1 通过 N1 切断热交换器的供热。

2. 供水温度的气候补偿自动控制（一）（见图 17.1-9）

主要功能

- 根据气候变化自动控制供水温度；
- 在规定时间内降低供水温度；

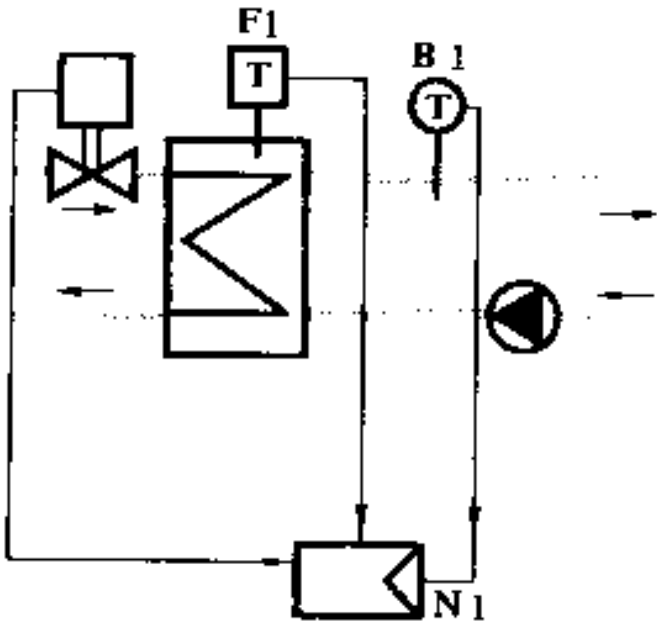


图 17.1-8 供水温度定值控制

B1—供水温度传感器；F1—温度限制器；N1—温度调节器

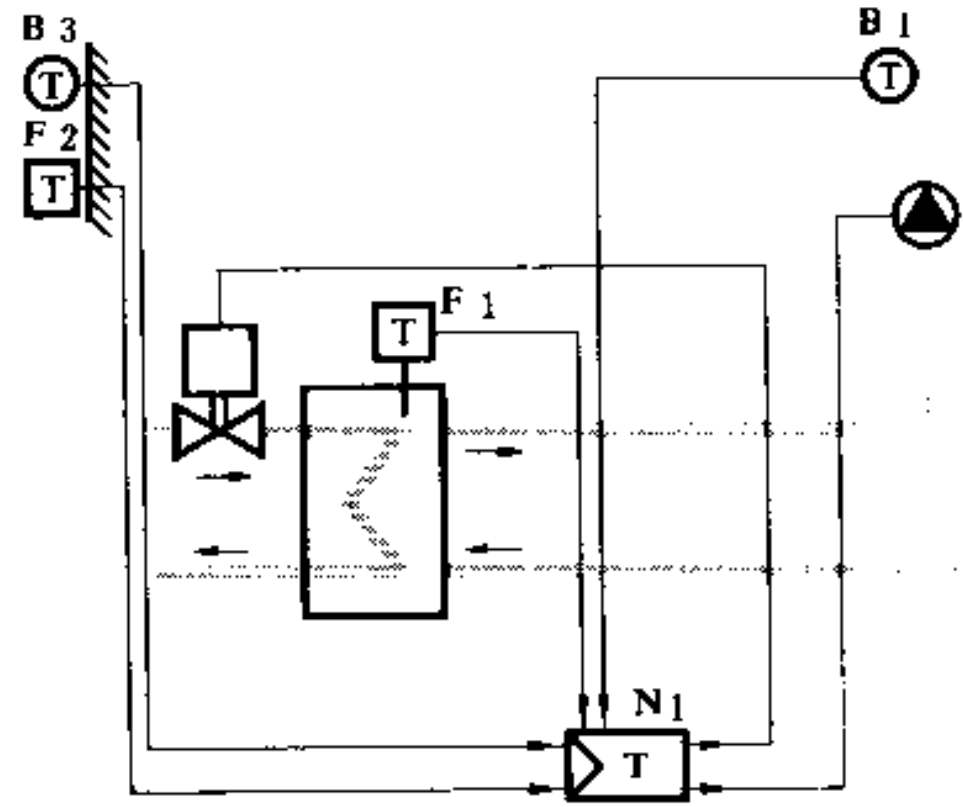


图 17.1-9 供水温度的气候补偿
自动控制（一）

B1—供水温度传感器；B3—室外温度传感器；F2—
防冻元件；F1—温度限制器；N1—LANDIS & GYR
RVL41.10 功能模块式供暖调节器

——实现“白天/黑夜”或“周”工作程序的转换；

——防止系统冻结。

动作概述

供暖调节器内设定的供暖曲线，与来自室外温度传感器 B3 的讯号进行比较后，确定供水温度的设定值，同时，由传感器 B1 测出实际供水温度，两者比较后得出的偏差，作为指挥热交换器供热管上直通调节阀的讯号，改变热交换器的供热量。

当热交换器内的温度超过设定的最高值时，温度限制器 F1 通过 N1 关闭直通调节阀。

防冻元件的动作，是在夜间温度下降至低于 3°C ，而程序选择开关处于“黑夜关”位置时，自动启动循环水泵，并使供水温度保持相当于维持室内温度接近 $+2^{\circ}\text{C}$ 所需的温度。

3. 供水温度的气候补偿自动控制

(二) (见图 17.1-10)

主要功能

——供暖系统的供水温度随室外气候的变化而自动改变；

——供暖系统的供水温度不会降至规定的最低温度以下；

——在规定时间内供水温度自动降低；

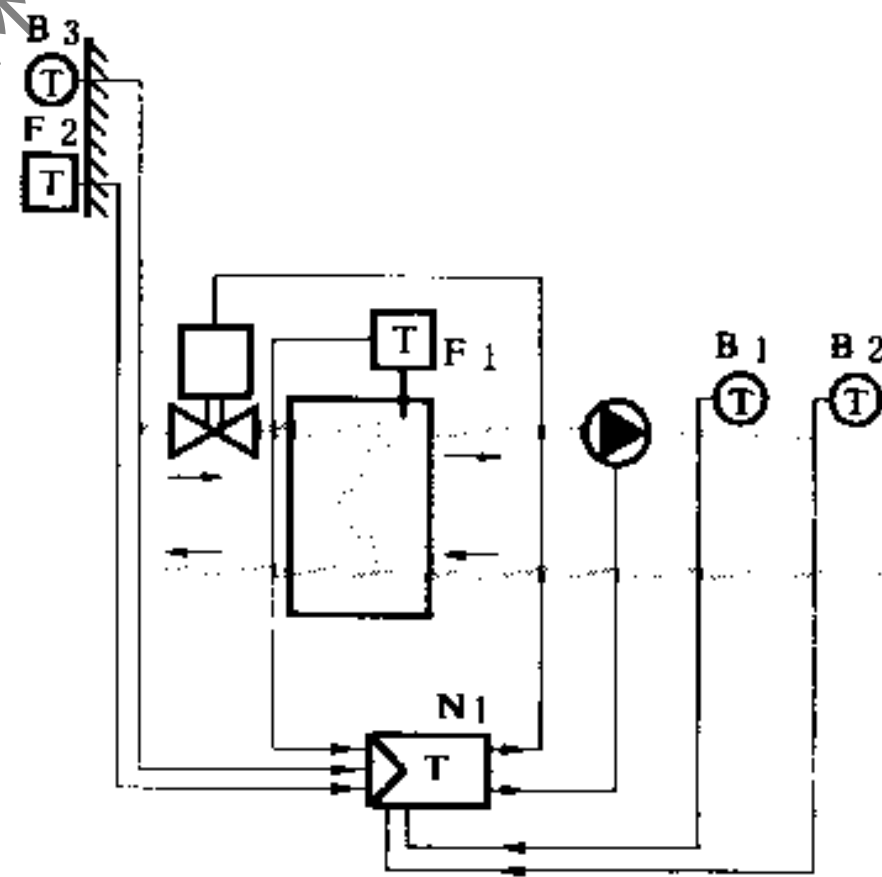


图 17.1-10 供水温度的气候补偿自动
控制（二）

B1、B2—供水温度、供水最低温度传感器；B3—室外温度传
感器；F1—温度限制器；F2—防冻元件；N1—LANDIS &
GYR RVL41.11 功能模块式供暖调节器

- 实现“白天/黑夜”或“每周”工作程序的转换；
- 防止系统冻结；
- 防止热交换器内部过热（超温）。

动作概述

传感器B3测得的室外温度讯号，在供暖调节器N1内与器内设定的供暖曲线相比较后，确定供水温度的设定值。

传感器B1测得的实际供水温度，经与供水温度设定值比较后，两者的偏差即作为指挥供热直通调节阀的讯号，改变对热交换器的供热量，使实际供水温度逼近设定值。

供暖调节器N1内的限制器，和传感器B2一起防止供水温度下降至最低设定值以下。

当夜间温度降至低于 $+3^{\circ}\text{C}$ 、而程序选择开关位于“白天”（“黑夜关”）时，调节器将使循环水泵自动启动，使供水温度保持在相当于维持室内温度为 $+2^{\circ}\text{C}$ 左右时所需的温度。

17.1.4 南北向分环控制

1. 定流量南北向分环控制——利用合流三通调节阀（见图17.1-11）

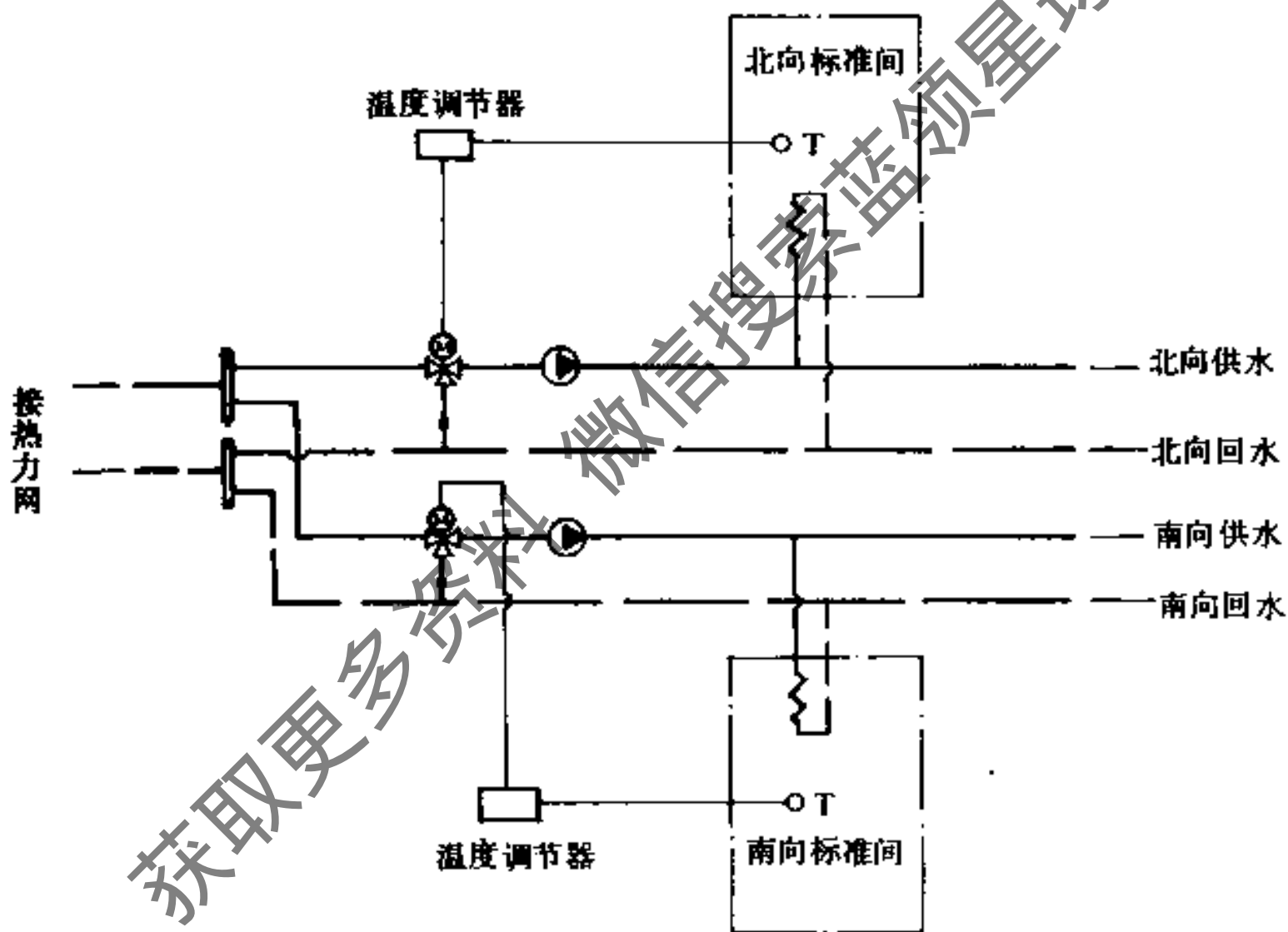


图 17.1-11 定流量南北向分环控制（合流三通调节阀）

2. 变流量南北向分环控制——利用分流三通调节阀（见图17.1-12）

3. 变流量南北向分环控制——利用直通调节阀（见图17.1-13）

4. 设计注意事项

- 标准间每向只宜选择一间。
- 标准间不宜选择底层或顶层房间。
- 端头房间不宜作为标准间。
- 室内热扰量大的房间不能作为标准间。
- 采用变流量调节时，必须限定最小流量，并校核该状态下的水力和热力工况，防止失调。

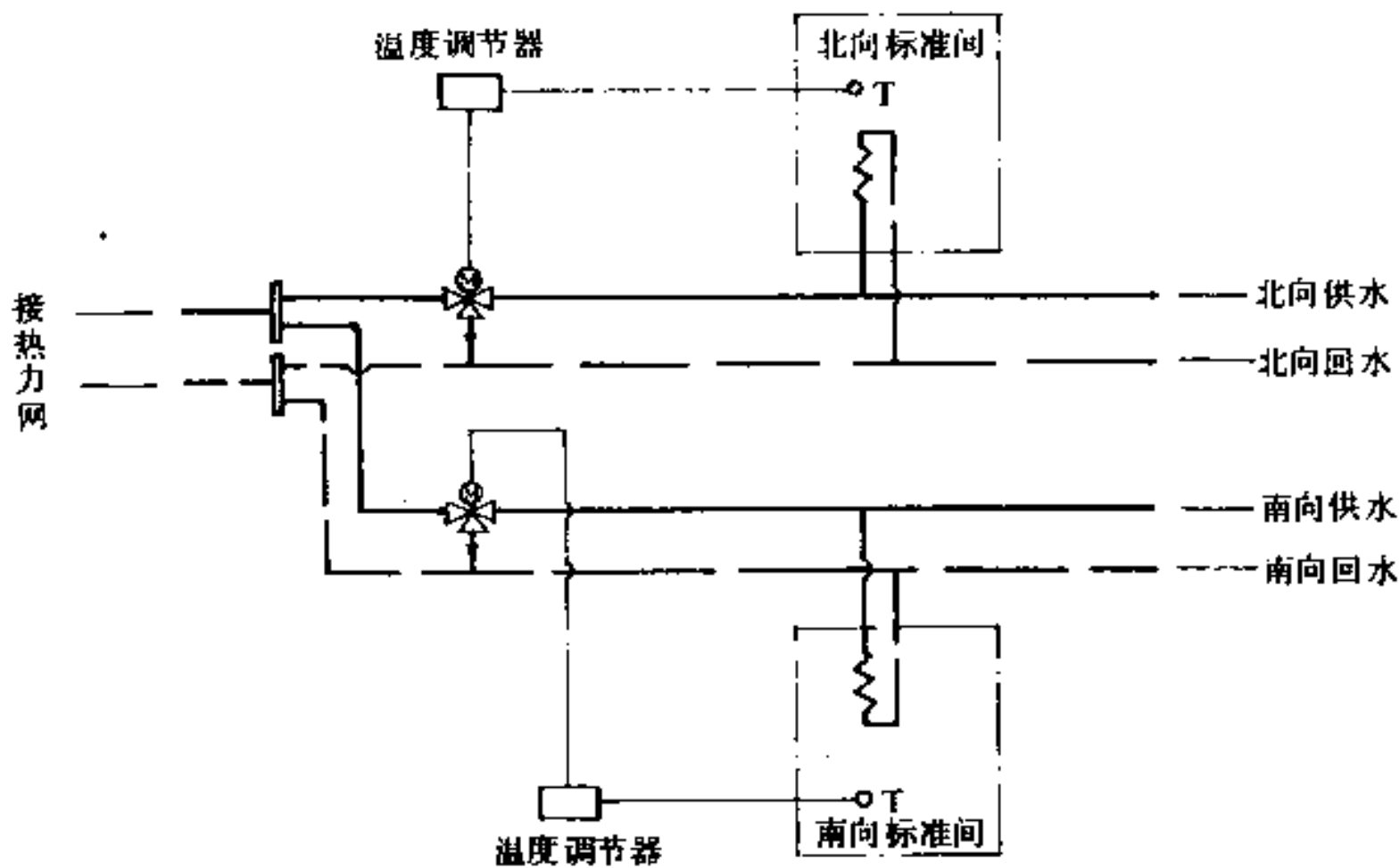


图 17.1-12 变流量南北向分环控制（分流三通调节阀）

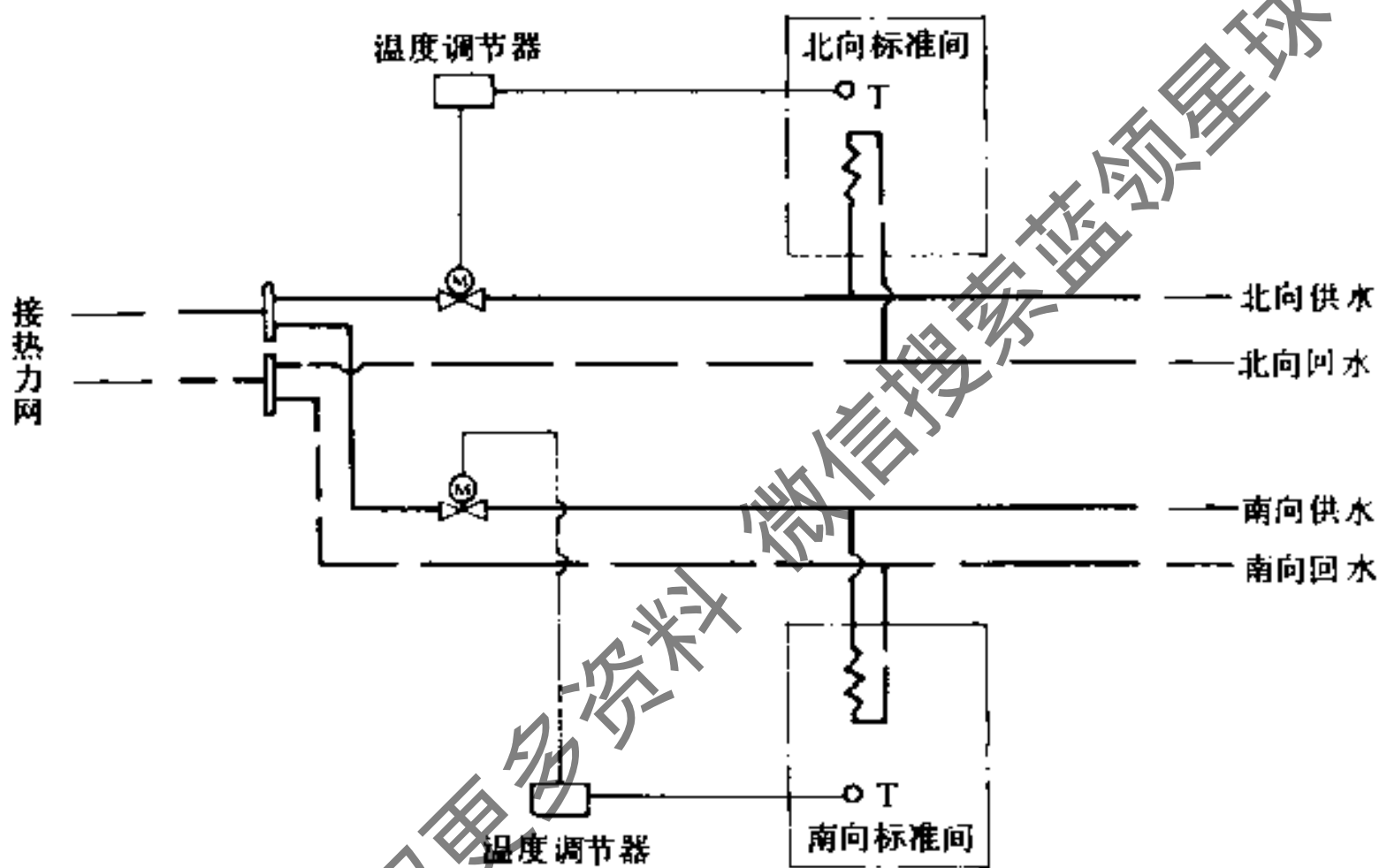


图 17.1-13 变流量南北向分环控制（直通调节阀）

17.2 新风量的自动控制

17.2.1 根据新风温度控制新风量

控制原理图如图 17.2-1 所示。

由图 17.2-2 可知，当新风温度 $t_w < t_1$ 时，在新风温度超驰控制[●]下，保持最小新风量；当 $t_w > t_1$ 时，温度调节器使新风风门逐渐开大，回风风门则逐渐关小；至 $t_w = t_2$ 时，新风风门达到全开位置；在 $t_3 > t_w > t_2$ 范围内，新风量始终保持最大值。当 $t_w > t_3$ (t_3 一般应略低于回风设计温度) 时，新风和回风风门又切换到受新风温度超驰控制，由最大新风量切换

● 一般调节系统系根据被调参数与设定值的偏差进行控制的，当另外的某一参数达到临界值时，若调节系统的执行器受此参数控制，处于最大或最小的某一位置者，习惯称为超驰控制 (override control)。

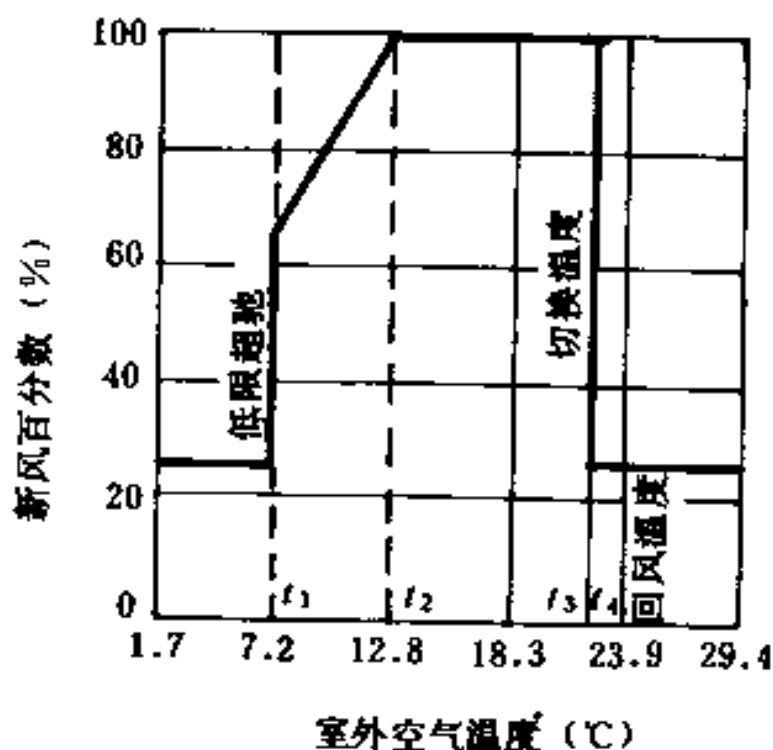
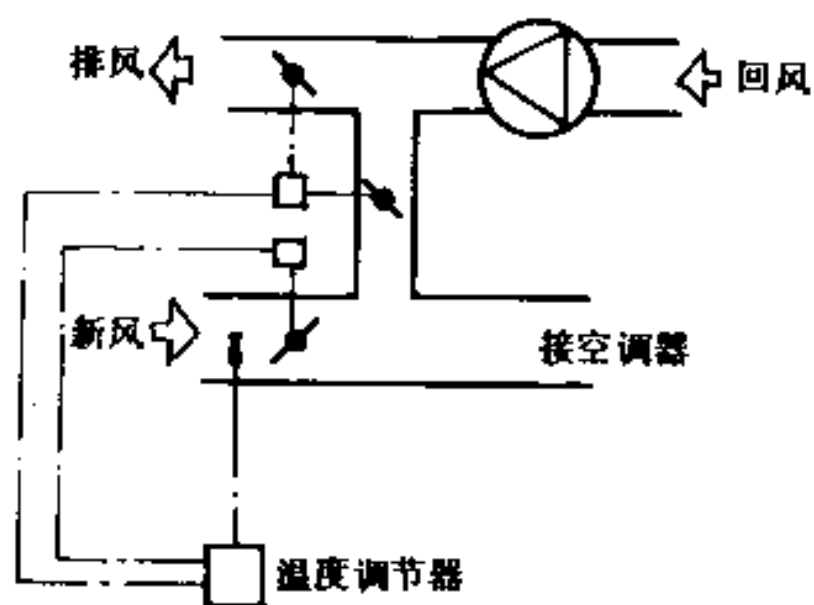


图 17.2-1 根据新风温度控制新风量的控制原理图 图 17.2-2 新风温度与新风量的关系

至最小新风量。

17.2.2 根据焓值控制新风量

在 $i-d$ 图上，回风等焓线将该图划分为 A 、 B 两个区，如图 17.2-3 所示。

在 A 区： $i_w > i_h$ ，所以总是采用最大回风量。

在 B 区： $i_w < i_h$ ，部分区域可以采用最大新风量，其约束条件如下：

1. $t_w < t_1$ 时，保持最小新风量（适用于设预热器的地区），图 17.2-3 中的 B_1 区。

2. $t_h > t_w > t_1$ 时，可采用最大新风量，图 17.2-3 中的 B_2 区。

3. $t_w > t_h$ 时（ B_3 区），若采用湿盘管（表冷器前有喷水），可以采用最大新风量；若采用干盘管（表冷器后加湿），则可采用最小新风量。

通过焓值比较控制新风量的程序框图，如图 17.2-4 所示。

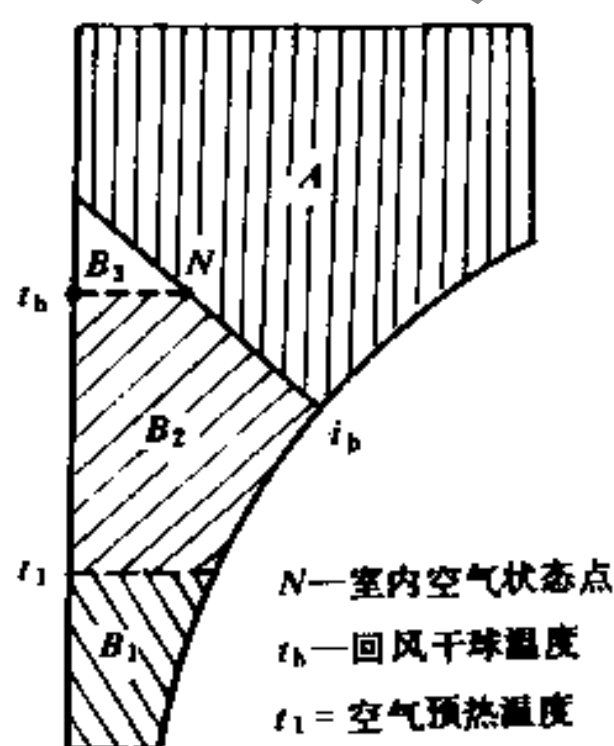


图 17.2-3 $i-d$ 图上的分区

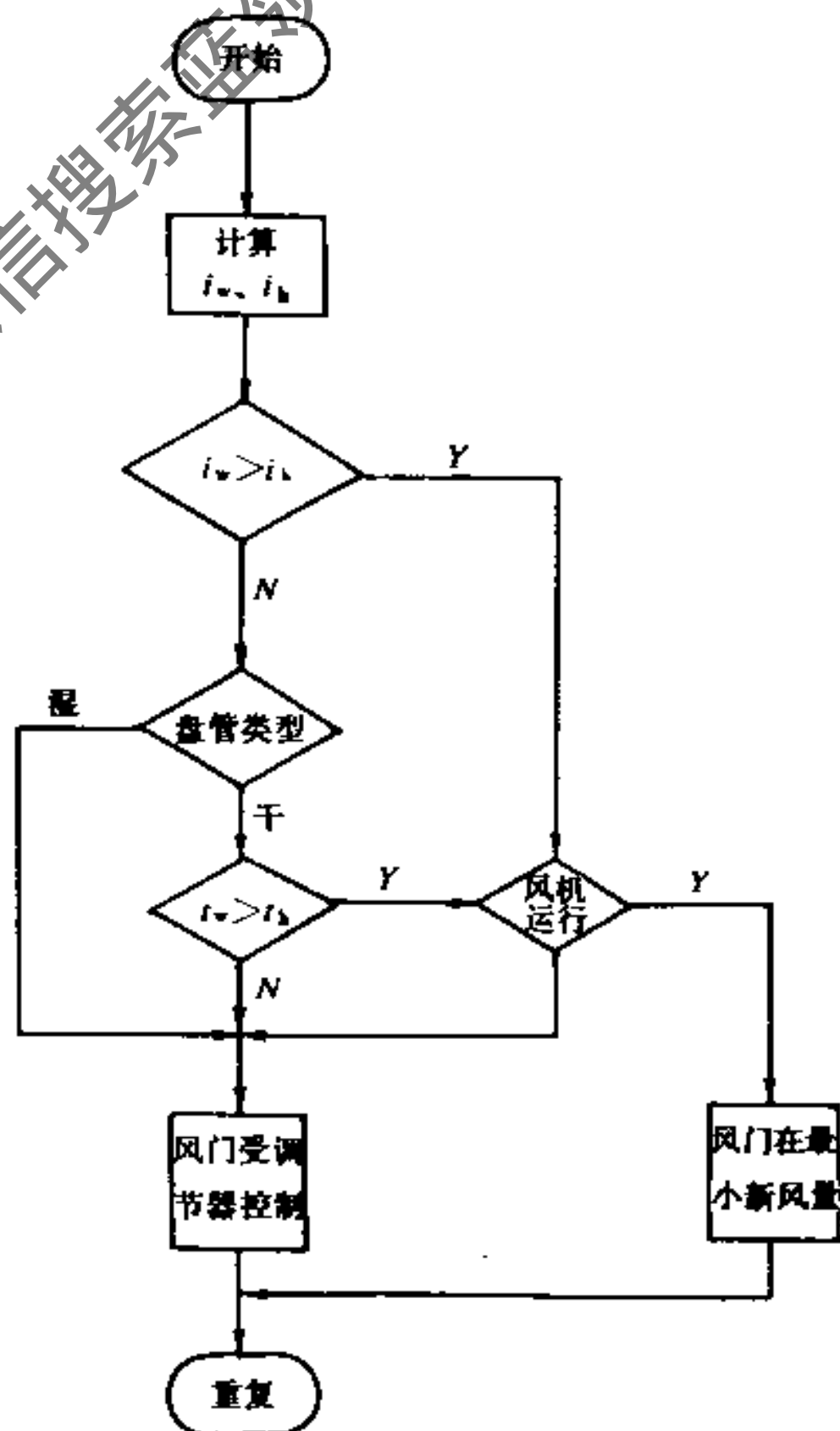


图 17.2-4 焓控制的程序框图

i_w, i_h —新风、回风的焓； t_w, t_h —新风、回风的温度

17.2.3 根据能量判断控制新风量

采用具有焓比较及能量判断功能的焓值比较器，对新风是否比回风更具有加热或冷却能力，进行比较和判断之后，再对新风和回风风门发出操作信号——开大或关小。这样，可以取得最大限度的节能效果，其控制原理图如图17.2-5所示。

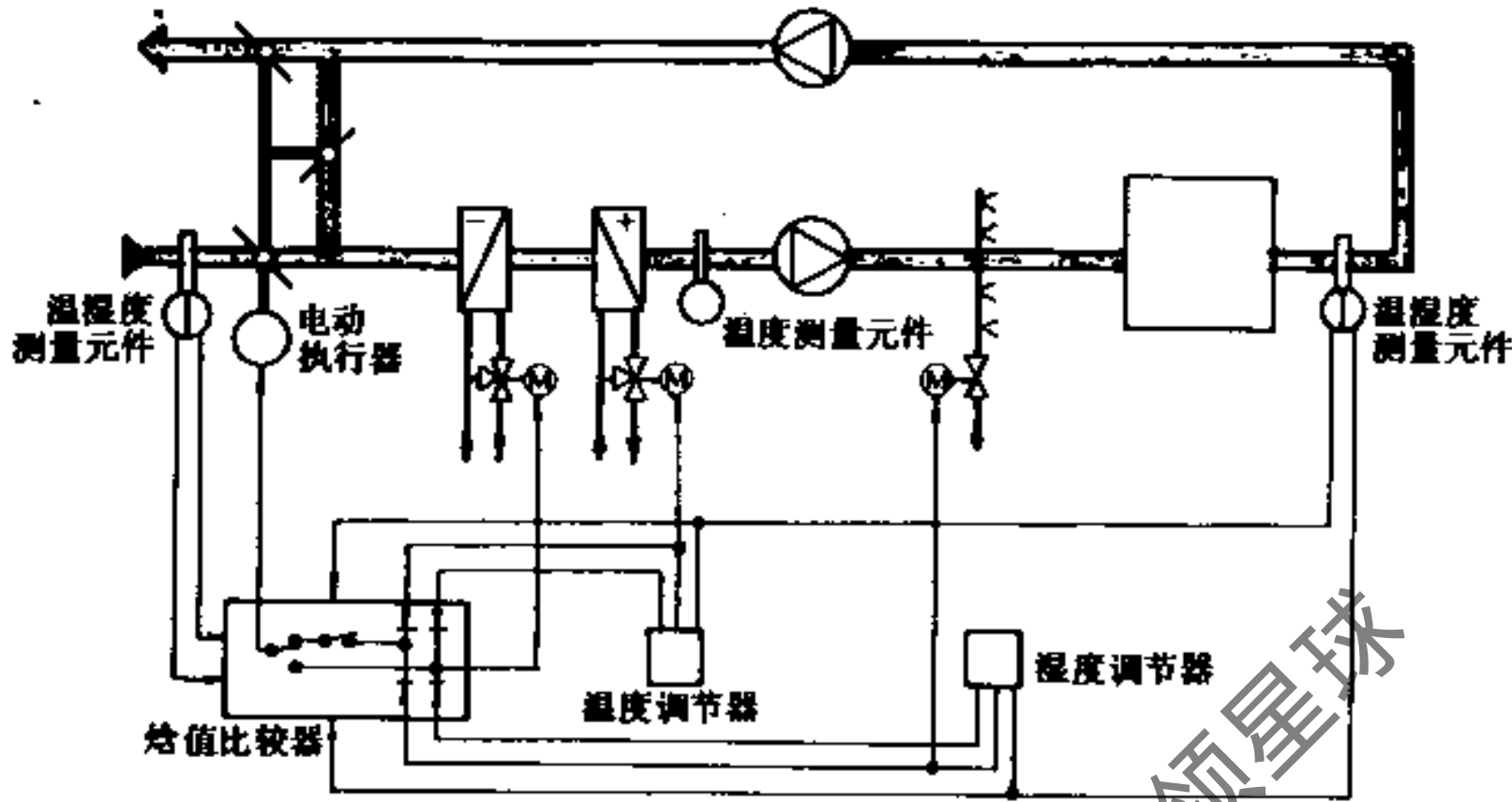


图 17.2-5 能量判断控制原理图

焓值比较器的功能，大致如表17.2-1所示。

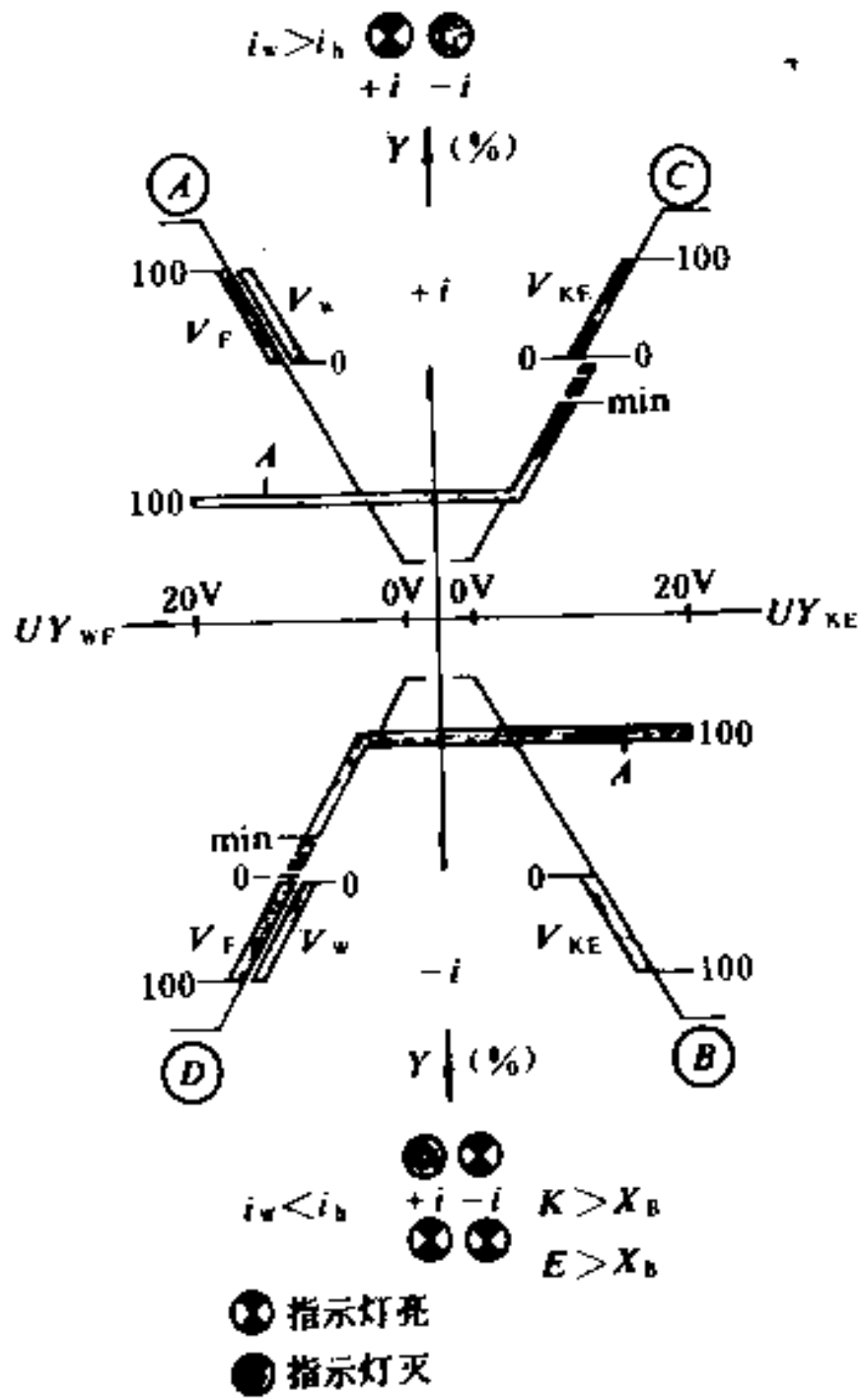
焓值比较及能量判断装置 (RDE₂) 的工作原理如图17.2-6所示。

焓值比较器的功能

表 17.2-1

区域	室内要求	新风能力	风门动作		说明
			新风	回风	
A	+H	+H	开	关	直至新风能量供应不足时，“加热·冷却”阀门按+H需求开启
B	-H	-H	开	关	直至新风能量供应不足时，“冷却·去湿”阀门按-H需求开启
C	-H	+H	按比例关小	按比例开大	在回风的-H能量得到全部利用后，“冷却和/或去湿”阀门按-H需求开启
D	+H	-H	按比例关小	按比例开大	在回风的+H能量得到全部利用后，“加热和/或加湿阀门按+H需求开启
	冷却加湿或加热除湿	+H	按比例关小	按比例开大	只有当回风的-H能量供应不足时，冷却阀门才开启，满足冷却或除湿要求
		-H	按比例关小	按比例开大	若冷却或除湿能量超过某一具体值 ($K > X_B$ 或 $E > X_B$) 时，新风风门全开

注：+H—加热；-H—冷却



A—新风风门； i —新风焓值—回风焓值（+或-）； i_w —新风焓值， i_h —回风焓值；min—新风风门最小位置；0—新风风门“和/或”阀门关闭；100—新风风门“和/或”阀门开启；K—冷却；E—除湿； X_B — Y_{KE} 极限（可调电位器）； Y_{KE} —室内冷却/除湿需求； Y_{wf} —室内加热/加湿需求；U—调节器输出电压； V_F —加湿阀； V_w —加热阀； V_{KE} —冷却、除湿阀

图 17.2-6 工作原理图

17.3 风机盘管机组的自动控制

17.3.1 两管制系统（双位控制）

1. 应用三通调节阀进行分流调节（见图17.3-1）
2. 应用直通调节阀进行变流量调节（见图17.3-2）

17.3.2 四管制系统（双位控制）

图17.3-3给出了应用直通调节阀对冷、热水进行变流量调节的控制原理图。

17.3.3 电子式温度控制器〔连续（比例式）控制〕

1. 电子式温度控制器的性能（见表17.3-1）
2. 系统构成举例

（1）两管制风机盘管机组的控制 见图17.3-4。

通过ERTK80和ERTK800，分别测得排风温度 t_p 和室外温度 t_w ，并与ERTK80中的设定值 X_s 进行比较，根据偏差信号，通过电动直通阀调节盘管的供水量。随着 t_w 的变化，室内温度 t_n 根据S（设定点偏移斜率）和FF（ERTK800设定点，即偏移始点）移动；S和FF在ERTK800上设定。

（2）四管制风机盘管机组的控制 见图17.3-5。

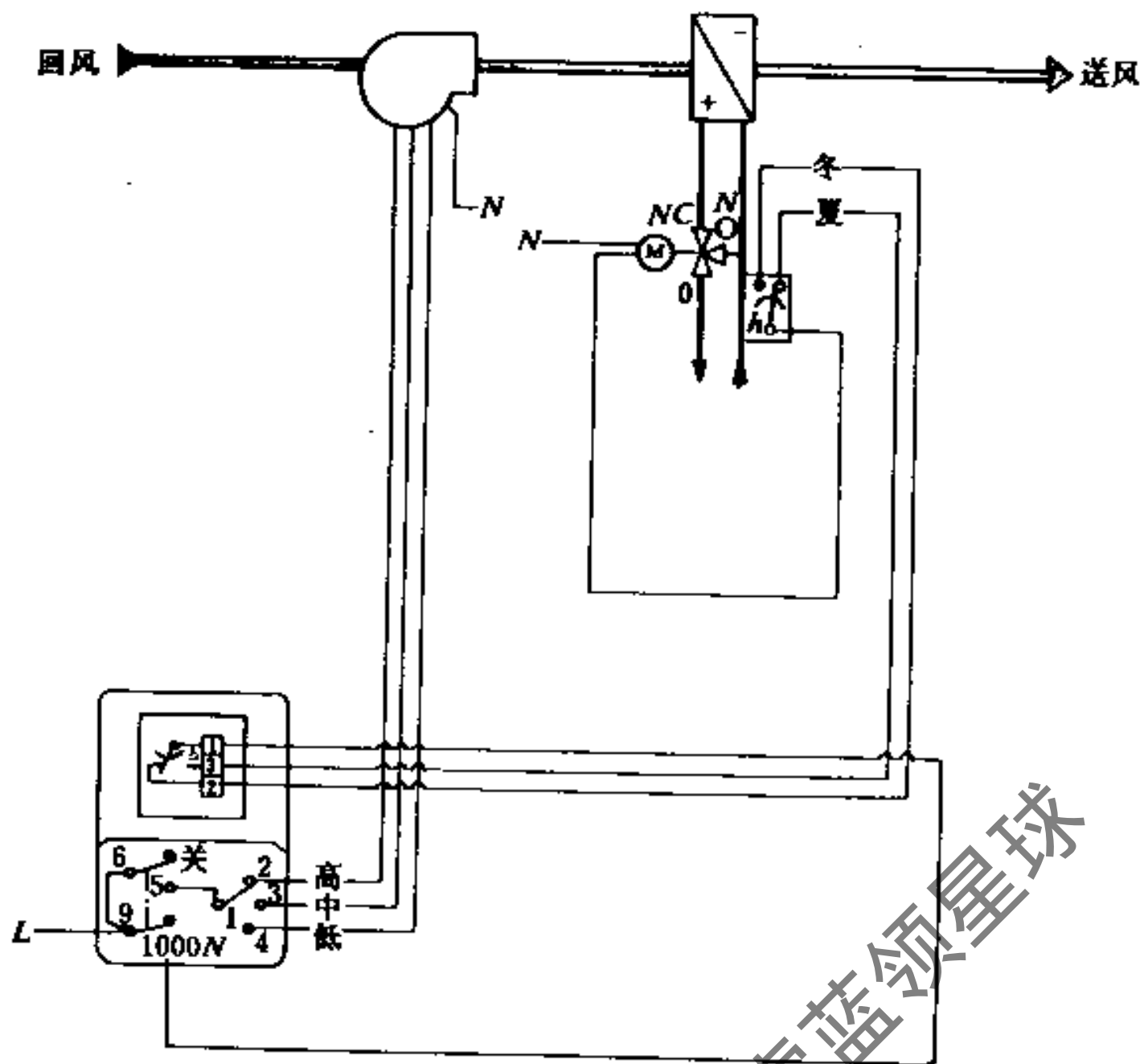


图 17.3-1 应用三通调节阀 (两管制)

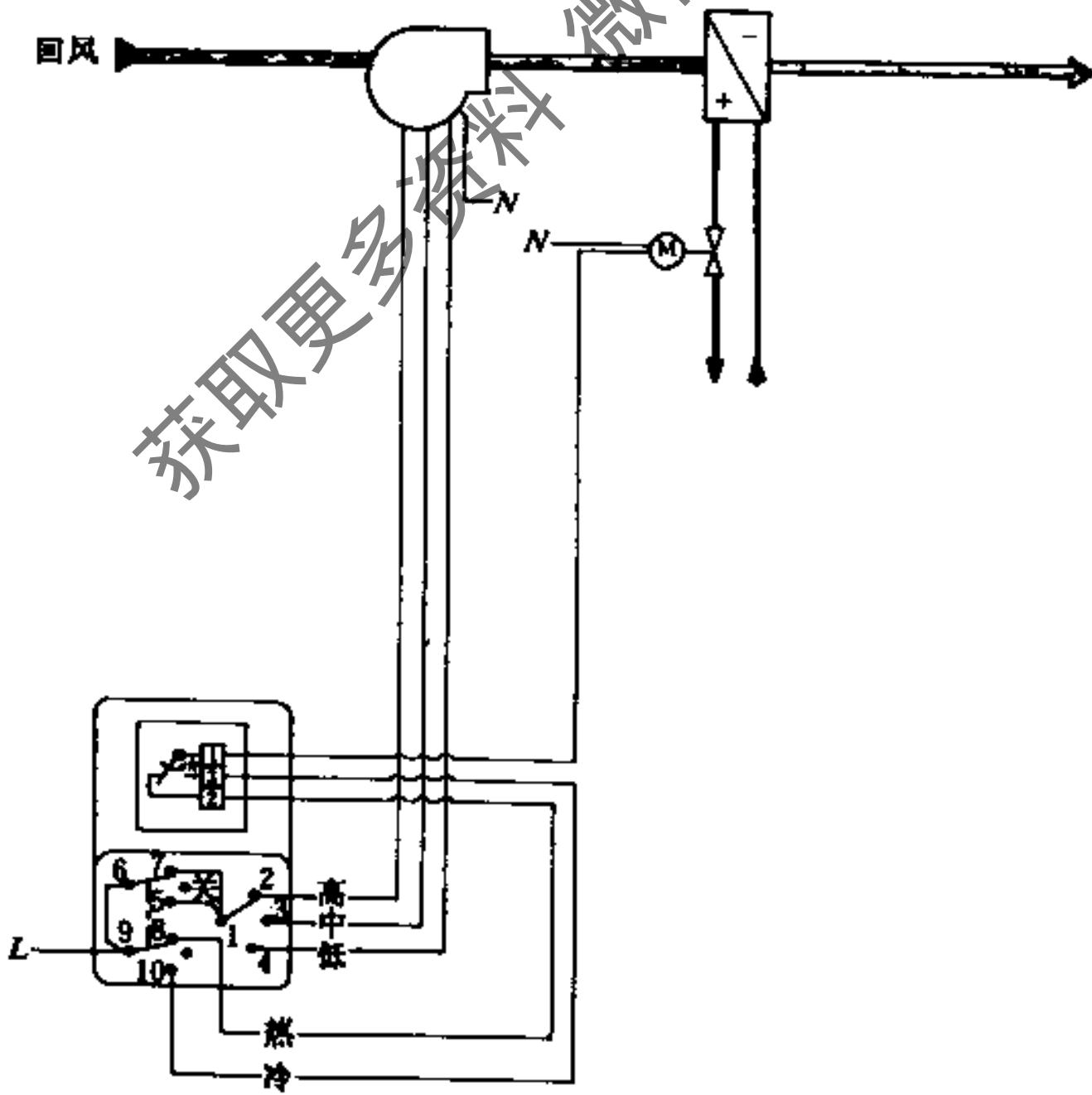


图 17.3-2 应用直通调节阀 (两管制)

