

# 冷库设计与管 理

时 阳 朱兴旺 姬鹏先 李春艳 编著

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

中国农业科学技术出版社

# 前 言

随着人民生活水平的提高,农业、商业和服务业的快速发展,物流速度加快和地域范围拓展,对保持食品等易腐物品内在质量和原有外观的要求愈来愈高,食品安全的重要性也日益突出。冷藏是保持食品新鲜和风味的最佳方法,不仅方法合理,技术成熟,而且成本低廉。因此,冷藏在保证食品质量安全、调节供需、淡旺季供应及运输均衡等方面有重要作用。在冷链设备中,各类冷库是最重要的设备,已广泛的应用于生产和生活。

本书对冷库设计基础、冷库建筑、隔热与防潮隔汽设计、库房冷负荷计算、制冷系统设计、气调冷库、冷库自动控制和运行管理等内容进行了较全面、深入的叙述。在内容上注重基本概念、基本理论和基本方法,突出学以致用,内容翔实,叙述扼要实用,通俗易懂。本书是在长期授课所用讲义的基础上,根据多年的教学经验和学生在学习过程中的反馈,进行改编、修订而成,包括冷库的生产流程和冷加工工艺、食品冷冻冷藏基础与原理、冷库建筑布置和基本结构、冷间设计、隔热与防潮隔汽设计、冷负荷计算、制冷系统与管路设计、冷库用制冷设备、气调贮藏和气调库、冷库自动控制及其器件、制冷系统安全保护等内容。力图对冷库设计进行清晰、扼要的阐述。

本书适用于制冷及低温技术、食品冷冻冷藏、农产品加工与贮藏、水产品加工与贮藏等专业的本科教学使用,在略去 1.3 节、3.2 节中围护结构的热惰性部分和 3.4 节的内容后,也适用于高职高专制冷与空调类专业学生。它也可作为热能动力类其他专业方向、建筑类专业、机械类专业的选修课教材,或供从事制冷工程设计、运行及管理技术工作的专业人员参考。

本教材由郑州轻工业学院制冷教研室编著,第 1 章执笔人为时阳教授、李春艳工程师,第 2、6 章为姬鹏先工程师,第 3、4、5 章为朱兴旺副教授,第 7、8 章为李春艳工程师。全书架构和统稿由时阳教授负责。虽然编者长期从事教学工作,并有多年的冷库工程和制冷设备设计实践经验,但由于水平所限,想必有许多欠妥和谬误之处。对于书中的不足,恳请读者指正。

编 者

2005.12

# 目 录

<b>1 冷库设计基础知识</b> .....	( 1 )
1.1 冷库的分类.....	( 1 )
1.2 冷库设计的主要内容.....	( 2 )
1.3 食品冷冻冷藏的生物与化学的理论基础.....	( 5 )
1.4 食品冷冻冷藏原理.....	( 23 )
1.5 食品冷加工工艺简介.....	( 26 )
<b>2 冷库建筑设计</b> .....	( 32 )
2.1 建筑布置.....	( 32 )
2.2 土建库房结构.....	( 43 )
2.3 装配式库房结构.....	( 60 )
2.4 冷间设计.....	( 67 )
2.5 其他建筑.....	( 74 )
<b>3 隔热设计</b> .....	( 79 )
3.1 隔热材料.....	( 79 )
3.2 隔热计算.....	( 83 )
3.3 防潮隔汽层.....	( 88 )
3.4 防潮隔汽计算.....	( 90 )
<b>4 库房冷负荷设计</b> .....	( 95 )
4.1 计算温湿度.....	( 95 )
4.2 冷负荷计算.....	( 99 )
4.3 冷间冷却设备与制冷系统冷负荷计算.....	( 107 )
<b>5 制冷系统设计</b> .....	( 111 )
5.1 管路设计.....	( 111 )
5.2 氨系统设计.....	( 122 )
5.3 卤代烃系统设计.....	( 133 )
5.4 制冷系统的安装与试运转.....	( 136 )
<b>6 气调冷库设计</b> .....	( 142 )
6.1 气调贮藏.....	( 142 )
6.2 气调设备与附件.....	( 148 )
6.3 气调库密封要求.....	( 152 )
6.4 气体测控仪器仪表.....	( 155 )
<b>7 冷库自动控制</b> .....	( 158 )
7.1 运行控制及其器件.....	( 158 )
7.2 设备的安全保护.....	( 175 )
<b>8 冷库运行管理</b> .....	( 182 )

8.1 冷库运行管理综述 .....	(182)
8.2 冷库的运行操作管理 .....	(184)
8.3 安全管理 .....	(190)
参考文献 .....	(195)

获取更多资料 微信搜索蓝领星球



# 1 冷库设计基础知识

## 1.1 冷库的分类

冷库有不同种类，不同种类的冷库有不同的设计要求。按照不同的分类方法，冷库可分为不同的种类。

### 1.1.1 按冷库的使用性质分类

**生产性冷库：**主要是建在被冷却物品产地附近，货源较集中的地区和渔业基地。通常是作为肉类联合加工厂、禽蛋加工厂、鱼品加工厂、乳品加工厂、蔬菜加工厂、果品加工厂、各类食品厂等工厂的一个组成部分，配有较大的冻结能力、冷却能力和一定的冷藏能力，被冷却物品在此进行冷加工后，可经过短期贮存即运往分配性冷库或大批量销售，可以长期贮存。由于它的特点是进行大批量的冷加工并可能需供应冰，所以通常设有冻结、冷却、冻结物冷藏、冷却物冷藏、制冰和贮冰等各类冷间。

**分配性冷库：**主要建在大中城市、货物集散地和交通枢纽，专门贮存经过冷加工的物品，以调节市场淡旺季节供应，对市场进行调控。它的特点是用于多品种且入库前已经冻结的物品或冷却物品，因此不需要很大的冻结能力，冻结间一般仅用来冻结少量物品或对运输过程中软化的部分物品进行回冻，冷藏容量大且分间多。这类冷库进货集中，出货批量可大可小，库区应与铁路、公路、码头相通，以保证运输通畅。

**服务性冷库：**一般是零售商店或较大食堂的自备冷库。服务性冷库的特点是库容小，仅数十至二千立方米；所贮存的货物品种多样，贮存期很短，仅数日到数周。冻结能力可有可无，冻结与冻结物冷藏可以不分间。这类冷库主要用来贮存当日销售余货、批发进货的临时贮存、调剂生活日常储备。

**中转性冷库：**指建在渔业基地的水产冷库，其冻结能力特别大，冷藏满足数日贮存即可。主要作用是在冷藏船、车的配合下起中间转运、集中货源批量外运、调拨的作用。

**综合性冷库：**它起生产性冷库、分配性冷库、中转性冷库的多重作用，这类冷库有相当大的冻结和冷却能力，又有较大的冷藏库容量。由于目前冷库的使用性质越来越模糊，经营越来越灵活，综合性冷库也日益增多。

### 1.1.2 按建筑特点分类

冷库按建筑结构特点可分为两大类，即土建库和组合库。

**土建库的库体**是由基础、混凝土构架、围护结构等组成，我国商业企业的生产性冷库和分配性冷库绝大部分是土建库。它的优点是发展历史长，各方面都很成熟，有成功的经验可以借鉴；易于建成多层建筑，适于需要大库容的场合；建筑寿命长，在使用维护得当的情况下，可使用数十年；建筑物热惰性大，库内温度波动小，停电时可较长时间维持库温。土建库属于固定式建筑。

**装配式冷库**又称组合库，其库体由金属构架、隔热板与防护层等组成。建设时，全部（或大部分）部件在工厂预制成型，在现场仅需组合装配，是半固定或移动式建筑。它的特点是土建施工工作量小，施工周期短，建设速度快；建成后维护简单，工作量小；金属构架

可与自动货架相结合，可实现全自动使用管理。这种库近年来发展很快，国外近 15 年来新建的小型冷库几乎全部是装配库。在我国，服务性冷库大多是小型组合库，沿海地区部分新建中小型生产性冷库也采用这种形式。

从工程造价考虑，在国外小型土建库造价明显高于装配库，大型库二者相近。在国内小型土建库造价高于装配库，而大中型土建库造价低于装配库。根据我国国情，在目前 200m<sup>3</sup> 以下的小型冷库，组合库优于土建库。特别是 80m<sup>3</sup> 以下的小冷库应全部采用装配库，而大中型冷库则应尽量采用土建库，以减少工程投资。

### 1.1.3 按冷库的温度分级分类

目前我国习惯上将土建库的温度分成两级，即库温高于零度的高温库与库温为 -18℃ 的低温库。从技术经济观点分析，冷库按温度范围分为多级较为合理。目前国外一般将冷库根据库温分成四级，这样既能满足存放不同种类货物的要求，又能降低造价。

装配式冷库通常是按温度范围进行分级，我国的室内用装配式冷库专业标准 ZBX99003-86 对库温的分级规定见表 1-1，日本对冷库按温度进行分级的状况见表 1-2。

表 1-1 我国室内用装配式冷库的温度分级

库温等级代号	L	D	J
库内温度 (°C)	-5 ~ +5	-18 ~ -10	-23

表 1-2 日本装配式冷库的温度分级

级 别	超 SA	SA (F)	A (C1)	B (C2)	C (C3)
库内温度 (°C)	-30 以下	-20 ~ -30	-10 ~ -20	-2 ~ -10	+10 ~ -2

### 1.1.4 按规模分类

在我国通常将冷库规模分成四类，见表 1-3。大型与中型冷库通常都配套有制冰能力和贮冰容量。水产生性冷库的制冰能力常与冻结能力相当，贮冰容量一般与冷藏容量相等。对于肉类生产性冷库，制冰能力则为冻结能力的 1/4，贮冰容量则为冷藏容量的 1/40 左右。

表 1-3 冷库规模的习惯分类

分 类	冷藏容量 (t)	冻结能力 (t/d)		
		肉类生产性冷库	水产生性冷库	分配性冷库
大型	≥ 10 000	120 ~ 160	300 ~ 500	40 ~ 80
中型	3 000 ~ 10 000	80 ~ 120	200 ~ 300	40 ~ 60
中小型	500 ~ 3 000	30 ~ 80	80 ~ 160	10 ~ 40
小型	≤ 500	5 ~ 30	10 ~ 80	≤ 10

## 1.2 冷库设计的主要内容

冷库设计是一项较复杂的工程设计，包括总体设计、建筑设计、结构设计、制冷设计、给排水设计、动力设计、照明设计等诸多方面，制冷设计只是其中一个部分。

### 1.2.1 设计的主要步骤

由于冷库设计分为初步设计、扩大的初步设计和施工图设计等几个阶段，且需要多个专业

密切配合，只有按合理的设计步骤进行，才能将各专业设计结合起来，保证设计的正确，完成高质量的设计。

#### 1.2.1.1 基础资料

进行冷库制冷设计时，需搜集并作为设计依据的基础资料有以下几项，这些基础资料均需归档。

(1) 设计任务书或合同、协议。据此确定冷库的库容、库温、被贮存和冷加工物品的种类、使用要求。

(2) 气象部门出具的气象资料，城乡建设部门出具的地质资料、水文资料。按这些资料确定计算温度、计算相对湿度、风速和主频风向等基础参数。

(3) 当地的电力、交通、建筑要求等方面的基本情况。

冷库设计的通用要求依据是设计规范、国家和行业标准，在标准和规范中已列出的基础参数是设计必须遵循的。

#### 1.2.1.2 设计的主要步骤

对于 1 000m<sup>3</sup> 以上的冷库设计项目、技术复杂的设计项目以及经验不足的设计人员，应考虑按以下步骤进行设计。

- (1) 确定设计基本参数；
- (2) 进行设计计算并写出设计计算书；
- (3) 绘制初步设计图；
- (4) 绘制施工图、制作图和其他设计图；
- (5) 编制设计说明书及使用维护说明书；
- (6) 设计图样及设计文件归档。

#### 1.2.2 设计计算的内容

设计计算及其完成后编制的设计计算书可不对外公开，其主要内容有以下几个部分。

(1) 按使用要求和设计规范、标准确定的库容、库温、设计气象资料、地质资料、水文资料、应用场合及特点、冻结和冷却能力、其他加工生产能力、制冰能力等基础资料。

(2) 隔热、防潮隔汽、建筑类型、冷库分间、各冷间布置的选择。

(3) 隔热与防潮隔汽计算、冷负荷计算、系统制冷量计算。

(4) 制冷系统、冷却水系统、电控系统、库房气流组织的方案选择，制冷压缩机、辅助设备、库房冷分配设备、管路及其附件的选择计算，设备与管道隔热计算，水冷却塔、水泵及其辅助设备和管路的选择计算，供电线路容量计算。

(5) 以参考文献的形式，列出所依据的规范、标准的代号与名称；列出其他参考文献资料，包括作者、名称、出版地、出版社、出版时间等内容。

#### 1.2.3 设计图

在设计的不同阶段，应制作不同的设计图，本节所述的内容只是基本的设计图，在工程设计时，应以满足用户要求和工程要求为准。

##### 1.2.3.1 初步设计图

初步设计图至少应有以下部分的图样。

- (1) 厂区总平面布置图。
- (2) 加工工艺流程图，包括工艺流程、工位布置、流转路线等内容。
- (3) 库房、机房等建筑的平面图和立面图。



(4) 制冷系统流程图与冷却水系统流程图，需在明细栏中列出主要设备的型号、数量及主要技术指标。

(5) 电气主回路和控制回路原理图。

(6) 主要设备、材料表、制冷量、耗电量、耗水量、供电电压和供电线路容量的汇总表。

#### 1.2.3.2 施工图或设计详图

土建冷库和室外装配库需有施工图，且至少应包括以下图样。

(1) 图样目录：在目录中按目录、首页、总平面图、主体建筑图、辅助建筑图、系统图、机房布置图、泵房布置图、供配电图、控制图等顺序排列。在每一部分中先列出新设计的图，再列出按国标、部标、省标、企标顺序排列的选用标准图。

(2) 首页（即设计说明）：其主要内容有：使用地、生产能力、库容、耗电、耗水等指标和说明、图例、设备汇总表、主要材料汇总表等。

(3) 厂区总平面布置图：应绘出各建筑轮廓、相对位置、方向、道路与站台及回车场、绿化等布置。

(4) 主体与辅助建筑图：应绘出建筑轮廓、轴线编号及尺寸、与本专业有关的房间名称、有关的工艺设备及编号。

(5) 系统图：应包括流程图、平面与立面布置图、系统管路的轴测图、安装、隔热与防潮隔汽的位置及制作图等。

(6) 机房布置与泵房布置图：有设备平面布置图、设备基础图、安装详图等主要部分。

(7) 供配电原理图与设备基础、安装图。

(8) 其他设计图与标准图。

室内用装配库的设计图相对较简单，大部分为机械图，应包括以下图样。

(1) 装配图：表示出各部件的相对位置与装配关系。

(2) 部件图与零件图。

(3) 制冷系统流程图与安装图。

(4) 电气原理图。

#### 1.2.4 说明书

说明书是冷库制冷重要的技术文件，主要有设计方案说明、设计计算书、设计说明书和使用维护说明书。

##### 1.2.4.1 设计说明书

设计说明书中包括设计计算书中除计算外的全部内容。此外，还应有以下各部分内容。

(1) 厂区总平面布置说明：说明建筑布置特点、厂区运输组织等方面的内容。

(2) 生产组织说明。

(3) 环保评价及说明：至少应有废水排出量、废水化学和生化耗氧量、废气排出量、噪声水平、难闻气体排出对周围的影响、制冷工质泄漏对周围环境的影响等方面。

##### 1.2.4.2 使用维护说明书

使用维护说明书应对库体建筑与隔热、制冷系统及其主要设备、水冷系统及其主要设备、电控系统及其主要器件分别说明维护周期与维护内容、常见故障及排除方法、易损部位的设计指标和极限使用指标以及易损件表。

使用维护说明书应对总体、各系统、各主要设备分别予以详尽说明，必要时插示意图。各主要设备和主要器件应有原生产厂的原始使用维护说明书和原始图样。

## 1.3 食品冷冻冷藏的生物与化学的理论基础

食品生物和食品化学是冷冻冷藏条件和方法的基础知识，食品及其加工技术均离不开食品生物和食品化学。

### 1.3.1 食品的基本组成

食品主要有两大类，即动物类食品和植物类食品，两类食品的构成和主要成分有较大差异，同类中不同的食品差异相对较小。食品的构成和主要成分非常复杂，在加工和贮藏过程中也会发生变化。因此，对食品的构成和主要成分有基本了解是非常必要的。

#### 1.3.1.1 食品的基本构成

除病毒以外，所有其他生物都是由细胞构成的，生物体的物质代谢、能量代谢、信息传递等一切生命活动都是以细胞为基础进行的。几乎所有食品均是生物体，也均由细胞构成。

细胞是生物体的结构单元，由单个细胞构成的生命体称为单细胞生物，由多个细胞构成的生命体是多细胞生物。细胞的种类繁多，其大小、形状各不相同。根据细胞的结构特点和复杂程度，可分为原核细胞与真核细胞两大类，原核细胞较简单，真核细胞则复杂的多。绝大多数生物是由真核细胞构成，称为真核生物；支原体、细菌和蓝藻等微生物是由原核细胞构成，称为原核生物。除原生动物细胞较大外，大多数细胞的直径为微米水平，如细菌的细胞直径为 $1\sim 2\mu\text{m}$ ，动植物的细胞直径为 $20\sim 30\mu\text{m}$ 。不同的细胞构成不同的生物，动物类食品和植物类食品的细胞也不相同。

细胞虽然很小，但是却有异常精细的结构。真核细胞由细胞膜、细胞质和细胞核等构成。细胞膜是一层生物软膜，是细胞的表面，厚度约 $8\text{nm}$ ，主要由蛋白质分子、磷脂分子和糖类组成。细胞膜的机械性能，如弹性、强度等均随温度的变化而变。当细胞膜发生破裂时，细胞质将外溢，细胞即被破坏。因此，食品中细胞膜破裂时，食品的品质下降。细胞质是细胞膜以内、细胞核以外的原生质，主要由水、无机盐离子、糖类、氨基酸和核苷酸、多种酶、脂类等组成，其中水占 $80\%$ 以上，其他物质悬浮在水中，使细胞液在表观上为一种生物胶。在细胞冻结时，细胞质中的水可能会形成冰晶，从而破坏了细胞内部结构，使代谢失调。冻结后随着温度的波动，冰晶有可能增大，从而胀破细胞膜，造成解冻时液体流失。

#### 1.3.1.2 植物细胞

植物细胞由细胞壁、细胞膜、细胞质、细胞核、液泡以及线粒体、叶绿体、核糖体、高尔基体、内质网、溶酶体等细胞器构成，如图 1-1 所示。细胞壁、液泡和叶绿体是植物细胞特有的组成，是区别植物细胞和动物细胞的主要标志。细胞壁是细胞的外壳，主要由纤维素、半纤维素、木质素和果胶质等组成。细胞壁具有稳定细胞形态、减少水分散失、防止微生物侵害和防止机械损伤等保护作用。相邻细胞的连接依靠相邻细胞壁间果胶质的粘接作用。在植物细胞中紧贴细胞壁内侧的是细胞膜，植物细胞可以脱离细胞壁而存活，但无论如何不能脱离细胞膜生存。液泡占整个细胞体积的大部分，内部为细胞液。

#### 1.3.1.3 动物细胞

动物组织主要有肌肉组织、脂肪组织、骨骼组织、结缔组织和神经组织等组成，其中肌肉组织为 $50\%\sim 60\%$ 、脂肪组织为 $20\%\sim 30\%$ 、骨骼组织为 $13\%\sim 20\%$ 、结缔组织为 $7\%\sim 11\%$ ，其他组织所占比例很小。肌肉组织可分为横纹肌、平滑肌和心肌等 3 种，其中横纹肌是主要可食部分，也是冷加工的主要对象。横纹肌的基本单元是肌纤维细胞，许多肌纤维细胞组合成肌束，肌束周围被结缔组织所形成的膜包围。多个肌束组合成肌肉，肌肉又被外面



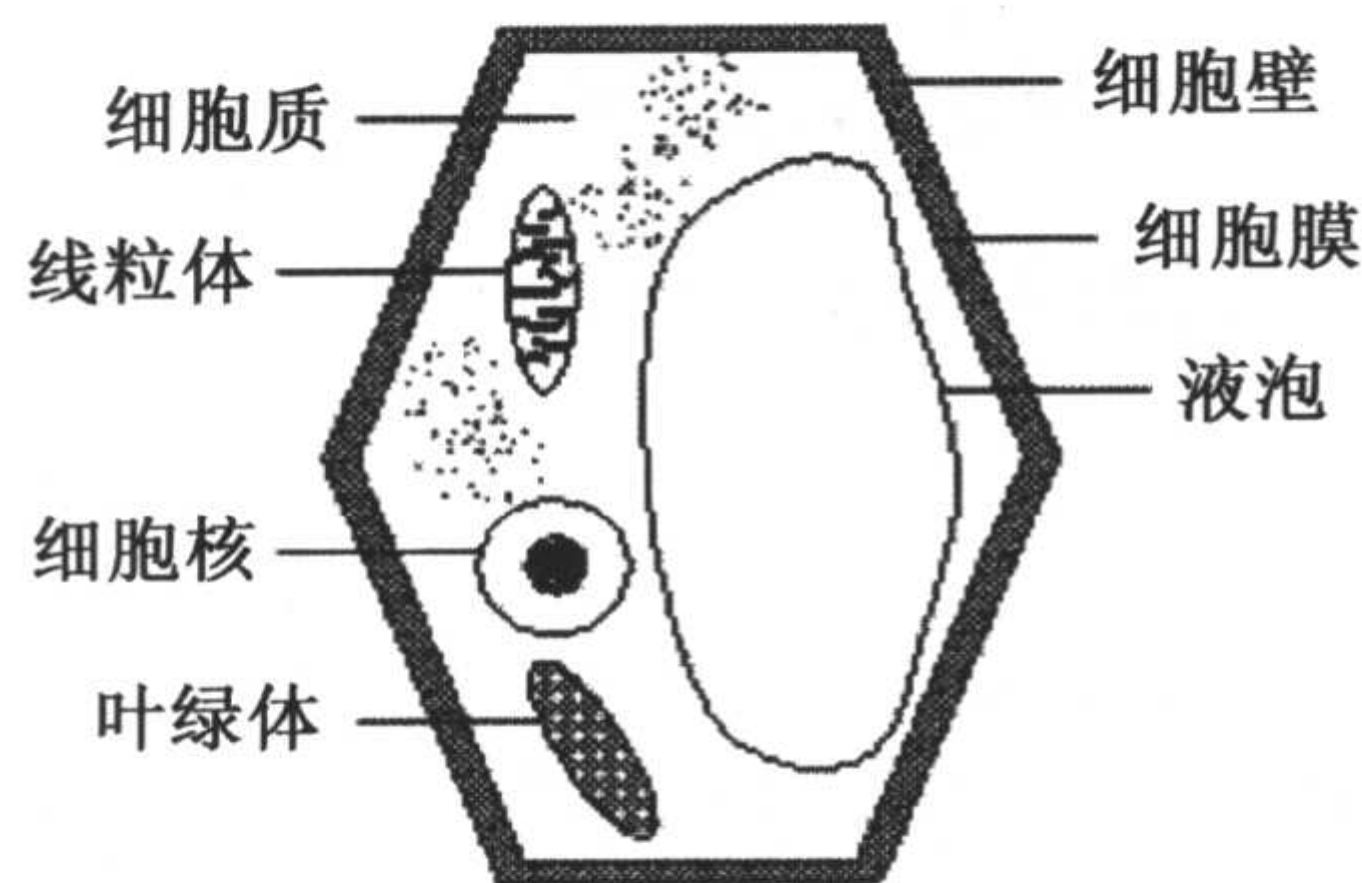


图 1-1 植物细胞示意

的结缔组织包围，血管、神经和淋巴分布在结缔组织中。肌纤维细胞直径约  $20 \sim 30\mu\text{m}$ 、长度  $2 \sim 18\text{cm}$ ，由细胞核、细胞质和肌原纤维、线粒体、中心体、核糖体、高尔基体、内质网、溶酶体等细胞器组成，外面被高弹性的肌纤维膜包裹，如图 1-2 所示。

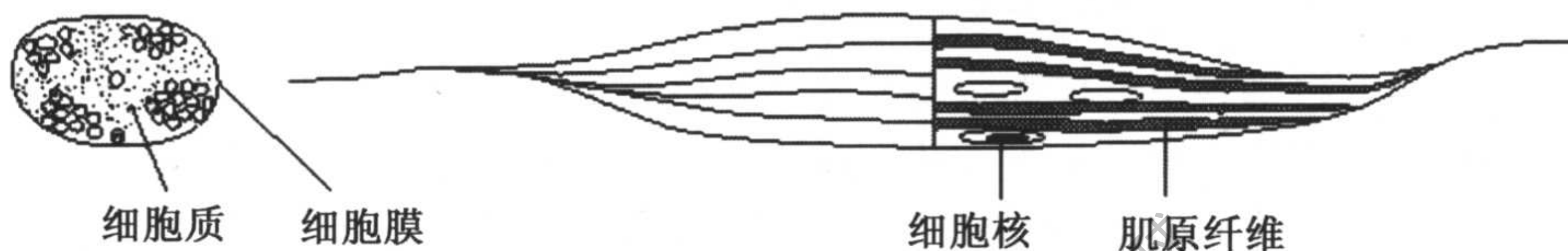


图 1-2 横纹肌的肌纤维细胞示意

### 1.3.2 食品的主要成分

食品的主要化学元素是氧、碳、氢、氮、钾、钙、磷、镁、硫等大量元素和铁、锰、锌、铜、硼、钼等微量元素。构成食品的主要化合物是水、无机盐、糖类、蛋白质、脂肪、维生素和酶。这些化合物的生物化学性质不同，是人体所需的不同的营养素。在冷冻冷藏中，应尽可能减少营养素的破坏和损失，尽可能使食品的营养价值和风味接近新鲜食品。

#### 1.3.2.1 蛋白质

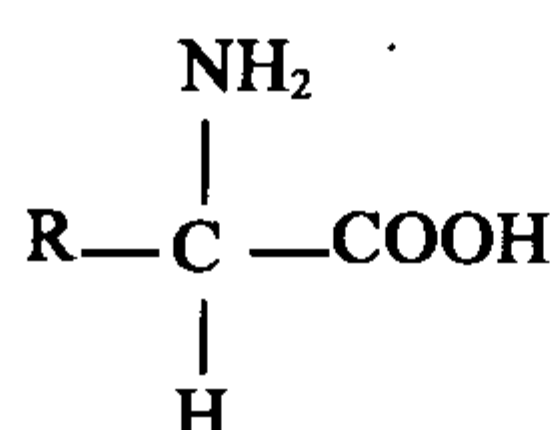
蛋白质是构成碳基生命体的基础物质，构成蛋白质的主要化学元素是碳、氢、氧、氮。蛋白质是大分子化合物，由氨基酸组成。各种蛋白质的分子量差别很大，结构均很复杂。

氨基酸是羧酸分子中烃基上的氢原子被氨基取代后的生成物，是蛋白质的基本组成物质。目前在各种生命体内已发现的氨基酸有近 200 种，其中参与蛋白质合成的主要是 20 种  $\alpha$ -氨基酸，这 20 种氨基酸被称为构成蛋白质的氨基酸。在构成蛋白质的这 20 种氨基酸中，有 18 种是由一个氨基 ( $-\text{NH}_2$ )、一个羧基 ( $-\text{COOH}$ )、一个氢 ( $-\text{H}$ )、一个饱和或不饱和烃基 ( $-\text{R}$ ) 连接在  $\alpha$  碳原子上而成。不同的氨基酸分子，具有不同的 R 基，可以根据 R 基的不同，将氨基酸分成不同的种类，见表 1-4。

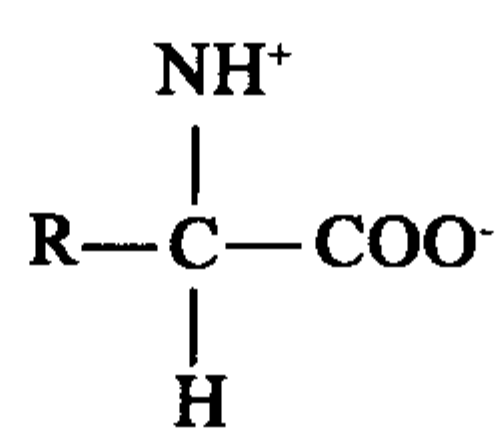
氨基酸分子内含有羧基和氨基，既是酸又是碱，是两性物质。一个氨基酸分子的羧基与另一个氨基酸分子的氨基相互缩合形成肽键，许多氨基酸通过肽键连接起来形成多肽链，再通过氢键构成螺旋状多肽链，通过不同的副键将几条螺旋状多肽链折叠盘曲成不同形状的立体结构，即为不同的蛋白质。氨基酸的结构通式、两性离子和肽键如图 1-3 所示。

有一些氨基酸在人体内可以合成，称为非必需氨基酸。另一些氨基酸在人体内不能合成，称为必需氨基酸。如蛋白质中含有各种必需氨基酸，其比例符合人体所需，则称此蛋白质为完全蛋白质或高级蛋白质。如含有各种必需氨基酸，但其比例不合适，则称为半完全蛋

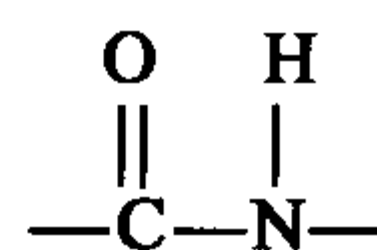




氨基酸通式



氨基酸的两性离子



肽键

图 1-3 氨基酸

白质。如缺少一种或几种必需氨基酸，则称为不完全蛋白质或低级蛋白质。蛋白质对人体的营养价值取决于是否含必需氨基酸、其含量及比例是否符合人体所需，评价蛋白质营养价值的指标是能被人体所利用的氮与被吸收的氮之比，常见食品的蛋白质生物价值见表 1-5。

表 1-4 构成蛋白质的氨基酸

类别	名称	化学式	说明
一氨基一羧基氨基酸	甘氨酸	$\text{H}-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
	丙氨酸	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
	缬氨酸	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	必需氨基酸
	亮氨酸	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	必需氨基酸
	异亮氨酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	必需氨基酸
羟基一氨基一羧基氨基酸	丝氨酸	$\text{CH}_2(\text{OH})-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
	苏氨酸	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	必需氨基酸
一氨基二羧基氨基酸	天门冬氨酸	$\text{HOOCCH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
	谷氨酸	$\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
二氨基一羧基氨基酸	精氨酸	$\text{H}_2\text{NC}(\text{NH})\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
	赖氨酸	$\text{H}_2\text{NCNH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	必需氨基酸
含硫氨基酸	半胱氨酸	$\text{HSCH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
	胱氨酸	$\begin{array}{c} \text{SCH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} \\   \\ \text{SCH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} \end{array}$	
	蛋氨酸	$\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	必需氨基酸
含环氨基酸	苯丙氨酸	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	必需氨基酸
	酪氨酸	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
含环氨基酸	脯氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ / \quad   \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{NH} \\ \backslash \\ \text{CH}_2 \end{array}$	
	羟脯氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ / \quad   \\ \text{HOHC} \quad \text{NH} \\ \backslash \\ \text{CH}_2 \end{array}$	必需氨基酸



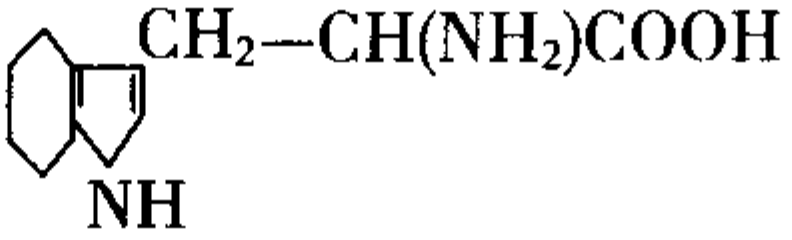
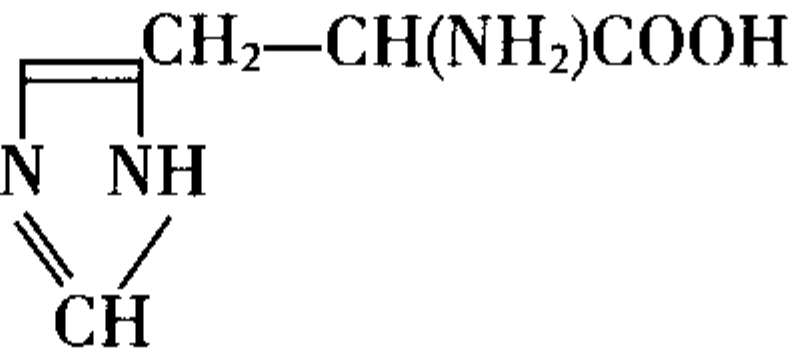
类别	名称	化学式	说明
含环氨基酸	色氨酸		
	组氨酸		婴儿必需

表 1-5 常见食品的蛋白质生物价值 (可被利用的氮与可被吸收的氮之比)

动物类食品				植物类食品		
鸡蛋	牛奶	猪肉	牛肉	稻米	生大豆	面粉
0.94	0.85	0.74	0.69	0.77	0.57	0.52

根据水解产物的不同, 可将蛋白质分为简单蛋白质和结合蛋白质两类。简单蛋白质包括清蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶谷蛋白、组蛋白、精蛋白、硬蛋白等, 水解时产生氨基酸。结合蛋白质包括核蛋白、磷蛋白、脂蛋白、糖蛋白、色蛋白等, 水解时不但产生氨基酸, 还有糖、磷酸、核酸、有机金属化合物等物质。

动物肌肉中的蛋白质主要是肌球蛋白、肌动蛋白、肌核蛋白、球蛋白、肌白蛋白、肌红蛋白、核蛋白、脂蛋白等。乳品中的蛋白质主要是酪蛋白和乳清蛋白等。蛋类中的蛋白质主要是卵白蛋白和磷蛋白等。肉、蛋、乳等动物性食品中的蛋白质是完全蛋白质。

小麦、大麦面粉中的蛋白质主要是谷蛋白、醇溶谷蛋白、麦胶蛋白等, 大豆中的蛋白质主要是大豆球蛋白等。植物性食品中的蛋白质多是半完全蛋白质和不完全蛋白质。

同氨基酸一样, 蛋白质也是两性化合物, 既能与酸作用, 又能与碱作用。在酸性溶液中, 各碱性基团与  $H^+$  结合, 使蛋白质带正电; 在碱性溶液中, 各酸性基团与  $OH^-$  结合, 使蛋白质带负电; 因此蛋白质为两性电解质。当溶液为某一特定 pH 值时, 蛋白质所带的正电荷与负电荷相等, 蛋白质呈电中性, 此 pH 值称为该蛋白质的等电点。当蛋白质处于等电点的环境时, 性质最不稳定。

蛋白质是亲水化合物, 其分子尺寸在胶体范围内, 约为  $1 \sim 100nm$ 。由于蛋白质表面带有许多极性基团, 在常温下水中的蛋白质与同样是极性分子的水分子所包围, 使蛋白质颗粒分散在水中呈溶胶状态。包围蛋白质颗粒的水分子由内到外从有序到无序逐步变化, 愈靠近蛋白质分子, 其有序性愈高、蒸汽压和冰点愈低、黏度愈高。这种溶胶态是水溶液, 可以视为是蛋白质颗粒分散在水中的分散体系。当温度较低时, 蛋白质水溶液固化, 成为凝胶态。凝胶态可以视为是水分散在蛋白质颗粒中的分散体系。由溶胶态转变成凝胶态时, 水并未放出潜热, 仍是液态。蛋白质可以形成溶胶态和凝胶态的性质称为胶凝性质。

当蛋白质受温度变化、失水或其他一些因素影响时, 其结构会发生变化, 物理和生物化学性质也随之改变, 这种现象称为蛋白质的变性; 结构发生变化的蛋白质称为变性蛋白质。蛋清受热凝固、毛发受热弯曲是热变性, 奶粉不能完全复原成牛奶、干肉不能复原成鲜肉是失水变性, 豆腐不能变回豆浆是化学变性。蛋白质变性是不可逆变化。变性蛋白质在水中的

溶解度下降，生理活性也同时丧失。

### 1.3.2.2 脂肪

脂肪是最常见的脂类物质，在生物体内主要起储存能量的作用。在某些植物的种子、果实细胞和动物的脂肪细胞中含量很高，是食品中提供热量和溶解脂溶性维生素的重要物质。由于含碳多，脂肪的发热量很高。

脂肪主要由脂肪酸和甘油组成，也可能含有少量色素和脂溶性维生素，主要含有 C、H、O 三种原子。天然脂肪的脂肪酸多以偶数碳原子的直链形式存在，如图 1-4 所示。脂肪酸简写为  $C_{n:m}$ ，其中  $n$  表示碳原子个数， $m$  表示双键数。以脂肪酸中是否有双键，可将脂肪酸分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸两类，双键越多，不饱和程度越高。

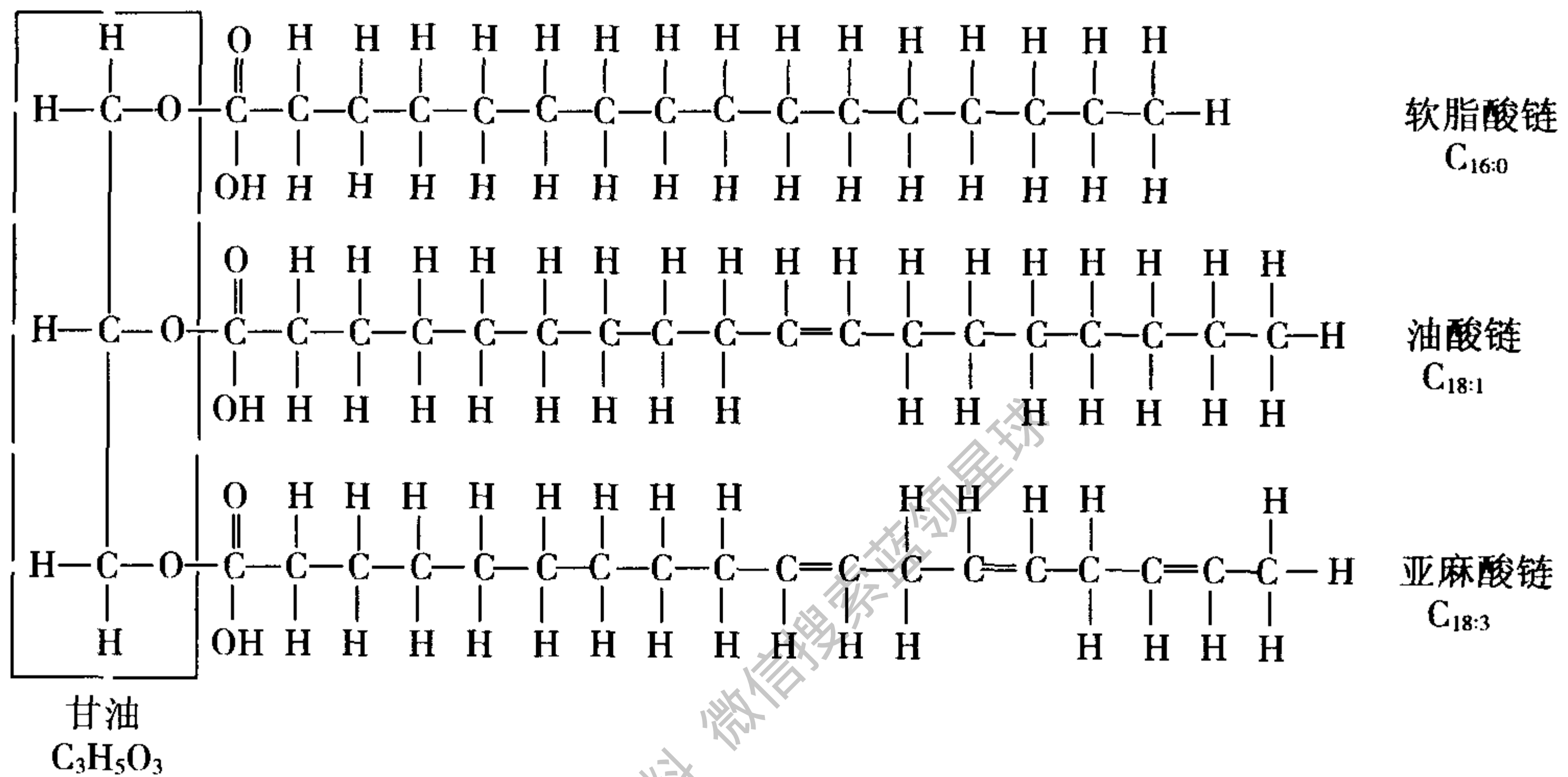


图 1-4 脂肪结构示意图

脂肪的性质与所含的脂肪酸种类有很大关系，脂肪酸的链越长，沸点就越高，熔点也有不规则的增高；脂肪中所含的饱和脂肪酸越多，流动性越差；不饱和程度越高，越容易氧化。通常将常温下呈固态的脂肪称为脂，而将常温下呈液态的脂肪称为油。

陆生动物脂肪中以  $C_{18}$  脂肪酸为最多， $C_{16}$  次之， $C_{14}$  较少。在陆生高等动物的脂肪中，所含脂肪酸主要是软脂酸、油酸和少量硬脂酸，牛肉和猪肉的脂肪构成见表 1-6。

表 1-6 牛肉和猪肉的脂肪构成

构 成	牛 肉		猪 肉	
	肌肉组织	脂肪组织	肌肉组织	脂肪组织
总脂量	2.5	85	3.5	91
甘油三酸酯	1.7	83.5	2.8	89.6
磷脂	0.7	1.4	0.64	1.23
胆固醇	0.06	0.1	0.06	0.09
饱和脂肪酸	1.11	37.78	1.23	33.34
其中 $C_{14:0}$	0.06	3	0.048	1.21
$C_{15:0}$	0.01	0.57	0.01	0.05
$C_{16:0}$	0.65	22.1	0.79	20.64
$C_{17:0}$	0.02	1.54	0.01	0.33

续表

构 成	牛 肉		猪 肉	
	肌肉组织	脂肪组织	肌肉组织	脂肪组织
C <sub>18:0</sub>	0.37	10.5	0.37	11
不饱和脂肪酸	1.05	1.46	痕量	0.03
其中 C <sub>14:1</sub>	0.02	5.19	0.12	3.12
C <sub>14:1</sub>	0.08	33.6	1.45	38.7
C <sub>18:0</sub>	0.89	2.68	0.32	10.41
不饱和聚脂酸	0.13	2.68	0.32	10.41
其中 C <sub>18:2</sub>	0.09	1.95	0.24	9.45
C <sub>18:3</sub>	0.02	0.73	0.035	0.61
C <sub>18:4</sub>	0.02	痕量	0.035	0.35

水生动物脂肪中不饱和脂肪酸含量高且种类多，淡水鱼脂肪中 C<sub>18</sub> 不饱和脂肪酸的比例较高，海水鱼脂肪中以 C<sub>20</sub> 和 C<sub>22</sub> 不饱和脂肪酸居多。

脂肪的营养价值取决于不饱和脂肪酸的含量和比例。在不饱和脂肪酸中，亚油酸和亚麻酸为必需不饱和脂肪酸，人体不能合成，只有从食物中获取。

有水存在时在酸、碱作用下，甘油与水发生反应，脂肪中甘油与脂肪酸之间的脂键断裂。这种反应称为水解作用，或称皂化作用。微生物和解脂酶也产生水解作用。酸、碱产生的水解反应随温度的升高速度加快，解脂酶在 35~40℃ 时活性最强。

在有氧条件下，脂肪会被空气中的氧所氧化，生成过氧化物。在氧化的初始阶段，氧化速率较低，过氧化物含量增加不多，这一时期称为诱导期。当过氧化物积累到一定程度，氧化速度开始急剧加快，过氧化物含量越高，氧化速率就越快。过氧化物会进一步分解，产生低分子酸、醛类和酮类等有毒物质。这种现象称为脂肪酸败，是脂肪变质的一个重要原因。脂肪氧化有两个途径，一种是产生丙醛和酮等产物，脂肪颜色变黄并伴有特别的霉味，常称为发哈；另一种是酯化反应，生成含氧酸。在常温下脂肪氧化以发哈为主，如温度低于 0℃，则以酯化反应为主。抗氧化剂能抑制脂肪氧化。天然抗氧化剂是动物脂肪中的天然夹杂物，如胡萝卜素、卵磷脂、维生素 E 等，诱导期的长短与这些物质的含量有关。合成抗氧化剂有棉酚、单宁、生育酚等，可以向脂肪中适量添加。温度对脂肪氧化速率影响很大，光、酶、微生物的存在会加快脂肪氧化。

### 1.3.2.3 糖类

糖类是构成生命体的重要组成部分，是细胞的主要能源物质。糖类由 C、H、O 三种元素组成，其中 H 与 O 的比例大多是 2:1。糖类主要存在于植物中，占植物干重的 50%~80%。1 克葡萄糖完全氧化可产生 15.7kJ 的热量，1 克淀粉完全氧化可产生 17.5kJ 的热量。

从结构上看，糖类可称为多羟基醛或多羟基酮。无论是四碳糖、五碳糖还是六碳糖均含有羟基，而羰基可以是醛基（葡萄糖）或酮基（果糖），见图 1-5。

根据糖类水解后形成的物质，糖类大致可以分为单糖、二糖和多糖几类，见表 1-7。



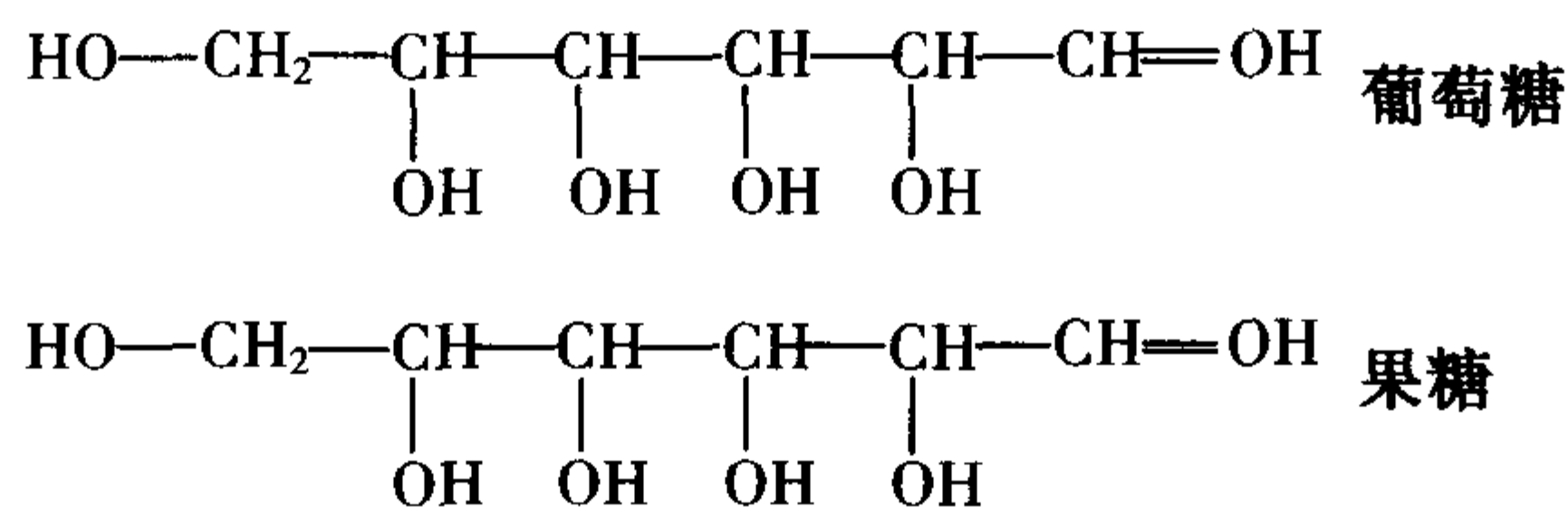


图 1-5 葡萄糖和果糖

表 1-7 主要糖类

类别	举例
单糖	葡萄糖(C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )、核糖(C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )、脱氧核糖(C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> )、果糖、半乳糖
二糖	蔗糖、麦芽糖、乳糖(C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> ), 通式:(C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )
多糖	淀粉、纤维素、糖元, 通式:(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>

单糖是不能水解的糖，含有 4~6 个碳。其中葡萄糖和果糖等是六碳糖，是最多的天然单糖。葡萄糖是生物细胞唯一能直接利用的糖，也是双糖和多糖的主要组成部分。果糖的分子式与葡萄糖相同，但结构不同，主要存在于蜂蜜和水果中，是最甜的一种糖。核糖是五碳糖，是核糖核酸的组成部分，主要存在于细胞质内。脱氧核糖也是五碳糖，是脱氧核糖核酸的组成部分，主要存在于细胞核内。半乳糖是乳糖的水解产物，不单独存在于天然物质中。

二糖是水解后生成两分子单糖的糖，相当于两个单糖分子除去一个水所生成。在植物细胞中，最重要的二糖是蔗糖和麦芽糖。甘蔗和甜菜中含有大量的蔗糖，甘蔗中的含量约 12%~18%，甜菜中的含量约 16%~18%。蔗糖由一个葡萄糖和一个果糖组成，在酸或酶的作用下水解，生成葡萄糖和果糖的混合物。在发芽的大麦中，含有大量的麦芽糖。麦芽糖由两个葡萄糖组成，可在淀粉酶的作用下水解，转化成葡萄糖。在动物乳汁中含有乳糖，由一个半乳糖和葡萄糖组成。

多糖是水解后能生成多个单糖的糖，其中水解后能生成 3~10 个单糖的多糖也称为低聚糖。在植物细胞中，最重要的多糖是纤维素和淀粉。在动物细胞中，最重要的多糖是糖元。糖元存在于细胞质中，肝脏和肌肉细胞中含量较多，分别是肝糖元和肌糖元。多糖与组成它的单糖种类和结构有关，不同单糖组成不同的多糖，相同单糖不同结构也将组成不同的多糖。如淀粉和纤维素的物理、化学性质大相径庭，实际上两者均由葡萄糖组成，只是结构不同（见图 1-6）。

单糖和二糖均易溶于水，有甜味，如以葡萄糖的甜度为 1，则乳糖为 0.5、蔗糖为 1.45、果糖为 2.2。除淀粉外，多糖一般不溶于水，无甜味。二糖可形成结晶，其中蔗糖最易结晶，乳糖的结晶最硬。

淀粉为人类最主要的食品。淀粉呈颗粒状，生淀粉称为 β 淀粉。在一定温度条件下，吸水后体积膨胀 50~100 倍，由颗粒分解成分子形成胶体溶液，此过程称淀粉糊化，糊化后的淀粉称为 α 淀粉。在合适的温度下长期存放，胶体溶液中的淀粉分子重新聚集结晶，此过程称为淀粉老化。老化的淀粉不易被人体吸收，营养价值下降。为避免淀粉老化，可在 -20℃ 下速冻。

#### 1.3.2.4 维生素

维生素是食品中的微量有机物质，生物体对维生素的需要量也很小，但在生理过程中的作用却极其重要。在人体的蛋白质、脂肪和糖代谢中，维生素不可或缺。除极少数几种外，

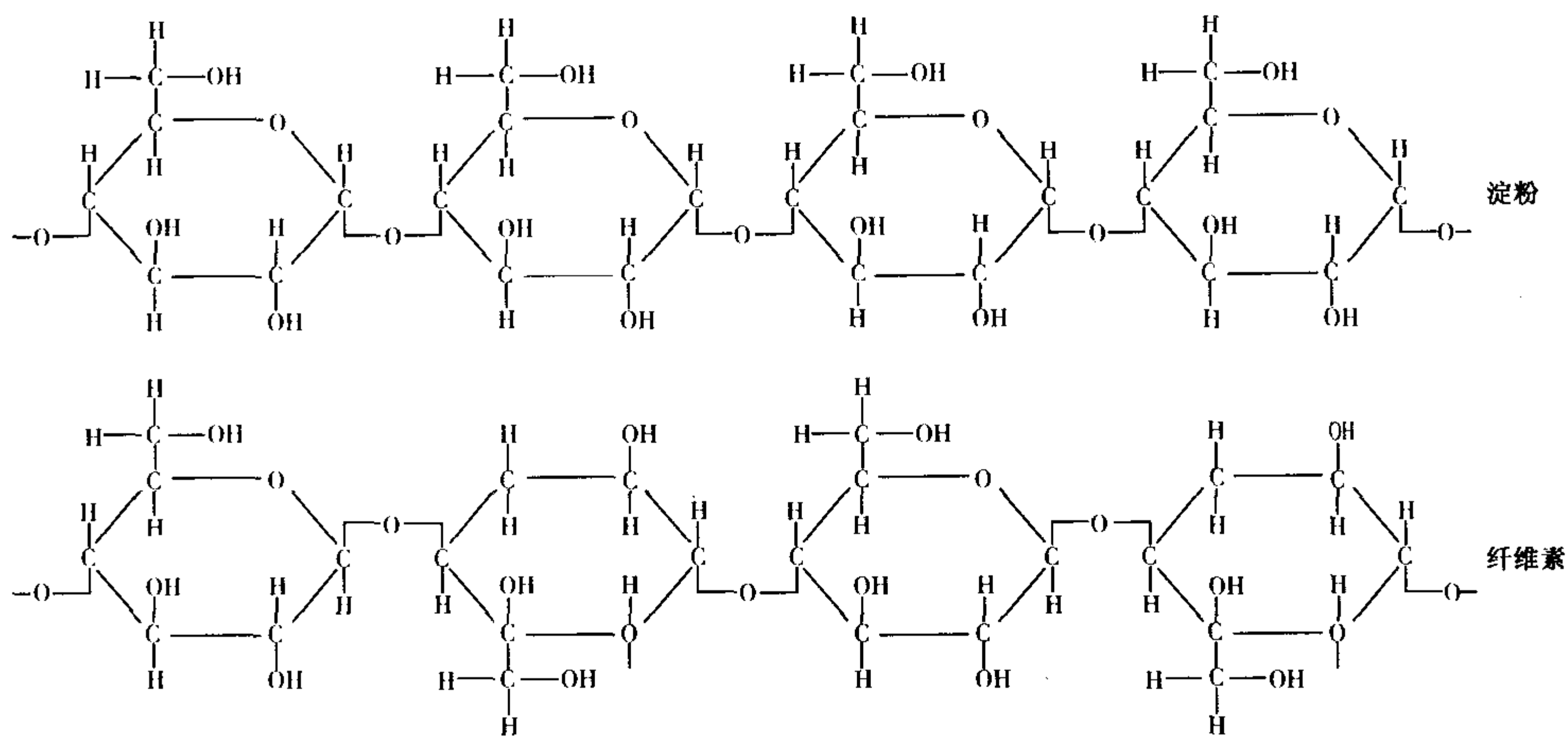


图 1-6 淀粉与纤维素结构

人体内不能合成维生素，必须由食物中摄取。

维生素一般可分成两类，即水溶性维生素和脂溶性维生素。水溶性维生素有 B、C 两族，脂溶性维生素有 A、D、E、K 等族。

(1) A 族维生素 维生素 A 有 A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub> 两种，A<sub>1</sub> 存在于哺乳动物和海洋鱼类的肝脏中，A<sub>2</sub> 存在于淡水鱼类的肝脏中。植物性食品中虽然不含维生素 A，但含有维生素 A 的前体——β胡萝卜素。维生素 A 对人体的作用是维持正常的暗视觉和抗干眼病。

(2) B 族维生素 B 族维生素的种类很多，在人体内大多是构成辅酶。维生素 B<sub>1</sub>（硫胺）含有硫和氨基，广泛存在于谷物种子的外皮及胚芽中，在蛋黄、瘦肉、动物内脏（心、肝、肾）和酵母中含量丰富。维生素 B<sub>1</sub> 的主要功能是保持神经系统的功能，防治神经炎。维生素 B<sub>2</sub>（核黄素）含有核糖醇基，在蛋黄、瘦肉和动物内脏（心、肝、肾）和酵母中含量较多。维生素 B<sub>2</sub> 的主要功能是保持皮肤健康，防治眼睛畏光症和口腔炎。维生素 B<sub>3</sub>（泛酸）广泛存在于各种动植物中，人类肠道细菌可以合成，其功能是参加蛋白质、糖和脂类的代谢活动。维生素 PP 又称维生素 B<sub>5</sub>，有烟酸（尼克酸）和烟酰胺（尼克酰胺）两种，多存在于肉类、牛乳、米糠、麸皮和酵母中。维生素 PP 的功能是作为辅酶参加代谢活动，可防治神经营养障碍。维生素 B<sub>6</sub>（吡哆素）多以吡哆醇、吡哆醛和吡哆胺 3 种形式存在。在动、植物食品和酵母中均含有维生素 B<sub>6</sub>，人体内肠道细菌也可以合成。维生素 B<sub>6</sub> 的功能是作为辅酶参加多种代谢活动，也是酵母、乳酸菌等微生物生长所必需的。维生素 B<sub>7</sub>（生物素）广泛存在于各种动植物中，人类肠道细菌可以合成。维生素 B<sub>12</sub>（钴胺）含有钴，是唯一含有金属的维生素，存在于蛋黄、瘦肉、鱼、动物内脏（心、肝、肾）和酵母中。维生素 B<sub>12</sub> 的功能是作为辅酶参加多种代谢活动，能促进血红细胞的发育和生成，防治贫血症。

(3) 维生素 C（抗坏血酸） 维生素 C 广泛存在于果蔬中，是人体生理功能所必需的物质。维生素 C 参与胶原蛋白与氨基多糖的合成，促进细胞间质的形成并维持其完整性，维持结缔组织的完整性，促进骨质生成；可逆的脱氢和加氢，参与氧化还原过程，构成氧化还原体系；促进叶酸转变成具有生理活性的四氢叶酸，增强酶的活性；促进铁在肠道中的吸收。

(4) D 族维生素 D 族维生素只存在于动物体内，蛋黄、牛奶和肝脏中含量较多，以鱼

肝油中含量最丰富。部分动植物中含有可以转化为维生素 D 的固醇类物质，称为维生素 D 原，人体吸收后经紫外线照射可转变成维生素 D。维生素 D 的作用是促进人体吸收钙和磷，防止佝偻病和软骨病。

(5) 维生素 E (生育酚) 维生素 E 存在于很多动植物中，在植物油中的含量较高。维生素 E 的作用是促进生殖功能、防止肌肉萎缩、维持血红蛋白功能。

(6) K 族维生素 天然的 K 族维生素有维生素 K<sub>1</sub> 和维生素 K<sub>2</sub>，维生素 K<sub>1</sub> 在绿色植物的叶、动物肝脏和蛋黄中含量较高，维生素 K<sub>2</sub> 是人体肠道细菌的代谢产物。维生素 K<sub>3</sub> 和维生素 K<sub>4</sub> 是人工合成物。维生素 K 的作用是促进凝血功能。

(7) 维生素 P 一般来说，含有维生素 C 的食品也含有维生素 P，其作用是抑制毛细血管壁的渗透作用。

#### 1.3.2.5 无机盐

食品中除了 C、H、O、N 4 种元素以外的其他元素统称为矿物质，矿物质以无机盐的形式存在。

在食品中含量在 0.01% 及以上的、人体需要量相对较大的元素称为常量元素，包括 Ca (钙)、Mg (镁)、P (磷)、Na (钠)、K (钾)、Cl (氯)、S (硫) 等；含量在 0.01% 以下的称为微量元素，包括 Fe (铁)、Zn (锌)、Cu (铜)、I (碘)、Mn (锰)、Mo (钼)、Co (钴)、Se (硒)、Cr (铬)、Ni (镍)、Sn (锡)、Si (硅)、F (氟)、V (钒) 等；含量极低的称为超微量元素，包括 Al (铝)、Ag (汞) 等。以上 7 种常量元素和 14 种微量元素都是人体所必需的，而 2 种超微量元素则对人体是有害元素。

K (钾)、Na (钠)、Ca (钙)、Mg (镁) 等金属元素的氧化物呈碱性，含这类元素的食物称为碱性食品，如蔬菜、豆类和乳品等；P (磷)、S (硫)、F (氟)、I (碘) 等非金属元素的氧化物呈酸性，含这类元素的食物称为酸性食品，如肉类、鱼类、蛋类和谷类等。碱性元素吸收后与 CO<sub>2</sub> 反应生成碳酸盐排出，酸性元素吸收后与氨生成胺盐排出。

#### 1.3.2.6 酶

酶是由活细胞产生的一种具有催化作用的特殊蛋白质，是生物体内极为重要的活性物质，生物体内各种化学反应均依赖酶的参与。在生物体内的温度、压力条件下，如无酶存在，各种化学反应的速度将非常缓慢。在生物体内酶参与化学反应的特点是极大的提高反应速度和使得反应以单一方式进行。在化学反应中，酶本身不发生变化，也不参加到反应生成物中。

由于酶是一种蛋白质，在不同的环境下其活性也不同，大多数酶最适合的温度为 40 ~ 50℃，最适合的 pH 值为 4.5 ~ 8.0，即常温弱酸、中性和弱碱环境。虽然酶由活细胞产生，但其脱离活细胞后仍具有活性。

酶的命名多以酶作用的物质或酶催化的反应性质而定，也有时二者兼用。1961 年国际生化大会将酶分成以下 6 类。

(1) 氧化还原酶 促进氧化还原反应，如氧化酶、脱氢酶等。

(2) 转移酶 催化不同被作用物分子间某些基团或原子的交换或转移，如转氨酶、转甲基酶等。

(3) 水解酶 催化被作用物的水解，如蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶等。

(4) 裂合酶 催化一种化合物直接分裂成两种化合物或由两种化合物直接合成一种化合物，如氨基酸脱羧酶等。



(5) 异构酶 催化同分异构体相互转变, 如磷酸丙糖异构酶、磷酸己糖异构酶等。

(6) 合成酶 催化两个分子合成一个分子, 如谷氨酰胺合成酶、谷胱甘肽合成酶等。

### 1.3.2.7 水

食品中所含的水, 由水与其他分子的结合关系, 大致可分成结合水和游离水。细胞内部的水是结合水, 或称为胶体结合水。胶体结合水包围在蛋白质和糖分子周围, 形成稳定的水化层。胶体结合水不能流动, 也不能作为溶剂, 对蛋白质等物质有很强的保护作用, 对食品的色、香、味及物理性质影响很大。胶体结合水中酸、盐和其他物质的浓度远高于游离水, 其冻结点比游离水低的多。细胞间隙中的水是自由水, 或称游离水。游离水主要存在于生物组织的毛细孔中, 远离极性基团, 可自由流动, 能溶解溶质。游离水中含有一定无机盐, 冰点低于纯水。

干燥可以去除游离水和少部分胶体结合水, 冻结通常仅使游离水凝固, 对胶体结合水影响较小。

### 1.3.3 食品的主要物理性质

在食品冷冻冷藏技术中, 需涉及的食品物理性质主要有密度、比热容、导热系数、冻结点和焓值等。

#### 1.3.3.1 食品的密度

食品的密度与温度、水含量和固形物含量有关, 1972年 Hsick 提出用下式进行计算:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\xi_w}{\rho_w} + \frac{\xi_s}{\rho_s} + \frac{\xi_i}{\rho_i} = \sum \frac{\xi_j}{\rho_j} \quad (1-1)$$

式中:  $\rho$ ——食品的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\xi_w$ 、 $\xi_s$ 、 $\xi_i$ ——分别为未冻结的水、固形物、冰的质量分数;

$\rho_w$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_i$ ——分别为未冻结的水、固形物、冰的密度。

对于有明显空隙的食品, 1990年 Mannapanperuma 和 Singh 提出用下式计算:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{1-\epsilon} \sum \frac{\xi_j}{\rho_j} \quad (1-2)$$

式中:  $\epsilon$ ——空隙率。

#### 1.3.3.2 食品的比热容

食品的比热容与含水量以及其他成分有密切关系, 与密度相同, 比热容也可按主要成分的质量分数进行计算。

当食品温度高于初始冻结温度时, 1981年 Heldman 与 Singh 提出用下式计算:

$$c_p = 4.180w_w + 1.549w_p + 1.424w_c + 1.675w_f + 0.837w_a \quad (1-3)$$

式中:  $c_p$ ——食品的比热容 [ $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ];

$w_w$ ——食品中水分的质量分数;

$w_p$ ——食品中蛋白质的质量分数;

$w_c$ ——食品中碳水化合物的质量分数;

$w_f$ ——食品中脂肪的质量分数;

$w_a$ ——食品中灰分的质量分数。

1983年 Choi 和 Okos 提出下式:

$$c_p = 4.180w_w + 1.711w_p + 1.574w_c + 1.928w_f + 0.908w_a \quad (1-4)$$

如不知食品的详细成分, 只知道水的质量分数, 可用以下近似式估算比热容:



$$c_p = 0.837 + 3.349w_w \quad (\text{Siebel, 1892}) \quad (1-5)$$

$$c_p = 1.672 + 2.508w_w \quad (\text{Riedel, 1956}) \quad (1-6)$$

$$c_p = 1.200 + 2.990w_w \quad (\text{Backstrom \& Emblik, 1965}) \quad (1-7)$$

$$c_p = 1.382 + 2.805w_w \quad (\text{Dominguez, 1974}) \quad (1-8)$$

$$c_p = 1.256 + 2.931w_w \quad (\text{Comini, 1974}) \quad (1-9)$$

$$c_p = 1.470 + 2.720w_w \quad (\text{Lamb, 1976}) \quad (1-10)$$

当食品含水量较高时,各经验式的计算结果较一致。而当食品含水量较低,各经验式的计算结果相当分散,此时食品中其他组分的含量对比热容有较大影响。

当食品温度低于初始冻结温度时,1892年 Siebel 提出以下近似式:

$$c_p = 0.837 + 1.256w_w \quad (1-11)$$

实际上食品的冻结并不是在一个恒定的温度下进行的,而是存在一个冻结温度区域,此区域称为冻结带。当食品温度低于初始冻结温度时,食品开始冻结。由于水中所含的无机盐等的浓度升高,冻结温度开始下降。随着冻结过程的进行,冻结率愈来愈高,冻结温度愈来愈低。为了表示这一现象,可以用表观比热容 (apparent specific heat)  $c_{pa}$  这一参数。

$$c_{pa} = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (1-12)$$

式中:  $H$ ——食品的焓值(kJ/kg)。

表观比热容将冻结温度不断变化条件下的潜热转化成为显热的形式。

### 1.3.3.3 食品的导热系数

对于单一的均匀的食品,当温度高于初始冻结温度时,1983年 Heldman 与 Singh 提出用下式计算:

$$\lambda = 0.61w_w + 0.20w_p + 0.205w_c + 0.175w_f + 0.135w_a \quad (1-13)$$

式中:  $\lambda$ ——食品的导热系数[W/(m·℃)]。

1995年 Sweat 提出下式:

$$\lambda = 0.58w_w + 0.155w_p + 0.25w_c + 0.16w_f + 0.135w_a \quad (1-14)$$

如不知食品的详细成分,只知道水的质量分数,可用以下近似式估算导热系数:

$$\lambda = 0.26 + 0.34w_w \quad (\text{Backstrom, 1965}) \quad (1-15)$$

$$\lambda = 1.200 + 2.990w_w \quad (\text{Bowman, 1970}) \quad (1-16)$$

$$\lambda = 1.382 + 2.805w_w \quad (\text{Comini, 1974}) \quad (1-17)$$

$$\lambda = 1.256 + 2.931w_w \quad (\text{Sweat, 1974}) \quad (1-18)$$

由于多孔性食品的导热与空隙率、空隙形状、孔径等因素有很大关系,以上导热系数的计算式不适用于多孔性食品。

有很多食品是非均匀物质,可以是多层或多相组成。非均匀食品的导热,可分成3种情况,如图1-7所示。

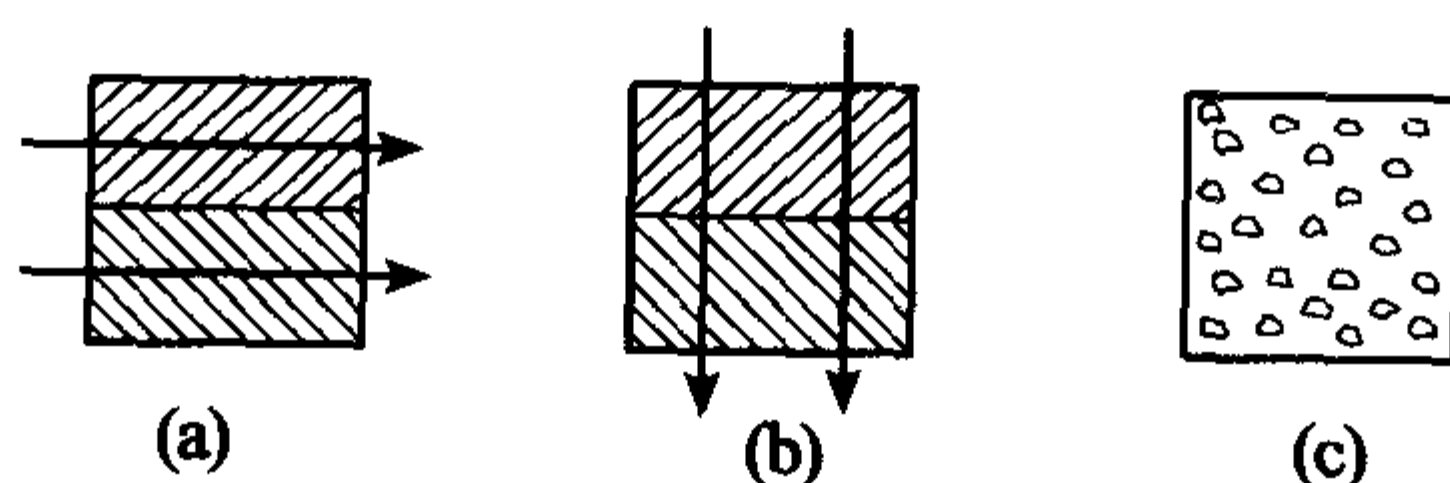


图 1-7 非均匀食品的导热

图 1-7 中 a) 为食品分层界面与热流垂直, 导热系数为:

$$\lambda = v_1 \lambda_1 + v_2 \lambda_2 \quad (1-19)$$

图 1-7 中 b) 为食品分层界面与热流平行, 导热系数为:

$$\lambda = \left( \frac{v_1}{\lambda_1} + \frac{v_2}{\lambda_2} \right)^{-1} \quad (1-20)$$

图 1-7 中 c) 为一相均匀分布于另一相中, 此时导热系数为:

$$\lambda = \lambda_c \frac{1-c}{1-c(1-v_d)} \quad (1-21)$$

$$c = v_d^2 \left( 1 - \frac{\lambda_d}{\lambda_c} \right) \quad (1-22)$$

式中:  $\lambda_c$ ——连续相的导热系数;

$\lambda_d$ ——扩散相的导热系数;

$v_d$ ——扩散相的体积分数。

当温度高于初始冻结温度时, 导热系数与食品的组成、纤维方向、密度和空隙率有相当大的关系。1984 年 Choi 和 Okos 提出下式:

$$\lambda = \rho \sum \lambda_j \frac{v_j}{\rho_j} \quad (1-23)$$

式中:  $v_j$ ——各组分的体积分数;

$\lambda_j$ ——各组分的导热系数;

$\rho_j$ ——各组分的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

由于冰的导热系数远大于水, 如当  $0^\circ\text{C}$  时冰的导热系数为  $2.24\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ , 而水的导热系数仅为  $0.567\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 。应用式 (1-23) 时, 应将未冻结的水和已冻结的冰作为两个组分处理。

#### 1.3.3.4 食品的冻结温度

由于大多数食品中的水是包含在溶液中的, 食品的冻结温度是一个相当大的温度范围。开始冻结的温度称为初始冻结温度。随着冻结过程的进行, 水不断被冻结, 溶液中水愈来愈少, 冻结温度愈来愈低。一直可达到共晶浓度, 此时温度为该溶液的共晶温度。如继续降温, 溶液形成固溶体。溶液的共晶温度即为最低冻结温度。

#### 1.3.3.5 食品的主要性质表与焓值表

食品的主要物理性质见表 1-8, 由于食品的物理性质与很多因素, 如含水量、其他各种物质含量、种植地、收获季节等有关, 表中数据仅为参考值。

表 1-9 为食品在不同冻结温度下的含水冻结率, 表 1-10 为部分果蔬的呼吸热与  $\text{CO}_2$  排出量。

常用的食品焓值表有两种, 一种为前苏联柳道夫制作, 见表 1-11; 另一种为德国李德尔制作, 见表 1-12。

表 1-8 食品的主要物理性质

序号	食品名称	含水量 (%)	初始冻 结温度 (°C)	比热容 [kcal/(kg·°C)]		潜热 (kcal/kg)	贮藏温度 (°C)	贮藏相对 湿度 (%)	贮藏期 [日(月)]
				高于初始 冻结温度	低于初始 冻结温度				
1	苹果	85	-2	0.92	0.5	67	-1~+1	85~90	(2~7)
2	苹果汁		-17				+4.5	85	(30)
3	杏	85.4	-2	0.88	0.46	68	-0.5~+1.6		
4	香蕉	75	-1.7	0.8	0.42	60	+11.7	85	14
5	樱桃	82	-4.5	0.87	0.46	66	+0.5~+1.0	80	7~21
6	橘子	90	-2.2	0.9	0.46	69	0~+1.2	85~90	56
7	桃	87	-1.5	0.9	0.46	69	+0.5~+1.0	80~85	14~28
8	梨	83	-2	0.9	0.48	67	+0.5~+1.5	85~90	1~6
9	柿子		-2.1	0.84	0.43				
10	青菠萝		-1.5				+10~+16	85~90	14~28
11	熟菠萝	85.3	-1.2	0.88	0.45	68	+4~+12	85~90	14~28
12	草莓	90	-1.3	0.92	0.47	72	+0.5~+1.5	75~80	7~10
13	柠檬	89	-2.1	0.92	0.46	71	+5~+10	80~90	(2)
14	西瓜	92	-1.6	0.97	0.48	72	+2~+4	75~85	14~21
15	栗子						+0.5	75	(3)
16	椰子	83	-2.8	0.82			-4.5	75	(12)
17	无花果	78	-2.7	0.82	0.43		-2.2~0	65~75	7
18	柚子	89	-2	0.92	0.48	71	0~+10	85~90	(3~12)
19	葡萄	82	-4	0.86	0.44	65	-1~+3	85~90	(1~4)
20	芦笋	94	-2	0.93	0.46	75	0~+2	85~90	21~28
21	扁豆	89		0.92	0.47	71	+1~+7.5	85~90	8~10
22	甜菜	72	-2	0.77	0.41	58	0~+1.5	88~92	7~42
23	卷心菜	91	-0.5	0.93	0.47	73	0~+1	85~95	1~3
24	青番茄	94	-0.9	0.95	0.48	74	+10~+20	85~90	21~28
25	红番茄	94	-0.9	0.95	0.48	74	+1~+5	80~90	7~21
26	南瓜	90.5	-1.0	0.92	0.47	72	0~+2	80~85	(2~3)
27	茄子		-0.9	0.94	0.48				
28	莴苣	94.8	-0.3	0.96	0.48	76	0~+1	85~90	(1~2)
29	韭菜	88.2	-1.4	0.9	0.46	70	0	85~90	(1~3)
30	马铃薯	77.8	-1.8	0.82	0.43	62	+3~+6	85~90	(6)
31	洋葱	87.5	-1	0.90	0.46	69	+1.5	80	(3)
32	芹菜	94	-1.2	0.95	0.46	75	-0.6~0	90~95	(2~4)
33	花椰菜	92	-1.1	0.92	0.47	73	0~+2	80~90	14~21
34	青椒	92.4	-1.0	0.94	0.47	73	+7~+10	85~90	7~21
35	青豌豆	74	-1.1	0.79	0.42	59	0	80~90	7~21
36	蘑菇	91.1	-1	0.93	0.47	72	0~+2	80~85	7~14
37	胡萝卜	83	-1.7	0.87	0.45	66	0~+1	80~95	(2~5)
38	黄瓜	96.4	-0.8	0.97	0.49	96	+2~+7	75~80	10~14
39	蒜薹*						+2~+5	80~85	(2~5)
40	鲜蛋	70	-2.2	0.76	0.4	54	-1~-0.5	80~85	(8)

续表

序号	食品名称	含水量 (%)	初始冻结温度 (°C)	比热容 [kcal/(kg·°C)]		潜热 (kcal/kg)	贮藏温度 (°C)	贮藏相对湿度 (%)	贮藏期 [日(月)]
				高于初始冻结温度	低于初始冻结温度				
41	冷却瘦牛肉	72	-0.6~ -1.2	0.76	0.42		-1~0	86~90	21
42	冷却瘦猪肉	52.6	-1.7~ -2.2	0.54	0.32	30	0~+1.2	85~90	3~10
43	冷却羊肉	67.7	-1.7				0	80	10
44	鲜兔肉	60	-1.7	0.8			0~+1	80~90	5~10
45	鲜禽肉	74	-1.7	0.8	0.43	59	0	80	7
46	鲜鱼	73	-1~-2	0.82	0.43	58	-0.5~+1	90~95	7~14
47	牛乳	87	-2.8	0.9	0.46	69	0~+2	80~85	7
48	冻蛋						-18		(12)
49	冻鱼						-24~-18	90~95	(8~10)
50	冻猪肉						-24~-18	85~90	(8)
51	冻牛肉						-24~-18	90~95	(10)
52	冻羊肉						-18~-15	80~85	(8)
53	冻兔肉						-24~-18	80~90	(8)
54	冻禽肉						-24~-18	80~90	(6)
55	虾	76	0.81				-30~-24	90~95	(9)
56	血浆						+3.3	75	(2)
57	啤酒	89~91	-2	0.9	0.45	72	0~+5		(6)

注：\* 参考值

表 1-9 食品在不同冻结温度下的含水冻结率

食品名称	食品温度 (°C)												
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-12.5	-15	-18
肉类、禽类	0	52	67	72	75	77	79	80.5	81.0	82.5	85	87.5	89
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
鱼类	25	60	73	77	80	82	84	85.5	86.5	87.5	89	90	91
	0	0	32	45	53	58.0	62	65.0	68.0	70.5	72.5	74.0	76
蛋类、菜类	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	45	68	77	82	84	85.5	87	88.5	89.5	90.5	92.0	93.5	95
乳类	60	78	84.5	87	89	90.5	91.5	92	92.5	93	94	94.5	95
番茄	45	68	77	82	84	85.5	87	88.5	89.5	90.5	92	93.5	95
豌豆	30	60	70	76	80	82	84	85.5	87	88	89	90	91
蚕豆、萝卜	10	50	60	71	75	77	79	80.5	82	83.5	86	87.5	89
苹果、梨、马铃薯	0	28	50	58	64.5	68	71	73	75	77	80.5	83	84
橙、柠檬、葡萄	0	0	32	45	53	58	62	65	68	70	74	78	80
樱桃	0	0	20	32	41	48	54	58.5	62.5	65.5	69	72	75
	0	0	0	20	32	40	47	52	55.5	58	63	67	71

表 1-10 部分果蔬的呼吸热与 CO<sub>2</sub> 排出量

名 称	温度(℃)	CO <sub>2</sub> 排出量 [mg/(kg·h)]	呼吸热 [kcal/(t·d)]	呼吸热 [kcal/(kg·h)]
苹果	0	3~4	165~220	0.0069~0.0092
	4.4	5~8	275~440	0.0115~0.0183
	15.6	20~30	1 100~1 650	0.0458~0.0688
	29.4	30~70	1 650~3 850	0.0688~0.16
梨	0	3~4	165~220	0.0069~0.0092
	15.6	40~50	2 200~3 300	0.0917~0.138
桃	1.7	7~9	1 650~3 300	0.0485~0.138
	15.6	70~100	3 850~5 500	0.160~0.229
	26.7	385~490	0.016~0.0204	
橘子	1.7	2	110	0.0046
	15.6	8	440	0.0183
	26.7	15	825	0.0344
青香蕉	10.2	15	825	0.037
熟香蕉	20	38	2 090	0.0837
全熟香蕉	20	42	2 310	0.0963
樱桃	0		373~497	0.0155~0.0207
	15.6		3 100~3 740	0.129~0.132
草莓	0	15~17	830~940	0.0346~0.039
	4.4	22~35	1 220~1 940	0.051~0.081
	15.6	49~68	2 720~3 770	0.113~0.157
柚子	0		130	0.0054
	4.4		302	0.0126
	15.6		782	0.0326
柠檬	0		164	0.0068
	4.4		228	0.0095
	15.6		840	0.035
西瓜	0		373	0.0155
	4.4		554	0.0231
	15.6		2 400	0.100
青豆类	0		1 580~1 740	0.0685~0.0725
	4.4	2 580~3 220	0.1075~0.1342	
	15.6	9 080~12 500	0.3783~0.5208	
青碗豆	0		2 300	0.096
	4.4		3 730	0.155
	15.6		11 100	0.463
甜菜	0		750	0.0313
	4.4		1 050	0.0438
	15.6		2 050	0.0854
花椰菜	0		2 100	0.0875
	4.4		3 280	0.1367
	15.6		9 560	0.3983

续表

名称	温度(°C)	CO <sub>2</sub> 排出量 [mg/(kg·h)]	呼吸热 [kcal/(t·d)]	呼吸热 [kcal/(kg·h)]
卷心菜	0	6	338	0.0056
	4.4		470	0.0196
	15.6		1 150	0.0479
胡萝卜	4.4	6	350	0.0146
	0		458	0.019
	4.4		683	0.0285
芹菜	15.6	6	1 010	0.0458
	0		478	0.0199
	4.4		720	0.03
黄瓜	15.6	6	4 100	0.167
	0		288	0.012
	4.4		356	0.0148
红番茄	15.6	6	1 590	0.0663
	0		3 200	0.0133
	4.4		4 500	0.188
莴苣	15.6	6	13 000	0.542
	0		1 740	0.0725
	4.4		6 220	0.259
蘑菇	15.6	6	16 400	0.673
	0		770	0.032
	4.4		1 330	0.0554
青椒	15.6	6	2 390	0.0996
	0		1 220 ~ 1 370	0.05 ~ 0.0571
	4.4		2 220 ~ 3 170	0.0925 ~ 0.132
菠菜	15.6	6	10 400 ~ 10 750	0.433 ~ 0.448
	0		1 835	0.0765
	4.4		2 650	0.1104
玉米	15.6	6	10 850	0.452
	0		336 ~ 690	0.014 ~ 0.0279
	4.4		673 ~ 945	0.028 ~ 0.0394
红薯	15.6	6	10 900 ~ 12 100	0.454 ~ 0.504

表 1-11 (柳道夫) 食品焓值表 (kcal/kg)

温度 (°C)	牛肉 及家 禽	羊肉	猪肉	肉类 副产 品	去骨 牛肉 和内 分泌 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	葡萄 樱桃 杏	各类 水果 及浆 果	糖水 及浆 果	糖浆 果
-25	-2.6	-2.6	-2.5	-2.8	-2.7	-2.9	-2.9	-3.0	-2.1	-3.0	-2.2	-2.1	-3.9	-3.5	-4.1	-3.4	-4.2	-5.3
-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
-19	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.4	0.4	0.8	0.7	0.9	0.8	0.9	1.2
-18	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.0	1.3	0.9	0.8	1.7	1.5	1.8	1.6	1.9	2.4
-17	1.7	1.7	1.7	1.9	1.8	1.9	1.9	2.0	1.5	2.0	1.4	1.2	2.7	2.3	2.8	2.4	2.9	3.7



续表

温度 (℃)	牛肉 及家 禽	羊肉	猪肉	肉类 副产 品	去骨 牛肉 和内 分泌 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	葡萄 樱桃 杏	各类 水果 及浆 果	糖水 及浆 果	糖浆 果
-16	2.4	2.3	2.3	2.6	2.5	2.6	2.6	2.7	2.0	2.7	1.9	1.7	3.7	3.2	3.8	3.2	4.0	5.0
-15	3.1	3.0	2.9	3.3	3.2	3.4	3.4	3.5	2.5	3.4	2.4	2.2	4.7	4.2	4.9	4.1	5.1	6.4
-14	3.8	3.7	3.6	4.1	4.0	4.2	4.1	4.3	3.0	4.2	3.0	2.7	5.8	5.3	6.1	5.0	6.3	7.9
-13	4.5	4.4	4.3	4.9	4.8	5.0	4.9	5.2	3.6	5.1	3.6	3.2	7.0	6.5	7.4	6.0	7.5	9.5
-12	5.3	5.2	5.1	5.8	5.6	5.9	5.8	6.1	4.2	6.0	4.2	3.8	8.3	7.9	8.4	7.1	8.8	11.2
-11	6.2	6.1	6.0	6.8	6.5	6.9	6.1	7.1	4.8	6.9	4.9	4.3	9.7	9.5	10.2	8.2	10.3	13.1
-10	7.2	7.1	6.9	7.9	7.5	8.0	7.8	8.3	5.4	7.8	5.6	4.9	11.2	11.3	11.9	9.4	11.8	15.2
-9	8.3	8.1	7.9	9.1	8.6	9.2	8.9	9.6	6.1	8.9	6.3	5.6	12.9	13.3	13.8	1.7	13.5	17.6
-8	9.4	9.2	8.9	10.3	9.8	10.4	10.1	10.9	6.8	10.1	7.0	6.2	14.9	15.6	15.9	12.2	15.5	20.5
-7	10.6	10.4	10.0	11.6	11.0	11.8	11.4	12.3	7.6	11.5	7.8	6.8	17.4	18.4	18.8	14.0	18.1	24.1
-6	12.1	11.8	11.3	13.2	12.5	13.5	13.0	14.0	8.6	13.1	8.7	7.5	20.7	22.0	22.4	16.4	21.4	28.7
-5	13.7	13.3	13.0	15.0	14.3	15.3	14.7	16.0	9.9	15.0	9.7	8.2	25.2	26.7	27.7	19.8	25.8	35.2
-4	15.8	15.4	14.8	17.4	16.5	17.7	17.0	18.5	11.4	17.6	10.7	8.8	31.5	33.1	35.6	24.9	32.3	40.6
-3	18.0	18.4	17.6	21.0	19.8	21.3	20.4	22.4	54.4* 13.8	21.2	12.1	9.5	42.7	43.3	48.4	3.2	43.1	41.4
-2	23.6	22.9	21.9	26.2	24.7	26.7	25.4	28.1	55.1* 18.1	26.6	14.4	10.3	52.8	54.9	54.7	50.4	57.3	42.1
-1	44.4	42.9	40.6	48.8	46.4	50.7	47.7	53.7	55.9* 30.7	44.0	21.9	11.7	53.6	55.7	55.6	64.0	58.2	42.9
0	55.5	53.5	50.6	62.4	58.0	63.5	59.5	67.3	56.7	76.2	22.7	12.4	54.4	56.5	56.4	64.9	59.0	43.6
1	56.3	54.3	51.3	63.2	58.8	64.4	60.4	68.2	57.4	77.1	23.4	13.2	55.2	57.3	57.3	65.8	59.9	44.4
2	57.6	55.0	52.0	64.1	59.6	65.2	61.2	69.0	58.2	78.0	24.2	13.9	56.0	58.1	58.1	66.7	60.7	45.1
3	57.8	55.8	52.8	64.9	60.4	66.1	62.0	69.9	58.9	79.	25.0	14.6	56.8	58.9	59.0	67.6	61.6	45.9
4	58.6	56.5	53.5	65.7	61.2	66.9	62.8	70.8	59.7	79.9	25.7	15.3	57.6	59.7	59.8	68.5	62.4	46.6
5	59.3	57.3	54.2	66.6	62.0	67.7	63.6	71.7	60.4	80.9	26.5	16.1	58.4	60.6	60.7	69.4	63.3	47.4
6	60.1	58.0	54.9	67.4	62.8	68.6	64.4	72.5	61.2	81.8	27.3	16.9	59.2	61.4	61.5	70.3	64.1	48.1
7	60.9	58.8	55.7	68.2	63.6	69.4	65.2	73.4	61.9	82.7	28.1	17.7	60.0	62.2	62.4	71.2	65.0	48.9
8	61.7	59.5	56.4	69.1	64.3	70.3	66.1	74.3	62.7	83.7	29.0	18.5	60.8	63.0	63.2	72.1	65.8	49.6
9	62.4	60.3	57.1	69.9	65.1	71.1	66.9	75.2	63.4	84.6	30.0	19.4	61.6	63.8	64.1	73.0	66.7	50.4
10	63.2	61.0	57.8	70.7	65.9	71.9	67.7	76.	64.2	85.6	31.0	20.4	62.4	64.6	64.9	73.9	67.5	51.5
11	64.0	61.8	58.6	71.6	66.7	72.8	68.5	76.9	64.9	86.5	32.0	21.5	63.6	65.5	65.8	74.8	68.4	51.9
12	64.7	62.5	59.3	72.4	67.5	73.6	69.3	77.8	65.7	87.5	33.1	22.7	64.0	66.3	66.6	75.7	69.2	52.6
13	65.5	63.3	60.0	73.2	68.3	74.5	70.1	78.6	66.5	88.4	34.4	24.0	64.8	67.1	67.5	76.6	70.1	53.4
14	66.3	64.0	60.7	74.1	69.1	75.3	70.9	79.5	67.2	89.4	35.7	25.4	65.6	67.9	68.3	77.5	70.9	54.1
15	67.0	64.8	61.4	74.9	69.9	76.1	71.8	80.4	68.0	90.4	37.1	26.8	66.4	68.7	69.2	78.4	71.8	54.9
16	67.8	65.5	62.2	75.7	70.7	77.	72.6	81.3	68.7	91.3	38.5	28.2	67.2	69.5	70.	79.3	72.6	55.6
17	68.6	66.3	62.9	76.6	71.5	77.8	73.4	82.1	69.5	92.3	39.8	29.8	68.0	70.3	70.9	80.2	73.5	56.4



续表

温度 (°C)	牛肉 及家 禽	羊肉	猪肉	肉类 副产 品	去骨 牛肉 和内 分泌 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	葡萄 樱桃 杏	各类 水果 及浆 果	糖水 及浆 果	糖浆 果
18	69.3	67.	63.6	77.4	72.3	78.7	74.2	83.0	70.2	93.3	41.1	31.1	68.8	71.1	71.7	81.1	74.3	57.1
19	70.1	67.8	64.3	78.2	73.1	79.5	75.0	83.9	71.2	94.2	42.4	32.5	69.6	71.9	72.6	82.0	75.2	57.1
20	70.9	68.5	65.1	79.1	73.9	80.3	75.8	84.8	71.7	95.2	43.6	33.7	70.4	72.7	73.4	82.9	76.0	58.6
21	71.6	69.3	65.8	79.9	74.7	81.2	76.7	85.6	72.5	96.1	44.8	34.9	71.2	73.5	74.3	83.8	76.9	59.4
22	72.4	70.0	66.5	80.7	75.4	82.0	77.5	86.5	73.3	97.1	45.9	36.0	72.0	74.3	75.1	84.7	77.0	60.1
23	73.2	70.8	67.2	81.6	76.2	82.8	78.3	87.4	74.0	98.0	46.9	37.1	72.8	75.1	76.0	85.6	78.6	60.9
24	74.0	71.5	68.2	82.4	77.0	83.7	79.1	88.2	74.8	99.0	47.9	38.1	73.6	75.9	76.8	86.5	79.4	61.6
25	74.7	72.3	68.7	83.3	77.8	84.5	79.9	89.1	75.5	99.9	48.9	39.1	74.4	76.7	77.7	87.4	80.3	62.4
26	75.5	73.0	69.4	84.1	78.6	85.4	80.7	90.0	76.3	100.9	49.8	40.0	75.2	77.6	78.5	88.3	81.1	63.1
27	76.3	73.8	70.1	85.0	79.4	86.2	81.5	90.9	77.0	101.8	50.7	40.8	76.0	78.4	79.4	89.2	82.0	63.8
28	77.0	74.5	70.9	85.8	80.2	87.1	82.4	91.7	77.8	102.8	51.5	41.6	76.8	79.2	80.2	90.1	82.8	64.6
29	77.8	75.3	71.6	86.6	81.0	87.9	83.2	92.6	78.5	103.7	52.3	42.4	77.6	80.0	81.1	91.0	83.7	65.3
30	78.6	76.0	72.3	87.5	81.8	88.7	84.0	93.5	79.3	104.7	53.2	43.3	78.4	80.8	81.9	91.9	84.5	66.1
31	79.4	76.8	73.0	88.3	82.6	89.6	84.8	94.4	80.0	105.6	54.1	44.2	79.2	81.6	82.8	92.8	85.4	66.8
32	80.1	77.5	73.8	89.0	83.4	90.4	85.6	95.2	80.8	106.5	55.0	45.1	80.0	2.4	83.6	93.7	86.2	67.6
33	80.9	78.3	74.5	90.0	84.2	91.3	86.4	96.1	81.5	107.5	55.9	45.9	80.8	83.2	84.5	94.6	87.1	68.3
34	81.7	79.0	75.2	90.8	85.0	92.1	87.3	97.0	82.3	108.4	56.7	46.7	81.6	84.0	85.3	95.5	87.9	69.1
35	82.5	79.8	75.9	91.7	85.7	92.9	88.1	97.8	83.0	109.4	57.4	47.4	82.4	84.9	86.2	96.4	88.8	69.8
36	83.2	80.5	76.7	92.5	86.5	93.8	88.9	98.7	83.8	110.3	58.1	48.0	83.2	85.7	87.0	97.3	89.6	70.3
37	84.0	81.3	77.4	93.3	87.3	94.6	89.7	99.6	84.5	111.2	58.8	48.6	84.2	86.5	87.9	98.2	90.5	71.3
38	84.8	82.0	78.1	94.2	88.1	95.5	90.5	100.5	85.2	112.2	59.4	49.2	84.8	87.3	88.7	99.1	91.3	72.1
39	85.6	82.8	78.8	95.0	88.9	96.3	91.3	101.3	86.0	113.1	60.0	49.7	85.6	88.1	89.6	100.0	92.2	72.8
40	86.3	83.5	79.6	95.8	89.7	97.1	92.1	102.2	86.7	114.0	60.6	50.3	86.4	88.9	90.4	100.9	93.0	73.6

注：\* 上排为冷却蛋的焓值，下排为冻蛋的焓值

表 1-12 (李德尔) 食品焓值表 (kcal/kg)

名 称	含水 量 (%)	比热容 (0~30°C) [kcal/ (kg·°C)]	温度 (°C)									
			-30	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+20	+30
牛肉	74.0	0.84	4.6	9.6	13.0	17.3	24.9	71.3	75.3	79.5	88.0	96.0
猪肉 (8%脂肪)	70.4	0.82	4.6	9.7	12.8	16.9	24.1	67.2	71.3	75.5	83.9	92.0
鳕鱼	80.3	0.88	4.8	10.0	13.4	17.7	25.1	77.1	81.5	86.0	91.0	103.7
鲱鱼 (20%脂肪)	63.8	0.80	4.8	10.1	13.4	17.5	24.2	66.5	70.8	75.1	83.3	91.4
蛋白	86.5	0.91	4.4	9.2	12.0	15.4	20.8	83.9	88.5	93.0	102.0	111.2
蛋黄	50.0	0.74	4.4	9.3	12.1	15.5	20.2	54.5	58.8	64.0	72.5	79.8
全蛋	74.0	0.88	4.4	9.3	12.5	15.8	20.5	73.6	78.4	83.4	92.4	105.4
奶油 (82%脂肪)	16.0	4.0	8.4	10.9	13.9	17.9	33.3	37.7	42.9	54.4	63.0	
白面包	35	0.61	4.2	8.4	11.1	15.9	26.2	30.0	32.9	36.0	41.5	48.0
橘子汁	89.0	0.93	4.0	9.2	13.3	18.0	28.4	85.2	90.0	95.7	104.5	114.4
豌豆	75.8	0.85	4.2	10.4	14.5	20.7	34.6	74.6	78.9	82.9	91.8	93.2
菠菜	90.2	0.93	4.0	7.9	11.6	15.0	21.2	86.6	92.4	96.1	106.1	116.0
草莓	89.3	0.94	4.0	9.3	12.8	17.4	26.1	86.9	91.8	95.8	105.1	115.3

## 1.4 食品冷冻冷藏原理

食品冷冻冷藏是针对造成食品变质的原因，控制贮藏温度、相对湿度和气体成分，抑制微生物、酶、氧化、呼吸等作用，从而延长贮存期限，保持食品品质。

### 1.4.1 食品变质的原因

新鲜食品在常温条件下贮存，会逐步发生变化，营养价值逐步降低，有害物质逐步增加，直至不能食用，这种现象称为食品变质。引起食品变质的原因很多，主要是微生物生长繁殖、酶分解食品成分、氧化、食品生命活动延续造成自然衰老、机械损伤、污染等因素。

#### 1.4.1.1 微生物的作用

影响食品品质的微生物包括细菌、真菌（霉菌、酵母）、克立茨氏体、放线菌、病毒、原生动物、单细胞藻类等，与食品冷加工关系较大的是细菌、霉菌和酵母。

细菌大多数是无色单细胞体，有球菌、双球菌、链球菌、八叠球菌、杆菌、芽胞杆菌、螺旋菌、螺旋体等。霉菌是丝状真菌，其菌丝分为有横隔菌丝（多细胞菌丝）和无横隔菌丝（单细胞菌丝）两类。菌丝有很多分枝，大量菌丝纠缠交错成一团即菌丝体。酵母是单细胞真菌，有球形、椭圆形、卵形、柠檬形、腊肠形和菌丝状等种类。微生物繁殖的速率取决于培养基与水的存在与否、温度、pH值等因素。

由于绝大部分食品是微生物良好的培养基，因此液态水的存在是微生物生命活动最基本的条件。食品中液态水的含量愈高，微生物的生命活动就愈旺盛。一般认为，食品中含液态水50%以上适合微生物生长繁殖。当食品含液态水在30%以下时，微生物繁殖受到抑制；如食品含液态水在12%以下，微生物很难繁殖。空气相对湿度会在很大程度上影响食品表面的液态水含量，如空气相对湿度为80%以上，微生物极易繁殖；如空气相对湿度为30%以下，微生物很难繁殖。

温度是微生物生命活动的重要条件，各种微生物有其生命活动的适宜温度范围。超出此范围，会停止生命活动或死亡。

微生物的生命活动的另一个重要条件是pH值。微生物对培养基的pH值反应敏感，不同的微生物有不同的适宜pH范围。一般来说，细菌适合中性或弱碱性环境，霉菌和酵母适合弱酸性环境。微生物生物物质胶体半透膜带有一定电荷，在不同的pH值下，所带电荷不同。所带电荷的变换，会引起离子渗透性的改变，从而阻断微生物的营养摄入。

#### 1.4.1.2 酶的作用

酶是一种特殊的蛋白质，是一种生物催化剂。当酶与被作用基质结合，形成中间产物后，基质分子内键的作用力大幅下降，从而加快生化反应。酶最突出的特点是特异性，一种酶只能催化一种或少数几种反应。蛋白酶仅催化蛋白质的分解，淀粉酶只对淀粉有催化作用，脂肪酶使油脂分解。

各种食品自身都含有酶，使得食品在自然条件下分解变质。不同的食品含有不同的酶，不同的食品同种酶的含量也不同，因此不同食品由于酶引起的变质速率也不同。鱼类（特别是海水鱼类）在适宜的温度条件下，由其自身酶的作用，蛋白质在很短时间内水解成氨基酸和其他含氮化合物、非含氮化合物，脂肪分解后生成脂肪酸，糖元酵解生成乳酸，为细菌生长繁殖提供了有利条件，使鱼肉的品质急剧变坏。

畜肉类生化过程进行的较缓慢，屠宰放血后，肌肉细胞的供氧被切断，停止了生命活动。此时氧化酶的活动减弱，自行分解的各种酶活动加强。在有机磷化物的参加下，肌糖元

在自溶酶所促进的无氧分解的酵解下产生乳酸，使肉的 pH 值下降，磷化物生成正磷酸。由于乳酸和磷酸的聚集，肉为酸性，此时肉呈僵硬状态，并维持一段时间，这一段时间被称为尸僵阶段。在尸僵阶段乳酸仍在不断增加，到一定水平后，又使肉质从僵硬变为柔软、富有汁液、容易煮烂，此过程称为肉的成熟软化。成熟的肉呈现酸性，但如继续放置在常温下，蛋白质在蛋白酶的作用下分解产生氨，使肉呈现碱性，有利于细菌生长繁殖，引起肉变质腐败。

果蔬类食品收获后，由于氧化酶的催化，呼吸作用加强，消耗了糖元，变黄枯萎。同时由于呼吸作用产生的热量，果蔬温度升高，一方面加强了呼吸作用，另一方面产生了有利于霉菌、酵母和细菌生长繁殖的条件，引起变质。

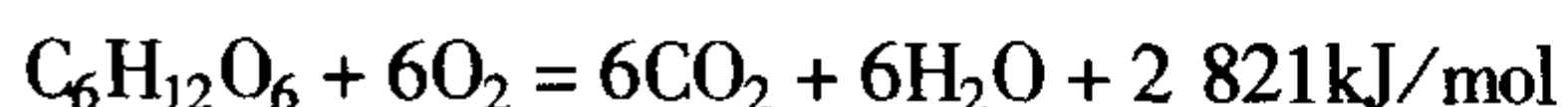
#### 1.4.1.3 氧化作用

在食品放置的过程中，空气中的氧会氧化食品中的脂肪，生成醛、酮、酸、醚和内脂等产物，出现“馊”味，这种现象称为脂肪酸败。维生素 C 很容易被氧化脱氢，番茄色素、胡萝卜色素等有较多共轭双键的物质，也很容易氧化。

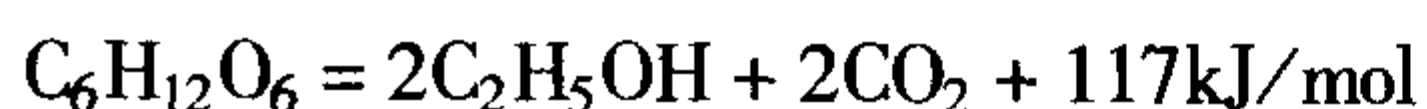
#### 1.4.1.4 自然衰老作用和机械损伤作用

果蔬类食品在收获后，生命活动仍在继续。自然衰老作用指由于果蔬固有的呼吸作用，逐步消耗果蔬内部的有机物质而使之变质。呼吸作用是在酶的参与下进行的一种氧化过程，在此过程中，糖类和其他有机物质被分解成较简单的物质。

果蔬在有氧条件下，进行有氧呼吸，其反应式为：



在无氧条件下，呼吸为无氧呼吸，其反应式为：



这两种呼吸过程均产生热量，消耗果蔬内部的有机物质。特别是无氧呼吸，所产生的能量比维持正常生命活动所需要的能量少，果蔬为维持正常的生命活动，就必须分解更多的有机物质。呼吸作用产生的  $CO_2$  排出，而无氧呼吸产生的乙醇积累在果蔬内部，并越积越多，很快引起果蔬变质。同时所产生的热量使果蔬温度升高，为微生物生命活动和酶的活性提供了合适的温度条件。

如果受到机械损伤，在常温下呼吸作用会加强，变质速率加快。

#### 1.4.1.5 污染

食品污染造成的变质与温度无关。食品污染主要有金属污染，如汞、镉、铅、锌污染等；有机毒物污染，如有机磷农药、有机砷农药、甲醇污染、塑料污染等；无机盐污染，如亚硝酸盐污染等；生物碱污染；制冷剂、载冷剂污染，如氨、氯化钙污染等。在食品冷加工过程中，造成食品制冷剂、载冷剂污染的主要原因是制冷剂或载冷剂泄漏、食品与载冷剂直接接触。造成食品重金属污染的主要原因是食品直接与不符合卫生条件的金属直接接触。

### 1.4.2 食品低温贮存原理

由食品变质的原因可知，微生物生长繁殖、酶分解食品成分、氧化、食品生命活动造成自然衰老均需要合适的条件，其中的重要条件就是温度条件。

#### 1.4.2.1 温度对微生物作用的影响

根据微生物生命活动的适宜温度范围，可将微生物分为嗜冷性微生物、嗜温性微生物和嗜热性微生物三类。嗜冷性微生物的生命活动最低温度为  $0^{\circ}C$  以下，最适温度为  $10 \sim 20^{\circ}C$ ，



最高温度为 30℃。嗜温性微生物的生命活动最低温度为 0~7℃，最适温度为 20~40℃，最高温度为 50℃。嗜热性微生物的生命活动最低温度为 25~45℃以下，最适温度为 50~60℃，最高温度为 80℃。

高温可使蛋白质凝固变性，从而杀死微生物。大部分微生物在 100℃ 迅速死亡，但带芽孢菌需在 121℃ 下经 15~20min 才被杀死。病毒通常对高温的耐受力较强，如乙肝病毒在 100℃ 时需将近 40min 才能杀死。

当温度低于常温，微生物的生命活动就开始减缓。一般来说，温度愈低，微生物的生命活动就愈缓慢。陆上的细菌对低温的耐受力较差，水冻结后，一部分细菌死亡，另一部分细菌也停止繁殖转入休眠。水中的细菌对低温的耐受力较强，有一些在 0℃ 以下仍能繁殖。个别致病菌对低温有极强的耐受力，在 -20~-45℃ 时也只有少数死亡，大多数仅受到抑制。霉菌和酵母对低温的耐受力最强，在 -8℃ 时仍可观测到孢子出芽的情况。

在低温条件下，细胞中类脂物变硬，减弱了原生质的渗透作用，是减缓微生物的生命活动的另一个重要方面。

由于在 0℃ 下，水冻结成冰，微生物失去水的来源。如温度更低，细胞中部分水冻结，所生成的冰晶对细胞有很强破坏作用。

用低温方法贮存食品，必须维持足够低的温度，以抑制微生物的生命活动，至少要使微生物停止繁殖，才能达到延长贮藏时间的目的。

#### 1.4.2.2 温度对酶作用的影响

酶的活性与温度关系很大，在一定温度范围（对大部分酶是 0~40℃）内，酶的活性随温度升高而增大。在 40~80℃ 范围内，酶的有效浓度随温度升高而降低。在 80℃ 以上，酶几乎完全丧失活性（失活）。在低温下，酶的活性很小，所催化的生化反应速率很小。温度升高时，酶的活性加大，所催化的生化反应速率也加快。由于酶自身是蛋白质，当温度升高到一定程度，要发生凝固变性，使活性降低或失活。

在酶促反应中，温度升高则反应加快，但同时也产生较多的热量，使温度升的更高，同时也使酶丧失活性，抑制了反应速率。当温度在常温以下时，酶的活性随温度升高而增大起主要作用，此时反应速率随温度升高而加快，反应所产生的热量不致于使温度过高。当温度在常温以上时，温度过高使酶的活性随温度升高而丧失主要作用，此时反应速率随温度升高而降低。在某一最适温度下，酶的活性最强，所催化的反应速率最快。如蛋白酶在 30~45℃ 活性最强，过氧化物酶的最适温度为 36~37℃。

由此可见，食品处于低温条件下，可有效的降低酶的活性。为防止由于酶的作用而导致的食品变质，通常要将食品在 -18℃ 以下贮存。

#### 1.4.2.3 温度对氧化作用的影响

由于氧化作用与分子动能有关，温度愈高，氧化作用愈强。为了降低氧化作用，需将食品贮存温度降低到 -18℃ 以下。特别容易氧化的物质，虾、蟹的肌红蛋白，在 -24℃ 以下氧化速率才有明显下降。对于这类食品，贮藏温度应在 -30℃ 以下。

#### 1.4.2.4 温度对自然衰老作用的影响

呼吸作用的强弱与温度有直接关系，在一定的温度范围内，呼吸放热随温度的升高而增加。对于大多数果蔬，在 5~35℃ 范围内，随着温度的升高呼吸作用增强。温度每升高 1℃，呼吸作用会增强 8%~15%，在 35℃ 以上呼吸作用会减弱。由此可知，果蔬的贮藏以接近最佳贮存温度为宜，此最佳贮存温度称为贮藏适温。

果蔬的贮存温度并不是越低越好，当温度下降到一定程度，就可能导致冻害。

## 1.5 食品冷加工工艺简介

食品冷加工是指用制冷的方法经过冷却、冻结使易腐食品的温度降低，并在这个低温条件下进行其他加工或贮藏。从而使食品能较长期保存，且基本维持原有的营养、风味和鲜度。

### 1.5.1 食品冷加工方法与装置

根据食品冷加工前后的温度，冷加工包括冷却和冻结、冷藏、升温和解冻等几个阶段。在冷库设计时，所涉及的冷加工主要是冷却、冻结、冷藏。

#### 1.5.1.1 冷却方法与装置

冷却是在一定的时间内将食品处于较低温度的空间，将食品的热量排除，使最厚部位中心处的温度降低至接近但高于组织液冻结点的温度，以延长食品的保存期限，并尽可能的保持食品的新鲜状态。由于在冷却温度下，大部分微生物仍能生长繁殖、大部分酶仍保持活性，经冷却的食品只能短期贮藏。

按冷却介质的不同，冷却方法主要可分为：冷风冷却、冷水冷却、冰冷却、真空冷却和接触冷却。在冷库中，最常用的冷却方法是冷风冷却。

冷风冷却所用的冷却装置主要是吹风式冷却间和吹风式快速冷却隧道。在冷却量较小且要求不高时，也可用冷却物冷藏间进行冷却。冷风冷却的卫生条件好，可用于绝大多数食品的冷却，加工后的冷却物品品质较好。

冷水冷却方法可用于禽类、鱼类和部分水果的冷却。对于鲜度下降较快的水果，如桃子、荔枝等特别适用。大部分食品在用冷水冷却时会造成外观损害，冷却后会无法贮藏。冷水冷却装置有喷淋式、浸渍式和混合式3种。喷淋式冷却装置主要用在远洋渔船上，由制冷机组、海水冷却器、冷却隧道、喷嘴、水泵等组成，冷水在冷却隧道自上而下喷到鱼体上，升温后经过滤重新循环。浸渍式冷却装置最常见的是冷水池和螺旋式水预冷器，主要用于禽类宰杀后的冷却。螺旋式水预冷器由冷水槽和螺旋推进器组成，螺旋推进器推动禽体在槽中与冷水逆向运行。混合式冷却装置是喷淋与浸渍的结合，通常为先浸渍后喷淋方式。冷水冷却方法的卫生条件不好，如冷却禽类时，当一个禽体被微生物污染，就会通过冷水进行传染，造成大批报废。

#### 1.5.1.2 冻结方法与装置

冻结是使食品最厚部位中心处的温度降低至低于食品内组织液冻结点的温度。在冻结温度下，大部分微生物虽能存活，但生长繁殖速率显著降低或是停止繁殖，酶的作用也基本停止，保持冻结状态的食品可以长期贮藏。

食品的冻结过程由三个阶段组成：即由初始温度降低到冻结点阶段、冻结阶段（水的冻结）和由冻结点温度降低到产品温度的阶段。在第一个阶段，食品放出的热量为显热，温度下降迅速。在第二个阶段，食品放出潜热，温度基本不变，大部分水冻结；因在此阶段中形成大量冰晶，故称为最大冰晶生成带。进入第三阶段后，食品内部没有冻结的水继续冻结，但冻结量远小于第二阶段，放出的热量主要是显热，温度下降明显。

由于在冻结过程中食品表面温度与内部温度不同，当表面开始冻结时，中心部位仍在冻结点以上进行冷却。因食品外层部分水冻结，液相浓度较高，与内部组织液存在浓度差，水由内部的非冻结层向外部冻结层转移。随着冻结过程的进行，冻结层的厚度越来越大，中心



部位的温度也越来越低，直到中心部位也冻结为止。冻结实际上是食品中水的冻结，因组织液是溶液，在通常的冻结温度下，不会完全冻结，也没有必要完全冻结。食品中含水量与冻结水量之比称为冻结率，在 $-18^{\circ}\text{C}$ 温度下，大部分食品的冻结率在75%以上。

液体的冻结过程是由液态转变成晶态的过程。当液体温度降低到冻结点时并不生成晶核，只有温度降低到冻结点以下，即存在一定过冷度时，晶核才开始生成。随着熔融潜热的放出，温度又有所回升，当温度升高到冻结点附近时，晶体体积增大，继续放出潜热。形成晶核的速率取决于温度和放热速率，过冷度越大、放热速率越快，形成晶核的数量就越多；而生成的晶核越多，每个晶体就越小，即晶格致密。食品冻结时，游离水和一部分胶体结合水由液体转变为固体，即产生结晶。

如冻结时温度足够低且排热很快，则食品中的水不会产生结晶，而是形成凝固的过冷液体。此时水的动力黏度很大，是脆性的；但此凝固过程不生成新的相，无熔融潜热的放出，温度是连续变化的，比体积和熵也是连续变化的，且基本上各向同性。这种变化称为玻璃化，此时凝固的过冷液体状态称为玻璃态。在冷库常用的温度范围内，水玻璃态是亚稳态。在温度波动时，会向晶态转变，同时放出熔融潜热。

由过冷度和放热速率的不同，冻结可分为快速冻结和缓慢冻结两种。如冻结速率大于 $2\text{cm/h}$ ，称为快速冻结，简称速冻。速冻时温度降低较快，在细胞间隙和细胞内部同时产生大量晶核，使得晶格致密，不会破坏细胞，解冻时可较好的恢复食品原来的性状。缓慢冻结形成的晶核少、晶体的体积大、晶核在细胞间隙生成，随着冰晶的生成和增大，细胞内部的水会向细胞间隙迁移，引起冰晶的进一步增大。大冰晶的尖锐晶格结构会破坏组织细胞，食品解冻时造成汁液流失，造成食品的品质下降。