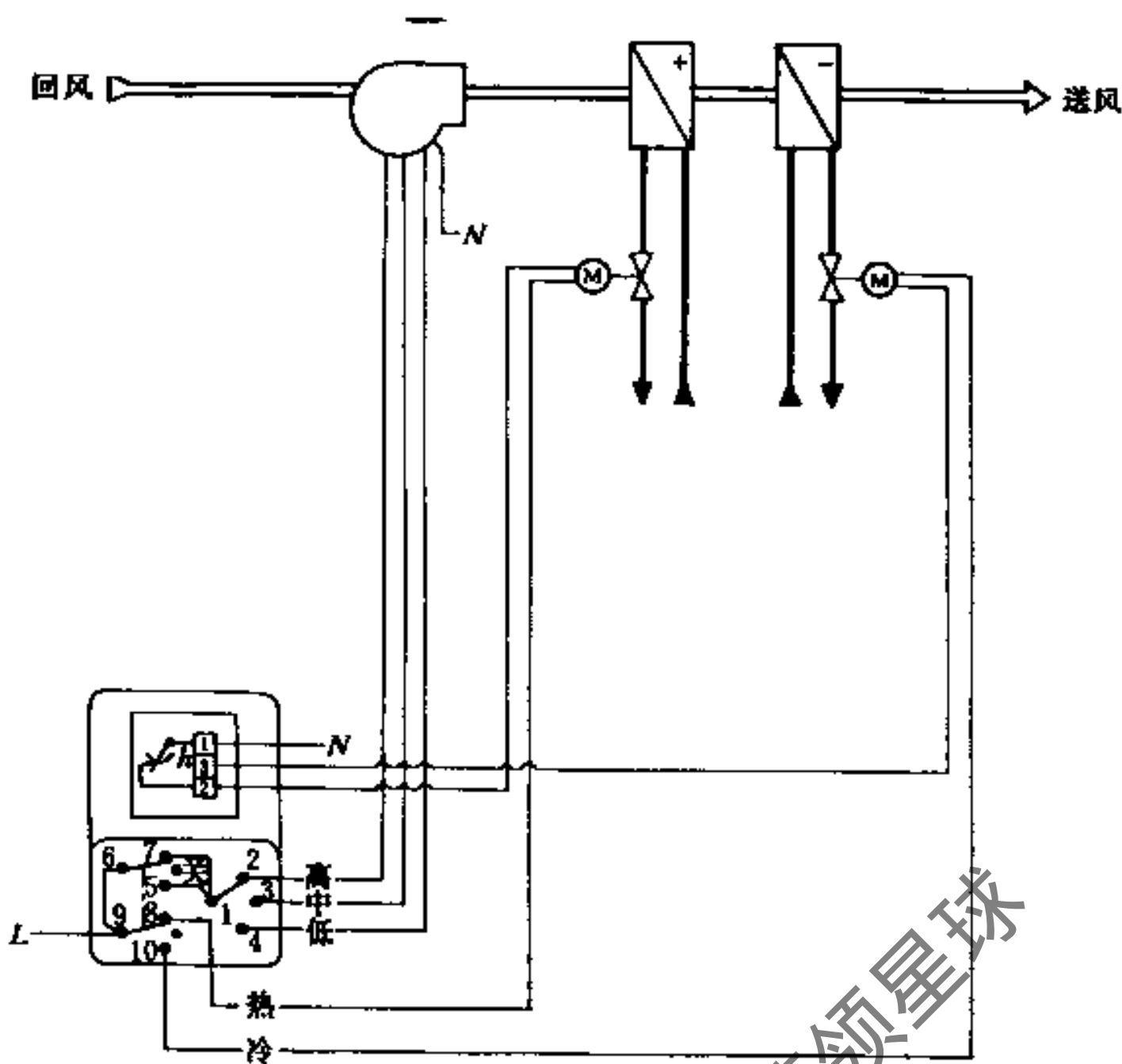


图 17.3 3 应用直通调节阀(四管制)

电子式温度控制器的性能表

表 17.3-1

名称	室内温度控制器			管道温度控制器			带风机三速开关的室内温度控制器		带风机三速开关的管道温度控制器	
	ERT 80	ERT 800	ERT 810	ERTK 80	ERTK 800	ERTK 810	TSKE 800	TSKE 810	TKKE 800	TKKE 810
比例调节连续输出		△	△		△	△	△	△	△	△
比例积分调节开关式输出	△			△						
与带位置反馈的执行器配用		△	△		△	△	△	△	△	△
与不带位置反馈的执行器配用	△			△						
带季节转换开关			△			△		△		△
带风机三速开关							△	△	△	△

注：1. “△”表示有此项性能；2. 80和800型适用于两管制系统，810型同时有两个信号输出，适用于四管制水系统。

通过TSKE800和ERTK800分别测出室内温度 t_N 和室外温度 t_w ，并与TSKE800中的 X_s 进行比较，根据偏差信号通过电动直通阀调节盘管的冷（热）水量。

(3) 带冬、夏转换开关的两管制风机盘管机组 见图17.3-6。

通过ERTK810和ERTK800分别测得回风温度 t_h 和室外温度 t_w ，并与ERTK810中的 X_s 进行比较，根据偏差信号通过电动直通阀调节通过盘管冷（热）水量。冬/夏转换，可通过手动或自动实现。

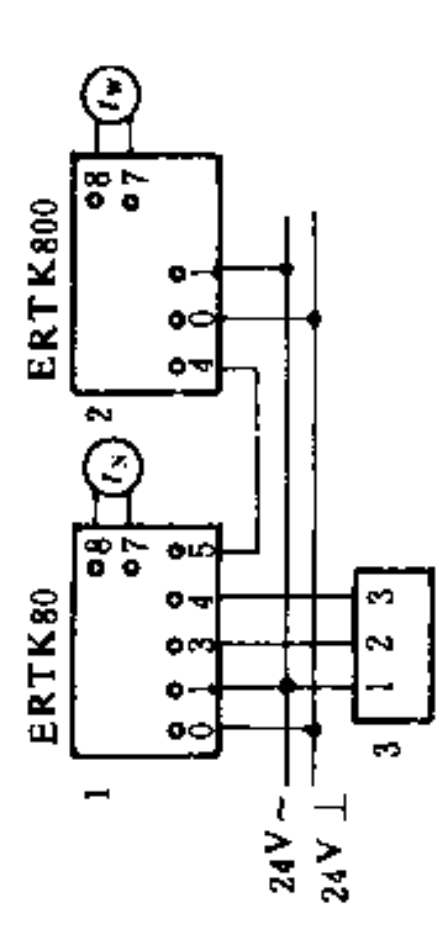
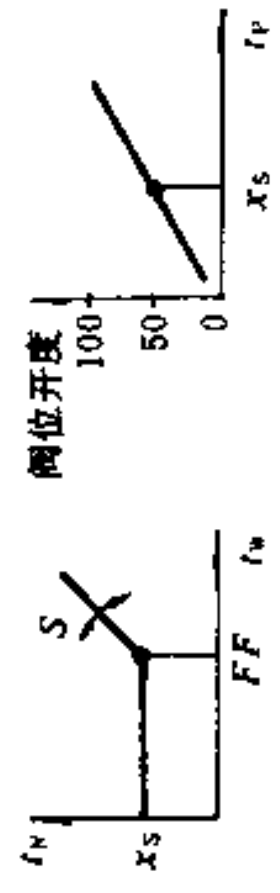
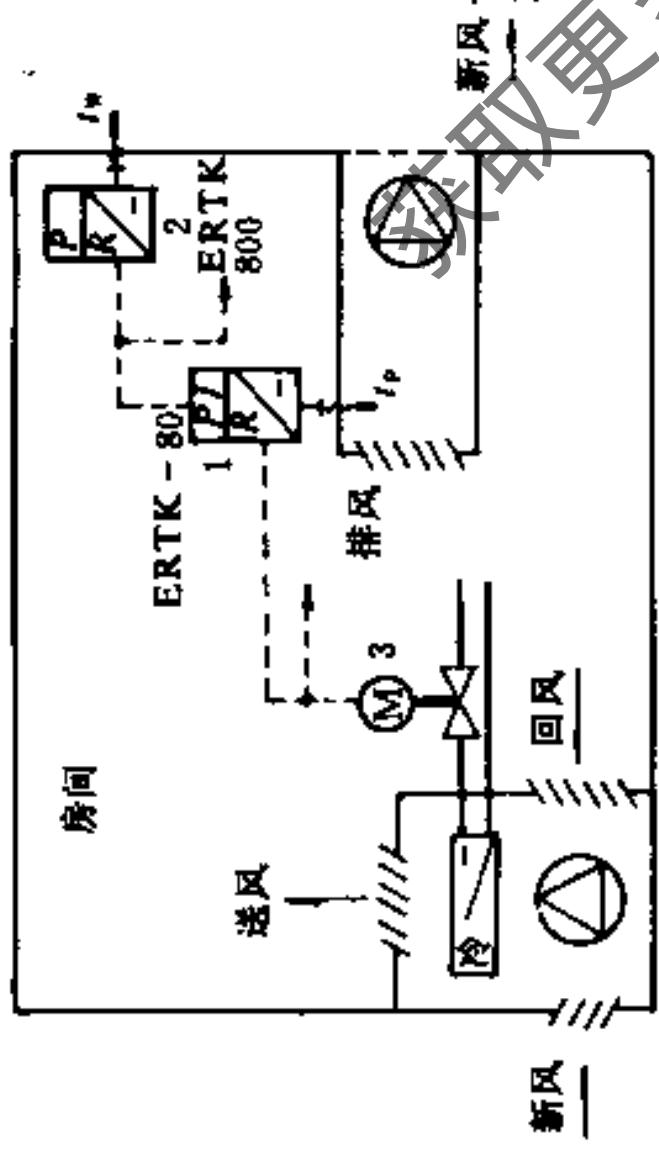
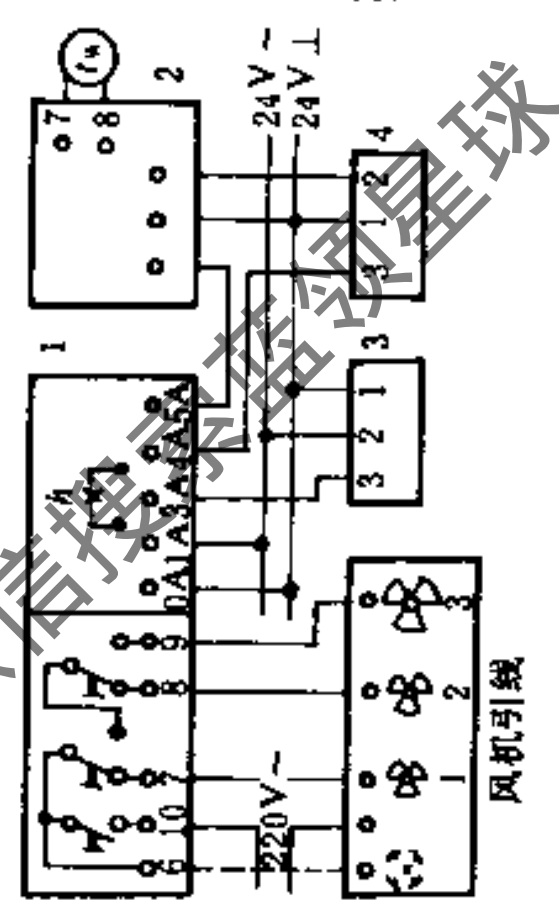
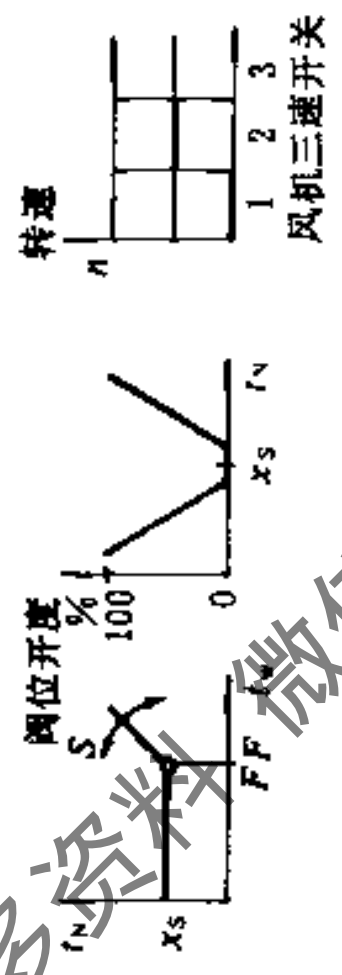
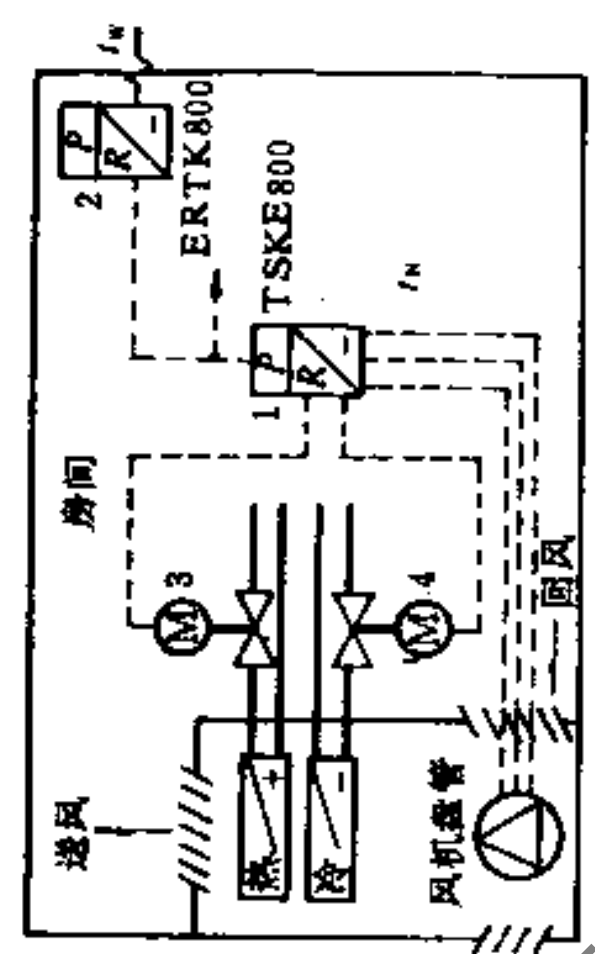
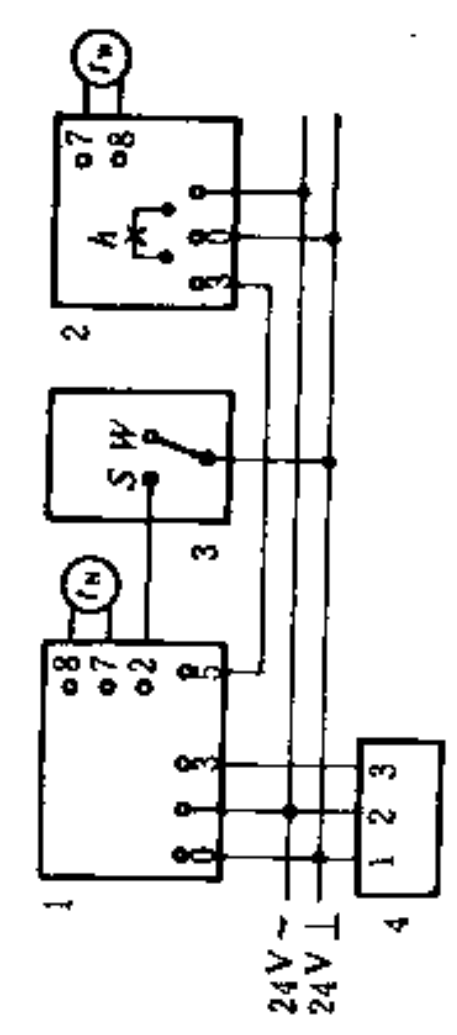
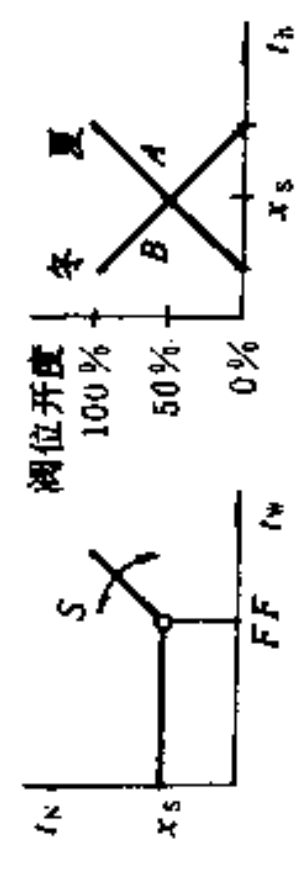
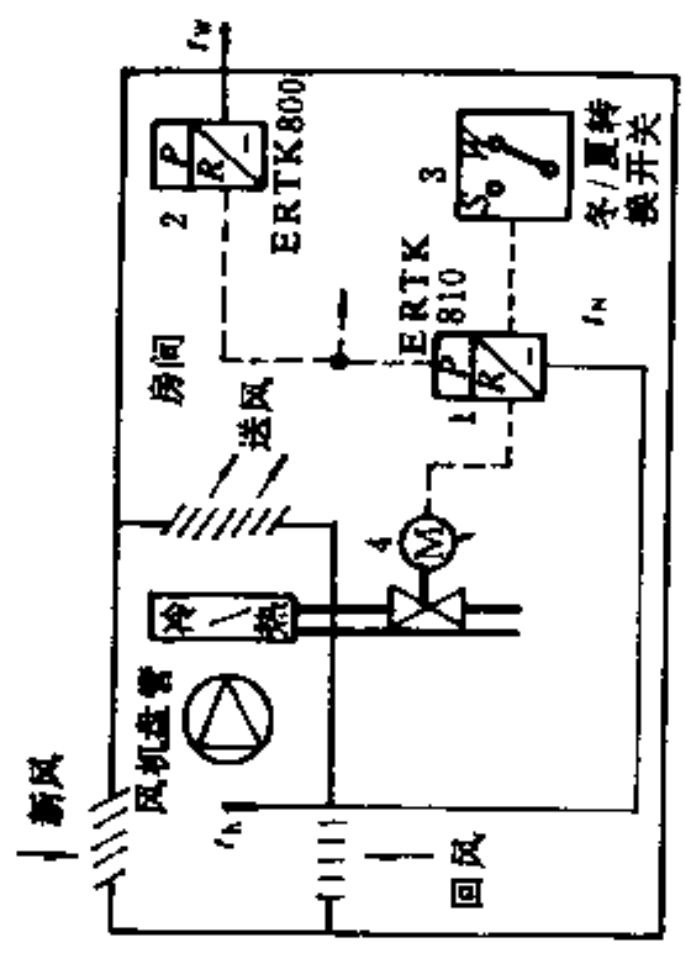


图 17.3-4 两管制风机盘管机组

图 17.3-5 四管制风机盘管机组

图 17.3-6 两管制风机盘管机组 (带冬、夏转换开关)

17.4 多工况节能控制

17.4.1 控制系统的组成

空调多工况节能控制系统的结构，如图17.4-1所示。

空调多工况节能控制系统，通常可分解成以下所示的各个环节：

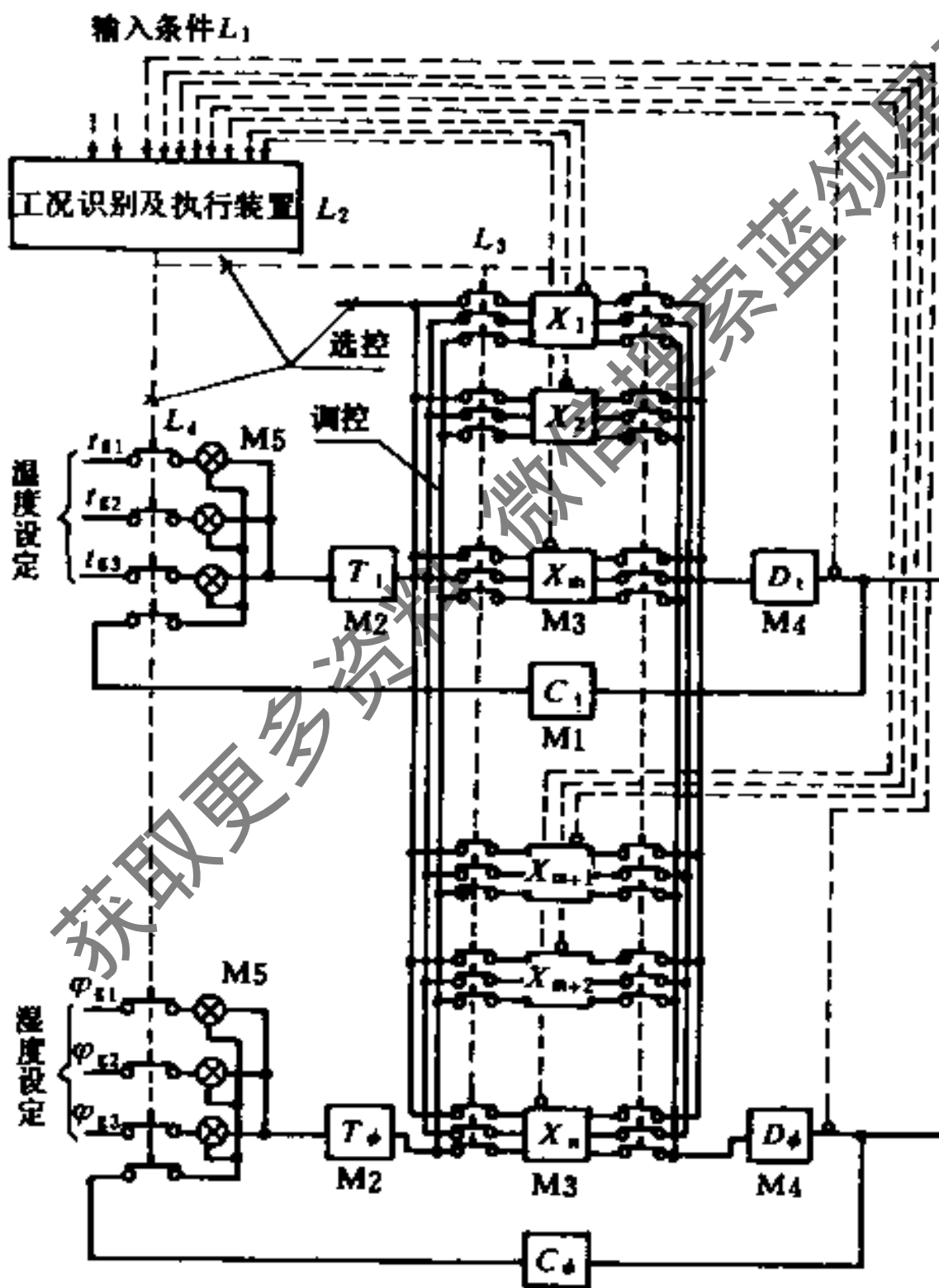
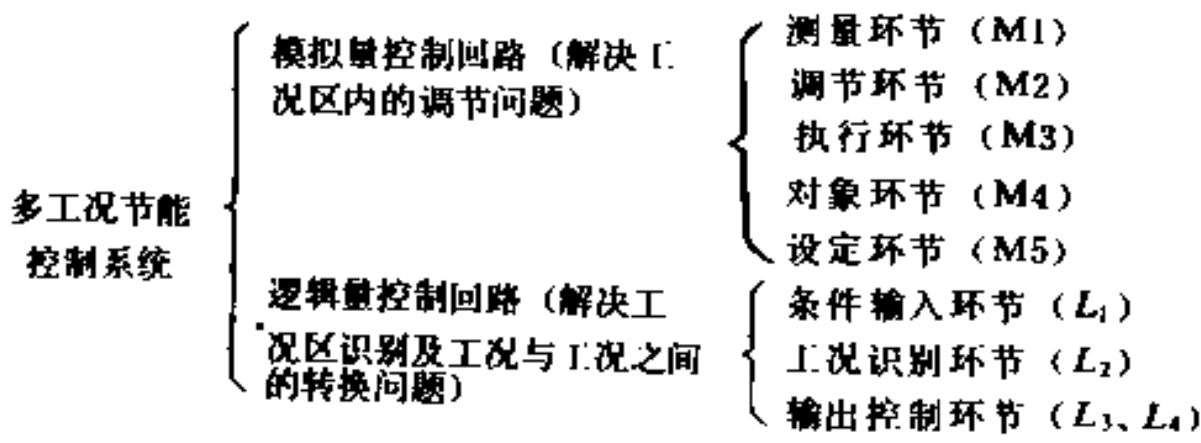


图 17.4-1 多工况节能控制原理图

调控—执行器受逻辑量控制回路所确定的调节器指令控制；

选控—执行器或调节器设定值直接受逻辑量控制回路的指令控制

M1—测量环节；C₁、C_φ—温度、湿度测量环节；M2—调节环节；T₁、T_φ—温度、湿度调节环节；

M3—执行环节（X₁、X₂…X_m、X_{m+1}、X_{m+2}…X_n）；M4—被调对象；D₁、D_φ—温度、湿度被调对象；

M5—设定环节；t_{s1}~t_{s3}、φ_{s1}~φ_{s3}—温度、湿度设定值；L₁—输入环节；L₂—识别环节；L₃、L₄—控制环节

17.4.2 多工况分区图

多工况分区图的特征是具有动态特性，它只反映过程的瞬态情况。在工况分区图上，当角系数 ϵ 随室内外热湿负荷的变化而改变时，工况分区边界线的位置和形状也将随之改变。所以，分区图只表征各区的调节范围和能力；也就是说，如果超出该分区的范围，就意味着必须转变至另一个新的工况区。

1. 具有一次回风和喷水旁通系统的多工况分区方法

(1) 根据室外气象条件，在*i-d*图上划出气象包络区；包络线的下部与 $\phi = 95\%$ 的饱和曲线相接，如图17.4-2所示。

(2) 根据室内的瞬时负荷和风量，确定相应的送风状态点A、B、C、D。

(3) 确定并划出室内温度和相对湿度的允许波动范围A'、B'、C'、D'。

(4) 沿A'A和B'B在相应送风角系数 ϵ 线的延长线上分别取点E、F，使

$$\frac{A'A}{A'E} = \frac{B'B}{B'F} = m \quad (\text{最小新风量与总风量之比})$$

并连接EF。

(5) 通过A、C、D、E点，分别作等焓线Ab、Cd、Dc、Ea，交包络线于a、b、c、d点。

(6) 通过B、C、E、F点，分别作等湿线BJ、CL、EG、FH，与 $\phi = 95\%$ 曲线交于G、H、J、L点。

(7) 通过C'点，作等焓线eC'，并延长使之与 $\phi = 95\%$ 曲线相交，得与包络线的交点e、h。

(8) 根据喷水处理的最低温度 t_k 等温线与 $\phi = 95\%$ 曲线的交点K，连接KC并延长交eC'h和包络线于M、f点。

(9) 在等焓线eC'h上取点N，使

$$\frac{C'M}{C'N} = m \quad (\text{最小新风量与总风量之比})。$$

(10) 过N点作直线Mf的平行线Ng，交包络线于g点。

以上诸线段，将包络线分割成1~13共13个工况区。

当送风相对湿度大于室内相对湿度时，图17.4-2中的8、9区将以6'、7'、8'三个区代替，使分区数增加为14个，如图17.4-3所示。

2. 带一、二次回风和变水量、变水量系统的多工况分区方法

为了简化，送风状态参数按一个点考虑，如图17.4-4所示。

(1) 根据室外气象条件，在*i-d*图上划出气象包络区，包络线的下部与 $\phi = 95\%$ 的

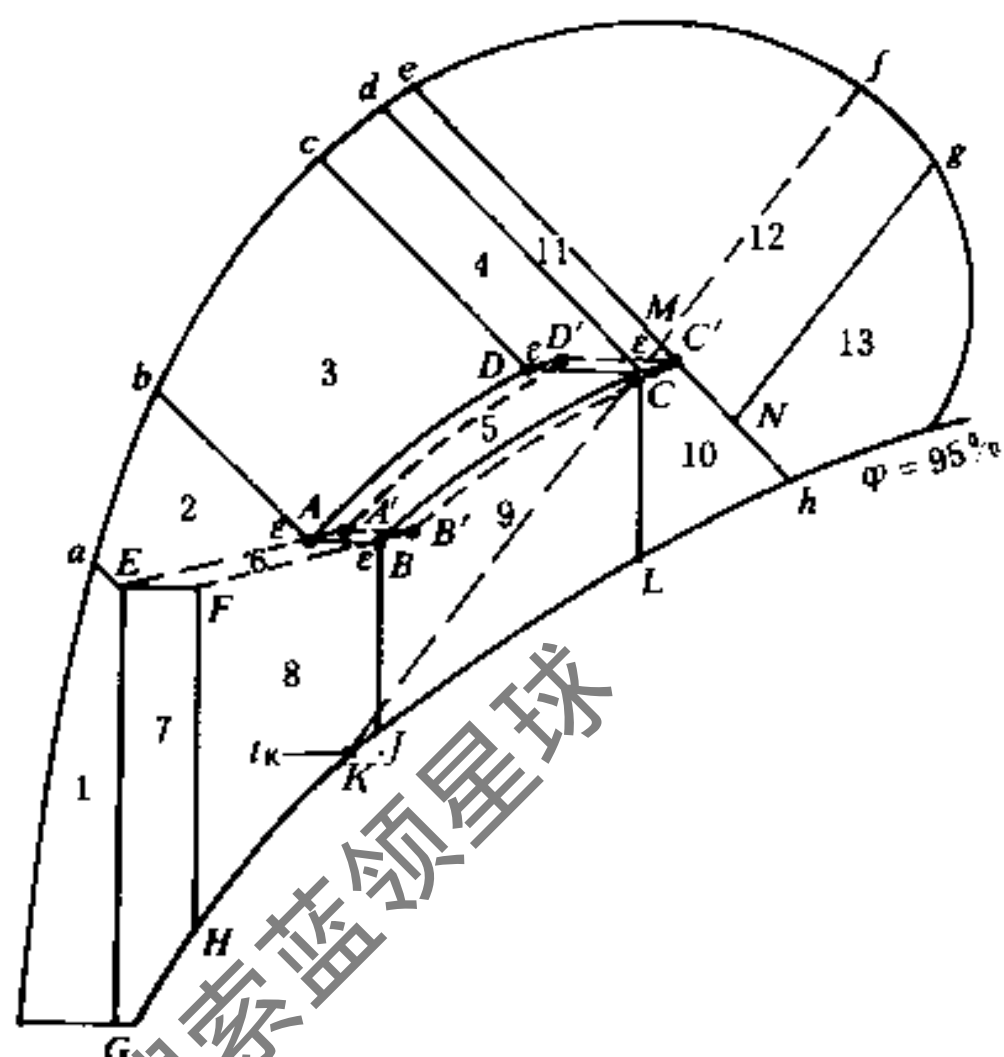


图 17.4-2 多工况分区图

(送风相对湿度 < 室内相对湿度)

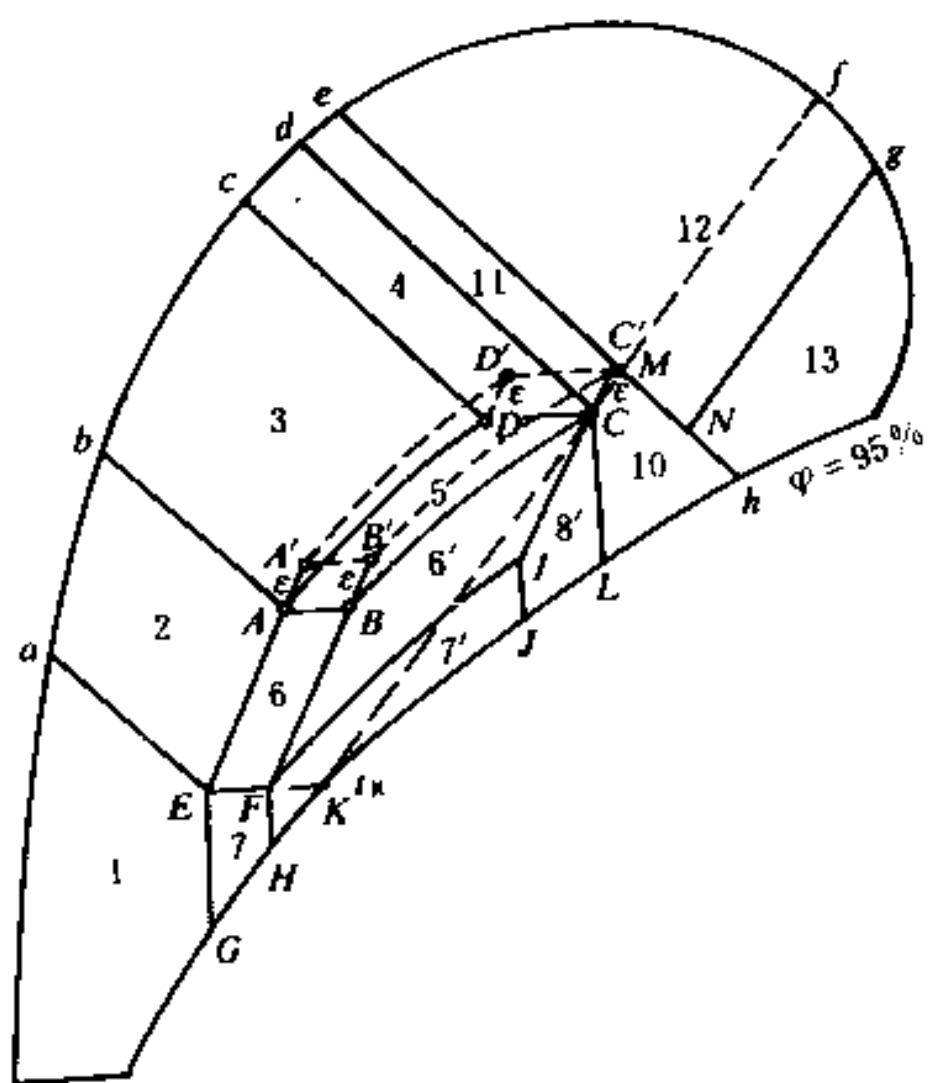


图 17.4-3 多工况分区图
(送风相对湿度 > 室内相对湿度)

曲线相接。

(2) 定出室内状态点 B 和送风状态点 N 的位置。

(3) 求出喷水处理后空气所能达到的实际终状态点 K 。

(4) 连接 B 、 N 点并延长，在延长线

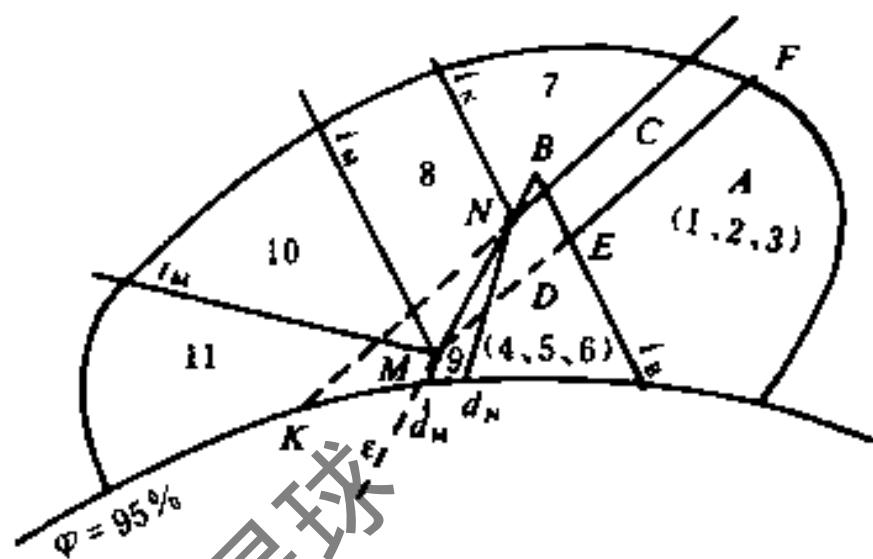


图 17.4-4 变水温、变水量多工况分区图

上取 M 点，使

$$\frac{BN}{BM} = m \quad (\text{最小新风量与总风量之比})$$

(5) 连接 KN 并延长。

(6) 过 B 点和 N 点作等焓线 i_B 、 i_N 和等湿线 d_N 。

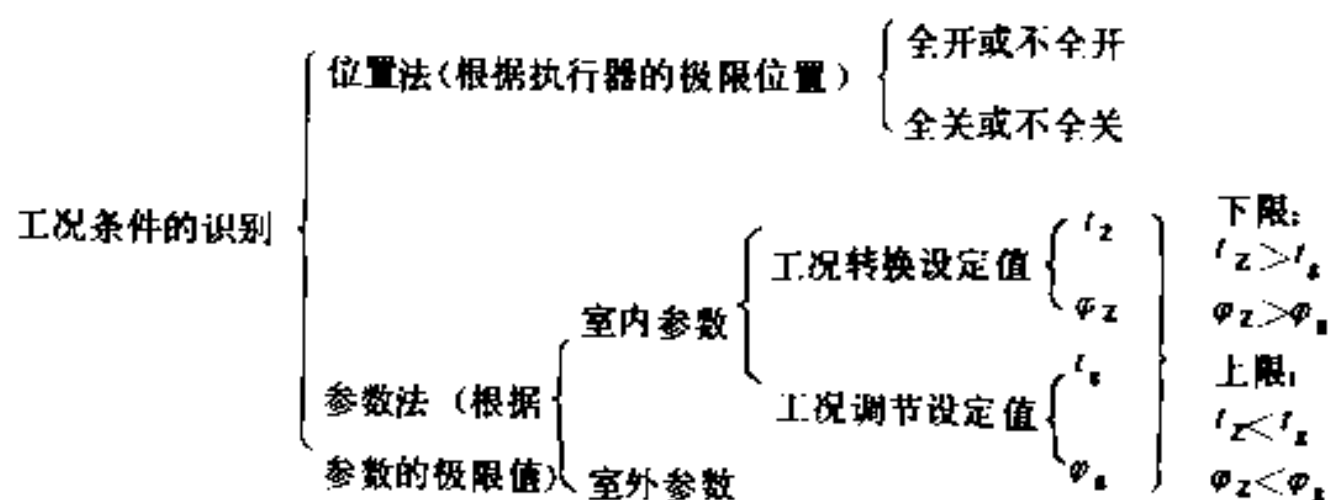
(7) 过 M 点作 KN 的平行线 MF ，交 B 点的等焓线 i_B 于 E 点。

(8) 再过 M 点作等温线 t_M 、等焓线 i_M 和等湿线 d_M 。

以上诸线段，将包络区分割成 A 、 C 、 D 、 $7 \sim 11$ 共 8 个区 12 个工况 (A 区有 1、2 和 3 三种工况； D 区有 4、5 和 6 三种工况)。

17.4.3 逻辑量控制

1. 工况条件的识别



说明 为了工况转换的稳定运行，所有转换参数的动差值，应在精度允许范围内适当加大。

2. 逻辑量控制程序表 见表 17.4-1 (带一次回风和喷水旁通的空调系统)。

喷水旁通式系统逻辑量控制程序表

序号	输入条件											输出控制						执行工况			
	工况条件	工况编号	一次回风门	旁通风门	二次加热器	三通阀冷水侧	室内下限转换温度	室内上限转换温度	室内下限转换湿度	室内上限转换湿度	室外湿球温度	送风湿度	一次回风门	旁通风门	二次加热器	三通阀冷水侧	新风门		喷水泵	室内设定温度	室内设定湿度
1	基本条件	1	X_1	X_2	X_3	X_4	f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}	t_{ws}	φ_s	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	t_s	φ_s	1
2	过渡条件	1-2	O_1	\bar{O}_2	\bar{C}_3		\bar{f}_{z1}		$\bar{\varphi}_{z1}$				O_1		$f_3^{(-)}$	C_4		ON_6	t_{s1}	φ_{s1}	1/2
3	过渡条件	1-7		O_2	\bar{C}_3		\bar{f}_{z1}		$\bar{\varphi}_{z1}$												1
4	过渡条件	1-2-6-7	O_1	O_2	C_3		\bar{f}_{z1}		$\bar{\varphi}_{z1}$				O_1								1/2
5	基本条件	2	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$	\bar{O}_2	C_3		\bar{f}_{z1}		$\bar{\varphi}_{z1}$				$f_1^{(-)}$	$\varphi_2^{(-)}$	C_3	C_4		ON_6	t_{s1}	φ_{s1}	2
6	过渡条件	2-3	C_1	\bar{O}_2			\bar{f}_{z1}		$\bar{\varphi}_{z1}$												2
7	过渡条件	2-6	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$	O_2	C_3		\bar{f}_{z1}		$\bar{\varphi}_{z1}$												2
8	过渡条件	2-3-5-6	C_1	O_2	C_3		\bar{f}_{z1}		$\bar{\varphi}_{z1}$				C_1		C_3	C_4		ON_6			2
9	基本条件	3	C_1	\bar{O}_2			f_{z1}	\bar{f}_{zh}	φ_{z1}	$\bar{\varphi}_{zh}$			C_1	$\varphi_2^{(-)}$	C_3	C_4					3
10	过渡条件	3-4		\bar{O}_2			f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}											3/4
11	过渡条件	3-5		\bar{O}_2			f_{z1}	\bar{f}_{zh}	φ_{z1}	$\bar{\varphi}_{zh}$											3
12	过渡条件	3-4-5		O_2			f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}											3/4
13	基本条件	4		\bar{O}_2		C_4	f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	$\bar{\varphi}_{zh}$			C_1	$f_3^{(-)}$	C_3	C_4		ON_6	t_{sh}		4
14	过渡条件	4-5		O_2			f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}											4
15	过渡条件	4-11		\bar{O}_2	C_3		f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}											11
16	过渡条件	4-5-9-10-11	C_1	O_2	C_3		f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}		$\bar{\varphi}_s$									10/11
17	过渡条件	4-5-6-8-10-11	C_1	O_2	C_3		f_{z1}	f_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}		$\bar{\varphi}_s$									8'/10/11

序 号	输 入 条 件										输 出 控 制										
	工况条件	工况编号	一次回风门	旁通风门	二次加热器	三通阀冷水阀	室内下限温度	室内上限温度	室内下限湿度	室内上限湿度	室外湿球温度	送风湿度	一次回风门	旁通风门	二次加热器	三通阀冷水阀	新风门	喷水泵	室内设定温度	室内设定湿度	执行工况
18	基本条件	5	X_1	X_2	X_3	X_4	t_{z1}	t_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}	t_{ws}	φ_s	X_1	O_2	C_3	X_6	X_5	X_6	t_g	φ_g	5
19	过渡条件	5-6	C_1				\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$											6
20	过渡条件	5-9	C_1		C_3		t_{z1}	t_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}		$\bar{\varphi}_s$									9
21	过渡条件	5-6'	C_1		C_3		t_{z1}	t_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}		φ_s									6'
22	过渡条件	5-6-8-9	C_1	O_2	C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$		$\bar{\varphi}_s$									8
23	过渡条件	5-6-8'	C_1	O_2	C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$		φ_s									6/6'
24	基本条件	6	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$	O_2	C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$		$t_1^{(1)}$	$t_1^{(1)}$	O_2	C_3	C_4		OFF_6	t_{g1}		6
25	过渡条件	6-7	O_1		C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$											6/7
26	过渡条件	6-8	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$		C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$		φ_s									8
27	过渡条件	6-6'	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$		C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$		φ_s									6/6'
28	过渡条件	6-7-8	O_1	O_2	C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$		$\bar{\varphi}_s$									8
29	过渡条件	6-7-6'-7'	O_1	O_2	C_3		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$		φ_s									6/6'/7/7'
30	基本条件	6'	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$		C_3		t_{z1}	t_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}		φ_s	$\varphi_1^{(1)}$	O_2	C_3	C_4		OFF_6		φ_{g1}	6'
31	过渡条件	6'-7'	O_1		C_3		t_{z1}	t_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}											6'/7'
32	过渡条件	6'-8'	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$	O_2	C_3		t_{z1}	t_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}											8
33	过渡条件	6' 7' 8'	O_1	O_2	C_3	C_4	t_{z1}	t_{zh}	φ_{z1}	φ_{zh}											8'
34	基本条件	7	O_1	O_2	\bar{C}_1		\bar{t}_{z1}	\bar{t}_{zh}	$\bar{\varphi}_{z1}$	$\bar{\varphi}_{zh}$			O_1	O_2	$t_3^{(1)}$	C_4		OFF_6	t_{g1}		7

对于带一、二次回风和变水温、变水量的空调系统，与上述喷水旁通系统相比，需增加以下参数识别条件：

Δt_{NS} —新风湿球温度和送风湿球温度的比较；

Δt_{NL} —新风露点温度和送风露点温度的比较。

兹将相应的四个基本条件工况和过渡条件工况列于表17.4-2。为了简化起见，表中仅列出3个典型工况。

3. 工况转换条件的识别和输出控制的执行 按三个工况分析如下：

(1) 基本工况—具备各工况区范围以内条件的工况。

(2) 线过渡条件工况—两相邻工况边界线工况（属于两工况的极限条件工况）。

• 位置条件过渡

• 位置加参数过渡条件工况

• 参数过渡条件工况

• 根据室外参数的转换

(3) 点过渡条件工况—三个或三个以上相邻工况边界的点过渡条件工况。

• 交点位于一个工况的边界上：通过失调区过渡到相邻的工况区。

• 交点位于两相邻工况的边界上：通过振荡工况或失调区过渡到相邻工况区。

• 交点位于三个相邻工况的边界上：通过振荡工况或失调区过渡到其它相邻工况区。

• 交点及交点所在的一条边界线位于失调区内：通过振荡工况或失调区向周围工况过渡。

• 交点及交点所在的两条边界线均位于失调区内：通过振荡工况或失调区向周围工况过渡。

4. 逻辑量控制回路的组成 组成框图见图17.4-5。

5. 逻辑量控制回路的功能（见表17.4-3）

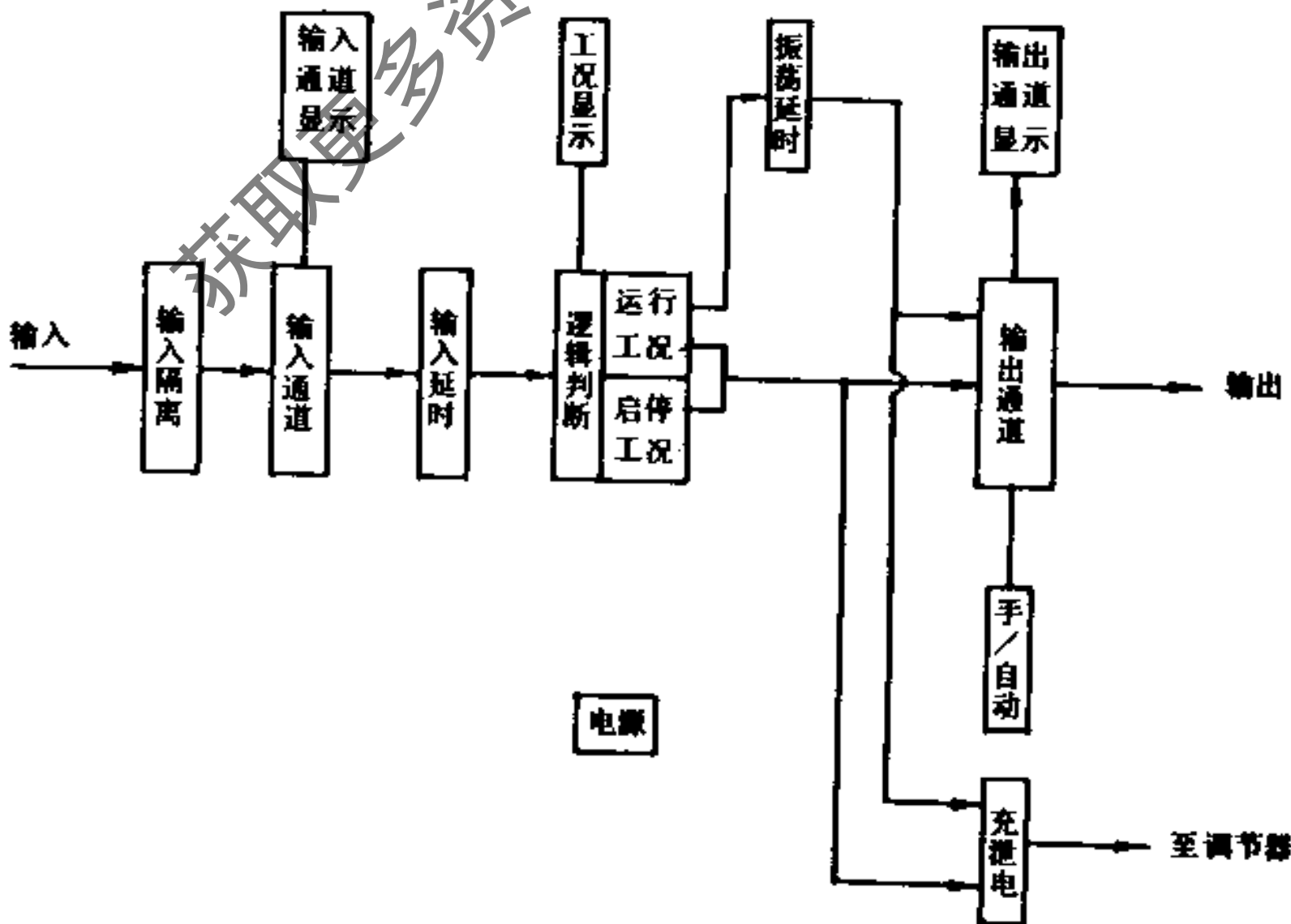


图 17.4-5 逻辑量控制回路框图

变水温、变水量喷水式系统逻辑量控制程序表

序号	输入条件										输出控制						执行 、 工 况	
	工况 条件 编号	一次回 风门	二次回 风门	加热器	三通阀 冷水侧	水量	加湿器	新风和 室内湿 球比较	新风和 送风湿 球比较	新风和 送风露 点比较	一次回 风门	二次回 风门	加热器	三通阀 冷水侧	新风门	水量		加湿器
1	基本 条件 1	X_1	X_2	X_3	X_4	X_6	X_7	Δt_{B_1}	Δt_{N_3}	Δt_{N_1}	$t_1^{(1)}$	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	1
2	基本 条件 1-2		O_2	C_3	O_4	\bar{O}_6		Δt_{B_1}				O_2						1-2
3	基本 条件 2		O_2	\bar{C}_3	O_4	O_6		Δt_{B_1}			C_1	O_2	$t_3^{(1)}$	O_4	C_5	$\phi_6^{(1)}$	C_7	2
4	基本 条件 4	C_1	$\bar{C}_2 \bar{O}_2$	C_3	O_4	\bar{O}_6		Δt_{B_1}		Δt_{N_1}	C_1	$t_2^{(1)}$	C_3	O_4	$t_3^{(1)}$	$\phi_6^{(1)}$	C_7	4
5	基本 条件 4-9	C_1	$\bar{C}_2 \bar{O}_2$	C_3	O_4	\bar{O}_6				$\bar{\Delta t}_{N_1}$								9
6	基本 条件 4-9	C_1	C_2	\bar{C}_3														4
7	基本 条件 9	$\bar{C}_1 \bar{O}_1$	C_2	\bar{C}_3						$\frac{\Delta t_{N_1}}{\phi_1^{(1)}}$	$\phi_1^{(1)}$	C_2	$t_3^{(1)}$	C_4	$\phi_3^{(1)}$	C_6	C_7	9