按冷却介质和传热方式的不同，冻结主要可分为空气冻结、间接接触冻结和直接接触冻结三种。在冷库中，最常用的冻结方法是前两种。

空气冻结所用的冻结装置有多种：如吹风冻结间、吹风式搁架排管冻结装置、普通搁架排管冻结装置、隧道速冻机（包括传送带式隧道速冻机、吊篮式冻结隧道和推盘式冻结隧道）、螺旋式速冻机、流态化速冻机（包括带式流态化速冻机、斜槽式流态化速冻机、振动式流态化速冻机）等。空气冻结所用的冻结装置适用食品多、冻结后食品的外形可保持原状，但由于是冷空气以自由对流或强制对流方式与食品换热，换热系数低、冻结所需时间长。

间接接触冻结所用的冻结装置主要有平板式冻结机（有立式平板式和卧式平板式两种）、回转式冻结装置和钢带式等。间接接触冻结所用的冻结装置与食品有一个面或两个面接触，传热系数较大。其中平板式冻结机常用于冻结水产品，冻结后食品间充满冰而呈块状。

可用于直接接触冻结的冻结装置是载冷剂接触冻结装置和制冷剂接触冻结装置（液氮冻结装置和液态二氧化碳冻结装置）等。

### 1.5.2 肉类与禽类的冷加工工艺

肉类与禽类是最重要的易腐食品，在冷库的冷加工中占据重要位置，我国冷库中冷加工量的一半以上是肉类与禽类的冷加工。

#### 1.5.2.1 肉类生产工艺流程

以猪肉的生产为例，肉类的生产工艺流程如图1-8所示。对于牛、羊等肉类生产加工，除屠宰外的工艺流程与之相同。

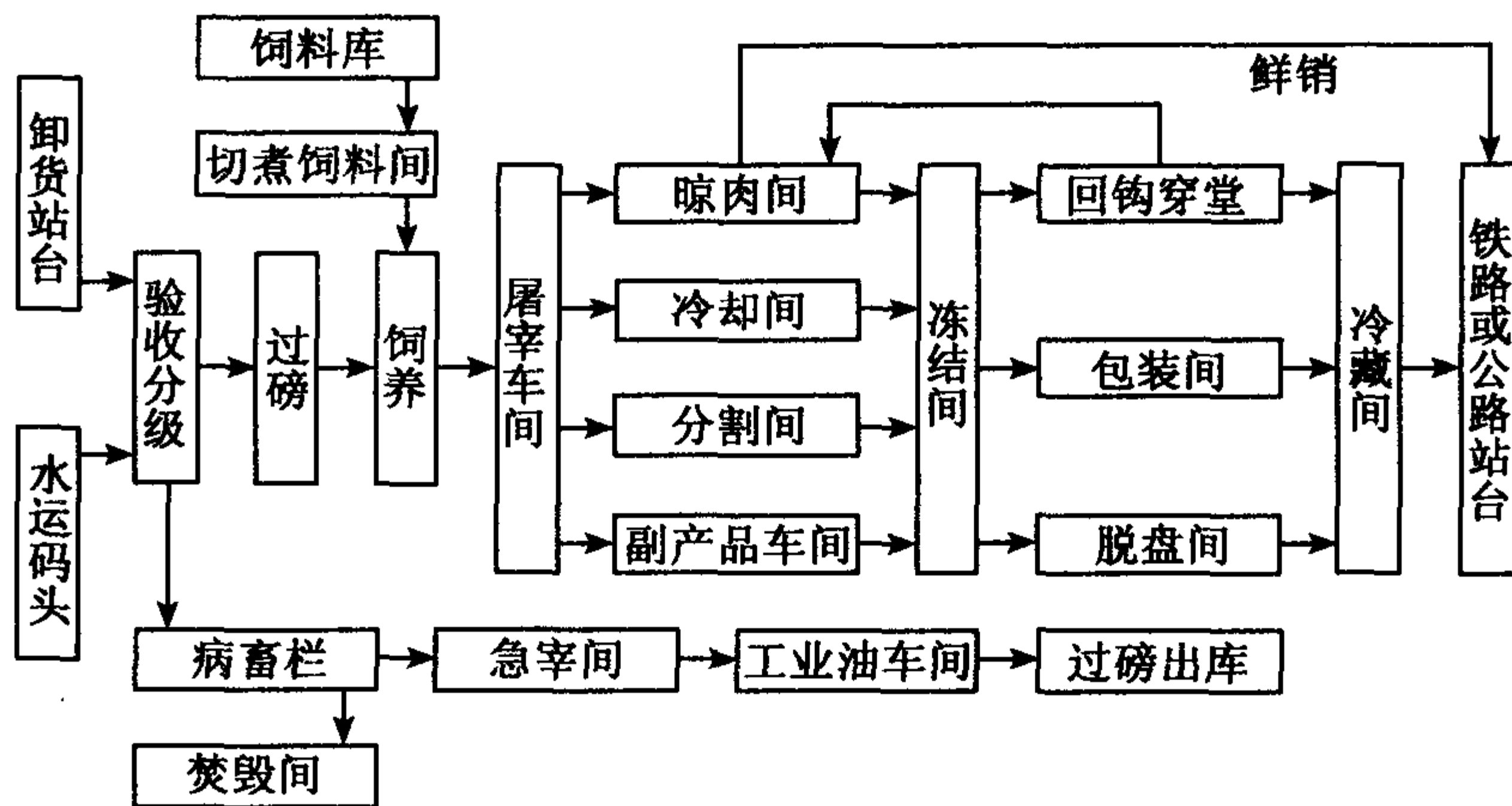


图 1-8 肉类的生产工艺

### 1.5.2.2 肉类的冷却工艺

肉的冷却是为了延缓微生物在肉的表面繁殖和渗入其内部，从而能在短时间内进行保存，防止在销售和加工前发生腐败变质。为实现这一目的，不仅温度需要降低，而且在肉的表面还要有一层干膜。

肉的冷却方法有一次冷却、二次冷却两种，通常采用二次冷却。肉的冷却过程可分为缓慢冷却和快速冷却两类。快速冷却能在表面形成较薄的空气可以渗透的透明干膜，在保存期间使肉的颜色稳定，减少肉表面的微生物，使肉能较长时间保持较低的 pH 值，故得到广泛应用。

猪白条肉、半片牛肉、整片羊肉等肉类的两次冷却工艺为：第一阶段在快速冷却隧道或在吹风冷却间进行，空气温度较低，一般为  $-15 \sim -10^{\circ}\text{C}$ ，空气流速较高，一般为  $1.5 \sim 3\text{m/s}$ ，冷却时间为  $2 \sim 4\text{h}$ ，肉表面温度降到  $-2 \sim 0^{\circ}\text{C}$ ，中心温度可降至  $16 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ；然后在吹风冷却间或冷却物冷藏间内进行第二阶段冷却，在这个阶段，空气温度为  $-1 \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ ，风速仅需  $0.1 \sim 0.3\text{m/s}$ ，冷却时间  $12 \sim 16\text{h}$ ，冷却后肉温达到  $3 \sim 5^{\circ}\text{C}$  的平衡温度，即认为冷却结束。在书后的附表 1-4 中列出了部分国家两阶段快速冷却的技术数据。

由于肉类进入冷却间时的温度高达  $35 \sim 38^{\circ}\text{C}$ ，进货后冷却间的温度会急剧上升，因此进货前冷却间的温度应降至  $-3^{\circ}\text{C}$ 。进货后库温降至  $0^{\circ}\text{C}$  所经历的时间越短越好。

### 1.5.2.3 肉类的冻结工艺

肉类在冻结时，通过最大冰晶生成带的时间长短对质量影响很大，应在最短的时间内通过最大冰晶生成带。

肉类的冻结最常见的是空气冻结法，用吹风冻结间或吹风式搁架排管冻结。在国内通常采用直接冻结工艺，即宰杀加工后，不经过冷却过程直接进入冻结间冻结。在进货前应先进行冷风机融霜，开机制冷，使进货时库温低于  $-15^{\circ}\text{C}$ 。进货期间，需边进货边制冷，进货完毕后库温应在  $0^{\circ}\text{C}$  以下。冻结开始后，库温应达到  $-23 \sim -25^{\circ}\text{C}$ ，风速应为  $3 \sim 4\text{m/s}$ ，冻结时间为  $16 \sim 20\text{h}$ 。直接冻结工艺所需时间短、冻结时肉品干耗少、所需建筑面积少、耗能少、无需转库，对于猪肉较适用；其缺点是冷藏干耗大、需要较大的冻结设备、工艺要求较高，且会使肉体产生寒冷收缩现象，对牛羊肉的影响尤为明显。

国外常用两步冻结工艺，肉类先在冷却间冷却到  $4^{\circ}\text{C}$  左右，然后进入冻结隧道或冻结间



冻结，冻结间温度为  $-23 \sim -25^{\circ}\text{C}$ ，风速为  $1.5 \sim 2\text{m/s}$ 。冻结时间  $20 \sim 24\text{h}$ ，冻结后，肉表面温度为  $-18^{\circ}\text{C}$ ，体温为  $-15^{\circ}\text{C}$  左右。

#### 1.5.2.4 禽类生产工艺流程与冷加工

以肉鸡生产为例，禽类生产工艺流程如图 1-9 所示。禽类的冷却通常在螺旋式水预冷器或吹风式预冷器中进行，用水预冷器预冷后应充分滴水。禽类的冻结与肉类相似。

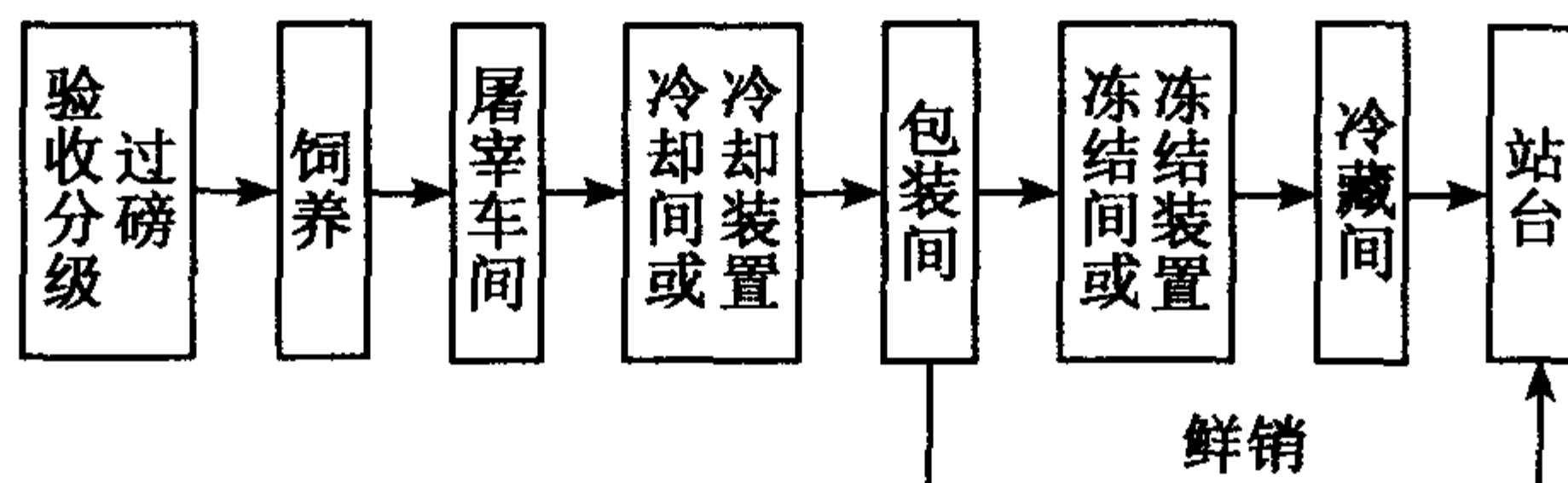


图 1-9 禽类生产工艺流程

#### 1.5.3 水产品加工工艺

水产品内因水、蛋白质、不饱和脂肪酸含量较高，纤维组织含量少，极易变质，必须及时进行冷加工，且冷加工要求较高。

##### 1.5.3.1 水产品加工工艺流程

鱼、虾、贝等水产品的生产工艺流程如图 1-10 所示，在图中冻结这一工序可以由冻结间完成，也可以用平板速冻机、隧道速冻机等冻结装置来完成。水产品的整理由具体品种而定，为保证质量，整理后应立即冻结。

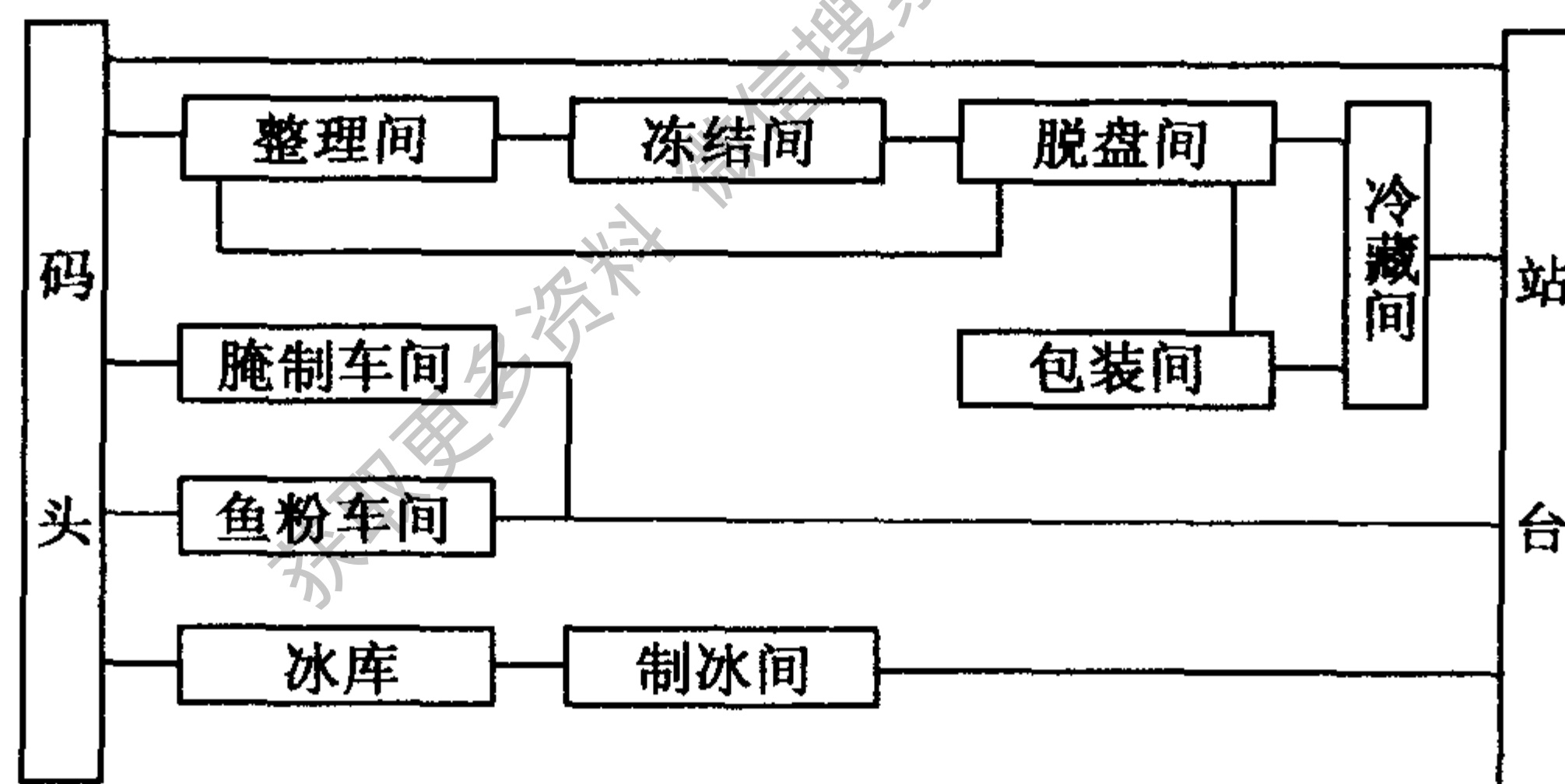


图 1-10 水产品生产工艺流程

##### 1.5.3.2 鱼虾的冷加工工艺

鱼的冻结可使用搁架排管、隧道速冻机、平板速冻机、速冻柜等装置，也可以沉浸于盐水中冻结。采用搁架排管冻结时，将鱼装盘，放置在强制吹风搁架排管上，由鱼盘与搁架的接触以及与冷空气的对流进行传热。冻结间温度为  $-23^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为  $90\% \sim 95\%$ ，风速为  $1.5 \sim 2\text{m/s}$ ，冻结时间为  $10 \sim 11\text{h}$ 。如采用冻结隧道，则风温为  $-23 \sim -25^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应为  $90\%$  左右，风速为  $3 \sim 5\text{m/s}$ ，冻结时间  $7 \sim 9\text{h}$ 。以上二种方法冻结后的鱼块均需立即脱盘包冰衣，如需较厚冰衣，可在冻结过程中加水，使鱼完全冻结在冰块中间。

虾的冷加工工艺与鱼相似，冻结时间越短越好，冻结温度则应尽可能的低，冻结过程中应加水。

鱼的冷藏温度为  $-18^{\circ}\text{C}$  以下，对于含脂肪多的鱼和虾，库温应在  $-24^{\circ}\text{C}$  或更低，且包装后再冷藏。

#### 1.5.4 其他食品的冷加工

可在冷库进行冷加工的食品种类很多，不同品种的食品有不同的冷加工工艺，对常见食品的冷加工应有初步的了解。

##### 1.5.4.1 鲜蛋的冷加工

鲜蛋的冷却应在冷却间进行，进货时冷却间空气温度应较蛋体低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ，然后逐步降温，降温速率为每小时 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ，最后维持在 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，空气相对湿度为 $75\%\sim 85\%$ ，风速 $0.3\sim 0.5\text{m/s}$ ，蛋体温降至 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，冷却即完成，冷却过程约需 $30\sim 40\text{h}$ 。也可以在冷却物冷藏间进行冷却，此时要求库温逐步下降，不得有大的波动。

鲜蛋的冷藏温度为 $0\sim -1.5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $80\%\sim 85\%$ ，贮藏期为 $4\sim 6$ 个月。贮存鲜蛋的冷藏间，在存放鲜蛋之前应清扫干净，不得存在霉菌。鲜蛋不可与其他食品，特别是有异味或带有泥土的食品同库存放。当温度低于 $-2^{\circ}\text{C}$ 时，蛋内冻结膨胀，使蛋壳开裂而损坏，因此库温应高于 $-2^{\circ}\text{C}$ 。

经过冷藏的鲜蛋在出库前应缓慢升温以避免蛋壳表面凝结水珠，当蛋的温度比环境温度低 $3^{\circ}\text{C}$ 左右，即可出库。

##### 1.5.4.2 果蔬的冷加工

果蔬的冷却、冻结、冷藏工艺取决于果蔬的品种，且冷藏时必须考虑通风换气，应根据具体品种决定冷加工工艺。

所有果蔬都可以在冷却后冷藏，冷却温度和冷却时间视果蔬品种而定。果蔬冷却有冷空气冷却、冷水冷却和真空气化冷却等方法。当采用冷空气冷却时，温度比低温伤害温度高 $2^{\circ}\text{C}$ 相对湿度为 $85\%\sim 90\%$ 、空气流速为 $0.5\text{m/s}$ ，适用于各种果蔬。冷水冷却适用于有外皮的较硬的根茎类和果实类果蔬，必须是完整果蔬进行冷却。必须注意，当温度接近冻结点时，大部分果蔬会产生低温伤害，少数果蔬在远高于冻结点时也会产生低温伤害。

少部分果蔬，如嫩黄豆、青刀豆、青豌豆、黄瓜、慈菇、荔枝和樱桃等可以快速冻结，然后在冻结状态下冷藏。

由于不同种类的果蔬有不同的冷加工工艺，本书不作详细介绍，需要时可参考有关文献。

##### 1.5.4.3 冷饮品加工工艺流程

棒冰、雪糕和冰淇淋基本制作工艺流程分别见图1-11、图1-12和图1-13。棒冰的冻结温度和冷藏温度均可较高，低于 $-10^{\circ}\text{C}$ 即可。雪糕和冰淇淋的冻结温度和冷藏温度均较低，须低于 $-18^{\circ}\text{C}$ ，最好是 $-24^{\circ}\text{C}$ ，以利于冻结时提高硬度，冷藏时减少变形，防止生成较大冰晶。

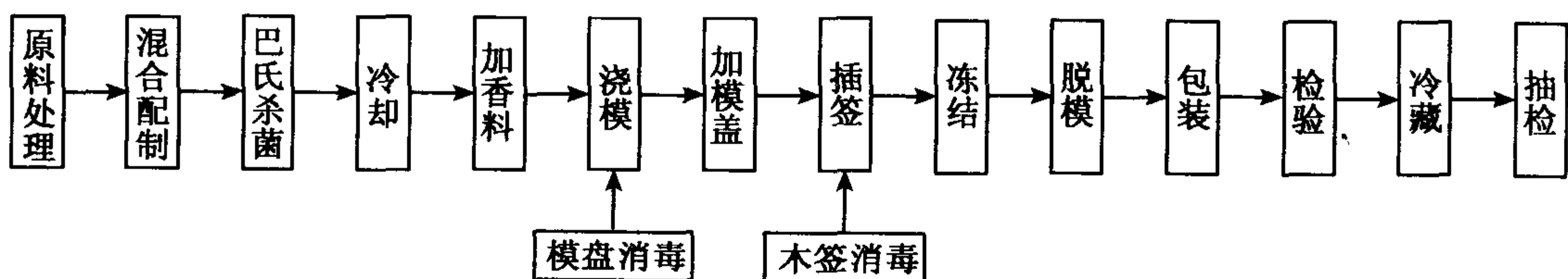


图1-11 棒冰制作工艺流程

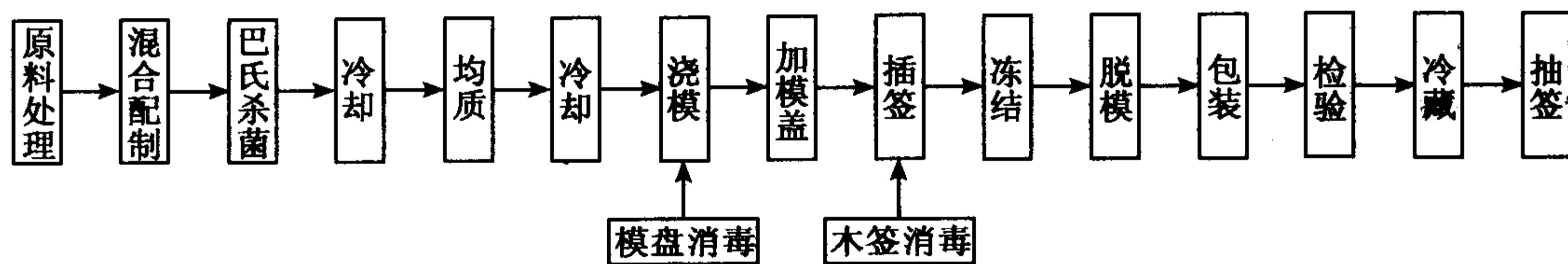


图 1-12 雪糕制作基本工艺流程

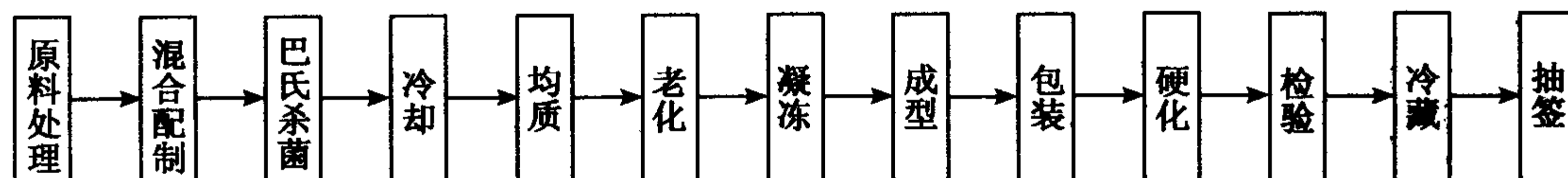


图 1-13 冰淇淋制作基本工艺流程

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

## 2 冷库建筑设计

### 2.1 建筑布置

冷库建筑布置是根据所加工食品的种类、生产工艺、生产规模、冷库的使用性质、占地面积、装卸运输方式等方面的要求，对主体建筑、生产设施和附属建筑进行合理的安排。

#### 2.1.1 冷库的组成

冷库是一组建筑，主要由主体建筑（即库体建筑），其他生产设施和附属建筑组成。

##### 2.1.1.1 主体建筑

主体建筑即库房，按其使用性质和库温的不同，可分别设有以下建筑分间。

(1) 冷却间 冷却间是专门用来对食品进行冷却处理的冷间，水果和蔬菜在进行冷藏前，为除去田间热，防止虫害或生理病害应按冷加工工艺要求及时逐步冷却。鲜蛋在冷藏前，为避免遇骤冷时蛋内物质收缩、压力下降，蛋壳外的微生物随空气从气孔进入蛋内而使鲜蛋变质，也需进行冷却。对于肉类，屠宰后加工成为冷却肉，风味较冻肉为优，且能短期贮藏。采用二次冻结工艺的肉类，需将屠宰后的禽畜胴体送入冷却间冷却，使体温降低后再进行冻结。

冷却间的室温为  $0 \sim -2^{\circ}\text{C}$ ，当食品温度达到冷却工艺要求的温度后称为冷却物，即可送入冷却物冷藏间。当鲜蛋或要求不高的果蔬的一次进货量少于冷却物冷藏间容量的 5% 时，也可以直接在冷却物冷藏间冷却。

(2) 冻结间 对于需长期贮存的食物，由常温或者冷却状态迅速降温至  $-15 \sim -18^{\circ}\text{C}$  的冻结状态，达到冻结要求的食品称为冻结物。专门用来冻结食品的冷间称冻结间，内置冷风机或其他冻结装置，室温为  $-23 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 。冻结间可与主库一体，也可移出另建。用于分配性冷库的冻结间称为再冻间。

目前在国外水产冻结间室温有降低的趋势，可低至  $-40 \sim -50^{\circ}\text{C}$ ，以迅速冻结水产。

(3) 冷却物冷藏间 又称高温冷藏间，室温为  $13 \sim -2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 85% ~ 95%，因贮存食品种类不同而异。它主要用于贮存经过冷却的果蔬、鲜蛋和短期贮存冷却肉。由于果蔬在贮藏中仍有呼吸作用，库内除应保持合适的温湿度条件外，还必须引入适量的新鲜空气。

(4) 冻结物冷藏间 又称低温冷藏间，通常室温为  $-18 \sim -24^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 85% ~ 95%，用于较长时间贮藏冻结食品。目前在国外冻结物冷藏间的温度有降低的趋势，常为  $-25 \sim -30^{\circ}\text{C}$ ，有的已达  $-45 \sim -50^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 多用间 它可作为冷却物冷藏间或冻结物冷藏间变换使用，甚至可作为冷却间或冻结间使用，非常灵活。由于使用条件经常变化造成土建结构的破坏，故对土建库或室外用装配库不合适。但这种变温冷间对于室内用装配库非常适宜。

(6) 气调保鲜库 气调保鲜主要是针对水果蔬菜贮存的一种贮存方法。在水果蔬菜采收后，仍然保持着旺盛的生命活动能力，其特征就是呼吸作用。在一定范围内，温度越高、氧含量越高，呼吸作用越强，达到呼吸高峰的时间越短，衰老越快。所以在降温贮存的同时，



适当降低氧含量、提高二氧化碳浓度，可以抑制果蔬的呼吸强度，延缓成熟，达到延长贮藏期的目的。这种控制气体成分的贮藏方法称为 CA 贮藏，所用冷间称为 CA 间。

(7) 制冰间 制冰间的位置应靠近设备间，可与主库为一体，也可与主库分离单独建造。设计时应考虑有较好采光和通风条件、冰块入库和出库的方便，室内高度要考虑提冰设备运行的方便，并要求排水顺利，以免室内积水或过分潮湿。

(8) 贮冰间 一般设于主库靠近制冰间和出冰站台的部位，也可与制冰间一起单独建造。冰库的室温为  $-4^{\circ}\text{C}$ （盐水制冰）或  $-10^{\circ}\text{C}$ （快速制冰）。土建贮冰间的内壁应敷设竹料或木料护壁，以保护墙壁不受冰块撞击。对于装配库，贮冰间应设钢结构护壁。

(9) 穿堂 穿堂是连接各冷间以供食品进出装卸周转的通道。穿堂布置在库内时为库内穿堂，有中温穿堂和低温穿堂两种，墙体作隔热处理，但不设置冷却设备，穿堂内保持  $0^{\circ}\text{C}$  以上温度的称为中温穿堂。墙体作隔热处理，同时在穿堂内设置冷却设备以保持  $-10^{\circ}\text{C}$  以下温度的称为低温穿堂。布置在主库之外且不作隔热处理，也不布置冷却设备，保持穿堂温度接近环境温度的称为常温穿堂。目前冷库多采用常温穿堂。

(10) 电梯间 设置于多层冷库，作为垂直运输之用。电梯的大小及设置的位置取决于进出库货物量和工艺要求，一般按每千吨冷藏量配置  $0.9 \sim 1.2\text{t}$  电梯容量。数量上应考虑轮流检修，通常小于  $5\,000\text{t}$  的冷库设置  $3\text{t}$  货梯二台， $5\,000 \sim 9\,000\text{t}$  的配  $3\text{t}$  货梯三台， $10\,000\text{t}$  以上的配  $3 \sim 4\text{t}$  货梯四台。

(11) 站台 有铁路专用线的大中型冷库应同时设置铁路站台和公路站台。铁路站台最普通的形式是罩棚式，在多风沙地区宜建封闭式站台。铁路站台应高出轨面  $1.1\text{m}$ ，其长度和宽度见表 2-1。

表 2-1 铁路站台

冷库规模 (t)	$\geq 10\,000$	$\geq 5\,000$	$\geq 1\,500$
站台宽度 (m)	9	7~9	7
站台长度 (m)	$\geq 220$	$\geq 120$	$\geq 30$
车辆类型	机保车或冰保车	机保车或冰保车	冰保车

大中型冷库的公路站台可以布置在冷库与铁路站台相对的另一面，小型冷库可只设公路站台。其长度和宽度由货物周转量和装卸搬运方法而定，通常的长度为每  $1\,000\text{t}$  冷藏容量  $7 \sim 10\text{m}$ 。冷藏容量小于或等于  $1\,000\text{t}$  的冷库站台宽度一般为  $4 \sim 6\text{m}$ ，冷藏容量大于  $1\,000\text{t}$  的为  $6 \sim 8\text{m}$ ，用手推车作业的取  $4 \sim 6\text{m}$ ，用电动叉车作业的取  $6 \sim 8\text{m}$ 。

(12) 其他 如次品冷藏间、挑选间、包装间、楼梯间、称重间等。

#### 2.1.1.2 机房与设备间

(1) 制冷压缩机房 简称机房，它是冷库最主要的动力车间，安装有制冷压缩机、中间冷却器、调节站、控制台等机器设备。目前国内大多将机房设置在主库附近单独建造，一般采用单层建筑。国外的多层冷库常将机房设置在底层，以提高底层利用率，并简化地坪防冻结处理。对于室外用装配库，也可以在每个库房外独立分设制冷机组，采用全自动分散制冷方式，而不设置集中供冷的机房。

机房必须有一个连接主操作面，并向外开的门。氨机房还必须设置在紧急情况下能自动开启的，所有电器均防爆的事故紧急风机。

(2) 设备间 紧靠机房布置，室内安装有卧式壳管水冷冷凝器、贮氨器、汽液分离器、低压循环贮液器、氨泵等制冷辅助设备。在小型冷库中，因机器设备不多，可将机房、设备间、水泵房合为一间。

(3) 变配电间 可以单独建造，也可以建造在机房的一端，但与机房不得直接相通。变配电间包括高压配电间、变压器间、电容器间、低压配电间等组成部分。其高度应为 6m 左右，应有良好的通风条件，但必须严密防止鼠、雀进入造成事故。小型冷库的变压器可室外架空设置，仅设低压配电间即可。

(4) 锅炉房 须设置在全年主频风向的下风向，并尽可能靠近用气量最大的车间。锅炉房属于丁类生产厂房，其防火等级应不低于二级。

(5) 水泵房 一般设置在贮水池附近，以尽量降低水泵的吸入高度。水泵房内设置水泵和水分配调节阀门等设备。

### 2.1.1.3 生产车间

(1) 屠宰车间 屠宰车间是一组进行宰杀的加工间。根据冷库加工对象的不同，分别有肉猪、肉牛羊（或清真）、肉禽、杂肉类（兔、狗、驴等）等各种屠宰车间，以及不同的屠宰成套设备。

(2) 整理间 水产整理间用来进行清洗、分类、分级、前处理、称重、包装等工序，为冻结做准备的车间。设计时按每吨鱼 12~15m<sup>2</sup> 操作面积计算，处理虾、贝、软体类的车间应根据操作方式适当扩大，通常是加工鱼时的 1.3~1.5 倍。果蔬、鲜蛋在冷却前先在果蔬或鲜蛋整理间检查、挑选、分级、整理、称重、包装。整理间应有良好的采光和通风条件，墙面应可刷洗，地面要便于冲洗和排水。

(3) 加工车间 根据加工对象的不同，冷加工企业可设食用油加工间、腌腊制品加工间、副产品加工间、肠衣加工间、熟食车间、制药车间、鱼粉车间等。

(4) 辅助建筑 如化验室、仓库和车库、供水设备、污水处理场、铁路专用线、汽车回车场、修理间等。

### 2.1.1.4 附属建筑

在冷加工企业，附属建筑主要有以下两类。

(1) 办公与生活用房 包括办公楼、职工宿舍、食堂、浴室、厕所等。

(2) 危险品仓库 是单独建筑的专用于储存汽油、酒精、制冷剂等易燃易爆品的仓库，它必须距其他建筑物 20m 以上。

## 2.1.2 总平面布置

总平面布置是对整个冷加工企业而言，包括库址选择、建筑安排、建筑与道路的关系等布置。总平面布置对冷加工企业建设成败优劣、投产后的效益，乃至区域环境均至关重要。

### 2.1.2.1 库址选择

当冷库项目进行可行性分析时，应进行库址选择和方案比较工作。库址选择得合理与否，关系到工程的建设速度、基建投资和投产后的经济效益。因此，选择库址要以冷库的性质、规模、建设投资、发展规划等条件对库址的要求为依据，综合考虑拟选地点的地质、电力、水源、交通、金融等各方面的具体情况，审慎比较，择优确定。选择库址通常应考虑以下基本条件。

(1) 商业依据 建库时应首先考虑货源、销售市场、建设成本和生产成本。通常冷库应建在产地、货物集中地或主要销售地，力求符合商品的合理流向，在综合考虑造价和使用、



维护费用后，进行技术经济分析，找出最佳方案。

(2) 城市规划条件 冷库应尽量靠近城市，但不可布置在城市中心区域、商业区和居民集中居住区，应布置在城市水源的下游及夏季主频风向的下风处。

(3) 交通运输 库址必须有便利的水陆交通条件，以利货物出入。大中型冷库应设在铁路车站或船舶码头附近，而且应有铺设铁路专用线或建设专用码头的条件。铁路专用线越短越好，在选址时就应取得接轨许可。中小型冷库以公路运输为主，故选址应尽可能靠近公路，以缩短新建道路的长度。

(4) 区域环境 冷库库址周围应有良好的卫生和环境条件。所以在选库址时就必须考虑当地城市建设的长期发展规划，评估库址周围的当前环境状况和以后的发展趋势。冷库应远离有害气体、被污染的水、放射性物质、粉尘等污染源和传染病医院，应建在工业区的上风处、污水向河流排放口的上游。冷库的卫生防护距离须符合我国《工业企业设计卫生标准》的规定。

(5) 地理条件 包括地形、地质、水文条件。选址时应注意少占或不占耕地，少拆或不拆民房，尽可能利用荒地或贫瘠地。冷库不应建在回填层、流沙层、崩塌与滑坡地带，应避开断层和溶洞。多层冷库的库基地耐力应不小于每平方米 0.15MPa，单层冷库的库基地耐力应不小于每平米 80kPa。地下水位必须在冻结线以下，尽可能在冷库地坪以下。

(6) 水源条件 冷加工企业是用水较多的工厂，冷却水采用循环水，加工用水则必须符合饮用水标准。因此，库址所在地需有足够的一次用水和循环水的补充水。

(7) 电源条件 冷加工企业供电属于二类负荷，应有可靠的、电压稳定的市电供应，选址时应考虑扩容许可。如电源不可靠，应考虑自备发电设备以供备用。

(8) 热源条件 是否有热电厂的废热或其他低势热源可以利用。

#### 2.1.2.2 总平面布置原则

库址选定后，应在初步设计阶段拟出总平面布置方案图，以供工程勘测、报批和征地用。等报批、征地、工程勘测工作完成，地形、地质、水文等资料完全齐备后，根据批准文件和建设方的意见进行修改，再做出正式的总平面布置图。

冷库总平面布置的依据是设计任务书和各项基本资料，其内容是对冷加工企业的各建筑物、构筑物、厂内道路、铁路专用线、码头、管线和绿化带进行总体平面和立面布置，以达到优化目的。

进行总平面布置设计的一般原则有以下四个方面：

(1) 满足生产工艺要求 应保证生产工艺流程的连续性和生产过程的高效率，须避免作业线路交叉并尽可能避免迂回。

(2) 力求布置紧凑，尽可能少占地 土地使用费在建设投资中占相当大的比重，减少占地对于降低工程造价、节约土地资源均有重要意义。

(3) 按使用功能进行分区 通常可分为原料区、生产区、动力区、办公与生活区、隔离区等，各功能区的组成见表 2-2。

(4) 满足卫生防护要求 隔离区、原料区和动力区应处于厂区的边缘且在夏季主频风向的下风处。办公区、生活区与生产区之间应有隔离墙，且处于夏季主频风向的上风处。

表 2-2 厂区分区

名 称	组 成 部 分
原料区	原料站台、码头、验收分级栏（间）、饲养栏、病畜栏、饲料仓库、饲料加工间、活畜（禽）车回车场
生产区	库房的各组成部分、屠宰间、整理间、加工车间、化验室、发货道路及成品车回车场
动力区	机房、设备间、变配电间、水泵房、锅炉房、供水设备
办公与生活区	办公室、职工宿舍、食堂、浴室、医务室、厕所
隔离区	危险品仓库、汽车库、急宰间、工业油加工间、污水处理场、皮毛晾晒场

(5) 应将近期建设与远期发展相结合 为将来发展留出余地，但近期应自成体系。

(6) 动力区应靠近负荷中心 即机房和设备间应尽可能靠近库房，变配电间应尽可能靠近机房和生产车间，锅炉房应尽可能靠近屠宰车间，以缩短管线、减少能量损失、简化管理路布置。

### 2.1.2.3 建筑间距

为节约用地，应尽可能减小各建（构）筑物的间距。为保证卫生防护、防火和建筑要求，又应尽量加大其间距。因此，在保证卫生防护、防火、建筑强度、通风等要求的前提下，尽可能地减小建筑之间无用的空地，是总平面布置的重要工作。建（构）筑物的分离是用空地、绿化带和企业内道路来实现，在冷加工企业内，未绿化的地面应尽可能的硬化。

厂区内建筑物、构筑物 and 堆场的防火间距应符合《建筑设计防火规范》的规定。各建筑物的耐火等级为 2~4 级。建筑物的防火间距以及火灾危险类别分类参见表 2-3 和表 2-4。

表 2-3 防火间距 (m)

耐火等级	一、二	三	四
一、二	10	12	14
三	12	14	16
四	14	16	18
危险品（氨、汽油等）库	12	15	20

表 2-4 火灾危险类别分类

火灾危险类别	建（构）筑物名称
甲	汽油库、有机溶剂库
乙	制冷剂库、氨压缩机房和设备间
丙	变（发）电间、库房
丁	油加工间、动物油库
戊	配电间、锅炉房、汽车库、工业油加工间、熏烤间、其他生产车间

各建（构）筑物的卫生防护间距必须符合《工业企业设计卫生标准》的有关规定，结合冷库的实际情况，可参照表 2-5 确定。

以上所说建筑间距均指各分区内的间距，分区之间的间距应大一些，且均应采用绿化带和道路进行分隔。

表 2-5 卫生防护间距

序号	建(构)筑物名称	最小间距 (m)
1	库房、熟食品加工间、办公室、食堂→急宰间、工业油加工间	70
	→污水处理场	100
	→验收分级栏、饲养栏	50
	→锅炉房、煤场	30
	→下脚料堆放场	50
2	一般食品加工车间→急宰间、工业油加工间	70
	→污水处理场	100
	→验收分级栏、饲养栏	30
	→锅炉房、煤场	30
	→下脚料堆放场	50
3	居民区→急宰间、工业油加工间	150
	→污水处理场	150
	→验收分级栏、饲养栏	150
	→锅炉房、煤场	30
	→下脚料堆放场	150
4	屠宰间→急宰间、工业油加工间	20
	→验收分级栏、饲养栏	20
5	验收分级栏、饲养栏→污水处理场	30
	→锅炉房、煤场	20
	→下脚料堆放场	50

#### 2.1.2.4 厂区道路

冷库厂区的铁路专用线的布置和设计按照《工业企业标准轨铁路设计规范》的规定执行。一般应为单股道，有效长度（警冲标至土挡的间距）应比保温车组的总长度长 50m 以上。我国常用的机械保温车主要参数见表 2-6，常用加冰保温车的主要参数见表 2-7。

表 2-6 我国常用的机械保温车

车 型		B18	B19	B20
车组全长	(m)	179.32	92.96	195.39
车组辆数		10	5	9
货物车车体外部尺寸	长	(m) 17.00	17.006	21.000
	宽	(m) 2.96	2.955	2.824
	高	(m) 3.14	3.245	3.215
货物间内部尺寸	长	(m) 16.2	16.34	18.00
	宽	(m) 2.3	2.43	2.55
	高	(m) 1.8	2.30	2.00
有效装货面积	(m <sup>2</sup> )	37	38.4	46
有效装货容积	(m <sup>3</sup> )	70	83	92
自重(单辆/车组)	(t)	43.5/372.5	39/207	36.7/367.5
载重(单辆/车组)	(t)	35/315	40/160	40/320



厂区内的道路按三类企业标准设计，其主要技术指标见表 2-8。厂区内的人行和货运道路应尽量避免与铁路专用线交叉，道路与相邻建（构）筑物的最小间距见表 2-9。

表 2-7 常用加冰保温车

车 型	B11	B8	B6b
车辆全长 (m)	14.424	15.975	17.938
车体外长 (m)	13.578	15.030	17.006
有效装货面积 (m <sup>2</sup> )	37	38.4	46
有效装货容积 (m <sup>3</sup> )	70	83	92
冰箱容积 (m <sup>3</sup> )	10.2	9.6	10.0
冰箱容冰量 (t)	6.0	6.0	7.0
自重 (t)	36	36	34
载重 (t)	24	30	38

表 2-8 厂区道路

名 称		汽车道	电瓶车道
计算行车速度 (km/h)		12~16	5~8
路面宽度	单车道 (m)	3.5	2
	双车道 (m)	6~7	2
路肩宽度	单车道 (m)	1.5	
	双车道 (m)	1.0	
最小转弯半径	单车 (m)	9	5
	带一辆拖车 (m)	12	7
	≥15 吨的平板车 (m)	15	
最小视距	会车视距 (m)	30	10
	停车视距 (m)	15	
	交叉口车视距 (m)	20	
最大坡度 (%)		6	4~5

表 2-9 道路路面边缘至其他物体的最小间距 (m)

建筑物外墙	无出入口时	1.5
	有非机动车、电瓶车出入时	3~4.5
	有汽车出入时	6~8
围墙		1.5
准轨铁路的中心线		3.75
乔木、标语牌、广告牌		0.75~1

对于承担主要装卸任务的公路站台，前方应设回车场。根据场地情况，回车场可为方场式、斜列式或直角式，其宽度等于站台长度。大、中型冷库的回车场应有一个进口和一个出口，边缘距站台应不小于 30m。小型冷库有一个进出口，长度大于或等于 15m 即可。厂区内道路采用沥青路面，回车场采用混凝土路面。

渔业基地的冷库和有条件利用内河水运的冷库，应设码头。根据货物运输量和船舶的吨位，码头泊位数可按下式计算：

$$N_s = G_b / G_m \quad (2-1)$$

式中： $N_s$ ——泊位数；

$G_b$ ——生产旺季的月运量 (t)；

$G_m$ ——单个泊位的月通过能力 (t)。

码头的长度为：

$$L_d = N_s (L_s + L_e) \quad (2-2)$$

式中： $L_d$ ——码头长度 (m)；

$L_s$ ——船舶长度 (m)；

$L_e$ ——船舶间隔距离，1 000t 以下船舶可取 10m。

#### 2.1.2.5 竖向与管线布置

竖向布置的主要工作是：

(1) 确定室外场地、厂内道路、铁路专用线、码头和各建筑物室内地坪的标高使之与地形相谐调；

(2) 确定各建（构）筑物连接部位（如站台、走廊、坡道、吊轨、输送带、溜冰道等）的标高，使之相互衔接；

(3) 确定管线的标高；

(4) 根据所设计的标高，确定平整场地的土石方工程量。

管线布置是冷库设计的一项重要工作，其基本原则是应尽可能做到：长度短、转弯少、交叉少、不干扰、便于施工和维修、不影响交通、节约用地、造价低。

管线一般应与道路和建筑物的轴线相平行，通常应直线布置。干线应靠近主要用户接口较多的一侧布置，并尽可能集中。布置时的优先顺序为：①永久性的优先；②管径大的优先；③需隔热的优先；④压力高的优先；⑤原有的的优先；⑥硬管优先。

管线布置分为地上和地下布置两类。地上布置可分为沿墙、沿地面、架空敷设三种。地下布置可分为埋设和地沟敷设两种。一般情况下，应尽可能采用地沟敷设，但当水文、地质、地形条件很差，如地下水位过高、地形高差过大、存在流沙时应考虑架空敷设，以保证管线可靠、减少土石方工作量、降低工程造价。制冷剂和载冷剂管路常用架空敷设，如地下敷设则需专用地槽。

管线布置最主要的工作是绘制管线综合布置图。进行地下管线综合布置时，应合理安排管线的位置顺序。从建筑物的基础外缘至道路中心、由上至下、由浅至深的顺序依次是：①制冷剂管、②载冷剂管、③煤气管、④电讯电缆、⑤电力电缆、⑥热力管、⑦给水管、⑧排水管、⑨待处理废水管。

#### 2.1.2.6 技术经济指标

厂区总平面布置主要有以下技术经济指标：

(1) 占地面积  $S_t$  ( $m^2$ )；

(2) 征用农田面积  $S_a$  ( $m^2$ )；

(3) 拆迁民房面积  $S_b$  ( $m^2$ )；

(4) 农田占用比例：

$$C_a = S_b / S_t \quad (2-3)$$

(5) 民房拆迁比例：

$$C_b = S_b/S_i$$

(2-4)

(6) 土石方工程量  $V_g$  ( $m^3$ );

(7) 土地使用费  $E_g$ ;

(8) 场地平整工程费  $E_a$ 。

总平面布置的技术经济指标直接影响到工程总造价,在设计时,应对多个总平面布置方案进行比较,选出最优者。

### 2.1.2.7 整体布置举例

图 2-1 与图 2-2 是冷库整体布置的工程实例,分别为小型低温冷库总平面布置和小型综合冷库总平面布置。

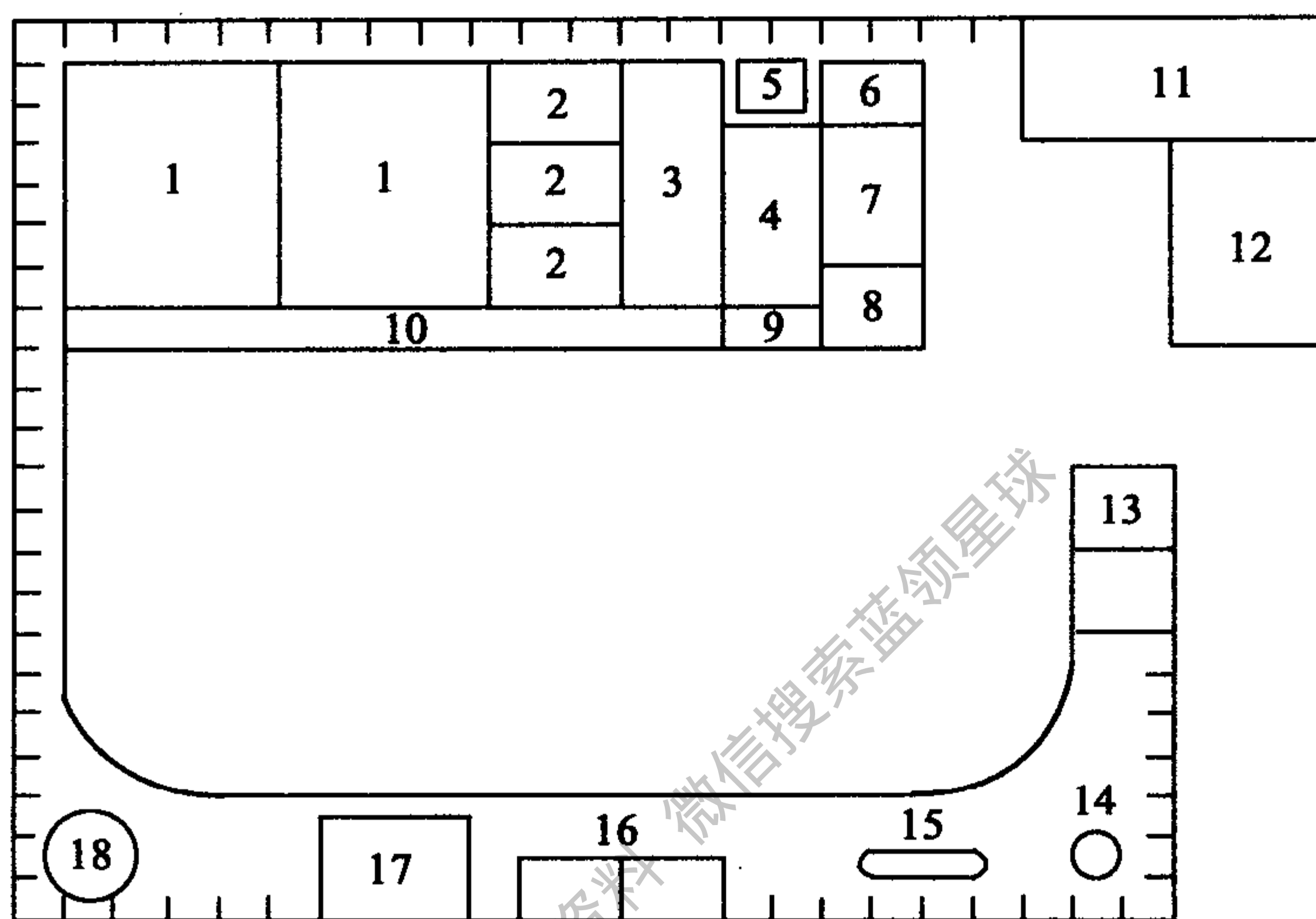


图 2-1 小型低温冷库总平面布置

1. 冻结物冷藏间 2. 冻结间 3. 肉类整理间 4. 机房 5. 水池 6. 泵房  
7. 变电间 8. 发电间 9. 更衣室 10. 封闭月台 11. 办公、食堂 12. 化验室  
13. 值班室 14. 水井 15. 无塔供 16. 厕所 17. 车库 18. 水处理场

### 2.1.3 主体建筑布置

主体建筑布置是根据冷库生产工艺流程、制冷工艺流程、库内分区、库内装卸运输方式等条件,确定各冷间、穿堂、楼梯和电梯间、站台等的位置和面积,并确定冷库的外形。

#### 2.1.3.1 一般要求

冷库主体建筑布置应符合以下要求:

(1) 尽可能短的运输线路,避免交叉和迂回运输,尽可能利用穿堂作为各部分的连接部位。穿堂可用作脱钩间、脱盘间、包装间、过磅间等使用。以降低工程造价,延长建筑使用寿命。

(2) 应尽量减少主体建筑的外表面积,即尽可能接近正方体,以降低建筑造价,减少漏热。

(3) 按不同的设计温度进行分区和分层布置,高低温分区应明确,尽可能相互分开。

(4) 在分区内部应根据使用要求的不同和适宜的大小进行分间,不同种类的货物尽可能不混装。

(5) 冷间的净高和柱网尺寸应根据建筑模数和货物包装规格、托盘大小、货物堆码方式



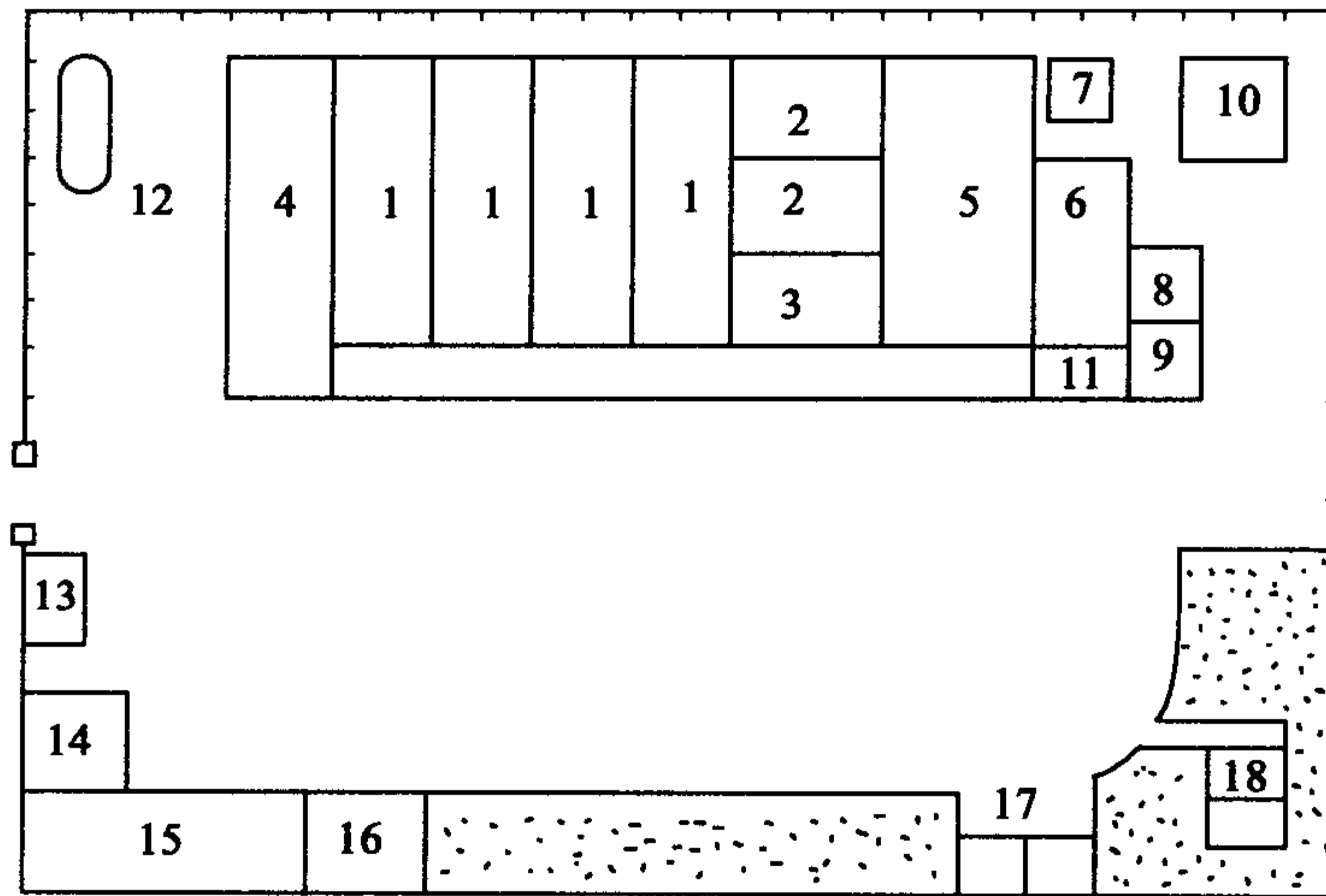


图 2-2 小型综合冷库总平面布置

1. 冷却物冷藏间 2. 冻结物冷藏间 3. 冻结间 4. 果蔬整理间 5. 肉类整理间 6. 机房  
7. 水池 8. 配电间 9. 发电间 10. 锅炉房 11. 更衣室 12. 供水设备 13. 值班室 14. 化验室  
15. 办公室 16. 车库 17. 厕所 18. 水处理

以及堆码高度等因素确定。

### 2.1.3.2 温度分区与分间

分区的温度界限是 $0^{\circ}\text{C}$ ，温度高于或等于 $0^{\circ}\text{C}$ 的为高温区，温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的为低温区。根据温度波动的情况，冷间有两类。温度波动不跨越 $0^{\circ}\text{C}$ 的为温度稳定冷间，否则为温度波动冷间，应处于波动区。将温度和温度波动情况相似的冷间分别组合在一起，即为温度分区，其处理方法可分为三类。