说明：1. 符号及表示的意义与表17.4-1相同；

2. Δt_{B_1} 、 $\bar{\Delta t}_{B_1}$ —新风湿球温度高于、低于室内湿球温度；

3. Δt_{N_1} 、 $\bar{\Delta t}_{N_1}$ —新风露点温度高于、低于送风露点温度；

4. Δt_{N_3} 、 $\bar{\Delta t}_{N_3}$ —新风湿球温度高于、低于送风湿球温度。

逻辑量控制回路各环节的功能

表 17.4-3

序号	环节	功能
1	输入隔离	使逻辑控制装置与现场电路隔离,防止电干扰
2	输入通道及显示	工况识别条件输入回路及回路显示,以便于检查
3	输入延时	输入条件变化时,在规定时间内持续建立或丢失的条件可通过输入本环节进入逻辑判断环节,不足规定时间时,本环节仍保证原输入条件有效,以排除输入条件偶然建立或丢失而影响系统稳定运行
4	逻辑判断及显示	识别、判断输入条件,自选启停工况及运行工况,显示工况编号
5	振荡延时	为相邻边界线或交点上的工况提供向两个和两个以上工况过渡的条件
6	输出通道及显示	输出控制回路及回路显示,以便于检查
7	充泄电	消除积分电容的积分饱和,达到不产生过大的转换扰量
8	手、自动	可以对输出通道进行手动、自动控制

17.4.4 多工况节能控制的简化途径

1. 减少、合并或简化识别条件,避免采用复杂和昂贵的检测条件。
2. 选择较经济的工况识别条件。
3. 尽可能采用比例调节器,以简化逻辑量控制回路。
4. 工况程序中,尽可能采用位置和参数的过渡条件工况,以便减少过渡(振荡)工况,简化控制回路,且有利于系统的稳定运行。
5. 尽量加大位置线和参数线的区间,扩大失调区,减少工况分区。
6. 减少相交点过渡条件工况,具体做法是:
 - (1) 出现相交点条件工况时,根据分析强制执行预设定的工况,在执行过程中由系统自动适应。
 - (2) 当两个输入条件同时发生变化时,只允许这两个条件分时(时间可调)进入逻辑判断环节。
7. 在启动工况中,只采用室内外温态,不用相对湿度作输入条件,以便简化启停程序。

注意 位置法识别条件比参数法经济、可靠,但是我国目前生产的电动执行器的全行程时间普遍偏短,作为位置识别条件时,容易导致系统运行不稳定,对PI和PID系统尤为严重。从稳定性考虑,还是以采用参数法较为适宜,但动差值应适当加大,以便限制转换扰量。

17.5 功能模件式调节装置

功能模件(Functional modules)是指由各种典型线路构成的标准电路板,每种电路板具有一种或几种功能,并有同一规格的尺寸、输出输入端子、电源和讯号制。

本节主要介绍由中国建筑科学研究院空气调节研究所近年开发研制成功的WSZ-2A型功能模件式温湿度调节装置。

17.5.1 WSZ-2A型功能模件式温湿度调节装置的组成

WSZ-2A型功能模件式温湿度调节装置，由四块温湿度变送调节功能模件和数显及供电单元组成，每种功能模件可实现如下功能：

1. 温湿度变送功能 每块模件可实现两路温度（或一路温度、一路湿度）的变送功能。
2. 调节功能 可实现的调节规律有：
 - 两路单继电器输出的断续调节（包括位式、位式PID、时间比例）或连续输出的PID调节；
 - 双继电器输出、调节方式为一路三位或三位PI的温度或湿度调节；
 - 特殊功能调节，如带新风补偿的三位PI调节、串级调节、分程差选、远方启停控制等。

通过选择开关，还可以由数显面板读出被测温湿度参数和阀门开度。调节装置的原理框图如图17.5-1所示。

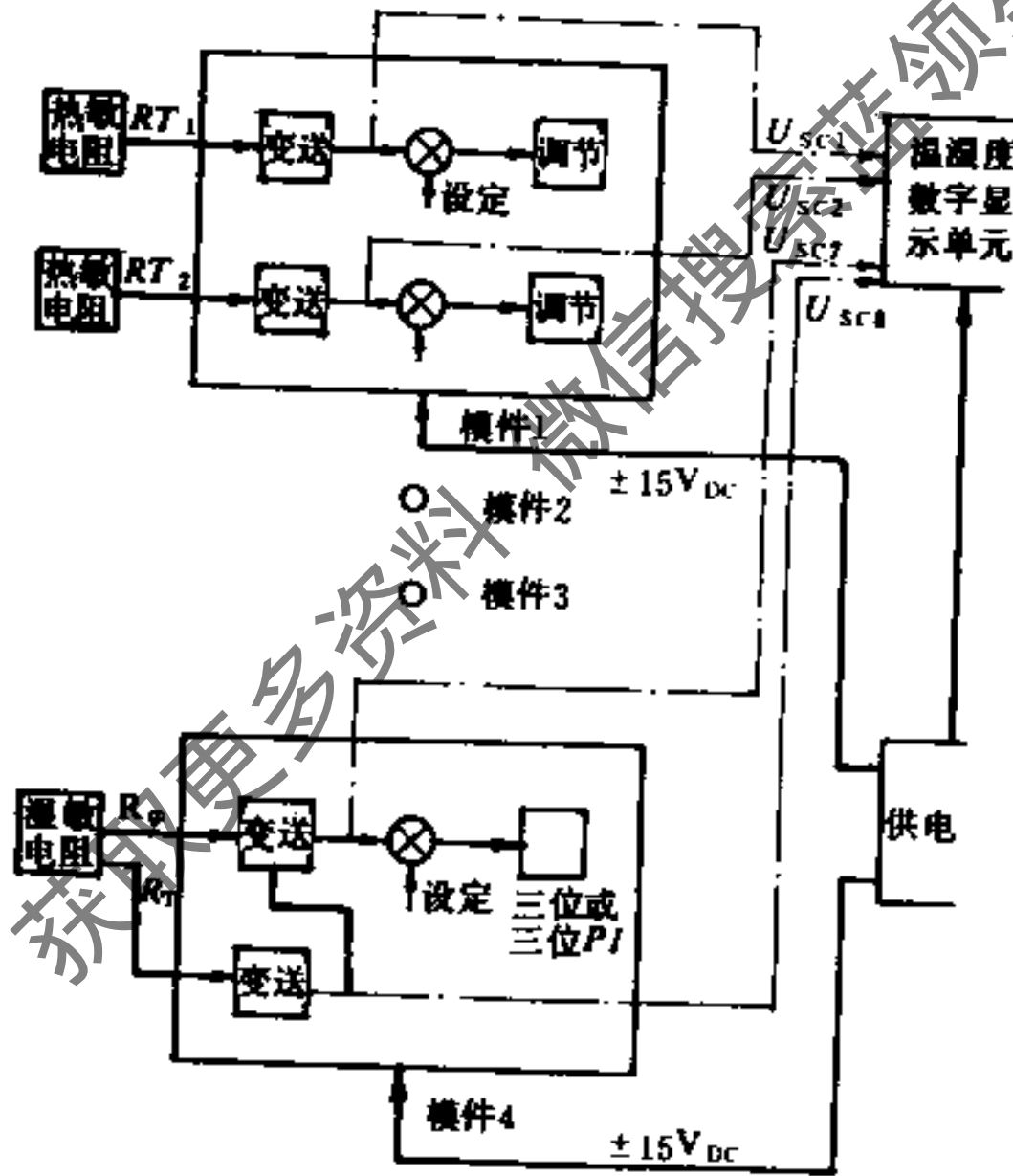


图 17.5-1 调节装置的原理框图

17.5.2 WSZ-2A型功能模件式调节装置的主要功能和技术指标

1. 外形尺寸 384×148×288mm；
开孔尺寸 372⁺²×137⁺²mm
2. 通用技术指标
 - (1) 设定误差不大于设定范围的±1.5%；

(2) 断续输出调节模件的继电器触点容量: $\sim 220\text{V}$, 0.5A (无感负载);

(3) 抗干扰性能: 纵向 $\sim 220\text{V}$,
 横向 $\sim 50\text{mV}$, 50Hz 。

3. 各功能模件、数显和供电单元的主要功能和技术指标 (见表17.5-1)

WSZ 2A型功能模件式温湿度调节仪的主要功能和技术指标 表 17.5 1

分类	序号	型号名称	输入	主要功能和技术指标
变 送 调 节	1	GRM-22两路铂热电阻变送模件 ¹ GRM-26两路热敏电阻变送模件 GRM-29温湿度变送模件	铂热电阻 热敏电阻 温湿度传感器	
	2 位式	GTD-206两路温度位式调节模件 GTD-200位式调节模件	两路热敏电阻 $2 \times 0 \sim 10\text{VDC}$	位式调节不灵敏区: $0.2 \sim 5\%$ (满量程 下同) 可调
	3 时间比例	GTD-236两路温度时间比例调节模件 GTD-230时间比例调节模件	2路热敏电阻 $2 \times 0 \sim 10\text{VDC}$	(1) 比例带: $2 \sim 10\%$ 可调 (2) 零偏差周期: a. 20s (配可控硅) b. 40s 或 2min
	4 位式PID	GTD-246两路温度位式PID调节模件 GTD-240位式PID调节模件	2路热敏电阻 $2 \times 0 \sim 10\text{VDC}$	(1) 比例带: $2 \sim 100\%$ (2) 积分时间: $0.3 \sim 10\text{min}$ (3) 微分时间: $0 \sim 1.5\text{min}$ (4) 面板设有手、自动切换设定旋钮可兼 作手操旋钮 (5) 周期: 20s (配可控硅)、 40min (配接触 器) ²
	5 连续PID	GTL-299温湿度连续PID调节模件 GTL-290连续PID调节模件	温湿度传感器 $2 \times 0 \sim 10\text{VDC}$	(1) 调节模件输出: $0 \sim 10\text{mA}$ (负载 $1\text{k}\Omega$) 或 $4 \sim 20\text{mA}$ 或 $0 \sim 10\text{V}$ (2) PID参数同4(1)~(4)
	6 三位	GTD-122温度三位调节模件 (铂电阻) GTD-129湿度三位调节模件 (湿敏电阻) GTD-126 温度三位调节模件 (热敏电阻) GTD-120三位调节模件	铂热电阻 温湿度传感器 热敏电阻 $0 \sim 10\text{VDC}$	(1) 上、下限设定范围可为全量程可调 (2) 不灵敏区 $0.2\% \sim 5\%$ 可调
	7 三位PI	GTD-156三位PI温度调节模件 GTD-159三位PI湿度调节模件 GTD-150三位PI调节模件	热敏电阻 温湿度传感器 $0 \sim 10\text{VDC}$	(1) 中间带: $1.5 \sim 10\%$ 可调 (2) 比例带: $0.5 \sim 200\%$ (执行器全行 程时间 60s) (3) 积分时间: $0.5 \sim 15\text{min}$ (4) 有手、自动转换开关
	8 特殊功能	GTD-A560带新风补偿三位PI温度调节 模件 ³	两路热敏电阻	(1) 输入范围: 室外温度 (t_1): $0 \sim 40\text{C}$ (或 $-10 \sim 40\text{C}$); 室温 (t_2): $10 \sim 30\text{C}$; (2) 补偿比: 冬季 $0 \sim -100\%$; 夏季: $0 \sim 100\%$ 、补偿起点: 冬 10C ; 夏: $20 \sim 25\text{C}$ 可调; (3) 夏季补偿极限控制: $25 \sim 30\text{C}$ 可调; (4) 三位PI参数同7(1)~(4)
	GTD-B46串级位式PID温度调节模件	两路热敏电阻	主调节回路 (t_1): 输入范围: $19 \sim 21\text{C}$, 调节器输出: $0 \sim 10\text{VDC}$ 改变副调节回路 设定值: 主调节器PID参数和GTL-290相同 副调节回路 (t_2): 输入范围: $10 \sim 30\text{C}$; 副调节器参数和GTD-246相同	

续表

分类	序号	型号/名称	输入	主要功能和技术指标
变 送 调 节	8 特殊功能	GFL-C20分程差值选择模件	两路 0 ~ 10V 温湿度PID调节信号	将输入的两路 0 ~ 10V PID 调节信号两分程后经差值选择单元, 分成三路输出信号各为 0 ~ 10V (或 0 ~ 10mA 或 4 ~ 20 mA) 信号, 控制冷水、热水和加湿阀门
		GKX 2F 远方启停模件	开关量输入	可实现两个系统的远方启停控制和风机过滤器故障灯光显示
显 示	9	数字显示单元	8路 0 ~ 10VDC 信号, 手动选择显示	温度显示: 显示方式: 小量程 4 位、大量程 3 位; 精度 + 1% (满量程) 温度显示: 显示方式: 三位, 精度: ± 1% (不包括测头) 阀位显示: 显示方式: 三位
供 电	10	供电单元	+ 10% ~ 220V - 15% 消耗功率: ≤ 25W	输出电压: (15 ± 0.3) VDC; 精度 ± 1% 输出电流: 最大为 + 300mA

- ① GRM-22、GRM-26和GRM-29三种变送器还有安装于控制柜内的盒式品种 (供电为 ± 15V, 外形尺寸为: 150 × 106 × 30mm)。
- ② 位式PID调节模件周期系指调节器在 50% 输出的周期。
- ③ GTD-A560带新风补偿三位PI调节模件由WZT-A56温度调节指示仪代替。

17.5.3 应用示例

1. 恒温自控系统 自控原理图如图17.5.2所示。

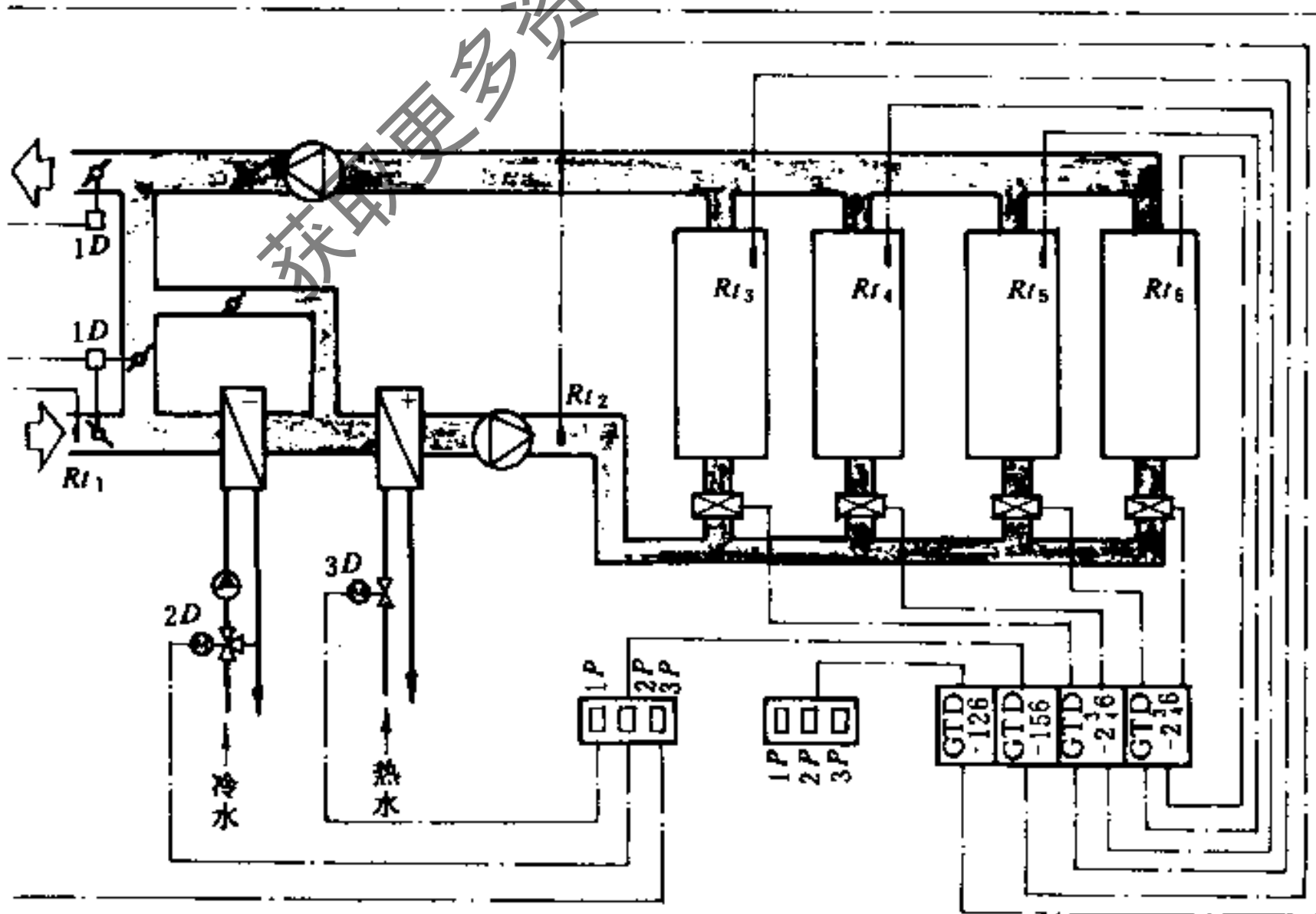


图 17.5-2 恒温自控原理图

通过由四块功能模件所组成的一台WSZ-2A型温湿度调节装置，可实现下列功能：

(1) 根据室外空气温度的变化，自动进行冬、夏和过渡季节三工况转换。

(2) 实现送风温度三位PI（分别控制冷、热水电动调节阀的开度和新、回风混合比）调节；

(3) 根据恒温精度和控制性能要求，选择位式、时间比例或位式PID调节模件，对4个室温电加热器进行控制，保持室温恒定；

(4) 通过选择开关，对新风、回风、室温共6个温度以及2个阀位（风门和冷、热水调节阀的开度）参数进行数字显示。

2. 恒温、恒湿自控系统 控制原理图如图17.5-3所示。

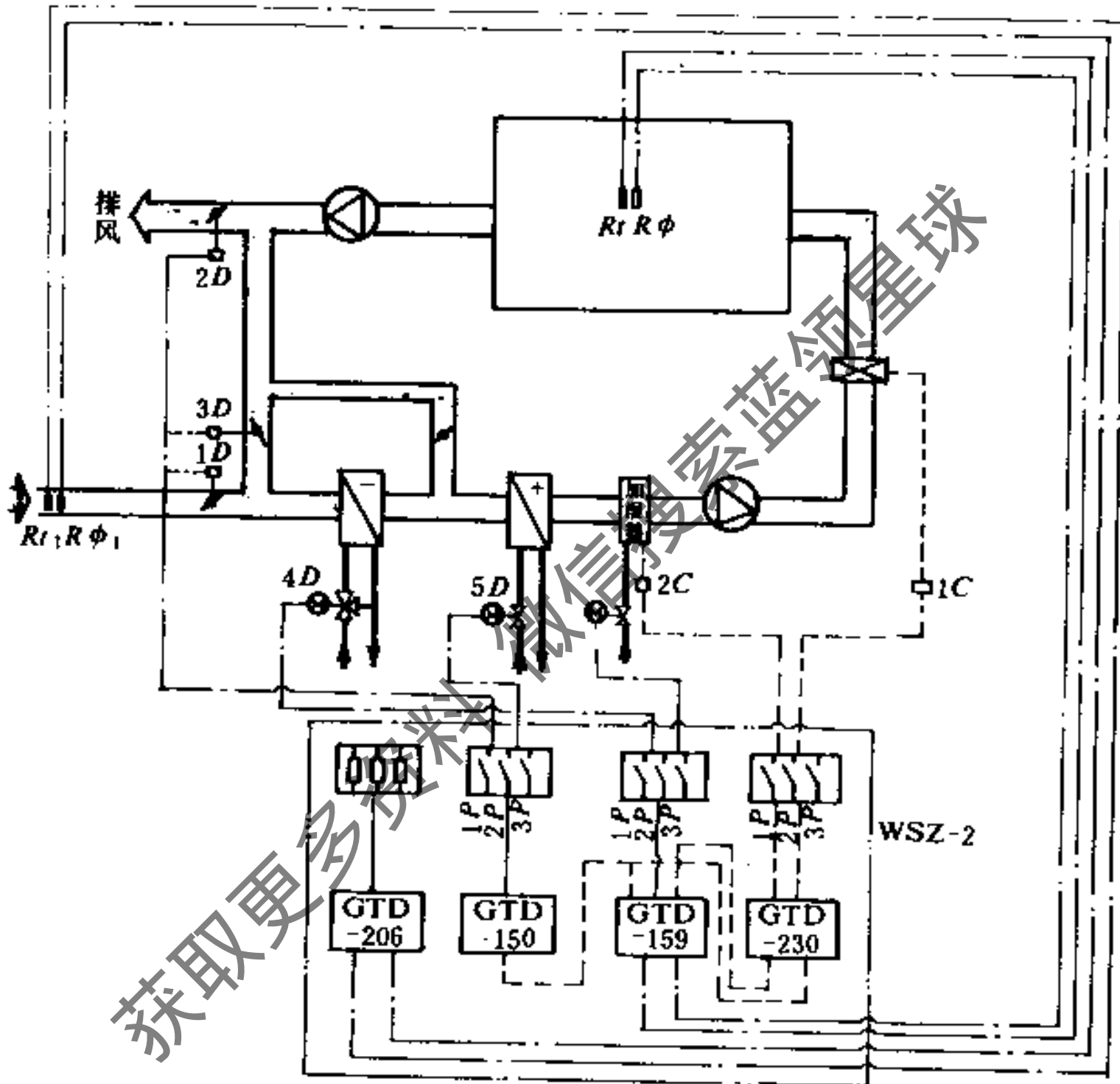


图 17.5-3 恒温、恒湿控制原理图

应用三块功能模件，可实现下列功能：

(1) 根据室外空气的干、湿球温度、进行空调工况的自动转换；

(2) 室内相对湿度的自动调节（三位PI） 夏季和过渡季，当室外空气湿球温度较高时，控制冷水调节阀的开度；冬季则控制蒸汽加湿器的电动调节阀的开度；

(3) 室温自动调节（三位PI）

• 冬季 控制热水或蒸汽电动调节阀；

• 夏季 控制冷水电动调节阀；

• 过渡季 控制新、回风风阀。

(4) 室外空气的干、湿球温度、室内温度、室内相对湿度和二个阀位参数的数字

显示。

注：如温、湿度分别采用电加热和电加湿方式，则可增设一块GTD-230两路时间比例调节模件，实现温、湿度的比例调节。这时，温、湿度变送器输出的信号，分别接至GTD 230的输入端，如图17.5-3中虚线所示。

3. 舒适性空调系统 带新风温度补偿的节能控制系统原理图如图17.5-4所示。控制电路图则如图17.5-5所示。

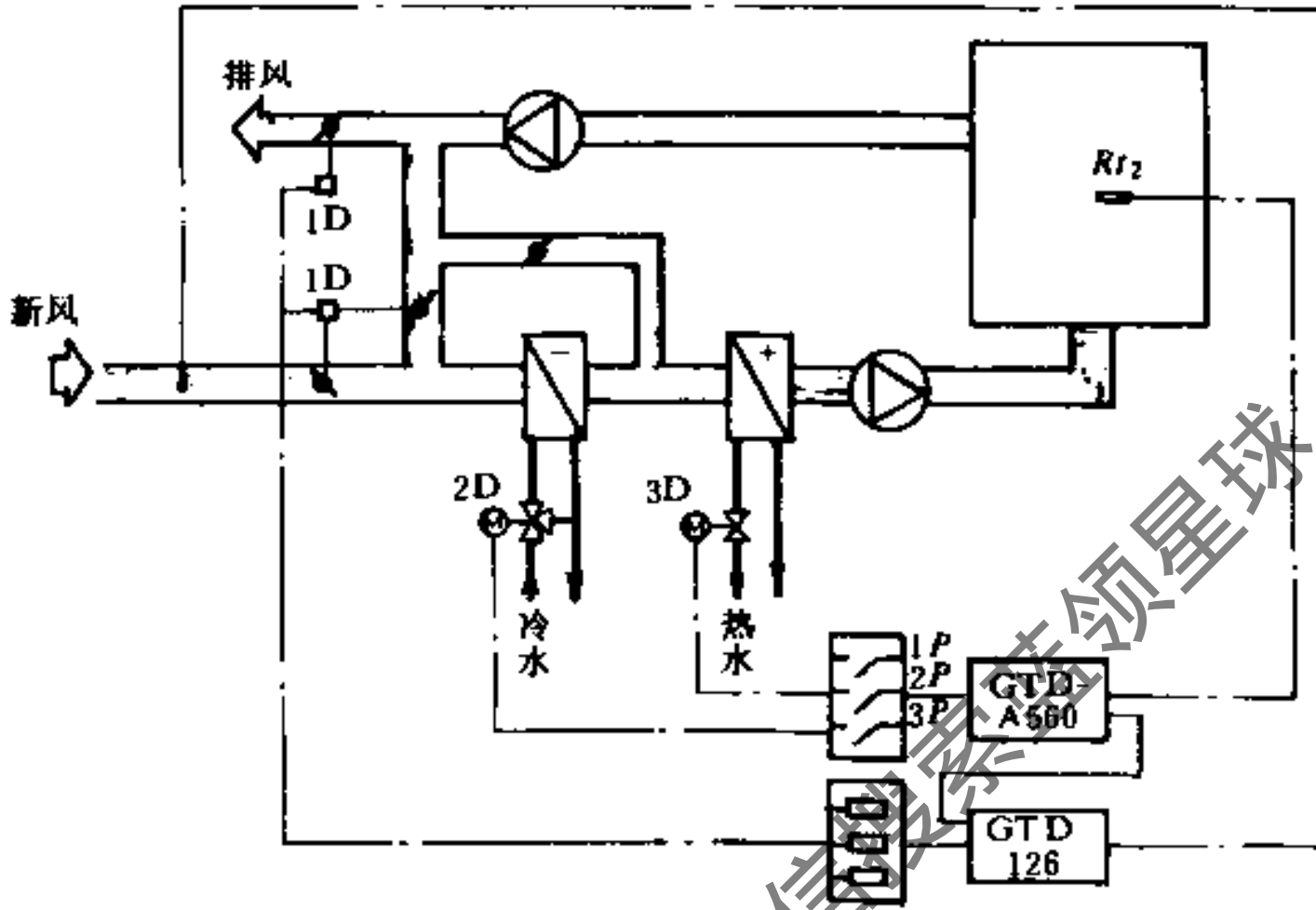


图 17.5 4 带新风温度补偿的节能控制系统原理图

通过两块功能模件可以实现下列功能：

(1) 通过GTD 126三位式温度调节模件，控制继电器(1P~3P)的通断，实现空调季节工况的自动转换。

(2) 通过GTD-A560三位PI温度调节模件调节室内温度。

- 冬季 按PI调节规律控制热水电动调节阀的开度。
- 夏季 控制冷水电动阀的开度，室温将随室外温度的上升而增高，直至补偿极限为止。

• 过渡季 室温随着室外温度的变化而浮动。

(3) 只要合上电源开关，按下风机启动钮(1AQ)，系统就能自动投入运行(转换开关置于自动位置)；按一下风机停止钮(1AT)，就可停车。这时，通过接触器的常闭触头1C₂、1C₃和2C₂给执行机构送出自动回零电源，将冷(热)水调节阀和新风风门关闭。

注：如选用一块GTD 126模件和三块GTD-A560调节模件，则采用一台WSZ-2型模件式调节装置就可实现对三个空调系统的节能控制。

这时，三个空调系统可共用一个新风温度三位式调节模件作为系统季节工况自动转换，输出的新风温度信号电压作为其它三个模件(GTD A560)的输入信号。各系统的季节补偿起始值、补偿比和极限控制值都任意调节，还可实现夜间再设功能，获得最佳节能效果。

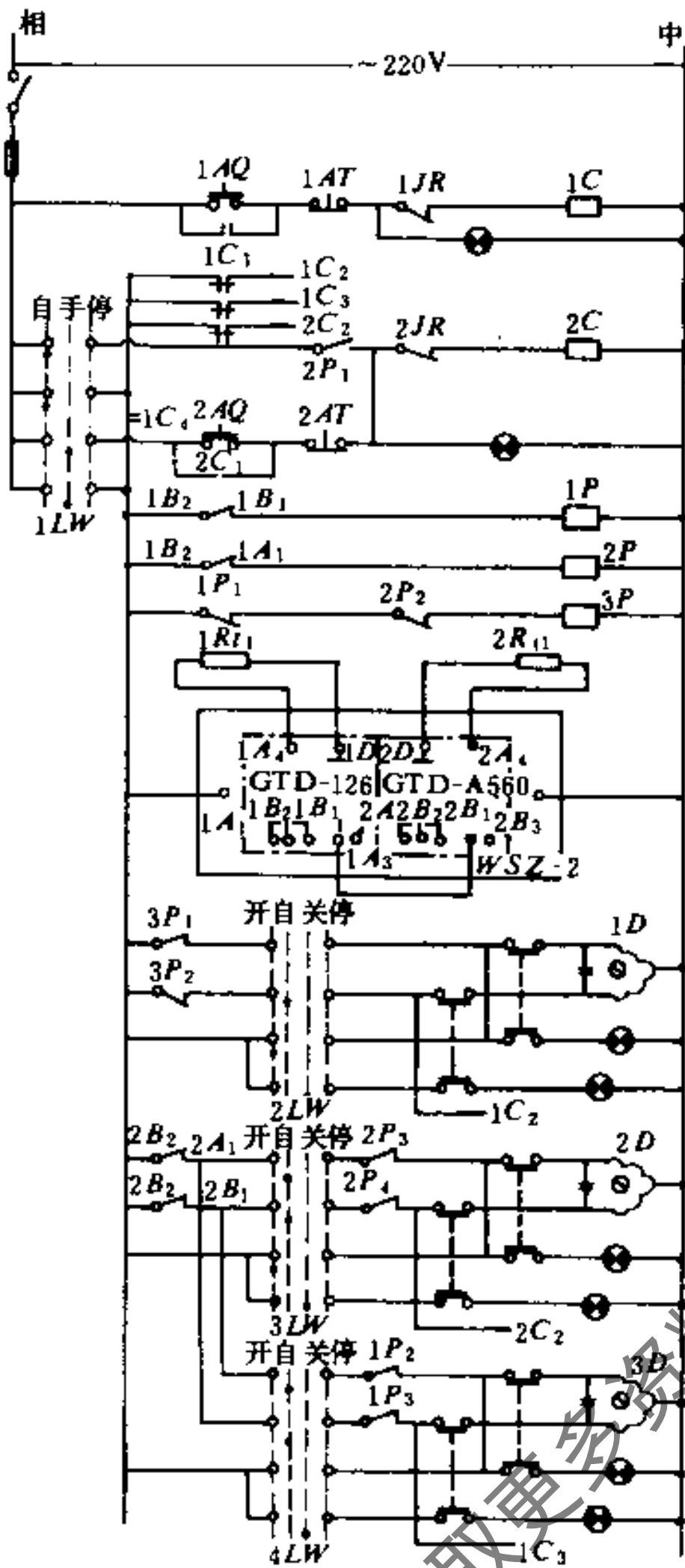


图 17.5-5 带新风温度补偿的节能控制系统电路图

送风机控制	风机及系统起停按钮	接触器
	关机自动回零电源	运行指示灯
季节自动转换	空调系统自动手动转换开关	水泵控制 自动接触器 手动起停 运行指示灯
	GTD-126三位输出继电器触点	中间继电器1P吸合, 冬季工况 中间继电器2P吸合, 夏季工况
		中间继电器3P吸合, 过渡季节工况
季节转换和室温控制仪表	新风温度热敏电阻	室温热敏电阻
	GTD-126三位式温度调节模块	GTD-A560带新风温度补偿三位PI温度调节模块(室温自控)
新风一次回风调节风门	季节转换继电器触点	过渡季节 新风、一次回风风门执行机构 冬季夏季 开足指示灯 关足指示灯
冷水电动三通阀门	转换开关	冷水电动三通阀门执行机构
	GTD-A560输出继电器触点	季节转换器 开足指示灯 关足指示灯
二次加热器三通阀门	转换开关	二次加热器三通阀门执行机构
		继电器触点 开足指示灯 关足指示灯

17.6 QHRH型分布式微机控制系统^①

本系统是空调、制冷、供热工程的专用微机控制系统，具有以下特点：

- 针对不同设备，编制了专用程序。
- 能根据控制精度与调节品质实现最佳节能运行。
- 器件运行速度、元件精度、存贮容量和输入输出通道数等均结合热工过程特点进行了最优选择。

① 本系统由清华大学热能工程系空调教研室研制开发，由清华人工环境工程公司生产。本节根据清华大学彦启森教授提供的资料编写，并经彦教授审核定稿。

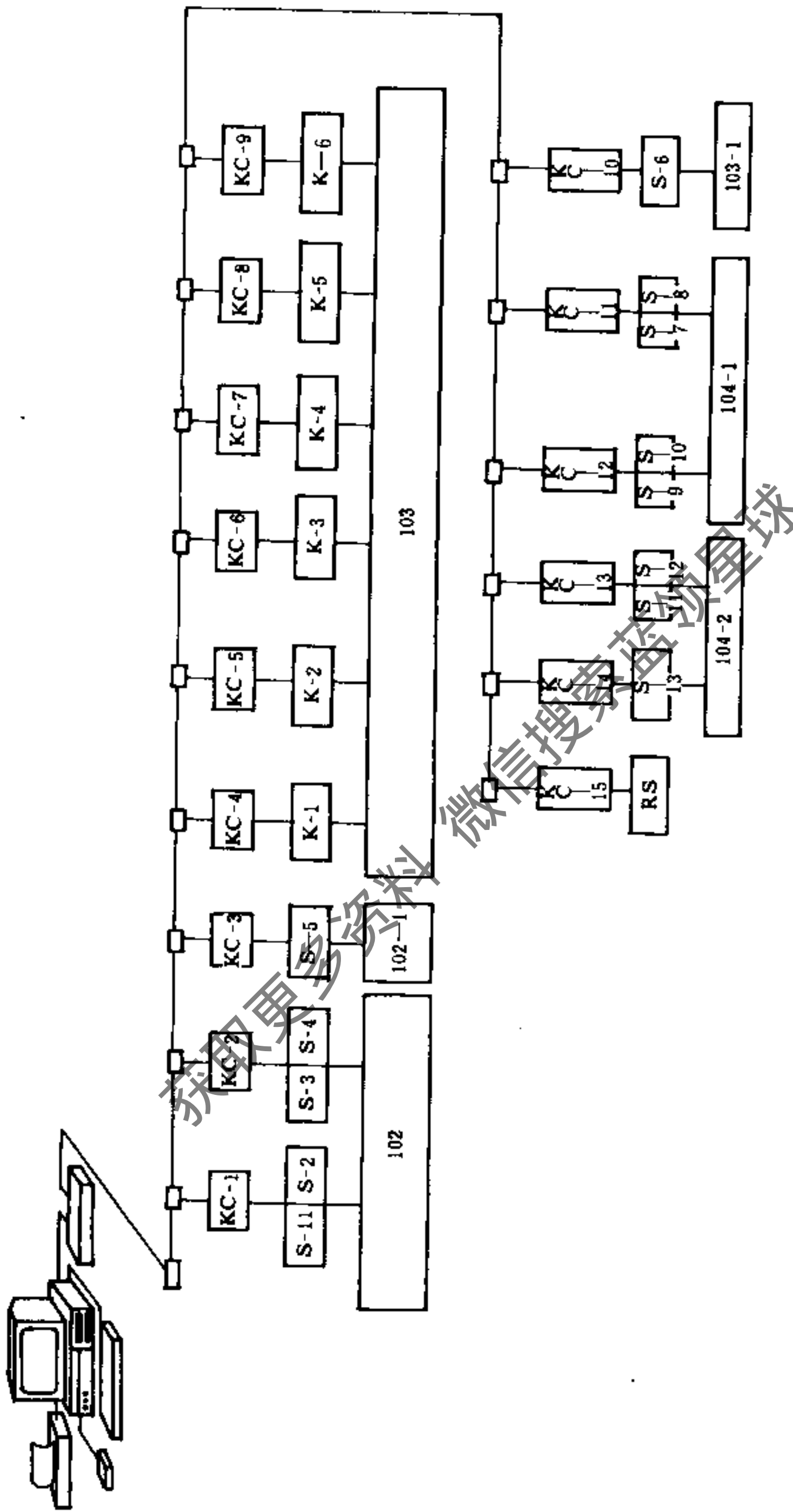


图 17.6.1 RH型控制系统的组成

- 具有最佳“性能/价格”比。
- 管理功能强，运行可靠，组合灵活。
- 全部汉化，操作简便。

QHRH型分布式微机控制系统，由中央管理站(RH-MCS)、现场控制机(RH-DCU)和局部通讯网络(RH-NET)三部分组成，如图17.6-1所示。

17.6.1 中央管理站

本站是QHRH系统的核心和调度中心，通过它实现对全系统的集中监督、管理和控制。

1. 硬件配置

- (1) 通用型微型计算机
- (2) 24针宽行打印机
- (3) 鼠标器
- (4) X-Y绘图机
- (5) 运行模拟显示屏

2. 软件构成 程序结构框图如图17.6-2所示。

软件分类与其功能，详见表17.6-1。

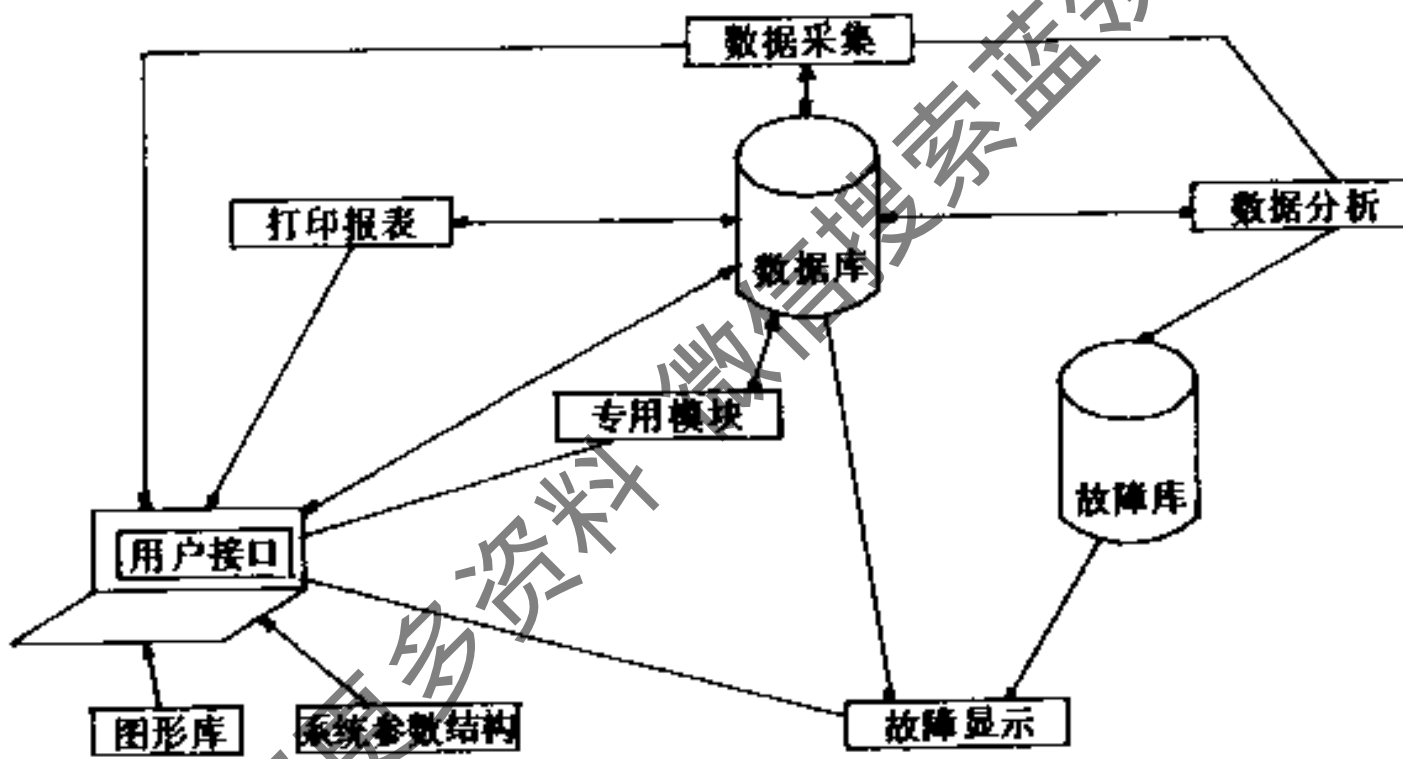


图 17.6 2 中央管理程序结构框图

应用软件的分类与功能表

表 17.6 1

分类	功能	说明
基本软件	数据采集与管理	实时采集各子系统的运行数据，经加工处理后以数据文件形式贮存在存储器中
	运行参数显示	根据需要，显示全系统或各子系统的运行参数或历史参数
	打印报表与参数曲线	打印出各系统中要求测点的逐时温、湿度数据日报表和运行参数曲线
	中央调度与运动控制	由中央站实施对各子系统可控设备的直接运动操纵控制
专用软件	空调专用软件	换热站管理与控制模块；制冷站及冷水系统管理与控制模块；大空间、多系统运行调度模块；能源管理与分析模块；故障分析与故障库管理模块
	供热专用软件	热网初调节模块；热网流量识别模块；热网回水温度调节模块；热网运行故障分析与故障库管理模块

17.6.2 局部通讯网络

1. 网络结构 通讯网络的拓扑结构，分为枝状与环状两种形式，联接方式如图 17.6-3 和图 17.6-4 所示。

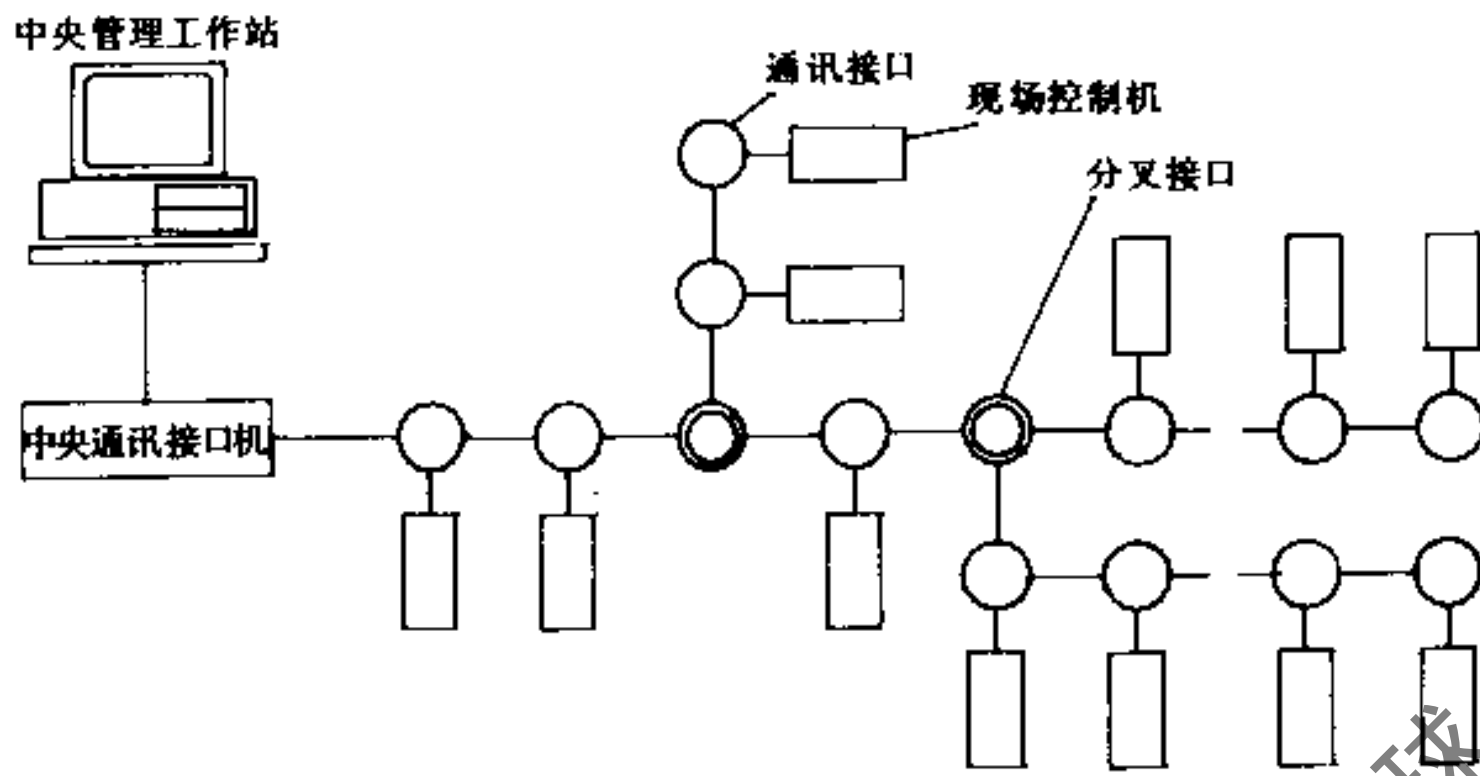


图 17.6-3 枝状网拓扑结构

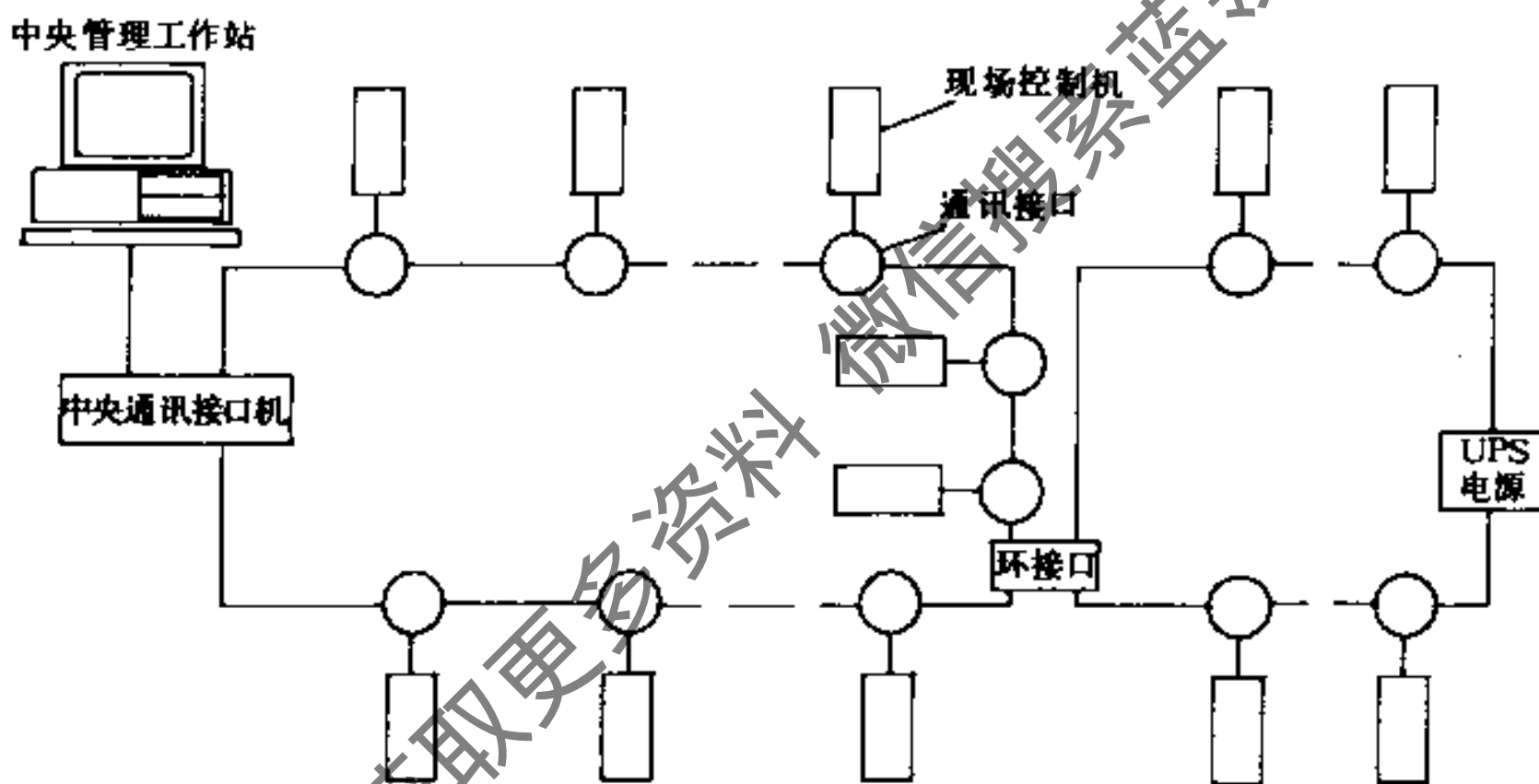


图 17.6-4 环状网拓扑结构

2. 局部通讯网络 (RH-NET) 的基本技术性能 (见表 17.6 2)

RH-NET 网络的基本技术性能

表 17.6 2

序号	项 目	技 术 性 能	序号	项 目	技 术 性 能
1	通讯长度: 枝状网 环状网 点一点	30km	3	通讯速度	<1200bit/s
		5km	4	通讯线路电流	20mA
		2km	5	线路(全隔离型)耐压	500V
2	最大站容量: 枝状网 环状网	96个	6	通讯逻辑	1-N型主从式
		25个/环			