(1) 独立处理 即各个分区采用各自独立的围护结构。这种处理方法效果最好，且结构设计简单，广泛应用于大中型多层土建库房。

(2) 分边处理 将高、低温区分别置于同一围护结构内的两边，中间用隔热墙隔开。此时，高、低温区之间不可有连续梁，楼板、地板也必须是非连续的。如为多层库房，则分界线须上下对直在同一轴线上。如是单层库房，则隔墙须是非承重墙。具体做法见图 2-3。

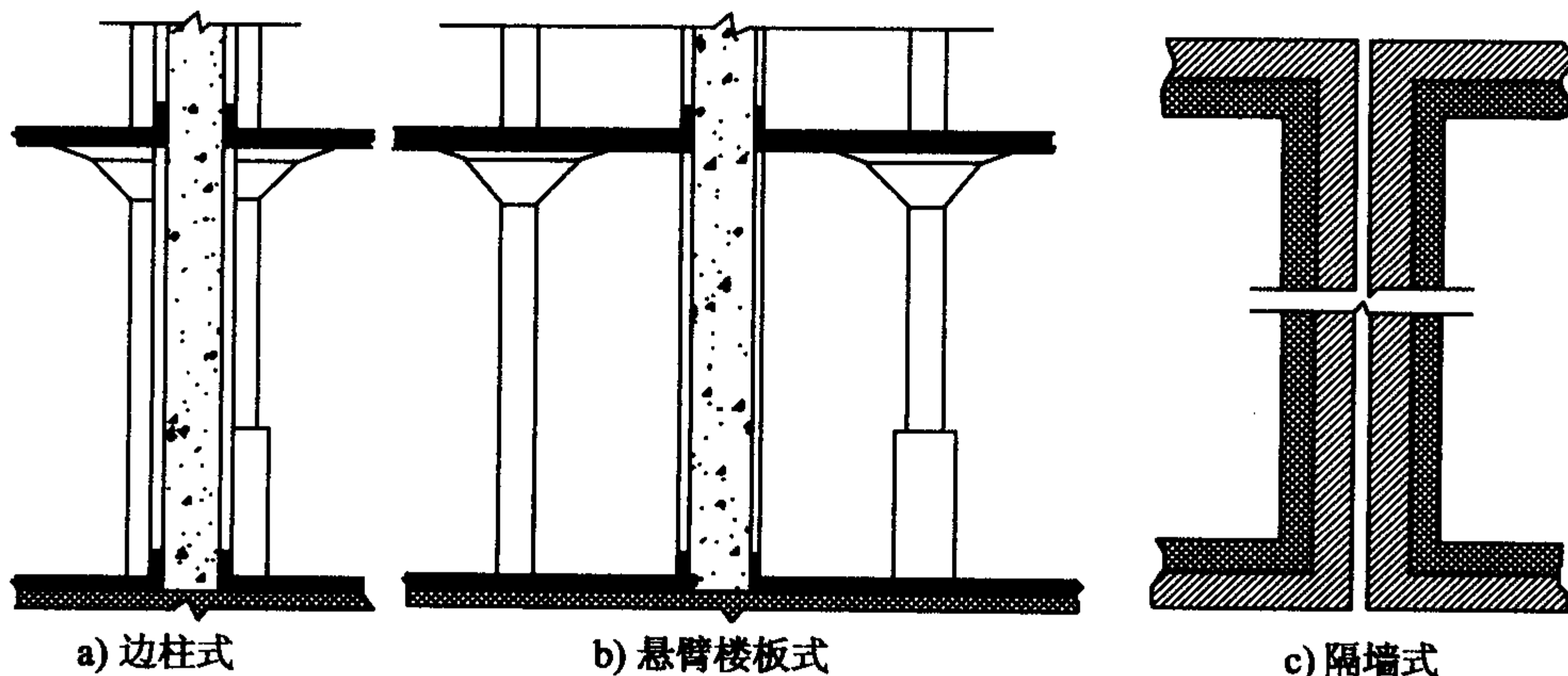


图 2-3 高低温区分边处理

(3) 分层处理 即将高温区置于下层，低温区置于上层。这种处理方法宜与分边处理相结合，将波动区另行处理。

冷库的分间应尽可能的大，以提高冷间面积利用率，使温度和相对湿度容易稳定，减少操作管理冷负荷，但大、中型冷库的相同冷间一般不应少于两间，小型冷库则可为一间。分间时应应对以上因素和货物品种、进出库批量、次数等进行综合考虑。

### 2.1.3.3 主体建筑平面布置实例

图 2-4 和图 2-5 是冷库主体建筑平面布置的工程实例，分别为 5 000m<sup>3</sup> 装配式综合库主体布置和多层土建冷库平面布置。

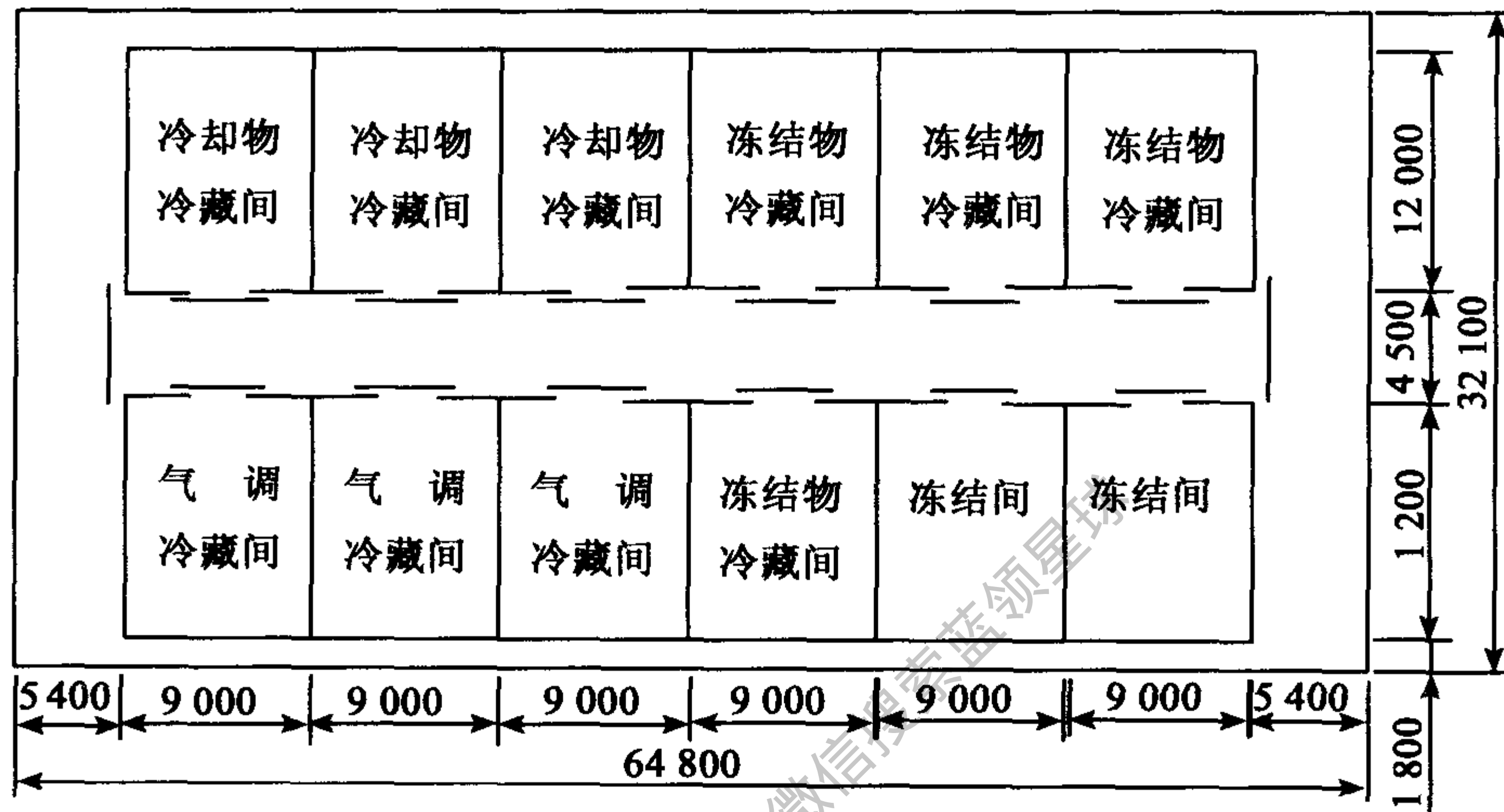


图 2-4 5 000m<sup>3</sup> 装配式综合库主体布置

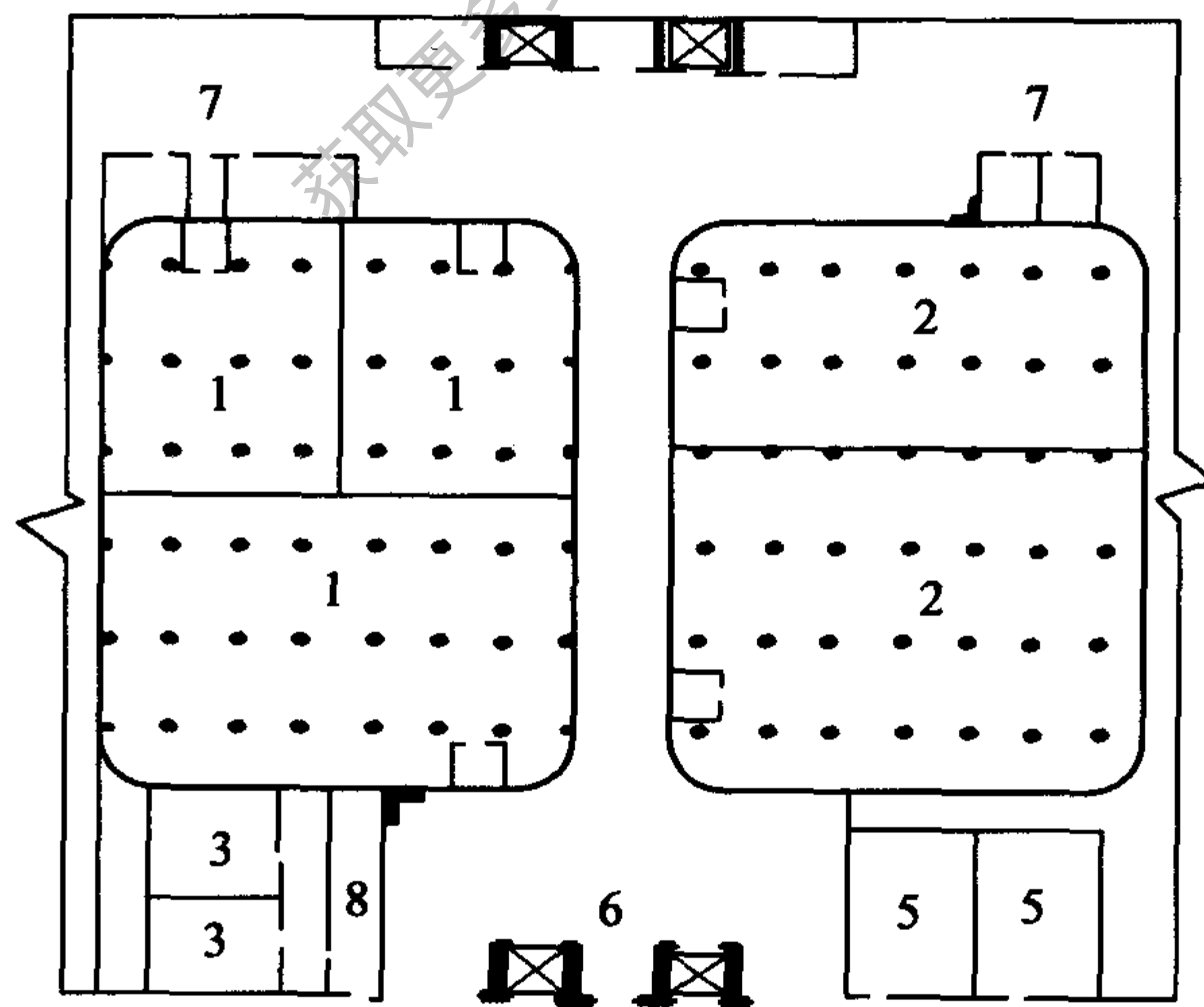


图 2-5 多层土建冷库平面布置

1. 冻结物冷藏间 2. 冷却物冷藏间 3. 冻结间 4. 常温穿堂 5. 办公室  
6. 铁路站台 7. 公路站台 8. 整理间

## 2.2 土建库房结构

在建筑物中支承外载荷的构架或构件，如基础、柱、墙、梁、板、屋面等组成的体系，称为建筑结构。冷库是低温仓储建筑，对建筑结构有特殊的要求。

### 2.2.1 对结构和建材的要求

冷库是一类较特殊的建筑，其特点与一般工业和民用建筑不同，因此对其结构和建材的要求也不同。

#### 2.2.1.1 冷库建筑的结构特点

冷库建筑的结构特点可归结为如下四点：

(1) 冷库是堆放大量货物的仓库类建筑，又需各种装卸或运输机械设备在库内作业，故要求结构刚度大、承载力大。

(2) 为降低冷库的耗冷量、减小库温波动、防止围护结构内产生冻结，对结构的隔热和防潮隔汽要求很高。为此，围护结构中需设隔热层和防潮隔汽层，穿透隔热层和防潮隔汽层的构件需进行防冷桥和防蒸汽渗透处理。

(3) 冷库建筑的构件大多处于低温高湿环境中，有的还要承受周期性的冻融循环，这就要求构件和材料有足够的强度和抗冻能力。

(4) 如地基或地坪下的土壤冻结，会产生冻胀而导致上部建筑变形或破坏，所以冷库地坪需专门处理，如架空地坪、设通风管或加热管等。

#### 2.2.1.2 对结构和建材的要求

由于冷库建筑的结构特点，库房结构应考虑温差变形问题，采取相应的措施。对于结构，《冷库设计规范》作出了较详细的规定。

(1) 楼板应设伸缩缝，但库房长向两端边柱中心线距离不大于 50m 时，现浇钢筋混凝土楼板可不设伸缩缝。

(2) 当库房顶层为阁楼时，阁楼屋面最好采用装配式结构；如采用现浇钢筋混凝土屋面，有隔热层时，伸缩缝距离应不大于 45m，无隔热层时，伸缩缝距离应不大于 35m。

(3) 当库房阁楼屋面采用现浇钢筋混凝土屋面，且相对边之间边柱中心线距离大于或等于 30m 时，边柱柱顶应采用铰接；屋面梁及板底与外墙顶之间须留 30 ~ 50mm 高的空隙，并用沥青麻刀或涂不干橡胶的泡沫塑料填嵌。

(4) 冷间内钢筋混凝土构件的钢筋保护层厚度应大于以下数值：

截面高度大于 100mm 的板	板面钢筋保护层	15mm
	板底钢筋保护层	25mm
截面高度小于 100mm 的板	板面钢筋保护层	10mm
	板底钢筋保护层	20mm
梁钢筋保护层		30mm
柱钢筋保护层		35mm

在冷库建筑中使用的建材应符合以下要求。

(1) 冷间内不得使用火山灰质水泥或掺有火山灰质的矿渣水泥；不同品种的水泥不得混用，同一构件不得使用两种水泥；0℃及以下的冷间应使用 425 号以上的普通硅酸盐水泥；0℃以上的冷间最好使用 325 号以上的普通硅酸盐水泥。

(2) 冻结间用的混凝土标号不得低于 300 号，在配制混凝土时，水灰比不得大于 0.55，



每立方米混凝土中水泥的用量不得少于 300kg；其他冷间用的混凝土标号不得低于 200 号，配制混凝土时，水灰比不得大于 0.6，每立方米混凝土中水泥的用量不得少于 275kg。

(3) 冷间用的混凝土抗冻标号不应低于 50 次冻融循环，即 28 天龄期的混凝土试件经冻融循环 50 次，其强度损失应小于 25%；冷间内钢筋混凝土构件的混凝土中，不得添加氯盐等对钢筋有腐蚀性的抗冻剂。

(4) 冷间内砖砌体应采用标号不低于 100 号的黏土砖，并用水泥砂浆砌筑和抹面。

(5) 冷间内钢筋混凝土构件中的受力钢筋，应采用 I、II 级热轧钢筋，其强度等级代号分别为 R235、RL335，相应的材料为 Q235、20MnSi 或 20MnNb；如需焊接，所用焊条分别为 J427 与 J507。

### 2.2.2 基础与承重结构

承重结构承受冷库的全部荷载及其自重，并通过基础传给地基。由于冷库建筑存在较大的温度应力和冻结问题，基础与承重结构有明显的特点。

基础是冷库建筑结构最下层的构筑物，基础支承主承重结构。在基础的下面支承基础的土石层是地基。

#### 2.2.2.1 地基

根据地质条件和地耐力的不同，冷库所用的地基有人工地基和天然地基两类。当地基有较高地耐力，无需人工加固即可使用时，称为天然地基。冷库所使用天然地基仅有以下几种。

(1) 岩石地基 有火成岩、水成岩和变质岩等几种，其承载力极高，通常为 1 000 ~ 4 000kPa。

(2) 碎石地基 为土中夹杂风化破碎岩石或未完全发育沉积岩土层，其承载力通常为 200 ~ 800kPa。

在大多数情况下，冷库的地基应为人工地基，即人工加固的地基。常见的地基和加固方法有以下几种。

(1) 砂质土地基 是由土粒与粒径 0.05 ~ 2mm 砂粒混合的地基，其承载力为 100 ~ 400kPa，常采用的加固方法为素土夯实或加石灰夯实。

(2) 黏性土地基 由粒径在 0.05mm 以下的土粒组成，其承载力为 80 ~ 240kPa，常采用的加固方法为加石灰和粗砂夯实。

(3) 回填土地基 这种地基系在原来的坑塘、河床、低洼地之上，由松散土、建筑垃圾、生活垃圾及杂物等堆填而成，如不进行人工处理，不能够作为冷库地基。这种地基常用的处理方法为打钢筋混凝土桩，应根据弱土层以下的地层情况，选择支承桩或是摩擦桩。

(4) 流砂层地基 这种地基由故河道形成，如不进行人工处理，不能够作为冷库地基，常用的处理方法与回填土地基相同。

由于打桩地基工程造价高，当冷库规模为中型及其以下时，一般情况下应改变库址，而不采用打桩地基。

#### 2.2.2.2 基础

冷库的基础承受全部冷库建筑荷载，并将其均匀的传给地基。冷库基础的结构形式与断面尺寸应与作用在其上的荷载及地基承载力相适应；应有良好的抗冻、抗浸与抗侵蚀性能。

冷库的基础有多种形式，按构造分有单独基础、条形基础、板式基础和箱形基础等；按所使用的建筑材料分有灰土砖基础、毛石基础、钢筋混凝土基础等；按施工和连接方法可分

成装配式、半装配式和整体式等。

冷库建筑最主要的基础是柱基础，几乎全部荷载都作用在其上。采用单独基础构造的柱基础如图 2-6 所示，根据所使用建筑材料的不同，可以是灰土砖基础、毛石基础、钢筋混凝土基础等。灰土砖基础用于土层均匀、地基承载力  $80 \sim 400\text{kPa}$  的地基，冷库建筑为单层的情况，其断面形式梯形。毛石基础用水泥砂浆砌筑毛石料而成，其断面形式也是梯形，用于土层均匀、地基承载力  $80 \sim 400\text{kPa}$  的地基，冷库建筑为单层或两层的地区。钢筋混凝土锥形基础用于地基承载力较大、土层均匀，冷库建筑为两层以下的场合。钢筋混凝土桩基础用于回填等持力层在地面下很深、冷库建筑为五层以下的场合。

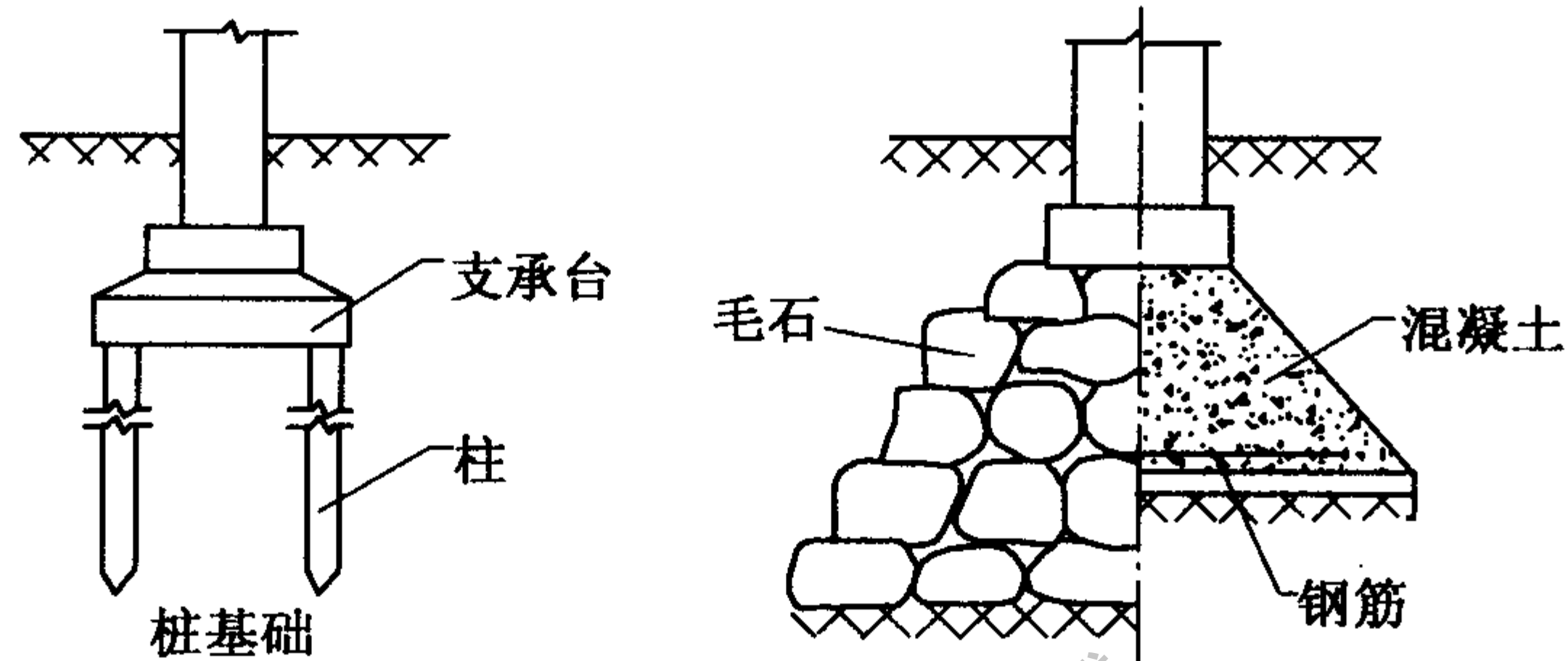


图 2-6 单独基础

条形基础如图 2-7 所示，所使用的建筑材料为钢筋混凝土，适用于存在不严重的不均匀沉降、地基承载力小、而基础荷载较大的场合。将条形基础纵横排布，将柱置于交点相连处，即形成网状条形基础，可用于地基承载力较小、冷库为多层建筑的场合。

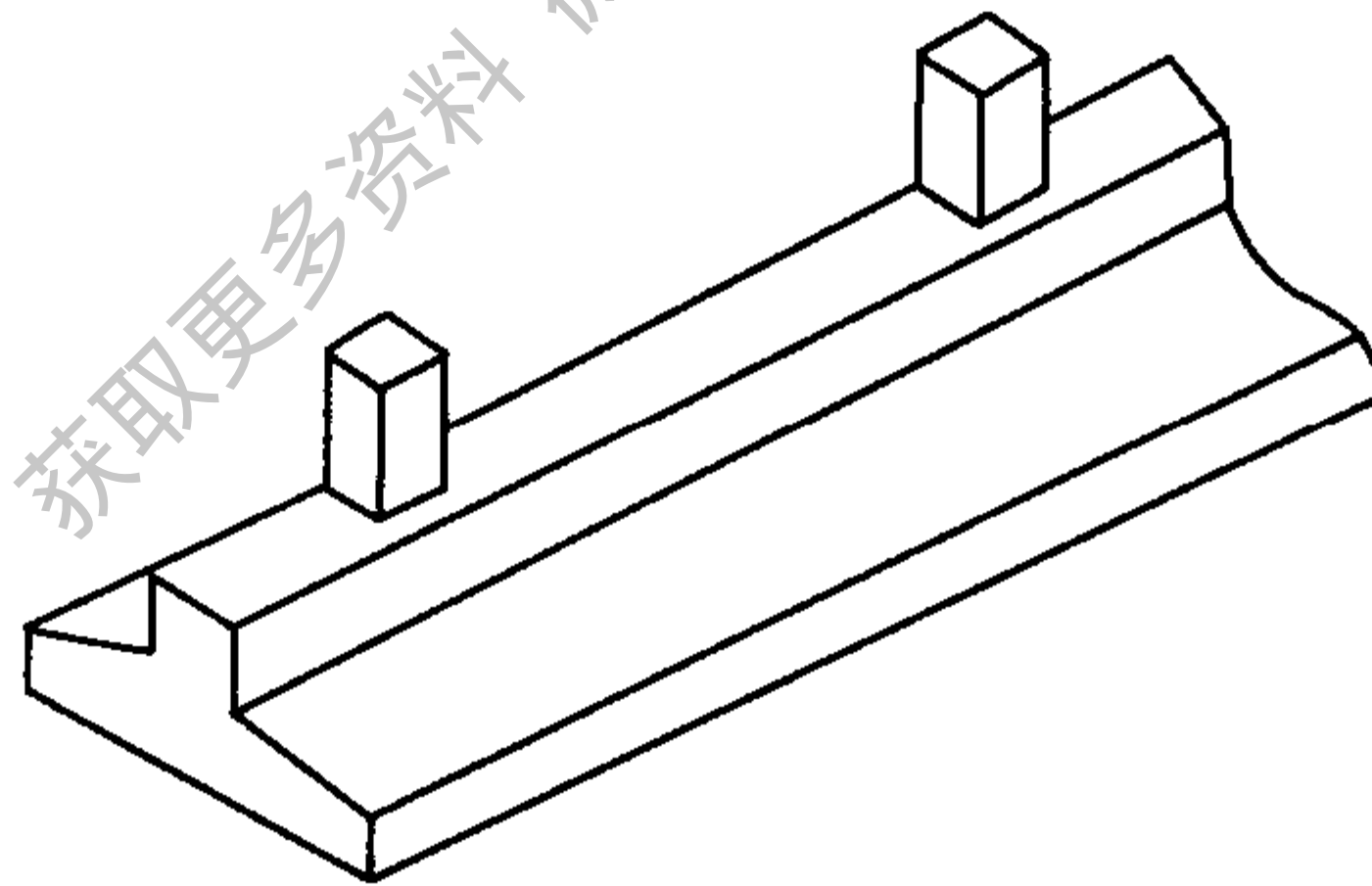


图 2-7 条形基础

板式基础是一种整体基础，又称满堂基础，如图 2-8 所示。目前常用的是无梁式板式基础。板式基础为混凝土整体现浇，承载能力强，适用于地基土层分布较均匀但承载力小，且冷库为六层以上的场合。

箱形基础为整体混凝土现浇地下室式基础，其承载能力极强，适用于地基土层承载力分布不均匀、有可能出现不均匀沉降、地基承载力小、且冷库为六层以上的场合，如图 2-9 所示。

由于板式基础和箱形基础材料消耗大、制作要求高、工程造价高，在能采用其他基础时不应采用这二种基础。

冷库的墙基础为外墙基础和其他承重墙基础，其结构形式与柱基础有关。当采用板式基础或箱形基础时，已经包含了墙基础，无需另做。当采用条形基础时，墙基础由主承重结构的悬臂长度而定，如边柱为短悬臂，则将边柱的条形基础加宽，外墙与边柱共用。当条形基

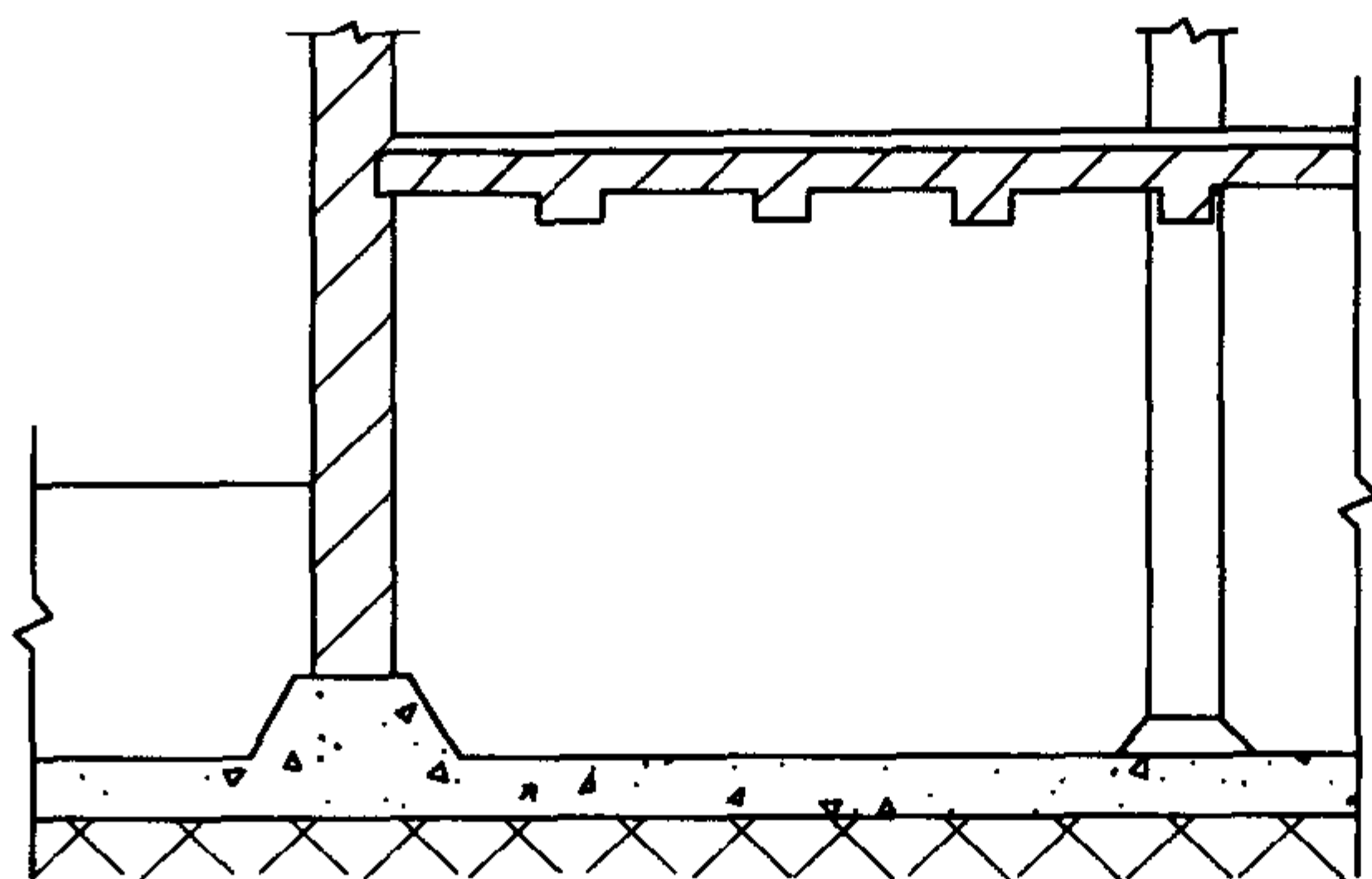


图 2-8 板式基础

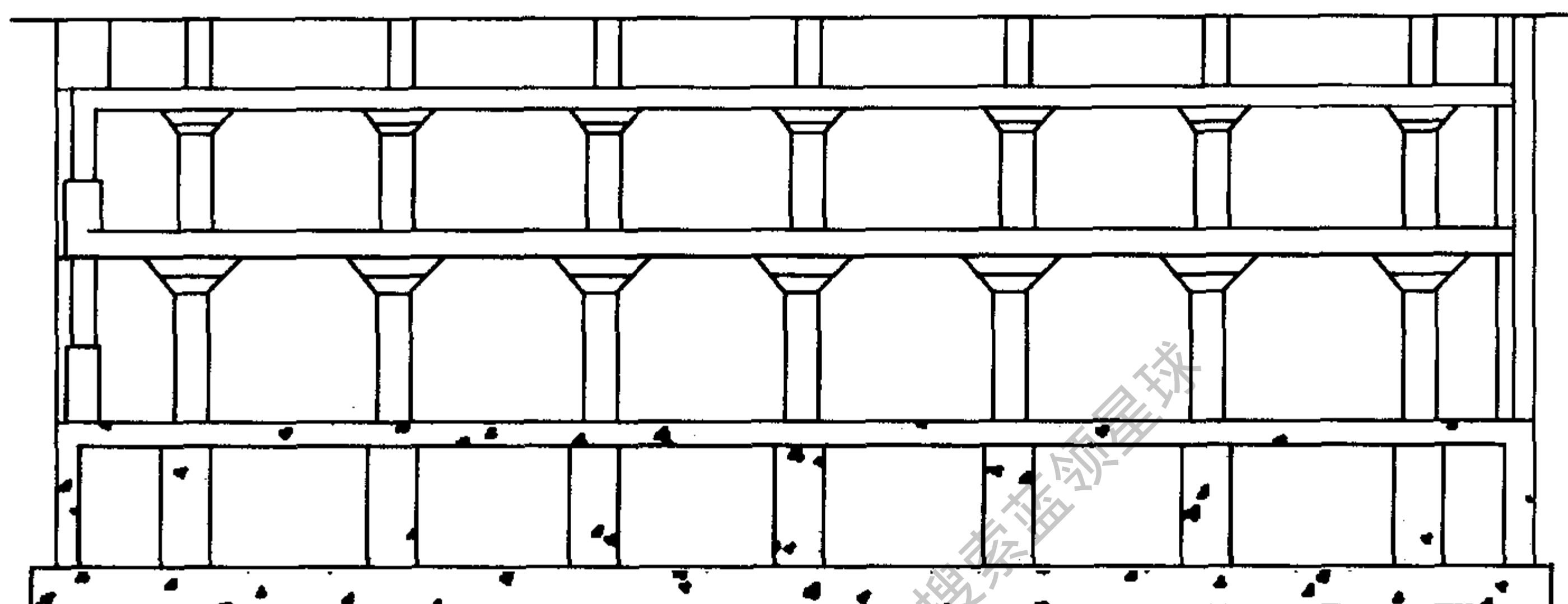


图 2-9 箱形基础

础且边柱为长悬臂或是单独基础时，承重墙应另做连续条形基础。

冷库建筑的基础强度、刚度、埋深计算以及基础设计应依据《GBJ7—89 建筑地基基础设计规范》进行。

### 2.2.2.3 柱和梁

柱和梁是冷库建筑的主要承重结构，有梁板式和无梁楼盖式两种结构型式。

梁板式结构如图 2-10 所示，多用于单层冷库。在这种结构中，柱在主梁之下支承主梁，主梁在次梁之下支承次梁，次梁在板下支承板，施工多采用预制装配的方法。梁板式结构施工方便、技术简单，但主梁底至板底的空间无法利用，梁与板之间的缝隙中易滋生霉菌。

无梁楼盖结构如图 2-11 所示，常用于多层冷库。无梁楼盖结构采用同一厚度的板，板底置于柱上。柱由柱体和柱帽两部分构成，柱帽将柱的支承面放大，减小了板的计算跨度和挠度，提高了整体刚度，冷库常使用的柱帽为有折线型或有顶板型柱帽。无梁楼盖结构多用现浇钢筋混凝土或升板法施工，技术复杂、施工周期长；其优点是库内空间利用率高，气流容易组织。

冷库所用柱子应是钢筋混凝土柱，其截面应为正方形，以便于敷设隔热层。采用无梁楼盖结构时，柱网应为正方形网格布置，边柱上的板应外伸形成悬臂，以改善板与柱的受力情况，并减少柱的数量。采用梁板式结构时，柱网可以是正方形网格，也可以是长方形网格。



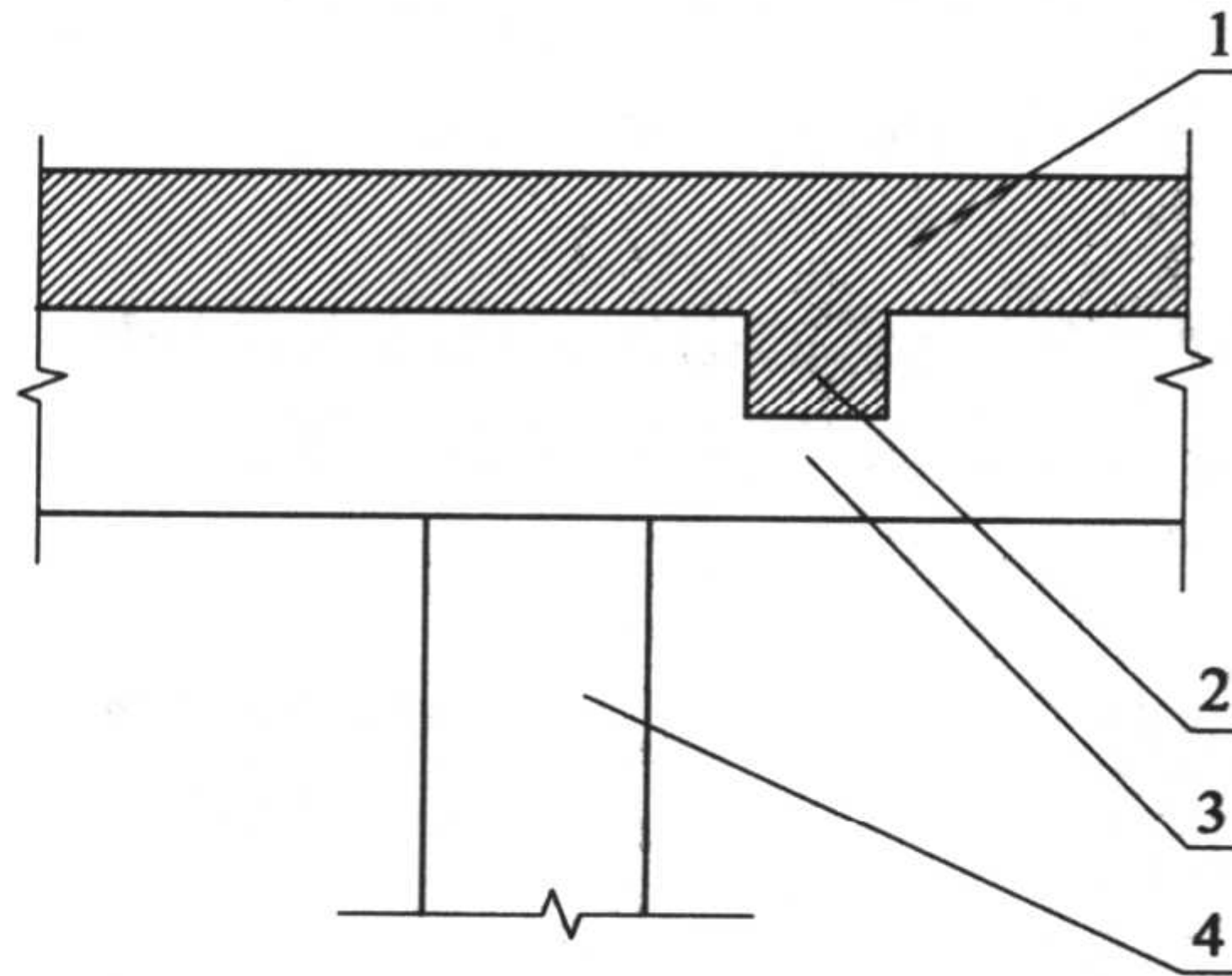


图 2-10 梁板式结构

1. 板 2. 次梁 3. 主梁 4. 柱

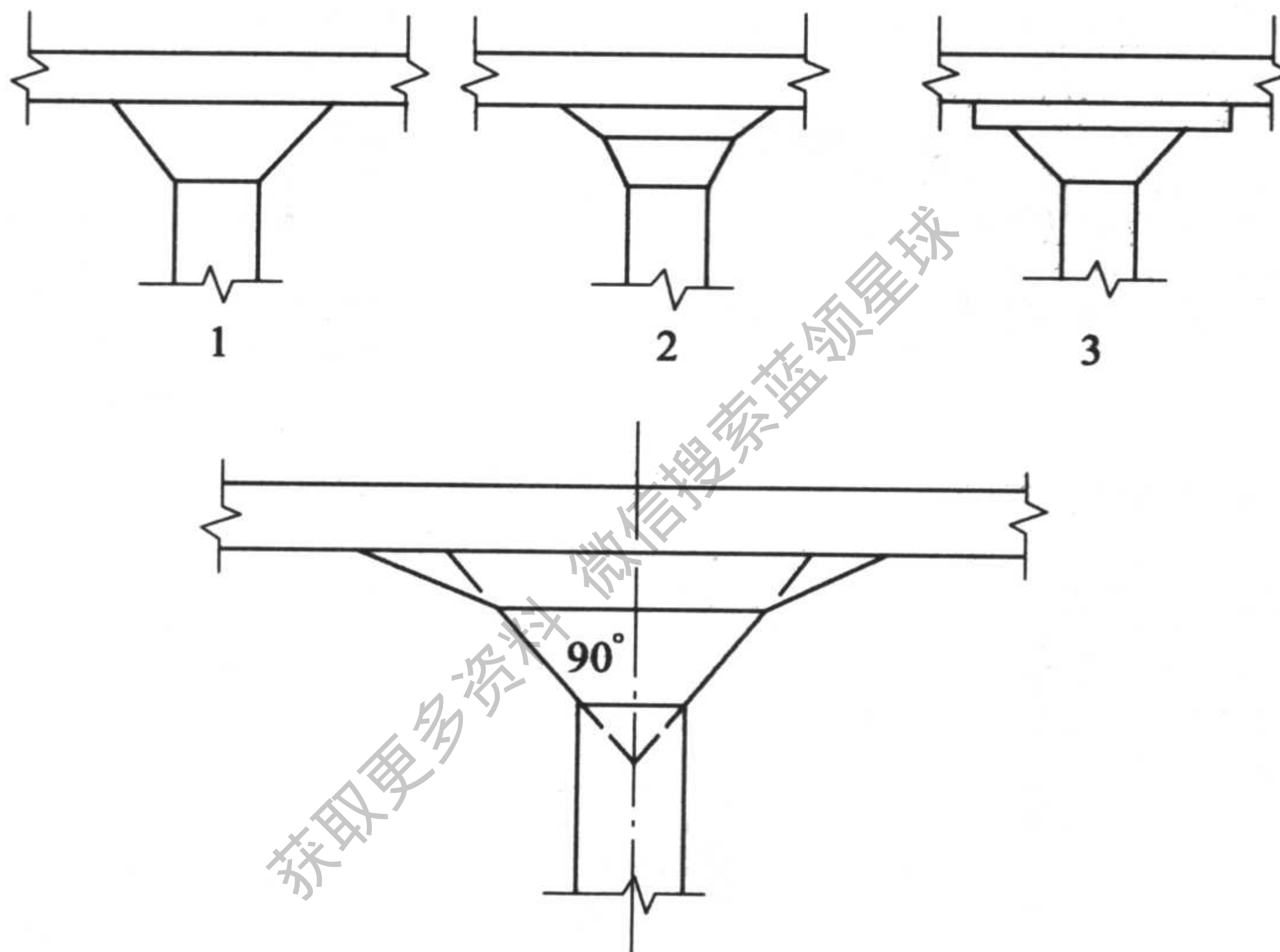


图 2-11 无梁楼盖结构

1. 无顶板柱帽 2. 有折线型柱帽 3. 有顶板型柱帽

在采用砖砌体外墙的多层冷库中，当外墙高度大于 12m 时，砖砌体外墙难以保证所需的刚度。为此，在外墙中与每层楼板平齐部位需加设一圈与外墙等宽、高为 250mm 的现浇钢筋混凝土圈梁，每隔 3m 用锚系梁锚固于同层无梁楼板上，以提高外墙的稳定性及抗风、抗震、抗温度应力的能力。

对于主要承重结构，国家发布了多个规范和规定，如《TJ10—74 钢筋混凝土结构设计规范》、《JGJ8（一）—76 升板建筑结构设计及施工规定》以及《JGJ8（二）—76〈升板建筑结构设计及施工规定〉的补充规定》等，就根据具体情况遵照执行。

#### 2.2.2.4 墙体

冷库的墙体有围护墙和隔断墙两类，围护墙起围出被冷却空间、保护隔热层、防止外界风雨侵蚀等作用，隔断墙起分隔冷间的作用。

围护墙由外围护墙、防潮隔汽层、隔热层和内衬墙组成，常通称为外墙。

外围护墙通常为自承重墙，有砖砌体外墙、预制大板外墙、预制钢筋混凝土外墙和现浇

钢筋混凝土外墙等几种，在冷库中常用前两种。多层冷库采用砖砌体外墙时，应采用 370mm 墙体，单层或两层冷库应采用 240mm 外墙。为防止温度应力拉裂墙角，墙角处应砌成圆弧，并应适当配筋。

隔热层可以是块状或板状隔热材料的砌体，也可以是松散材料填装而成。松散材料填装时，外墙结构如图 2-12 所示；采用块状或板状隔热材料时，外墙结构如图 2-13 所示。

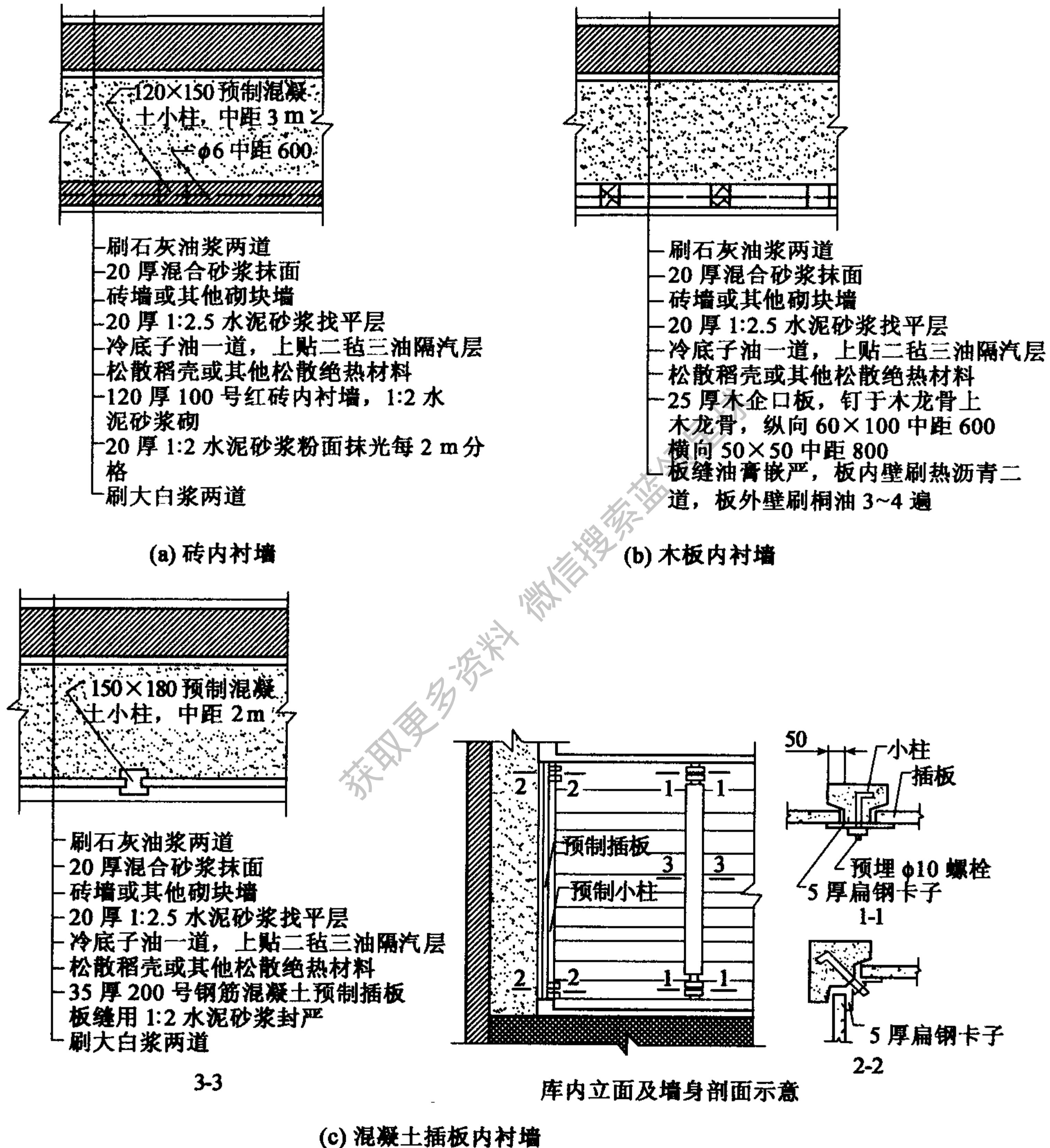


图 2-12 不同内衬墙的松散隔热材料围护墙墙体构造

注：本章各图中的长、宽、高、直径、厚度、距离等，未标注单位的均为 mm

内衬墙也有多种，不同的内衬墙有不同的适用场合。砖砌内衬墙适用于常年连续使用、且温度变化不大的一般冷库；钢筋混凝土小柱插板内衬墙由于其抗冻性好于砖墙而适用于季节性生产库温变化较大的冷库，如水产库等；人造板内衬墙适用于小型、单层冷库，如简易库、食堂自备库等。

采用砖砌内衬墙和块状或板状隔热材料砌体隔热层时，隔热层可以采用外贴法施工，即



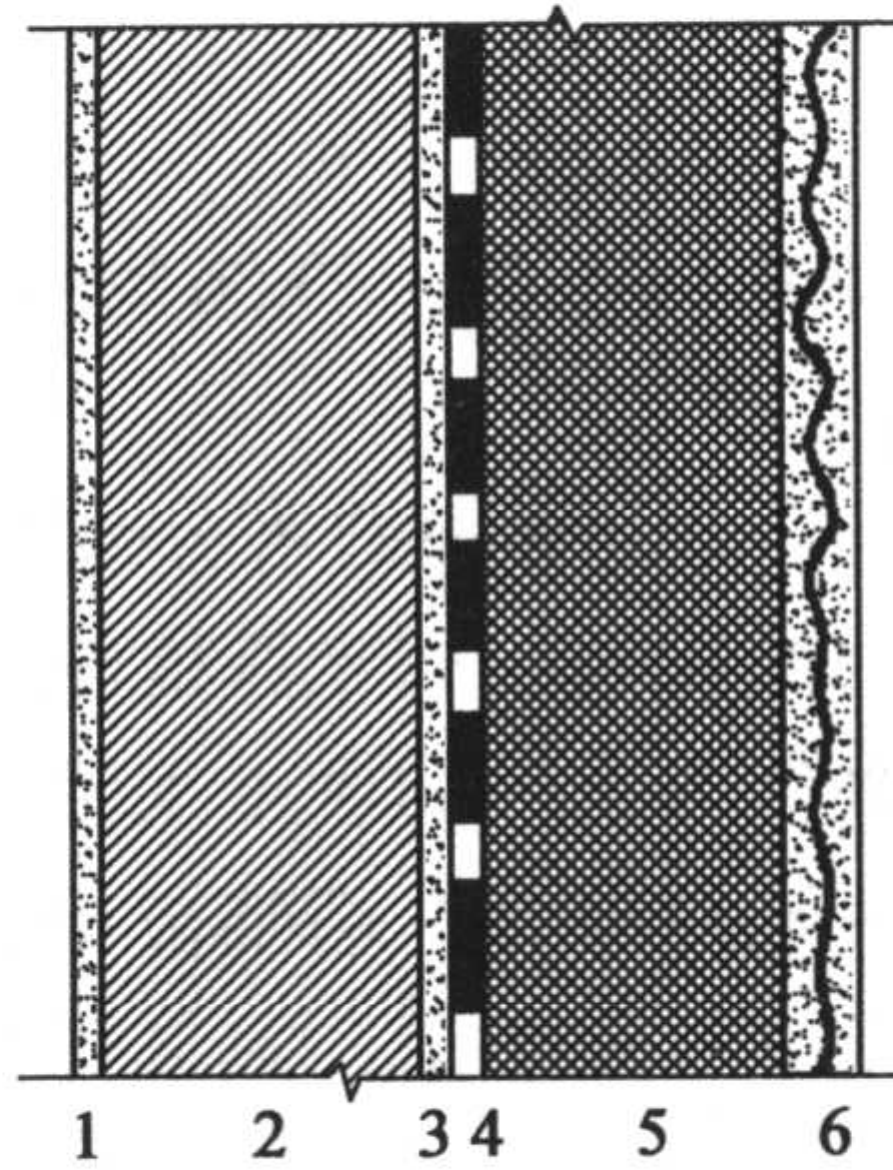


图 2-13 块状隔热材料围护墙墙体构造

先砌好内墙，隔热层贴在内墙外侧，防潮隔汽材料贴于隔热层外侧，留出一定间隙后再砌外围护墙。如为其他内墙，隔热层应采用内贴法施工，即先砌外围护墙，防潮隔汽层贴在外围护墙内侧，隔热层贴于防潮隔汽材料内侧，最后砌内墙。如采用松散隔热材料，应先砌外围护墙，防潮隔汽层贴在外围护墙内侧，然后砌内墙，最后填入隔热材料。

隔断墙又称内墙，按其两侧冷间的温度，分别使用不同的类型。当内墙两侧冷间温度差小于 $5^{\circ}\text{C}$ 、或两侧冷间温度均为 $0^{\circ}\text{C}$ 以上时，不需要设隔热层，其型式可以是 $120\text{mm}$ 砖墙或 $240\text{mm}$ 砖墙，也可以是钢筋混凝土小柱插板墙。

如内墙两侧冷间温度差大于 $5^{\circ}\text{C}$ 、且一侧冷间温度为 $0^{\circ}\text{C}$ 以下时，需加设隔热层和防潮隔汽层，此时内墙的型式可以是 $120\text{mm}$ 砖墙或 $240\text{mm}$ 砖墙、块状隔热材料砌体墙、也可以是板状隔热材料整体墙，如图 2-14 所示。当内墙两侧冷间温度较稳定时，只在内墙隔热层热侧单面设防潮隔汽层。若两侧冷间温度波动较大，有可能出现冷热侧转换，则两侧均需设防潮隔汽层。

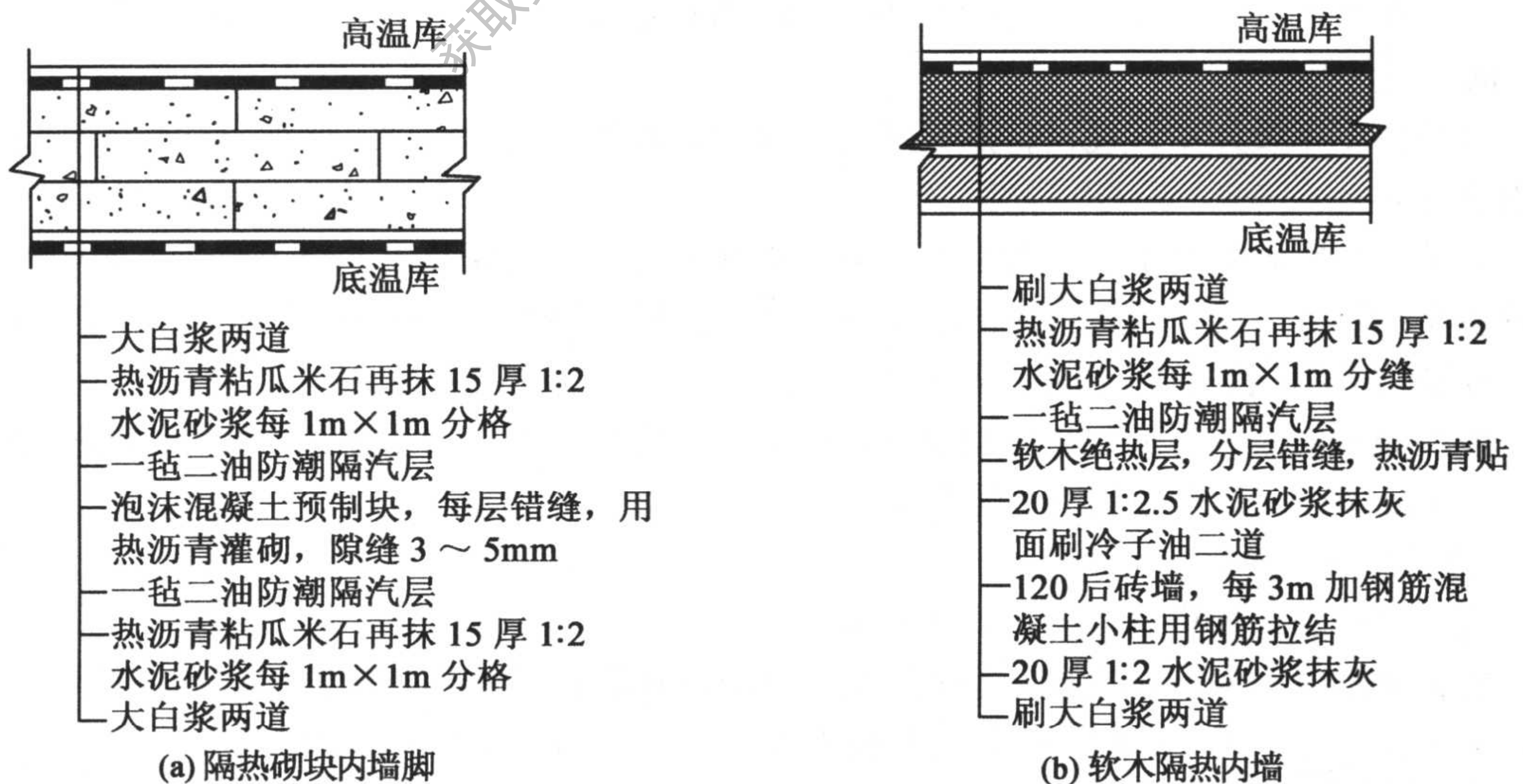


图 2-14 内墙墙体构造

### 2.2.3 地坪、楼板与屋盖

冷库的地坪设计应达到能承受一定的荷载、具有良好的隔热和防潮隔汽性能、并能避免



地坪以下的土壤冻结的要求。

### 2.2.3.1 低温冷间的地坪

冷间温度在 $0^{\circ}\text{C}$ 及其以下的冷却物冷藏间、冻结物冷藏间、冷却间、冻结间、贮冰间等，地坪设计应按低温冷间来考虑。

当地坪以下的土壤温度在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下，土壤中的水分会产生冻结。靠近外墙处冻结深度较浅，而库房中部冻结较深，冻结面为抛物面。如土壤能输送水分，如粉质亚砂土、粉质亚黏土等细粒土壤，并有地表水或地下水作为水分的供给来源，则冻结深度会越来越深。由于冰的密度较水小，冻结后体积增大，使地坪鼓起，基础被抬升，造成冷库建筑破坏，这种现象称为冻胀。为避免出现冻胀，需向土壤补充热量，具体作法有以下几种，其构造如图 2-15 所示。