3. 网络的组成

(1) 中央通讯接口机 用以连接中央管理主机与通讯线路，其原理框图如图 17.6-5 所示。

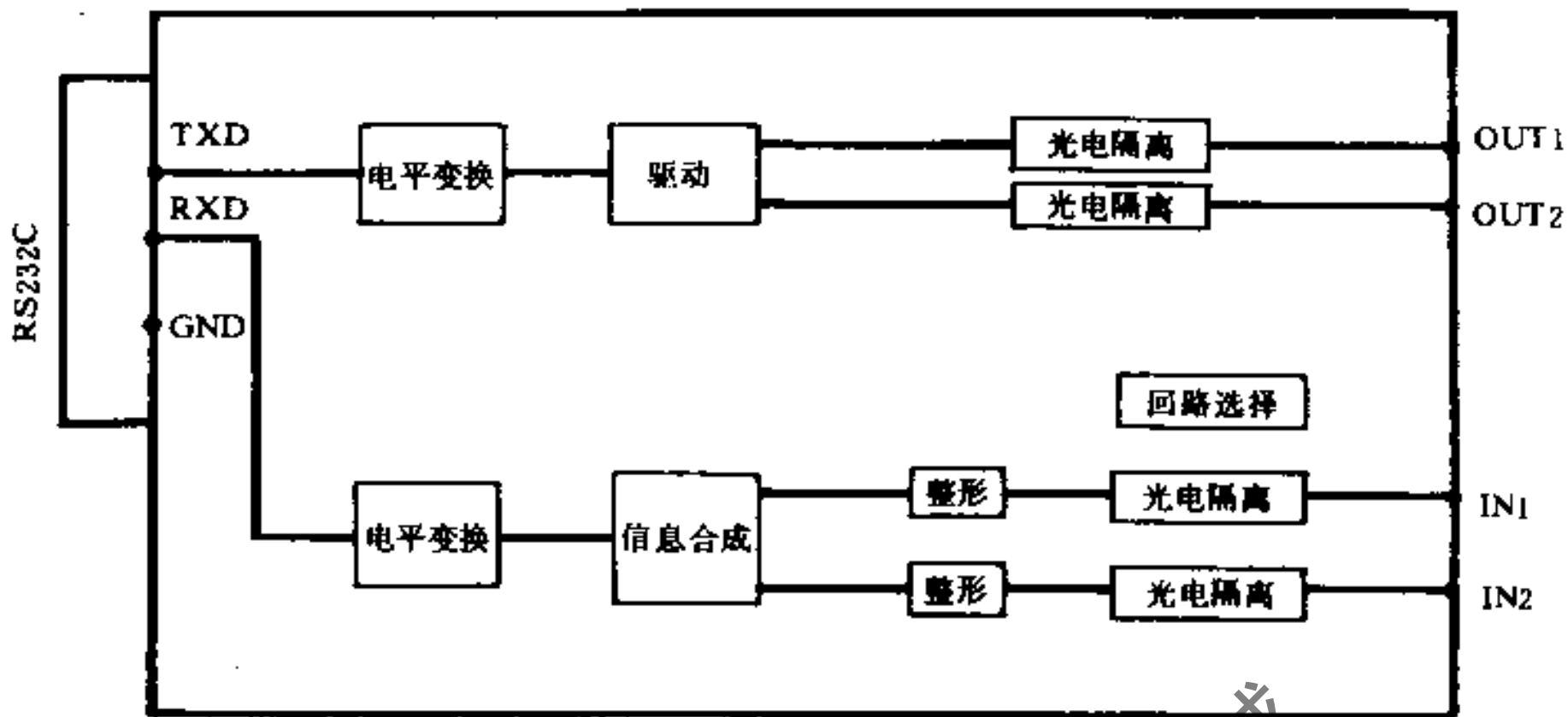


图 17.6-5 中央通讯接口机原理框图

- 与主机间由标准 RS-232C 串行接口联接。
- 接线长度小于 2m。
- 该机可组成 2 个通讯环网，也可单环使用。
- 工作电源：~220V，10W。
- 安装方式：台式。
- 接线端子定义

1	2	3	4	5	6	7	8	9
OUT1	NC	OUT2	NC	NC	NC	IN1	NC	IN2

(2) 现场控制机通讯接口 以串联型式串接在通讯线路中，并与现场机联接。每台现场机使用一个通讯接口，其工作原理如图 17.6-6 所示。

(3) 通讯线路 采用普通电线。根据现场机位置的分布，可采用物理意义上的单线环路或双线组成的往返型式。

线径选择原则

- 符合施工操作强度要求。
- 总直流电阻 $\gt 200\Omega$ 。

17.6.3 现场控制机

RH-DCU 系列现场机以 MCS-51 型

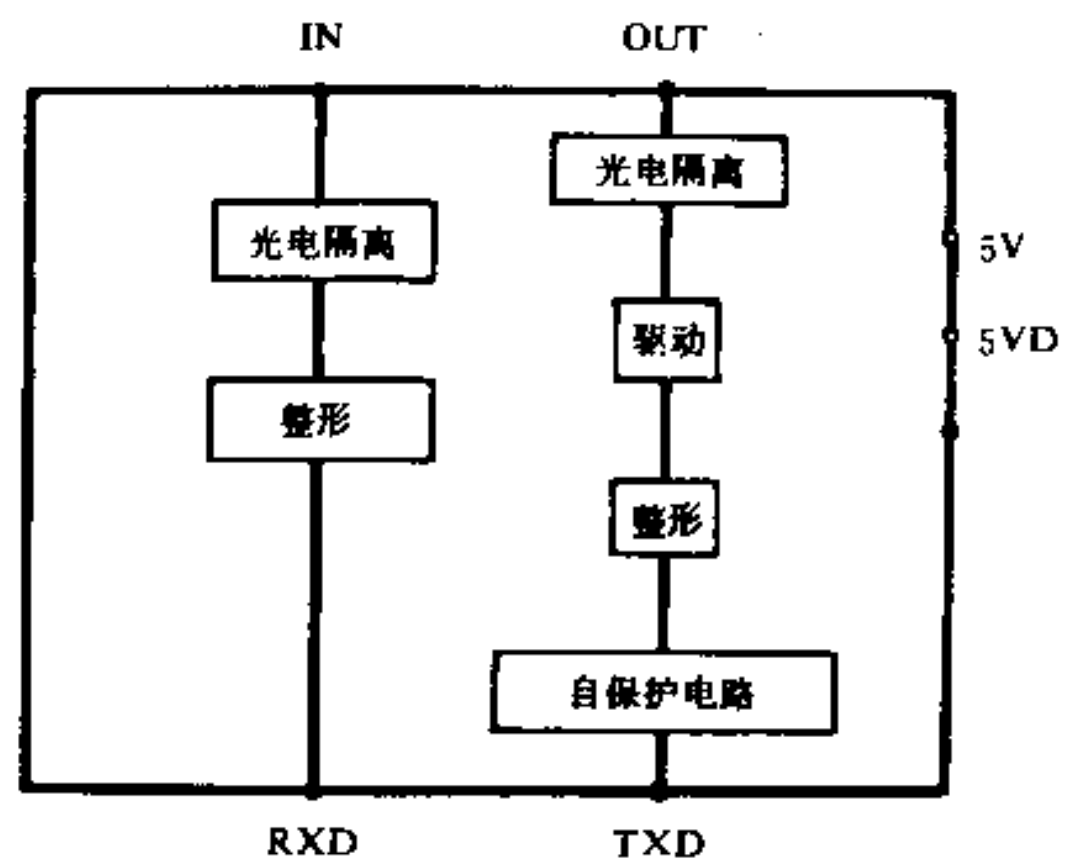


图 17.6-6 现场控制机通讯接口原理框图

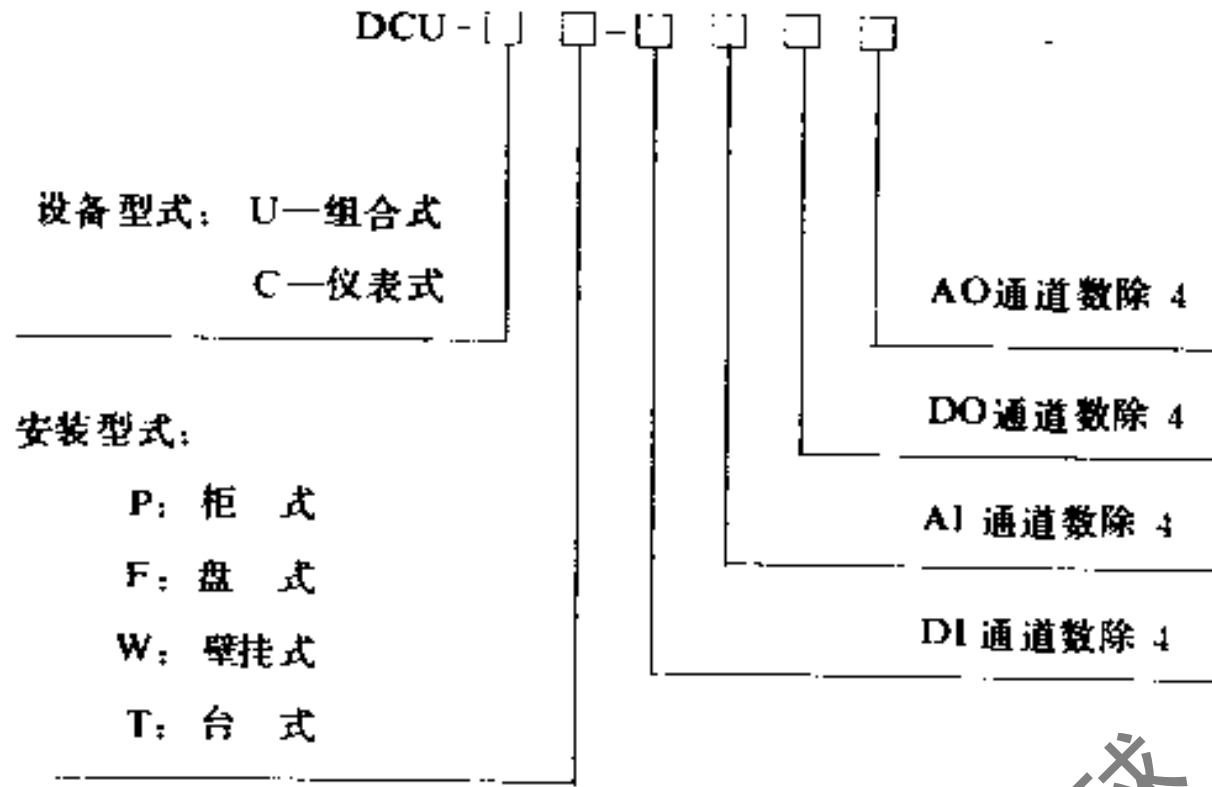
RH-DCU系列现场机的型号、容量及功能

表 17.6-3

型号	用途	I/O通道				CPU	内存容量	显示	手/自转换功能	功能键	备注
		DI	AI	DO	AO						
DCU-UP-6242	组合式空调器(气动执行器)	24	8	16	8	8031 10MHz 晶振	EPROM 16K RAM 256字节	8位 LED DI、DO、AO状态	有	8	柜式安装
DCU-UP-6260	组合式空调器(电动执行器)	24	8	24		8031 10MHz 晶振	EPROM 16K RAM 256字节	8位 LED DI、DO状态	有	8	柜式安装
DCU-UP-4210	小区供热系统热力站	16	8	4		8031 10MHz 晶振	EPROM 16K RAM 256字节	阀位	有		柜式安装
DCU-UF-2020	柜式空调机、小型组合式空调器	8		8		8031 10MHz 晶振	EPROM 8K RAM 256字节	4位 LED DO状态		4	盘装式
DCU-UP-1020	柜式空调机、冷水机组设备	4		8		8031 10MHz 晶振	EPROM 8K RAM 128字节	3位 LED 6位 状态		3	柜式安装
DCU-CW-5000	数字量参数检测	20				8031 6MHz 晶振	EPROM 8K RAM 128+256字节	2路 LED 工作状态			壁挂式
DCU-CW-4200	数字量、模拟量信号的数据采集	16	8			8031 6MHz 晶振	EPROM 8K RAM 256+128字节	2路 LED 工作状态			壁挂式

单片机为核心，配置适当的内存及“I/O”接口而构成。通过该机实施现场级多参数、多回路控制。

1. 型号与名称的定义



2. RH DCU 系列现场机的型号、容量及功能（见表 17.6.3）

3. 特点

(1) 既可按设定控制指标如温度、湿度等独立工作，也可根据中央管理站的指令进行控制。

(2) 不仅有常用的双位、三位、比例、比例积分微分 (PID) 控制，还有预测、自适应、最佳启停等控制功能。

(3) 环境温湿度采用温湿度解耦或含湿量控制，以及焓值控制方式。

(4) 具有通讯功能（通过现场通讯接口与通讯网络联接，作为分布式系统的终端控制环节）。

4. 应用软件 由通用程序库和用户应用软件库两部分组成，具体内容如下：

(1) 通用程序库

- 函数运算程序——加、减、乘、除等运算。
- 常用子程序库——显示、打印、数制变换、查表、插值等。
- 常用控制算法子程序库——PID控制、位式控制、含湿量或焓值控制等。
- 通讯子程序。

(2) 用户应用软件库

- 基础框架软件——应用程序调度中心。
- 用户系统数据库——由软件开发系统根据对用户系统特征的描述自动生成。

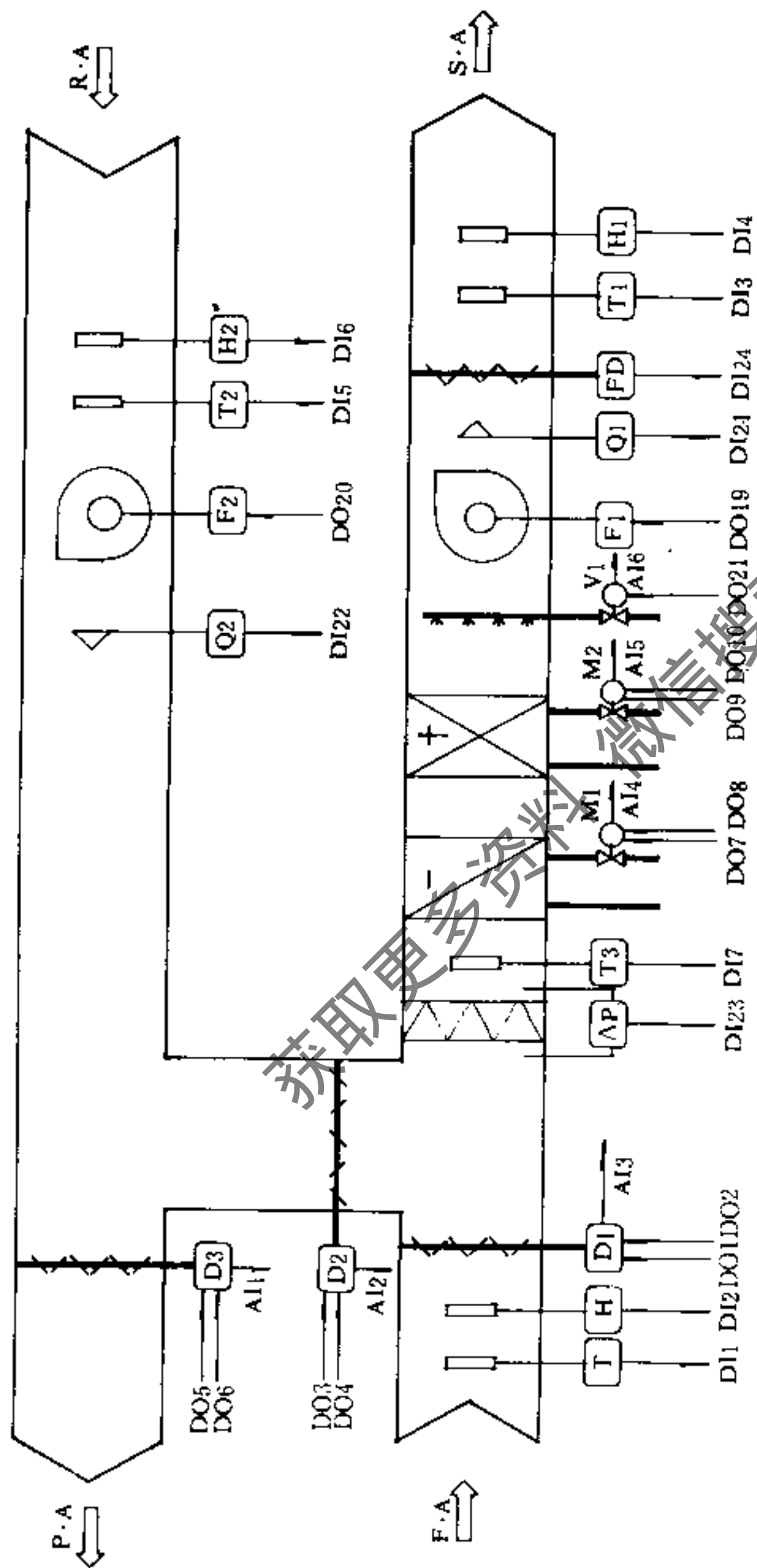
17.6.4 典型应用示例

1. 带喷水室的双风机变新风比空调系统 控制原理图（气动执行器）如图 17.6-7 所示。

2. 双风机变新风比空调系统 控制原理图（电动执行器）如图 17.6-8 所示。

3. 集中制冷站 水路系统控制原理图如图 17.6-9 所示。

4. 水冷柜式空调器 控制原理图如图 17.6-10 所示。



DCU-UP-6260		DI x 24												AI x 8								DO x 24																																																			
12	H2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	H1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

图 17.6.8 组合空调机控制原理图(电动)

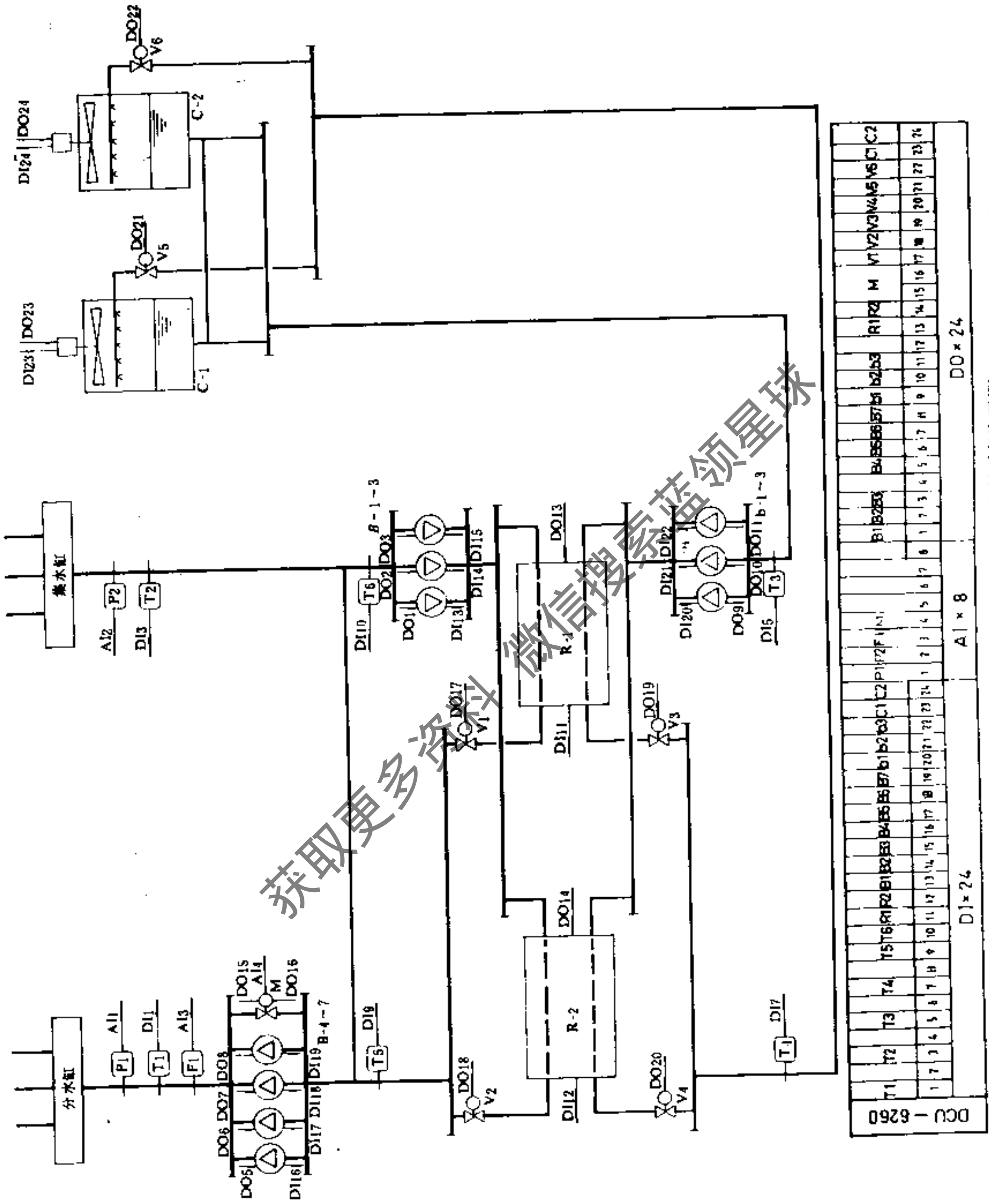
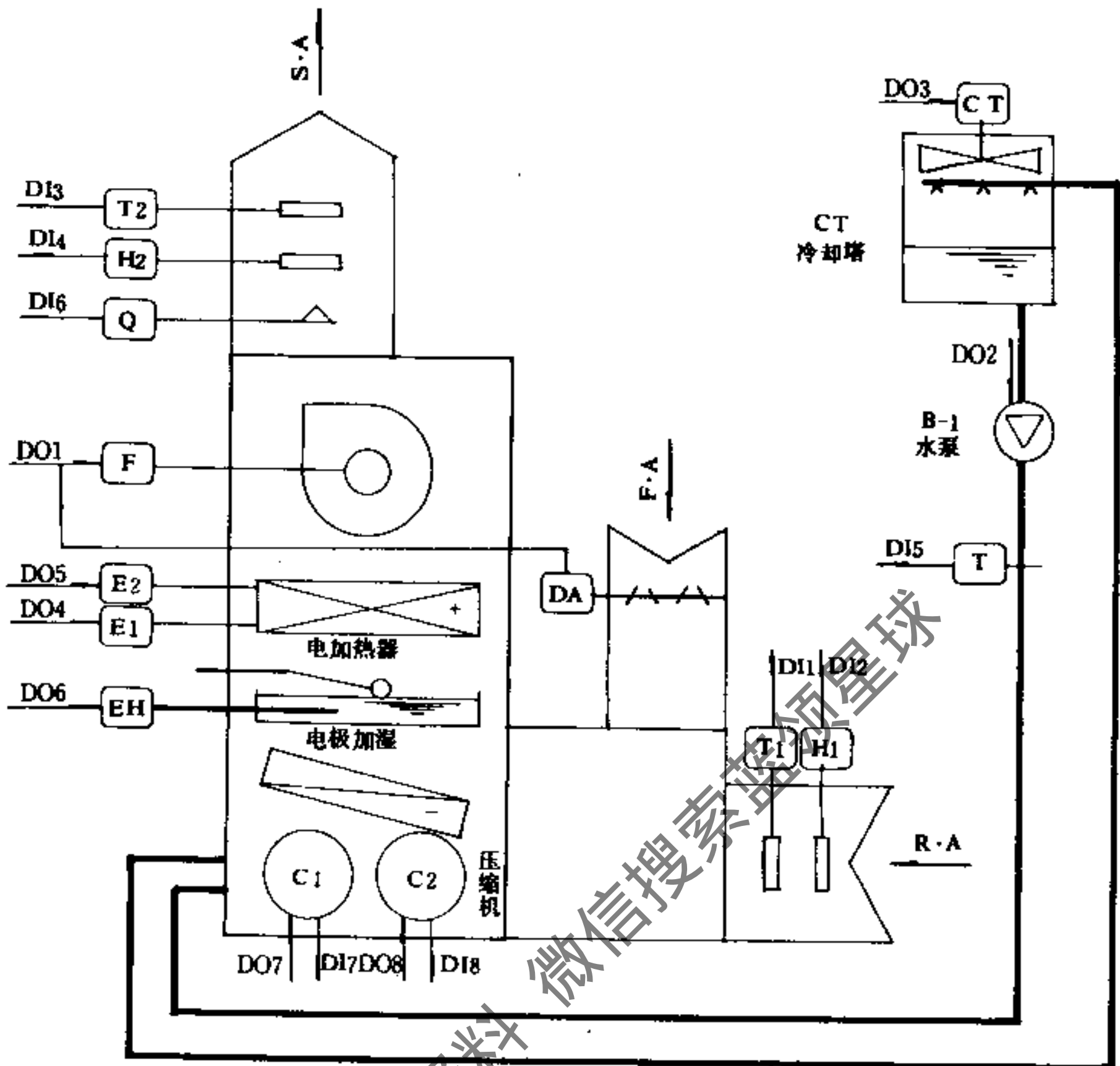


图 17.6.9 集中制冷站水路系统控制原理图



DCU-2020	T1	H1	T2	H2	T	Q	C1	C2	F	B1	CT	E1	E2	EH	C1	C2
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
	DI×8								DO×8							

图 17.6-10 水冷柜式空调器控制原理图

17.7 流体输送系统的节能控制

17.7.1 变风量空调系统的控制

1. 室内变风量控制的设计要点

(1) 室内的最大送风量 通常取下列三项送风量中的最大值:

$$L_x = \frac{3600 Q_{x \cdot \max}}{1.01(t_N - t_S)\rho} \quad (17.7-1)$$

$$L_s = \frac{3600 W_{\max}}{\rho(d_N - d_S)} \quad (17.7-2)$$

$$L_d = \frac{3600 Q_{d \cdot \max}}{1.01(t_S - t_N)\rho} \quad (17.7-3)$$

式中 L_x ——消除夏季余热所需的送风量, m^3/h ;
 L_s ——消除室内余湿所需的送风量, m^3/h ;
 L_d ——满足冬季室内热负荷所需的送风量, m^3/h ;

$Q_{x \cdot \max}$ ——夏季室内的最大显热负荷, kW;

$Q_{d \cdot \max}$ ——冬季室内的最大显热负荷, kW;

W_{\max} ——室内最大散湿量, g/s;

t_N ——室内空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_S ——送风温度, $^{\circ}\text{C}$;

d_N ——室内空气的含湿量, g/kg;

d_S ——送风含湿量, g/kg;

ρ ——空气的密度, kg/m^3 ;

(2) 室内的最小送风量 通常取下列三项送风量中的最大值:

$$L'_x = \frac{3600 Q_{x \cdot \min}}{1.01(t_N - t_S)\rho} \quad (17.7-4)$$

$$L'_s = \frac{3600 W_{\min}}{\rho(d_N - d_S)} \quad (17.7-5)$$

$$L'_d = \frac{3600 Q_{d \cdot \min}}{1.01(t_S - t_N)\rho} \quad (17.7-6)$$

式中 L'_x ——夏季消除室内余热所需的最小送风量, m^3/h ;

L'_s ——消除室内余湿所需的最小送风量, m^3/h ;

L'_d ——满足冬季室内热负荷所需的最小送风量, m^3/h ;

$Q_{x \cdot \min}$ ——夏季室内的最小显热负荷, kW;

$Q_{d \cdot \min}$ ——冬季室内的最小显热负荷, kW;

W_{\min} ——室内最小散湿量, g/s。

室内最小送风量还应同时满足以下三个条件:

• 单位地板面积的送风量不小于以下值:

室内人数多时 $14\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;

室内人数少时 ($\geq 9.5\text{m}^2/\text{人}$) $11\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

• 满足卫生要求所需的新风量。

• 满足室内相对湿度的要求 根据下式求出最小送风量时室内空气的含湿量 d'_N (g/kg):

$$d'_N = \frac{3600W + L'd_s}{\rho L'} \quad (17.7-7)$$

式中 L' —— 最小送风量, m^3/h ;

W —— 室内的散湿量, g/s;

d_s —— 送风含湿量, g/kg。

然后, 根据 d'_N 和室内温度校核其相对湿度的大小。

2. 系统的最大和最小送风量

(1) 系统的最大风量 系统的最大风量并不等于各房间最大风量之和, 它取决于建筑朝向、内部使用情况、房间的多少等因素, 一般可按各房间最大风量之和的 70~80% 计算。

(2) 系统的最小风量 系统的最小风量, 一般可按系统最大风量的 40~50% 计算。

注意: 系统的最小风量, 必须满足最小新风量、换气量、气流组织等的最低要求。为了确保在最小风量下运行时保持必要的新风量, 应设计新风控制环节。

3. 系统送风量的调节与控制

(1) 送风量的调节 随着各房间负荷的变化, 通过房间内的变风量末端装置就会相应的增加或减少该房间的送风量。这时, 系统的送风量必须作出相应的变化。

送风量的调节方式很多, 详见表 17.7-1。

实用的变风量方式及其特征

表 17.7-1

序号	变风量调节方式	特征
1	风机入口导叶	初投资低, 结构简单, 风量调节范围较大, 能节省风机的动力消耗, 节约运行费用, 应用最普遍
2	风机出口蜗壳阀	风机的零部件多, 投资较高, 风量减少时, 动力消耗减少、噪声降低, 低风量时, 风机运行稳定
3	风机调速	风机动力消耗节省最多, 风量调节范围大, 风机工作稳定, 低风量时噪声降低, 初投资高
4	变节距	改变风机叶片安装角度 (轴流通风机), 从而改变流量与压力

(2) 系统变风量的控制 见图 17.7-1 至图 17.7-3。

图 17.7-1 为通过静压控制器调节风机入口导叶来改变系统送风量的控制原理图。

图 17.7-2 为一双风机系统, 送、回风机采用同一个静压控制器来调节风机出口蜗壳阀而改变送、回风量的控制原理图。

图 17.7-3 为送、回风机分别由系统静压和风管中 (风机出口处) 动压进行变风量控制的原理图。

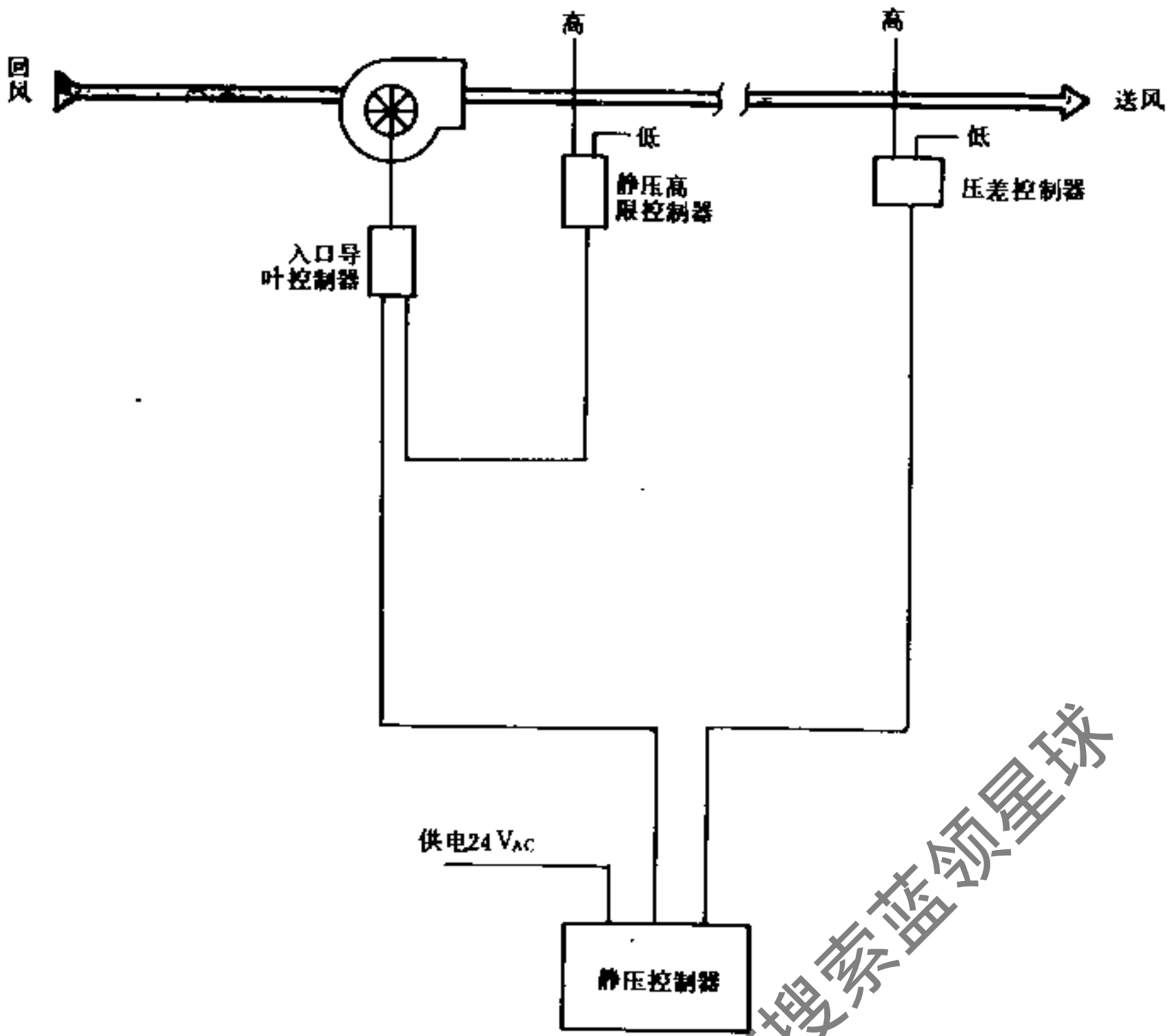


图 17.7-1 通过静压控制入口导叶

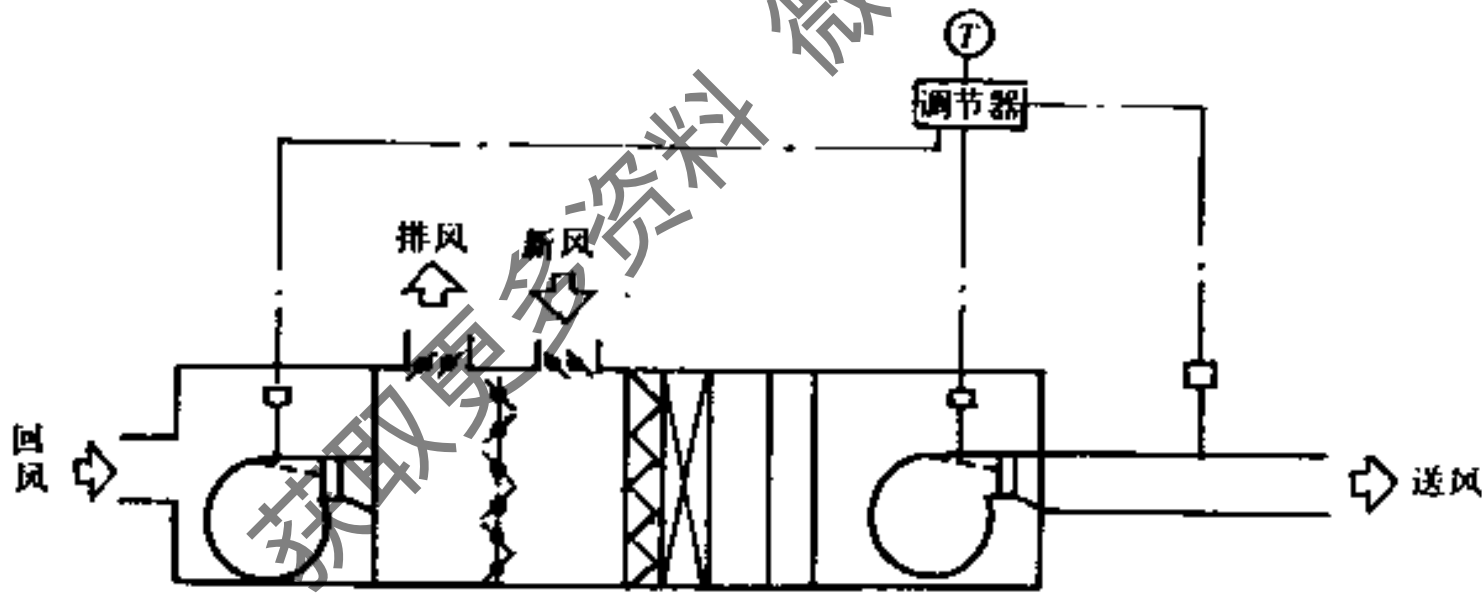


图 17.7-2 送、回风机都用送风管中的静压进行控制

注意

- 图 17.7-2 的控制方法只适用于送、回风机的特性和大小相同，且工作情况基本一致的场合。本方法的主要缺点是极易导致送、排风量平衡的破坏，从而使送、回风量失调。
- 图 17.7-3 的控制方法，能使送、回风机的风量变化互相协调，室内压力易于保持正常。
- 必须分析系统在最大和最小风量时的工作状态点的变化情况，确保风机在稳定区内工作。
- 尽可能选择特性曲线平坦的风机，以便在低风量情况下工作时能进一步降低动力消耗。

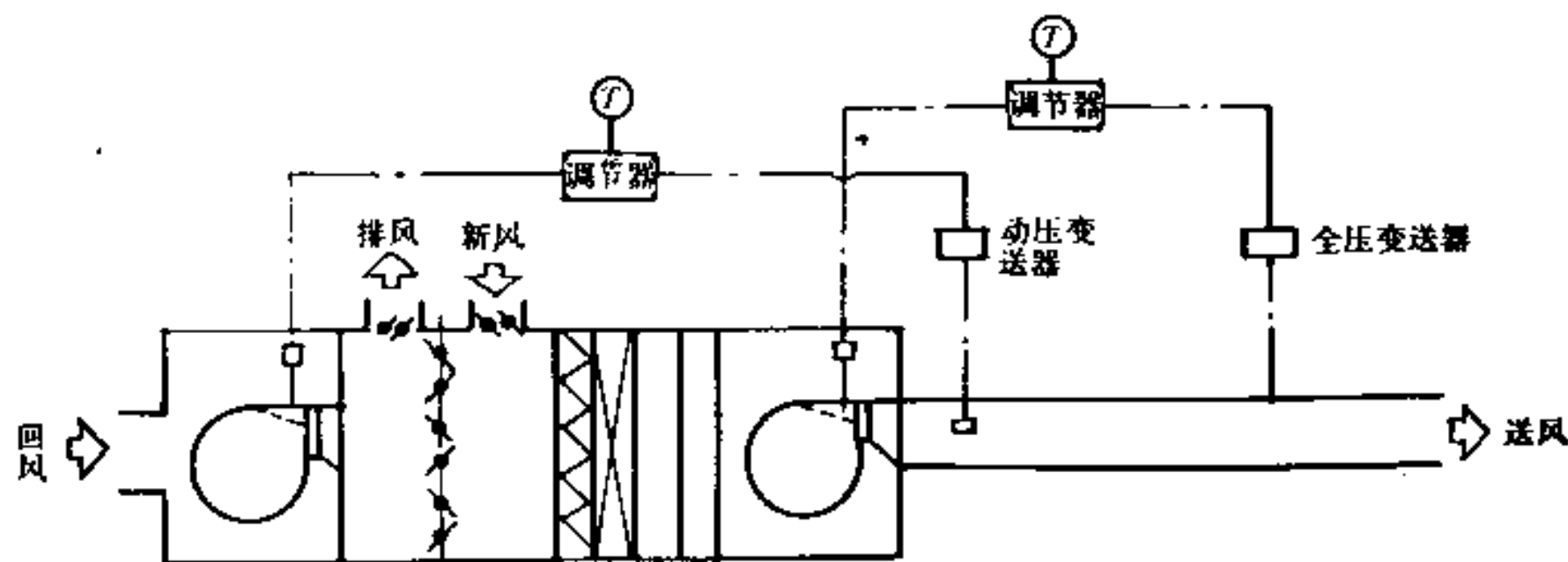


图 17.7-3 送、回风机分别由静压和动压进行控制

- 送、回风机宜选用同系列、同型号的通风机。
- 系统控制的静压值，包括：
 - a. 送风口处的必要静压；
 - b. 从静压控制点至风机的阻力；
 - c. 变风量末端装置本身要求的最小静压值（文丘里节流型末端装置一般为 74Pa）。
- 静压控制点的位置，一般可设置在设计风量下系统总阻力的 50~70% 的地方。实践中很多设于接近系统末端附近。

17.7.2 单式泵变流量水系统的控制

控制原理图如图 17.7-4 所示。

当供、回水总管的压差处于设计工况时，负荷侧调节阀全开，旁通阀全闭。随着负荷的减少，用户处的直通调节阀关小，供、回水总管的压差增大，压差控制器动作，使旁通调节阀逐渐打开，部分水流返回冷水机组；压差控制器同时使负荷侧调节阀动作，以恒定用户处直通调节阀前的压差。当供、回水总管的压差到达规定的上限值时，水泵和冷水机组同时停掉一台。反之，当用户负荷增大时，供、回水管的压差降低，旁通调节阀的开度减小，压差降至限定的下限值时，恢复一台冷水机组和一台水泵工作。

旁通管的管径，可根据一台冷水机组的水流量确定，通常为—台冷机流量的 110%。

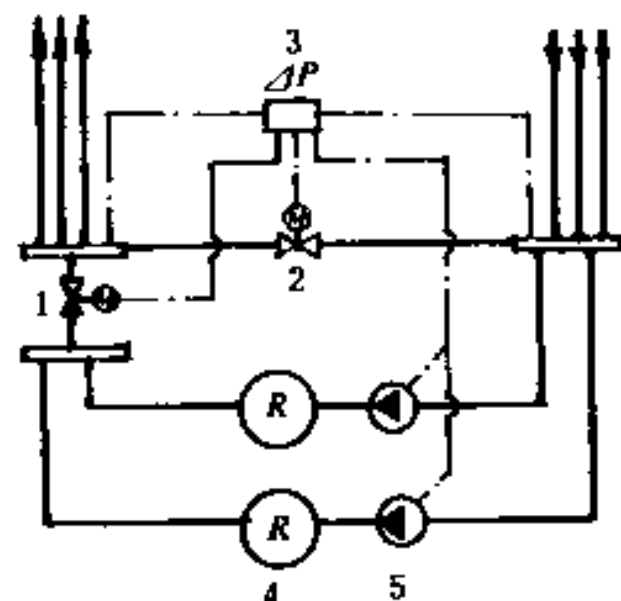


图 17.7-4 单式泵变流量水系统控制原理图

- 1—负荷侧调节阀； 2—旁通调节阀；
3—压差控制器； 4—冷水机组；
5—水泵

17.7.3 复式泵变流量水系统的控制

1. 负荷侧二次泵的变流量控制 一般有两种比较典型的方式：

(1) 变速控制 见图 17.7-5。

变速控制适宜于负荷侧具有独立环路的系统，这时，二次泵的配置是一泵对一环。

变速控制既可以通过恒定供水压力来实现（图 17.7-5），也可以通过管路末端压力恒定来完成（图 17.7-6），还可以通过供、回水压差恒定来实施（图 17.7-7）。

管路末端压力恒定控制时，由于要根据送水量变化计算出供水压力 P_0 ，因此要装置流量检测器和运算器。比控制供水压力恒定的设备费要高。不过，对于管路压力损失大、净扬程低的场合，采用管路末端压力恒定方式时的调速范围比较大，对减少动力消耗十分有利。相反，对于管路压力损失小、净扬程高的场合，调速范围小，采用供水压力恒定比较经济。

供回水压差恒定和供水压力恒定控制在本质上是一样的，但前者比后者的控制灵敏度要高。

值得注意的是采用供水压力恒定或供回水压差恒定控制方式时，应选择具有陡降特性曲线的水泵。

(2) 台数控制 多台水泵并联运行时，一般宜采用台数控制。台数控制的方法通常有两种：

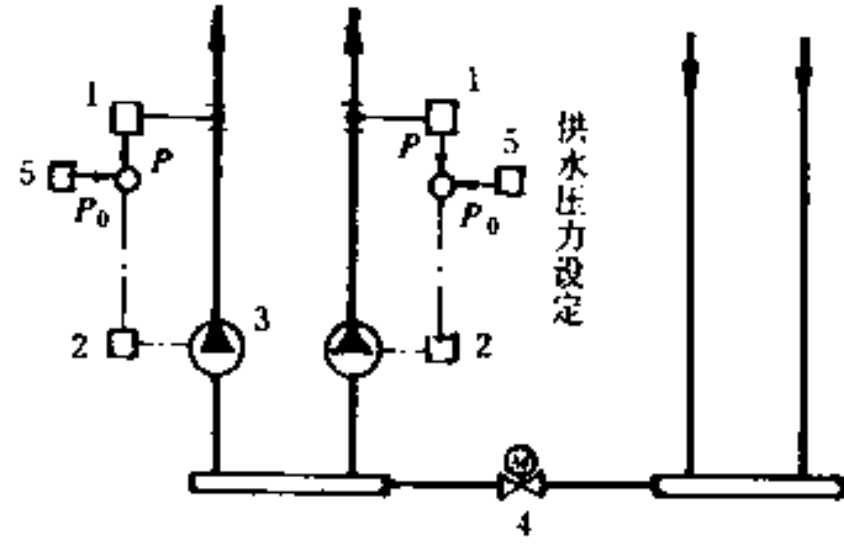


图 17.7-5 供水压力恒定控制原理图

- 1—压力变送器；2—控制装置；
3—二次泵；4—旁通调节阀；
5—压力控制器

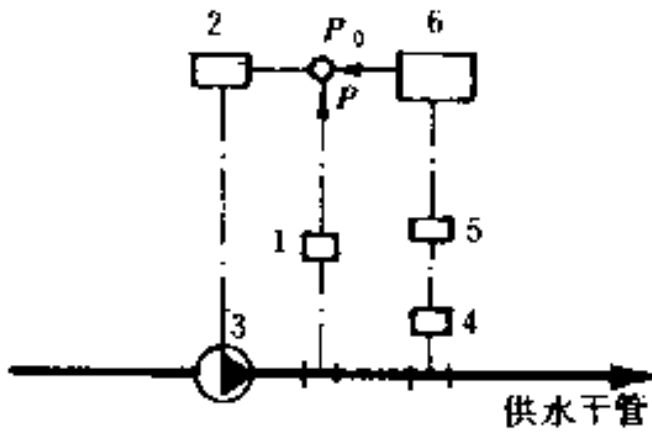


图 17.7-6 管路末端压力恒定控制原理图

- 1—压力变送器；2—控制装置；
3—二次泵；4—流量计；5—流量变送器；6—流量运算器

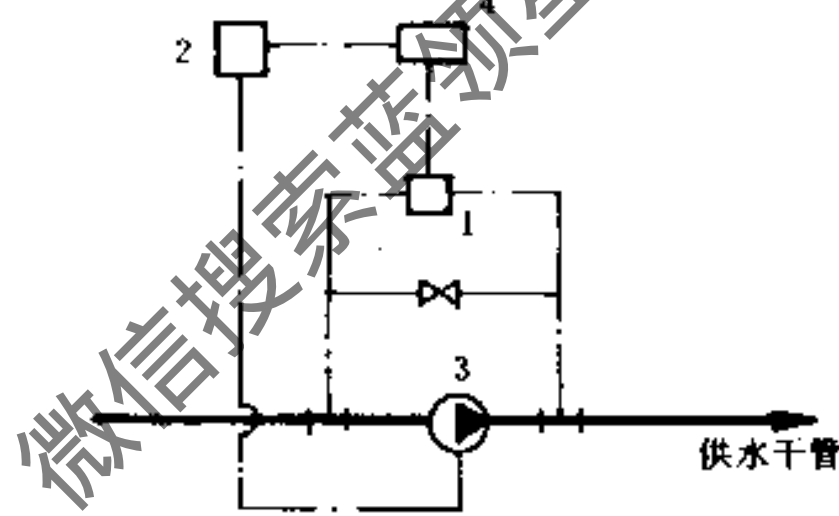


图 17.7-7 供、回水压差恒定控制原理图

- 1—压力变送器；2—控制装置；
3—二次泵；4—压力控制器

a. 压差控制 利用水泵并联后的总特性曲线，设定某个压力作为上限、另一个作为下限，各台水泵在设定的压差范围内运行。当负荷侧流量改变时，压力随之变化，当压力超过设定的上限值时，开始减泵；反之则增泵。

图 17.7-8 为二次泵台数调节压差控制示意。

b. 流量控制 二次泵供水总管上的流量检测器（流量计）测得的实际用水量，通过变送器变成脉冲信号送至程序控制器（台数控制器），控制器根据各台水泵预设定的流量范围和变送器送来的信号进行比较，若实际用水量小于一台水泵的流量时，则停泵一台；若水量继续减少，则继续停泵。反之，则加泵。

流量控制方法的示意图见图 17.7-9。

注意

- 压差控制只适用于具有陡降特性曲线的水泵。
- 流量控制既适用于具有陡降特性曲线的水泵，也适用于具有平坦特性曲线的水泵。

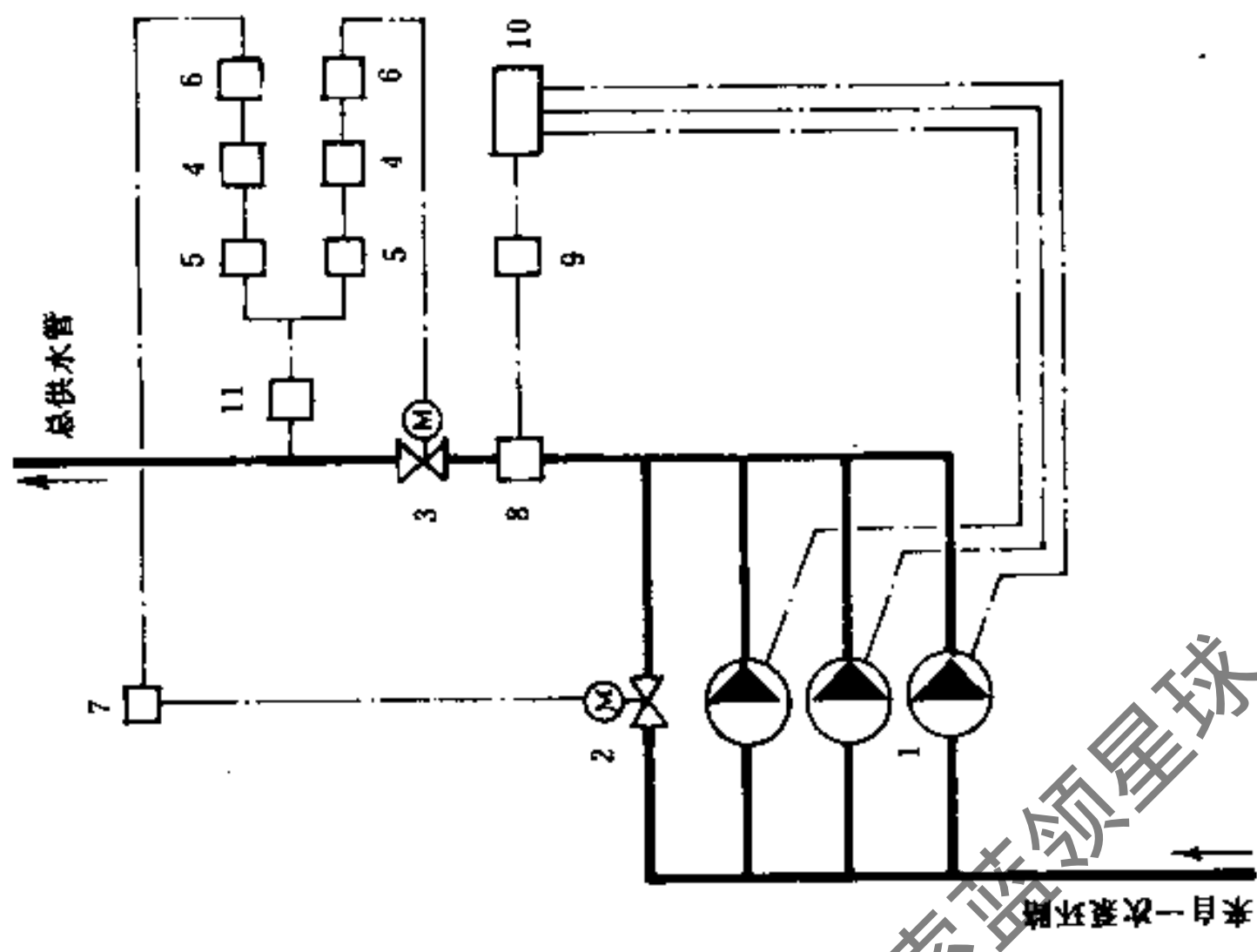


图 17.7.9 台数调节流量控制原理图

- 1 二次泵; 2 旁通调节阀; 3 负荷侧调节阀;
- 4 V/I 变换器; 5 压力控制器; 6 切换装置;
- 7 旁通闭锁装置; 8 流量计; 9 流量计算机;
- 10 程序控制器; 11 压力变送器

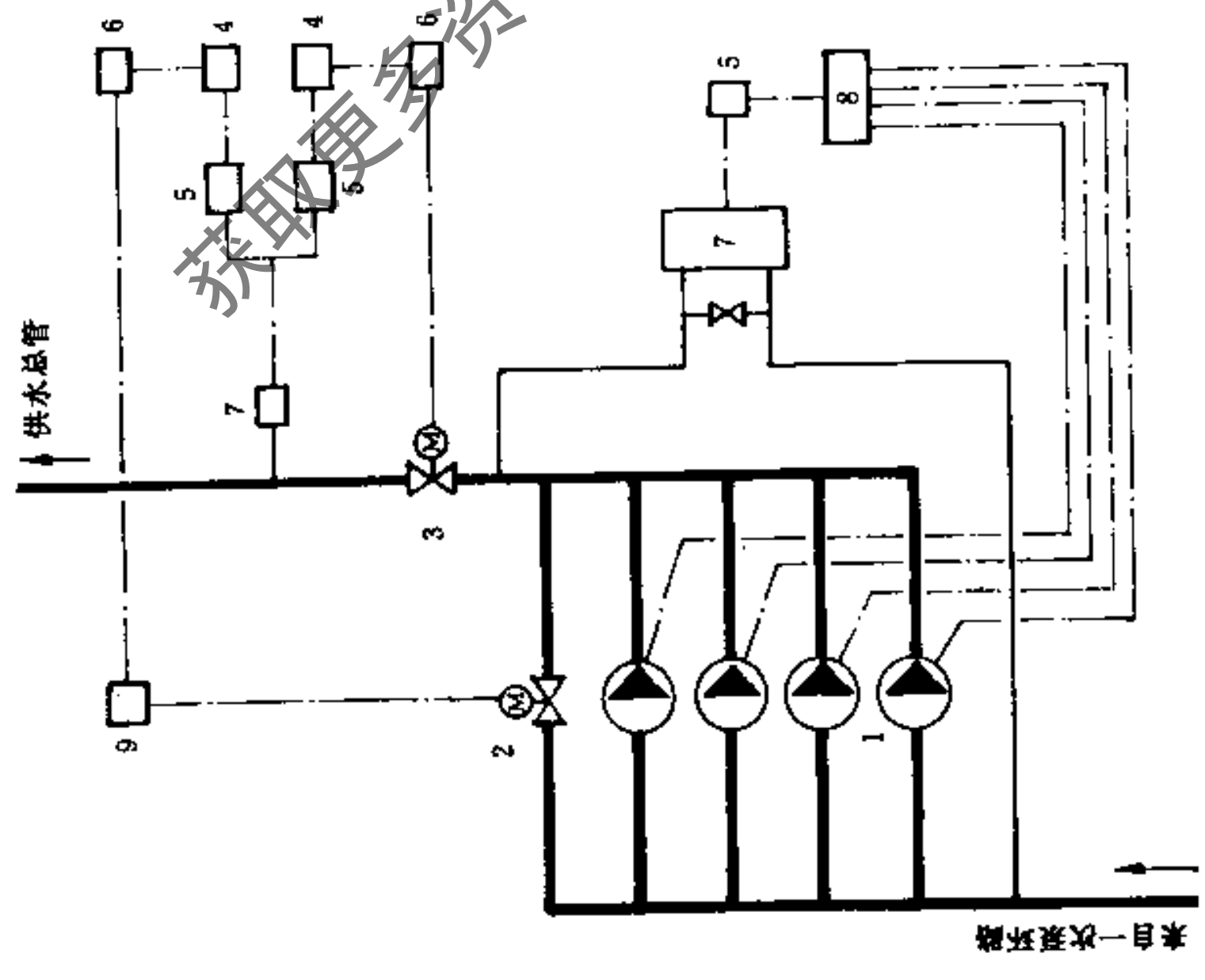


图 17.7.8 台数调节压差控制原理图

- 1 二次泵; 2 旁通调节阀; 3 负荷侧调节阀;
- 4 V/I 变换器; 5 压差(力)控制器; 6 切换装置;
- 7 压差(力)变送器; 8 程序控制器; 9 旁通闭锁装置

- 当陡降特性曲线水泵采用流量控制时，为了防止变台数时产生流量失调以及保持仅剩一台水泵运行时水泵效率，对供水干管的总调节阀和二次泵的旁通阀应按预设定的压力值进行控制。

- 采用平坦特性曲线水泵进行流量控制时，供水总管的总调节阀可以不予控制。

- 并联运行的水泵，宜选择特性曲线相同的泵。

- 压差控制时，在供水总管上设总调节阀（负荷侧调节阀）是必需的，它可以通过调节保持增、减水泵时的供水压力符合预设值。

- 压差控制时，设置旁通阀的目的是为了二次泵减至只有一台工作而负荷继续减小时，确保水泵仍在高效区工作；当达到全开状态时，水泵应停止运行。

- 压力的上、下限（控制水泵停开的界限）、负荷侧调节阀的预设压力和一台水泵工作时设定的旁通阀开启的压力值，均系指水泵出入口之间的压差。设计时应特别注意压差控制点的位置，切勿搞错。

2. 冷源侧一次泵和冷水机组的台数控制

常用的有下列两种方式：

(1) 流量盈亏控制 所谓盈亏控制，就是在一次泵的供、回水总管之间连一条旁通管，并设置流量计和流量开关，如图 17.7 10 所示。

当二次泵系统流量减少时，一次泵的流量过剩。过剩水量由左向右经旁通管返回一次泵，这种状态称为“盈”。当流过旁通管的流量相当于一台泵单台水泵流量的 110% 左右时，流量计触头动作，通过程序控制器自动关闭一台水泵和对应的冷水机组。

当二次泵系统流量要求增大时，将出现一次泵供水量供不应求，一部分水量就从旁通管自右向左流动，这种状态称为“亏”。当流量达到相当于一台泵单台水泵流量的 20% 左右时，旁通管上的流量开关将动作，将讯号输入程序控制器而自动启动一台水泵和对应的冷水机组。

注意事项

- 由于流量变化与空调负荷的变化不成线性关系，因而存在一个水力工况与热力工况的协调问题^①。

- 旁通管的大小，通常可按一台冷水机组水流量的 110% 确定。

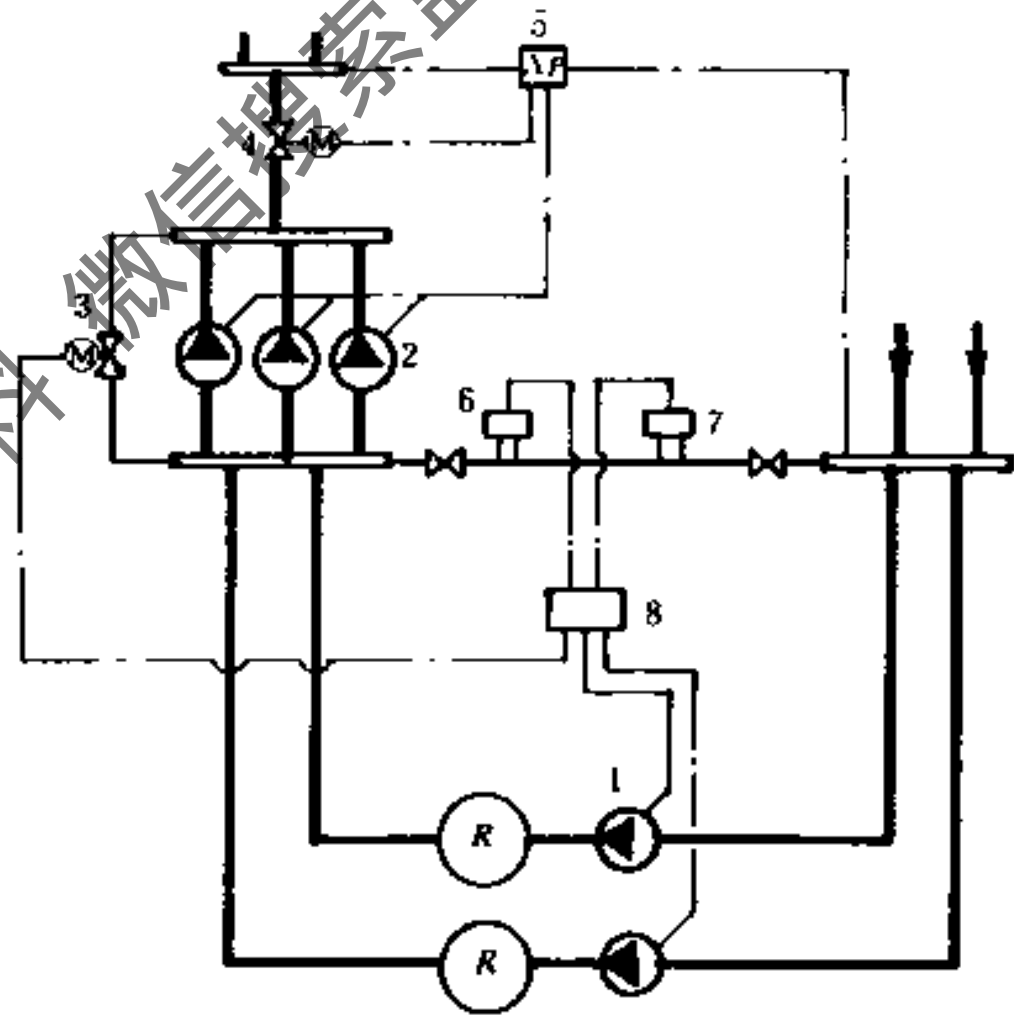


图 17.7 10 流量盈亏控制示意图

1—一次泵；2—二次泵；3—旁通调节阀；4—负荷侧调节阀；5—压差控制器；6—流量计；7—流量开关；8—程序控制器

① 当流量减至一台一次泵时，实际上并不意味着系统的需冷量也应减少到一台冷水机组的制冷量。这个矛盾，一般可通过冷水机组自身的能量调节系统来解决。因为，这种调节不会在最大负荷季节里出现，所以，这时的冷水机组不会在满负荷下运行。当遇到流量减少得多，而需冷量偏大的情况时，回水温度将升高，这时，冷水机组自身能根据出水温度偏离设定值的大小进行自动调节。在一台水泵流量的变化范围内，应校核各机组的能量调节是否能适应这一变化的要求，如果热力工况与水力工况仍不协调，则不应采用“流量盈亏控制”。

- 为了改善流量检测器幅度变化范围的特性，旁通管应有 3 ~ 10kPa 的压力损失。
- (2) 负荷控制 负荷控制法可以较好地解决水力工况和热力工况的矛盾。负荷控制也可称为热量控制，其控制原理如图 17.7-11 所示。

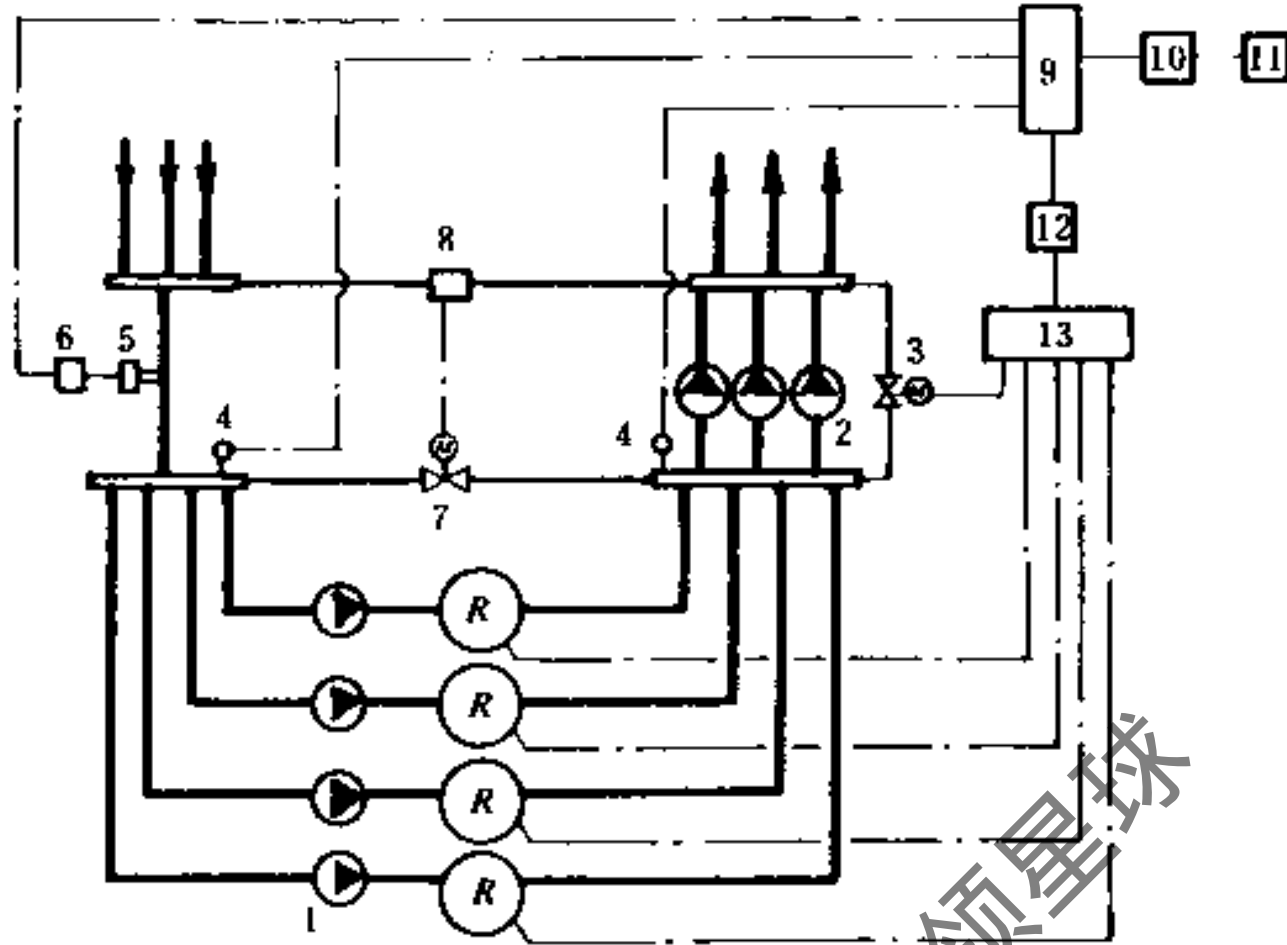


图 17.7-11 热量控制示意图

1—一次泵；2—二次泵；3—旁通阀；4—温度变送器；5—流量检测器；6—流量变送器；
7—旁通调节阀；8—压差控制器；9—热量计算器；10—积算器；11—显示器；12—热量调
节器；13—程序控制器

一次泵供、回水总管上的温度变送器和回水（或供水）总管上的流量变送器，同时把供、回水温度和供水量的讯号输入热量计算器，经运算得出热量值并与设定值进行比较，然后根据实际需热量发出指令，对冷水机组和水泵的运行台数进行控制。

实践中也可以对冷水机组和水泵分别进行控制：即冷水机组的运行台数由负荷控制，而一次泵的运行台数采用流量或压差控制（方法与二次泵的控制相同）。

17.8 调节阀的应用

17.8.1 调节阀的理想流量特性

流量特性反映了调节阀的相对流量 (Q/Q_{max}) 与相对行程 (l/l_{max}) 之间的关系，即

$$Q/Q_{max} = f(l/l_{max}) \quad (17.8-1)$$

式中 Q ——调节阀在某一开度时的流量；

Q_{max} ——调节阀在全开状态时的流量；

l ——调节阀某一开度时阀芯的行程；

l_{max} ——调节阀全开状态时阀芯的行程。

当调节阀前后压差固定不变时 ($\Delta P = \text{const}$)，所得到的流量特性，称为理想流量特性。

典型的理想流量特性如表 17.8-1 所示。当可调比 $R = 30$ 时，不同相对行程（相对开度）下的相对流量如表 17.8-2 所示。

调节阀的理想流量特性

表 17.8-1

特性	数学表达式	性能	流量特性图	阀芯形状
直线型	$\frac{d(Q/Q_{max})/d(l/l_{max})}{K}$ $Q/Q_{max} = \frac{1}{R} \left[1 + (R-1) \frac{l}{l_{max}} \right]$ <p>K - 调节阀的放大系数; R - 可调比, 即调节的最大流量与最小流量之比值</p>	单位行程变化引起的流量变化相等: 小流量时, 流量的相对变化大, 不易微调与控制, 配合不好时, 会产生振荡。大流量时, 流量的相对变化小, 不易反应, 易导致调节的不灵敏	见图 17.8-1 中的 (1)	见图 17.8-2 中的 (1)、(6)
等百分比型	$\frac{d(Q/Q_{max})/d(l/l_{max})}{=K(Q/Q_{max})}$ $Q/Q_{max} = R^{(l/l_{max})-1}$	K 值随开度的增大而递增, 同样行程在小开度时流量变化小, 大开度时流量变化大, 适用于负荷变化幅度大的系统	见图 17.8-1 中的 (2)	见图 17.8-2 中的 (2)、(5)
快开型	$\frac{d(Q/Q_{max})/d(l/l_{max})}{=K(Q/Q_{max})^{-1}}$ $Q/Q_{max} = \frac{1}{R} \left[1 + (R^2 - 1) \frac{l}{l_{max}} \right]^{\frac{1}{2}}$	行程较小时, 流量就比较大; 随着行程的增大, 流量很快达到最大。阀的有效行程 $< \frac{d}{4}$ (d - 阀座直径), 行程再增大时, 已不起调节作用。适用于双位调节和程序控制	见图 17.8-1 中的 (3)	见图 17.8-2 中的 (3)
抛物线型	$\frac{d(Q/Q_{max})/d(l/l_{max})}{=K(Q/Q_{max})^{\frac{1}{2}}}$ $Q/Q_{max} = \frac{1}{R} \left[1 + (\sqrt{R} - 1) \frac{l}{l_{max}} \right]^2$	流量特性是一条二次抛物线, 介于直线特性与等百分比特性之间。适用于冷、热水三通调节阀	见图 17.8-1 中的 (4)	见图 17.8-2 中的 (4)

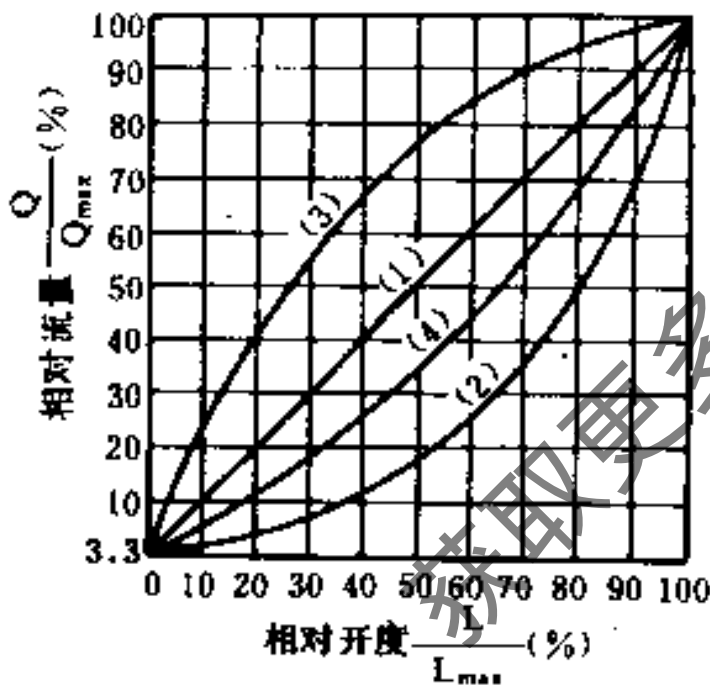


图 17.8-1 调节阀的理想流量特性 ($R = 30$)
(1) 直线; (2) 等百分比; (3) 快开
(4) 抛物线

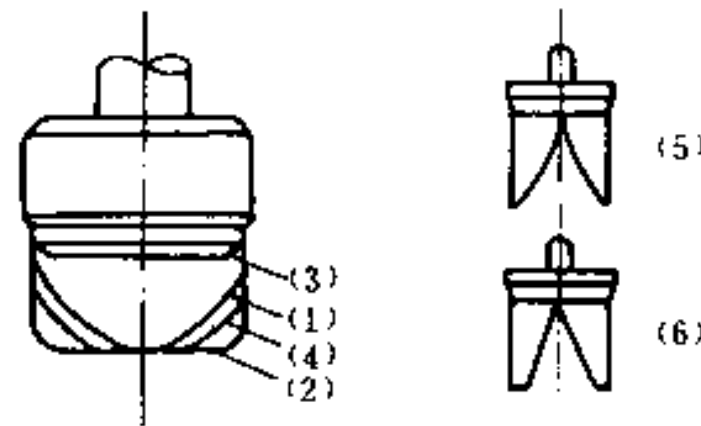


图 17.8-2 阀芯形状
(1) 直线特性阀芯; (2) 等百分比特性阀芯;
(3) 快开特性阀芯; (4) 抛物线特性阀芯;
(5) 等百分比特性阀芯 (开口形);
(6) 直线特性阀芯 (开口形)

不同相对行程 (开度) 时的相对流量 (Q/Q_{max})

表 17.8-2

流量特性	相对行程 (l/l_{max}) (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
直线型	3.3	13.0	22.7	32.3	42.0	51.7	61.3	71.0	80.6	90.4	100
等百分比型	3.3	4.7	6.6	9.3	13.0	18.3	25.6	36.2	50.8	71.2	100
快开型	3.3	21.7	38.1	52.6	65.2	75.8	84.5	91.3	96.1	99.0	100
抛物线型	3.3	7.3	12.0	18.0	26.0	35.0	45.0	57.0	70.0	84.0	100

三通调节阀的流量特性和数学表达式均符合前述理想特性的一般规律。直线特性的三通调节阀，在任何开度时流过上下两阀芯流量之和不变，即总流量不变，得到一平行于横轴的直线（1），如图 17.8 3所示。在该图中还绘出了等百分比特性和抛物线特性的曲线（2）和（3）。

17.8.2 工作流量特性

调节阀的工作流量特性，是指调节阀前后压差随负荷变化的工作条件下，调节阀的相对行程（开度）与相对流量之间的关系。

1. 直通调节阀有串联管道时的工作流量特性
见图 17.8-4和图 17.8-5。

图 17.8-4和图 17.8-5, 分别以 Q_{max} (管道阻力等于零时调节阀的全开流量) 和 Q_{100} (存在管道阻力时调节阀的全开流量) 作参考值。图中的 P_v 值称为阀权度，它是调节阀全开时阀

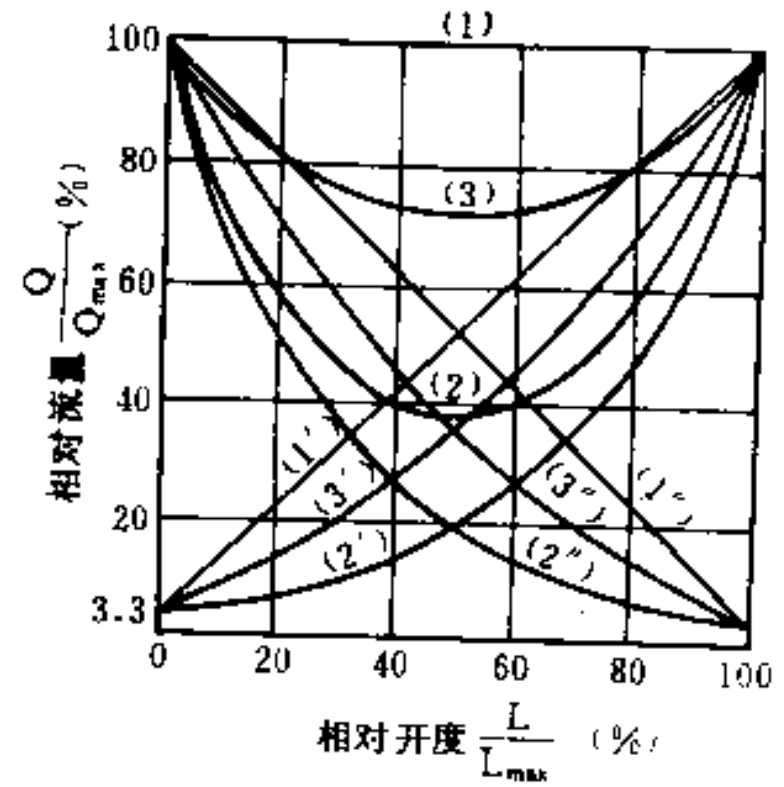


图 17.8-3 三通调节阀的理想流量特性
($R = 30$, 阀芯开口方向相反)
(1) 直线; (2) 等百分比; (3) 抛物线

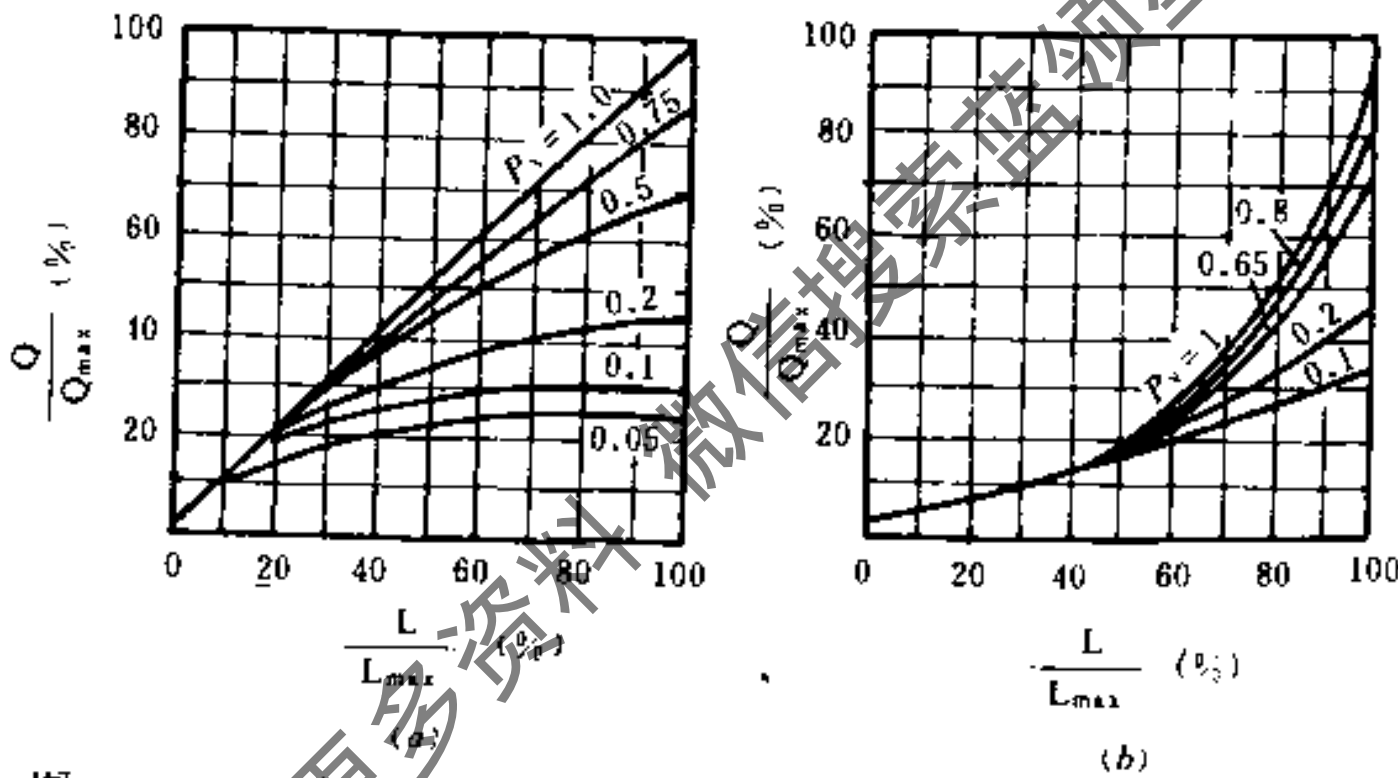


图 17.8-4 串联管道时调节阀的工作特性 (以 Q/Q_{max} 作参考值)
(a) 直线特性; (b) 等百分比特性

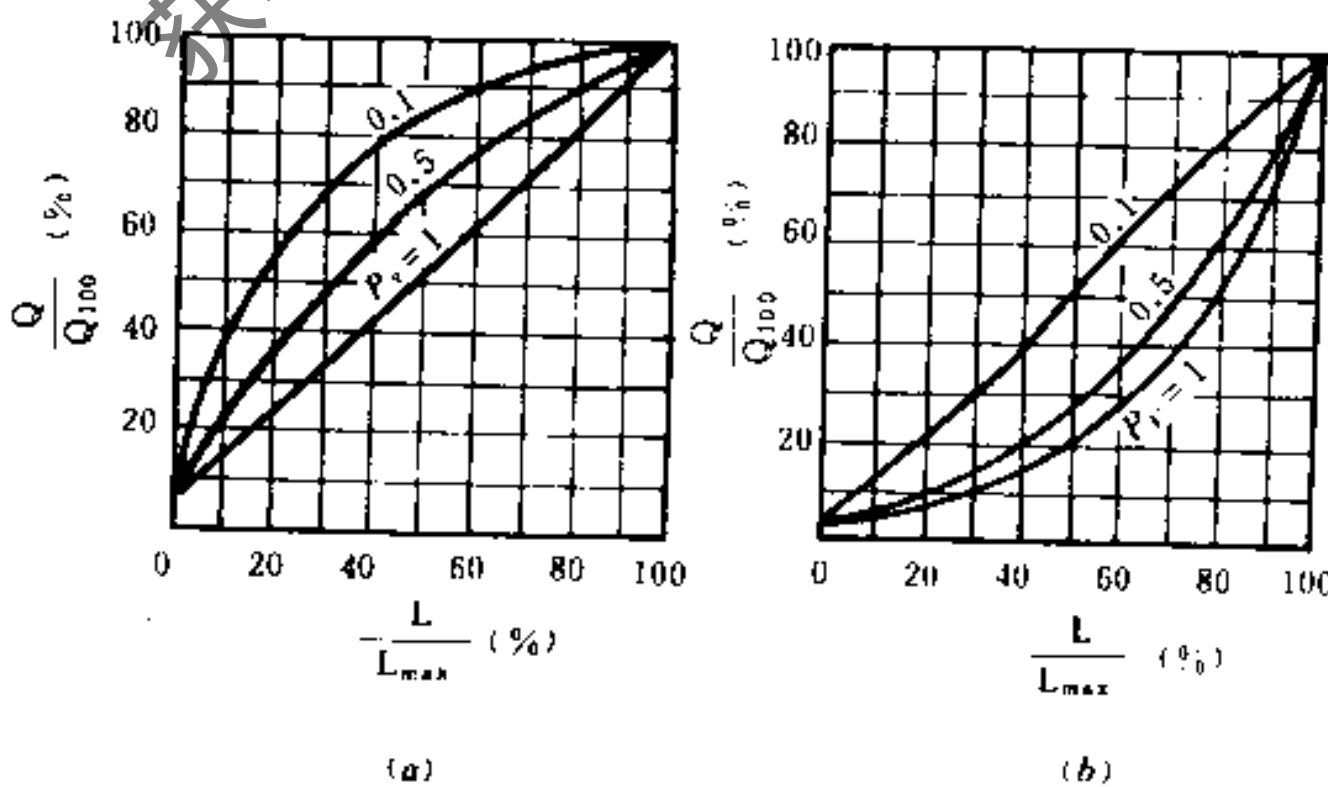


图 17.8-5 串联管道时调节阀的工作特性 (以 Q/Q_{100} 作参考值)
(a) 直线特性; (b) 等百分比特性

上压差与系统总压差的比值。由图可知：

- 当 $P_v = 1$ 时，系统的总压差全部降落在调节阀上，调节阀的工作特性与理想特性是一致的。
- 随着 P_v 值的减小，即管道压力损失增加，使系统的总压差降落在管道上的部分增加，调节阀全开时的流量减小。
- 随着 P_v 值的减小，理想的直线特性趋向于快开特性；理想的等百分比特性趋向于直线特性。
- 在实际使用中，一般 P_v 值不宜小于 0.3。

2. 直通调节阀有并联管道时的工作流量特性 见图 17.8-6 (图中的 x 表示并联管道时阀全开流量与总管最大流量之比)。由图可知：

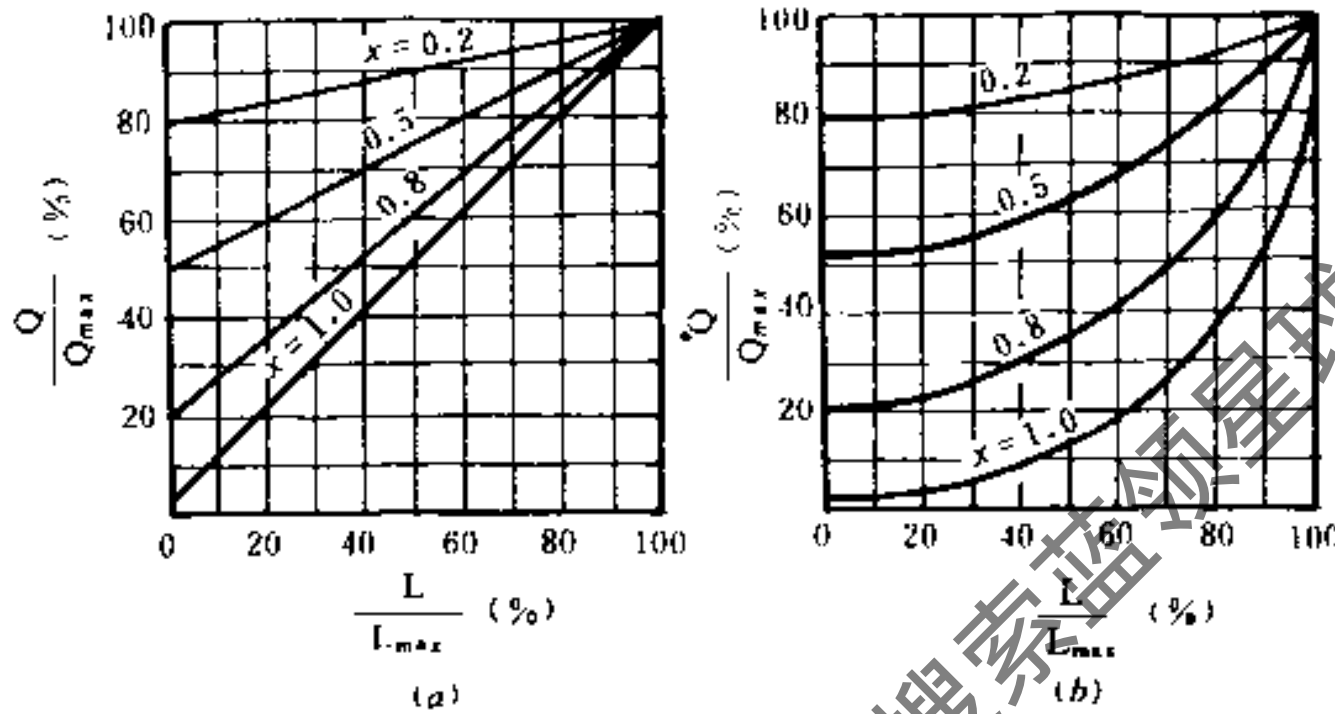


图 17.8-6 有并联管道时调节阀的工作特性
(以 Q/Q_{max} 作参考值)
(a) 直线特性; (b) 等百分比特性

- 当 $x = 1$ 时，即旁路关死，调节阀的工作流量特性与理想流量特性是一致的。
- 随着 x 的减小，即旁路阀逐渐打开，虽然调节阀本身的流量特性没有变化，但系统的实际可调比 R 大大下降。

3. 直通调节阀的实际可调比 由于调节阀上压差随着串联管道阻力改变或并联管道旁路打开，调节阀的可调比 R 将发生变化，调节阀实际所能控制的最大流量与最小流量的比值，称为实际可调比。

图 17.8-7 和图 17.8-8 分别给出了 $R = 30$ 时串联管道和并联管道的实际可调比：由图

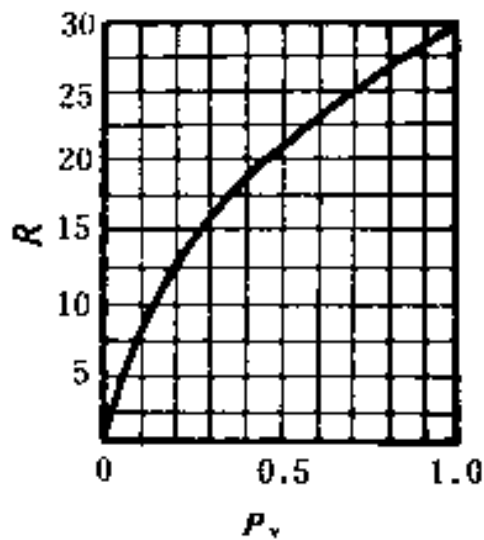


图 17.8-7 串联管道时的实际可调比 ($R = 30$)

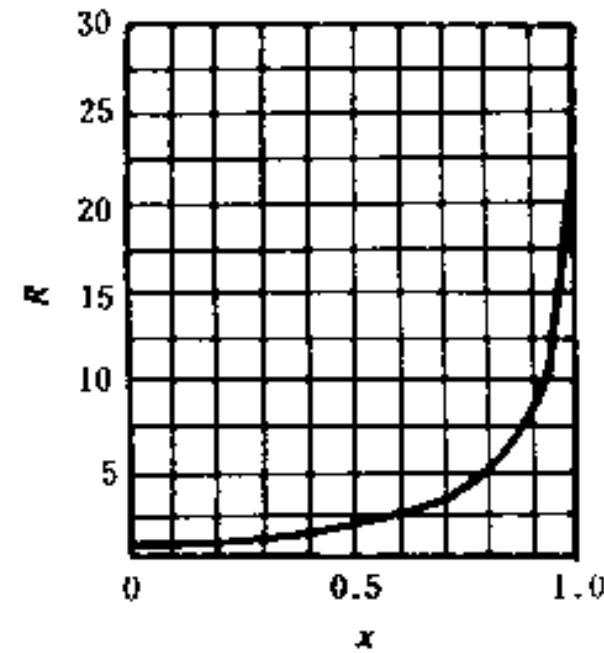


图 17.8-8 并联管道时的实际可调比 ($R = 30$)

17.8-7可知, P_v 值越小, 实际可调比就越小。在实际使用中, 为了保证调节阀有一定的可调比, 调节阀上应有一定的压差。对于并联管道时, 实际可调比近似等于总管最大流量与旁路流量的比值。随着 x 值的减小, 实际可调比迅速降低, 因此, 使用中应尽可能避免打开旁路。一般认为旁路流量最多只能是总流量的百分之十几, x 值不应低于 0.8。

4. 流量特性的选择原则

- 以热水或冷水为热媒的系统, 宜选择等百分比流量特性。
- 以蒸汽为热媒的系统

当 $P_v < 0.6$ 时, 宜选择等百分比流量特性。

当 $P_v \geq 0.6$ 时, 宜选择直线流量特性或等百分比流量特性。

- 当负荷变化幅度较大时, 宜选择等百分比流量特性。
- 快开流量特性的调节阀, 只适用于双位控制系统。
- 冷(热)水系统的三通调节阀, 宜选择抛物线流量特性。
- 当调节量事先无法精确确定时, 应选择等百分比流量特性。

17.8.3 调节阀的流通能力

1. 流通能力的定义 当调节阀处于全开状态, 阀两端的压差 $\Delta P = 10^5 \text{ Pa}$ 、流体密度 $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ 时, 每小时流经调节阀的流量数, 以 m^3/h 计。一般以符号 C 表示流通能力。

2. 热媒为水时, 流通能力可按下式计算:

$$C = \frac{316W}{\sqrt{\Delta P/\rho}} = \frac{316Q}{\sqrt{\Delta P\rho}} \quad (17.8-2)$$

式中 W ——水的体积流量, m^3/h ;
 Q ——水的质量流量, t/h ;
 ΔP ——调节阀前后的压差, $\Delta P = P_1 - P_2$;
 ρ ——水的密度, g/cm^3 ;
 P_1, P_2 ——阀前和阀后的压力, Pa 。

3. 热媒为蒸汽时, 流通能力可按下式计算:

$P_2/P_1 > \beta$ (亚临界状态), 即 $P_2 > 0.5P_1$ 时:

$$C = \frac{10G}{\sqrt{(P_1 - P_2)\rho_2}} \quad (17.8-3)$$

$P_2/P_1 < \beta$ (超临界状态), 即 $P_2 < 0.5P_1$ 时:

$$C = \frac{14.14G}{\sqrt{\rho'_2 P_1}} \quad (17.8-4)$$

式中 G ——蒸汽流量, kg/h ;
 ρ_2 ——调节阀后蒸汽的密度, kg/m^3 ;
 P_1 ——调节阀前蒸汽的绝对压力, Pa ;
 P_2 ——调节阀后蒸汽的绝对压力, Pa ;
 ρ'_2 ——调节阀出口截面上蒸汽的密度, kg/m^3 ;
 β ——临界压缩比, 一般取 $\beta = 0.5$ 。

- 阀后蒸汽的密度, 可以近似地按阀后温度等于阀前温度进行查表取值。

• 在超临界状态下，不管阀后蒸汽压力多小，阀出口截面上的蒸汽绝对压力保持不变， $P_2' = 0.5P_1$ 。

• 出口截面上的蒸汽密度 ρ_2' ，可根据 $P_2' = 0.5P_1$ 和对应温度取值。

17.8.4 直通调节阀

1. 结构与特征 见表 17.8-3。

直通调节阀的结构形式与特征

表 17.8-3

形 式	特 征
单 座	<ul style="list-style-type: none"> • 结构简单，关闭严密，泄漏量小； • 阀芯所受的不平衡力较大； • 适用于低压差场合（暖通空调系统使用较多）
双 座	<ul style="list-style-type: none"> • 结构复杂，不易保证上、下阀芯同时关严，泄漏量较大； • 阀芯所受的不平衡力很小； • 使用在高压差流体时，阀体受流体的冲蚀损伤较严重

2. 口径的选择

(1) 冷（热）水直通调节阀 选择步骤如下：

• 计算压差 ΔP (Pa)

$$\Delta P = 0.5 \sim 0.7 (P_g - P_h) \quad (17.8-5)$$

式中 P_g ——供水压力，Pa；

P_h ——回水压力，Pa。

• 根据设计最大水流量和压差按式 (17.8-2) 计算确定最大流通能力 C_{max} ；

• 根据 C_{max} 值，在产品样本中选取流通能力大于且最接近 C_{max} 值这一档的口径。

设计实践中，也可以根据设计最大水流量和压差由表 17.8-4 直接查出所需调节阀的口径。

VP型直通单座调节阀水流量计算表 ($\rho = 1\text{g/cm}^3$)

表 17.8-4

公称直径 (mm)	20 (15)	20 (20)	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
ΔP (MPa)	流 量 (m ³ /h)											
0.005	0.72	1.12	1.79	2.68	4.47	7.15	11.20	17.90	26.80	44.7	62.5	100
0.01	1.01	1.58	2.53	3.79	6.30	10.10	15.80	25.30	37.90	63.0	88.5	142
0.02	1.43	2.24	3.58	5.36	8.94	14.30	22.40	35.80	53.60	89.4	125.0	201
0.03	1.75	2.71	4.38	6.56	11.00	17.50	27.40	43.80	65.60	109.5	153.0	246
0.04	2.02	3.16	5.06	7.59	12.70	20.20	31.60	50.60	75.90	127.0	177.0	284
0.05	2.26	3.54	5.65	8.50	14.10	22.60	35.40	56.50	84.80	141.0	198.0	318
0.06	2.48	3.87	6.20	9.30	15.50	24.80	38.70	62.00	93.00	155.0	217.0	
0.07	2.68	4.19	6.70	10.00	16.70	26.80	41.90	67.00	100.00	167.0	234.0	
0.08	2.86	4.48	7.16	10.70	17.90	28.60	44.80	71.60	107.00	179.0	250.0	
0.09	3.04	4.75	7.60	11.40	19.00	30.40	47.50	76.00	114.00	190.0		
0.10	3.20	5.00	8.00	12.00	20.00	32.00	50.00	80.00	120.00	200.0		
0.12	3.50	5.48	8.76	13.10	21.90	35.00	54.80	87.60	131.00	219.0		
0.14	3.78	5.91	9.45	14.20	23.60	37.80	59.10	94.50				
0.16	4.05	6.32	10.10	15.20	25.30	40.50	63.20	101.00				
0.18	4.29	6.71	10.70	16.10	26.80	42.90	67.10	107.00				
0.20	4.53	7.07	11.30	17.00	28.30	45.30	70.70	113.00				
0.25	5.05	7.90	12.60	19.00	31.60	50.50	79.00					
0.30	5.55	8.65	13.90	20.80	34.60	55.50	86.50					
0.35	6.00	9.35	15.00	22.40	37.40							
0.40	6.40	10.00	16.00	24.00	40.00							

注：公称直径栏内 () 内的数字是阀座直径。

(2) 蒸汽直通调节阀 选择步骤如下:

• 确定饱和蒸汽的最大流量 G_{\max} (kg/h):

$$G_{\max} = Q/r = 4.36 \times 10^{-4} Q \quad (17.8-6)$$

式中 Q ——设计热负荷, kW;

r ——饱和蒸汽的汽化潜热, 一般取 $r = 2292 \text{ kJ/kg}$;

• 计算压差 ΔP (Pa):

对于双位调节 $\Delta P = 0.2(P_1 - P_b) \quad (17.8-7)$

对于比例调节 $\Delta P = 0.8(P_1 - P_b) \leq \frac{P_1}{2} \quad (17.8-8)$

式中 P_1 ——阀前的蒸汽绝对压力, Pa;

P_b ——疏水器的背压 (凝水始点的绝对压力), 一般 $P_b = 0.4 \sim 0.8P_1$ (因疏水器类型而异), Pa。

• 根据设计最大流量 G_{\max} 和压差 ΔP , 按式 (17.8-3) 或 (17.8-4) 确定蒸汽流通能力的最大值 C_{\max} 。

• 根据 C_{\max} 值, 在产品样本中选取流通能力大于并最接近 C_{\max} 值这一档的口径。

设计实践中, 也可以根据最大设计流量 G_{\max} 和压差 ΔP 由表 17.8-5 直接查出所需调节阀的口径。

VP型直通单座调节阀饱和蒸汽流量计算表

表 17.8-5

公称直径 (mm)	流通能力 C											
	20 (12)	20 (15)	20 (20)	25 (8)	32 (12)	40 (20)	50 (32)	65 (50)	80 (80)	100 (120)		
P_1 (MPa) (绝对)	饱和温度 (°C)	$\Delta P = P_1 - P_2$ (MPa)	蒸汽流量 (kg/h)									
0.105	100	0.005	10.71	17.2	26.9	43.0	64.5	107.4	172	269	430	645
0.110	102	0.010	15.10	24.2	37.8	60.5	91.0	151.0	242	378	605	910
0.115	103	0.015	18.50	29.6	46.3	74.0	111.0	185.0	296	463	740	1110
0.120	104	0.020	21.30	34.7	53.2	85.2	128.0	213.0	341	532	852	1280
0.125	105	0.025	23.80	38.1	59.5	95.1	143.0	238.0	381	592	951	1430
0.130	107	0.030	26.00	41.5	65.0	104.0	156.0	260.0	415	650	1040	1560
0.150	111	0.050	33.00	53.5	83.5	134.0	200.0	334.0	535	835	1340	2000
0.180	116	0.080	42.00	67.1	105.0	168.0	252.0	420.0	671	1050	1680	2520
0.200	120	0.100	48.80	74.9	117.0	187.0	281.0	468.0	749	1170	1870	2810
0.250	127	0.125	58.00	92.7	145.0	232.0	348.0	580.0	927	1450	2320	3480
0.300	133	0.150	69.00	110.0	172.0	276.0	414.0	690.0	1100	1720	2760	
0.350	138	0.175	80.00	128.0	200.0	320.0	480.0	800.0	1280	2000	3200	
0.400	143	0.200	91.00	146.0	228.0	364.0	546.0	910.0	1460	2280	3640	
0.450	147	0.225	102.00	163.0	255.0	408.0	612.0	1020.0	1630	2550		
0.500	151	0.250	113.00	181.0	283.0	452.0	678.0	1130.0	1810	2830		
0.550	155	0.275	124.00	198.0	310.0	495.0	742.0	1240.0	1980	3100		
0.600	158	0.300	135.00	215.0	336.0	538.0	807.0	1350.0	2150	3360		
0.650	161	0.325	145.00	233.0	361.0	581.0	871.0	1450.0				
0.700	164	0.350	156.00	250.0	390.0	624.0	936.0	1560.0				
0.800	170	0.40	175.00	279.0	436.0	698.0	1050.0	1750.0				
0.900	175	0.450	199.00	318.0	497.0	795.0	1190.0	1990.0				
1.000	179	0.500	220.00	352.0	550.0	880.0	1320.0	2200.0				