(1) 架空地坪和半架空地坪 架空地坪是用柱子和基础梁将地坪架空，这种地坪防冻效果最好，同时还具有防水作用，但造价也最高。半架空地坪是用地坎墙将地坪架空，这种地坪兼具架空地坪和埋设自然通风管地坪的优点，适合于中小型冷库。

(2) 埋设自然通风管地坪 在地坪下埋设水泥管，使环境空气通过管道自然对流，以向土壤补充热量。这种地坪造价最低，也最常用，但不宜用于寒冷地区。水泥管的直径应大于 $200\text{mm}$ ，其两端之间总长度应不大于 $30\text{m}$ ，相邻管道中心距应小于 $1.2\text{m}$ ，在长度的一半处应有分水线，有不小于 $1/200$ 的排水坡度，其具体构造见图 2-16。

(3) 机械通风地坪 在地坪内埋设机械通风管，用鼓风机强制送风。冬天送热风，夏天送自然风。这种地坪加热方法适用于寒冷地区，使用安全可靠、但运行维护费用较高。

(4) 载热剂加热地坪 在地坪内埋设蛇形载热剂管，用泵强制加热的载热剂流动，这种地坪适用于寒冷、地下水位较高或不易排除凝结水的地区，地坪造价低，库内外高差小，但运行维护费用较高。所用载热剂通常是油，也可是乙二醇。所用油管为 $38\text{mm}$ 钢管，试漏压力为 $0.6\text{kPa}$ ，管中心距为 $1.2\sim 1.5\text{m}$ ，每一根蛇形管均要用液体试验，确保通畅。

(5) 电加热地坪 在地坪中按间距 $500\sim 700\text{mm}$ 埋设直径为 $10\text{mm}$ 的钢筋，通 $24\text{V}$ 或 $36\text{V}$ 低压电加热。

目前在冷库设计中，埋设自然通风管地坪最为常用，架空地坪、半架空地坪在特定条件下也有应用。

为了防止库内地面水分、地表水、地下水和水蒸气渗入隔热层，地坪隔热层的四周均要设置防潮隔汽层。由于地坪防潮隔汽层维修非常困难，因此地坪防潮隔汽层的蒸汽渗透阻应大于外墙防潮隔汽层，施工时也应非常小心。

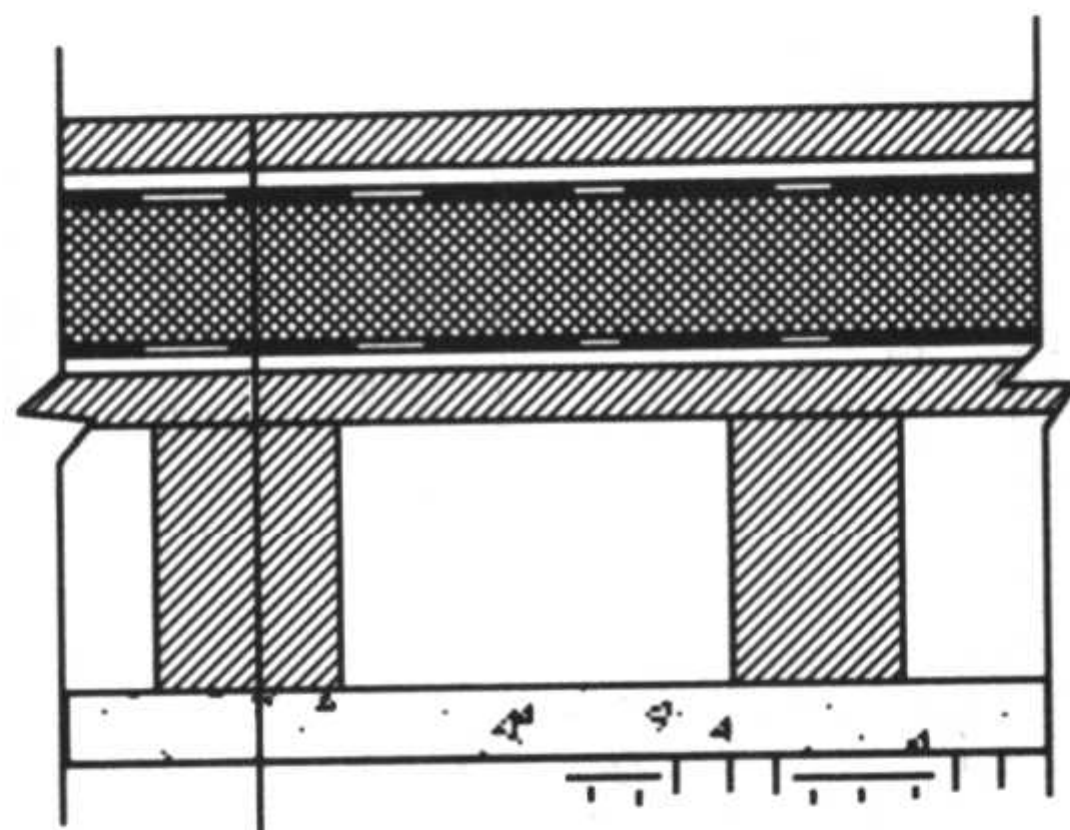
地坪隔热层需承受荷载，所用隔热材料最好是碳化软木，如用泡沫塑料，则抗压强度应不小于 $0.25\text{MPa}$ ，且在库温下不能有冷缩。

### 2.2.3.2 高温冷间的地坪

高温冷间的地坪构造如图 2-17 所示。

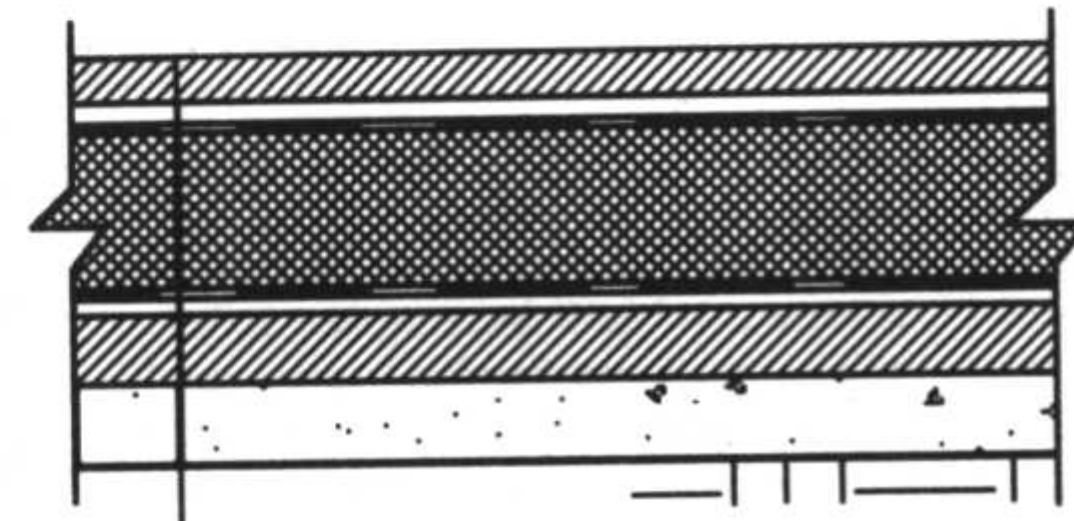
在大中型冷库中 $0^{\circ}\text{C}$ 以上的冷间其地坪可以仅在靠外墙 $6\text{m}$ 的范围内以及非架空冷风机座之下做隔热层，中间部位可只做普通地坪。小型冷库可用炉渣做隔热层，上面做普通地坪。





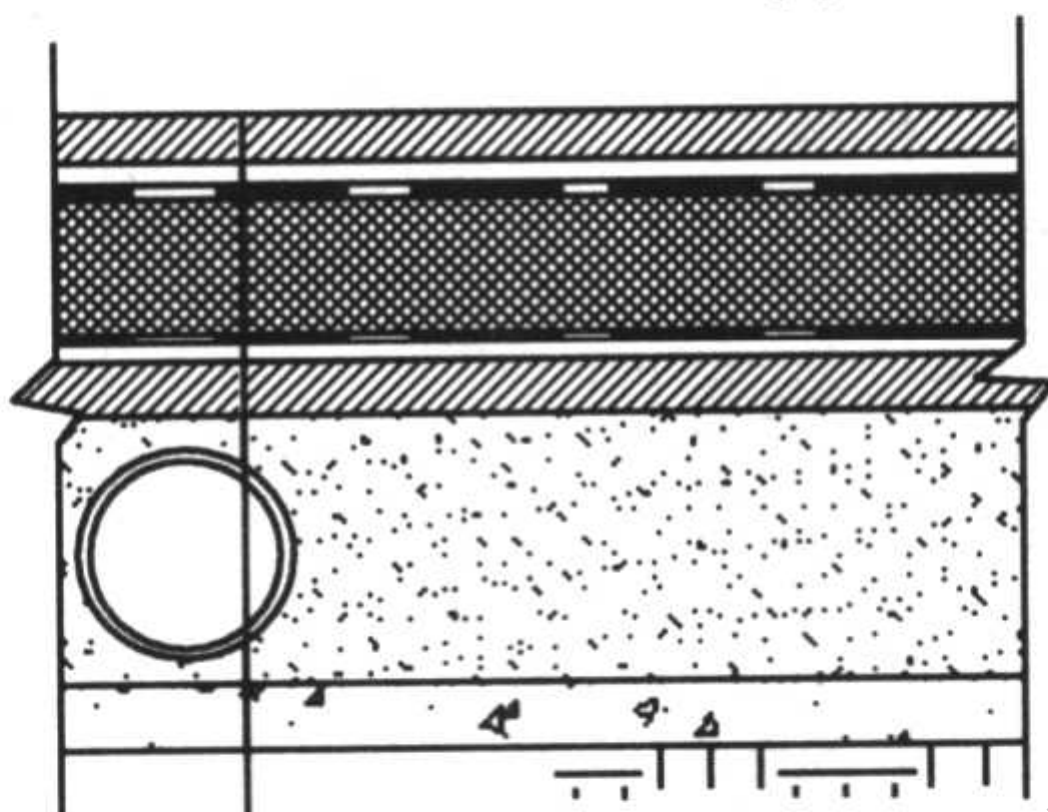
- 60 厚 #200 钢筋混凝土粘结层 ( $\phi 4@150$  双向) 随捣随抹平
- 20 厚 1:3 水泥砂浆护毡层
- 一毡二油防水层
- 软木绝热层 (或其他绝热材料)
- 二毡三油隔汽层
- 20 厚 1:2.5 水泥砂浆找平层
- #200 钢筋混凝土预制平板, 水泥砂浆勾缝
- 240 厚 砖砌地垅墙通道 (或架空层)
- 80 厚 #150 素混凝土层, 做 1/200 坡度泛水
- 素土层夯实

(a) 架空地坪



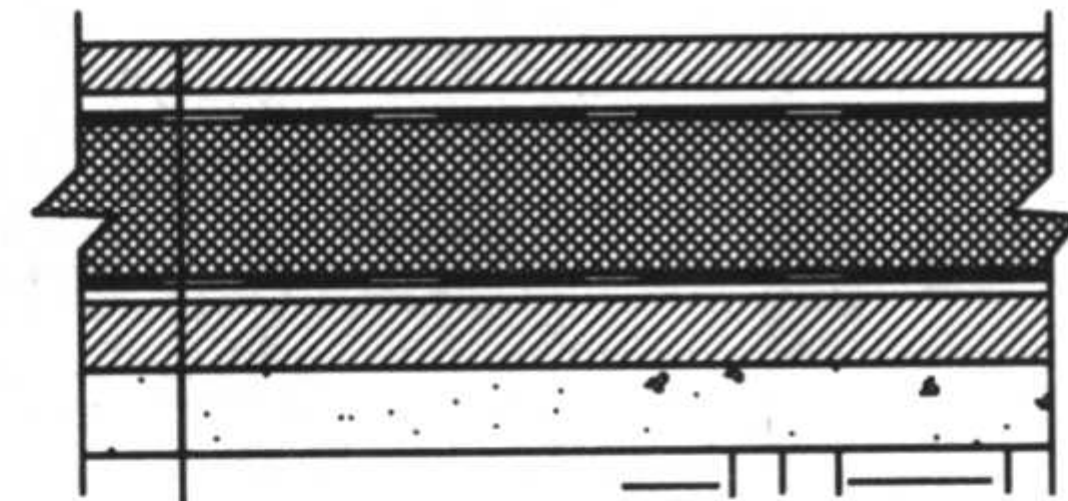
- 60 厚 #200 钢筋混凝土粘结层 ( $\phi 4@150$  双向) 随捣随抹平
- 20 厚 1:3 水泥砂浆护毡层
- 一毡二油防水层
- 软木绝热层 (或其他绝热材料)
- 二毡三油隔汽层
- 100 厚 #150 钢筋混凝土垫层随捣随抹平, 内埋加热油管 ( $\phi 25$  或  $\phi 38$  钢管) 管距 1.5 m
- 灰土垫层
- 素土层夯实

(b) 热油管地坪



- 60 厚 #200 钢筋混凝土粘结层 ( $\phi 4@150$  双向) 随捣随抹平
- 20 厚 1:3 水泥砂浆护毡层
- 一毡二油防水层
- 软木绝热层 (或其他绝热材料)
- 二毡三油隔汽层
- 20 厚 1:2.5 水泥砂浆找平层
- 50 厚 #150 混凝土预制平板, 水泥砂浆勾缝
- 中砂垫层 400 ~ 500 厚, 内埋  $\phi 250$  内径水泥管或缸瓦管中距 1 ~ 1.2 m, 1/200 坡度泛水
- 素土层夯实

(c) 自然通风管地坪

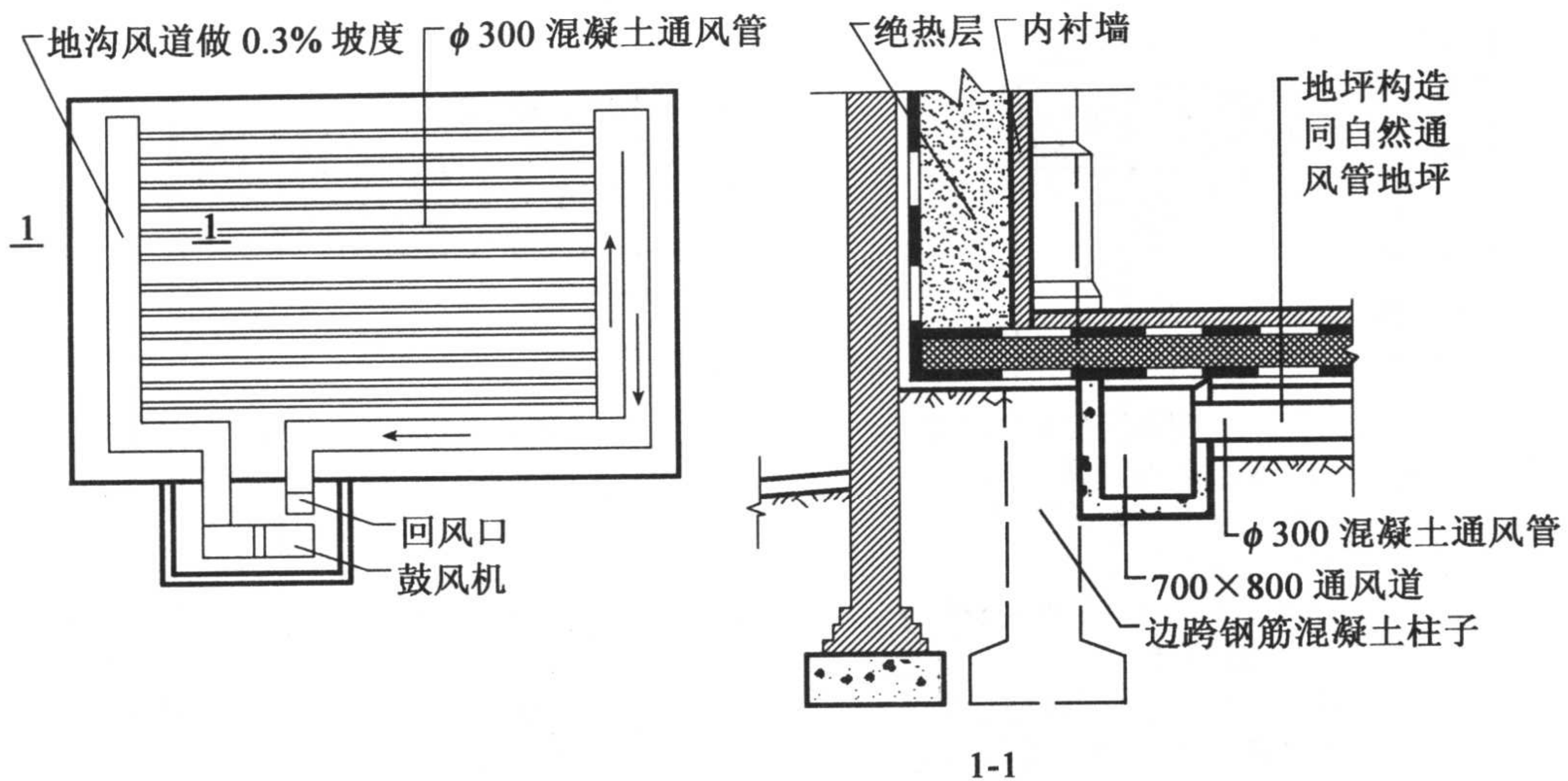


- 60 厚 #200 钢筋混凝土粘结层 ( $\phi 4@150$  双向) 随捣随抹平
- 20 厚 1:3 水泥砂浆护毡层
- 一毡二油防水层
- 软木绝热层 (或其他绝热材料)
- 二毡三油隔汽层
- 100 厚 #150 钢筋混凝土垫层, 随捣随抹平, 内埋钢筋 ( $\phi 12$ ) 做电加热器间距 500 ~ 750
- 80 厚灰土垫层
- 素土层夯实

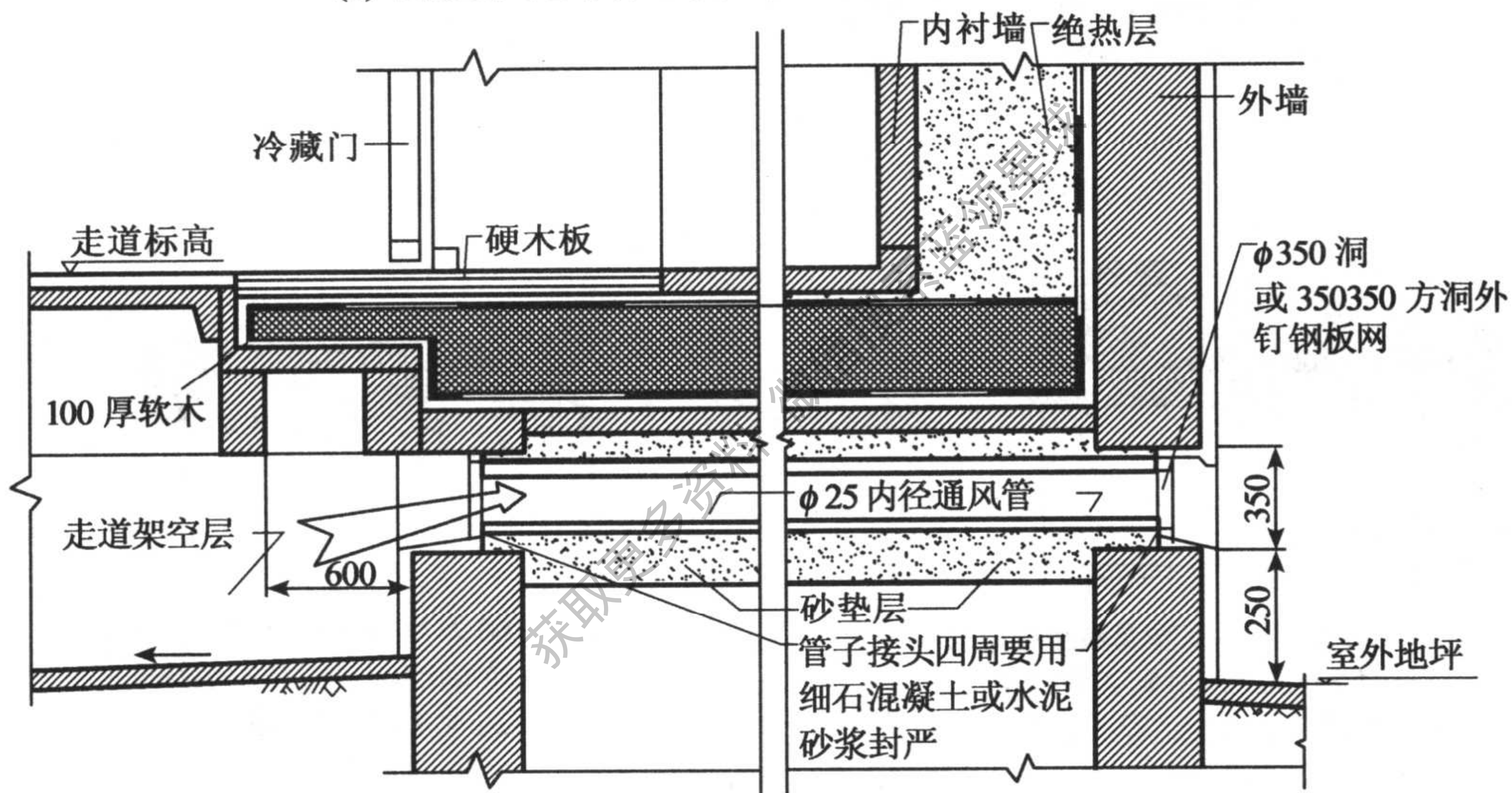
(d) 电加热地坪

图 2-15 低温冷间地坪





(a) 机械通风地坪管道平面布置及构造示意



(b) 自然通风管进出口及墙接头处构造

图 2-16 埋设通风管地坪节点构造

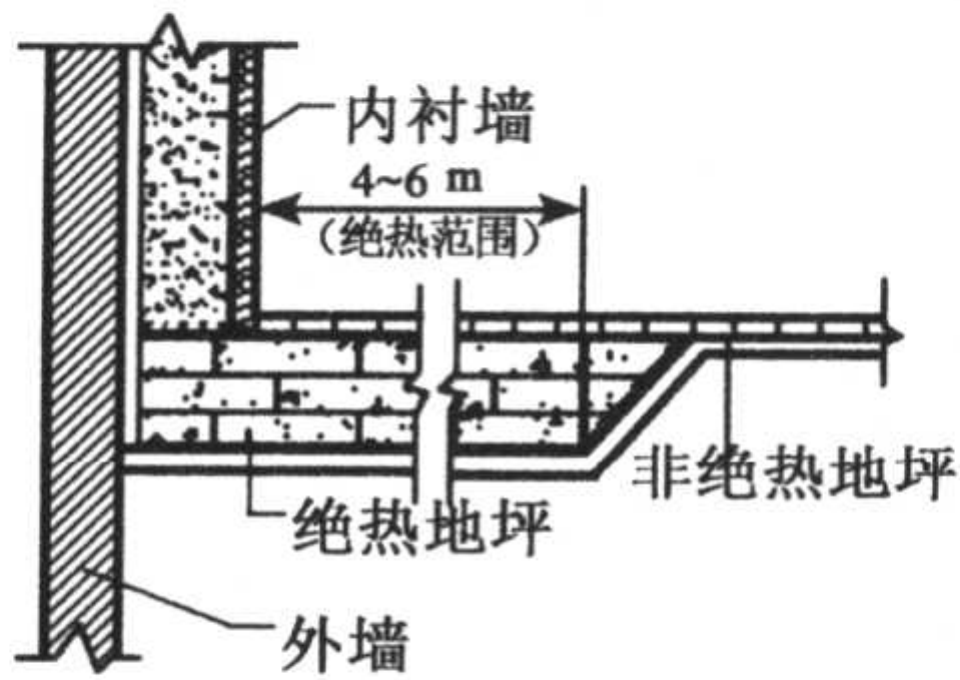
在地下水位较低的地区，大中型冷库可以用地下室作高温冷间，此时距外墙隔热层 1.2m 的范围内以及非架空冷风机之下应做地坪隔热层。如地下室上方为低温冷间，则顶板隔热层必须有足够的厚度，以防顶板产生凝水和地下室温度过低。用地下室作高温冷间时，地下室地坪须有疏水措施，且应有去湿设备，或是库内冷却设备能按去湿方式运行，以防地下室内湿度过高。

### 2.2.3.3 楼板

楼板的厚度由楼板的荷载决定。如果楼上的冷间是冻结物冷藏间，计算荷载按 25kPa 取值。如果楼上的冷间是冷却物冷藏间，计算荷载按 20kPa 取值。阁楼楼板计算荷载按 13kPa 取值。

当上下层冷间温差小于 5℃ 时，楼板无需进行隔热处理。当上下层冷间温差大于 5℃ 时，楼板须做隔热层。根据楼板与隔热层的位置关系，隔热层的结构和施工方法有上铺法的下贴

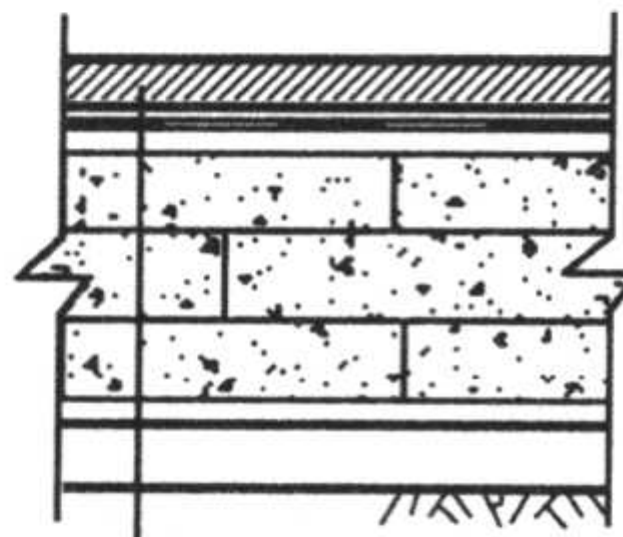




地坪构造示意

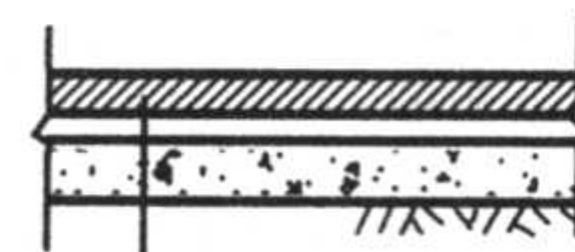
注:

1. 库温在  $0^{\circ}\text{C}$  及以上的高温库仅需在靠外墙四周  $4\sim 6\text{m}$  范围内做绝热地坪。
2. 冷风机座处因温度很低, 一般需作架空处理, 如不需架空者, 必须在基座上作软木绝热层, 以防止该地坪冻裂。
3. 地坪与内衬墙交角接头处, 钢筋混凝土粘结层需翻起  $150\text{mm}$  高作为防水线。



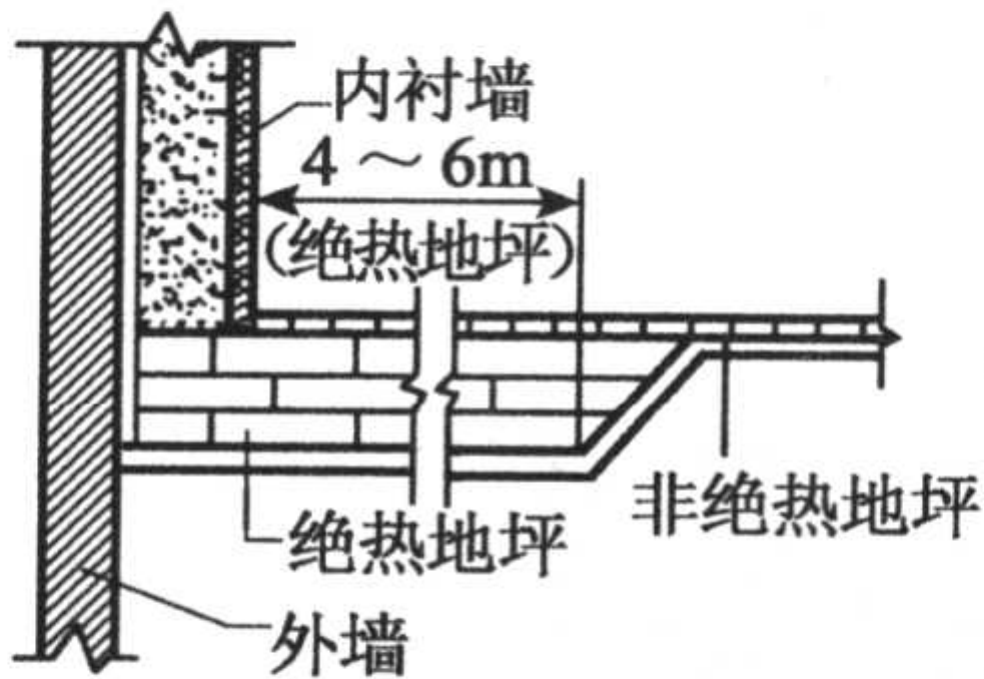
- 60 厚 #200 钢筋混凝土粘结层 (配钢筋  $\phi 4@150$  双向) 随捣随抹平
- 20 厚 1:3 水泥砂浆护毡层
- 一毡二油防水层
- 泡沫混凝土或加气混凝土砌块绝热层, 用热沥青灌砌 (或其他绝热材料)
- 二毡三油隔汽层
- 100 厚 #100 素混凝土垫层, 面刷冷底子油一道
- 素土分层夯实

电加热地坪



- 60 厚 #200 钢筋混凝土粘结层 (配钢筋  $\phi @150$  双向) 随捣随抹平
- 5 厚沥青防潮层
- 100 厚 #100 钢筋混凝土垫层
- 素土分层夯实

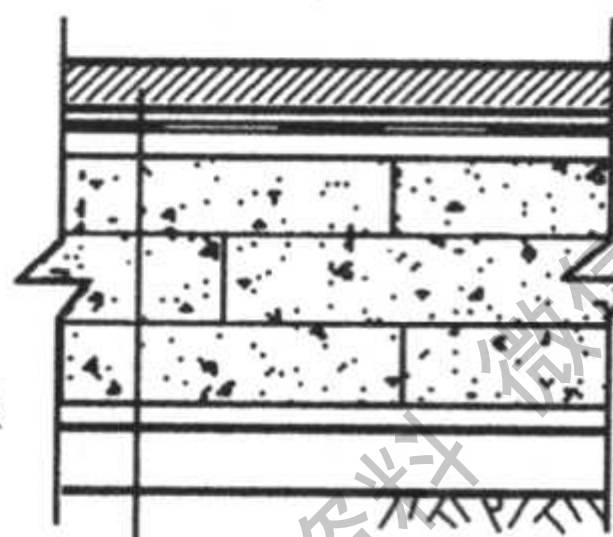
非绝热地坪



地坪构造示意

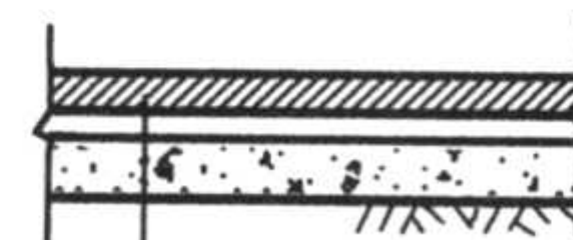
注:

1. 库温在  $0^{\circ}\text{C}$  及  $0^{\circ}\text{C}$  以上的高温库仅需在靠外墙四周  $4\sim 6\text{m}$  范围内做绝热地坪。
2. 冷风机座处因温度很低, 一般需作架空处理, 如不需架空者, 必须在基座处作软木绝热层, 以防止该地坪冻裂。
3. 地坪与内衬墙交角接头处, 钢盘混凝土粘结层需翻起  $150\text{mm}$  高作为防水线。



- 60 厚 #200 钢盘混凝土粘结层 (配钢筋  $\phi 4 @150$  双向) 随捣随抹平
- 20 厚 1:3 水泥砂浆护毡层
- 一毡二油防水层
- 泡沫混凝土或加气混凝土砌块绝热层, 用热沥青灌砌 (或其它绝热材料)
- 二毡三油隔汽层
- 100 厚 #100 素混凝土垫层, 面刷冷底子油一道
- 素土分层夯实

电加热地坪

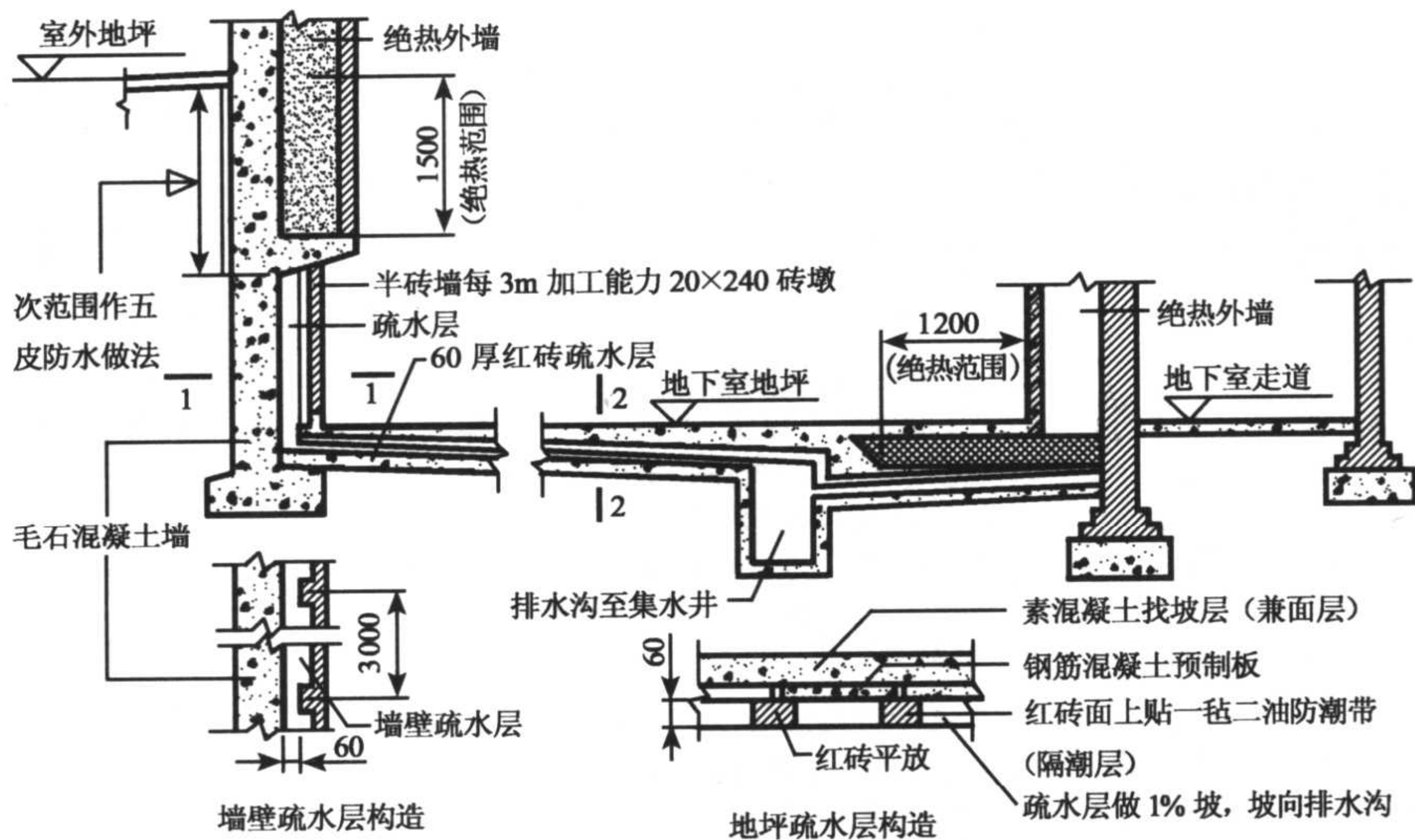


- 60 厚 #200 钢筋凝土粘结层 (配钢筋  $\phi 4@150$  双向) 随捣随抹平
- 5 厚沥青防潮层
- 100 厚 #100 钢筋混凝土垫层
- 素土分层夯实

非绝热地坪

(a) 高温库地坪构造





注:

以地下室作为高温库时,其需要做绝热处理的范围:

1. 凡地下室的走道穿堂与库房相连的墙体,应为绝热外墙,距绝热外墙 1.2m 的范围内地坪需作绝热处理(见图示)
2. 地下室地坪与室内地坪高差  $> 2.5\text{m}$  时,与室外地坪相连的外墙,其绝热处理的范围只做到室外地坪标高以下 1.5m 处即可。并要切实做好防水防潮处理,以保证地下室的干燥。

(b) 地下室作高温库的隔热与防水构造

图 2-17 高温冷间的地坪

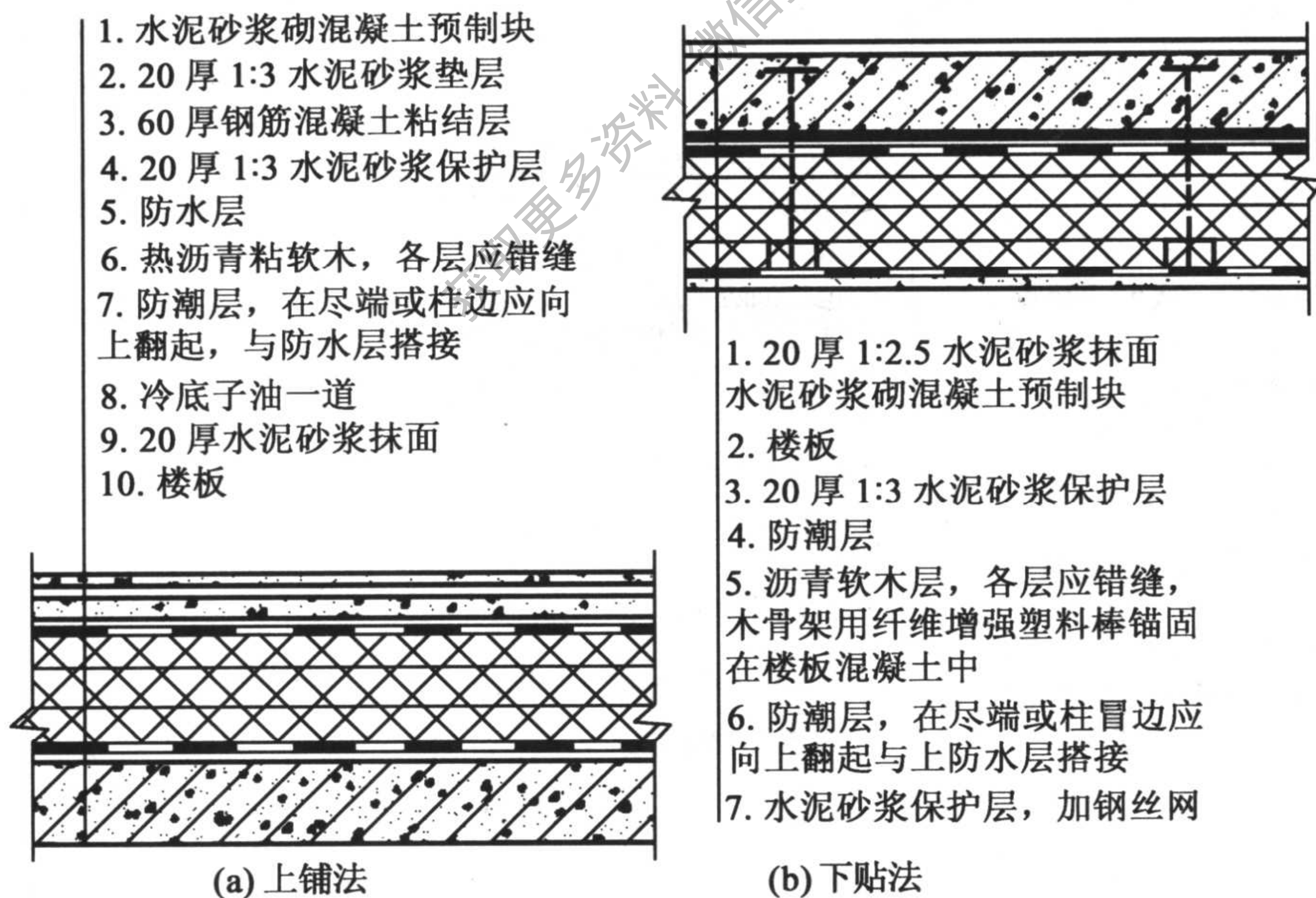


图 2-18 隔热楼板的构造

法两种,其构造如图 2-18 所示。对于梁板式结构,应采用上铺法;如为无梁楼板结构,两种方法均可,但上铺法施工较简单。

#### 2.2.3.4 屋盖

屋盖是冷库顶部的外围护结构,其作用是在隔热的同时防止风、雨、雪的侵蚀。根据屋



盖的结构，可将其分成两类。如防水结构与隔热结构是一体的，称为整体式隔热屋盖。如将防水结构与隔热结构分开，上面是普通防水屋盖，下面用一层阁楼来铺隔热材料，则称为阁楼式隔热屋盖。

整体式隔热屋盖的结构如图 2-19 所示，由屋面板、隔热层、防水隔汽层、架空护面层组成。与隔热楼板一样，隔热层的结构有上铺法的下贴法两种。

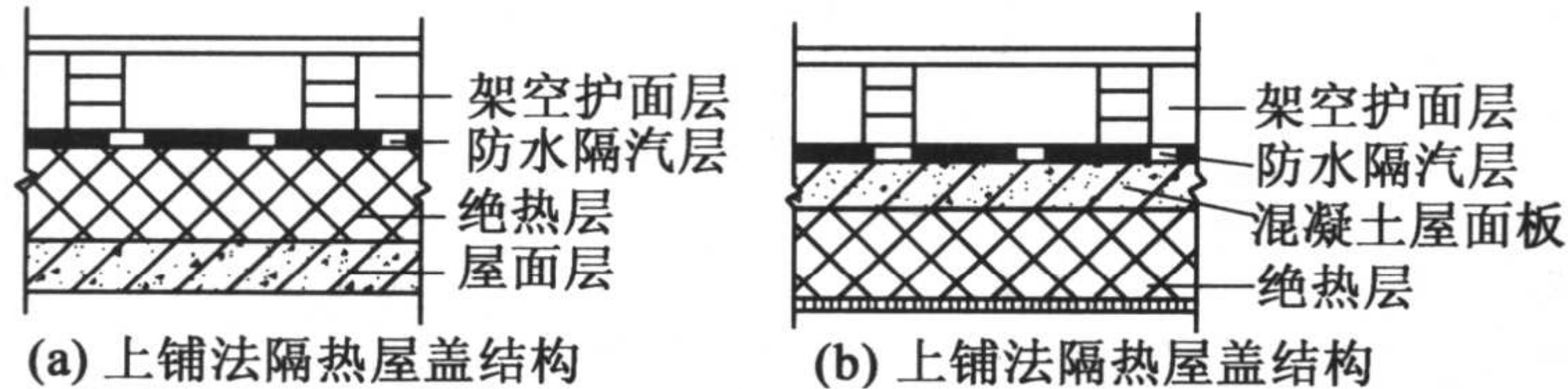


图 2-19 整体式隔热屋盖

上铺法隔热屋盖施工简单方便，造价较低。但由于隔热层上面仅有防水隔汽层和架空护面层，蒸汽渗透阻小；且防水隔汽层上面局部受压、下面的隔热材料又较软，易老化开裂；屋盖隔热层与外墙隔热层不连通，冷桥处理困难；隔热层受潮后翻修工程量较大等原因；在冷库屋盖设计时，应尽可能不用上铺法。

下贴法隔热屋盖以屋面防水层与钢筋混凝土屋面板共同构成防水隔汽层，屋面防水层与普通建筑一样，强度高、易维修，避免了上铺法的缺点，热工性能好，但隔热层施工较困难、造价较高。采用下贴法隔热屋盖时，屋面板应采用空心板或平板，不使用槽形屋面板，自重较大；隔热材料应采用板状隔热材料型材，不能用松散材料。

阁楼式隔热屋盖是由于使用松散隔热材料而发展起来的一种冷库屋盖结构，在我国应用广泛。阁楼式隔热屋盖有三种结构形式：全封闭式、半封闭式和开敞式。由于开敞式结构的阁楼隔热屋盖的防潮隔汽层制作容易、隔热层与外墙隔热层相连、成本低，所以目前阁楼式隔热屋盖几乎全是开敞式结构，如图 2-20 所示。

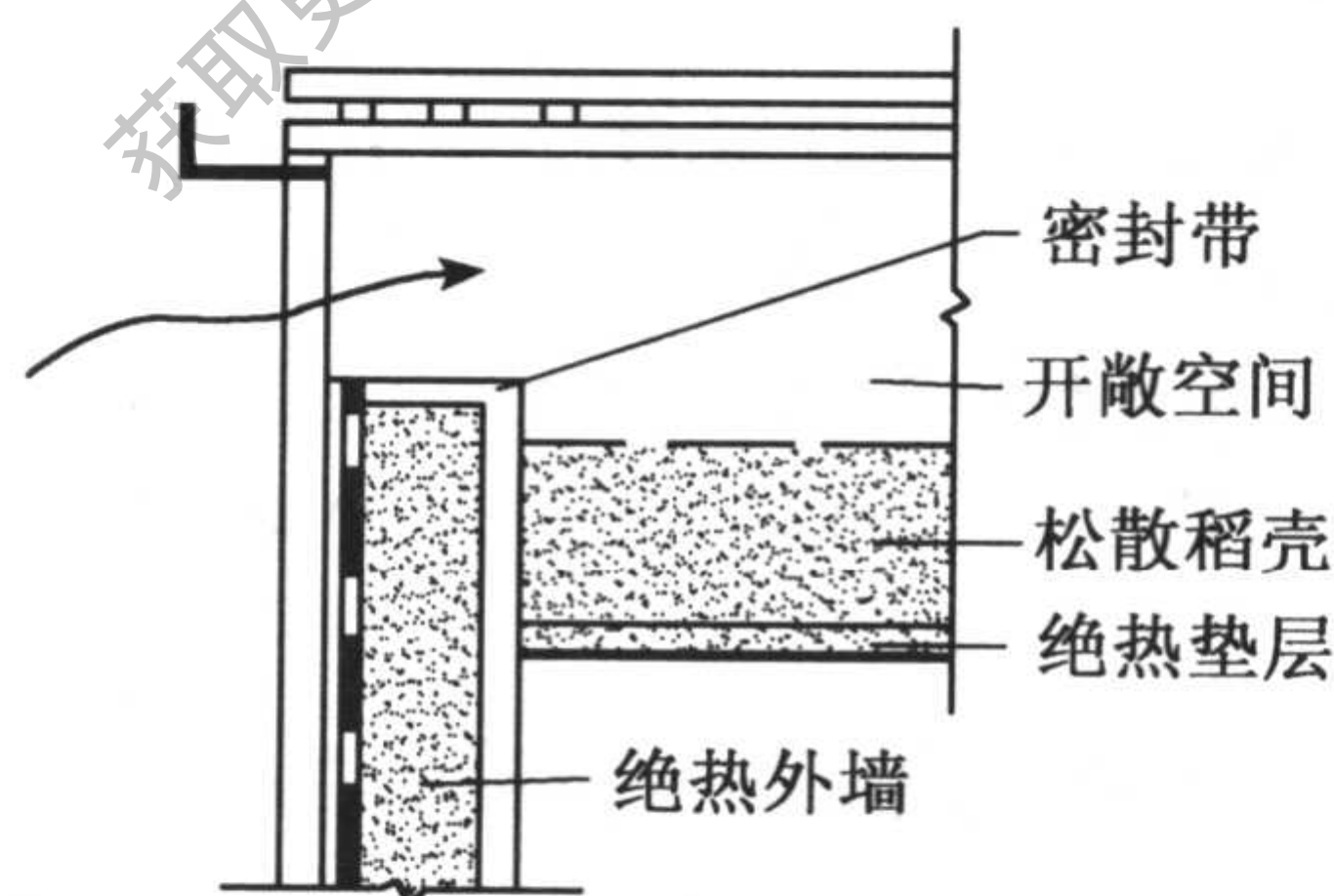


图 2-20 开敞式阁楼隔热屋盖

开敞式结构的阁楼隔热屋盖仅在外墙与阁楼的交接处设防潮隔汽层，形成密封带，使水蒸气不能进入外墙隔热层；其余部分均不做防潮隔汽，形成开敞结构。松散隔热材料直接倒在阁楼层上，阁楼层与屋盖之间自然通风，一方面自然干燥隔热材料，另一方面带走一部分由太阳辐射产生的热，降低阁楼层温度。

#### 2.2.4 防冷桥处理

在冷库围护结构隔热层中，如有导热系数较隔热材料大得多的构件通过，会使隔热结构形成短路，这种现象称为冷桥。冷桥构件不仅向库内传递了较多的热量，构件本身的温度也较低，会产生凝露或结霜，对隔热和防潮隔汽结构有很大损害；严重时会产生冻融循环，破



坏建筑结构。防止冷桥出现和减小其危害的措施称为防冷桥处理。

#### 2.2.4.1 墙的防冷桥处理

在结构设计时，外墙隔热层不应被除锚系梁外的其他构件穿透，内隔墙隔热层应与外墙、地坪隔热层相连。如库房上的梁板是连续的，内墙隔热层应向楼板转折至梁、板下距墙1.2~1.5m处。

在管道穿墙的部位，按图2-21进行防冷桥处理。

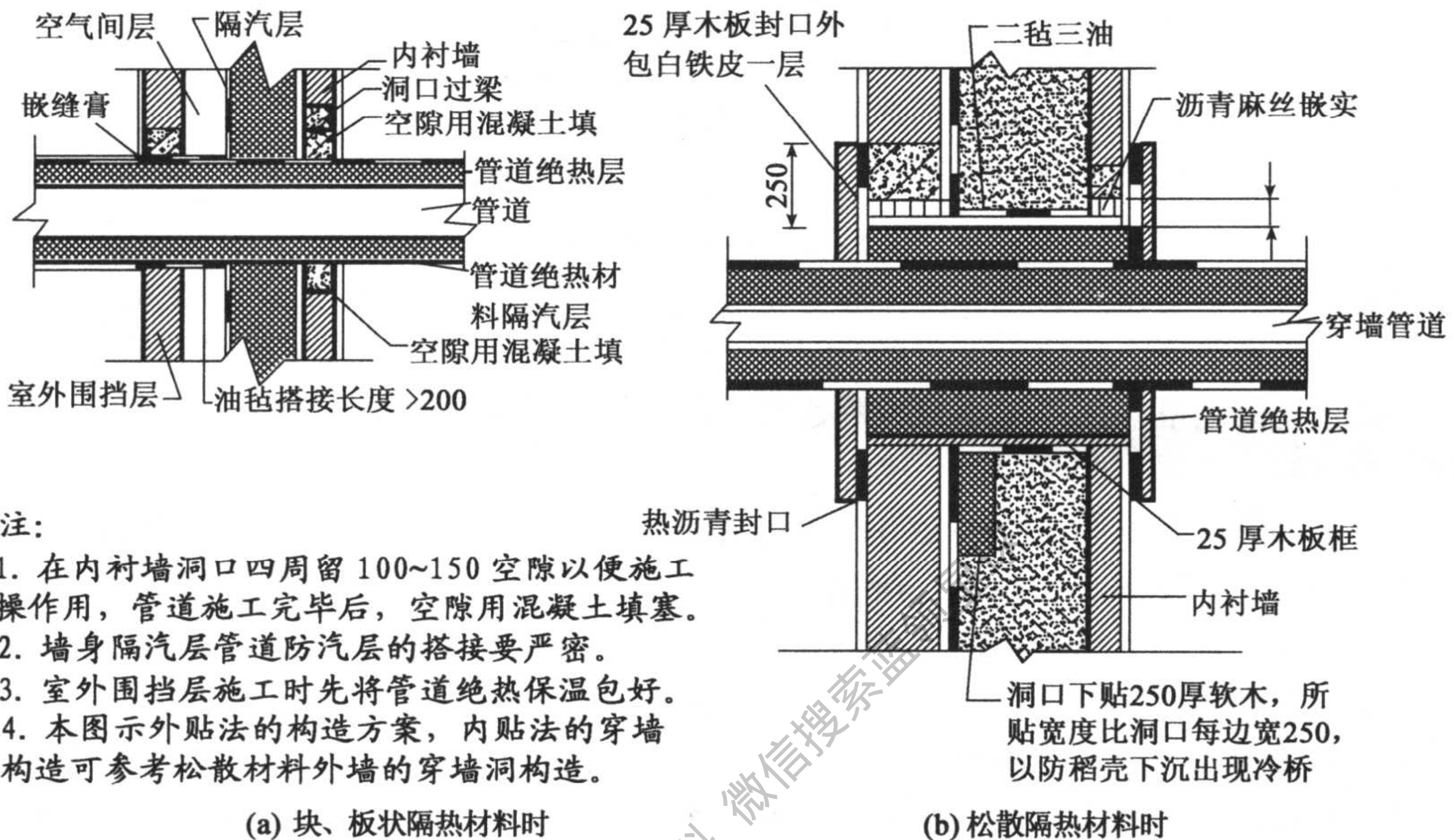


图2-21 管道穿墙构造

#### 2.2.4.2 柱的防冷桥处理

穿过隔热层的柱应做防冷桥处理。当柱穿过半架空地坪时防冷桥处理的结构见图2-22，上端面缝口应注意用防水密封胶严密堵口。当柱穿过埋设自然通风管地坪时，除按图2-22进行防冷桥处理外，柱脚两侧都应布置通风管，以免柱基下土壤冻结。如柱穿过隔热楼板或阁楼楼板，也应进行防冷桥处理，结构与图2-22相似。

#### 2.2.4.3 融霜排水管的隔热处理

穿过冻结间或冻结物冷藏间地坪隔热层的融霜排水管在地坪中和地坪以下都必须进行防冷桥处理，防止地坪以及土壤冻结，其结构如图2-23所示，自地坪外计算，包裹隔热层的长度至少应为1500mm。如融霜排水管穿过冷却物冷藏间或其他高温冷间，也必须在管外包隔热层，以防产生凝水。

### 2.2.5 库门

库门是冷间的出入口，也是冷库围护结构的可移动部分。由于库门与生产和隔热两方面有关，因此库门应符合隔热性能好、坚固耐用、开启关闭轻便灵活、门扇与门樘之间无冻结现象等几个要求。在冷库设计中，库门及门樘的结构应与库门的特点及要求相符。

#### 2.2.5.1 库门的型式与尺寸

根据门扇的运动方式，库门可分为推拉门和旋转门两种，推拉门的门扇平移运动，旋转门的门扇为圆弧运动。由于驱动力的不同，库门可分为电动式和手动式。库门的开启方向也



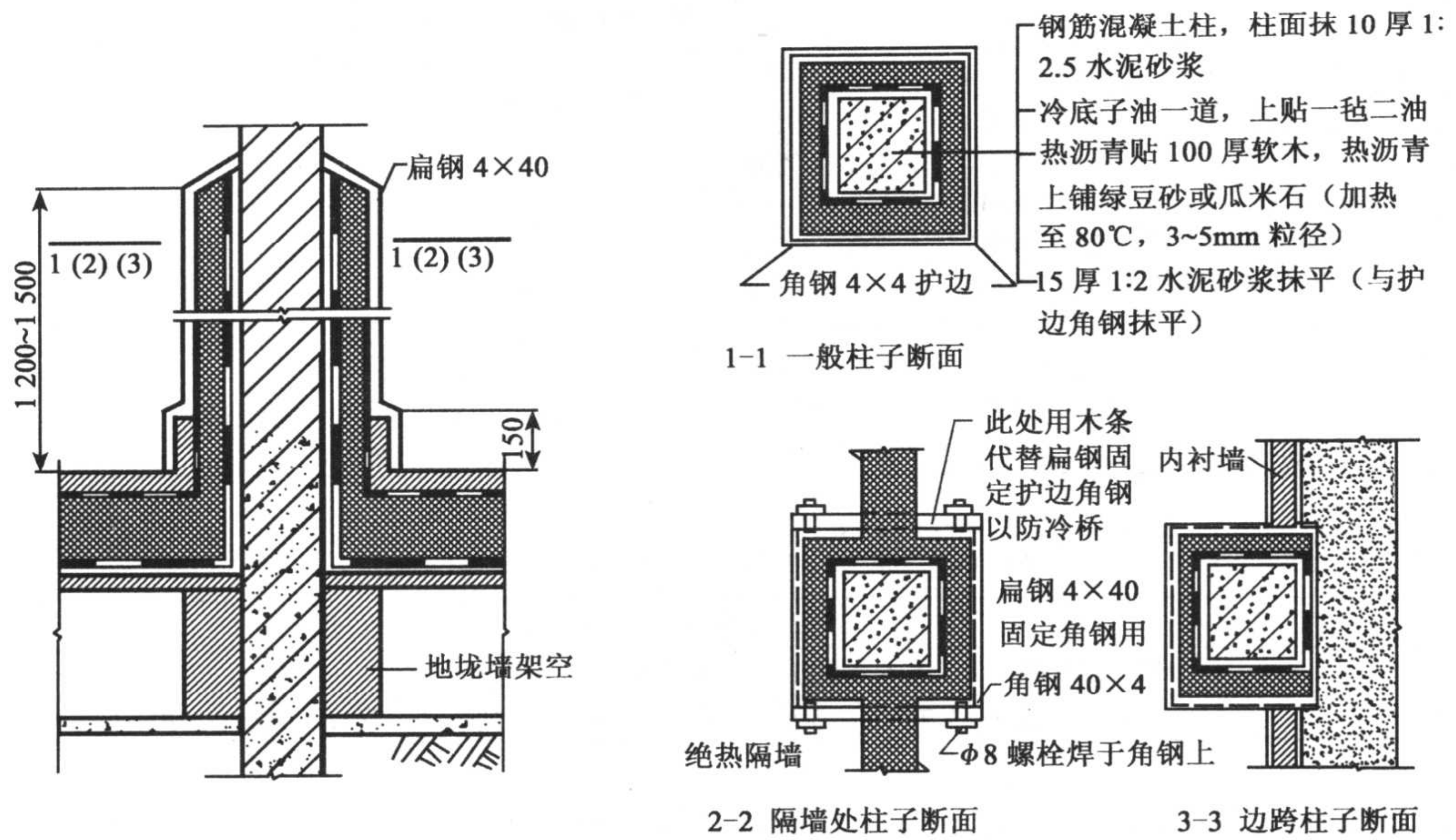


图 2-22 柱穿地坪的处理

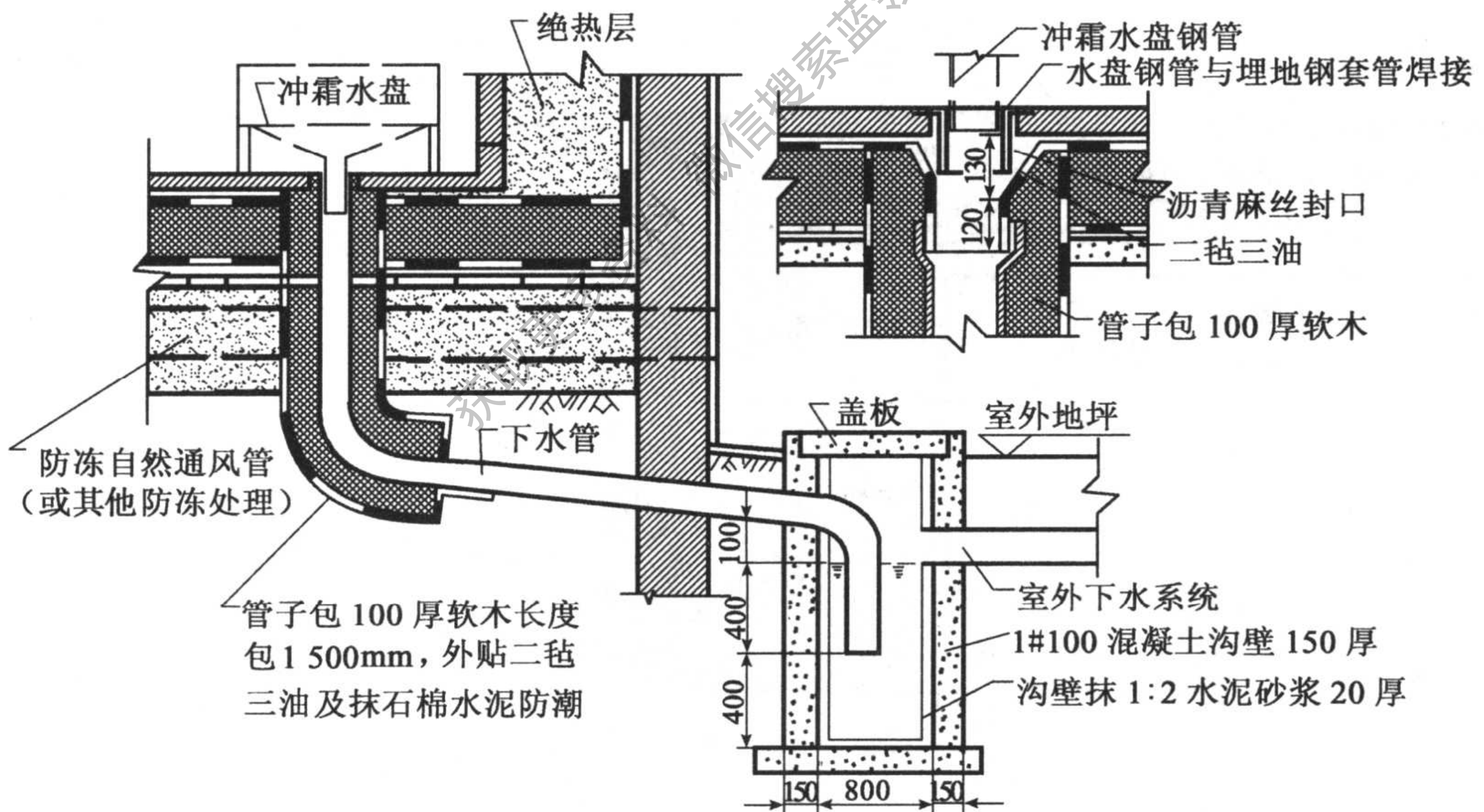


图 2-23 融霜排水管穿地坪的隔热处理

有左开和右开的不同。设计时应根据生产工艺的要求以及门的大小来选择不同的型式。

库门的名义尺寸指库门洞口净空，库门其他尺寸参数均与洞口净空有关。洞口净空尺寸取决于运输方式，即在库门中通行的车辆种类，设计时按表 2-10 和表 2-11 确定。







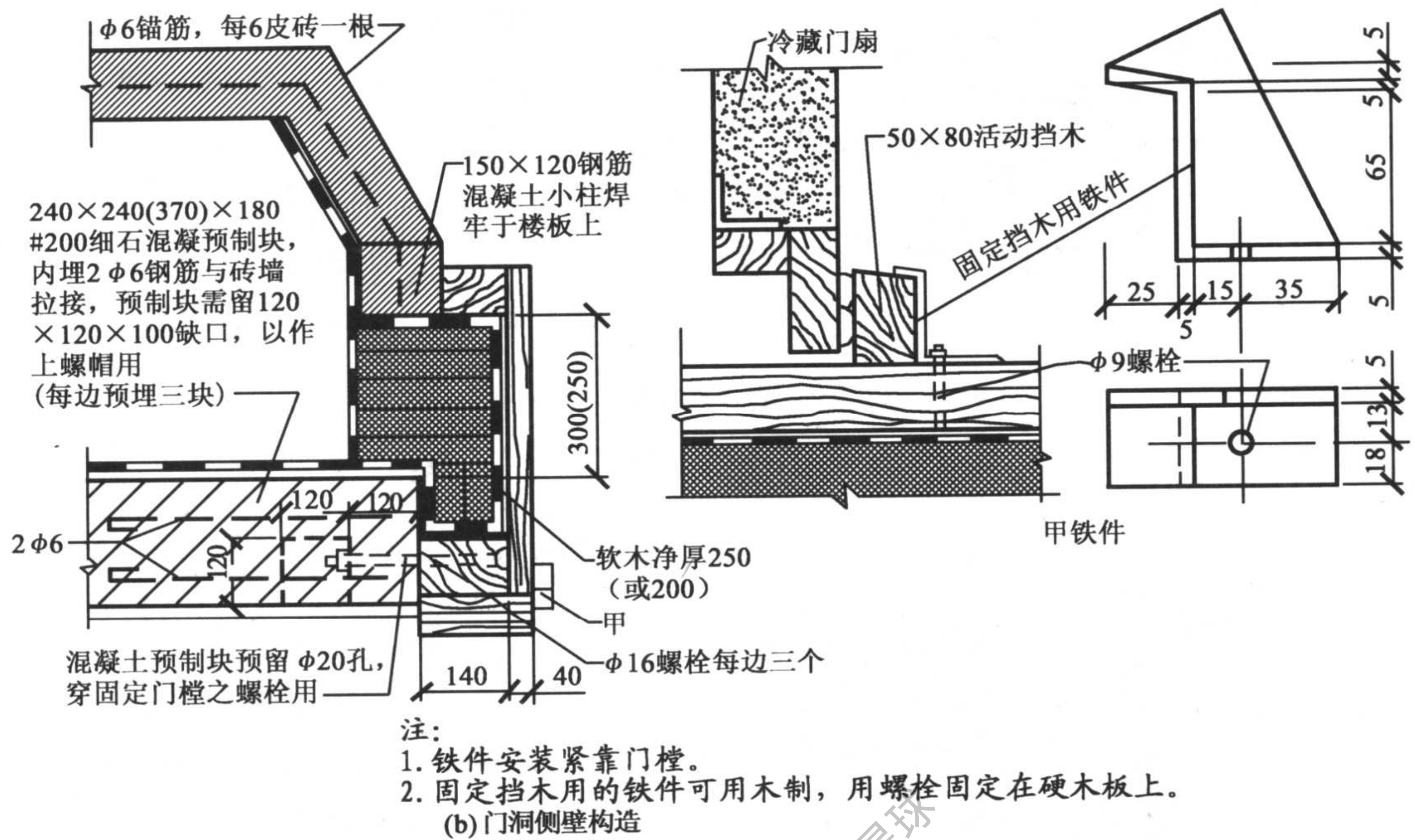
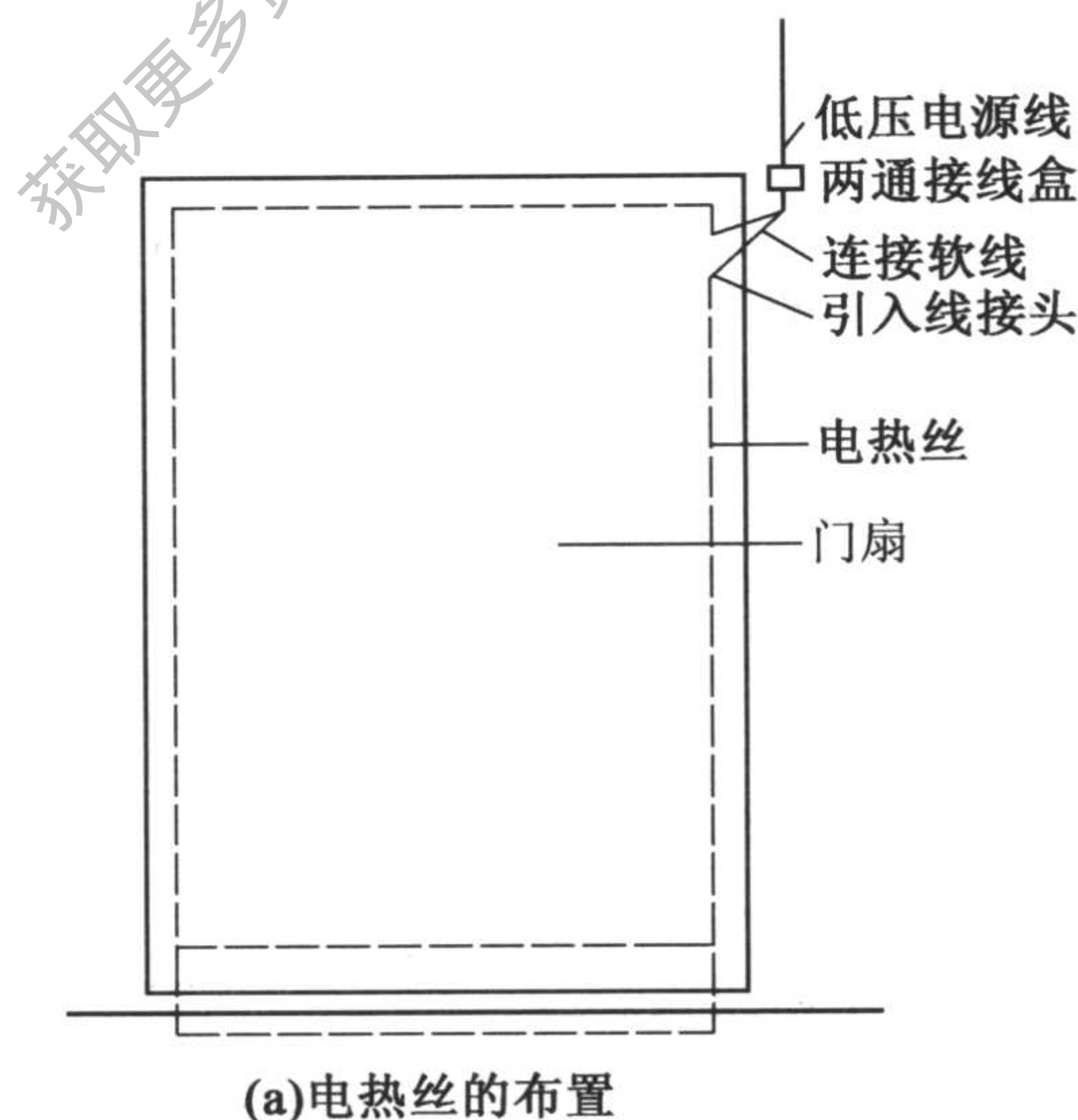


图 2-24 门洞及门槛构造

可按生产厂商的产品样本选用, 但土建库的门槛需在施工现场制作。

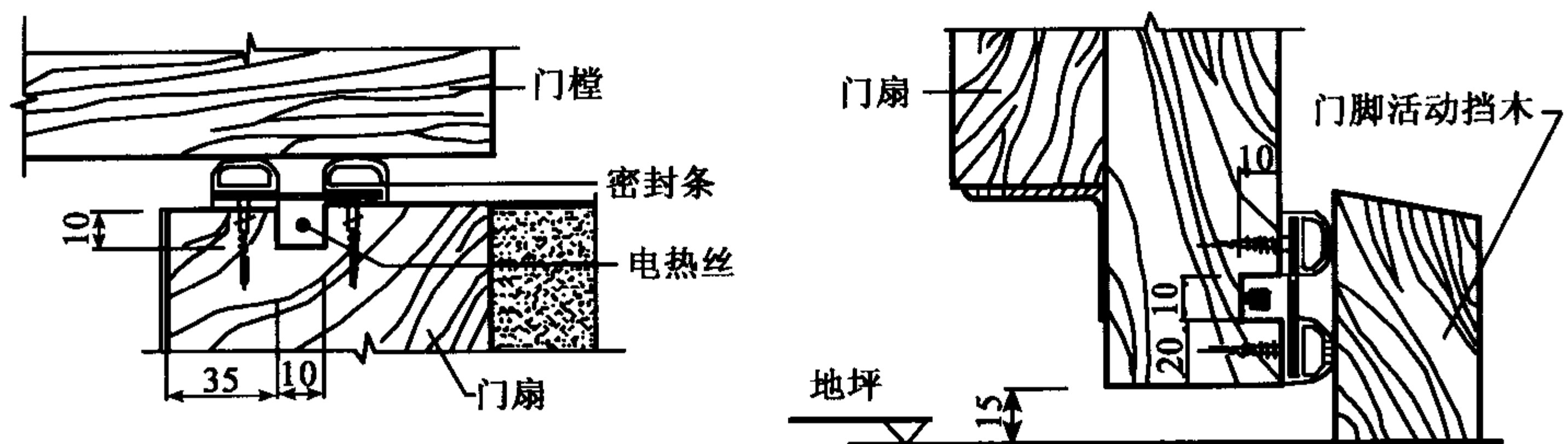
### 2.2.5.2 门洞

门洞与门堂构造见图 2-24, 电加热丝及密封条的安装见图 2-25。当库温在 0℃ 以上时不必安装电加热丝。

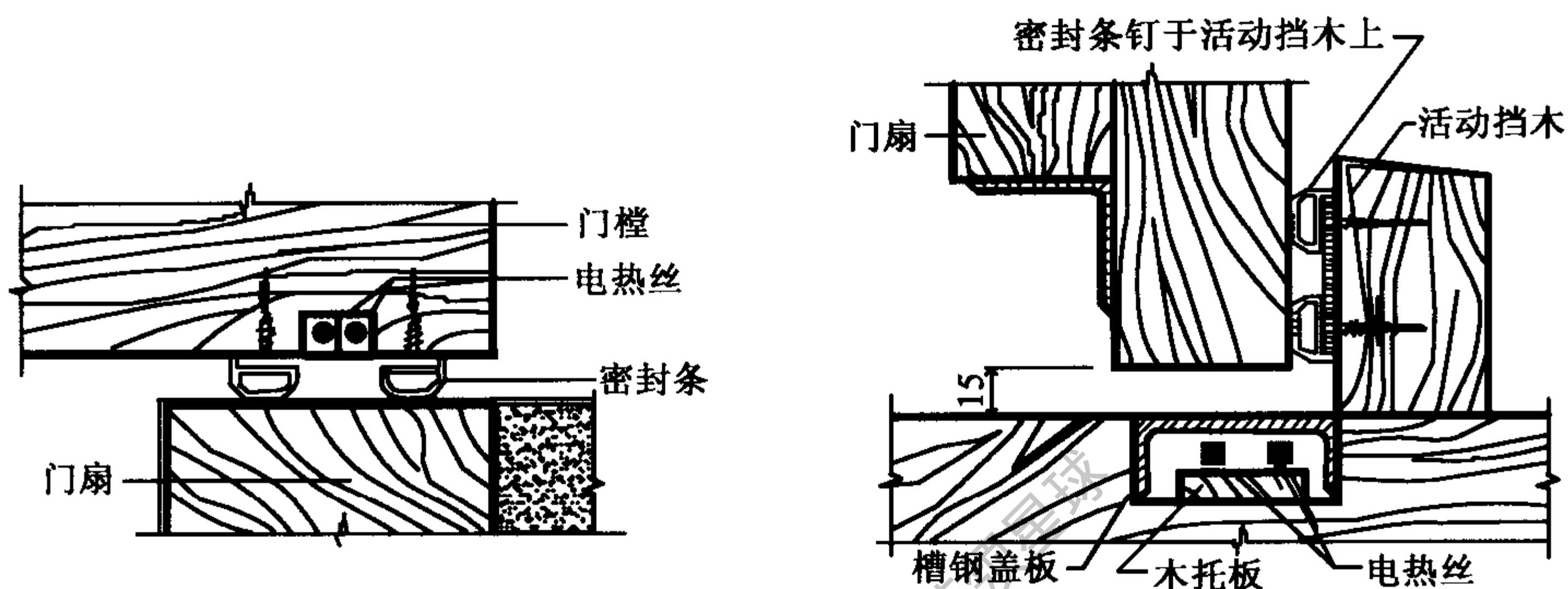


注:

1. 电热丝适用低温冷藏门。
2. 电热丝用料: 铁铬铝合金丝, 电阻1.4欧姆, 直径2~4.5, 电源电压15~24伏。
3. 电热丝的布置应该是在门脚低坪处的用量大于上门框处的用量, 这是因为门脚处温度较低。如采用温度继电器, 从控制门脚处(全门扇及框温度最低处)温度不低于0℃为宜。如果采用时间控制继电器, 其通电与停电周期以控制停电后至重新通电前, 门脚处不出现挂霜, 结冰为原则。



(b)电热丝及密封条安装于门扇上



(c)电热丝及密封条安装于门框及地坪上

注：本方案优点是电热丝不易脱落，折断。

图 2-25 电热丝及密封条

## 2.3 装配式库房结构

### 2.3.1 装配式冷库建筑特点

装配式冷库是近年来发展很快的一种冷库建筑形式。我国自行设计、制造和安装的第一座室外用装配式冷库于 1983 年建成投产，第一座室内用装配式冷库也于同年建成。装配式冷库具有以下特点。

(1) 建设速度快、施工方便 由于绝大部分部件系在工厂预制完成，现场施工工作量小、所需机械设备以及安装工人少，且现场施工为大件拼装，所以从订货到交付使用的周期较土建库短得多，建设资金周转快。

(2) 组合灵活 因装配式冷库系部件拼装，可根据不同的场地拼装成不同的外形尺寸。

(3) 可拆卸重组 室外用装配式冷库地坪以上部分可拆卸重新在新的地坪上安装，室内用装配式冷库可完全无损拆卸重新组合。

(4) 使用维护简单方便 墙体隔热围护结构系用隔热板围成，隔热板为带有面层的泡沫塑料复合板，防潮隔汽性能好、无虫蛀鼠咬，使用中无需进行翻晒维护等工作。

(5) 建筑结构维护容易 隔热用的泡沫塑料无冻融循环问题，室内用装配式冷库在无货时可随时停用、需要时可随时开机降温；室外用装配式冷库在控制降温 and 升温速率的条件下，也无需长年维持库温。

(6) 热惰性小 建筑属于轻体结构，降温快、制冷系统停机后升温也快，库温不容易稳



定，库温波动频率较高，波幅也较大。

### 2.3.2 基本构件

装配式冷库的库体由隔热板等基本构件拼装而成，这些基本构件除用于冷库之外，也可用于其他装配式建筑。

#### 2.3.2.1 隔热板

隔热板的横断面如图 2-26 所示，其基本结构是三层夹芯板结构，其基本组成是金属或玻璃钢面层与泡沫塑料芯层。

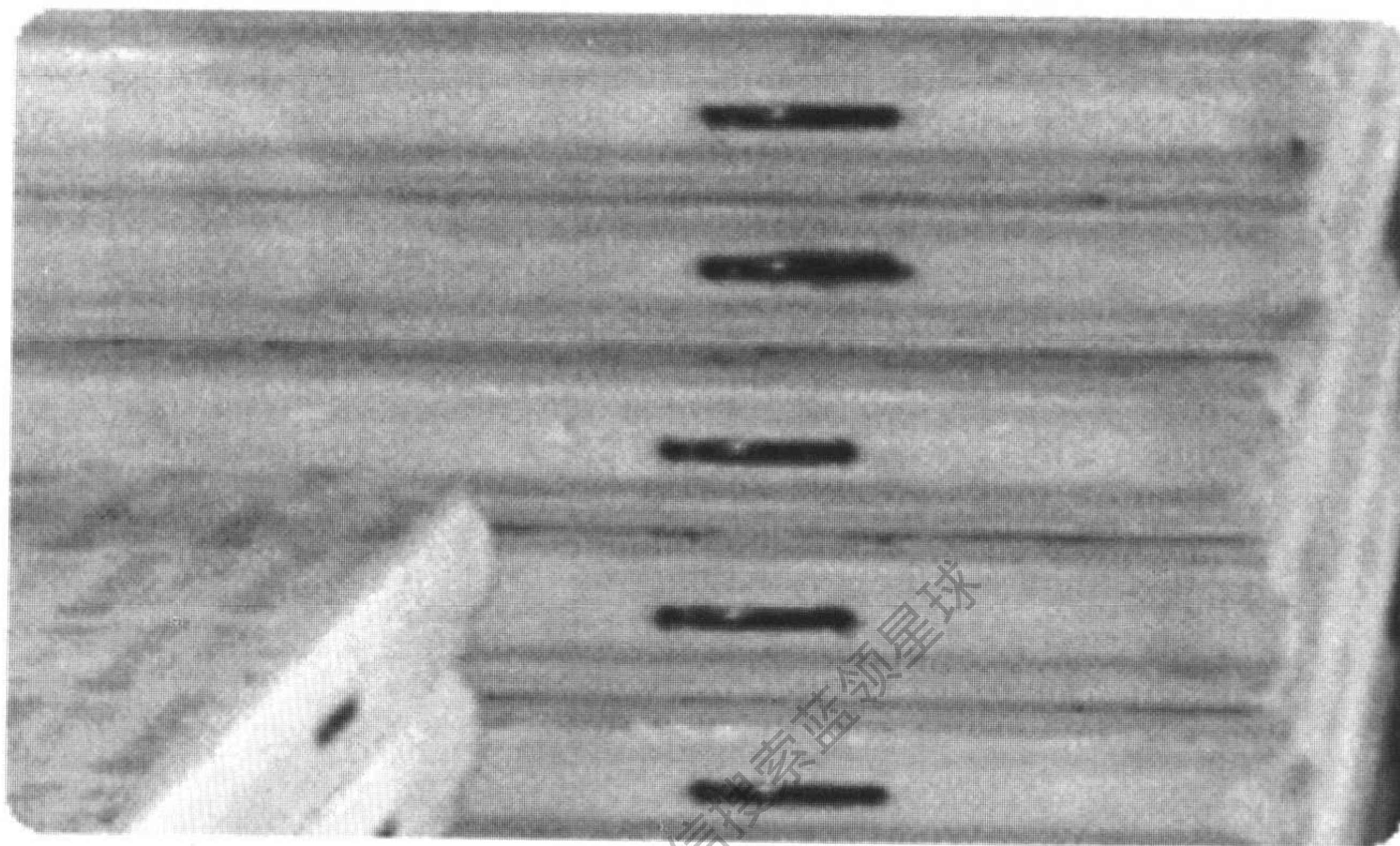


图 2-26 隔热板的横断面示意

金属面层为轧制瓦楞板，国内常用的材质有以下四种。

(1) 铝合金板 厚度 0.8~1.0mm，表面可轧花或阳极氧化处理，也可不处理，铝合金不应与食品长期直接接触。

(2) 镀锌钢板 厚度 0.4~0.8mm，镀锌钢板不允许与食品长期直接接触。

(3) 涂塑钢板 基材是厚度为 0.4~0.8mm 的冷连轧低碳钢板，经镀锌后外涂聚脂塑料，当板厚  $\delta \leq 0.75\text{mm}$  时，最小弯心直径为  $3 \sim 5\delta$ ，面层铅笔硬度  $\geq F$ ；这种板材可与食品直接接触，符合国际卫生检验标准。

(4) 不锈钢板 所用材料应为奥氏体不锈钢，如 1Cr18Ni8Ti 等；厚度为 0.4~0.6mm，常用于要求较高的室内用装配式冷库；这种板材表面可进行轧花，外观极好、无锈蚀、易清洗、可与食品长期直接接触，符合国际卫生检验标准。

芯层材料有以下两种。

(1) 硬质聚氨脂泡沫塑料 这种芯材采用在铝模具中机械灌注一次发泡成型，依靠其自身粘接力直接粘接在面层内，发泡时压力不应小于 0.2MPa，其机械性能与安全性能要求如下。

密度：30~60kg/m<sup>3</sup>

10% 抗压强度： $\geq 2\text{MPa}$

抗拉强度： $\geq 2\text{MPa}$

闭孔率： $\geq 97\%$

吸水率： $\leq 3\%$

自熄时间： $\leq 7\text{s}$

(2) 硬质聚苯乙烯泡沫塑料 聚苯乙烯泡沫塑料为可发性聚苯乙烯颗粒加热成为板材，然后用聚氨脂作粘合剂，将其与金属面层粘接在一起；用作冷库隔热时，密度应不小于



20kg/m<sup>3</sup>。

隔热板的联接方式有多种型式，常用的有偏心钩式、凹凸槽式、镶嵌条式、接缝现场发泡等几种，图 2-27 为偏心钩联接方式的示意图，而图 2-26 所示隔热板的联接方式为凹凸槽加偏心钩式。

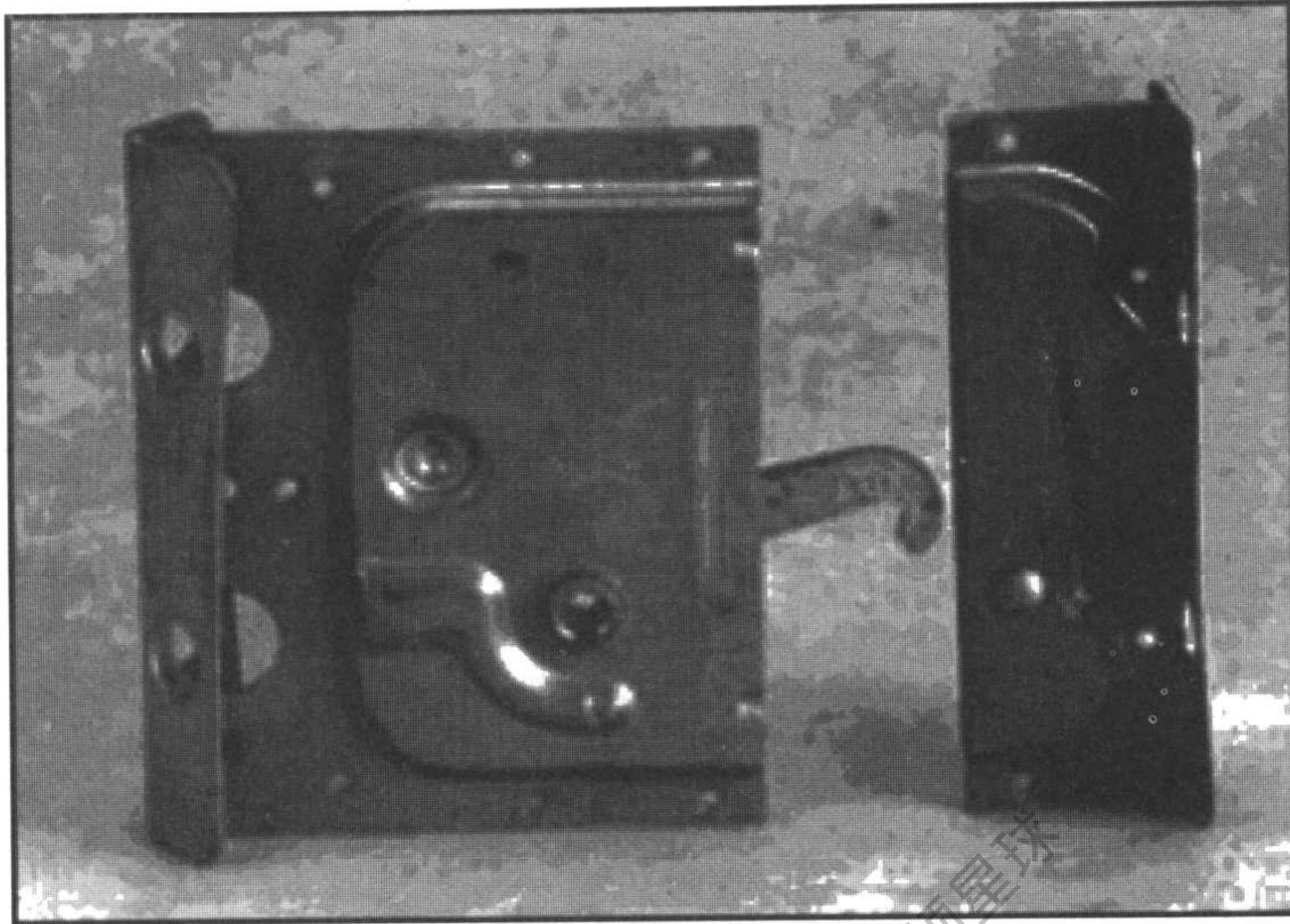


图 2-27 偏心钩联接

冷库用隔热板的长度应是 100mm 的整倍数，通常为 1 800 ~ 8 000mm；宽度应为 300mm 的整倍数，通常为 300 ~ 1 200mm；厚度应是 10mm 的整倍数。对成品隔热板的机械性能要求如下。

粘接强度：≥抗拉强度

宽度偏差：≤2mm

长度偏差：≤2mm

对角线偏差：≤2mm

#### 2.3.2.2 屋面板

屋面板适合做室外用装配式冷库和轻型房屋的房顶用。屋面板为高波纹瓦楞板，有镀锌钢板表面涂漆和涂塑钢板两种，其基材与隔热面的金属面层相同。屋面板的形状见图 2-28。当基材厚度为 0.6mm 时，每平方米屋面板重量仅 4.75kg。应用屋面板可以做出极轻的屋顶。屋面板用高强度自攻螺钉固定在椽上，每个波谷均应固定，沿波谷的螺钉间距应不大于 1.5m。



图 2-28 屋面板波形

#### 2.3.2.3 护墙板

护墙板适合用作室外用装配式冷库的裙板或轻型房屋的外围护板。护墙板为低波纹瓦楞板，如图 2-29 所示，其基材的涂层与屋面板完全相同。护墙板的固定方法与屋面板相同，但沿波谷的螺钉间距应不大于 0.6m。





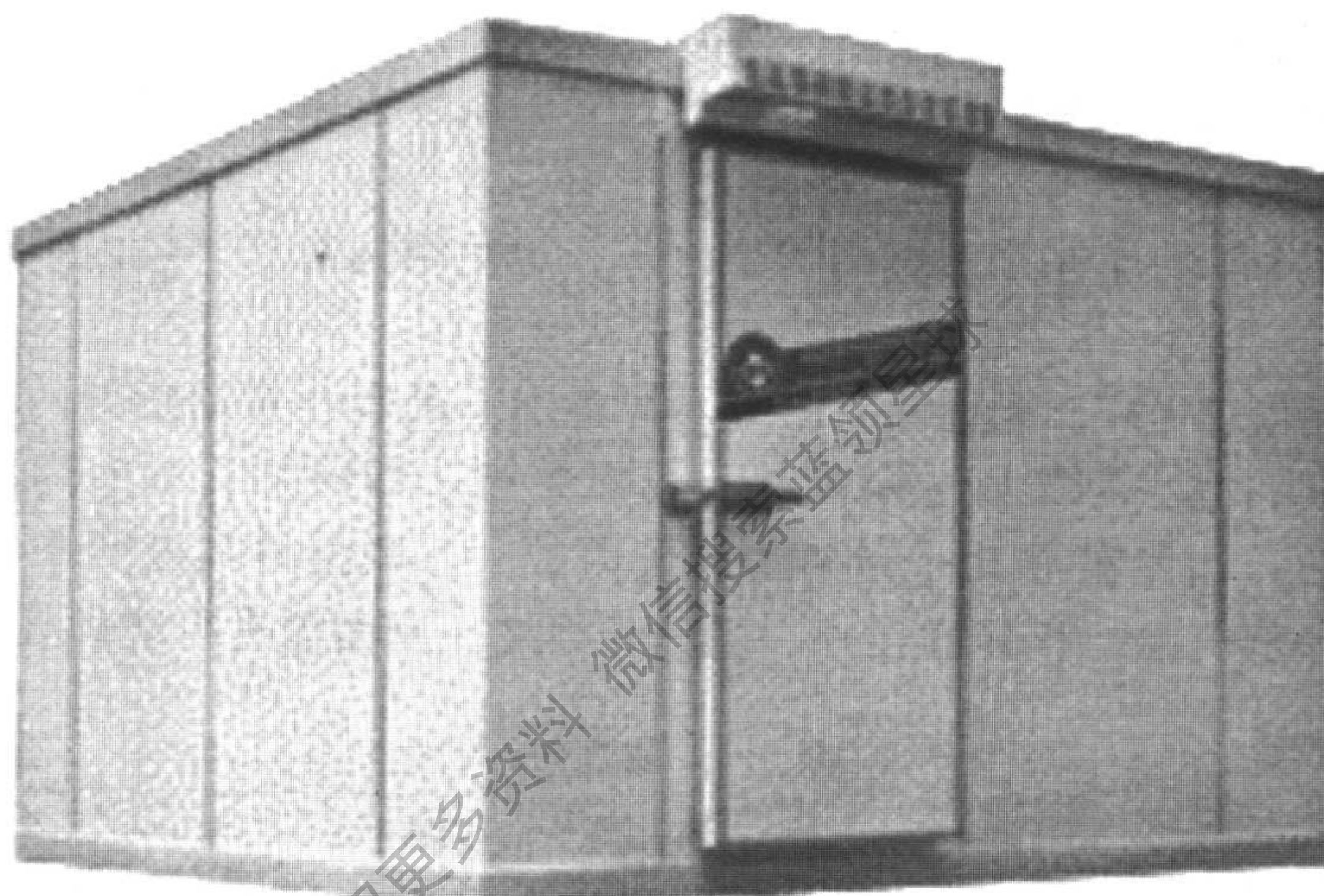
图 2-29 护墙板断面

### 2.3.3 装配式冷库的建筑物结构

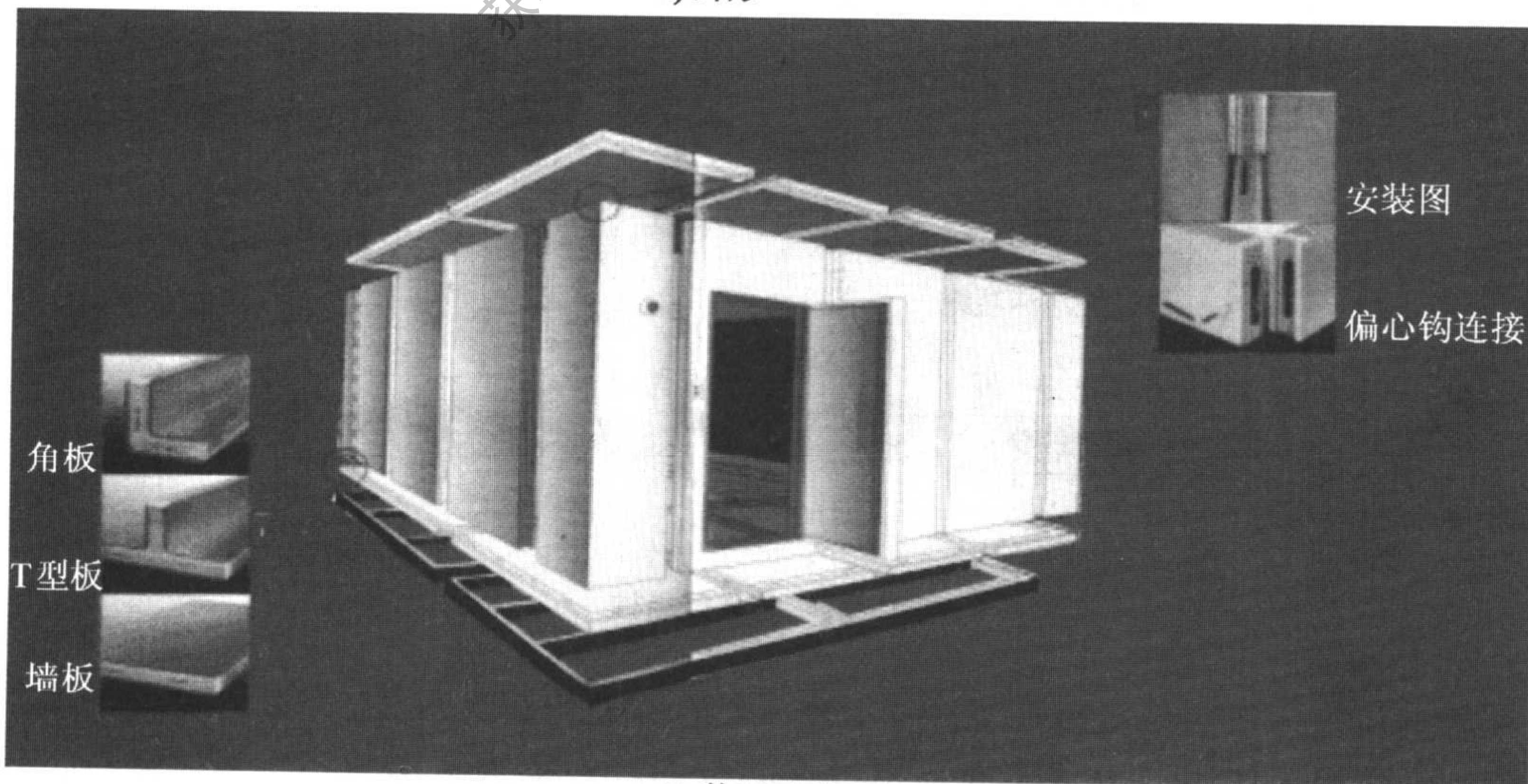
由于冷库使用场合与安装场地的不同，装配式冷库的建筑物型式与结点构造也有所不同。

#### 2.3.3.1 室内用冷配式冷库

室内用装配式冷库的库容较小，通常采用自承重结构。此时，隔热板就是承重结构，无需另加支承件。室内用装配式冷库的地板、墙板和顶板都用隔热板组成，其墙侧板、墙角板、顶边板、顶中板、底边板和底侧板均为系列产品，安装时进行积木式组合即可。室内用装配式冷库库体的外形和装配示意图 2-30。



a) 外形



b) 装配示意

图 2-30 室内用装配式冷库



室内用装配式冷库的库内冷却设备应是冷风机，不宜采用冷却排管。冷风机安装在库内侧壁上，其开停与库门联锁；制冷机组安装在库顶之上或库后，温控器与温度计安装在门旁。室内用装配式冷库库门门锁应可在库内手工拆下，以便开启库门。选配制冷机组时，取工作时间系数为 0.5~0.7。

室内用装配式冷库的降温及升温速率不需要进行控制。

### 2.3.3.2 室外用装配式冷库

室外用装配式冷库的库容通常较大，库内净高一般在 3.5m 及其以上，库内地坪荷载较大，在使用铲车的情况下，存储一般货物时可参考如下数值；存储桶装油等重度较大的货物时，应按实际情况进行计算。

库内净高	< 4.8m	地坪活荷载	20kPa
	< 7.0m		30kPa
	< 9.0m		40kPa

库内冷却设备宜采用冷风机；宜采用多套独立的制冷机组，分别对一个或二个冷间供冷，工作时间系数取 0.5~0.6。

室外用装配式冷库的库体采用钢结构架承重，承重结构有二种：内承重结构和外承重结构。

内承重结构见图 2-31，承重钢架在库内，多用于具有全自动货架的冷库。其优点是承重钢架可与货架一体，钢架既支承库体又支承货架、制冷剂管和库内冷却设备、照明设备与管线；其缺点是库温波动时钢架受热应力很大、联接件强度要求很高，隔热结构以内的面积利用率低，隔热板暴露在外、受风吹雨淋、屋面需进行防雨处理。

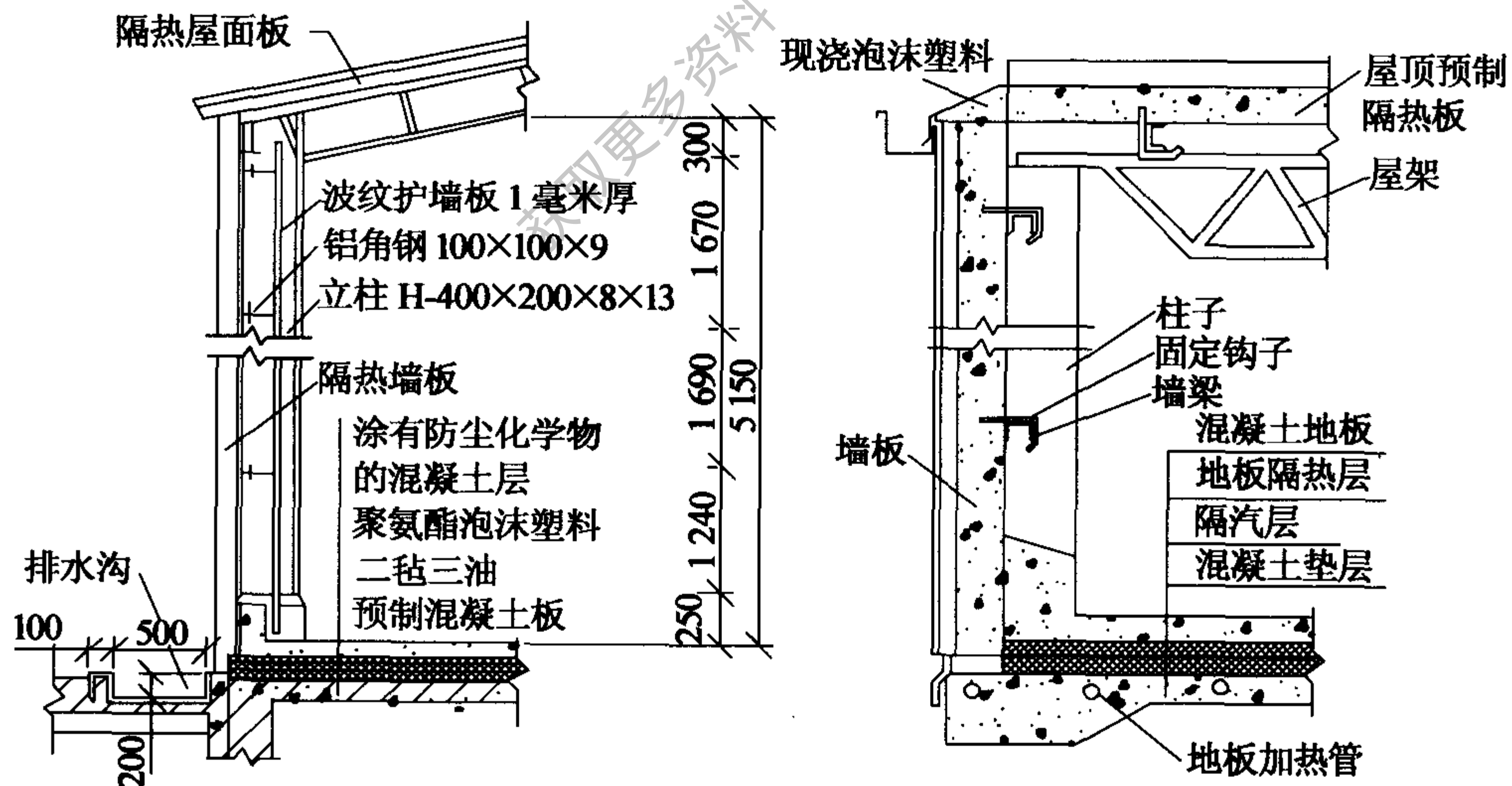


图 2-31 内承重结构

外承重结构一般部位的截面见图 2-32，内隔墙处截面见图 2-33。外结构的承重钢架在库外，多用于使用一般货架或不用货架的冷库。外承重结构的钢架桁架结构，仅支承库体，在钢架上方铺设屋面板，在四周上半部设裙板。其优点是所受热应力不大、联接件强度要求不很高，库内面积利用率较高、所用隔热板数量较少，防雨处理容易；其缺点是安装库内设备、照明灯具、风道时需穿透隔热层，需进行防冷桥处理。



室外用装配式冷库隔热板结点构造较特殊，需仔细处理，常见的结点见图 2-34 ~ 图 2-38。

室外用装配式冷库的月台、地坪隔热层以下部分与土建冷库相同。小型库宜采用旋转门，大中型库宜采用平拉门，库门锁的库内开启要求与室内用装配式冷库相同，门框外应设防撞护栏，上方应设风幕，门内侧应装塑料门帘，库内应设通向机房的报警装置。

室外用装配式冷库的降温及升温速率较快，但必须进行控制。降温与升温速率与承重结构型式有关，如为内承重结构，降温及升温速率可取  $0.7 \sim 0.8^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；如为外承重结构，降温及升温速率可取  $1.0 \sim 1.2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