注: 公称直径下 () 内的数字表示阀座直径。

17.8.5 三通调节阀

1. 结构 三通调节阀的结构, 按其作用方式的不同, 分为合流型和分流型两种, 其结构简图如图 17.8-9 所示。

2. 应用 三通调节阀的应用, 一般有四种典型方式, 如图 17.8-10 至图 17.8-13 所示。

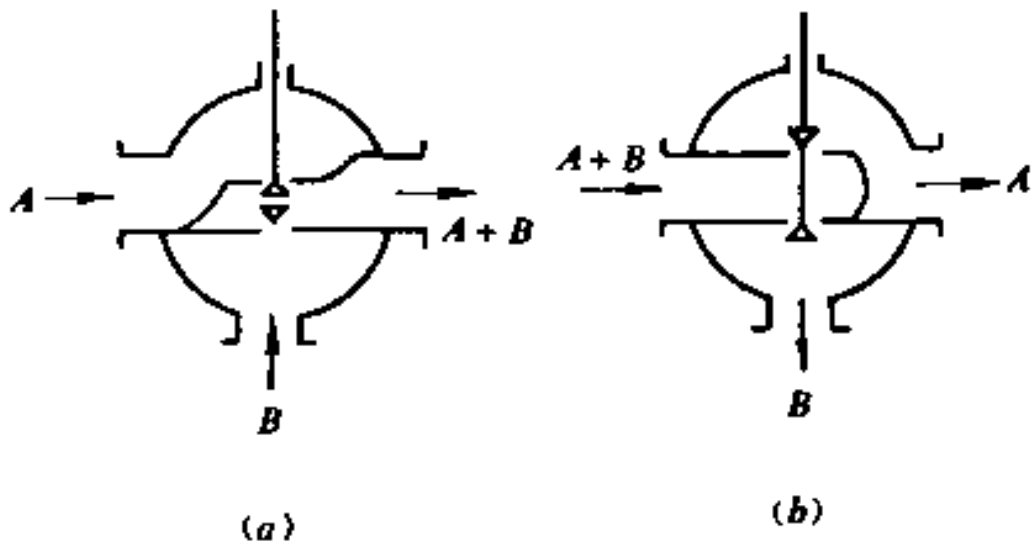


图 17.8-9 三通调节阀的结构简图

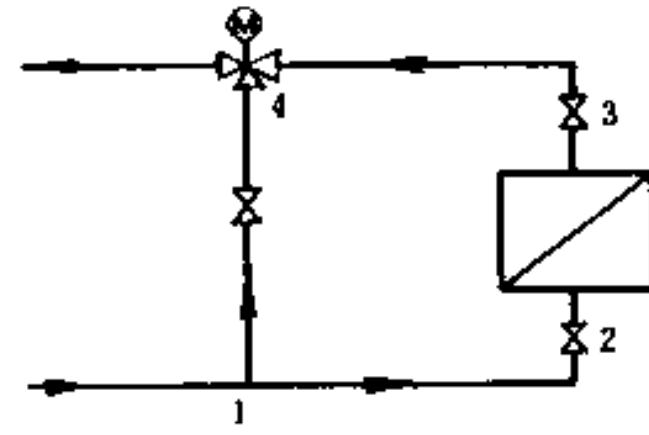


图 17.8-10 用于分流的分流阀

(a)合流型; (b)分流型

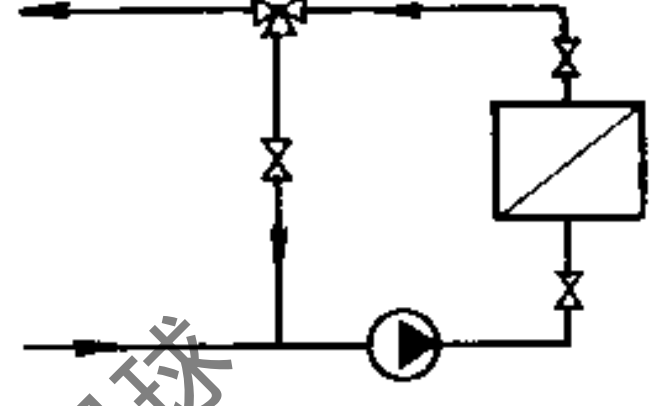
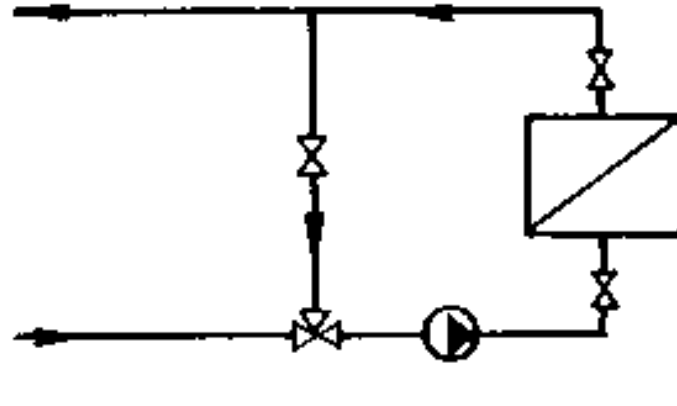
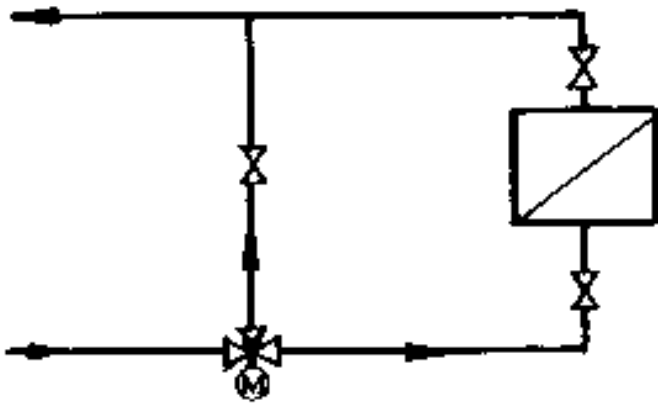


图 17.8-11 用于分流的分流阀

图 17.8-12 用于合流的分流阀

图 17.8-13 用于合流的分流阀

对换热器来说,前两种为量调节;后两种为质调节。

注意事项 设计应用三通调节阀时,务必注意使通过三通调节阀的压差 ΔP_f 与通过调节阀支路(如图 17.8-10 中的 1-2-3-4 环路)的压差 ΔP_z 保持相等,即 $\Delta P_f = \Delta P_z$; 使阀权度 $P_v = 0.5$ 。通常,可以通过限制旁通支管的直径或在旁通支管上设置调节阀来完成这个要求。

3. 口径的选择 步骤如下:

- 取三通调节阀(抛物线特性)的压差 $\Delta P_f = \Delta P_z$ 。
- 根据设计最大水流量、密度和压差,按式(17.8-2)求出最大流通能力 C_{max} 。
- 根据 C_{max} 值,在产品样本中选取流通能力大于并接近 C_{max} 值这一档的口径。
- 根据所选取口径调节阀的流通能力 C_s ,计算实际阀权度 P_{vs} :

$$\Delta P_{fs} = \left(\frac{W_{max}}{C_s} \right)^2 \times 10^5$$

$$P_{vs} = \frac{\Delta P_{fs}}{\Delta P_{fs} + \Delta P_q}$$

$$\Delta P_q = \Delta P_R + \Delta P_{Rz}$$

式中 ΔP_{fs} ——阀前后压差, kPa;

W_{max} ——设计最大水量, m^3/h ;

ΔP_{fs} ——换热器支路全开时的实际阀压差, kPa;

ΔP_R ——换热器在最大负荷(支路全开)时的水阻力, kPa;

ΔP_{Rz} ——换热器支路全开时支路上手动调节阀的阻力, kPa。

为了方便使用,图 17.8-14 给出了国产三通

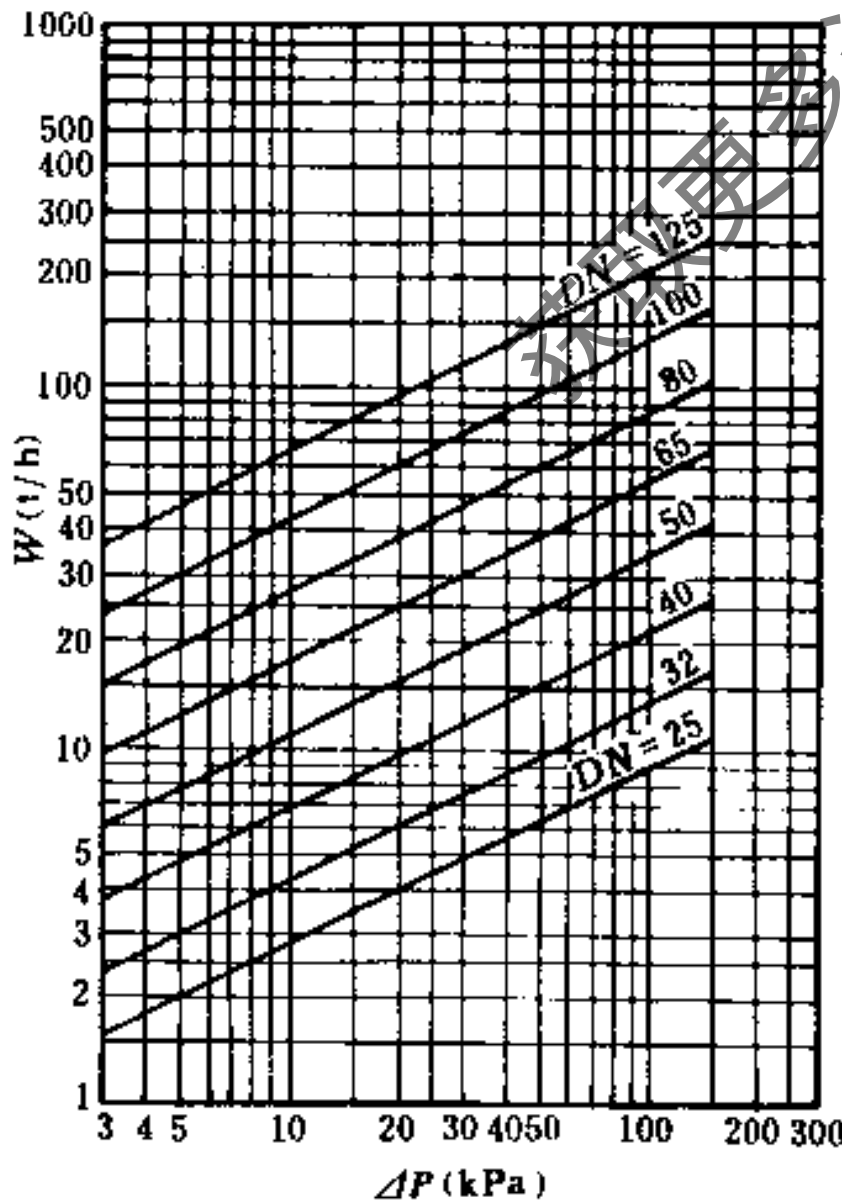


图 17.8-14 国产三通调节阀选择计算图

调节阀的流量与压差的关系曲线。

设计实践中,也可以根据流量、压差和流通能力,直接由表17.8.6找出合适的三通调节阀口径。

VQ、VX型三通调节阀水流量计算表 ($\rho = 1\text{g}/\text{cm}^3$)

表 17.8.6

公称直径(mm)	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
ΔP (MPa)	流 量 (m^3/h)									
0.005	1.90	2.90	4.7	7.6	11.8	19.0	30.2	47.0	76	120
0.01	2.68	4.10	6.6	10.7	16.7	26.8	42.7	66.4	107	169
0.02	3.80	5.80	9.4	15.2	23.7	38.0	60.4	94.0	152	239
0.03	4.65	7.10	11.5	18.6	29.0	46.5	74.0	115.0	186	293
0.04	5.40	8.20	13.3	21.5	33.5	53.8	85.4	133.0	215	338
0.05	6.00	9.20	14.8	24.0	37.5	60.0	95.5	148.0	240	378
0.06	6.60	10.10	16.3	26.3	41.0	66.0	105.0	163.0	263	
0.07	7.10	10.90	17.6	28.4	44.4	71.0	113.0	176.0	281	
0.08	7.60	11.60	18.8	30.4	47.4	76.0	121.0	188.0	301	
0.09	8.05	12.30	19.9	32.2	50.3	80.5	128.0	199.0		
0.10	8.50	13.00	21.0	34.0	53.0	85.0	135.0	210.0		
0.12	9.30	14.20	23.0	37.2	58.0	93.0	148.0	230.0		
0.14	10.10	15.40	24.8	40.2	62.7	101.0				
0.16	10.80	16.50	26.6	43.0	67.0	108.0				
0.18	11.40	17.40	28.2	45.6	71.0	114.0				
0.20	12.00	18.40	29.7	48.0	75.0	120.0				

17.8.6 风量调节阀

风量调节阀一般习惯称为风门。

典型的风量调节阀如图17.8-15所示,其中:(a) 平行式多叶调节阀;(b) 对开式多叶调节阀;(c) 菱形多叶调节阀;(d) 复式多叶调节阀。

1. 理想流量特性 理想流量特性反映了阀前后压差保持不变的情况下,叶片角度改变

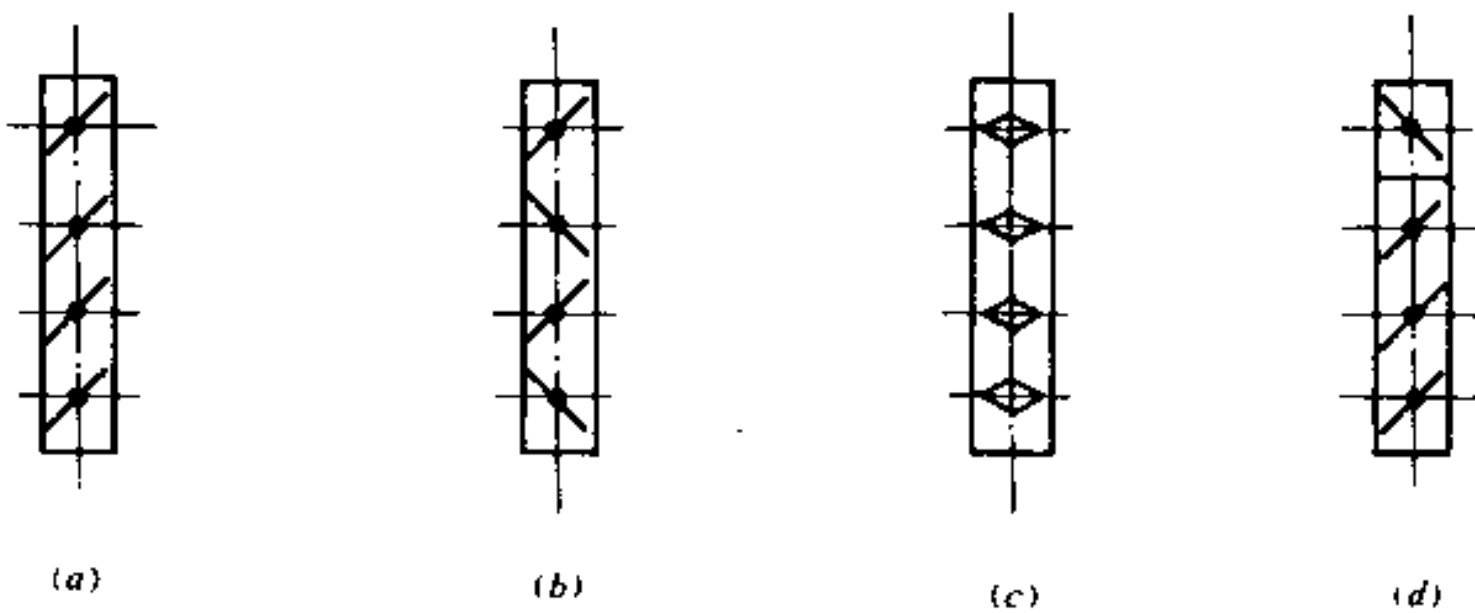


图 17.8-15 典型的风量调节阀

和风量变化的关系，通常希望两者成直线变化。这样，在执行器作等速运动时，风量也等速改变，从而保持调节过程中的放大系数等于定值。

风量调节阀的调节性能，与其构造和阀权度 P_v 有关：

$$P_v = \Delta P_k / \Delta P_g$$

式中 ΔP_k ——全开时的压差，Pa；

ΔP_g ——调节阀所担负管段范围内空气的压差，Pa。

调节管段的划分，详见图17.8-16。图中 P_1, P_2, \dots 代表系统中各点的全压， P 代表通风机的全压。

2. 工作流量特性 图17.8-17和图17.8-18分别给出了平行式和对开式多叶调节阀在不同阀权度时的特性。由图可知，为了获得接近直线的调节特性，阀权度 P_v 宜保持：

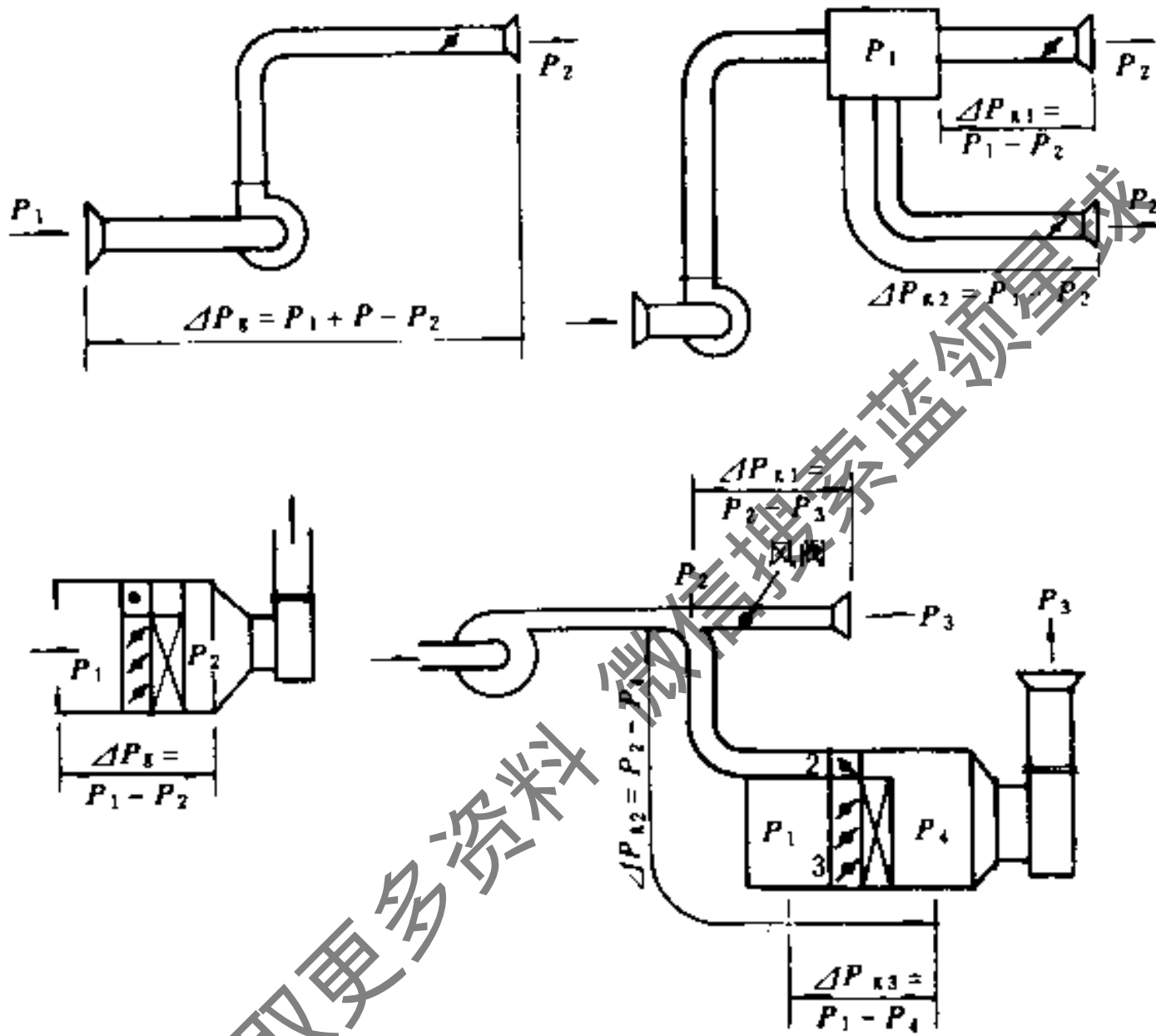


图 17.8-16 调节管段的划分

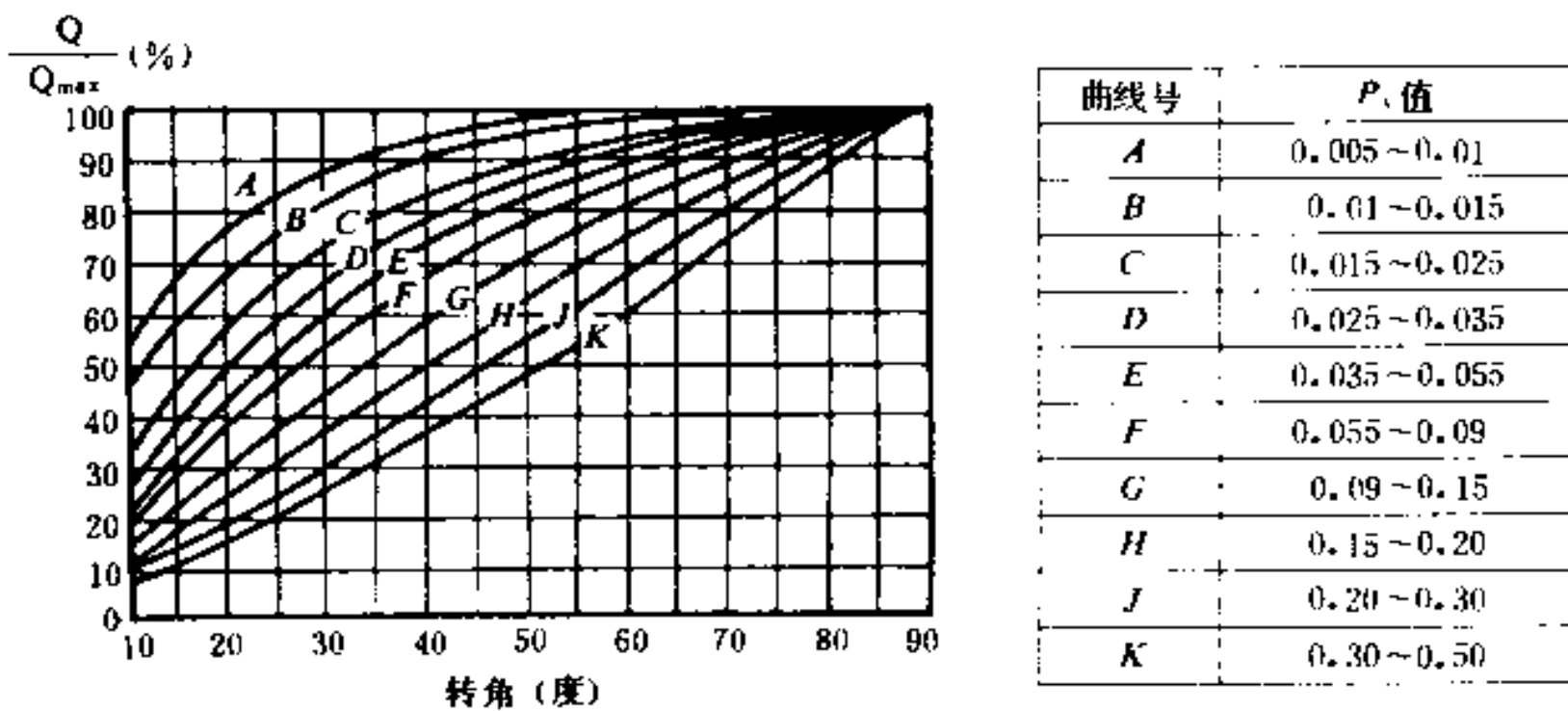
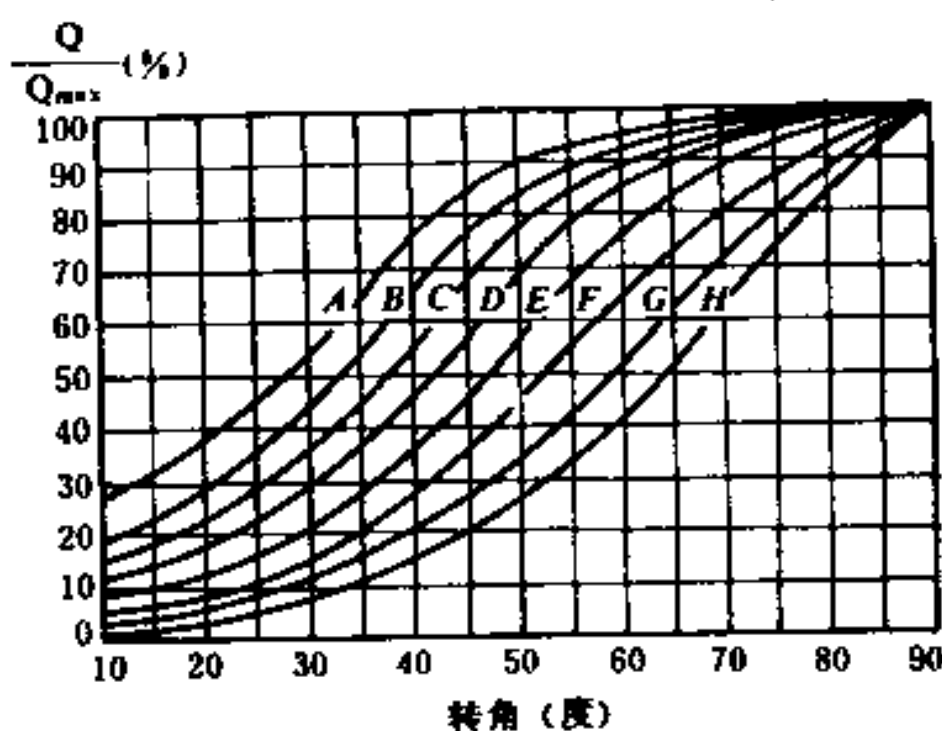


图 17.8-17 平行式多叶调节阀的工作流量特性



曲线号	P_v 值
A	0.0025~0.005
B	0.005~0.0075
C	0.0075~0.015
D	0.015~0.025
E	0.025~0.055
F	0.055~0.135
G	0.135~0.225
H	0.225~0.375

图 17.8-18 对开式多叶调节阀的工作流量特性

平行式多叶调节阀 $P_v = 0.15 \sim 0.30$

对开式多叶调节阀 $P_v = 0.05 \sim 0.15$

3. 风量调节阀的选择 一般可按表17.8-7给出的原则进行。

风量调节阀的选择

表 17.8-7

型式	作用和用途	备注
对开式	节流作用：风门关小时，风量减少，直至全部关闭	$P_v = 0.05 \sim 0.15$ 时，调节特性接近直线
平行式菱形	分流或混合：分配风量；支路风量随开度大小而改变，但分流或混合前后的总风量不变	只要使阀前、后的压差保持不变，调节特性接近直线

17.9 热回收系统的控制

在设置有热回收装置的空调系统里，要想得到有效的热量回收，必须设计和配备必要的自控装置，以确保热回收系统在合理的状态下工作。

17.9.1 运行条件

1. 仅夏季或冬季工作的系统 当回收系统仅在夏季（回收冷量）或冬季（回收热量）工作时，可以比较简单的选择新风温度 (t_w) 或新风热焓 (i_w) 和回风温度 (t_h) 或回风热焓 (i_h) 作为系统是否运行的判别条件，即

夏季 $t_w > t_h$ 或 $i_w > i_h$ 时：运行

$t_w < t_h$ 或 $i_w < i_h$ 时：不运行

冬季 $t_w < t_h$ 或 $i_w < i_h$ 时：运行

$t_w > t_h$ 或 $i_w > i_h$ 时：不运行

2. 全年工作的系统 当回收系统需要全年工作时，则情况较为复杂。这时，除冬季和夏季工况可以由新风和回风的温度或焓值比较来决定外，在过渡季节里还得根据室内负荷的变化和新风的状态调节热回收装置的热回收率或调节新风量，来满足室内负荷变化的需要。

图17.9-1给出了全年工况热回收系统（转轮换热器）的工作原理，根据该图可列出运行条件如表17.9-1所示。

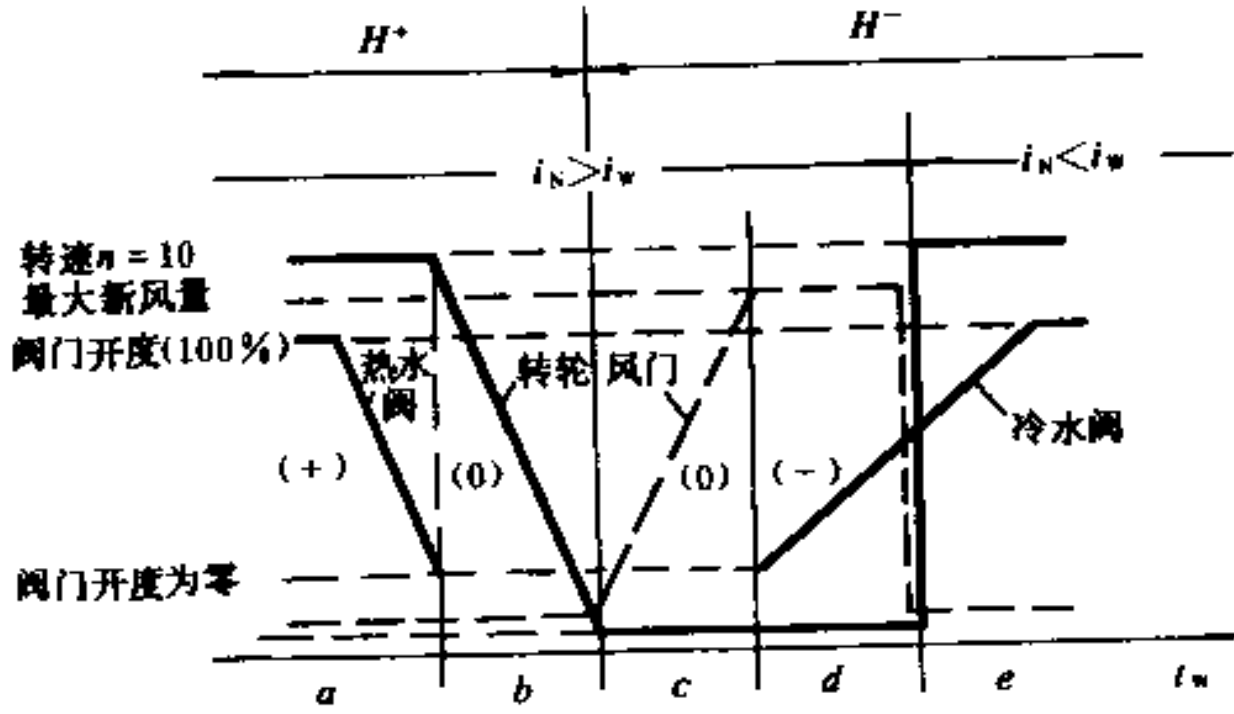


图 17.9-1 全年工况热回收系统工作原理图

H^+ —室内热负荷； H^- —室内冷负荷； i_h —室内焓值； i_w —新风焓值； t_w —新风温度；(+)—耗热量区；(-)—耗冷量区；(0)—不耗能区

全年运行条件表

表 17.9-1

区域	室内负荷	特征与运行条件
a	有热负荷 (H^+)	$i_h > i_w$, 新风量最小, 热回收器满负荷工作; 加热器由室内温度控制; 除了从排风中最大限度地回收热量外, 还需补给热量; 随着 t_w 的上升, 加热器的调节阀逐渐关小
b	有热负荷 (H^+)	$i_h > i_w$, 加热器的调节阀全关; 热回收装置在室内温度控制下, 随新风温度的升高, 回收热量逐渐减少
c	有冷负荷 (H^-)	$i_h > i_w$, 冷却器的供水调节阀全关, 热回收装置停止运行; 新风门受室内温度控制, 以新风作为冷源消除室内余热
d	有冷负荷 (H^-)	$i_h > i_w$, 新风门开足 (全开), 但冷量仍不足; 受室内温度控制的冷却器水路调节阀逐渐开启; 热回收装置不工作
e	有冷负荷 (H^-)	$i_h < i_w$, 新风门关至最小新风量位置; 全热回收装置以最高效率运行; 随着新风温度的升高, 冷水调节阀开度增大

17.9.2 热回收系统的控制

1. 热回收量的调节 见图17.9-2。

图17.9-2所示系一个用转轮换热器进行全热回收的系统, 它没有空气加热和冷却设备, 热回收量的控制是通过改变转轮转速的途径来实施的。

由图可知, 转轮转速控制器通过 t_h 与 t_w 的比较, 当 $t_h > t_w$ 时, 转速控制器启动转轮的传动电机, 同时接受温度调节器的作用, 控制转轮的转速, 这是冬季和过渡季的情况。当夏季时, $t_h < t_w$, 转速控制器使转轮全速运行。由于既无加热设备, 又无冷却装置, 也没有调节风门,

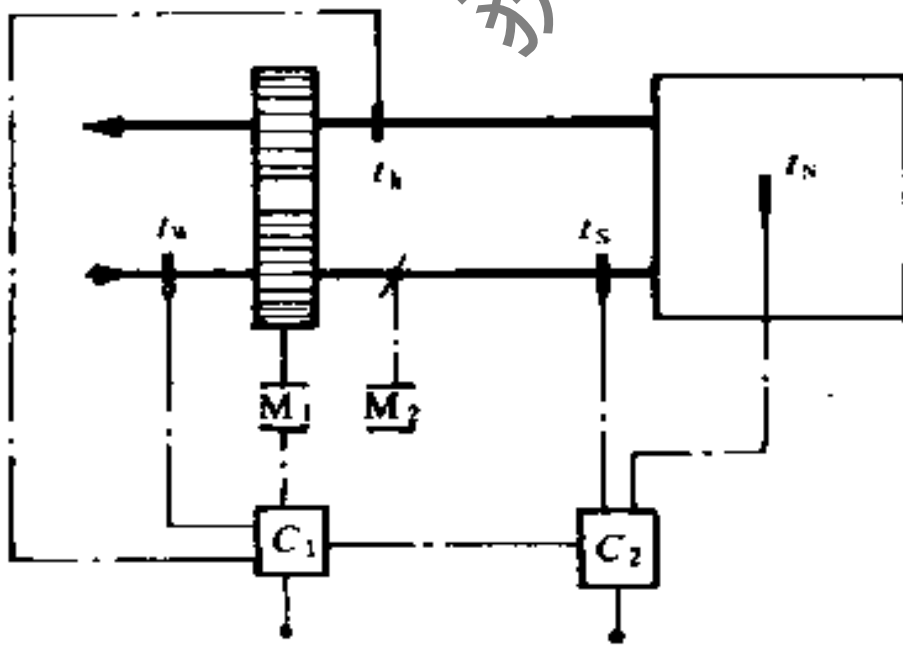


图 17.9-2 转轮换热器热回收量的控制

t_h —回风温度； t_w —新风温度； t_N —室内温度； t_s —送风温度； C_1 —转速控制器； C_2 —温度调节器； M_1 —驱动电机； M_2 —风门

所有处在 b 区时能保证室温恒定；在其它区域时，室温将随 t_w 的变化而上下波动。所以，只适用于对室温无严格要求和室外气象条件比较温和、变化不大的场合。当用室温 t_N 作为控制值时， t_s 可作为送风温度极限控制。

2. 有加热和冷却设备的热回收系统的控制 见图17.9-3。

上述两个实用系统，都是通过温度比较，若用焓值比较，节能效果将更好些。

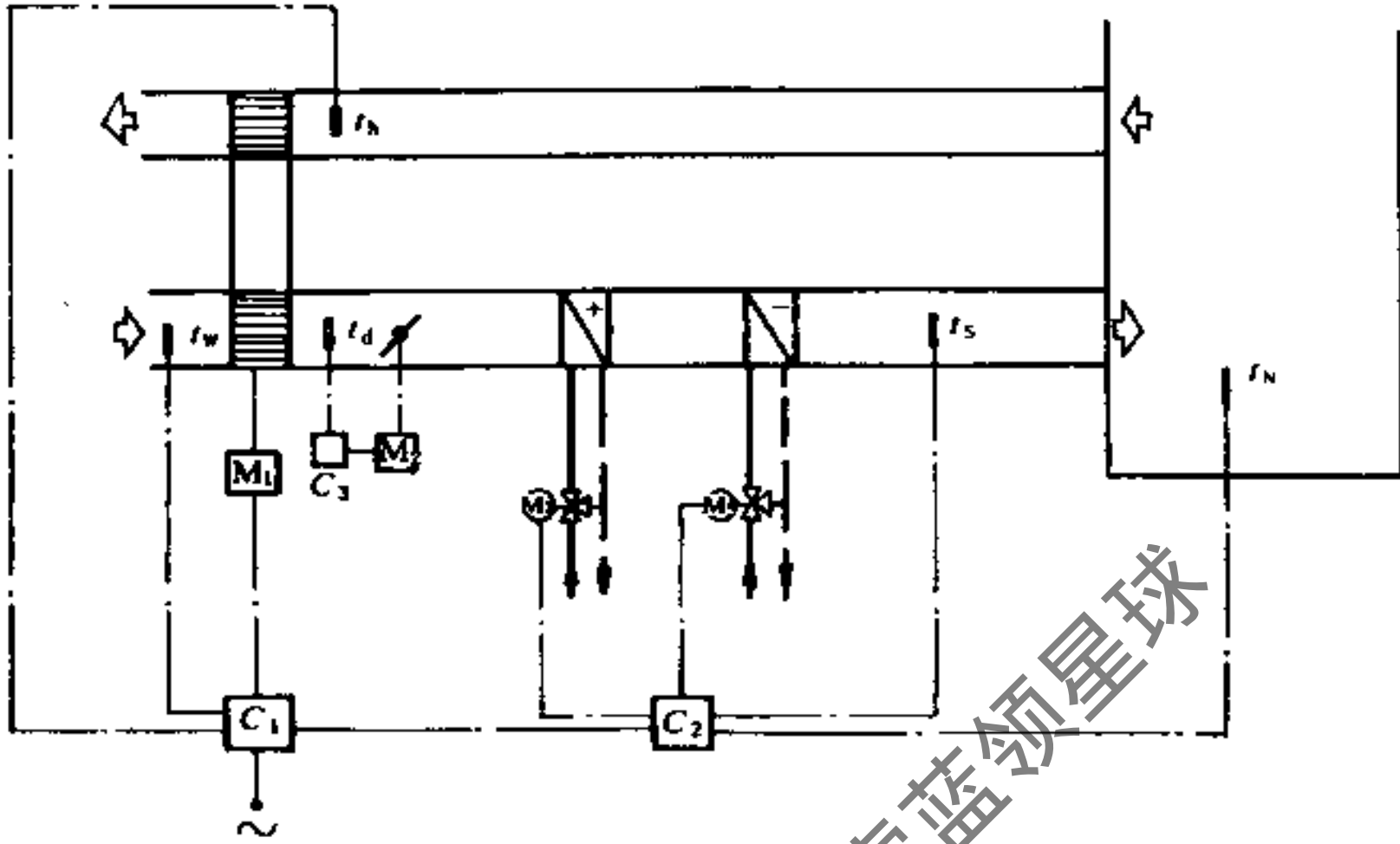


图 17.9-3 有加热和冷却设备热回收系统的控制

t_w —新风温度； t_h —排风温度； t_s —送风温度； t_N —室内温度； t_d —防霜冻温度（控制器）； C_1 —转速控制器； C_2 —温度调节器； M_1 —驱动电机； M_2 —防霜风门； M_3 —加热器三通调节阀； M_4 —冷却器三通调节阀； C_3 —防霜冻控制器

获取更多资料

第十八章 保温及防腐

18.1 保温

18.1.1 保温材料及其制品的主要技术性能

常用保温材料及其制品的主要技术性能见表18.1-1。

保温材料及其制品的主要技术性能

表 18.1-1

材料名称	密度 (kg/m ³)	导热系数 (W/(m·℃))	适用温度 (℃)	抗压强度 (kPa)	备注
膨胀珍珠岩类 散料(一级) 散料(二级) 散料(三级) 水泥珍珠岩板、管壳 水玻璃珍珠岩板、管壳 憎水珍珠岩制品	<80 80~150 150~250 250~400 200~300 200~300	<0.052 0.052~0.064 0.064~0.076 0.058~0.087 0.056~0.065 0.058	~200 ~800 <600 <650 >500	500~1000 600~1200 >500	密度轻, 导热系数小, 化学稳定性好, 不燃, 不腐蚀, 无毒, 无味, 价廉, 产量大, 资源丰富, 适用广泛
离心玻璃棉 普通玻璃棉类 中碱纤维淀粉粘制品 中碱纤维酚醛树脂制品 玻璃棉沥青粘制品	10~96 100~130 120~150 100~170	0.035~0.05 0.040~0.047 0.041~0.047 0.041~0.058	~400 -35~300 -35~350 -20~250		耐酸, 抗腐, 不烂, 不蛀, 吸水率小, 化学稳定性好, 无毒无味, 价廉, 寿命长, 导热系数小, 施工方便, 但刺激皮肤
超细玻璃棉类 超细棉(原棉) 超细棉无脂毡和缝合垫 超细棉树脂制品 无碱超细棉	18~30 60~80 60~80 60~80	<0.035 0.041 <0.035	-100~450 -120~400 -120~400 -120~600		密度小, 导热系数低, 特点同普通玻璃棉, 但对皮肤刺激小
微孔硅酸钙(管壳)	200~250	0.059~0.060	600	500~1000	耐高温
矿棉类 矿棉保温管(管壳) 沥青矿棉毡 矿棉保温板、带	105~220 100~125 80~120	<0.052 0.037~0.049 <0.041	<600 <250 <400		密度小, 导热系数小, 耐高温, 价廉, 货源广, 填充后易沉降, 施工时刺激皮肤, 且尘土大
岩棉类 岩棉保温板(半硬质) 岩棉保温毡(垫) 岩棉保温带 岩棉保温管壳	80~200 90~195 100 100~200	0.047~0.058 0.047~0.052 <0.045 0.052~0.058	-268~500 -268~400 200 -268~350		密度小, 导热系数小, 适用温度范围广, 施工简便, 但刺人

续表

材料名称	密度 (kg/m ³)	导热系数 (W/(m·℃))	适用温度 (℃)	抗压强度 (kPa)	备注
泡沫塑料类					
可发性聚苯乙烯塑料板	20~50	0.031~0.047	-80~75	>150	密度小, 导热系数小, 施工方便, 不耐高温, 适用于60℃以下的低温水管道保温 聚氨酯可现场发泡浇注成型, 强度高, 但成本也高 此类材料可燃, 防火性差, 分自熄型与非自熄型两种
可发性聚苯乙烯塑料管壳	20~50	0.031~0.047	-80~75	>150	
硬质聚氨酯泡沫塑料制品	30~50	0.023~0.029	-80~100	>250~500	
软质聚氨酯泡沫塑料制品	30~42	0.023	-50~100		
硬质聚氯乙烯泡沫塑料制品	40~50	<0.043	-35~80	>180	
软质聚氯乙烯泡沫塑料制品	27	0.052	-60~60	500~1500	
新型高分子材料					
高倍率独立气泡聚乙烯泡沫塑料	22	0.034			基本性能同上, 但尚具以下优越性: ·吸水率低, <0.002 g/cm ³ ·化学稳定性好, 可用任何胶类粘贴 ·同为难燃材料, 但其滴落物为融化物, 不燃。同时, 燃烧时不释放有毒物质 ·耐老化性好

18.1.2 管道、设备保温热力计算

管道、设备保温热力计算有关公式列于表18.1-2, 并以岩棉制品为例, 将防结露保温厚度选用表、保温经济厚度选用表、满足允许最大散热损失的最小保温厚度表、防烫伤保温厚度表以及它们的计算参数分别列于表18.1-3~17。另将《民用建筑节能设计标准》中确定供暖供热管道最小保温厚度列于表18.1-18。

管道、设备保温热力计算表

表 18.1-2

项目	介质状态	计算公式	
		设备	管道
1. 经济厚度	冷	$\delta = A \sqrt{\frac{\lambda \cdot \tau \cdot f_n (t_s - t)}{P_{1.5}}} \cdot \frac{\lambda}{a}$	$\frac{D_o}{2} \ln \frac{D_o}{D_i} = A \sqrt{\frac{\lambda \cdot \tau \cdot f_o (t_s - t)}{P_{1.5}}} \cdot \frac{\lambda}{a}$
	热	$\delta = A \sqrt{\frac{\lambda \cdot \tau \cdot f_n (t - t_s)}{P_{1.5}}} \cdot \frac{\lambda}{a}$	$\frac{D_o}{2} \ln \frac{D_o}{D_i} = A \sqrt{\frac{\lambda \cdot \tau \cdot f_o (t - t_s)}{P_{1.5}}} \cdot \frac{\lambda}{a}$
2. 防结露厚度	冷	$\delta = \frac{\lambda (t_s - t)}{a (t_s - t_s)}$	$\frac{D_o}{2} \ln \frac{D_o}{D_i} = \frac{\lambda (t_s - t)}{a (t_s - t_s)}$
3. 防烫伤厚度	热	$\delta = \frac{\lambda (t - t_s)}{a (t_s - t_s)}$	$\frac{D_o}{2} \ln \frac{D_o}{D_i} = \frac{\lambda (t - t_s)}{a (t_s - t_s)}$
4. 单位面积散热损失	冷	$q = \frac{(t_s - t)}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a}}$	$q_1 = \frac{\pi (t_s - t)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_o}{D_i} + \frac{1}{a D_o}}$

项 目	介质状态	计 算 公 式	
		设 备	管 道
4. 单位面积散热损失	热	$q = \frac{(t - t_a)}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a}}$	$q_t = \frac{\pi (t - t_a)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_0}{D_i} + \frac{1}{aD_0}}$
5. 外表面温差	冷	$\Delta t = t_a - t_s = \frac{q}{a}$	$\Delta t = t_a - t_s = \frac{q_t}{\pi \cdot D_0 \cdot a}$
6. 允许最大散热损失厚度	热	$\delta = \frac{\lambda}{k q_{允}} (t - t_a) - \frac{\lambda}{a}$	$\frac{D_0}{2} \ln \frac{D_0}{D_i} = \frac{\lambda}{k q_{允}} (t - t_a) - \frac{\lambda}{a}$

式中 A ——单位换算系数, 采用法定单位制时: $A = 1.9 \times 10^{-3}$;

D_i ——管道保温层内径, m;

D_0 ——管道保温层外径, m;

f_n ——冷价或热价, 元/ 10^6 kJ;

i ——年利率, %;

K ——系数, 取 $K = 0.9$;

n ——计算年限, 年;

P_1 ——保温层单位造价, 元/ m^3 ;

P_2 ——保护层单位造价, 元/ m^3 ;

P_i ——保温层单位造价, 元/ m^3 , 对于管道保温, 保温层与保护层分别施工核价时:

$$P_i = P_1 + \frac{2}{D_0} P_2;$$

S ——保温工程投资贷款年分摊率, %, 按复利率计息 $S = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$;

t_a ——保温结构周围环境的空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

t ——设备及管道外壁温度, $^{\circ}\text{C}$ (对于金属外壁设备及管道, 通常可取介质温度);

t_s ——保温层外表面温度, $^{\circ}\text{C}$;

$q_{允}$ ——国标GB 4272-84所规定的允许最大散热损失, W/m^2 ;

a ——表面散热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

δ ——保温层厚度, m, 对于管道保温:

$$\delta = \frac{D_0 - D_i}{2}$$

λ ——保温材料导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

τ ——年运行时间, h。

表 18.1-3

北京地区岩棉管壳、岩棉板防结露保温厚度选用表

内表面 温度 (°C)	15		10		5		0		-5		-10		-15		-20	
	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)	保 厚 (mm)	单 位 冷 损 失 (W/m ²)
15	20	3.8	20	4.8	30	4.8	30	5.5	30	6.3	40	6.2	40	6.9	40	7.4
20	20	4.4	30	4.5	30	5.5	30	6.3	40	6.3	40	7.0	40	7.7	40	8.5
25	20	4.8	30	5.0	30	5.8	30	6.9	40	6.7	40	7.6	40	8.3	40	9.1
32	20	5.3	30	5.5	30	6.5	30	7.6	40	7.4	40	8.3	40	9.2	50	9.0
40	20	6.0	30	6.0	30	7.2	30	8.4	40	8.1	40	9.2	40	10.1	50	9.8
50	20	7.1	30	7.1	30	8.5	40	9.4	40	9.4	40	10.6	40	10.3	50	11.3
65	20	8.6	30	8.4	30	10.1	40	9.8	40	11.2	50	10.9	50	12.1	50	13.3
80	20	10.1	30	9.8	30	11.6	40	11.3	40	12.8	50	12.4	50	13.8	50	15.1
100	30	9.1	30	11.3	30	13.5	40	13.0	40	14.8	50	14.3	50	15.8	60	15.3
125	30	10.6	30	13.4	40	13.0	40	15.2	50	14.9	50	16.6	50	18.4	60	17.8
150	30	12.3	30	15.5	40	15.1	40	17.6	50	17.9	50	19.1	50	21.0	60	20.2
200	30	16.2	30	20.3	40	19.7	40	22.9	50	22.0	50	24.7	60	23.7	60	26.0
250	30	19.7	30	24.7	40	23.7	40	27.7	50	26.4	50	29.7	60	28.5	60	31.0
300	30	23.0	30	28.8	40	27.7	40	32.2	50	30.7	50	34.4	60	32.9	70	31.9
350	30	26.3	30	33.1	40	31.5	50	30.7	50	35.0	50	39.2	60	37.3	70	36.2
设备	30	21.5	40	20.9	40	25.0	50	23.7	60	22.7	60	25.2	70	24.0	80	22.9

注: (W/m) 为管道单位冷损失; (W/m²) 为设备单位冷损失。以下表18.1.3~5同。

上海地区岩棉管壳、岩棉板防结露保温厚度选用表

表 18.1-4

内表面温度 (°C)	15		10		5		0		-5		-10		-15		-20	
	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)
公称直径 (mm)																
15	30	3.3	40	3.5	40	4.2	50	4.4	50	5.1	60	5.2	60	5.8	60	6.3
20	30	3.6	40	4.0	40	4.8	50	5.0	50	5.7	60	5.8	60	6.5	70	6.6
25	30	4.0	40	4.3	40	5.1	50	7.0	60	5.6	60	6.3	60	6.9	70	7.0
32	30	4.4	40	4.7	50	5.6	50	5.8	60	6.0	60	6.9	70	7.0	70	7.7
40	40	4.2	40	5.2	50	4.7	50	6.4	60	6.6	60	7.4	70	7.7	70	8.4
50	40	4.8	40	6.0	50	6.4	60	6.7	60	7.6	70	7.8	70	8.6	80	8.8
65	40	5.7	50	6.2	50	7.4	60	7.8	60	8.8	70	9.1	70	9.3	80	10.1
80	40	6.5	50	7.1	50	8.5	60	8.8	70	9.2	70	10.2	80	10.5	80	11.4
100	40	7.6	50	8.1	60	8.6	60	10.0	70	10.3	80	10.7	80	11.7	90	12.0
125	40	8.8	50	9.4	60	10.0	70	10.5	70	12.0	80	12.2	80	13.5	90	13.7
150	40	10.1	50	10.8	60	11.4	70	12.0	70	13.6	80	13.8	90	14.2	90	15.5
200	40	13.1	50	14.0	60	14.7	70	15.2	80	15.7	90	16.2	90	17.8	100	18.1
250	40	15.9	50	16.7	60	17.4	70	18.0	80	18.6	90	19.1	100	19.5	100	21.3
300	40	18.6	50	19.5	60	20.2	70	20.8	80	21.4	90	21.9	100	22.3	120	21.3
350	50	17.7	50	23.0	70	20.3	80	21.3	80	24.2	90	24.7	100	25.1	120	23.8
设备	50	14.0	70	12	80	13.4	90	13.8	100	14.1	120	13.1	120	14.4	140	13.5