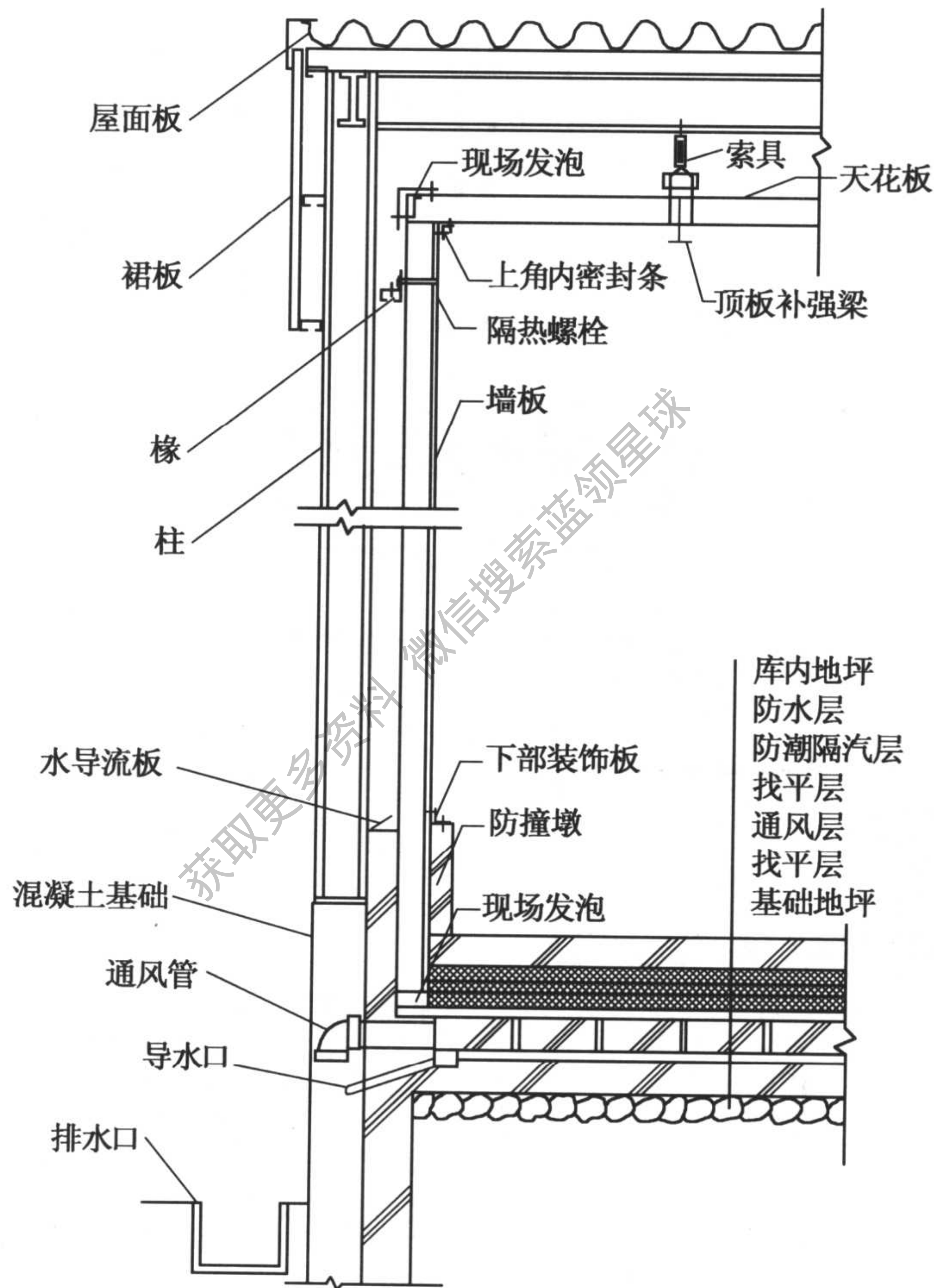


图 2-32 外承重结构的一般截面

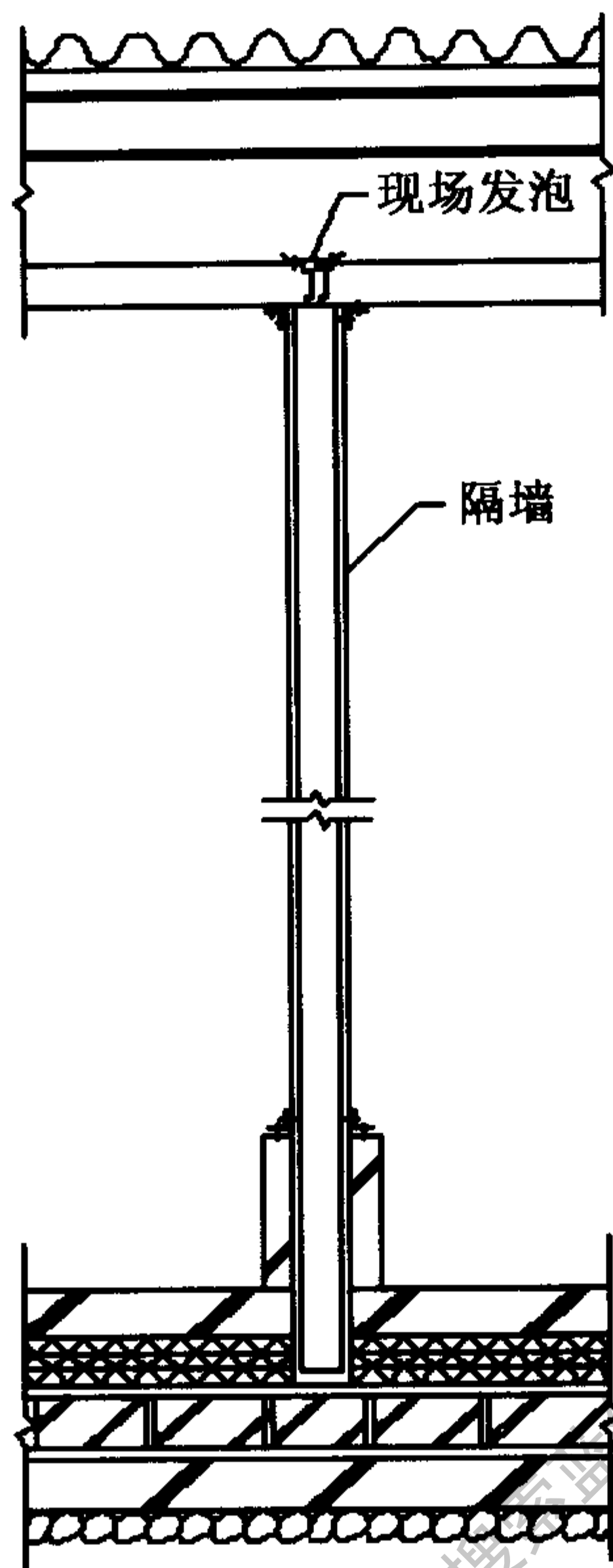


图 2-33 外承重结构的隔墙处截面

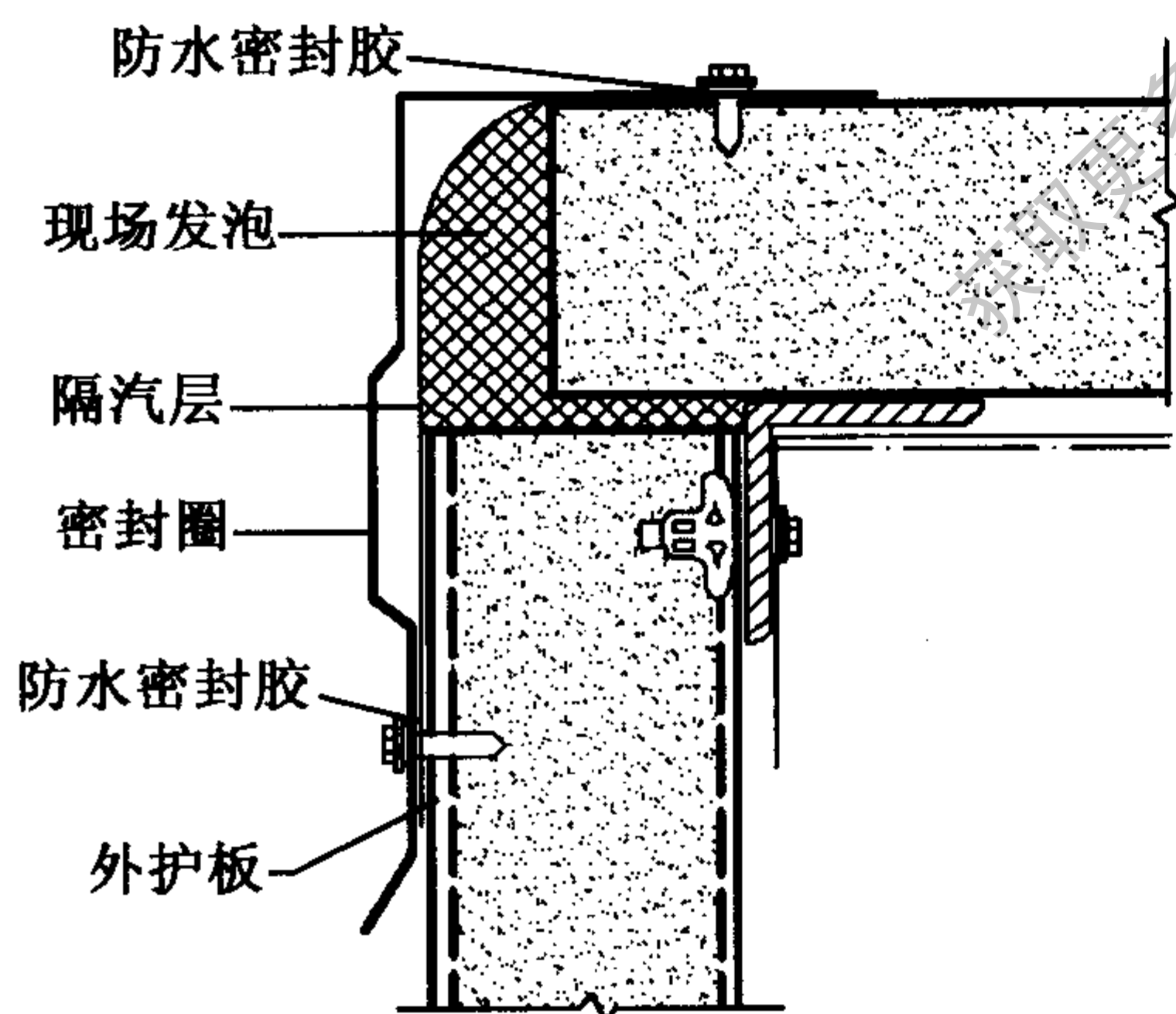


图 2-34 墙角或顶与墙联接详图

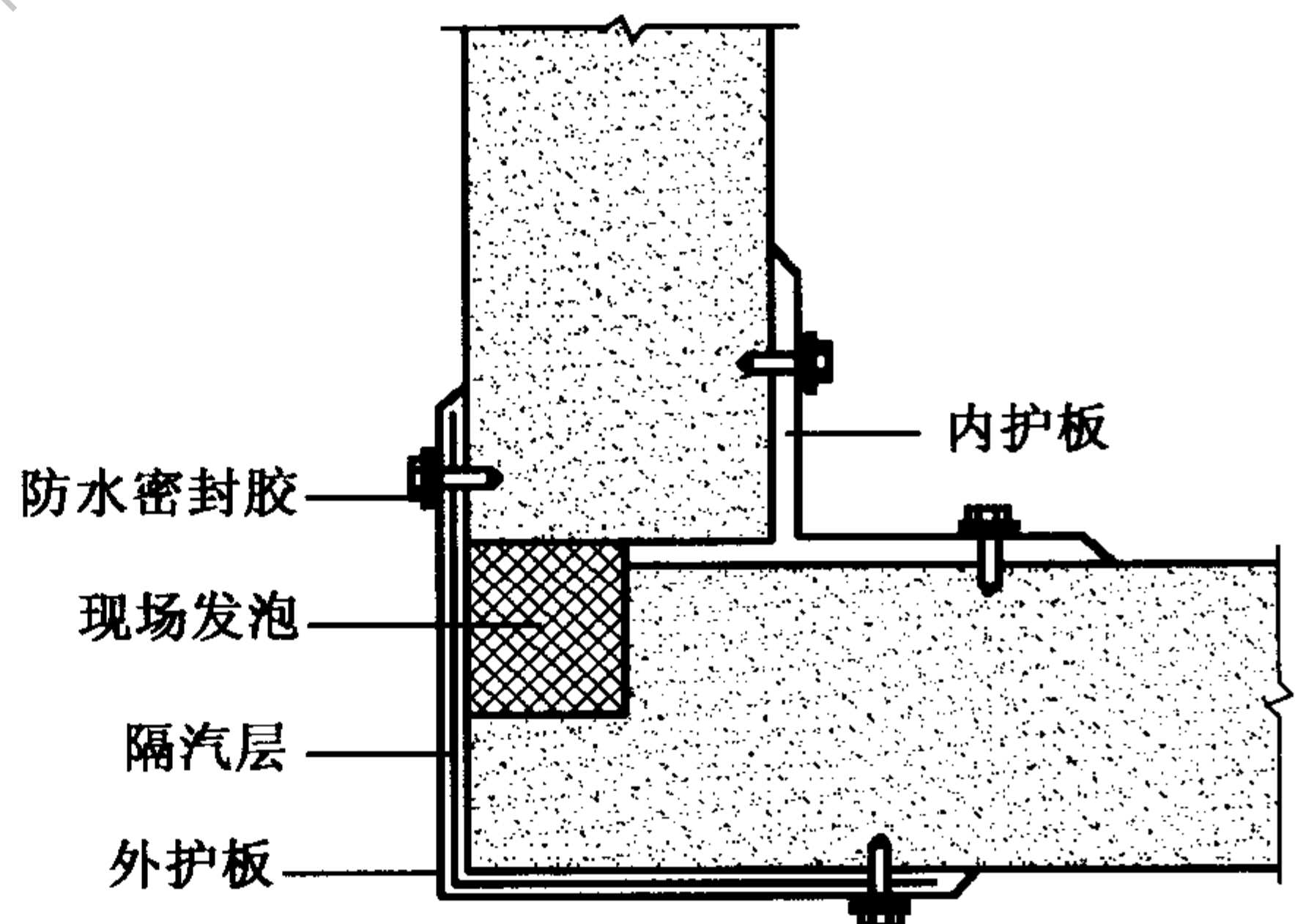


图 2-35 墙角现场发泡联接详图



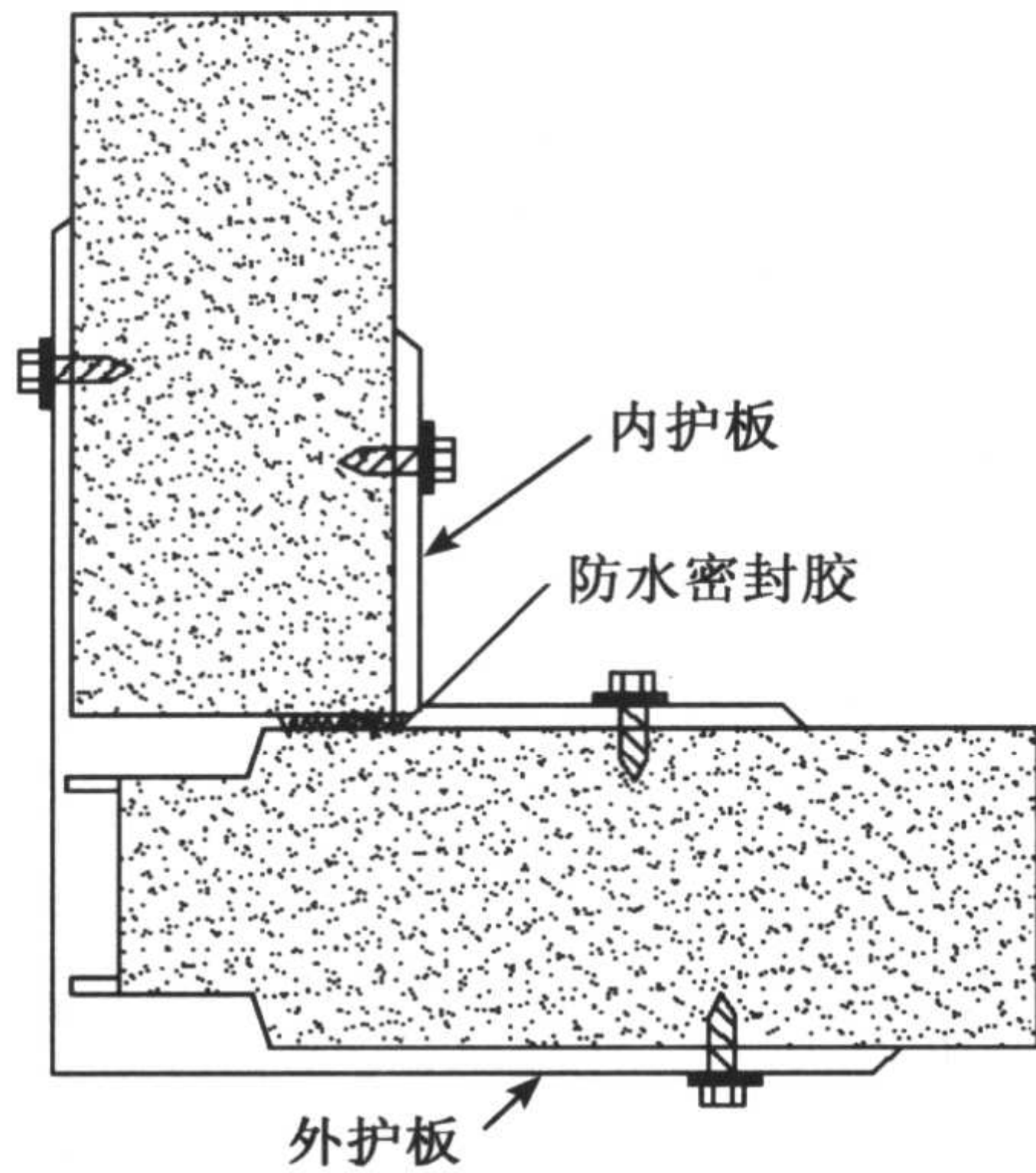


图 2-36 墙角不发泡联接详图

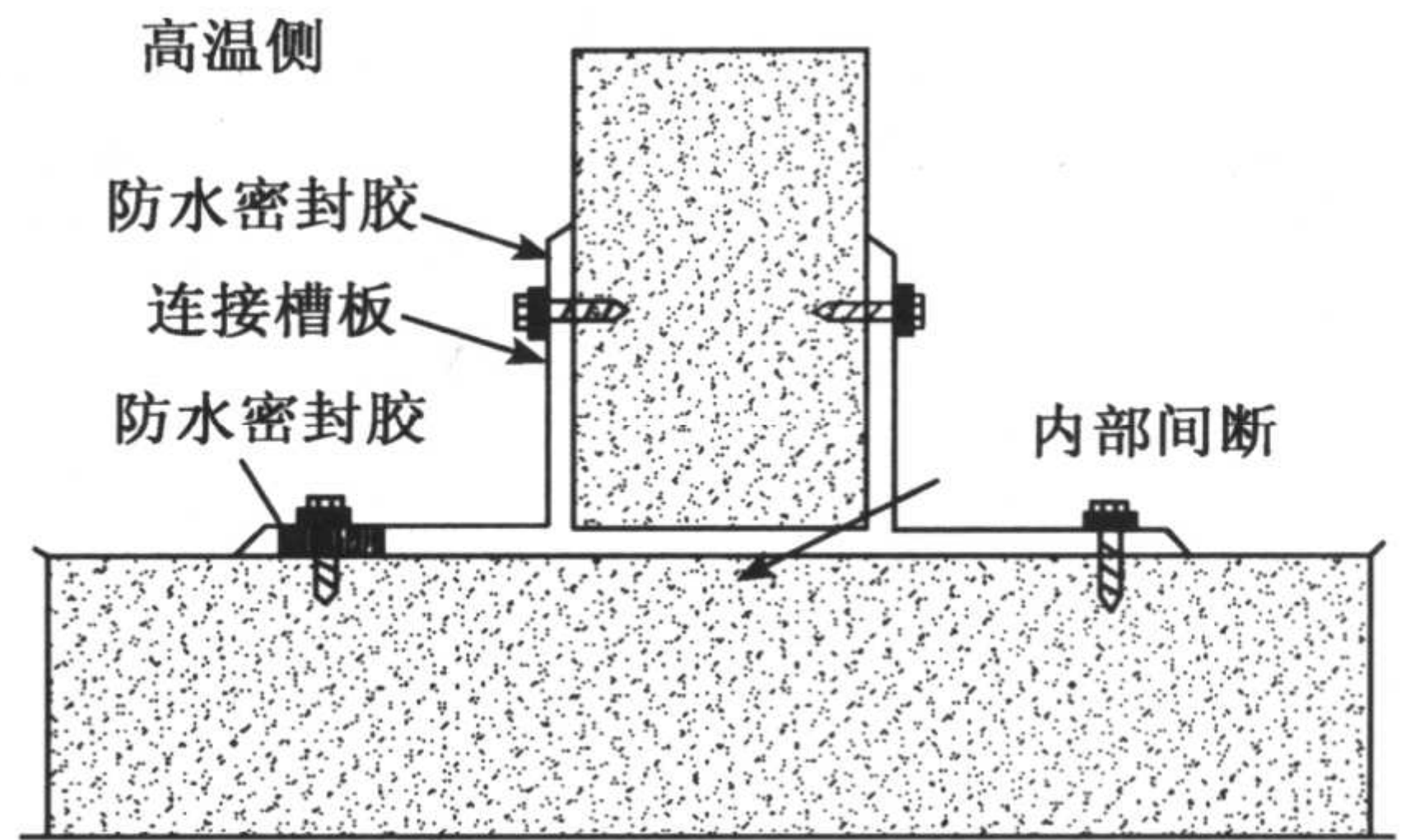


图 2-37 隔墙联接详图

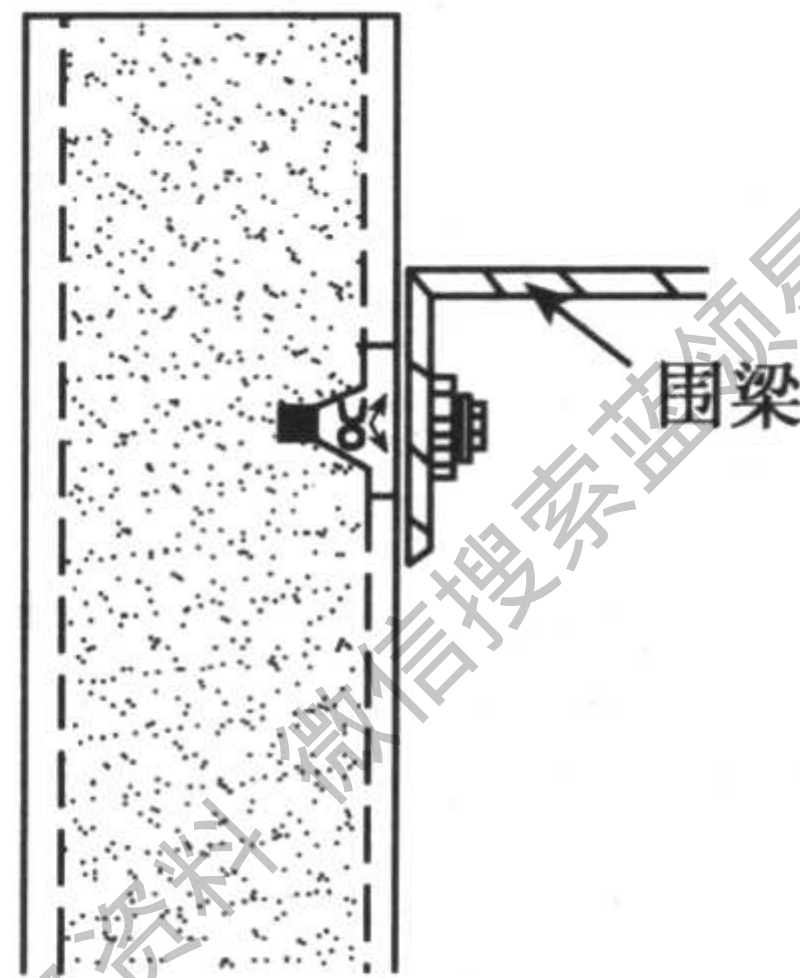


图 2-38 围梁联接详图

## 2.4 冷间设计

冷间设计的主要内容是冻结间、冻结物冷藏间和冷却物冷藏间的制冷设计，冷却间的制冷设计与冷却物冷藏间或吊轨式吹风冻结间基本相同。《冷库设计规范》对冷间设计有较详细的规定。

### 2.4.1 冻结间

冻结间是对食品进行冻结加工的冷间。根据所使用冻结设备的不同，冻结间有不同的型式，其中最常见的是吊轨式吹风冻结间和搁架排管冻结间。

国内冻结间内风温一般为  $-23^{\circ}\text{C}$ ，与此相适应，制冷剂蒸发温度为  $-33^{\circ}\text{C}$ 。目前国外的冻结间内风温为  $-35 \sim -45^{\circ}\text{C}$ ，相应的蒸发温度为  $-43 \sim -55^{\circ}\text{C}$ 。

冻结间的几何尺寸主要取决于冷加工能力和所采用的冻结设备。

#### 2.4.1.1 吹风式吊轨冻结间

对于设有吊轨的吹风式冻结间和冷却间，其冷加工能力应按下式计算：

$$G' = lgn/1\ 000$$

$$= 24lg/(1\ 000\tau) \quad (\text{t/d}) \quad (2-5)$$

式中： $G'$  ——冻结间或冷却间的冷加工能力 (t/d)；

- $l$ ——吊轨有效总长度 (m);  
 $g$ ——吊轨单位长度净载货量 (kg/m);  
 $n$ ——每日冻结或冷却的周转次数;  
 $\tau$ ——每一次周转循环的时间 (h)。

吊轨单位长度净载货量与食品种类、传动方式、包装大小有关, 设计规范给出了以下规定。

肉类: 人工推动  $g = 210 \sim 230\text{kg/m}$

机械传动  $g = 170 \sim 210\text{kg/m}$

鱼: 15kg 铁盘装  $g = 400\text{kg/m}$

20kg 铁盘装  $g = 540\text{kg/m}$

虾:  $g = 270/(\text{kg/m})$

对于 GBJ72—84 未规定的食品种类和包装大小, 应进行摆放排列, 计算出吊轨单位长度净载货量。

每一次周转循环的时间包括冻结加工时间和食品进出冻结间或冷却间的操作时间两部分:

$$\tau = \tau_f + \tau_0 \quad (2-6)$$

式中:  $\tau_f$ ——冻结加工时间 (h);

$\tau_0$ ——食品进出冻结间或冷却间的操作时间 (h)。

不同食品在吹风式吊轨冻结间内的冻结加工时间可参考表 2-12 选取。

表 2-12 -23℃吹风式吊轨冻结间内的冻结加工时间

食品种类	进货温度 (℃)	出货温度 (℃)	包装或装载方式	冻结加工时间 (h)
白条肉	+30	-15	吊挂	12
分割肉、兔、禽	+4	-15	盘装	11~18
鱼	+15	-15	15kg 盘装	12
			20kg 盘装	16
虾	15	-15	盘装 60mm 厚	10

食品进出冻结间或冷却间的操作时间与该冷间的设计货物一次装载量及机械化程度有关, 如冻结间或冷却间的装载量为 10t 及其以下, 取为 2h, 如为 10t 以上, 则取为 4h。

吊轨的轨距和轨面高度与吊挂食品或运载工具的种类、通风间距以及操作间距有关, 可参考表 2-13 选取。

表 2-13 吊轨的轨距和轨面高度

食品种类	轨距 (m)	轨面高度 (m)
猪白条肉	人工推动 0.75~0.85	2.3~2.5
	机械推动 0.90~1.00	2.3~2.5
羊白条肉	人工推动 0.55~0.65	2.3~2.5
	机械推动 0.70~0.80	2.3~2.5
白牛条肉	人工推动 0.95~1.05	2.8~3.1
	机械推动 0.90~1.00	2.8~3.1
鱼、虾	人工推动吊笼 1.00~1.10	2.1~2.3



吹风式吊轨冻结间的几何尺寸取决于冷风机的种类与位置、吊轨的布置等因素，图 2-39 为采用落地式冷风机横向吹风的吊轨冻结间的示意图，同样设备的冷却间与之相似。

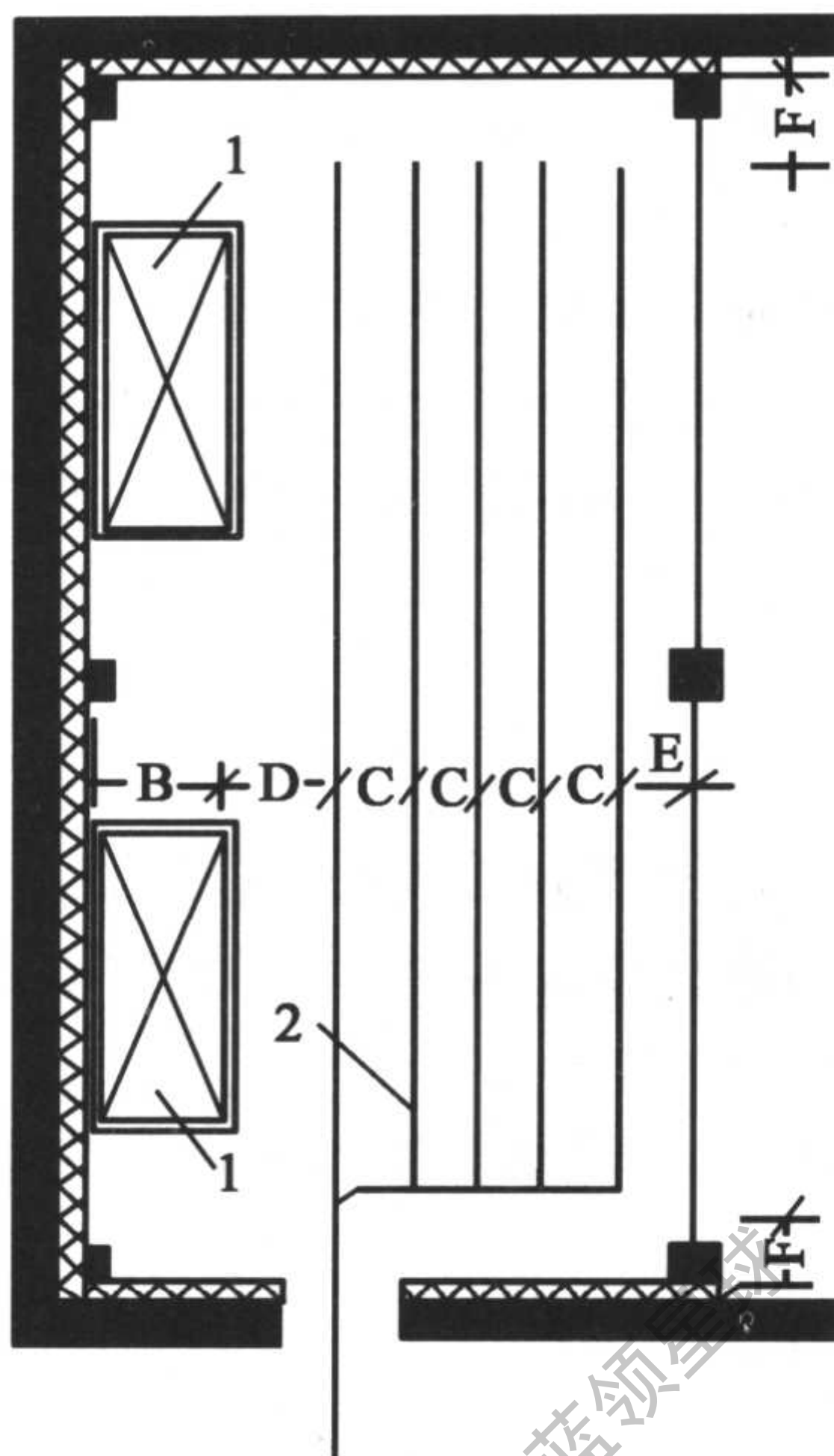


图 2-39 吊轨冻结间示意图

落地式冷风机横向吹风的吊轨冻结间的内净宽度  $W$  可按下式计算：

$$W = A + B + C + (n - 1)D + E \quad (\text{m}) \quad (2-7)$$

式中： $A$ ——冷风机边缘与内墙面之间的距离 (m)；

$B$ ——冷风机宽度 (m)；

$C$ ——吊轨中心线与冷风机边缘的距离， $C \geq 1.0\text{m}$ ；

$D$ ——轨距 (m)；

$E$ ——吊轨中心线与内墙面之间的距离 (m)；

$n$ ——吊轨分路数。

落地式冷风机横向吹风的吊轨冻结间的内净长度  $L$  可按下式计算：

$$L = 2F + J \quad (\text{m}) \quad (2-8)$$

式中： $F$ ——横轨中心线或轨端与内墙面之间的距离 (m)；

$J$ ——吊轨分路的长度 (m)。

采用落地式冷风机横向吹风的吊轨式冻结间的内净高度  $H$ ，取按下两式计算所得出的较大值：

$$H = H_1 + H_2 \quad (\text{m}) \quad (2-9)$$

$$\text{或：} H = H_1' + H_2' \quad (\text{m}) \quad (2-10)$$

式中： $H_1$ ——冷风机安装后顶边缘高度 (m)；

$H_2$ ——冷风机安装所需起吊高度 (m)；

$H_1'$ ——轨面高度 (m)；

$H_2'$ ——吊轨安装所需高度 (m)。

例 2-1 某冻结肉鸡用吹风式吊轨冻结间, 已知: 冷加工能力  $G' = 10\text{t/d}$ 、吊轨单位长度净载货量  $g = 400\text{kg/m}$ 、每一循环周期时间  $\tau = 12\text{h}$ 、每日冻结次数  $n = 2$ , 求吊轨有效总长度。

解: 由式 (2-5)

$$l = 1000G' / (gn) = 1000 \times 10 / (400 \times 2) = 12.5\text{m}$$

#### 2.4.1.2 搁架排管式冻结间

搁架排管式冻结间中所用的为半接触式冻结设备, 冻结间内空气流动方式有两种, 即自由对流和强制对流。强制对流搁架排管冻结间的冻结设备又有两种, 一种是吹风式搁架排管, 另一种是搁架排管加冷风机。设有搁架排管的冻结间, 其冷加工能力  $G'$  应按下式计算:

$$G' = 24nFg / (1000\tau) \quad (\text{t/d}) \quad (2-11)$$

式中:  $n$ ——搁架利用系数;

$F$ ——搁架各层不包括弯头部分的水平面积之和( $\text{m}^2$ );

$f$ ——每件(盘、听、箱)冻结食品容器所占的面积( $\text{m}^2$ );

$g$ ——每件食品净重( $\text{kg}$ )。

搁架利用系数取决于包装种类, 设计规范给出了以下规定:

冻盘装食品  $n = 0.85 \sim 0.90$

冻听装食品  $n = 0.70 \sim 0.75$

冻箱装食品  $n = 0.70 \sim 0.85$

不同食品在搁架排管式冻结间内的冻结加工时间可参考表 2-14 选取。食品进出冻结间或冷却间的操作时间与吹风式吊轨冻结间相同。

表 2-14  $-23^\circ\text{C}$  搁架排管式冻结间内的冻结加工时间

食品种类	进货温度( $^\circ\text{C}$ )	出货温度( $^\circ\text{C}$ )	包装或装载方式	冻结加工时间(h)
分割肉、兔、禽	+4	-15	盘装	8~10
鱼	+15	-15	5kg 盘装	8
			10kg 盘装	10
虾	15	-15	盘装 30mm 厚	6

由于搁架排管的传热为半接触传热, 难以准确计算。在工程设计中, 氨搁架排管的传热系数按表 2-15 选取。

表 2-15 氨搁架排管的传热系数 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ]

空气流动状态	自由对流	风速 1.5m/s	风速 2.0m/s
传热系数	17.4	20.9	23.3

搁架排管式冻结间的几何尺寸取决于搁架排管和冷风机的种类与位置, 图 2-40 为采用搁架排管加吊顶冷风机吹风的冻结间之示意图。

搁架排管式冻结间的内净宽度  $W$  可按下式计算:

$$W = 2A + nB + (n-1)C \quad (\text{m}) \quad (2-12)$$

式中:  $A$ ——搁架排管边缘与内墙面之间的距离,  $A \geq 0.1\text{m}$ ;

$B$ ——搁架排管的宽度 ( $\text{m}$ );



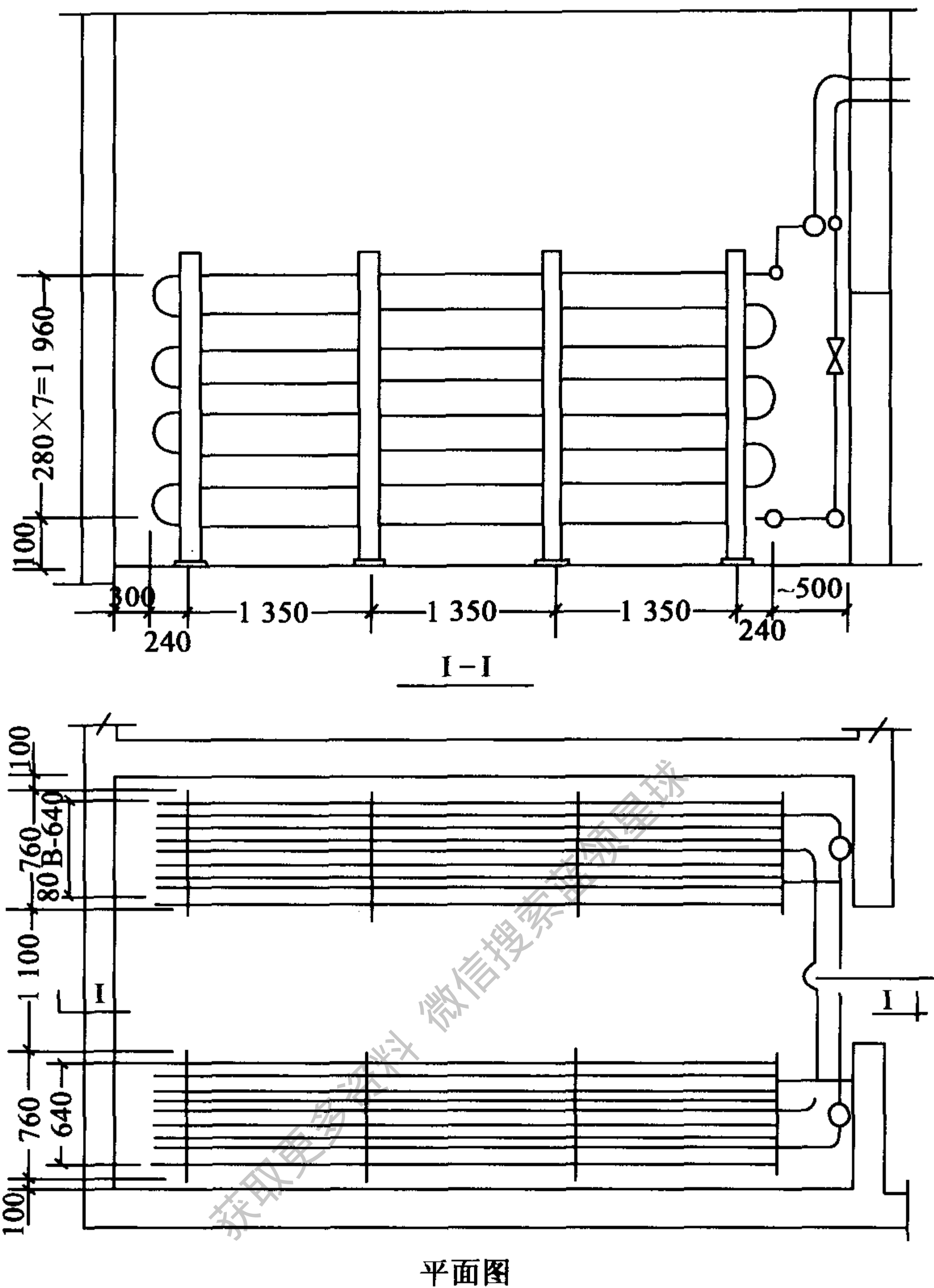


图 2-40 搁架排管冻结间示意图

$C$ ——两组搁架排管边缘之间的距离， $C \geq 1.0\text{m}$ ；

$n$ ——搁架排管组数。

例 2-2 某冻结肉鸡用搁架排管式冻结间，已知：冷加工能力  $G' = 10\text{t/d}$ 、搁架利用系数  $n = 0.85$  每盘肉鸡占用的搁架面积  $f = 0.48\text{m}^2$ 、每盘肉鸡重  $10\text{kg}$ 、每一循环周期时间  $\tau = 12\text{h}$ ，求搁架水平面积。

解：由式 (2-11)

$$F = 1000 G' f \tau / (24 n g) = 1000 \times 10 \times 0.48 \times 12 / (24 \times 0.85 \times 10) = 282.35\text{m}^2$$

搁架排管式冻结间的内净长度  $L$  可按下式计算：

$$L = D + F + J \quad (\text{m}) \quad (2-13)$$

式中： $D$ ——搁架排管弯头端边缘与内墙面之间的距离 (m)；

$F$ ——搁架排管的长度 (m)；

$J$ ——搁架排管集管端边缘与内墙面之间的距离 (m)。

搁架排管式冻结间的内净高度  $H$  可按下式计算:

$$H = H_1 + (n - 1)H_2 + H_3 + H_4 \quad (\text{m}) \quad (2-14)$$

式中:  $H_1$ ——搁架排管底层管排中心线距地面的高度,  $H_1 = 0.25 \sim 0.40\text{m}$ ;

$H_2$ ——搁架排管层中心距, 即每层高度,  $H_2 = 0.25 \sim 0.30\text{m}$ ;

$H_3$ ——搁架排管顶层以上所需净空间高度 (m);

$H_4$ ——安装风机或冷风机所需高度 (m)。

## 2.4.2 冷藏间

由于库温和库内所贮存的货物的不同, 冷藏间分为冻结物冷藏间、冷却物冷藏间和贮冰间。冻结物冷藏间的库温一般为  $-12^\circ\text{C}$  以下, 冷却物冷藏间的库温通常在  $0^\circ\text{C}$  以上。

### 2.4.2.1 库容量计算

冷藏间或贮冰间的公称容积是冷库设计规模的依据和计算标准。所谓公称容积是不扣除柱、门斗和库房冷却设备所占面积时冷藏间或贮冰间的净面积与其净高的乘积。公称容积与冷库公称吨位的关系为:

$$G = \sum V\gamma\eta / 1\,000 \quad (\text{t}) \quad (2-15)$$

式中:  $G$ ——冷库公称吨位 (t);

$V$ ——冷藏间或贮冰间的公称容积 ( $\text{m}^3$ );

$\gamma$ ——食品的计算重度, 见表 2-16 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\eta$ ——冷藏间或贮冰间的容积利用系数, 见表 2-17 和 2-18。

表 2-16 食品的计算重度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

食品类别	冻肉	冻鱼	冰蛋	鲜蛋	鲜蔬菜	鲜水果	机制冰	其他
重度	400	470	600	260	230	230	760	按实际重度采用

表 2-17 冷藏间容积利用系数

公称容积	500 ~ 1 000	1 001 ~ 2 000	2 001 ~ 10 000	10 001 ~ 15 000	> 15 000
利用系数	0.4	0.5	0.55	0.6	0.62

表 2-18 贮冰间容积利用系数

贮冰间净高 (m)	$\leq 4.2$	4.21 ~ 5.00	5.01 ~ 6.00	> 6.00
利用系数	0.4	0.5	0.6	0.65

表 2-17 中的公称容积为同类全部冷藏间公称容积之和, 对于既有冻结物冷藏间又有冷却物冷藏间的冷库, 其公称容积应分别求和。如冷库为蔬菜库, 则容积利用系数应按上表数值乘以 0.8 的修正系数。

例 2-3 欲建设贮存 500t 鲜水果的冷藏间, 已知: 货物计算重度  $\gamma = 230\text{kg}/\text{m}^3$ , 求库房容积。

解: 先设库房利用系数  $\eta = 0.55$

由式 (2-15)

$$\sum V = 1\,000G / (\gamma\eta) = 1\,000 \times 500 / (230 \times 0.55) = 3\,952.57\text{m}^3$$



由表 2-17 知, 所设  $\eta = 0.55$  正确, 因此所求  $\Sigma V$  正确。

#### 2.4.2.2 库房净高与堆码高度

在库房公称容积确定后, 如能确定库房净高, 则可确定库房面积。库房净高与货物堆码高度有关, 而堆码高度由货物种类和堆码方式决定。

冻结物自身可承受较大的压力, 无包装冻结物的堆码高度取决于冻结物本身在货堆上的稳定性。软包装冻结物在货堆上的稳定性与冻结物本身和包装有关。箱装冻结物的堆码高度则取决于包装箱强度。在无特殊稳定处理措施时, 冻结物的堆码高度和库房高度可参考采用表 2-19 中的数值。

表 2-19 冻结物的堆码高度和冻结物冷藏间高度

库容 ( $m^3$ )	堆码方式	堆码高度 (m)	库房净高 (m)
$\leq 2000$	人工	1.8~3.0	2.5~3.6
2001~15000	机械	3.0~3.8	3.6~4.5
$\geq 15000$	机械	3.8~4.8	4.5~6.0

冷却物冷藏间内如使用货架码放或木箱包装, 则堆码高度不限, 库房高度应比货物高 0.6~0.9m。当采用纸箱包装时, 应交错叠放; 采用篓、筐包装时, 应塔形堆码; 通常堆放 7~8 层, 堆码高度为 2.8~3.0m, 相应的库房高度为 3.6m。

由于库内各货垛之间需要一定的间距, 同时库内需要安排走道, 货物的堆放与墙或库内冷却设备也需要有一定的距离, 使得库内有效堆放面积小于库房面积。由于库容量以公称容积为依据, 库内的有效堆放面积仅与堆码有关, 并不影响库容量计算。这些间距可参考以下数值。

(1) 货垛与墙或设备的间距:

距冻结物冷藏间屋顶 0.2m	距冷却物冷藏间屋顶 0.3m	距墙 0.2m
距顶排管下端 0.3m	距墙排管外侧 0.4m	距风道出风口下侧 0.3m
距冷风机周围 1.5m		

(2) 货垛间距:

箱装蛋类、果蔬 0.3m	篓装蛋类、果蔬 0.4m	其他 0.2m
--------------	--------------	---------

(3) 库内直道宽度:

人工搬运 1.2m	机械搬运 1.8m
-----------	-----------

#### 2.4.2.3 分间

由于进入冷库的食品种类不同、特性不同, 所需要的冷藏温度、相对湿度也不同, 冷藏间须进行分间。一般来说, 单间容量较大时, 穿堂等辅助建筑的面积、冷藏门和风幕等设备的数量均可减少; 当进出货不频繁时, 库内温度和相对湿度均较易稳定。单间冷间容量较小时, 如进出货很频繁, 其他货物可不受影响, 库内温度和相对湿度均能得到保证。因此, 分间多少主要取决于货物种类的多少和进出货的频率, 根据投资方的要求进行。当投资方对分间没有要求时, 可参考表 2-20 进行分间。

表 2-20 冷藏间分间

公称容积 ( $m^3$ )	500~1000	1001~2000	2001~10000	10001~15000	>15000
分间数	2	2~3	3~4	4~5	5~6

上表中的公称容积指全部冻结物冷藏间或全部冷却物冷藏间的容积。

### 2.4.3 贮冰间

机制冰有两类，直接食用冰应是塑料袋小包装后再装箱，进入冻结物冷藏间贮存，非直接食用冰在贮冰间贮存。贮冰间的设计与冷藏间有以下几点不同：

(1) 贮冰间设计温度为  $-4 \sim -6^{\circ}\text{C}$ ，不贮冰时无须维持库温。

(2) 条冰的堆码高度由堆码方式决定，当人工堆码为 2.2m 及其以下，如机械堆码则为 4.4m 及其以下。

(3) 贮冰间四壁须设木骨竹排护壁。

(4) 地面须有排水坡度，由门口排水，坡度不大于 1/100。

(5) 贮冰间与制冰间同层相邻布置时，进冰洞口应与制冰间的滑冰道直接相通；进冰洞口和出冰洞口下表面均为向下倾斜的斜面，高差均不小于 20mm；库内地坪标高与进冰洞口下表面最低点及出冰洞口下表面最高点取平。

## 2.5 其他建筑

其他建筑指为冷间服务的建筑，在冷库中不可缺少的，主要是制冰间和机房等建筑。

### 2.5.1 制冰间

机制冰的生产是为了满足食品工业与医疗卫生等场合的需要。机制冰的生产有间接冷却制冰和直接冷却制冰两类。间接冷却制冰即盐水制冰，有普通桶式制冰和吹风桶式制冰两种，其产品冰相应也有白冰和透明冰两种。透明冰中所含空气较少，质地较硬、密度较大，因而较易贮存。直接冷却制冰又称快速制冰，有桶式快速制冰、片冰机制冰、管冰机制冰、制冰粒等多种方法，除桶式快速制冰外，其产品均为透明冰。使用的制冰方法不同，制冰间也不同。

#### 2.5.1.1 盐水制冰

在我国，盐水制冰通常采用普通桶式制冰，且盐水池为敞开式结构，盐水与空气直接接触。在盐水制冰的制冰间内，所布置的设备和装置主要有盐水池、冰桶架与架上成排的冰桶、注水器、脱冰池、倒冰架、滑冰道、行车等。目前制冰设备的型号、规格、外形尺寸并不统一，设计时应先选型，然后根据生产厂商的产品样本确定外形，并按设备的具体要求进行制冰间布置。

采用盐水制冰时，制冷系统蒸发温度为  $-15^{\circ}\text{C}$ ，盐水平均温度为  $-10 \sim -12^{\circ}\text{C}$ 。盐水为氯化钠水溶液，质量浓度取 21.2% ~ 22.4%，在  $15^{\circ}\text{C}$  时相应的密度为 1.16 ~ 1.17。制冰工艺为：

(1) 在各冰桶中注水，注水量为桶容积的 90%；

(2) 将冰桶置于盐水池中使水冻结；

(3) 冻结后将冰桶吊入融冰池中浸泡 2 ~ 3min，使冰表面融化，与桶分离；

(4) 将冰桶置于倒冰架上，倒冰架翻转使冰脱离冰桶，沿滑冰道滑入冰库。

制冰负荷与制冰设备的选择是制冰间制冷设计的主要内容，也是制冰间布置的基础，盐水池的制冰生产能力确定后，可按以下步骤进行。

所需冰桶数量  $n$  按下式计算：

$$n = 1\,000G(\tau_b + \tau_z)/(24g)$$

$$= 41.67(\tau_b + \tau_z)/g$$

(2-16)

式中： $G$ ——盐水池的制冰生产能力(t/d)；



- $g$ ——每块冰块重量(kg);  
 $\tau_b$ ——冻结时间(h);  
 $\tau_z$ ——操作时间,可取 0.1~0.15h。

冻结时间为:

$$\tau_b = -A\delta(\delta + B)/t_y \quad (2-17)$$

- 式中:  $\delta$ ——冰块上端面的短边长 (m);  
 $A$ 、 $B$ ——与冰块横断面边长比有关的系数,见表 2-21;  
 $t_y$ ——制冰池内盐水的平均温度 (°C)。

表 2-21 系数 A、B

冰块横断面长边与短边长度之比	1	1.5	2	2.5	4
A	3 120	4 060	4 540	4 830	5 320
B	0.036	0.030	0.026	0.024	0.023

制冰池围护结构漏热产生的耗冷量  $Q_1$  为:

$$Q_1 = \sum K_i F_i (t_a - t_y) / 1\,000 \quad (\text{kW}) \quad (2-18)$$

式中:  $K_i$ ——隔热结构的传热系数 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ ];

$F_i$ ——传热面积 ( $\text{m}^2$ );

$t_a$ ——制冰间内空气温度,一般为 15~25°C。

冰桶内的水冷却、冻结和冰降温的耗冷量  $Q_2$  为:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 1\,000 G [4.1868(t_w - 0) + 335 + 2.093(0 - t_y)] / (24 \times 3\,600) \\ &= 0.011574 G (4.1868 t_w + 335 - 2.093 t_y) \quad (\text{kW}) \end{aligned} \quad (2-19)$$

式中:  $t_w$ ——原料水温度 (°C)。

冰桶冷却耗冷量  $Q_3$  为:

$$\begin{aligned} Q_3 &= 1\,000 G g_d \times 0.47(t_w - t_y) / (24 \times 3\,600 g) \\ &= 0.0544 G g_d (t_w - t_y) / g \quad (\text{kW}) \end{aligned} \quad (2-20)$$

式中:  $g_d$ ——每个冰桶的重量;

搅拌器耗冷量  $Q_4$  为:

$$Q_4 = N_z \quad (\text{kW}) \quad (2-21)$$

式中:  $N_z$ ——搅拌器功率 (kW)。

脱冰耗冷量  $Q_5$  为:

$$Q_5 = 917 F_b S Q_2 / g \quad (\text{kW}) \quad (2-22)$$

式中:  $F_b$ ——每块冰的表面积 ( $\text{m}^2$ );

$S$ ——脱冰时冰融化的厚度,一般取 0.002m。

考虑余量后,制冰冷负荷  $Q_1$  为:

$$Q_1 = 1.15(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \quad (\text{kW}) \quad (2-23)$$

目前盐水制冰设备均为成套供货,蒸发器的型式与传热面积、搅拌器的流量与功率均可由产品样本得到。制冰设备选定后,可确定制冰间面积和高度。

制冰间内净长度  $L_i$  为:

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 \quad (\text{m}) \quad (2-24)$$

式中： $L_1$ ——盐水池的长度 (m)；

$L_2$ ——脱冰池的宽度 (m)；

$L_3$ ——倒冰架的宽度 (m)；

$L_4$ ——滑冰道的长度，取冰桶高度的两倍 (m)；

$L_5$ ——盐水池距墙的距离， $L_5 \geq 1\text{m}$ 。

制冰间内净宽度  $W_t$  为：

$$W_t = n_b W_1 + (n_b - 1) W_2 + L_5 \quad (\text{m}) \quad (2-25)$$

式中： $n_b$ ——盐水池数量；

$W_1$ ——每个盐水池的宽度 (m)；

$W_2$ ——相邻盐水池间的距离 (m)。

制冰间内净高度  $H_t$  为：

$$H_t = H_1 + H_2 + H_3 \quad (\text{m}) \quad (2-26)$$

式中： $H_1$ ——盐水池上表面高度 (m)；

$H_2$ ——冰桶提升所需高度，取冰桶高度的 1.5 倍 (m)；

$H_3$ ——行车所需高度 (m)。

盐水制冰间的横断面如图 2-41 所示，其纵断面见图 2-42。滑冰道向墙壁和向门口须各有 5% 的坡度，滑冰道侧的墙壁上应有竹制护壁。

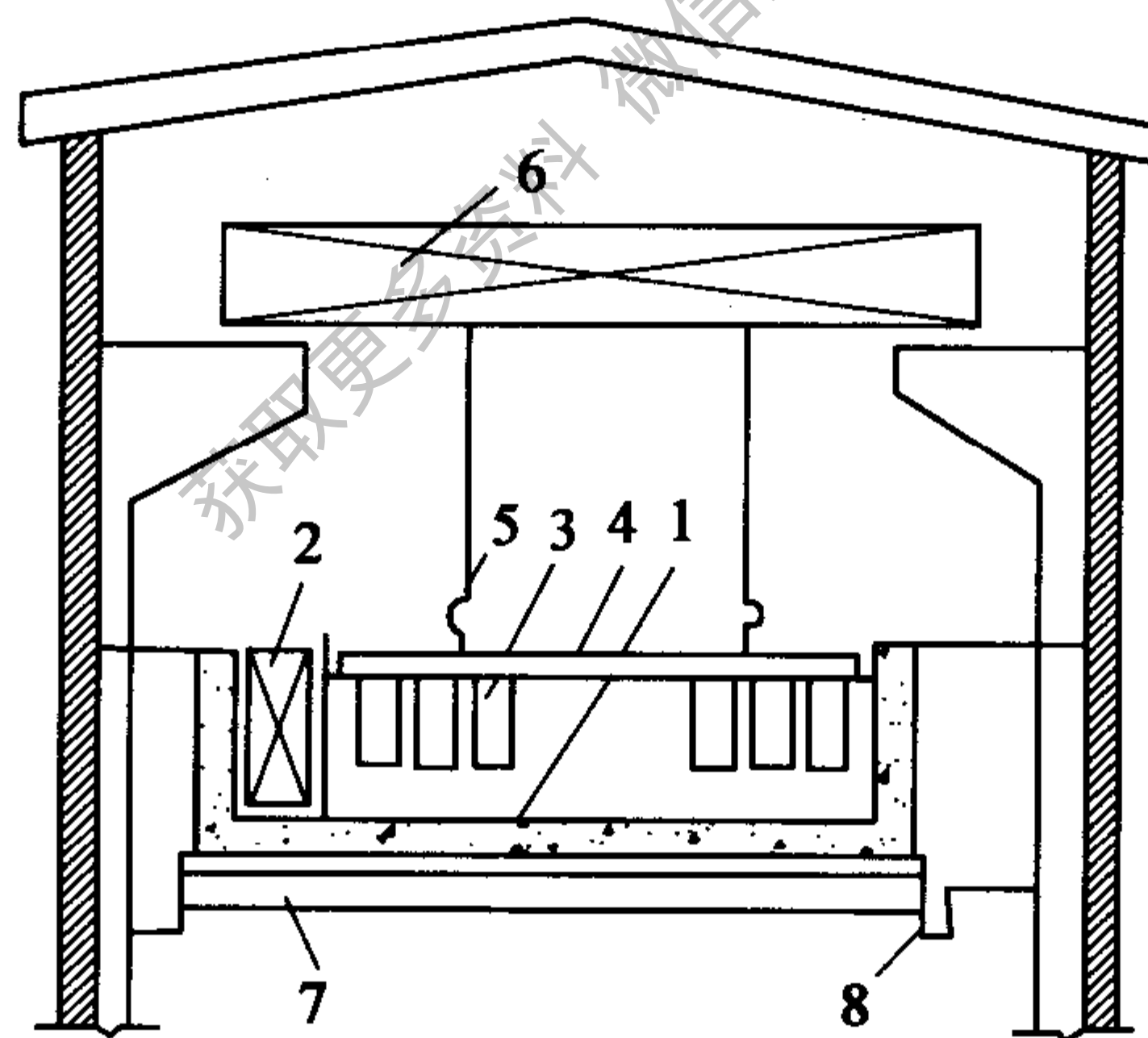


图 2-41 盐水制冰间横断面

1. 制冰池 2. 蒸发器 3. 冰桶 4. 冰桶架 5. 吊钩 6. 行车 7. 通风管 8. 排水沟

### 2.5.1.2 快速制冰

快速制冰的方法有很多种，其中的片冰机制冰、管冰机制冰、粒冰机制冰是近些年开发出的新型制冰设备，其产品均为小块冰。它们共同的优点是：制冰机为紧凑的整体式结构、体积小、占地省、效率高、卫生条件好、自动化程度高、生产成本较低、对制冰间要求低、使用时无需破碎，其缺点是：对贮冰间要求较高、需机械化输送加冰装置。

管冰机是一种间歇式制冰装置，生产外径约 50mm、壁厚 10~15mm、长度 50~80mm 的管状冰，机器高度为 3~5m。在制冰间布置管冰机时，应使主操作面与两侧面通道宽度不小于 2m，房间高度比管冰机高 2m，应按产品说明书的要求制作单独可靠的基础。制冰间应尽可能靠近冰库，



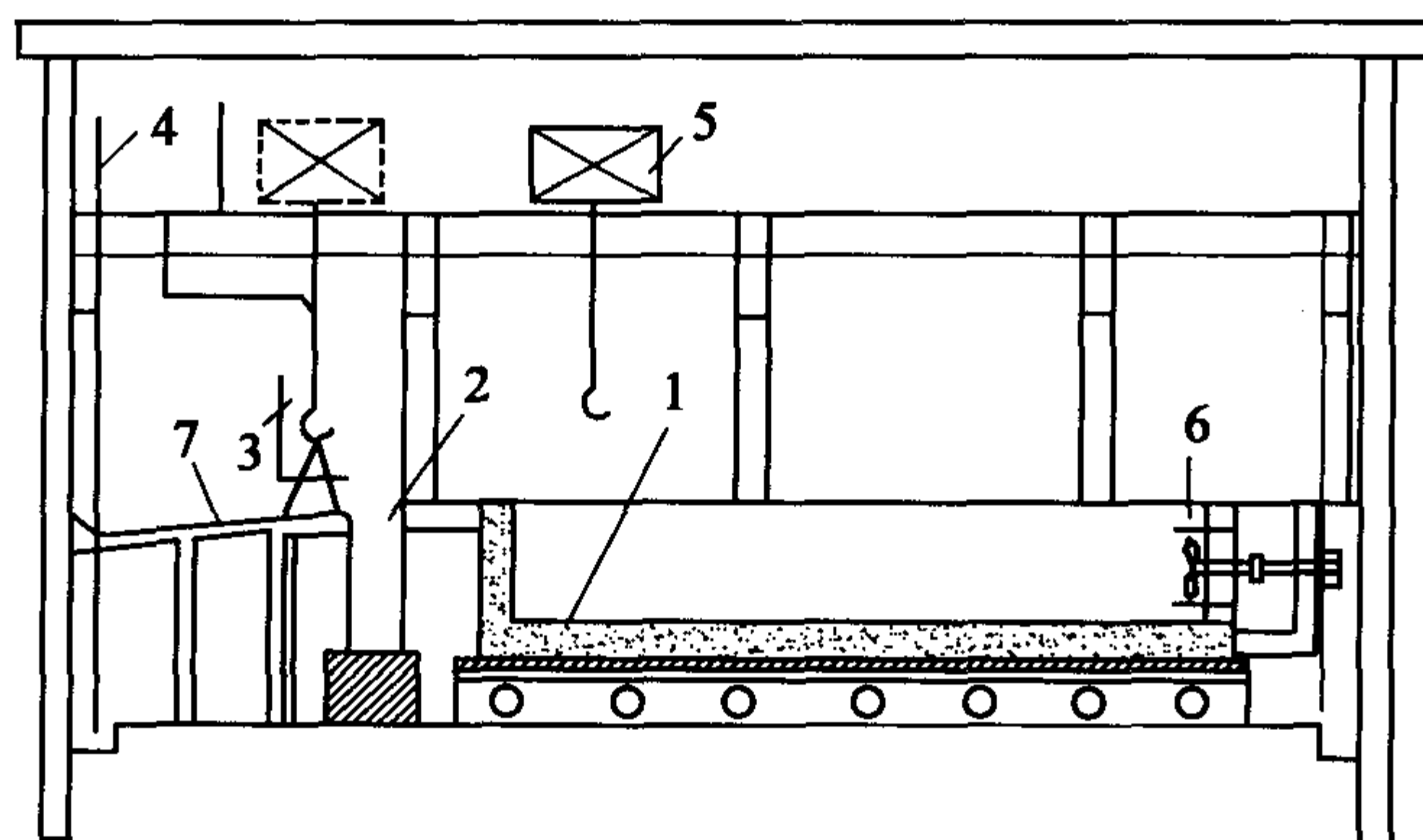


图 2-42 盐水制冰间纵断面

1. 制冰池 2. 脱冰池 3. 倒冰架 4. 注水箱 5. 行车 6. 搅拌器 7. 滑冰道

避免冰远距离输送造成融化损失，同时应尽可能靠近制冷机房，以减少制冷系统损失。

片冰机生产厚度为 1.5~2.5mm、温度为 -10℃左右、干燥、过冷的弧形片冰，生产能力为 10~40t/d，机器高度为 2.2~4m，重量为 4.2~11t，片冰机所需的制冰间要求与管冰机相同。

粒冰机是一种小型间歇式制冰装置，生产外径或对边距离为 30~50mm、高度为 30~40mm 的透明粒状冰，生产能力为 20~200kg/d，供食品工业和餐饮服务业用。粒冰机重量轻、外型美观，无需专门制冰间，可设于营业大厅或餐厅内使用。片冰机一般带有独立的制冷机组，设置非常灵活。

快速制冰的制冰间设计与布置非常简单，应参照生产商所提供的制冰机说明书或产品样本的要求进行。

### 2.5.2 机房布置

通常所说的机房是包括制冷压缩机房、设备间、变配电间、水泵房、工人休息室在内的组合体，其中设计和布置要求最高的是氨压缩机房。

机房应靠近用冷负荷中心，即机房应尽可能靠近冻结间和主库。但应尽可能远离人员密集的车间或场所。机房可以是一个独立建筑，此时距冷库主体建筑以 3~5m 为宜，宜南北朝向布置。机房也可以紧靠主体建筑布置，作为主体建筑的辅助建筑物。