表 18.1-5

西安地区岩棉管壳、岩棉板防结露保温厚度选用表

内表面温度 (°C)	15		10		5		0		-5		-10		-15		-20	
	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)	保厚度 (mm)	单位冷损失 (W/m ²)
15	20	4.2	20	5.1	20	6.0	20	7.0	30	6.6	30	7.3	30	8.0	30	8.8
20	20	4.8	20	5.9	20	7.0	30	6.6	30	7.6	30	8.4	30	9.2	30	10.0
25	20	5.2	20	6.4	20	7.7	30	7.2	30	8.1	30	9.1	30	10.0	40	9.4
32	20	5.8	20	7.2	20	8.6	30	7.9	30	9.0	30	10.0	30	11.0	40	10.3
40	20	6.6	20	8.1	20	9.7	30	8.4	30	10.0	30	11.2	40	10.5	40	11.4
50	20	7.8	20	9.7	30	9.0	30	10.3	30	11.7	30	13.0	40	12.2	40	13.3
65	20	9.4	20	11.6	30	10.7	30	12.3	30	14.0	40	13.0	40	14.3	40	15.6
80	20	11.0	20	13.6	30	12.4	30	14.3	30	16.2	40	15.0	40	16.5	40	18.0
100	20	12.9	20	15.9	30	14.4	30	16.6	30	18.8	40	17.2	40	19.0	40	20.7
125	20	15.5	20	19.1	30	17.0	30	19.7	40	18.1	40	20.2	40	22.3	40	24.3
150	20	18.0	20	22.2	30	19.8	30	22.8	40	20.9	40	23.4	40	25.7	50	23.8
200	20	24.0	30	21.9	30	25.9	30	30.0	40	27.2	40	30.3	40	33.5	50	30.8
250	20	29.3	30	27.2	30	31.5	30	36.4	40	32.9	40	36.7	40	40.5	50	37.0
300	20	34.4	30	32.3	30	36.9	30	42.6	40	38.4	40	42.8	40	47.1	50	43.0
350	20	39.5	30	36.3	30	42.2	30	48.8	40	43.8	40	48.8	50	44.9	50	49.0
设备	20	33.1	30	29.1	30	34.3	30	30.6	40	34.4	40	31.2	50	34.1	50	36.9

内表面温度 (°C)	0		5		10		15		20	
	保温 厚度 (mm)	单位 冷损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 冷损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 冷损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 冷损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 冷损失 (W/m ²)
公称 直径 (mm)										
15	30	4.1	20	4.0	20	3.0	20	2.1	20	1.4
20	30	4.7	30	3.7	20	3.5	20	2.3	20	1.6
25	30	5.0	30	4.1	20	4.7	20	3.5	20	1.9
32	30	5.6	30	4.5	30	3.4	20	2.9	20	2.1
40	30	6.2	30	5.0	30	3.8	20	3.3	20	1.6
50	40	6.2	30	5.8	30	4.4	20	3.8	20	2.0
65	40	7.2	30	7.0	30	5.2	20	4.5	20	2.3
80	40	8.3	40	6.7	30	6.2	30	4.1	20	2.7
100	40	9.5	40	7.7	30	7.1	30	4.8	20	3.1
125	40	11.2	40	9.1	30	8.4	30	5.6	20	3.8
150	50	11.0	40	10.5	40	7.9	30	6.5	20	4.4
200	50	14.2	40	13.6	40	10.2	30	8.6	20	5.8
250	50	17.1	40	16.4	40	12.4	30	10.5	20	7.2
300	50	19.9	50	16.0	40	14.4	30	12.2	20	8.4
350	50	22.6	50	18.3	40	16.5	30	14.0	20	9.7
设备	100	9.0	90	8.0	80	6.9	60	6.0	40	4.4

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

表 18.1-7

岩棉管壳、岩棉板经济保温厚度选用表(热介质)(一)

内表面温度 (°C)	50		100		150		200		250		300		350	
	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)
15	20	8.5	30	17.6	40	26.1	40	38.3	50	47.1	60	56.4	60	70.2
20	20	9.8	30	20.1	40	29.5	50	38.1	50	52.9	60	62.9	70	73.5
25	20	10.7	30	21.7	40	31.9	50	41.9	60	52.1	60	67.2	70	78.1
32	20	12.0	30	24.1	40	35.1	50	45.8	60	56.9	60	73.3	70	85.0
40	20	13.6	40	22.9	50	34.4	50	50.5	60	62.2	70	74.3	70	92.6
50	20	16.2	40	26.5	50	39.7	60	52.4	60	71.2	70	84.5	80	98.4
65	30	14.9	40	31.4	50	46.4	60	61.0	70	75.7	80	90.7	80	113.0
80	30	17.3	40	36.0	50	53.0	60	69.3	70	85.6	80	102.1	90	119.0
100	30	20.1	40	41.6	60	54.0	70	71.6	70	97.1	80	115.3	90	134.0
125	30	23.8	40	48.8	60	62.6	70	82.7	80	102.7	90	122.9	100	143.5
150	30	27.7	50	47.9	60	71.4	70	94.0	80	116.3	90	138.7	100	161.5
200	30	36.5	50	62.0	60	91.6	80	108.6	90	135.5	100	162.3	100	202.2
250	30	44.4	50	74.5	70	97.3	80	129.0	90	160.1	100	191.3	120	209.3
300	30	52.1	50	86.6	70	112.3	80	148.5	90	183.8	100	219.0	120	238.5
350	30	59.7	50	98.6	70	127.3	80	167.8	100	191.0	100	246.4	120	267.4
设备	60	24.2	100	38.6	120	54.8	160	61.4	180	74.9	200	87.9	240	92.3

注: (W/m²) 为管道单位热损失, (W/m³) 为设备单位热损失。以下表 18.1-7 ~ 9 同。

表 18.1-8

岩棉管壳、岩棉板经济保温厚度选用表 (热介质)(二)

内表面温度 (°C)	50		100		150		200		250		300	
	保 温 厚 度 (mm)	单 位 热 损 失 (W/m ²)	保 温 厚 度 (mm)	单 位 热 损 失 (W/m ²)	保 温 厚 度 (mm)	单 位 热 损 失 (W/m ²)	保 温 厚 度 (mm)	单 位 热 损 失 (W/m ²)	保 温 厚 度 (mm)	单 位 热 损 失 (W/m ²)	保 温 厚 度 (mm)	单 位 热 损 失 (W/m ²)
15	20	12.9	30	21.3	30	33.5	40	41.6	40	55.2	50	63.8
20	20	15.0	30	24.3	30	38.4	40	47.1	50	56.4	50	71.7
25	20	16.4	30	26.3	40	35.8	40	50.7	50	60.3	50	76.9
32	20	18.4	30	29.2	40	36.5	40	55.8	50	66.2	60	77.1
40	20	20.7	30	32.6	40	43.7	50	54.8	50	72.8	60	84.3
50	30	19.1	30	38.3	40	30.7	50	63.1	60	75.8	60	96.4
65	30	22.8	40	37.9	40	33.9	50	73.8	60	88.0	70	102.7
80	30	26.4	40	43.7	50	59.7	50	84.4	60	100.0	70	116.0
100	30	30.8	40	50.3	50	68.4	60	85.9	60	114.1	70	131.6
125	30	36.4	40	59.2	50	79.8	60	99.5	70	119.3	70	151.9
150	30	42.3	40	68.3	50	91.5	60	113.6	70	135.6	80	157.7
200	30	55.7	40	89.1	60	103.0	70	139.1	70	172.8	80	199.7
250	30	67.8	50	90.2	60	123.4	70	155.4	80	186.2	90	217.2
300	30	79.4	50	104.8	60	142.9	70	179.0	80	214.3	90	249.2
350	30	91.0	50	119.4	60	162.3	70	202.8	80	242.2	90	281.2
设备	60	36.5	80	56.6	100	73.1	120	87.8	140	101.4	160	102.0

岩棉管壳、岩棉板经济保温厚度选用表 (热介质)(三) 表 18.1-9

内表面温度 (°C)	50		100		150		200		250		300	
	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)	保温 厚度 (mm)	单位 热损失 (W/m ²)
公称 直径 (mm)												
15	20	11.4	20	24.3	30	32.3	30	46.2	40	54.3	40	69.3
20	20	13.1	20	28.3	30	37.0	30	52.8	40	61.4	40	78.4
25	20	14.4	20	30.7	30	39.9	40	49.4	40	66.0	50	75.8
32	20	16.2	30	27.4	30	44.4	40	54.4	40	72.8	50	83.0
40	20	18.3	30	30.7	30	49.4	40	60.2	40	80.5	50	91.3
50	20	21.6	30	35.9	30	58.0	40	69.9	50	82.2	50	105.0
65	20	26.3	30	42.9	40	57.7	40	82.4	50	96.2	60	110.5
80	20	30.8	30	49.8	40	66.4	50	82.3	50	109.9	60	125.5
100	20	36.2	30	57.9	40	76.5	50	94.3	50	125.9	60	143.0
125	20	43.1	30	68.5	40	89.9	50	109.9	60	129.8	60	165.8
150	20	50.5	30	79.5	40	103.6	50	126.0	60	148.1	70	170.2
200	20	67.3	40	83.7	50	114.0	60	142.2	60	190.0	70	216.7
250	30	59.7	40	101.3	50	137.1	60	170.2	70	202.1	70	258.3
300	30	69.9	40	118.1	50	159.3	60	197.0	70	233.3	70	298.0
350	30	80.0	40	135.0	50	181.4	60	223.0	70	264.3	80	304.0
设备	50	38.3	70	60.6	90	78.0	100	102.1	120	115.6	140	128.4

表 10.1-10

岩棉保温带经济保温厚度选用表 (一)

内表面温度 (°C)	50		100		150		200		250	
	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)
公称直径 (mm)										
300	40	47.6	70	75.8	90	105	100	140.9	120	165.7
350	40	54.3	70	85.9	90	118.5	100	158.6	120	185.8
400	40	60.7	70	95.5	90	131.0	100	175.2	120	204.7
450	40	67.4	70	105.6	90	144.4	100	192.9	120	224.7
500	50	61.4	70	115.5	90	157.6	100	210.1	120	244.2
600	50	72.1	70	134.9	90	183.5	120	210.2	120	282.8
700	50	81.6	70	135.8	100	189.0	120	235.8	140	279.4
800	50	92.2	80	152.6	100	212.1	120	264.1	140	312.3
900	50	102.8	80	169.9	100	235.2	120	292.3	140	345.1
1000	50	113.4	80	186.9	100	258.4	120	320.6	140	377.9
>1000	50	33.6	80	54.0	120	61.5	140	77.1	160	91.2

表 10.1-11

岩棉保温带经济保温厚度选用表 (二)

内表面温度 (°C)	50		100		150		200		250	
	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)
公称直径 (mm)										
300	40	72.8	60	104.1	80	134.9	90	166.3	100	202.3
350	40	83.3	60	118.3	80	146.6	90	187.6	100	227.8
400	40	93.0	60	131.5	80	162.6	90	207.6	100	251.6
450	50	85.7	60	145.7	80	179.4	90	228.7	100	277.0
500	50	94.0	70	140.2	80	195.9	90	249.5	100	301.6

续表

内表面温度 (°C)	50		100		150		200		250	
	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)
公称直径 (mm)										
600	50	110.3	70	164.0	80	228.6	100	266.2	120	302.0
700	50	125.0	70	185.0	80	257.7	100	299.2	120	338.6
800	50	141.2	70	208.5	80	290.0	100	335.8	120	379.2
900	50	157.4	70	231.9	90	290.9	100	372.4	120	419.8
1000	50	173.6	70	255.3	90	319.8	100	409.1	120	460.3
>1000	50	51.5	70	65.6	90	91.5	120	97.4	140	110.7

岩棉保温带经济保温厚度选用表 (三)

表 10.1-12

内表面温度 (°C)	50		100		150		200		250	
	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)	保温厚度 (mm)	单位热损失 (W/m)
公称直径 (mm)										
300	30	80.6	50	113.0	60	156.2	70	196.3	80	234.8
350	30	92.3	50	128.7	60	177.3	80	200.1	90	242.1
400	30	103.4	50	143.5	70	174.1	80	221.9	90	267.9
450	40	90.7	50	159.1	70	192.4	80	244.9	90	295.2
500	40	99.7	50	174.4	70	210.5	80	266.9	90	322.0
600	40	117.2	50	204.9	70	246.0	80	311.9	90	374.9
700	40	132.9	50	232.0	70	277.7	80	351.5	90	422.0
800	40	150.3	50	262.0	70	312.8	80	395.5	100	433.6
900	40	167.8	60	249.2	70	347.9	80	439.4	100	480.8
1000	40	185.3	60	274.5	70	383.1	80	483.4	100	528.0
>1000	40	55.5	60	80.7	80	98.4	90	124.9	100	149.8

表 18.1-13

满足允许最大散热损失的最小保温厚度表 (常年运行工况时)(mm)

内表面温度 (°C)	50				100				150				200				250				300				350						
	管壳	棉板	保温带	管壳	管壳	棉板	保温带	管壳	管壳	棉板	保温带	管壳	管壳	棉板	保温带	管壳	管壳	棉板	保温带	管壳	管壳	棉板	保温带	管壳	管壳	棉板	保温带	管壳	管壳		
允许最大 散热损失 (W/m ²)	58																														
公称直径 (mm)	93																														
15	17	—	—	24	32	—	—	38	—	—	—	43	—	—	—	48	—	—	—	52	—	—	—	58	—	—	—	65	—	—	—
20	17	—	—	26	34	—	—	41	—	—	—	45	—	—	—	48	—	—	—	52	—	—	—	56	—	—	—	63	—	—	—
25	18	—	—	27	35	—	—	41	—	—	—	47	—	—	—	49	—	—	—	52	—	—	—	54	—	—	—	60	—	—	—
32	19	—	—	28	36	—	—	44	—	—	—	49	—	—	—	51	—	—	—	54	—	—	—	56	—	—	—	63	—	—	—
40	20	—	—	30	38	—	—	45	—	—	—	51	—	—	—	54	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	65	—	—	—
50	20	—	—	31	40	—	—	48	—	—	—	54	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	63	—	—	—	68	—	—	—
65	20	—	—	31	41	—	—	50	—	—	—	52	—	—	—	54	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	65	—	—	—
80	20	—	—	33	43	—	—	52	—	—	—	54	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	63	—	—	—	68	—	—	—
100	22	—	—	34	44	—	—	54	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	71	—	—	—
125	23	—	—	34	46	—	—	55	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	71	—	—	—
150	23	—	—	35	48	—	—	57	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	73	—	—	—
200	23	—	—	36	50	—	—	59	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	73	—	—	—
250	24	—	—	39	52	—	—	62	—	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	73	—	—	—
300	24	—	27	39	52	44	—	62	60	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	73	—	—	—
350	24	—	27	40	53	44	—	63	60	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	74	—	—	—
400	—	—	27	—	—	44	—	—	60	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
450	—	—	29	—	—	45	—	—	60	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
500	—	—	30	—	—	45	—	—	62	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
600	—	—	30	—	—	46	—	—	62	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
700	—	—	30	—	—	46	—	—	62	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
800	—	—	30	—	—	46	—	—	64	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
900	—	—	30	—	—	46	—	—	64	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
1000	—	—	30	—	—	47	—	—	65	—	—	56	—	—	—	59	—	—	—	61	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	—
设备	—	26	30	—	—	50	43	—	68	61	—	76	—	—	—	84	—	—	—	90	—	—	—	98	—	—	—	—	—	—	115

表 18.1-14

满足允许最大散热损失的最小保温厚度表 (季节运行工况时)(mm)

内表面温度 (°C)	50					100					150					200					250					300				
	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带			
允许最大 散热损失 (W/m ²)	116					163					203					244					279					308				
公称直径 (mm)	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带	管壳	棉板	保温带			
15	6	—	—	14	—	—	20	—	—	—	—	—	24	—	—	27	—	—	31	—	—	31	—	—	27	—	—			
20	7	—	—	15	—	—	21	—	—	—	—	—	25	—	—	28	—	—	31	—	—	33	—	—	28	—	—			
25	7	—	—	15	—	—	21	—	—	—	—	—	25	—	—	28	—	—	31	—	—	33	—	—	30	—	—			
32	7	—	—	16	—	—	22	—	—	—	—	—	26	—	—	29	—	—	31	—	—	33	—	—	30	—	—			
40	7	—	—	16	—	—	23	—	—	—	—	—	27	—	—	30	—	—	31	—	—	33	—	—	31	—	—			
50	7	—	—	17	—	—	23	—	—	—	—	—	28	—	—	30	—	—	31	—	—	33	—	—	33	—	—			
65	8	—	—	17	—	—	24	—	—	—	—	—	30	—	—	30	—	—	31	—	—	33	—	—	34	—	—			
80	8	—	—	18	—	—	24	—	—	—	—	—	30	—	—	30	—	—	31	—	—	33	—	—	35	—	—			
100	8	—	—	18	—	—	25	—	—	—	—	—	31	—	—	31	—	—	31	—	—	33	—	—	37	—	—			
125	8	—	—	19	—	—	26	—	—	—	—	—	31	—	—	31	—	—	31	—	—	33	—	—	38	—	—			
150	8	—	—	19	—	—	27	—	—	—	—	—	31	—	—	32	—	—	31	—	—	33	—	—	40	—	—			
200	8	—	—	20	—	—	28	—	—	—	—	—	33	—	—	34	—	—	31	—	—	33	—	—	41	—	—			
250	9	—	—	19	—	—	27	—	—	—	—	—	34	—	—	34	—	—	31	—	—	33	—	—	41	—	—			
300	9	—	10	19	—	22	29	32	—	—	—	—	35	—	—	35	—	—	31	—	—	33	—	—	41	—	—			
350	9	—	10	19	—	23	30	32	—	—	—	—	36	—	—	36	—	—	31	—	—	33	—	—	42	—	—			
400	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
450	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
500	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
600	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
700	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
800	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
900	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
1000	—	—	10	—	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
设备	—	8	10	—	21	24	—	31	35	—	40	44	—	50	53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60			

表 18.1—3~5 计算参数

表 18.1-16

表号 项目	18.1-3	18.1-4	18.1-5
典型城市及适用地区	北 京 长江以北地区	上 海 长江沿岸及其以南地区	西 安 西北地区
环境温度 t_a (℃) 夏季空调干球温度	33.8	34	35.6
相对湿度(φ %) 夏季最热月平均相对湿度	77	83	71
露点温度 t_d (℃)	29.1	30.7	29.5
外表面温度 $t_s = t_d + 1.5$ ℃	30.6	32.2	31
表面换热系数 [W/(m ² ·℃)]	8.14	8.14	8.14
导热系数方程 [W/(m·℃)]	$0.035 + 0.00012t_m$ ① ($0.035 + 0.00022t_m$)	$0.035 + 0.00012t_m$ ($0.035 + 0.00022t_m$)	$0.035 + 0.00012t_m$ ($0.035 + 0.00022t_m$)

① t_m 为保温层的平均温度, ℃, 取管道内冷媒与管道周围空气露点温度的平均温度。

表 18.1—6~12 计算参数

表 18.1-17

表号 项目	表18.1-6	表18.1-7	表18.1-8	表18.1-9	表18.1-10	表18.1-11	表18.1-12
年运行时间 (h)	3000	8000 (常年运行)	4200 (季节运行)	3000 (季节运行)	8000 (常年运行)	4200 (季节运行)	3000 (季节运行)
环境温度 (℃)	25	12	-10	-2	12	-10	-2
计算年限 (年)	15	7	7	7	7	7	7
利 率 (%)	10	10	10	10	10	10	10
热 价 (元/10 ⁶ kJ)	35.8	4.78	5.97	5.97	4.78	5.97	5.97
表面散热系数 [W/(m ² ·℃)]	8.14	11.63	11.63	11.63	11.63	11.63	11.63
保温层单位造价 (元/m ³)	590	590 (270)	590 (270)	590 (270)	385	385	385
保温层单位造价 (元/m ²)	15	10	10	10	10	10	10

注: 括弧内为岩棉板数据。

供热管道最小保温厚度 δ_{min}

表 18.1-18

保 温 材 料	管 径 (mm)		最小保温厚度 δ_{min} (mm)
	公称直径 D_0	外 径 D	
水泥膨胀珍珠岩管壳 $\lambda_m = 0.058 + 0.0002t_m$ [W/(m·K)] $t_m = 70^\circ\text{C}$ 时 $\lambda_m = 0.0761$ [W/(m·K)]	25~65	32~73	40
	80~150	89~159	50
	200~300	219~325	60
岩棉管壳 $\lambda_m = 0.0314 + 0.0002t_m$ [W/(m·K)] $t_m = 70^\circ\text{C}$ 时 $\lambda_m = 0.0452$ [W/(m·K)]	25~32	32~38	20
	40~200	45~219	30
	250~300	273~325	40

注：1. t_m ——保温层的平均温度， $^\circ\text{C}$ ，取管道内热媒与管道周围空气的平均温度。

2. 当选用其它材料或其导热系数与表中值差异较大时，最小保温厚度应按下列式修正：

$$\delta'_{min} = \lambda'_m \cdot \delta_{min} / \lambda_m$$

式中 δ'_{min} ——修正后的最小保温厚度，mm；

δ_{min} ——表中的最小保温厚度，mm；

λ'_m ——实际选用的保温材料平均导热系数，W/(m·K)；

λ_m ——表中保温材料的平均导热系数，W/(m·K)。

3. 当实际热媒温度与管道周围空气温度之差大于 60°C 时，最小保温厚度应按下列式修正：

$$\delta'_{min} = (t_w - t_a) \delta_{min} / 60$$

式中 t_w ——实际供热热媒温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_a ——管道周围空气温度， $^\circ\text{C}$ 。

18.1.3 保护层及防潮层

保护层及防潮层的选用见表18.1-19。

保 护 层 选 用 表

表 18.1-19

保 护 层 名 称	适 用 场 合		
	室 内	室 外	地 沟
金 属 保 护 层	镀锌铁皮0.3~0.5mm厚薄板 ($\phi 200\text{mm}$ 直径以下管道宜采用0.3mm薄板)	0	0
	铝合金板0.5~0.7mm厚薄板 ($\phi 200\text{mm}$ 直径以下管道宜采用0.5mm薄板)	0	0
复 合 保 护 层	玻璃丝布 (中碱布)	0	
	复合铝箔 (宜用玻璃纤维增强，铝箔厚度为0.01~0.02mm，或纸基铝箔粘胶带)	0	
	沥青玻璃丝布油毡		0
	玻璃丝布乳化沥青涂层 (乳化沥青采用各种阴、阳离子型水乳化沥青冷涂料，如JG型沥青防水涂料)		0
	玻璃纤维增强塑料 (玻璃钢)		0

18.2 防腐处理

通风系统的防腐措施通常以防腐涂料或采用硬聚氯乙烯塑料、玻璃纤维增强塑料（玻璃钢）等为主。

18.2.1 防腐涂料

常用防腐涂料见表18.2-1, 钢板风管的推荐涂料见表18.2-2。

常用防腐蚀涂料品种

表 18.2-1

型号 标准号	涂料名称	特性和用途	备注
Y 53-1 HG ₂ -581-74	红丹防锈漆	防锈性能好, 易涂刷, 涂膜有较好的坚韧性、防水性和附着力, 且能起阳极阻蚀剂作用。对表面处理要求不高。耐温150℃以下。但干燥慢, 且有一定毒性, 易沉淀结块, 不便喷涂, 只能手工涂刷。现已逐渐被铁红酚醛底漆、铅粉铁红酚醛底漆等所代替。只适用于涂刷黑色金属, 不适用于涂刷铝、锌合金等表面	
Y 53-2 HG ₂ -780-74	铁红防锈漆	防锈性能仅次于红丹防锈漆, 附着力强。耐温150℃以下, 可用于室内外要求不高的黑色金属表面防锈打底	
SRC-A	特种带锈防锈除锈底漆	该涂料能与铁锈直接反应, 使有害的铁锈转化为稳定的络合物, 并形成封闭式牢固的保护层。同时覆盖磷酸盐钝化膜(不断产生的)树脂膜达到除锈、防锈、防腐蚀、防氧化的目的。因此该涂料可直接在带锈钢铁表面涂刷, 减免化学、机械或人工除锈工序。该涂料抗露天曝晒, 耐海水腐蚀, 耐稀酸、碱、油, 耐高温300℃, 在-30℃的低温下可照常施工使用, 并能与任何涂料配套使用	
Y 53-4 企标	铁黑防锈漆	涂刷方便, 具有良好的耐晒性和一定的防锈性能。可用于室内外钢铁结构的防锈打底	
G 06-4 HG ₂ -623-74	锌黄、铁红过氯乙烯底漆	具有一定的防锈性及耐化学性, 但附着力不强。如在60~65℃温度下烘烤2小时可增强附着力。涂刷前金属表面应除锈后先涂X 06-1磷化底漆一层。耐温60℃, 适用于钢铁表面打底	与各种过氯乙烯面漆配套使用
G 52-1 HG ₂ -625-74	各色过氯乙烯防腐漆	具有优良的耐腐蚀性、耐酸碱性、防霉、防潮性。但附着力较差, 如配套得好, 可以弥补。在60~65℃温度下烘烤2小时可增强附着力。应与过氯乙烯底漆(G 06-4)及过氯乙烯防腐清漆(G 52-2)配套使用, 喷涂在各种管道、风管等金属表面, 以防酸碱等气体侵蚀	
G 52-2 HG ₂ -626-74	过氯乙烯防腐清漆	干燥快, 有良好的防化学腐蚀性能, 耐无机酸、碱、盐类及煤油。单独使用时附着力差, 要求配套使用。耐温60℃。配套要求: 喷G 06-4一至二遍, 再喷G 52-1二至三遍, 最后喷本漆三至四遍	
F 53-4 HG ₂ -24-74	锌黄酚醛防锈漆	锌黄能使金属表面钝化, 故有良好的保护性和防锈性。适用于铝及其它轻金属构件表面涂刷, 作防锈打底用	

续表

型号 标准号	涂料名称	特性和用途	备注
F 53-8	铝粉铁红酚 醛防锈漆	漆膜坚韧,附着力强,能受高温烘烤(如装配切割,电焊火工校正等),不会产生有毒气体,其防锈性能与Y53-1红丹防锈漆相同,并有干燥快速、施工方便等优点。但耐溶剂性较差,不耐酸碱。可作防锈底漆打底涂层和金属结构防锈用	
Y03-1 HG 2-567-74 T 03-1 HG 2-781-74	各式油性调合漆 各式酚醛调合漆	耐候性较好,但干燥时间较长,漆膜较软。适用于室内外一般金属构配件表面的涂刷作保护和装饰用。T03-1比Y03-1干燥快,硬度大	
F 60-1	各式酚醛防火漆	漆膜中含有耐温颜料与防火剂,燃烧时漆膜内的防火剂受热产生烟气,能起延迟着火的作用	
X 06-1 HG 2-27-74	乙烯磷化底漆 (磷化底漆)	作为有色及黑色金属底层的防锈涂料,可起到一定的磷化作用,可增加有机涂层和金属表面的附着力,防止锈蚀,增长有机涂料的使用寿命。但不能代替一般采用的底漆。可作金属表面涂刷打底	
H 06-2 HG 2-605-76	铁红、铁黑、锌 黄环氧树脂底漆	漆膜坚硬耐久,附着力良好。如与磷化底漆配套使用,可提高漆膜的耐潮耐盐雾性能。铁红、铁黑环氧树脂底漆用于黑色金属表面打底;锌黄环氧树脂底漆用于有色金属表面打底	涂前去锈,去油后,先涂一层磷化底漆,再涂本漆
C 53-1 HG 2-25-64	红丹醇酸防锈漆	防锈性能良好,比红丹防锈漆的附着力及干燥性好。漆膜坚韧,用于钢铁等黑色金属表面打底防锈	本底漆干燥后应及时涂面漆,自干
C 53-3 企 标	锌黄醇酸防锈漆	有一定的防锈性,干燥较快。适用于铝金属及其它轻金属表面作防锈打底涂层。自干	
C 06-1 HG 2-113-74	铁红醇酸底漆	有良好的附着力和防锈能力,它与硝基、醇酸等多种面漆的结合力好。适用于一切黑色金属表面作打底用,涂膜不宜过厚,涂后最好在 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 下烘干	配套面漆: 醇酸磁漆、 氨基磁漆、 硝基磁漆、 沥青漆、过 氯乙烯磁漆等
C 06-12 企 业	铁红、锌黄醇酸底漆	对金属有较好的附着力,锌黄适用于铝、镁合金等轻金属表面打底防锈用;铁红适用于黑色金属表面。需烘干	
C 04-2 HG 2-590-74	各式醇酸磁漆	有较好的光泽和机械强度,能常温干燥,耐候性比调合漆及酚醛漆好,适合室外使用。耐水性较差,如能在 $60 \sim 70^\circ\text{C}$ 下烘烤后可提高耐水性。适宜涂刷金属表面。配套要求:先涂C 06-1醇酸底漆1~2遍,并以C 07-1醇酸腻子补平,再涂C 06-1醇酸底漆2遍,最后涂本漆	
H 52-3	各式环氧防腐漆	有一定的耐腐蚀和粘结能力。专用于要求涂刷耐腐蚀要求的金属、混凝土,贮槽等表面或用于粘结陶瓷、耐酸砖	

续表

型号 标准号	涂料名称	特性和用途	备注
F 50-1 企 标	各式酚醛耐热漆	有一定的耐稀酸性, 对抗御酸性气体腐蚀较为适宜。但不宜浸渍在稀酸溶液内。只宜用于有酸性气体侵蚀的金属、木材表面作防腐蚀用	
L 50-1 HG ₂ -587-74	沥青耐酸漆	有一定的耐硫酸腐蚀性能, 附着力良好。适用于防硫酸气体侵蚀的金属、木材表面	
F 83 1	黑酚醛烟囱漆	用于钢板烟囱及锅炉等外部表面作防锈防腐蚀用, 耐温300℃以下	
H 61-1	环氧耐热漆	有较好的耐水性、耐汽油性及耐温变性。尤以耐化学腐蚀性为好。可常温干燥, 供铝及镁合金等轻金属的防腐蚀用	
	环氧树脂漆 (有烘干型和自干型两种)	系由环氧树脂、溶剂、填料、增塑剂和颜料研磨而成。加胺固化剂后成为自干型。耐碱力强, 耐有机溶剂, 耐温寒、耐磨。但对苯、丙酮、乙醇、硝基苯、硝酸、硫酸等不耐蚀。有毒, 施工需注意	
	酚醛树脂漆	系酚醛树脂为主, 掺入不同材料配制而成, 有清漆和磁漆两种。能耐酸、碱及盐类腐蚀, 且有一定耐稀酸性能, 能抗御酸性气体, 但不耐浓磷酸、硝酸。适用于涂刷钢材表面	
	环氧沥青漆	系由*601高分子环氧树脂、煤焦油沥青、颜料、填料及溶剂等配制而成。在使用时加入一定量的胺固化剂, 漆膜有极好的抗腐蚀气体性能, 坚牢度、柔韧性都突出, 能在常温和湿度较高环境下固化成膜。但透水、透蒸汽性能很低。适用于涂刷金属、木材、水泥和混凝土表面, 室内外均可用	
自 配	生 漆	耐酸力强, 但不耐碱, 耐温<150℃, 并有耐水、耐油、耐磨等性能。粘度大, 与钢材结合强度不高, 涂刷不方便, 易中毒。稀释剂为一级汽油或95%纯度酒精等	
T 09 11	漆酚醛树脂漆 (改良生漆)	系用生漆提取漆酚缩聚, 用有机溶液稀释而成。它改善了生漆干燥慢、施工不便、易中毒等缺点, 而又保持了生漆的优良的耐腐蚀性能。目前有以下品种: 1001自干型—除具有生漆的耐化学稳定性、耐水、耐磨、耐久性外, 还具有干燥快、毒性低、不分层、不变质, 粘度小、漆膜坚固、与钢铁附着力强、施工方便等优点。耐温200~250℃。1000自干型—提高了耐碱和耐氨水性能。6001自干型—其特点是毒性更小, 干燥迅速	

钢板风管的推荐涂料

表 18.2-2

序号	风管部位及所输送的气体介质	油漆类别	油漆遍数
1	不含有灰尘且输送空气温度不高于70℃时	内表面涂防锈底漆 外表面涂防锈底漆 外表面涂面漆 (调合漆等)	2 1 2
2	不含有灰尘且输送空气温度高于70℃时	内外表面各涂耐热漆	2

续表

序号	风管部位及所输送的气体介质	油漆类别		油漆遍数
3	含有粉尘或粉屑的空气	内表面涂防锈底漆 外表面涂防锈底漆 外表面涂面漆		1 1 2
4	含有腐蚀性介质的空气	内外表面涂耐酸底漆 内外表面涂耐酸面漆		>2 >2
5	空气洁净系统: 中效过滤器前的送风管及回风管(薄铁板)	内表面	醇酸类底漆 醇酸类磁漆	2 2
		外表面	保温管—铁红底漆 非保温管— 铁红底漆 调合漆	2 1 2
6	空气洁净系统: 中效过滤器后和高效过滤器前的送风管	镀锌钢板: 一般不涂漆		
		薄钢板内表面	醇酸类底漆 醇酸类磁漆	2 2
		薄钢板外表面(保温)	铁红底漆	2
		薄钢板外表面(非保温)	铁红底漆 调合漆	1 2
7	空气洁净系统: 高效过滤器后的送风管	镀锌钢板内表面	磷化底漆 锌黄醇酸类底漆 面漆	1 2 2
		镀锌钢板外表面:	一般不涂漆	

18.2.2 硬聚氯乙烯塑料

硬聚氯乙烯塑料板耐腐蚀性能见表18.2-3。

硬聚氯乙烯塑料板耐腐蚀性能

表 18.2-3

介 质		温 度 (°C)	耐 蚀 性	介 质		温 度 (°C)	耐 蚀 性
名 称	浓 度 (%)			名 称	浓 度 (%)		
硫 酸	<90	<40	耐	盐 酸	—	70	耐
硫 酸	>90	>40	不耐	次氯酸钠	任何	65	较耐
亚 硫 酸	—	—	耐	磷 酸	100	60	耐
硫 酸 氟 钠	任何	—	耐	醋 酸	80~100	40	较耐
醋 酐	—	—	不耐	柠 檬 酸	任何	60	耐
脂 肪 酸	任何	38	较耐	氟 硅 酸	<32	60	耐
铬 酸	35	60	较耐	氢 氟 酸	60	38	耐
草 酸	任何	38	较耐	氢氧化钠	<50	<50	耐
硫 胺	任何	70	耐	甲 醇	—	—	耐
亚 硫 酸 酐	—	70	耐	甲 醛	40	60	耐
硫 硝 酸 混 合 物	稀	65	较耐	乙 醇	—	—	耐
硝 酸	<35	<40	较耐	甲 苯	—	—	不耐
硝 酸	>35	20	不耐	乙 醚	100	20	不耐
硫 酸 钠	任何	60	耐				

18.2.3 玻璃纤维增强塑料（玻璃钢）

常用的几种玻璃钢耐腐蚀性能见表18.2-4。

常用的几种玻璃纤维增强塑料耐腐蚀性能

表 18.2-4

种类		环氧玻璃纤维增强塑料	酚醛玻璃纤维增强塑料	呋喃玻璃纤维增强塑料	聚酯玻璃纤维增强塑料	
比较项目						
特点		1. 机械强度高 2. 收缩率小 3. 耐腐蚀性好 4. 粘结力强 5. 成本较高 6. 耐温性较差	1. 耐酸性好 2. 成本较低 3. 机械强度较差	1. 耐酸碱性好 2. 耐温性较高 3. 成本较低， 原料来源广泛 4. 机械强度较差 5. 性脆，与钢粘 结力差	1. 耐候性良好 2. 韧性好 3. 施工方便 (冷固化) 4. 耐温性差 5. 收缩率大	
使用温度℃		90~100	<120	<180	<90	
使用情况		使用广泛	使用一般	大部用改性呋喃玻 璃纤维增强塑料	使用较多	
耐腐蚀性能	介 质	浓度%				
	硫 酸	10	耐	耐	耐	耐
		30	较耐	耐	耐	不耐
		70	不耐	耐	耐	不耐
	盐 酸	10	耐	耐	耐	耐
		20	耐	耐	耐	较耐
		30	较耐	耐	较耐	不耐
	硝 酸	5	较耐	不耐	不耐	不耐
		10	不耐	不耐	不耐	不耐
	碳 酸 钠 醋 酸	50	较耐	不耐	耐	不耐
		10	耐	耐	耐	耐
		30	较耐	耐	耐	不耐
	磷 酸	50	耐	耐	耐	不耐
			不耐	不耐	不耐	不耐
氢 氟 酸 氟 硅 酸		不耐	不耐	不耐	不耐	
		不耐	不耐	不耐	不耐	
稀 氨 水 液 氨		耐	较耐	耐	不耐	
		耐	耐	耐	不耐	
苯 胺		不耐	耐	耐	不耐	
		不耐	耐	耐	耐	
甲 醇		耐	耐	耐	耐	
		耐	耐	耐	耐	
氢氧化钠	10	耐	不耐	耐	耐	
	30	较耐	不耐	耐	耐	
	50	不耐	不耐	耐	耐	

第十九章 暖通专业设计说明范例

19.1 暖通专业初步设计说明

1. 设计气象参数

(1) 地理纬度: 北纬 $\underline{\quad}$ ° $\underline{\quad}$ '

(2) 大气压力: 冬季 $P_d = \underline{\quad}$ hPa

夏季 $P_x = \underline{\quad}$ hPa

(3) 室外计算干球温度:

冬季供暖 $t_{wn} = \underline{\quad}$ °C

冬季空调 $t_{wk} = \underline{\quad}$ °C

冬季通风 $t_{wf} = \underline{\quad}$ °C

夏季空调 $t_{wg} = \underline{\quad}$ °C

夏季通风 $t_{wf} = \underline{\quad}$ °C

(4) 夏季空调室外计算湿球温度 $t_{ws} = \underline{\quad}$ °C

(5) 冬季空调室外计算相对湿度 (最冷月月平均相对湿度) $\varphi = \underline{\quad}$ %

(6) 冬季最多风向及其频率: $\underline{\quad}$

(7) 冬季最多风向的平均风速: $\underline{\quad}$ m/s

(8) 冬季室外平均风速: $\underline{\quad}$ m/s

(9) 最大冻上深度: $\underline{\quad}$ cm

2. 设计范围和要求

本工程包括 $\underline{\quad}$ 等建筑物 (或房间) 的供暖、通风、空调、 $\underline{\quad}$ 系统的设计, 各项目 (房间) 的设计内容如下表所示:

序号	项目 (房间) 名称	设计内容				
		供暖	通风	空调	制冷	防排烟
1						
2						
3						
⋮						
⋮						

注: 表中标注有“√”者为需要进行设计的内容。

3. 供暖设计

(1) 供暖房间的室内计算干球温度, 分类给出如下表所示:

序号	房间名称或类别	计算温度(°C)
1		
2		
3		
⋮		
⋮		

(2) 供暖负荷估算

序号	建筑(房间)名称	面积 (m ²)	供暖指标 (W/m ²)	供暖负荷 (W)
1				
2				
3				
⋮				
⋮				
⋮				

(3) 供暖热媒采用_____, 由_____集中供应; 在建筑物的供暖入口处, 装置_____设备。

(4) 供暖方式采用_____管_____式, 供_____干管敷设在_____, 回水干管敷设在_____。

(5) 散热器选用_____型, 每_____的标准散热量($\Delta T = 64.5^{\circ}\text{C}$)为_____W; 散热器表面刷_____。

(6) 供暖管道 全部采用碳素钢管, 公称直径 $DN \geq 50\text{mm}$ 者, 采用无缝钢管(GB 8163—87); $DN < 50\text{mm}$ 者, 采用普通焊接钢管(GB 3092—82)。

供暖总立管和敷设在地沟、屋顶间层、非供暖房间内的管道, 均进行保温处理; 保温材料采用_____管壳。

(7) 热水垂直单管串联系统的跨越管与散热器供水水平支管的接合点处, 装置三通调节阀(手动式), 以确保上下层之间室温的均匀。

(8) 供暖管路系统中的最高点和最低点, 分别设置自动排气和手动泄水装置。

(9) 油漆

保温管道 在表面除锈后，刷防锈底漆两遍。

明装非保温管道 在表面除锈后，刷防锈底漆一遍，干燥后再刷银粉漆或耐热色漆两遍。

4.通风与除尘设计

(1) 本工程的_____等房间的生产（试验）过程中，放散_____等有害物，详细情况如下表所示。

序号	房间名称	生产过程	放散有害物名称	备注
1				
2				
3				
⋮				
⋮				

(2) 治理措施 详见下表所示。

序号	有害物名称	允许浓度 (mg/m ³)	治理方式及措施	排放浓度 (mg/m ³)
1				
2				
3				
⋮				
⋮				

(3) 通风（除尘）系统的划分。

系统编号	排风点	有害物名称	排风量 (m ³ /h)	系统总 排风量 (m ³ ·h)	净化设备			通风机			电动机		备注	
					型号	规格	数量	型号	规格	数量	型号	功率 (kW)		数量
P-1														
P-2														
⋮														
⋮														
⋮														

(4) 为了平衡排风带走的风量和热量, 配置了以下送风系统。

系统编号	负担的排风系统	送风量 (m ³ /h)	送风机			电动机			过滤器			加热器			备注
			型号	规格	数量	型号	功率(kW)	数量	型号	规格	数量	型号	规格	数量	
S-1															
S-2															
⋮															
⋮															
⋮															

(5) 风管采用_____加工制作, 其厚度规定如下表所示。

圆风管直径或矩形风管大边长(mm)	钢板		玻璃钢		聚氯乙烯	不锈钢
	一般风管	除尘风管	圆风管	矩形风管		
100~200	0.50	1.50	1.0	1.5	3.0	0.50
220~500	0.75	1.50	1.5	2.0	4.0	0.50
530~1400	—	2.00	—	—	—	—
560~1120	1.00	—	2.0	2.5	5.0	0.75
1250~2000	1.20~1.50	—	3.0	3.5	6.0	1.00
1500~2000	—	3.00	—	—	—	—

(6) 非镀锌的钢板风管及配件, 均刷防锈底漆一遍、色漆两遍。

5. 空调、制冷设计

(1) 室内设计条件

序号	房间名称	温度(°C)		相对湿度(%)		噪声声级(dB)A	洁净度等级或含尘浓度(mg/m ³)	平均风速(m/s)	
		冬季	夏季	冬季	夏季			冬季	夏季
1									
2									
3									
⋮									
⋮									
⋮									

(2) 空调设计负荷估算

序号	房间名称	面积 (m ²)	供暖		供冷	
			热指标 (W/m ²)	热负荷 (W)	冷指标 (W/m ²)	冷负荷 (W)
1						
2						
3						
⋮						
⋮						

(3) 空调系统的划分与组成

系统编号	服务房间名称	送风量 (m ³ /h)	设计负荷 (W)		空调形式	气流组织方式	机房位置
			冬季	夏季			
K-1							
K-2							
K-3							
⋮							
⋮							

(4) 空调设备选择

a. 空调机组

系统编号	机组型号	风量 (m ³ /h)	供冷量 (W)	供热量 (W)	余压 (Pa)	输入功率 (kW)	数量 (台)	备注
K-1								
K-2								
K-3								
⋮								
⋮								

b. 风机盘管机组

c. 组装式空调机

d.

⋮

⋮

(5) 风管 采用_____加工制作。

(6) 油漆 所有非镀锌的金属件, 外表面均需除锈并刷防锈底漆两遍; 非保温件表面, 尚需刷色漆两遍。

(7) 保温 所有冷、热设备及敷设在非空调房间内的风管, 均以_____进行保温。

(8) 空调水系统

a. 冷水供水温度为_____℃, 回水温度为_____℃; 热水供水温度为_____℃, 回水温度为_____℃。

b. 水系统设计为闭(开)式机械循环, 冷水和热水输送, 冬夏季使用同一条管道。

c. 供水管道全部采用碳素钢管, 公称直径 $DN < 50\text{mm}$ 者, 应用普通焊接钢管(GB3092—82); $DN \geq 50\text{mm}$ 者, 应用无缝钢管(GB8163 87); $DN \geq 250\text{mm}$ 者, 应用螺旋焊接钢管(SYB10004-63)。

d. 冷、热水管道、蒸发器、换热器等, 均采用_____进行保温; 保温前, 先除去表面铁锈, 然后刷防锈底漆两遍。

e. 循环水泵的选择

型号	流量 (m^3/h)	压力 (Pa)	转速 (r/min)	电动机		数量 (台)	备注
				型号	功率 (kW)		

f. 水管路系统中的最高点和最低点, 分别设置自动排气和手动泄水装置。

g. 循环水泵的进、出水管上, 装置减振接头、闸阀(或蝶阀)、压力表、温度计; 进水管上还装有Y型过滤器。

(9) 制冷机选择

型号	冷凝温度 ($^{\circ}\text{C}$)	蒸发温度 ($^{\circ}\text{C}$)	冷却水			制冷水			制冷量 (W)	电动机		数量 (台)
			进水 ($^{\circ}\text{C}$)	出水 ($^{\circ}\text{C}$)	水量 (m^3/h)	进水 ($^{\circ}\text{C}$)	出水 ($^{\circ}\text{C}$)	水量 (m^3/h)		型号	功率 (kW)	

(10) 空调制冷系统的自动控制, 详见控制原理图。

6.防火、排烟及防烟设计

(1) 通风和空调系统送、回风管道的下列部位，均设置防火阀：

- 穿越防火分区的隔墙和楼板处。
- 穿越沉降缝或变形缝处（两侧设置）。
- 竖风道与各层水平支风管的连接处。

(2) 防烟楼梯间及其前室，设有机械加压送风，送风量为____ m^3/h 。前室的送风量系根据_____原则确定，送风量为____ m^3/h 。加压送风机设于_____。

楼梯间的加压送风口，每间隔__层设置一个；前室则每层均设。风口平时处于____状态，发生火灾时，通过_____启动加压风机。

(3) 走道采用_____排烟，排烟量按____ m^3/h 计算。排烟风机设置在_____。在任何一个排烟口自动（或手动）开启时，排烟风机即自动启动。当烟气温度升高至 $280^{\circ}C$ 时，排烟风机入口处的排烟防火阀自动关闭，风机也同时停止运行。

(4) 加压送风和排烟系统的通风机选择

系统号	通 风 机					电 动 机		数量 (台)	备 注
	型号	转速 (r/min)	全压 (Pa)	流量 (m^3/h)	转向	型号	功率 (kW)		
JY 1									
JY 2									
JY 3									
⋮									
⋮									

(5) 地下室排烟

系统号	服 务 房 间 名 称	排烟量 (m^3/h)	备 注
PY 1			
PY 2			
PY 3			
⋮			
⋮			
⋮			

(6) 所有排烟口均受烟（温）感器控制，并与排烟风机联锁。

7.主要设备和材料明细表

序号	名称	规格型号	单位	数量	备注
1					
2					
3					
⋮					
⋮					

19.2 供暖工程施工图设计说明

1. 供暖室外计算温度: $t_{wn} = \underline{\hspace{2cm}}$ °C。
2. 室内计算温度

序号	房间名称	计算温度(°C)	备注
1			
2			
3			
⋮			
⋮			

3. 本项目供暖建筑面积为 $\underline{\hspace{2cm}}$ m², 供暖热负荷为 $\underline{\hspace{2cm}}$ W, 建筑平面热指标 $q = \underline{\hspace{2cm}}$ W/m²。

4. 建筑物共设 $\underline{\hspace{1cm}}$ 个供暖入口, 各入口的热负荷 Q (W) 和压力损失 (蒸汽系统时为入口压力) ΔP 为:

- R1 $Q_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ W; $\Delta P_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ Pa;
 R2 $Q_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ W; $\Delta P_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ Pa;
 R3 $Q_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ W; $\Delta P_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ Pa;
 ⋮
 ⋮

5. 供暖热媒采用 $\underline{\hspace{2cm}}$, 由 $\underline{\hspace{2cm}}$ 集中供应。供暖入口处, 设置有 $\underline{\hspace{2cm}}$ 装置, 安装方法详见 $\underline{\hspace{2cm}}$ 图集。

6. 散热器选用 $\underline{\hspace{2cm}}$ 型 $\underline{\hspace{2cm}}$ 散热器, 每 $\underline{\hspace{2cm}}$ 的散热面积为 $\underline{\hspace{2cm}}$ m², 标准散热量 ($\Delta T = 64.5^\circ\text{C}$) 为 $\underline{\hspace{2cm}}$ W。

7. 散热器表面应在除锈后刷（喷）防锈底漆一遍，干燥后再刷（喷）非金属性面漆两遍。

8. 供暖方式为__管__式。供暖干管敷设在____，回水干管敷设在____。干管的坡度 $i \geq 0.003$ ，坡向见设计图。

9. 供暖管道采用碳素钢管，公称直径 $DN < 50\text{mm}$ 者，应用普通焊接钢管； $DN \geq 50\text{mm}$ 者，应用无缝钢管。具体规格如下表所示：

公 称 直 径		外 径 × 壁 厚 (mm)	应 用 标 准	
(mm)	(in)			
10	3/8	17.0 × 2.25	GB3092—82	
15	1/2	21.3 × 2.75		
20	3/4	26.8 × 2.75		
25	1	33.5 × 3.25		
32	1 1/4	42.3 × 3.25		
40	1 1/2	48.0 × 3.50		
50	2	57.0 × 3.50		
65	2 1/2	73.0 × 3.50		
80	3	89.0 × 4.00		GB8163—87
100	4	108.0 × 4.00		
125	5	133.0 × 4.00		
150	6	159.0 × 4.50		
200	8	219.0 × 6.00		
250	10	273.0 × 6.50		

10. 散热器的配管，应严格按照设计图中指定的详图进行。水平支管严禁反坡。

11. 设计图中所注的管道安装标高，均以管底为准。

12. 所有阀门的位置，应设置在便于操作与维修的部位。回水立管上、下部的阀门，务必安装在平顶下和地面上便于操作维修处。

13. 明敷回水干管和连接散热器的水平支管，遇到凸出墙面的柱子时，应__安装。

14. __层的散热器上，均安装手动冷风阀（DN3），该阀的位置应设于散热器的__。

15. 系统图中未标注管径的立、支管，其管径均为DN15。

16. 管道系统的最低点，应配置DN25泄水管并安装同口径闸阀或蝶阀。管道系统的最高点，应配置__型（式）自动排气阀。

17. 供暖总立管、敷设在非供暖房间、地沟、屋顶间和楼梯间内的供暖及回水管道，均采用__进行保温，保温层厚度为__mm，保温层外部做__保护层，做法参见国标87R411。

18. 管道上必须配置必要的支、吊、托架，具体形式由安装单位根据现场实际情况确定，做法参见国标88R420。

19. 油漆 油漆前先清除金属表面的铁锈，对于

(1) 保温管道: 刷防锈底漆两遍。

(2) 非保温管道: 刷防锈底漆两遍, 耐热色漆或银粉漆两遍。色漆颜色一般应与室内墙壁一致。

注: 为了省去费工费事的除锈工作, 推荐采用 SRC A 型特种带锈防锈除锈底漆, 代替通常的红丹防锈底漆 (陕西省咸阳市兴暖工业总公司生产)。

20. 冲洗 供暖系统安装竣工并经试压合格后, 应对系统反复注水、排水、直至排出水中不含泥砂、铁屑等杂质, 且水色不浑浊方为合格。

21. 试调 系统经试压和冲洗合格以后, 即可进行试运行和调试。调试的目的是使各环路的流量分配符合设计要求, 所以, 以各房间的室内温度与设计温度相一致或保持一定的差值方为合格。

22. 其它各项施工要求, 应严格遵守《采暖与卫生工程施工及验收规范》(GBJ242—82) 的有关规定。

19.3 空调制冷工程施工图设计说明

1. 主要设计气象参数

(1) 空调室外计算干球温度

冬季 $t_{wk} = \underline{\hspace{2cm}}$ °C

夏季 $t_{wg} = \underline{\hspace{2cm}}$ °C

(2) 夏季空调室外计算湿球温度 $t_{ws} = \underline{\hspace{2cm}}$ °C。

(3) 冬季空调室外计算相对湿度 (最冷月月平均相对湿度) $\varphi = \underline{\hspace{2cm}}$ %。

(4) 大气压力

冬季 $P_d = \underline{\hspace{2cm}}$ hPa;

夏冬 $P_x = \underline{\hspace{2cm}}$ hPa。

2. 空调房间的设计条件

序号	夏季			冬季			新风量 (m ³ /h)	噪声声级 NC (dB) A	空气中 含尘量 (mg·m ⁻³)
	温度 (°C)	相对湿度 (%)	平均风速 (m/s)	温度 (°C)	相对湿度 (%)	平均风速 (m/s)			
1									
2									
3									
⋮									
⋮									

3. 空调系统的划分与组成

系统编号	服务房间	送风量 (m ³ /h)	设计负荷 (W)		空调方式	气流组织形式
			夏季	冬季		
K-1						
K 2						
K 3						
⋮						
⋮						

4. 本项目空调建筑总面积为_____m², 夏季设计冷负荷为_____W, 冬季设计热负荷为_____W, 建筑平面冷指标为_____W/m², 建筑平面热指标为_____W/m²。

5. 空调系统的设计运行工况

系统编号	参数名称		单位	不同工况时的运行参数							
室外	干球温度		℃								
	湿球温度		℃								
室内	干球温度		℃								
	相对湿度		%								
新风量			m ³ /h								
一次回风	混合点温度		℃								
	混合点焓值		J/kg								
	回风量		m ³ /h								
二次回风	混合点温度		℃								
	混合点焓值		J/kg								
	回风量		m ³ /h								
冷却处理后的状态	温度		℃								
	相对湿度		%								
供水情况 (冷水、热水、循环水)											
加热处理后的状态	一次加热后温度		℃								
	二次加热后温度		℃								
加湿量			kg/h								
送风状态	温度		℃								
	相对湿度		%								

6. 风管

(1) 设计图中所注风管的标高,对于圆形时,以中心线为准;对于方形或矩形时,以风管底为准。

(2) 风管材料采用_____制作,厚度及加工方法,按《通风与空调工程施工及验收规范》(GBJ243—82)的规定确定。

(3) 当设计图中未标出测量孔位置时,安装单位应根据调试要求在适当的部位配置测量孔。测量孔的做法见国标T 615。

(4) 穿越沉降缝或变形缝处的风管两侧,以及与通风机进、出口相连处,应设置长度为200~300mm的人造革软接;软接的接口应牢固、严密。在软接处禁止变径。

(5) 风管上的可拆卸接口,不得设置在墙体或楼板内。

(6) 所有水平或垂直的风管,必须设置必要的支、吊或托架,其构造形式由安装单位在保证牢固、可靠的原则下根据现场情况选定,详见国标T 616。

(7) 风管支、吊或托架应设置于保温层的外部,并在支吊托架与风管间镶以垫木,同时,应避免在法兰、测量孔、调节阀等零部件处设置支吊托架。

(8) 安装调节阀、蝶阀等调节配件时,必须注意将操作手柄配置在便于操作的部位。

(9) 安装防火阀和排烟阀时,应先对其外观质量和动作的灵活性与可靠性进行检验,确认合格后再行安装。

(10) 防火阀的安装位置必须与设计相符,气流方向务必与阀体上标志的箭头相一致,严禁反向。

(11) 防火阀必须单独配置支吊架。

(12) 敷设在非空调空间里的送、回风管,均以_____进行保温,厚度为_____mm。保温层外部覆以_____保护层,做法见国标T 613和87R412。

7. 制冷机

(1) 冷源选用_____型_____机组共_____台。冷源服务的建筑面积为_____m²,装机容量指标为_____W/m²。

(2) 制冷机的设计运行工况及各项参数

冷机号	冷凝温度 (°C)	蒸发温度 (°C)	制 冷 水			冷 却 水		
			初温 (°C)	终温 (°C)	水量 (m ³ /h)	初温 (°C)	终温 (°C)	水量 (m ³ /h)
R 1								
R 2								
⋮								

(3) 制冷机组的清洗、安装、试漏、加油、抽真空、充加制冷剂、调试等事宜,应严格按照制造厂提供的《使用说明书》进行;同时,还应遵守《制冷设备安装工程施工及验收规范》(GBJ66—84)和《机械设备安装工程施工及验收规范》(TJ231(五)-78)以及其它有关规范、标准中的各项规定。

8. 冷水系统

- (1) 冷水系统采用__式机械循环。
- (2) 图中所注管道标高, 均以管底为准。
- (3) 管材: 采用碳素钢管, 具体规定如下:

公称直径		外径×壁厚 (mm)	应用标准
mm	in		
10	3/8	17.0×2.25	GB3092—82
15	1/2	21.3×2.75	
20	3/4	26.8×2.75	
25	1	33.5×3.25	
32	1 $\frac{1}{4}$	42.3×3.25	
40	1 $\frac{1}{2}$	48.0×3.50	
50	2	57.0×3.50	
65	2 $\frac{1}{2}$	73.0×3.50	GB8163—87
80	3	89.0×4.00	
100	4	108.0×4.00	
125	5	133.0×4.00	
150	6	159.0×4.50	SYB10004—63
200	8	219.0×6.00	
250	10	273.0×6.50	
300	12	325.0×7.50	
350	14	377.0×9.00	
400	16	426.0×9.00	
450	18	480.0×9.00	
500	20	530.0×9.00	

(4) 水管路系统中的最低点处, 应配置 $DN = 25\text{mm}$ 泄水管, 并配置相同直径的闸阀或蝶阀。在最高点处, 应配置 $DN = 15\text{mm}$ __式自动排气阀。

(5) 管道支吊架的最大跨距, 不应超过下表给出的数值。

公称直径 (mm)	最大跨距 (m)	公称直径 (mm)	最大跨距 (m)
15~25	2.0	250	8.0
32~50	3.0	300	8.5
65~80	4.0	350	9.0
100	4.5	400	9.5
125	5.0	450	10.0
150	6.0	500	11.0
200	7.0	600	12.0

(6) 管道活动支、吊、托架的具体形式和设置位置,由安装单位根据现场情况确定,做法参见国标88R 420。

(7) 管道的支、吊、托架,必须设置于保温层的外部,在穿过支、吊、托架处,应镶以垫木。

(8) 冷水供、回水管、集管、阀门等,均需以岩(矿)棉或玻璃棉管壳(导热系数 $\lambda < 0.06 \text{ W/m}\cdot\text{C}$)进行保温。保温层的厚度:当 $DN \leq 50 \text{ mm}$ 时, $\delta = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$; $DN > 50 \text{ mm}$ 时, $\delta = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$ 。

保温层外部,覆以_____保护层,做法见国标87R 412。

注:当采用带铝箔复合层的管壳时,可以不再做保护层。

(9) 冷水管道穿越墙身和楼板时,保温层不能间断;在墙体或楼板的两侧,应设置夹板,中间的空间,应以松散保温材料(岩棉、矿棉或玻璃棉)填充。

(10) 与水泵连接的进、出水管上,必须设置减振接头,接头选型,详见设计图纸。

(11) 每台水泵的进水管上,应安装闸阀或蝶阀、压力表和Y型过滤器;出水管上应安装止回阀、闸阀或蝶阀、压力表和带护套的角型水银温度计。

(12) 安装水泵基座下的减振器时,必须认真找平与校正,务必保证基座四角的静态下沉度基本一致。

(13) 管道安装完工后,应进行水压试验。试验压力按系统顶点工作压力加 0.1 MPa 采用,但不得小于 0.3 MPa ,在 5 min 内压降 $> 20 \text{ kPa}$ 为合格。

注:水系统水压试验时,若系统低点的压力大于所能承受的压力时,应分层进行水压试验。

(14) 经试压合格后,应对系统进行反复冲洗,直至排出水中不夹带泥砂、铁屑等杂质,且水色不浑浊时方为合格。在进行冲洗之前,应先除去过滤器的滤网,待冲洗工作结束后再行装上。管路系统冲洗时,水流不得经过所有设备。

9. 热水系统

(1) 热媒采用_____℃热水,回水温度为_____℃。由设置于_____内的_____式换热器集中提供,经循环水泵输送至各空调换热设备。

(2) 水路系统设计为_____管制,冷水和热水_____使用_____管路。

(3) 换热器选用_____型_____式,传热面积为_____ m^2 。

(4) 换热器及与其相连的供热管道,均以岩(矿)棉进行保温,厚度为_____ mm ,保温层外部做_____保护层,做法详见国标87R 411。

10. 油漆

(1) 保温风管、冷水管道、设备等,在表面除锈后,刷防锈底漆两遍。

(2) 不保温的风管、金属支吊架、排水管等,在表面除锈后,刷防锈底漆和色漆各两遍。

注:1. 采用镀锌钢板时可以不刷漆。

2. 对于风管,必须内外均刷防锈底漆。

3. 为了省去除锈工序,推荐采用 SRC-A 型特种带锈防锈除锈底漆(陕西省咸阳市兴平兴暖工业总公司生产)。

11. 调试和试运行 空调制冷系统安装竣工并经试压、冲洗合格以后,应进行必要的清扫。

上述工作全部完成后,即可投入试运行,进行测定与调整,主要内容有:

(1) 单机试运转 水泵、通风机、空调机组、制冷机等设备,应逐台启动投入运转,考核检查其基础、转向、传动、润滑、平衡、温升等的牢固性、正确性、灵活性、可靠性、合理性等。

(2) 系统的测定与调整

a. 测定通风机的风量、风压;

b. 按“动压(或流量)等比法”调整系统的风量分配,确保与设计值相一致;

c. 风量调整好以后,应将所有风阀固定,并在调节手柄上以油漆刷上标记。

(3) 冷(热)态调试

a. 考核并测定加热器、冷却器、喷水室、加湿器、热交换器、制冷机等设备的能力。

b. 按不同的设计工况进行试运行,调整至符合设计参数。

c. 测定与调整室内的温度和湿度,使之符合设计规定数值。

(4) 自控系统的调整

将各个自控环节逐个投入运行,按设计要求调整设定值,逐一检查,考核其动作的准确性与可靠性。必须调整至各项控制指标符合设计要求。

(5) 综合调试

根据实际气象条件,让系统连续地运行不少于24h,并对系统进行全面检查、调整,考核各项指标,以全部达到设计要求为合格。

以上调试过程,应做好书面记录。

12. 其它各项施工要求,应严格遵守《通风与空调工程施工及验收规范》(GBJ243—82)的有关规定。

厂 名 录

厂 名	主 要 产 品	邮 编	地 址	电 话
北京市散热器厂	“三叶牌”钢制串片(闭式)散热器; 钢制板式散热器; 钢制扁管型散热器; 钢制柱型散热器	100036	北京市海淀区复兴路51号	811192
北京昌平长城空气净化设备工程公司	TKJ型亚(中)高效空气过滤器; 宽式、柜式新风净化机; 管道式空气净化机; 管道式亚(中)高效空气过滤段; 密闭排风器	100083	北京市海淀区花园路3号3号院	201758*
北京清华人工环境工程公司	供热、空调、制冷工程专用的QHRH分布式微机控制系统; RH C系列数字式传感器。	100084	北京清华大学暖通空调调试实验室	2552451-2746
北京冷冻机厂	水冷、风冷柜式空调机, 恒温恒湿机; DSH计算机房专用空调机; DHD低温型空调机; RCG热泵除湿干燥机; 单、双效溴化锂吸收式制冷机	101149	北京通县半壁店大街23号	9542895
北京市华都换热设备厂	BR型板式换热器	100091	北京市海淀区永丰乡六里屯	2581828
北京自动化仪表厂	DPW采暖、热水控制器; ZLJ智能流量积算器; RZK热力站自动控制系统; PEM800系列暖通空调仪表	100034	北京市西城区阜内大街306号	661716
北京青云仪器厂	FP型风机盘管及配套产品; KLG新风机组; ZK空气处理机; 卫生间排风扇; 空气幕; 各类风口、调节阀、防火阀、排烟阀	100086	北京市北三环西路43号	2562330
沈阳市热力器材厂	WZ系列卧式自动排气阀; SZP型散热器自动排气阀	110011	沈阳市沈河区大南街大佛寺巷27号	812834
哈尔滨市第三空气调节机厂	JW、JK型装配式金属空调器; ZKC新风机组; 热空气幕; 暖风机; 矿井加热器; SRL型散热器	150070	哈尔滨市道里区工农大街267号	63473
辽宁试验设备厂	S系列活塞式制冷压缩机, 压缩冷凝机组; LD空调设备; 高低温试验设备; 湿热试验设备; 高低温低气压试验设备	110026	沈阳市铁西区北四平路26号	453539
大连冷冻机厂	100、125、170、250系列活塞式制冷压缩机及附属设备; ZLK型组合式冷库、冷藏库、气调冷藏库; 制冰设备、小型民用制冰设备	116033	大连市沙河口区春柳街1号	641686
沈阳市良工阀门厂	对夹式衬胶蝶阀; 对夹式蝶型止回阀; 内螺纹蝶阀	110041	沈阳市大东区大北关街71号	850707
大连锅炉厂	DZW工业蒸汽锅炉; RSL、RSW、DZW工业热水锅炉	116021	大连市沙河口区成仁街246号	402956

续表

厂名	主要产品	邮编	地址	电话
哈尔滨第二空气调节机厂	JW型装配式、ZK组合式空调机; ZKC新风空调机组; BK型、GK型空调机; 空气幕; 冷风机; SRL型散热器	150046	哈尔滨市动力区电塔街9号	53215
沈阳人民风机厂	离心通风机及防爆型、高压型; 排尘通风机; 轴流通风机; 锅炉鼓、引风机; 玻璃钢风机	110024	沈阳市于洪区洪泽湖街5号	553040
沈阳市净化仪器厂	M型、WM型初中效空气过滤器; GB型高效空气过滤器; JB系列局部空气净化机组; JH型净化恒温恒湿机组; LB型立式净化空调器	110024	沈阳市大东区小东路三段生产里6号	447705
沈阳冷暖风机厂	ZK组合式空调器; 暖风机; 空气幕; NVA船用空调器; 螺旋风管	110015	沈阳市东陵区南塔街129巷14号	393102
沈阳市通用机械研究所暖通空调设备厂	TWK卧式金属空调器; TXF新风机组; 热风幕; 暖风机; SRZ、SRL型散热器; 空调柜; 各种除尘器	110005	沈阳市和平区玉屏二路27号	377991
弗·泰格金属波纹管有限公司	仪表波纹管; 压力软管; 波纹膨胀节; 焊接波纹管; 波纹片式膨胀器	110014	沈阳市沈河区十二纬路61号	24310
太原三通阀门总厂	T1W-10A型散热器三通调节阀; T1W-10型散热器异径四通调节阀	030002	太原市北城区金刚里	343213
张家口市第二机床厂	Dg25~Dg600球形补偿器	075000	张家口市桥东美人沟街3号	3429
太原新华化工厂净化器材分厂	LX系列过滤吸收器; L或ZL初中效过滤器; L型滤尘器; GL型高效、亚高效过滤器	030008	太原市迎新街	359492
天津市东方机械厂	CZL重型链条除渣机, 有上链除渣和下链除渣两大系列	300200	天津市河西区东楼前庄二条12号	803688
河北省枣强县水暖厂	TZ型灰铸铁柱型散热器及其配件	053100	河北省枣强县马屯镇	4593
河北省冀县暖气片厂	TZ系列和TX系列铸铁柱型散热器及其配件; 圆翼型散热器	053200	河北省冀县冀新大街100号	2128
河北徐水胜利特种橡胶厂	8501型阻燃型密封胶带, 用做风道法兰连接垫料	072550	河北徐水县坟台	徐水105
西安市暖通器材厂	GZ钢柱型散热器; TZ型灰铸铁散热器; XN型三通调节阀	710043	西安市万寿南路3号	332667
甘肃省甘南换热器厂	BR系列板式换热器	747102	甘肃省甘南州合作镇人民东街13号	2534
航空航天部秦岭电气公司	FL-09风幕, FL-12风幕	713107	陕西省兴平县	2801
新疆天山锅炉厂	SZL型蒸汽锅炉、低温热水锅炉、中温热水锅炉、高温热水锅炉	830038	乌鲁木齐市乌拉泊	54227

续表

厂名	主要产品	邮编	地址	电话
兰州岩棉制品厂	岩棉板; 岩棉保温带; 岩棉管壳; 玻璃布缝毡	730079	兰州市安宁区元台子408号	67411
西安建华暖气设备厂	钢串片闭式散热器; 钢管柱式散热器	710082	西安市劳动路太和庄1号	43234
西安市长安消防设备厂	F-2型防火阀; PH Z型排烟防火阀; P J型排烟阀; PK-J型排烟阀; SK-J型送风口	710014	西安市星火路3号	61560
成都市中和暖通设备厂	钢制闭式串片散热器; 钢制闭式铝串片散热器 钢制柱式散热器	610212	成都市外东中和镇新中街38号	
重庆市玻璃纤维厂	超细玻璃棉、酚醛树脂超细玻璃棉及其制品棉毡、板、管壳等。吸音板、玻纤布及各种玻璃钢制品	630082	重庆市大渡口区庾家坨	22382
重庆通用机器厂	各种离心式通风机、工业用高压离心式通风机; BF型R 11,R 12离心式制冷机	630021	重庆市江北区玉带山1号	750466
成都市蜀新通风净化设备厂	XZA、XZB系列消声器; TN、TMW系列空调消声器; SF型新风净化机组; 设备减振台座; 双室式隔声罩, 除尘器	610063	成都外东琉璃沙河大桥侧	445221
大邑县玻璃钢制品厂	玻璃钢制离心通风机、轴流风机、通风柜及管道; 酸雾净化塔	611330	四川大邑县城西黄土桥	2531
贵阳第二鼓风机厂	M型电站风机; 各种通用、防腐、防爆离心式通风机和轴流风机; 锅炉鼓引风机	550006	贵阳市金竹镇	551036
重庆冷冻机厂	L、LD、H型立柜式空调机; LF、LFD、HF型立柜式空调机 船用、陆用空调冷水机组	630021	重庆市江北区南桥寺	751006
成都双流华阳试验设备风柜厂	玻璃钢制轴流通风机、离心通风机及屋顶风机; 玻璃钢制槽、罐、水箱及管道; 酸雾净化塔	610213	成都市双流县华阳镇下河坝	42169
长沙散热器厂	G II、SRZ、U、S、I型空气热交换器; 2 II、TZ系列散热器; QSH系列汽水混合加热器; O型、GS型、I型暖风机	410005	长沙市南郊冯家村	26994
武汉专用汽车厂	QLT系列普通型、普通低噪音型、中温型、中温低噪音型、高温型、高温低噪音型玻璃钢冷却塔	430065	武汉市武昌白沙洲堤后街51号	871362
郑州纺织空调设备厂	生产纺织系统用的全套除尘、通风、空调配套设备	450007	郑州市建设路西头	448428
湖北武昌锅炉容器厂	WCG电站锅炉; 工业蒸汽锅炉、热水锅炉; 压力容器	430208	武汉市金口	877013
郑州市高山水暖器材厂	CS型疏水器; 注水器、水位计、安全阀和各种阀门	450135	郑州市荥阳	62355

续表

厂名	主要产品	邮编	地址	电话
焦作市水暖器材厂	TZ型灰铸铁散热器; GZ型钢制柱式散热器; 钢串片散热器	454150	河南省焦作市建设西路	2122
河南省沈丘县建筑材料厂	GZ、TGZ、KGZ、GGZ钢制柱型散热器; GF复合式散热器; YGD型充油电热取暖器; 钢串片散热器	466334	河南沈丘县留福镇	2240
开封市柳园水暖器材厂	各种补偿器; CR系列散热器; 整体式热交换机组; JDZ真空除氧器	475021	开封市北门外牛庄	23042
桂林市空调机厂	LFD分体式、LD水冷式、LFD风冷式柜式空调机; H、HF恒温恒湿机; CF空气除湿机	541002	桂林市雄山路15号	335952
河南省郑州蝶阀厂	A型对夹式蝶阀DN10~2400	450400	郑州市荥阳县东郊	821556
湖北除尘设备厂	各种布袋除尘器; 电除尘器; 冲激式除尘器; 一、二类压力容器	433100	湖北省潜江市东风路23号	42762
武汉空调器厂	FP系列风机盘管; ZK系列组合式空调器; BFP系列新风机组; 空气幕及各种风口	430023	武汉市汉口友谊路113号	353254
武汉建筑设备配件厂	各种散流器、百叶、格栅风口、条型风口; 各种风阀门、消声器	430015	武汉市汉口新华下路附52号	567452
长沙市暖通设备厂	GL、SRZ、S、U、B、I型工业用散热器; TZ、Z型钢串片闭式散热器; OSH系列汽水混合加热器; GS、Q型暖风机	410006	长沙市溁湾路99号	82197
长沙通产日用机具厂	PH系列防火阀; PY排烟阀; 各类风阀; CK型散热器; SRZ型散热器; Y型水过滤器	410002	长沙市上六铺街21号	552017
上海市青浦县淀山湖减振器厂	ZT型、DB型弹簧减振器; JD型橡胶减振器; GD型橡胶挠性接管	201749	上海市青浦县商榻镇	9712712
上海市平板玻璃厂	黄色离心玻璃棉制品; 套管、玻璃棉板、玻璃棉条毡; 有带铝箔贴面和不带铝箔贴面两种	200011	上海市南汇周浦镇新马路4号	375164
同济大学机电厂	HF12B立柜式分体恒温恒湿机组; LF12B风冷冷风机; H15型恒温恒湿空调机组	200092	上海四平路1239号	5455080 2306
慈溪市空调设备厂	FP系列风机盘管; 新风机组; 组装式空调器; 柜式空调器; DB型低温冷柜; 冷风机; 冷藏库	315324	浙江省慈溪市周巷镇	41809
上海冷气机厂	水冷、风冷立柜式冷风机; 冷热风机; 恒温恒湿机; 空调机; 风冷热泵式空调机; LS、LSB型冷水机组	200070	上海市共和新路1301号	6625030
杭州富阳空调设备厂	FP系列风机盘管; 低噪声柜式空调器; TKX系列变风量控制箱; ZK组合式空调器; 空气幕; 各种风口	311100	杭州市郊富阳县城	22335

续表

厂名	主要产品	邮编	地址	电话
宜兴市分水噪声治理设备厂	ZAS消声器; BF型消声弯头	214262	江苏省宜兴市分水镇	705076-183
余姚捷丰空调设备有限公司	FP型风机盘管、柜式空调机; ZKT、MDK型装配式空调机; RC130模块化冷水机组; DF低噪声风机	315400	浙江省余姚市新建北路62号	26786
靖江县通风专用设备厂	各种离心风机、轴流风机; 防爆除尘机组; 各种风口、散流器、调节阀; 各种消声器、消声弯头	214522	江苏省靖江县孤山镇	22553
南京冷冻机总厂	水冷、风冷型柜式冷风机、恒温恒湿机; 低温型恒温恒湿机; 除湿机; 多台压缩机组合冷水机组; 压缩冷凝机组; 特种空调机组	210007	南京市光华门石门坎115号	642807
春兰制冷设备有限公司	小型家用空调器、窗式空调器; 分体挂壁式、落地式空调器; 恒温恒湿机; 除湿机	225300	江苏省泰州市口泰路7号	22224
扬州市启达防火设备厂	FH型防火调节阀; FYH防烟防火阀; PY型排烟阀; PYFH型排烟防火阀; 板式排烟口; 多叶排烟口、送风口	214500	江苏靖江县新建路通港路	24258
靖江县暖通器材厂	JN型齿轮调节阀; 各类风口; 消声器、消声弯头; 各种调节阀; JN系列纺织空调设备	214500	江苏省靖江县车站路110号	22079
无锡县风机厂	单相、三相工业壁扇、工业落地扇; 低噪音轴流风机	214174	无锡北外堰桥镇	491343
泰兴动力机械厂	TMU船用空调; TGU陆用空调; MEU船用中央通风机组; TRU船用布风器; L型离心通风机	225442	江苏省泰兴县过船港码头	634611 56
太仓县采暖空调设备厂	JKD系列卧式空调器; XKT系列新风机组; BFP系列变风量空调器; KL型家用空调器; GL、SRZ型散热器	215435	江苏省太仓县呼楼镇	561562
无锡工业锅炉厂	DZL、SZL快装蒸汽、热水锅炉; WNS、QXR燃油(气)锅炉; SZL发电蒸汽锅炉	214023	无锡市南长街516号	554161
江苏省宜兴市铝材厂	铝串片散热器; 各种风机盘管; 民用系列空调器; 热交换器	214255	江苏省宜兴市杨巷镇	705051 439
江苏省溧阳市纺织空调设备厂	ZLT系列组合式冷却塔; HLX型空气洗涤室及附件	213365	江苏省溧阳市西门外汤桥镇	
张家港市空调电器厂	TK系列恒温恒湿控制柜; SWZ系列温湿度调节仪; ZWK组装式空调器; ZGK柜式空调器	215617	江苏省张家港市乘航镇南	222389
上海通惠开利空调设备有限公司	42系列风机盘管; 40系列柜式空调器; 39F中央空气处理装置; BFP变风量空调器	201400	上海市奉贤县南桥镇	7417081
济南市压力容器厂	BFS系列汽水热交换器、水水热交换器; S型、BKU系列容积式热交换器; QR系列汽水混合加热器; 一、二类压力容器	250022	济南市段店南路	663858

续表

厂名	主要产品	邮编	地址	电话
扬州市空调净化设备总厂	PB型、YZ型组装式空调器; YE型整装式空调器; YL、LB型立柜式空调器; 吸附过滤净化装置及各种空调配件	214522	江苏省靖江县孤山镇北首	24528
温州市龙湾出口工业区管道阀门厂	SG型水过滤器; QG型汽过滤器; YG型油过滤器	325013	浙江省温州市龙湾区白楼下	31790
常州市玻璃钢空调器厂	CK型玻璃钢空调器; BFP型玻璃钢新风机组	213023	常州市西郊北港镇	334877
江苏省宜兴市实验设备厂	FFG系列玻璃钢排风柜; 各种实验工作台; 玻璃钢离心风机、轴流风机; 实验槽	214214	江苏省宜兴市高塍镇东街	宜兴、高塍 192
宁波空调器厂	KC系列窗式空调器; KCD系列窗式空调器; KFL分体立柜式空调器	315040	浙江省宁波市百丈东路38号	32259
浙江省湖州市马腰弹力减振器厂	TJ系列减振器; 橡胶挠性接管; 各类设备减振基座	313009	浙江省湖州市东郊马腰镇	
南通昆仑空调工业公司	KK系列组合式空调机; KKA系列组合式空调机; KKL系列立式空调机; KKK系列新风机组; KKK净化空调	226008	江苏省南通市金通路井栏庙西首	516572
扬州市空调净化设备一厂	PB型空调器; YZ型卧式空调器; YE型整装空调器; YS组装式空调器; YL、YB立式空调器; 高效过滤器	214522	江苏省靖江县孤山北首	22897
江阴市溴化锂制冷机厂	单效溴化锂吸收式制冷机; 双效溴化锂吸收式制冷机; 热水型溴化锂吸收式制冷机	214414	江苏省江阴市利港镇	887686
宜兴市空调设备厂	TX型定风量、TXB型变风量框板组装卧式空调机组; ZGDX系列微穿孔板消声器	214255	江苏省宜兴市杨巷镇	705051
上虞风机厂	HTF系列高温排烟风机; SWF系列混流风机; 冷却塔、冷库专用风机; 纺织空调风机; GJL空气冷却器	312351	浙江省上虞县上浦镇	24416
南通市玻璃钢厂	玻璃钢离心风机、轴流风机、屋顶风机; 玻璃钢空调机; 玻璃钢废气处理塔	226008	江苏省南通市人民东路小石桥北首	516609
上海界风空调设备厂	EW-WZK系列空调器; DBK空调器; BFP变风量空调器; FP风机盘管; SG型冷风机; SR五级人防设备	201417	上海市奉贤县胡桥镇西工业区	7456541

续表

厂名	主要产品	邮编	地址	电话
江西赣州水泵厂	IS型清水离心泵; IR型热水循环泵; DA型泵; D型多级泵; DG型锅炉给水泵; G型管道泵	341000	江西省赣州市	222359
江苏省靖江县空调表冷器厂	各种风口、散流器、消声器、蝶阀; YA型余压阀; JKP型油烟过滤排风罩; 各种表冷器, 加热器	214500	江苏靖江县靖城镇康宁路96 2号	24722 380
温州市状元水暖机械厂	RA型卧、立两用自动排气阀; ZDA型散热器及风机盘管用自动排气阀; Y型汽、水、油过滤器	325011	浙江省温州市状元新街龙腾路	352069
江淮空调器公司	KC型小型家用空调器; KCR、KCD、KCRD型窗式空调器; KFRD型分体式空调器; LF、RF单元系列空调器	230035	合肥市蜀山路61号	335818

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

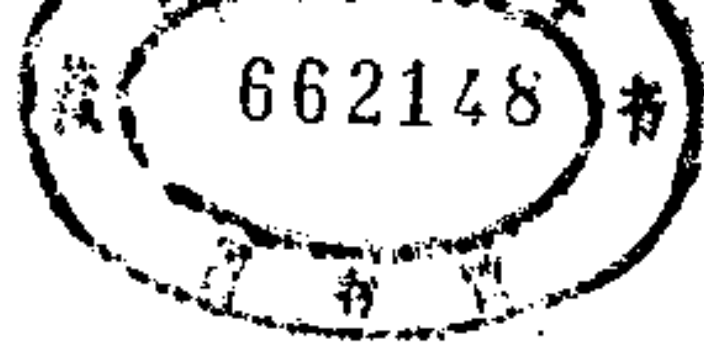
主要参考书目与文献

- [1] 中华人民共和国国家标准:《采暖通风与空气调节制图标准》GBJ114—88, 1988年。
- [2] 杜荷聪、陈维新编《法定计量单位宣贯手册》, 国防工业出版社, 1984年。
- [3] 杜荷聪、陈维新等编《计量单位及其换算》, 计量出版社, 1982年。
- [4] 陆耀庆主编《供暖通风设计手册》, 中国建筑工业出版社, 1987年。
- [5] 中华人民共和国建设部标准:《民用建筑热工设计规程》(试行) JGJ24—86, 1986年。
- [6] 中华人民共和国国家标准:《民用建筑热工设计规范》(报批稿), 1989年。
- [7] 西安冶金建筑学院、重庆建筑工程学院等编《建筑物理》, 中国建筑工业出版社, 1984年。
- [8] [日] 山田雅士著《建筑绝热》, 中国建筑工业出版社, 1987年。
- [9] 庄严编《建筑热工设计手册》, 1988年。
- [10] 中华人民共和国国家标准:《采暖通风与空气调节设计规范》GBJ19—87, 1989年。
- [11] 《暖通空调设计规范专题说明选编》, 中国计划出版社, 1990年。
- [12] 李勇: 热水采暖设计中调压板的计算问题, 《1988年全国暖通空调制冷学术年会论文集》。
- [13] 哈尔滨建筑工程学院、天津大学等编《供热工程》, 中国建筑工业出版社, 1985年。
- [14] 中国建筑科学研究院建筑设计研究所等编《民用建筑采暖通风设计技术措施》, 中国建筑工业出版社, 1983年。
- [15] 中国建筑西南设计院、中国建筑西北设计院等编《供热通风空调制冷设计技术措施》, 1982年。
- [16] 《火力发电厂采暖通风除尘设计手册》, 水利电力出版社, 1979年。
- [17] 《钢铁企业采暖通风设计参考资料》, 冶金工业出版社, 1979年。
- [18] 中华人民共和国国家标准:《工业“三废”排放试行标准》, GBJ4—73, 1973年。
- [19] 中华人民共和国国家标准:《人民防空地下室设计规范》, GBJ38—79(试行), 1980年。
- [20] 《工业企业设计卫生标准》, TJ36—79, 中国建筑工业出版社, 1980年。
- [21] 陈秉林、侯辉主编《供热、锅炉房及其环保设计技术措施》, 中国建筑工业出版社, 1989年。
- [22] 航天部第七设计研究院编《工业锅炉房设计手册》, 中国建筑工业出版社, 1984年。
- [23] 中华人民共和国劳动人事部编《蒸汽锅炉安全技术监察规程》, 劳动人事部锅炉压力容器安全杂志社, 1987年。
- [24] 湖北工业建筑设计院主编《建筑工程设计文件编制深度的规定》(试行), 建设部批准, 1984年。
- [25] 中华人民共和国国家标准:《建筑设计防火规范》, GBJ16—87, 1988年。
- [26] 中华人民共和国国家标准:《高层民用建筑设计防火规范》, GBJ45—82(试行), 1983年。
- [27] 华东地区及上海市建筑设计标准化办公室编《华东地区工业锅炉房工程选集》, 1984年。
- [28] 锅炉房设计规范修订组:《锅炉房设计规范》, (报批稿)(GBJ41—), 1990年。
- [29] 哈工大热能工程教研室编《小型锅炉房设计与改装》(第二版), 科学出版社, 1987年。
- [30] 武汉水利电力学院电厂化学教研室编《热力发电厂水处理》, 水利电力出版社, 1985年。
- [31] 解鲁生编著:《锅炉水处理及水分析》, 科学出版社, 1989年。
- [32] 低压锅炉水处理编辑部:《锅炉给水处理》。
- [33] 唐世杰: 低压锅炉炉内加药水处理的计算、经济性及适用性, 《工业锅炉技术》, 1982. 8.
- [34] 侯辉编《凝结水回收利用》, 机械工业出版社, 1986年。

- [35] 中国建筑西北设计院编《动力管道设计资料集》，1972年。
- [36] 第五机械工业部第六设计院：《动力管道设计手册》，1978年。
- [37] 上海医药工业设计院：《拱形管道设计与施工》，1970年。
- [38] 唐世杰：供热调节方案及其图解，1987年全国热能动力第四届学术年会论文。
- [39] 河南开封柳园水暖器材厂：《YTB-A型一次性套管式补偿器》，1991年。
- [40] 张家口第二机床厂：《球形补偿器机构在热力管道上的应用》，1991年。
- [41] 高层民用建筑设计防火规范修订组编《高层民用建筑设计防火规范》（预审稿），1990年。
- [42] 许禄申：论高层建筑通风空调与防排烟设计，《暖通空调》，1989年第2期。
- [43] 饶文德编译《高层建筑中中庭的防排烟》，1987年。
- [44] 国客昌：高层民用建筑防烟楼梯间和消防电梯防烟方式的探讨，1982年。
- [45] 机械工业部标准：《机械工厂采暖通风与空气调节设计技术规定》（试行），JB110-83，1986年。
- [46] 第四机械工业部第十设计研究院主编《空气调节设计手册》，中国建筑工业出版社，1983年。
- [47] 同济大学暖通教研室编《空气调节》，1984年。
- [48] [日]井上宇市：《空气调节手册》，中国建筑工业出版社，1986年。
- [49] 现代空调编辑部编《现代空调》，上海科学技术出版社，1988年。
- [50] 清华大学、同济大学等编《空气调节》，中国建筑工业出版社，1981年。
- [51] [英]D.J. 克鲁姆、B.M. 罗伯茨著：《建筑物空气调节与通风》，中国建筑工业出版社，1982年。
- [52] [美]F.C. 麦奎斯顿、J.D. 派克著《采暖通风与空气调节》，中国建筑工业出版社，1981年。
- [53] 中国建筑学会暖通空调委员会、中国制冷学会第五专业委员会：《1984年学术年会论文集》，1984年。
- [54] 中国建筑学会暖通空调委员会、中国制冷学会第五专业委员会：《1986年学术年会论文集》，1986年。
- [55] 中国建筑学会暖通空调委员会、中国制冷学会第五专业委员会：《1988年学术年会论文集》，1988年。
- [56] 中国建筑学会暖通空调委员会、中国制冷学会第五专业委员会：《1990年学术年会论文集》，1990年。
- [57] [美]G. Nussbaum等：《制冷中的节能》，上海交通大学出版社，1987年。
- [58] 中国建筑学会暖通空调委员会等：《全国空调设备现状与发展学术讨论会论文汇编》，1987年。
- [59] 李亭寒、华诚生等编著：《热管设计与应用》，化学工业出版社，1987年。
- [60] 廖传善等编著：《空调设备与系统节能控制》，中国建筑工业出版社，1988年。
- [61] 文耀普、郭舜：重力热管内换热的实验研究，第三届中国空间热物理会议，1982年。
- [62] 庄骏、徐文政等：热管换热器的设计计算，《化工炼油机械》，1981.3。
- [63] 潘荣璋、徐昂干：圆翅片管的最佳外形，《上海机械学院学报》，1981年第三期。
- [64] 《热管设计研究与工程应用》，科学技术文献出版社重庆分社，1981年。
- [65] 重庆大学热管科研组：《热管基础及其应用》，科学技术文献出版社重庆分社，1977年。
- [66] 钱以明编著《高层建筑空调与节能》，同济大学出版社，1990年。
- [67] 汪毓瑶：空调用冷冻水系统的节能探讨，《暖通空调》，1987.6。
- [68] 孙格非：冷水管道阻力计算，《制冷技术》1983年。
- [69] 钱以明：空调变水量系统的能耗分析，《制冷学报》，1986.2。
- [70] 孙格非：热回收回路的热工计算方法及其性能分析，《广东制冷》，1985.1。
- [71] 上海工业建筑设计院汇编：《国内宾馆空调实例》，1983年。
- [72] [日]日本建筑学会：《建筑设计资料集成》（6）1977年。
- [73] 邹月琴等：分层空调热转移负荷计算方法的研究，《暖通空调》，1983年第3期。
- [74] 邹月琴等：分层空调气流组织计算方法的研究，《暖通空调》，1983年第2期。
- [75] 李志浩：高大建筑物分层空调系统选择，《制冷》，1985年第1期。
- [76] 日本空气调和·卫生工学会编《空气调和·卫生工学便览》（11版）。
- [77] 中华人民共和国机电部标准：《风机盘管机组》，ZBJ72，1991年。

- [78] 杨纯华等:《分层空调气流组织设计方法》,1982年。
- [79] 殷平:《国内外空调用换热器的现状与发展》,1989年。
- [80] 李志浩:《天津第一机床厂分层空调设计》,1980年。
- [81] 胡兴邦、郭茂和:储水式空调系统评估方法说明及系统效率之测试,台湾《中华水电冷冻空调》,1988年4月, No. 56。
- [82] 射場本忠彦等:冰蓄熱空調システムに関する一連の研究開発,《空気調和・衛生工学》,第61卷第12号。
- [83] 射場本忠彦等:冰蓄熱空調システムの開発,《空気調和・衛生工学》,第60卷第10号。
- [84] 中华人民共和国国家标准:《洁净厂房设计规范》,GBJ73-84,1985年。
《洁净厂房设计规范》条文说明,1985年。
- [85] 措施编制组编《空气洁净技术措施》,中国建筑工业出版社,1979年。
- [86] [日]何德林等译《空气净化技术手册》,电子工业出版社,1985年。
- [87] 中国电子学会洁净技术编辑部:《洁净技术》,1988年第1、2、3、4期。
- [88] 第四机械工业部第十一设计院:《洁净设计手册》,1980年。
- [89] 许钟麟著:《空气洁净技术原理》,中国建筑工业出版社,1983年。
- [90] [苏]И. Л. 柯帕里扬诺夫:《洁净室技术》,中国建筑工业出版社,1976年。
- [91] 马大猷等编《声学手册》,科学出版社,1983年。
- [92] 建筑声学设计手册编写组:《建筑声学设计手册》,中国建筑工业出版社,1987年。
- [93] 项瑞祈编《空调制冷设备消声与隔振实用设计手册》,中国建筑工业出版社,1990年。
- [94] 章奎生:系列化消声器的设计与应用,《噪声与振动控制》,1982年第1期。
- [95] 吕玉恒等编《噪声与振动控制设备选用手册》,机械工业出版社,1988年。
- [96] [日]板本守正著《空调设备消声设计》,中国建筑工业出版社,1981年。
- [97] 严济宽:《机械振动隔离技术》,上海科学技术文献出版社,1986年。
- [98] 赵鸿章译《动力机械和易振设备隔振设计及计算规程》,建筑工程出版社,1959年。
- [99] 林守勤等译《动载荷机器作用下的建筑物承重结构设计及计算规程》,冶金工业出版社,1957年。
- [100] 昆明工学院主编《机械工程手册》(第21篇),机械工业出版社,1978年。
- [101] 隔振设计手册编写组:《隔振设计手册》,中国建筑工业出版社,1986年。
- [102] 隔振设计规范编写组:《隔振设计规范》(报批稿),1988年。
- [103] 周邦宁等编著《空调用离心式制冷机》,中国建筑工业出版社,1988年。
- [104] 杨磊编著《制冷原理与技术》,科学出版社,1988年。
- [105] 北京制冷学会《制冷与空调设备手册》编委会:《制冷与空调设备手册》,国防工业出版社,1987年。
- [106] 《制冷工程设计手册》编写组:《制冷工程设计手册》,中国建筑工业出版社,1982年。
- [107] 赵廷元等编著《热力管道设计手册》,山西科学教育出版社,1986年。
- [108] 日本菱和调温工业株式会社:《空调、卫生技术手册》,1981年。
- [109] 湖北工业建筑设计院《冷藏库设计》编写组:《冷藏库设计》,中国建筑工业出版社,1980年。
- [110] 陈沛霖、岳孝芳主编《空调与制冷技术手册》,同济大学出版社,1990年。
- [111] 毛华仁:关于室内装配式冷库冷负荷计算的看法,《上海制冷学会1989年年会论文集》。
- [112] 贵州省建筑设计院主编《食堂小冷库选用图集》,1991年。
- [113] 全国通用建筑标准设计:《低温设备及管道保温》,87R412-1。
- [114] [罗]瓦·马留诺尤等著《调节阀》,烃加工出版社,1985年。
- [115] 施俊良著《室温自动调节原理和应用》,中国建筑工业出版社,1983年。
- [116] 施俊良著《调节阀的选择》,中国建筑工业出版社,1988年。
- [117] 西安冶金建筑学院等编《热工测量与自动调节》,中国建筑工业出版社,1983年。

- [118] 中华人民共和国国家标准:《冷库设计规范》, GBJ72-84, 1984年。
- [119] 中华人民共和国国家标准:《输送流体用无缝钢管》, GB8163-87, 1988年。
- [120] 中华人民共和国国家标准:《低压流体输送用焊接钢管》, GB3092-82, 1983年。
- [121] 中华人民共和国国家标准:《挤制铜管》, GB1528-79, 1980年。
- [122] 中华人民共和国国家标准:《采暖与卫生工程施工及验收规范》 GBJ242-82, 1983年。
- [123] 中华人民共和国国家标准:《通风与空调工程施工及验收规范》 GBJ243-82, 1983年。
- [124] 中华人民共和国国家标准:《制冷设备工程施工及验收规范》, GBJ66-84, 1984年。
- [125] 《机械设备安装工程施工及验收规范》, TJ231(五)-78, 第五册 压缩机、风机、泵、空气分离设备安装, 中国建筑工业出版社, 1979年。
- [126] [日] 中原信生著《建筑和建筑设备的节能》, 中国建筑工业出版社, 1990年。
- [127] 中华人民共和国国家标准:《组合式空调机组》(征求意见稿), 1991年。
- [128] 中华人民共和国国家标准:《空气冷却器与空气加热器标准》(征求意见稿), 1991年。
- [129] 李松寿、徐世琼等编著《制冷原理与设备》上海科学技术出版社, 1988年。
- [130] 商业部冷藏加工企业管理局编《冷库制冷技术》, 中国财政经济出版社, 1980年。
- [131] 上海市经委节能办公室等编《风机水泵调速节能手册》, 机械工业出版社, 1987年。
- [132] 周谟仁主编《流体力学泵与风机》, 中国建筑工业出版社, 1985年(第二版)。
- [133] [苏] B. M. 托尔戈弗尼科夫等编著《工业通风设计手册》, 中国建筑工业出版社, 1987年。
- [134] 李娥飞: 气流组织设计参考资料, 暖通规范组编印。
- [135] P. J. Jackman: HVRA Laboratory report No. 81, Air movement in rooms with ceiling-mounted diffusers, 1973.
- [136] P. J. Jackman: HVRA Laboratory report No. 81, Air movement in rooms with ceiling-mounted diffusers, supplement A (Design procedure for circular diffusers) and supplement B (Design procedure for linear diffusers), 1973.
- [137] W. P. Jones: Air conditioning engineering. 1973.
- [138] W. P. Jones: Air conditioning applications and design. 1980.
- [139] F. Porges: Handbook of heating ventilating and air conditioning. Eighth edition, 1982.
- [140] A. R. Trott: Refrigeration and air conditioning. 1981.
- [141] Editor A. F. C. Sherratt: Air conditioning system design for buildings. 1983.
- [142] ASHRAE HANDBOOK 1985 & 1989 Fundamentals.
- [143] ASHRAE HANDBOOK 1982, 1986. Applications.
- [144] ASHRAE HANDBOOK 1983 Equipment.
- [145] ASHRAE HANDBOOK 1984, 1987 Systems.
- [146] Carrier air conditioning company: Handbook of air conditioning system design. Thirteenth Printing. Taiwan, 1984.
- [147] Roger W. Haines: HVAC Systems design Handbook. 1988.
- [148] G. F. Carlson: Pump energy savings for hydronic systems, 《Heating/Piping/Air conditioning》 1974. 7.
- [149] G. F. Carlson: Hydronic systems; Analysis and evaluation (Part I ~ VI) 《ASHRAE Journal》. 1968~1969.
- [150] R. W. Haines: Control system for heating ventilating and air conditioning, 1977.
- [151] ISO 7730:《Moderate thermal environments- determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort》.
- [152] ISO 7726:《Thermal environments-specification relating to appliances and methods for measuring



physical characteristics of the environment).

- [153] ASHRAE Standard 55-1981: «Thermal environmental conditions for human occupancy».
- [154] ASHRAE Standard 62-1981: «Ventilation for acceptable indoor air quality».
- [155] Rishel. J. B. ; Selecting pumps for secondary chilled water systems, «Heating/Piping/Air conditioning» April. 1974.
- [156] Anderson G. W. ; Water pressure booster system selection, «Heating/Piping/Air conditioning» Vol. No.1 1963.
- [157] Allen Trask; The design principles for air to air heat pumps, «ASHRAE Journal», July 1977.
- [158] Otto. J. Nussbaum; Air source heat pump with frost free outdoor coil, IIR Congress paper E1.6, Moscow, 1975.
- [159] Whitehead. Roley; The heat pump for heat recovery systems, ASHRAE Symposium paper, Dallas, 1976.
- [160] J. R. Harnish; A new concept in refrigerant control for heat pumps, IIR Conference paper, Cleveland, Ohio, May, 1966.
- [161] L. L. Vasiliev; Low temperature heat pipe, 5th Inter. heat pipe conference, 1984.
- [162] K. Itoh; Heat pipe research and development in Japan, 5th Inter. heat pipe conference, 1984.
- [163] Hans Granum; Energy conservation in buildings, Stockholm, 1980.
- [164] A. F. C. Sherratt; Energy conservation and energy management in buildings, London, 1976.
- [165] Carrier; A Guide to ice storage system design.
- [166] Manual of acceptable practices for ASHRAE Standard 90-75, 1980.
- [167] Design and evaluation criteria for energy conservation in new buildings. National bureau of standards 1976.
- [168] Johnson Contro Inc. HVAC Controls application handbook.
- [169] Landis & GYR: «HVAC Application manual for control systems».
- [170] Landis & GYR: «HVAC Controls short form catalogue 1986/87».
- [171] Tour & Andersson PTY Ltd. «Balancing valves for hydronic heating & cooling systems».
- [172] SMACNA: HVAC Duct construction standards. 1985.
- [173] Carrier; System design manual, 1973.
- [174] Trane; Air conditioning manual, 1986.
- [175] Nils R. Grimm etc. Handbook of HVAC design, 1990.
- [176] ASHRAE «Transactions» 1990 Volume 96, Part 1.
- [177] Б. В. Баркалов, Е. Е. Карнис: «Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях», Москва, 1982.
- [178] Г. В. Русланов, М. Я. Розкин, Э. Л. Ямпольский: «Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий проектирование справочник», КИЕВ, 1983.