由于氨的容积爆炸限为 15.5%~27%，所以氨压缩机房的火灾危险性属于乙类。因氨压缩机房均为单层建筑，每个防火分区最大面积为 5000m<sup>2</sup>。墙、柱、梁、顶等构件均应是而非燃烧体构件，其耐火极限见表 2-22。

表 2-22 机房建筑构件的耐火极限 (h)

防火墙	承重墙	非承重外墙	内隔墙	柱	梁	顶
4	2.5	1	0.5	2	1.5	1

变配电间与氨压缩机房毗连时，其用的隔墙应采用耐火极限不低于 4h 的非燃烧体实体墙，并应抹灰。该墙上只允许穿过与配电间有关的管道、沟道，其孔洞周围用非燃烧性材料严密堵塞。隔墙上不宜开窗，如必须开窗时，就采用难燃烧的密封固定窗。配电间与氨压缩机房不宜相通，如通过走廊或套间相通，走廊或套间的门应为难燃烧实体门，并应有自动关闭装置。

氨压缩机房和变配电间的门应为向外开启的旋转门，不得使用侧拉门。氨压缩机房应有

两个以上互不相邻的门。

氨压缩机房内外均应设置能够切断机房内部全部电源的断路器，但决不能切断电源在机房外部的事故排风装置和水泵。

氨压缩机房应设能够自动开启的事故排风装置，风机应采用防爆型单向排风机，换气次数不小于每小时 8 次。其电源以及除敏感元件外的控制部分，均应设于室外。

氨压缩机房应分为机器间和自动控制室或操作值班室两部分，两者之间用轻型材料隔墙隔开，隔墙上设固定观察窗，其面积应不小于隔墙的  $1/3$ ，并能直视到机器间所有的机器和设备。

所有压缩机房均应有良好的自然通风换气和采光条件，除人防库、地下库外，压缩机房均不得设于地下室。窗面积应大于地板面积的  $1/7$ ，窗可以单层或上下两层排列。在夏季，阳光不应直射压缩机、设备和控制台。压缩机房的屋面应采取隔热或保温措施。在冬季，如机房温度低于  $10^{\circ}\text{C}$ ，可使用以水蒸气或热水为热源的散热器取暖，严禁使用电炉、煤炉等明火取暖。

在自动控制室或操作值班室应设通向各冷间的求救呼唤信号装置。

小型冷库的机房可以简化，压缩机房与设备间可合为一间，水泵房为另一间，不设变配电间、自动控制室或操作值班室和工人休息室。

机房各间的长度、宽度应根据机器、设备的布置来确定，但应不小于  $18\text{m}^2$ 。高度宜为  $3\sim 6\text{m}$ 。

中型冷库机房 L 型布置示例见图 2-43。

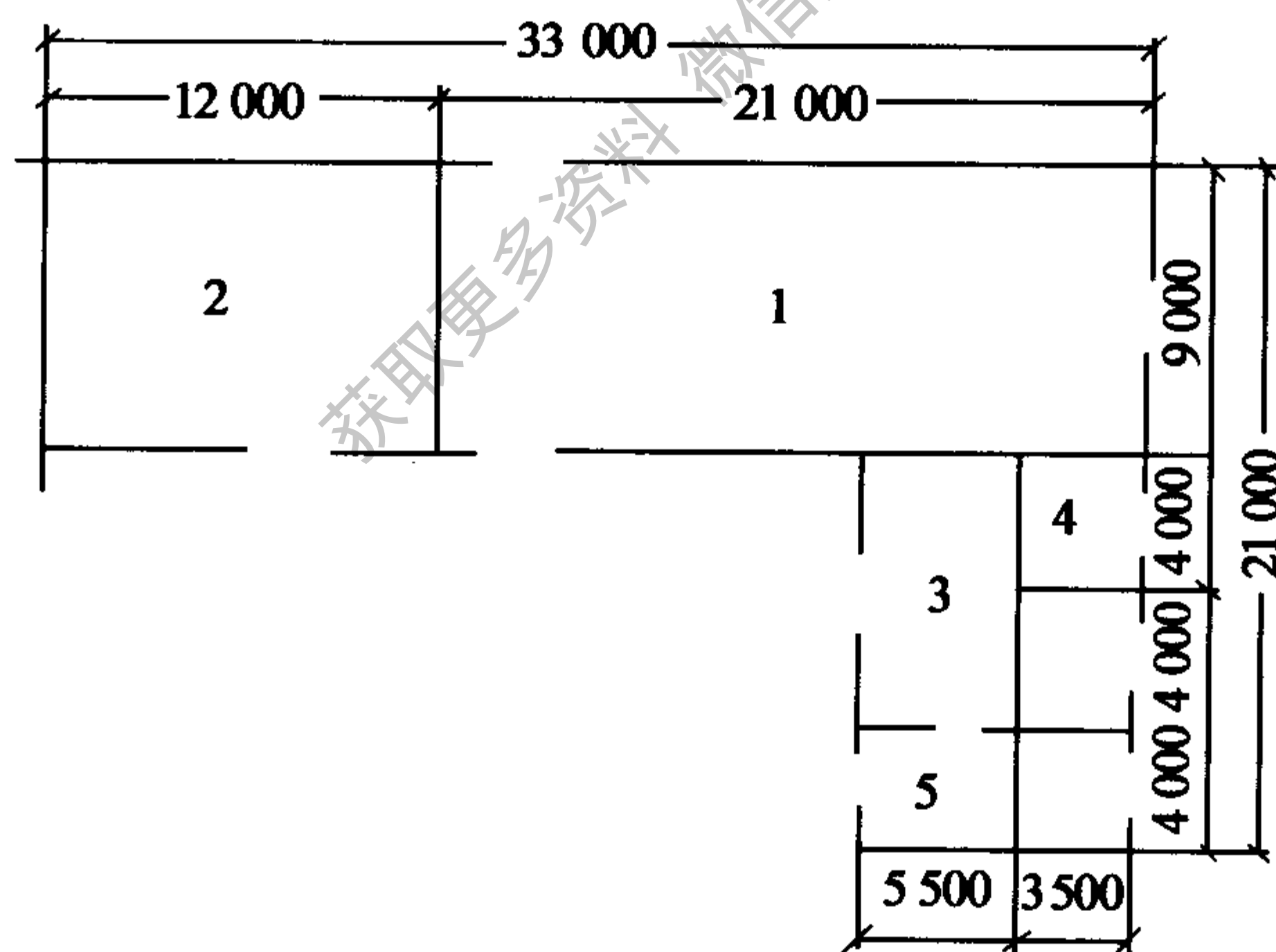


图 2-43 机房布置示例

1. 机器间与操作值班室 2. 设备间 3. 低压配电间 4. 变压器间 5. 工具间兼休息室



## 3 隔热设计

### 3.1 隔热材料

隔热必然要用隔热材料，隔热材料是隔热工程的基础，隔热材料的性能参数是进行隔热设计计算的基础。

#### 3.1.1 隔热材料的性能要求

在隔热工程中将导热系数  $\lambda \leq 0.2 \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  的材料称为隔热材料。对冷库所用隔热材料，一般应满足以下几个方面的要求：

(1) 导热系数要小 冷库所用隔热材料，导热系数应在  $0.024 \sim 0.139 \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  的范围内，使用导热系数小的隔热材料，不但能减小隔热层的厚度，也能减小建筑尺寸，节省投资。

(2) 密度小 同一种材料中，密度较小的材料在一定范围内导热系数也较小；同时密度较小，隔热结构就较轻，可使建筑结构、设备和管道的支撑结构减小，节省建筑投资。

(3) 吸水率低且耐水性好 隔热结构中虽然设有防潮隔汽层，但任何防潮隔汽层的蒸汽渗透阻都不是无穷大，且在施工前隔热材料存放时要与空气接触，使用后也难以完全避免局部防潮隔汽层破损，致使水分进入隔热材料。如吸水率高则使隔热性能变劣。此外还要求材料吸收少量水分后并不腐烂、变松散、机械强度并不很快下降。一般要求隔热材料的吸水率不大于 5%，且吸湿后隔热性能下降不多。

(4) 机械强度高 应有一定的抗压、抗拉强度，能够承受一定的机械冲击。尺寸稳定性要好。否则经过一段时间的使用，将会产生破碎并沉陷在隔热结构底层，破坏隔热结构的隔热效果。

(5) 耐火性好 材料本身应是不燃或是难燃的。如材料可燃，则应具有自熄性。万一发生火灾，不至于沿隔热材料蔓延至他处。应注意，自熄对防火是至关重要的。

(6) 耐低温性能好 在使用的低温范围内结构不破坏、不降低机械强度，在周期冻融循环中不破坏、不降低强度。

(7) 无毒无异味 这一点对于贮存食品非常重要，以免污染食品。

(8) 经久耐用不易腐烂 天然有机隔热材料的这一性质，一般不如合成有机隔热材料和无机隔热材料好，例如稻壳就容易霉变。软木是天然有机隔热材料中较不易霉变者，但无法与合成有机隔热材料和无机隔热材料相比，矿物棉、泡沫玻璃、泡沫塑料的这一性质均很好。

(9) 能抵抗或避免虫蛀、鼠咬 用于冷库的隔热材料不希望有鼠类能在其中生存或虫蛀，一般天然有机隔热材料存在虫蛀、鼠咬问题，合成有机隔热材料和无机隔热材料无此问题。

(10) 施工方便 即易于切割、粘贴，选用易于加工的材料，将使工期缩短、投资减少。

(11) 价格低廉、来源广 可降低工程造价，缩短工期。

(12) 环境可接受 即应对环境无破坏作用或破坏作用轻微。

实际上，完全符合上述要求的隔热材料并不存在，各种隔热材料均是在某些方面性能较优，而在另一方面存在不足。选用时应根据使用要求、围护结构的构造、材料的技术性能、价格、来源等具体情况进行分析、比较，然后做出抉择。

### 3.1.2 影响隔热材料导热性能的因素

影响隔热材料导热性能的因素主要有材料种类、材料内部结构、密度、含水率、工作温度，前两个因素是由材料自身决定的，在选择隔热材料时即已确定；后三个因素与隔热结构设计、隔热材料的加工和应用有关。

#### 3.1.2.1 密度

隔热材料的密度  $\rho$  指视密度，即用边长为 100mm 的立方体称重量得出的密度，单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

单纯从传热的观点出发，导热系数最小时的密度可以称为最佳密度。例如聚苯乙烯泡沫塑料的最佳密度约为  $27\text{kg}/\text{m}^3$ ，此时导热系数为  $0.032\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；聚氨酯泡沫塑料的最佳密度约为  $35\text{kg}/\text{m}^3$ ，此时导热系数为  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

#### 3.1.2.2 含水率

绝大多数建筑材料与潮湿空气接触时，都会从空气中吸收水分，材料受潮后导热系数显著增大。尤其是多孔性隔热材料的孔隙中有了水分后，由于水的导热系数是孔隙中空气的 20 倍左右，导热系数增大很多。如果孔隙中的水结成冰，冰的导热系数是孔隙中空气的 80 倍左右，材料将完全不能起隔热作用。

隔热材料的含水率是说明材料中所含游离水分的一个指标，有两种表示方法。一种是质量含水率，指隔热材料中水的质量与烘干后隔热材料质量的比值。另一种是体积含水率，指隔热材料中所含水在液态下所占有的体积与材料体积之比。两者之间的关系为：

$$\Psi_d = \frac{\Psi_z \rho}{1000} \quad (3-1)$$

式中： $\Psi_d$ ——体积含水率；

$\Psi_z$ ——质量含水率。

导致冷库围护结构隔热材料的含水率上升的原因是多方面的，如水蒸气渗透、空气渗透、施工残留等。因此在设计中应考虑材料受潮后导热系数增大的因素，而不能以干燥状态下测定的导热系数作为计算依据。计算时如采用干燥状态下测定的导热系数，应乘以一个安全系数，使材料在使用中吸收一定水分后仍能满足隔热要求。

#### 3.1.2.3 工作温度

对于大多数隔热材料，导热系数  $\lambda$  与使用温度之间存在近似的线性关系：

$$\lambda = \lambda_0 + bt \quad (3-2)$$

式中： $\lambda_0$ ——材料在测定温度下的导热系数 [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ];

$b$ ——常数；

$t$ ——工作温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

### 3.1.3 常用隔热材料

可用于冷库的隔热材料很多，尤其是高分子合成有机隔热材料的出现，促进了冷库建筑技术的发展。按化学成分，隔热材料可分为无机隔热材料和有机隔热材料两大类（见表 3-1）。



### 3.1.3.1 有机隔热材料

(1) 软木及其制品 软木是碳化软木的简称，是优良的隔热材料，具有密度小、导热系数小、抗压强度高、无毒、不易腐烂等优点，但其可燃、产量低、价格高。

软木用栓树皮加热使表面碳化制成，为颗粒状。用沥青粘接后，可制成软木板。

(2) 聚苯乙烯泡沫塑料 (EPS) 及制品 聚苯乙烯泡沫塑料为可发性聚苯乙烯颗粒在模具中加热而成。成形的硬质聚苯乙烯泡沫塑料可以是板材、也可以是所需要的其他形状。对聚苯乙烯泡沫塑料的性能要求如下：

密度： $\leq 35\text{kg/m}^3$                       50%抗压强度： $\geq 0.15\text{MPa}$

吸水率： $\leq 0.15\text{kg/m}^3$                 自熄时间： $\leq 2\text{s}$

硬质聚苯乙烯泡沫塑料夹芯板材是硬质聚苯乙烯泡沫塑料板材用聚氨酯作粘合剂，将其与金属面层粘接在一起而成。用作冷库隔热时，密度应不小于  $25\text{kg/m}^3$ 。

(3) 聚丙烯泡沫塑料及制品 聚丙烯泡沫塑料的性能参数如下：

密度： $11 \sim 71\text{kg/m}^3$                 抗压强度： $\geq 0.065\text{MPa}$

闭孔率：100%                            吸水率： $\leq 0.7\%$

燃烧速率： $0.0013\text{m/s}$

聚丙烯泡沫塑料的密度可大到  $800 \sim 900\text{kg/m}^3$ ，称之为合成木材。

(4) 硬质聚氨酯泡沫塑料及制品

硬质聚氨酯泡沫塑料的典型配方为 (质量比例)：

A 组分	聚醚多元醇	100
	三乙烯二胺	2~4
	R11	35
	水溶性硅油	2~4
	阻燃剂	5
B 组分	异氰酸酯	130

其中聚醚多元醇和异氰酸酯为主体材料，三乙烯二胺为催化剂，R11 为发泡剂，水溶性硅油为泡沫稳定剂。由于 R11 对环境有破坏作用，目前生产厂多采用环戊烷或 R245fa 作发泡剂。

在工厂制造时，隔热结构通常采用中压发泡或高压发泡工艺；在修理工作中，一般采用低压或常压发泡。

硬质聚氨酯泡沫塑料夹芯板材是采用在铝模具中机械灌注一次发泡成型，依靠其自身粘接力直接粘接在面层内，发泡时压力不应小于  $0.2\text{MPa}$ ，其机械性能与安全性能要求如下。

密度： $30 \sim 60\text{kg/m}^3$                       10%抗压强度： $\geq 0.2\text{MPa}$

抗拉强度： $\geq 0.2\text{MPa}$                       闭孔率： $\geq 97\%$

吸水率： $\leq 3\%$                               自熄时间： $\leq 7\text{s}$

冷库用隔热板的尺寸应符合建筑模数的要求，即其长度应是  $100\text{mm}$  的整倍数，通常为  $1\ 800 \sim 8\ 000\text{mm}$ ；宽度应为  $300\text{mm}$  的整倍数，通常为  $300 \sim 1\ 200\text{mm}$ 。厚度尺寸没有限制，但应是  $10\text{mm}$  的整倍数。对成品隔热板的机械性能要求如下。

粘接强度： $\geq$ 抗拉强度                      长度偏差： $\leq 2\text{mm}$

宽度偏差： $\leq 2\text{mm}$                               对角线偏差： $\leq 2\text{mm}$

(5) 软质聚氨酯泡沫塑料及制品 软质聚氨酯泡沫塑料是热塑性聚氨酯泡沫塑料，其原料与硬质聚氨酯泡沫塑料一样，仅是配方不同。制冷用软质聚氨酯泡沫塑料一般用模塑法制成各种形状与规格的制成品，如块、板、条等。

(6) 软质聚氯乙烯泡沫塑料及制品 软质聚氯乙烯泡沫塑料主要用于对管道与设备进行隔热。一般制成各种形状与规格的制成品，如隔热套管、板、条等。还可在其一面涂胶，可方便的粘贴，工程中称为不干胶海绵。

### 3.1.3.2 无机隔热材料

(1) 玻璃棉及制品 玻璃棉是熔化的玻璃液用压缩空气（或水蒸气）加压以高速喷吹而成的一种矿物棉，具有密度小、导热系数小、不燃烧、无毒、无虫蛀鼠咬、不腐烂、吸水率低等优点。根据纤维直径的不同，可分为普通玻璃棉和超细玻璃棉。普通玻璃棉纤维直径约12 $\mu\text{m}$ ，在施工时对人的皮肤和呼吸道有较强刺激作用。超细玻璃棉直径 $<4\mu\text{m}$ ，呈白色柔软棉状，在施工时对人的皮肤无刺激作用、对呼吸道刺激作用较小。

玻璃棉一般制成制品使用，如以有碱超细玻璃棉为骨料，以酚醛树脂为粘接剂，可制成有碱超细玻璃棉板、管。

(2) 硅酸铝盐 硅酸铝盐颗粒是用熔融状硅酸铝矿物制成的一种多孔颗粒，因具有珍珠裂隙结构，又称膨胀珍珠岩，其化学成分主要是 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。具有密度小、导热系数小、不燃烧、无毒、无虫蛀鼠咬、不腐烂等优点，但其吸水率高。

如以水泥为粘接剂，可将膨胀珍珠岩制成水泥膨胀珍珠岩制品，形状可为板、砌块、管。如将密度小于 $120\text{kg}/\text{m}^3$ 的膨胀珍珠岩与10号沥青加热搅拌后进行热浇注，可制成沥青膨胀珍珠岩制品，形状为板或砌块。

(3) 加气混凝土 用水泥、生石灰、矿渣、沙、铝粉（加气剂）等原料制成。产品种类有素砌块、配筋屋面板、外墙板及隔墙板等。具有强度高、导热系数小、不燃烧、无毒、无虫蛀鼠咬、不腐烂、拼装施工方便等优点，但其吸水率高、密度较大。

(4) 炉渣 炉渣可用作 $0^\circ\text{C}$ 以上冷库地坪的隔热，其导热系数较大、密度大、颗粒不均匀，但价格特别低。施工时的湿度要小，因此用前需过筛、清除杂质、曝晒干燥。

表 3-1 冷库常用隔热材料的性能

材料名称	密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	导热系数 [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]	比热容 [ $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ]	水蒸气渗透系数 [ $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ ]	防火耐 热性能	吸水率 (重量%)	抗压强度 (MPa)
聚苯乙烯 泡沫塑料	20 ~ 50	0.29 ~ 0.46	1.456	$0.6 \times 10^{-4}$	自熄 $\leq 2\text{s}$ 耐热 $70^\circ\text{C}$	0.1 ~ $0.15\text{kg}/\text{m}^3$	0.1764
交联聚丙烯 泡沫塑料	35	0.039			可燃		0.065
硬质聚氨酯 泡沫塑料	30 ~ 60	0.023 ~ 0.029			自熄 $\leq 7\text{s}$ 耐热 $140^\circ\text{C}$	3	0.2
脲醛泡 沫塑料	10 ~ 20	0.024 ~ 0.032			不燃 耐热 $130^\circ\text{C}$		
软质聚氯乙 烯泡沫塑料	60 ~ 95	0.031 ~ 0.036		$0.4 \times 10^{-14}$	难燃 耐热 $110^\circ\text{C}$	~ 8	



续表

材料名称	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	导热系数 [W/(m·K)]	比热容 [kJ/(kg·K)]	水蒸气渗透系数 [kg/(m <sup>2</sup> ·s·Pa)]	防火耐 热性能	吸水率 (重量%)	抗压强度 (MPa)
膨胀珍珠岩	< 80	0.047				吸水 < 400 吸湿 0.006 ~ 0.08	
	81 ~ 150	0.047 ~ 0.058	0.837		不燃		
	151 ~ 250	0.058 ~ 0.075					
沥青膨胀珍珠岩砌块	400 ~ 500	0.068 ~ 0.081	0.879	$0.8 \times 10^{-4}$	难燃	< 0.2	0.7 ~ 1.0
泡沫混凝土	< 400	0.151	0.837	$2 \times 10^{-4}$	不燃	4.8	
加气混凝土	400	0.058	0.837	$2.3 \times 10^{-4}$	不燃		1.47
玻璃棉缝毡	< 80	0.037 + 0.00015t					
有碱超细玻璃棉板、管	> 60	0.028 + 0.0002t					
软木板	150 ~ 250	0.052 ~ 0.07	2.093	$0.38 \times 10^{-4}$	可燃		0.392
稻壳	135 ~ 160	0.081 ~ 0.093	1.876		易燃		
炉渣	< 800	0.175 ~ 0.233	0.84	$1.5 \times 10^{-4}$	不燃	19.2	

## 3.2 隔热计算

围护结构通常的做法是采用导热系数很小的隔热材料，以适当的构造形成隔热结构。为防止水蒸气侵入隔热层，使隔热层长期保持效能，在隔热层外部要用防潮隔汽材料构成防潮隔汽层。为保护隔热层和防潮隔汽层不受机械损伤，在防潮隔汽层外部再采用建筑强度较高的材料构成保护层。

### 3.2.1 隔热层厚度的确定

通过冷库围护结构的传热量约占总冷负荷的 1/3，而隔热层是围护结构中重要的一环，因此在冷库修建中应特别重视隔热层的修建，做到即经济又可靠。隔热计算的目的，就在于选择合适的隔热材料，通过计算来确定隔热层的厚度。

#### 3.2.1.1 围护结构的传热量和传热系数

通过围护结构的传热是导热、对流和辐射换热的综合作用。在围护结构内部各层中的传热主要是导热，在围护结构外表面是空气对流与辐射的综合作用，在围护结构内表面是空气对流换热。由于热阻是串联的，通过围护结构的传热量可用下式表示：

$$Q_r = KF(t_w - t_n) \quad (3-3)$$

式中： $Q_r$ ——通过围护结构的传热量 (W)；

$K$ ——传热系数 [W/(m<sup>2</sup>·K)]；

$F$ ——围护结构的计算面积 (m<sup>2</sup>)；

$t_w$ ——室外计算温度 (°C)；

$t_n$ ——室内计算温度 (°C)。

冷库围护结构大多是由不同材料所组成, 传热系数按下式计算:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \frac{1}{\alpha_n}} \quad (3-4)$$

式中:  $\alpha_w$ ——围护结构外表面对流换热系数 [W/(m<sup>2</sup>·K)];

$\alpha_n$ ——围护结构内表面对流换热系数 [W/(m<sup>2</sup>·K)];

$\delta_i$ ——除隔热层外其余各构造层的厚度 (m);

$\delta_r$ ——隔热层的厚度 (m);

$\lambda_i$ ——除隔热层外其余各构造层的导热系数 [W/(m·K)];

$\lambda_r$ ——隔热层的导热系数 [W/(m·K)]。

如以热阻形式表示, 则式 (3-4) 成为

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_w} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (3-5)$$

在一般情况下, 取  $\alpha_w = 8.7 \sim 11.7 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , 当库内空气自然对流时取  $\alpha_n = 11.7 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , 当库内空气受迫对流时取  $\alpha_n = 29 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

### 3.2.1.2 围护结构单位面积传热量指标

围护结构的传热系数是冷库建筑的重要技术经济指标。确定传热系数应对围护结构隔热层费用 (造价、折旧率)、制冷设备费用 (设备购置价、设备运转率、运行费用)、货物干耗损失以及库内外温差进行综合分析, 选择出一个最合理的传热系数。计算传热系数的工作很复杂, 简便的方法是定出单位面积传热量指标来确定:

$$q_r = K(t_w - t_n) = K\Delta t_r \quad (3-6)$$

式中:  $q_r$ ——单位面积传热量 (W/m<sup>2</sup>);

$\Delta t_r$ ——室内外计算温差 (°C)。

过去国外一般将单位面积传热量控制为 11.7W/(m·K) 左右, 近年来为了节约能源, 一般控制在 10.5W/(m·K) 左右。在设计中对于围护结构的外墙、屋顶和地坪, 可根据不同的情况在 8.1~11.7W/(m·K) 的范围内选取。单位面积传热量愈小, 围护结构愈厚、占地愈大, 工程造价也愈高。根据库内外温差、隔热材料和隔热结构的不同, 单位面积传热量控制指标也不同, 不同情况推荐的单位面积传热量控制指标见表 3-2。

表 3-2 不同情况推荐的单位面积传热量控制指标

部位	温差 $\Delta t_r$ (°C)	稻壳隔热的 $q_r$ (W/m <sup>2</sup> )	软木隔热的 $q_r$ (W/m <sup>2</sup> )	聚苯乙烯泡沫塑料 隔热的 $q_r$ (W/m <sup>2</sup> )	聚氨酯泡沫塑料 隔热的 $q_r$ (W/m <sup>2</sup> )
冻结间外墙	55	12.8	10.5	10.5	10.5
冷藏间外墙	50	8.1	8.1	8.1	8.1
屋顶通风阁楼	49	8.1	8.1	8.1	8.1
屋顶无阁楼	49	11.7	12.8	11.7	12.8
地坪	49	11.7	12.8	11.7	12.8

由式 (3-6) 可知, 取定单位面积传热量以后, 室内外计算温差愈大, 相应的传热系数



就愈小。室内外计算温差每相差  $7^{\circ}\text{C}$ ，传热系数可递增或递减  $0.58\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。由此可以建立一个确定单位面积传热量与传热系数之间关系的简便计算式：

$$K = 0.638 - 0.0081\Delta t_r \quad (3-7)$$

上式适用于库内温度为  $-30 \sim 10^{\circ}\text{C}$  的范围内。

### 3.2.1.3 隔热层厚度

隔热厚度应满足外表面不凝露和单位面积传热量小于一定数值这两个条件。在设计时，对于按两种限定条件得出的隔热层厚度，应取较大值，并加以圆整。

首先是限定隔热结构外表面的最低温度，使其高于环境空气露点温度  $0.2^{\circ}\text{C}$ ，以免外表面产生凝露现象，即：

$$t_{w1} \geq t_{wd} + 0.2 \quad (3-8)$$

式中： $t_{w1}$ ——隔热结构外表面温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$t_{wd}$ ——室外空气露点温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

室外空气露点温度由室外计算干球温度和室外计算湿球温度确定。对于室内用装配式冷库，则按相对湿度为 80% 确定。

根据围护结构的温度分布，可以写成三个温度梯度：

$$t_w - t_{w1} = \frac{q_r}{\alpha_w} \quad (3-9)$$

$$t_{w1} - t_{n1} = q_r \left( \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \quad (3-10)$$

$$t_{n1} - t_n = \frac{q_r}{\alpha_n} \quad (3-11)$$

式中： $t_{n1}$ ——隔热结构内表面温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$t_n$ ——室内计算温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

将式 (3-10) 与 (3-11) 相加得：

$$t_{w1} - t_n = q_r \left( \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_r}{\lambda_r} \right) \quad (3-12)$$

用式 (3-9) 去除 (3-12) 得：

$$\frac{t_{w1} - t_n}{t_w - t_{w1}} = \frac{1}{\alpha_w} \left( \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \quad (3-13)$$

将式 (3-8) 代入并整理，可得出隔热结构外表面不产生凝露现象的最小厚度：

$$\delta_{\min} = \lambda_r \left( \frac{t_{wd} + 0.2 - t_n}{t_w - t_{wd} - 0.2} \frac{1}{\alpha_w} - \frac{1}{\alpha_n} - \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \quad (3-14)$$

第二个条件是限定围护结构的单位面积传热量，由围护结构中各结构层和隔热层的热阻，由式 (3-6) 求出传热系数，所需隔热层厚度为：

$$\begin{aligned} \delta_h &= \lambda_r \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha_w} - \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_n} \right) \\ &= \lambda_r \left( \frac{\Delta t_r}{q_r} - \frac{1}{\alpha_w} - \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_n} \right) \end{aligned} \quad (3-15)$$

对于围护结构中任何一层的表面温度，可按下式计算：

$$t_i = t_w - K(t_w - t_n) \left( \frac{1}{\alpha_w} + \sum_1^{i-1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \quad (3-16)$$

例 3-1 已知某室内用装配式冷库的使用环境为：库外空气干球温度  $t_w = 32^{\circ}\text{C}$ 、露点

温度  $t_{wd} = 28.2^{\circ}\text{C}$ 、库内空气温度  $t_n = -18^{\circ}\text{C}$ 、隔热板外侧空气对流换热系数  $\alpha_w = 11.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 、隔热板内侧空气对流换热系数  $\alpha_n = 29.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，隔热材料为硬质聚氨酯泡沫塑料、导热系数  $\lambda_r = 0.024 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，除隔热材料围护结构外，其他各层热阻可以忽略不计，限定单位围护结构面积传热量为  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；求隔热层厚度。

解：由式 (3-14) 计算隔热层最小厚度：

$$\begin{aligned} \delta_{\min} &= \lambda_r \left( \frac{t_{wd} + 0.2 - t_n}{t_w - t_{wd} - 0.2} \frac{1}{\alpha_w} - \frac{1}{\alpha_n} - \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) = 0.024 \left( \frac{28.2 + 0.2 + 18}{32 - 28.2 - 0.2} \times \frac{1}{11.6} - \frac{1}{29.1} \right) \\ &= 0.0258 \text{ m} \end{aligned}$$

由式 (3-15) 计算限定围护结构的单位面积传热量所需隔热层厚度：

$$\delta_h = \lambda_r \left( \frac{\Delta t_r}{q_r} - \frac{1}{\alpha_w} - \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_n} \right) = 0.024 \left( \frac{32 + 18}{10} - \frac{1}{11.6} - \frac{1}{29.1} \right) = 0.117$$

圆整，实取  $\delta_r = 0.12 \text{ m}$ 。

### 3.2.2 围护结构的热惰性

热惰性是围护结构重要的热工指标，只有正确的确定热惰性对冷负荷与库温的影响，才能合理的选择计算温度，正确的进行冷负荷计算。

#### 3.2.2.1 周期性热传导与热惰性

在一天中，室外环境空气的温度在不断变化，凌晨之前温度最低，中午之后温度最高，这种波动称为室外环境空气的日波动。在一天中，太阳辐射到地表的热量与地表向太空辐射的热量也在不断变化，中午太阳辐射到地表的热量最多，夜间只有地表向太空的辐射。室外环境空气的日波动、地表接收和放出的辐射热、在室外环境空气波动和太阳辐射的综合作用下围护结构外表面温度的日波动都是周期性温度波动。在周期性温度波动的作用下围护结构内表面温度和围护结构内部空间的温度也产生周期性温度波动。由于围护结构存在热阻，在一定的温差作用下只能传递一定的热量。同时组成围护结构的材料具有一定的热容量（即蓄热能力），所传递的热量有一部分被围护结构吸收。在围护结构内表面，温度波动的幅度较围护结构外表面温度波动的幅度小，峰值出现的时间也较晚，这种现象称为热流波幅衰减和峰值滞后。

围护结构在周期性温度波动的作用下，所产生的热量传递为非定常传热。当外表面温度高于围护结构中材料和内表面温度时，热量由外表面传向围护结构和内部空间。随着外表面温度的升高，传热量加大。当外表面温度为极大值时，由环境传给外表面的热量达到极大值。环境传给外表面的热量有一部分被围护结构自身吸收，使围护结构自身温度升高，一部分传给内表面。随着围护结构自身温度的升高，传递给内表面的热量不断增大。当外表面温度下降时，由环境传给外表面的热量也下降，但由于围护结构自身温度较高，传递给内表面的热量仍在增大。当围护结构自身温度开始下降后，传递给内表面的热量才开始下降。当环境温度低于外表面温度时，热量由围护结构散发到环境中，同时也传递给内表面。这就是产生热流波幅衰减和峰值滞后的原因。围护结构产生热流波幅衰减和峰值滞后的能力称为热惰性。围护结构的热惰性愈大，围护结构所包围的内部空间温度波动愈小，这是冷库工程所希望达到的工程目的。热惰性大的围护结构称之为热稳定性好。

#### 3.2.2.2 蓄热系数

围护结构的蓄热性能表明了围护结构抵抗波动温压的能力，衡量围护结构蓄热能力最常



用的指标之一是围护结构材料的蓄热系数:

$$S = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_m C_m \rho_m \times 10^3}{T}} \quad (3-17)$$

式中:  $S$ ——材料的蓄热系数 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ];

$C_m$ ——材料的比热容 [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$T$ ——波动周期 (s);

$\lambda_m$ ——材料的导热系数 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$\rho_m$ ——材料的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

材料的蓄热系数的物理意义是: 在一定周期的热作用下, 当表面温度波幅为  $1^\circ\text{C}$  时, 消耗于加热无限厚板壁材料的热流波的振幅。由上式可以看出, 材料的蓄热系数取决于波动周期和材料本身的热物性。当周期  $T$  一定, 材料的蓄热系数即成为密度、比热容、导热系数的组合物性参数。较密度较大、比热容较大、导热性能好的材料, 蓄热系数就大, 抵抗温度波动的能力就强, 材料内部温度波动就小。当材料一定, 周期愈短, 材料的蓄热能力就愈强。由于太阳辐射和室外空气温度具有逐日、逐年周期性变化的特性, 且对日波动材料有明显的蓄热作用。以 24h 为周期的蓄热系数为:

$$S_{24} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_m C_m \rho_m \times 10^3}{24 \times 3600}} = 0.2697 \sqrt{\lambda_m C_m \rho_m} \quad (3-18)$$

### 3.2.2.3 围护结构的热惰性指标

对于处于非定常传热情况下的建筑围护结构, 热阻仅能评价在一定温差作用下所通过热流量的大小, 而不能评价蓄热作用。为了全面衡量围护结构的热工性能, 多采用热惰性指标进行评价:

$$D = RS_{24} \quad (3-19)$$

式中:  $D$ ——热惰性指标;

$R$ ——材料层的热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )。

对于由几层不同材料组成的围护结构, 其热惰性指标为各层热惰性指标之和:

$$D = \sum_1^n D_i = \sum_1^n R_i S_{24i} \quad (3-20)$$

根据围护结构热惰性的大小, 可将不同的围护结构分成以下几类:

当  $D > 7$  时, 为重体结构。

当  $7 > D \geq 1.7$  时, 为中体结构; 其中  $7 > D \geq 4$  可称为重中体结构,  $4 > D \geq 1.7$  可称为轻中体结构。

当  $D < 1.7$  时, 为轻体结构。

在热惰性指标中, 没有考虑材料层排列顺序的影响。实际上由热阻和蓄热系数不同的材料组成的多层围护结构, 在不改变层数和各材料层厚度的条件下, 只要改变各层排列的顺序, 热工性能就发生变化。当热阻较大的材料排在外层, 蓄热系数较大的材料排在内层时, 围护结构的热惰性较大, 温度稳定性较好。当然, 考虑各材料层的排列顺序时, 要考虑结构强度、刚度和耐气候性能, 只有满足这些条件以后才能考虑热工性能。

例 3-2 某冷库围护结构所用隔热材料为硬质聚氨脂沫塑料, 已知: 导热系数  $\lambda_m = 0.024 \text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 、比热容  $C_m = 1.48 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 、密度  $\rho_m = 45 \text{kg}/\text{m}^3$ 、厚度  $\delta_m = 0.15 \text{m}$ ; 隔热材料两侧为  $0.8 \text{mm}$  镀锌板, 热阻和热容量可以忽略; 求围护结构的热惰性指标。

解：热阻：

$$R = \frac{\delta_m}{\lambda_m} = \frac{0.15}{0.024} = 6.25 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C/W)}$$

由式 (3-18)，蓄热系数为：

$$S_{24} = 0.2697 \sqrt{\lambda_m C_m \rho_m} = 0.2697 \sqrt{0.024 \times 1.48 \times 45} = 0.34098 \text{ [W/ (m}^2 \cdot \text{°C)]}$$

由式 (3-19)，热惰性指标为：

$$D = RS_{24} = 6.25 \times 0.34098 = 2.13$$

由于  $7 > D \geq 1.7$  该围护结构为中体结构，且由  $4 > D \geq 1.7$  该围护结构为轻中体结构。

### 3.3 防潮隔汽层

对于一般建筑，水蒸气渗透围护结构可以不考虑。但对于室内为低温的建筑，水蒸气穿透隔热层，且有一部分会积存在隔热层内，必须考虑围护结构的水蒸气渗透问题。

#### 3.3.1 防潮隔汽层的作用

由于冷库的室内外存在温度差，大多数情况下外界空气的水蒸气分压力高于室内空气的水蒸气分压力，在此压力差的作用下，水蒸气将从分压力较高的室外侧通过围护结构向分压力较低的室内侧迁移。在围护结构中，隔热层的温度梯度相当大，但水蒸气分压力梯度较小，当围护结构的某一结构层内的温度达到水蒸气在该层内部的分压力所对应的露点温度时，就会产生凝露；当温度低于  $0^\circ\text{C}$  时，就会产生结冰。如果凝露和结冰产生于承重结构中，有可能造成建筑被破坏；如果凝露和结冰产生于隔热层中，会使隔热材料受潮，造成隔热性能降低。此外，扩散进冷间内过多的水蒸气还会给冷间带来较大的湿热负荷，使蒸发器表面结霜增多，增加了融霜次数，影响库温的稳定和食品的质量；也增大了制冷机负荷，使制冷成本提高。

为了减少水蒸气渗透，在围护结构中应加设防潮隔汽层。通过围护结构的水蒸气渗透，一般是由外侧向内侧进行的，防潮隔汽层主要应设于隔热层高温侧，产生一个较大的水蒸气分压力梯度，降低围护结构内部的水蒸气分压力。当围护结构两侧设计温差为  $5^\circ\text{C}$  及其以上时，在温度较高的一侧须有防潮隔汽层。在地坪隔热层和较潮湿的墙体两侧须有防潮隔汽层。

工程实践证明：如果没有防潮隔汽层、隔汽部位不当、蒸汽渗透阻偏小、防潮隔汽层施工不良，则隔热层无论多厚，隔热效果也不会好。所以，防潮隔汽层的正确设置和施工质量在整个冷库建设中是非常重要的。

#### 3.3.2 防潮隔汽材料的性能要求

对冷库所用防潮隔汽材料，一般应满足以下几个方面的要求：

(1) 蒸汽渗透系数小 蒸汽渗透系数说明了材料的透汽能力，蒸汽渗透系数小，蒸汽渗透阻就高，进入围护结构的水蒸气就少。

(2) 吸水率低且耐水性好 防潮隔汽材料本身要耐水性好、吸水率低，不能因吸水造成防潮隔汽层损坏或向隔热材料传递水。

(3) 力学性能好 防潮隔汽材料要有足够的强度和延展性，耐冲击性能要好。

(4) 物理、化学性能好 应无毒、不燃或难燃、耐腐蚀、耐老化，材料应遇冷不易脆裂、遇热不易软化。

(5) 施工性能好 应不飞散、对施工人员无损害、可用较低成本进行施工。此外应有好



的粘接性，能牢固的粘合在隔热层或墙上。不能有裂缝，以防水蒸气由此侵入隔热层或库内。

当然，完全符合上述要求的防潮隔汽材料并不存在，各种防潮隔汽材料均是在某些方面性能较优，而在另一方面存在不足。选用时应根据使用要求、围护结构的构造、材料的技术性能、价格、来源等具体情况进行分析、比较后做出选择。

### 3.3.3 常用防潮隔汽材料

在冷库建筑工程中，可用的防潮隔汽材料很多，有沥青及制品、塑料薄膜、各种防水涂料、憎水涂料等，新的防潮隔汽材料也在不断出现。

#### 3.3.3.1 沥青及制品

(1) 沥青 沥青具有很好的防水性能和粘合力，常用的沥青有石油沥青和煤焦油沥青两类。

石油沥青是天然石油蒸馏出轻油、重油后剩余的胶状物质或胶状物质的氧化物。石油沥青分为四种：建筑石油沥青、道路石油沥青、普通石油沥青和专用石油沥青。冷库建筑中可用建筑石油沥青和普通石油沥青做防潮隔汽材料。

煤焦油沥青是用烟煤制焦炭或制煤气时，在所得到的煤焦油中提炼出各种油质后所得的残渣，又称柏油。煤焦油沥青具有高度抗水性，但遇热易流淌、遇冷易脆裂，宜用于地下防水工程，不能用做冷库防潮隔汽材料。

用于冷库低温部分的沥青，针入度要大、软化点要低，使其在低温下不易脆裂；用于屋面、外墙的的沥青，则要求针入度小、软化点高，以免在外界温度较高时发生流淌。

(2) 冷底子油 冷底子油是由石油沥青与挥发性溶剂（如轻柴油、气油、苯）调配而成。在粘贴油毡之前，将冷底子油涂布在混凝土或水泥砂浆基面上，溶剂挥发后，剩下一层沥青膜，可使油毡与基面更紧密地结合在一起。冷底子油可涂于金属、木材表面，用于防锈、防腐。冷底子油易燃，使用时必须特别注意防火和通风。

冷库建筑工程中常用的冷底子油是由 30% ~ 40% 的石油沥青与轻柴油而成。

(3) 石油沥青玛蹄脂 石油沥青玛蹄脂即沥青胶，根据有无溶剂，分为热用和冷用两种，粘接不同的物体。

热用石油沥青玛蹄脂系由石油沥青加热熔化后加入填充料配制而成，必须在熔化状态下（约 180℃）使用，主要用于在混凝土或水泥砂浆基面上粘接油毡和玻璃纤维布。冷用石油沥青玛蹄脂系由石油沥青用溶剂溶化后加入填充料配制而成，可在常温下不加热使用（在气温 5℃ 以下使用需加热），主要用于粘贴多层油毡和聚苯乙烯泡沫塑料。

(4) 石油沥青油毡 油毡是用低软化点石油沥青浸渍原纸，然后用高软化点石油沥青涂覆油纸两面，再用撒布材料粘在两面而成。按原纸重量（g/m<sup>2</sup>）的不同，分为 200 号、350 号、500 号等三种标号。按浸渍的沥青材料，分为石油沥青油毡和煤焦油沥青油毡。由撒布材料的不同，石油沥青油毡又分为片状撒布材料面油毡和粉状撒布材料面油毡两种。冷库围护结构的防潮隔汽层应使用不低于 350 号的片状撒布材料面石油沥青油毡。煤焦油沥青油毡适用于地下工程防水。

(5) 沥青塑料防水材料 沥青塑料防水材料是用煤焦油沥青、聚氯乙烯、滑石粉、苯二甲酸二丁酯为原料，经混合压制而成。这种卷料具有高度不透水性、有足够的强度、延展性好、耐热 150℃，在 -20℃ 温度下不脆裂，且有较好的耐腐蚀性。

沥青塑料防水材料已向油膏型和乳（胶）液型的方向发展。如聚乙烯防水油膏和聚氯乙

烯防水乳液，在冷库防潮隔汽层中已得到较多应用。聚乙烯防水油膏的防水性、弹塑性、耐热性、耐低温性、粘接性能、耐老化性均很好。聚氯乙烯防水乳液的性能更为优越，除聚乙烯防水油膏的优点外，还可以冷施工，消除热施工带来的不便，在 $-80 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 温度下能保持良好的性能。

### 3.3.3.2 塑料薄膜和涂料

(1) 聚乙烯塑料薄膜 聚乙烯塑料薄膜的水蒸气渗透系数小、无毒、吸水率低、柔软、耐冲击性好，其缺点是不耐紫外线辐射。聚乙烯塑料薄膜的厚度为 $0.02 \sim 0.07\text{mm}$ 。双层或多层聚乙烯塑料薄膜错缝粘贴，可成为性能极好的防潮隔汽层。聚乙烯塑料薄膜较难粘接，施工时聚乙烯塑料薄膜可用醋酸乙烯—丙烯酸酯、乙烯—醋酸乙烯、聚丙烯酸酯、聚氨酯胶等粘接剂来粘接，以聚氨酯胶的性能较好。水泥与聚乙烯塑料薄膜之间可用乙烯—醋酸乙烯和聚氨酯胶粘接。

(2) 聚氯乙烯塑料薄膜 聚氯乙烯塑料薄膜的密度为 $1\,230 \sim 1\,350\text{kg}/\text{m}^3$ ，防潮隔汽性能与聚乙烯塑料薄膜的性能接近，但抗拉强度和粘接性能优于聚乙烯塑料薄膜，透气性小于聚乙烯塑料薄膜。聚氯乙烯塑料薄膜通常是宽度为 $3 \sim 9\text{m}$ ，厚度为 $0.02 \sim 0.20\text{mm}$ 的卷材，广泛就用于农业种植、包装、制做雨衣等防水用品。施工时聚氯乙烯塑料薄膜可用聚醋酸乙烯、醋酸乙烯—丙烯酸酯、过氯乙烯、聚丙烯酸酯、聚氨酯胶等粘接剂进行粘接，推荐采用聚氨酯胶。水泥与聚氯乙烯塑料薄膜之间可用聚醋酸乙烯和聚氨酯胶粘接。

(3) 聚氨酯防水涂料 聚氨酯防水涂料是以异氰酸酯和羟基化合物反应而成的高分子化合物，是一种双组分液态涂料。施工时，将两组分按规定比例混合，搅拌均匀，即可涂刷可喷涂于防水基础材料上，经数小时即可固化，形成一种富有弹性的、无缝的橡胶防水层。这种涂料强度较高、弹性好、与基础材料结合性能好，所形成的防水层对基础材料有较好的适应性好，遇冷不开裂、遇热不流淌，具有良好的耐酸碱、耐老化性能。

冷库建筑工程中常用防潮隔汽材料的性能见表3-3。

表3-3 冷库常用防潮隔汽材料的性能

材料名称	密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	厚度 ( $\text{mm}$ )	导热系数 [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]	比热容 [ $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ]	蒸汽渗透系数 (导湿系数) [ $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ ]	蒸汽渗透阻 ( $\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}/\text{kg}$ )
350号石油沥青油毡	1 130	1.5	0.27	1.59	$3.85 \times 10^{-7}$	3 900
刷一层石油沥青	980	2.0	0.20	2.14	$2 \times 10^{-6}$	960
一毡二油		5.5				5 900
二毡三油		9.0				10 800
三毡四油		12.5				15 700
聚乙烯塑料薄膜	915	0.07	0.16	1.42	$5.6 \times 10^{-9}$	12 400

## 3.4 防潮隔汽计算

防潮隔汽层的计算主要是水蒸气渗透量、水蒸气渗透阻的计算以及水蒸气凝结与冻结校核，目的是设计出合理的设防潮隔汽层。



### 3.4.1 蒸汽渗透计算

围护结构的水蒸气渗透是非定常渗透，由于非定常渗透计算过于复杂，工程计算是基于定常过程进行的。

#### 3.4.1.1 水蒸气渗透量

在定常水蒸气分压力差的作用下，通过围护结构的水蒸气渗透量可用下式表述：

$$q_w = K_w(p_{wh} - p_{wl}) \quad (3-21)$$

式中： $q_w$ ——单位蒸汽渗透量 [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ];

$K_w$ ——水蒸气压力渗透系数（传湿系数） [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ];

$p_{wh}$ ——高温侧水蒸气分压力 (Pa);

$p_{wl}$ ——低温侧水蒸气分压力 (Pa)。

上式在形式上与传热方程完全相同。

#### 3.4.1.2 水蒸气渗透阻

水蒸气压力渗透系数（传湿系数）的倒数称为水蒸气渗透阻：

$$R_w = \frac{1}{K_w} \quad (3-22)$$

对于有  $n$  层材料与  $m$  层空气层构成的围护结构，蒸汽渗透阻为：

$$R_w = \sum_1^n R_{wi} + \sum_1^m R_{aj} \quad (3-23)$$

式中： $R_{wi}$ ——第  $i$  层材料的蒸汽渗透阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$ );

$R_{wj}$ ——第  $j$  层空气的蒸汽渗透阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$ )。

材料层的蒸汽渗透阻在形式上与导热时的热阻相同：

$$R_{wi} = \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (3-24)$$

式中： $\delta_i$ ——第  $i$  层材料的厚度 (m);

$\mu_i$ ——第  $i$  层材料的蒸汽渗透系数（导湿系数） [ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ]。

空气层的蒸汽渗透阻在形式上与对流换热时的热阻相同：

$$R_{wj} = \frac{1}{\alpha_{sj}} \quad (3-25)$$

式中： $\alpha_{sj}$ ——第  $j$  层空气的蒸汽渗透系数（换湿系数） [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ]。

材料的蒸汽渗透系数（导湿系数）与导热系数一样，是材料固有的热工参数。空气层的蒸汽渗透系数（换湿系数）与空气层内传热与传质过程有关。在冷库围护结构表面空气附面层传热与传质的情况下，刘易斯关系近似成立，即：

$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{v/D}{v/a} = \frac{a}{D} \approx 1 \quad (3-26)$$

式中： $Le$ ——刘易斯数；

$Pr$ ——普朗特数；

$Sc$ ——施密特数。

于是有：

$$\beta_w = \frac{\alpha_w}{\rho_a C_{pa}} \quad (3-27)$$

式中： $C_{pa}$ ——湿空气的定压比热容 [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];





层塑料薄膜蒸汽渗透系数  $\mu_1 = 0.5639 \times 10^{-15} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 、厚度  $\delta_1 = 7 \times 10^{-5} \text{ m}$ ，共用两层错缝搭接，求蒸汽渗透阻。

解：由式 (3-24) 蒸汽渗透阻为：

$$R_{wi} = \frac{\delta_i}{\mu_i} = \frac{2 \times 7 \times 10^{-5}}{0.5693 \times 10^{-15}} = 0.24592 \times 10^{12} \text{ (m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg)}$$

### 3.4.1.3 设计最小水蒸气渗透阻

在围护结构，水蒸气总是由高温侧各低温侧渗透，为了保证隔热层的干燥，防潮隔汽层设计时，必须同时满足以下两个条件：

$$R_{wmin} \geq 5.76(p_{wh} - p_{wl}) \times 10^6 \quad (3-32)$$

$$R_{wh} \geq 1.85 R_{wl} \quad (3-33)$$

式中： $R_{wmin}$ ——防潮隔汽层设计最小水蒸气渗透阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$ )；

$R_{wh}$ ——围护结构高温侧防潮隔汽层的水蒸气渗透阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$ )；

$R_{wl}$ ——围护结构低温侧防潮隔汽层的水蒸气渗透阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$ )。

由以上两式可知，如隔热层外侧温度始终高于内侧，则仅需在隔热层外侧设防潮隔汽层。如隔热层外侧温度有时会低于内侧，即有可能发生冷热面转换，则两侧均需设防潮隔汽层，但外侧防潮隔汽层的水蒸气渗透阻应较大。

### 3.4.2 水蒸气凝结与冻结校核

对于  $n$  层材料组成的围护结构，各材料层均存在水蒸气渗透阻，于是：

$$\Delta p_i = \frac{q_w}{R_{wi}} \quad (3-34)$$

式中： $\Delta p_i$ ——第  $i$  层材料的水蒸气分压力降 (Pa)。

在各材料层的分界面上，水蒸气分压力为：

$$\begin{aligned} p_{wi-i+1} &= p_{wh} - \sum_1^i \Delta p_i \\ &= p_{wl} + \sum_{i+1}^n \Delta p_i \end{aligned} \quad (3-35)$$

由于工程上所用各种建筑材料均可以认为是沿厚度方向均匀同性，各材料层内部的水蒸气分压力梯度分布也可按同样和方法计算。如需计算第  $i+1$  层材料中  $k$  等温面上的水蒸气分压力  $p_{wk}$ ，可由下式得出：

$$p_{wk} = p_{wi} - \Delta p_{i+1} \frac{\delta_k}{\delta_{i+1}}$$

式中： $\delta_{i+1}$ ——第  $i+1$  层材料的厚度 (m)；

$\delta_k$ ——第  $i+1$  层材料中由第  $i$  层材料与第  $i+1$  层材料分界面至  $k$  等温面的厚度 (m)。

根据传热计算，可以得出围护结构内部的温度分布，并由各面上的温度可知水的饱和蒸汽压  $p_{ws}$ 。如围护结构内部某处的水蒸气分压力  $p_w$  高于同温度下水的饱和蒸汽压，则当温度高于  $0^\circ\text{C}$  时出现水蒸气凝结，而当温度等于或低于  $0^\circ\text{C}$  时出现冻结。

图 3-1 为围护结构内凝露和冻结与水蒸气压力的关系示意，如在隔热结构内部任何一个等温面上  $p_w$  始终低于  $p_{ws}$ ， $p_w$  曲线位于  $p_{ws}$  曲线之下，不会产生凝结和冻结，说明防潮隔汽设计合理。如  $p_w$  曲线与  $p_{ws}$  曲线相交，则两交点之间的材料层产生凝结和（或）冻

结，凝结和冻结的分界面是 $0^{\circ}\text{C}$ 等温面。因此，工程设计时，一定要使 $p_w$ 曲线处于 $p_{ws}$ 曲线下方。

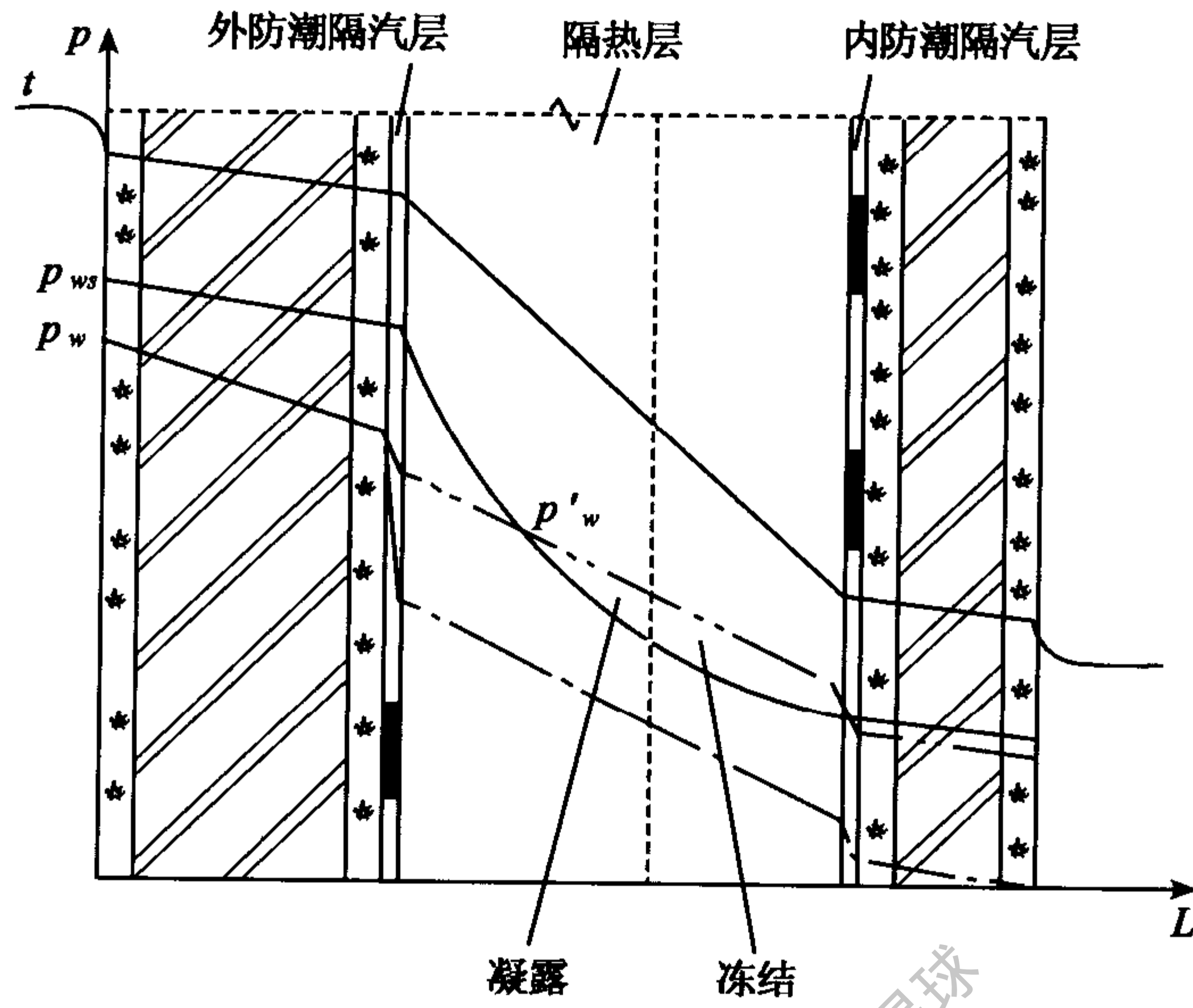


图 3-1 隔热结构内凝露和冻结与水蒸气压力的关系

获取更多资料 微信搜索 蓝星球



## 4 库房冷负荷设计

### 4.1 计算温湿度

设计冷库时，在冷负荷计算中需要确定库外环境和库内温度。库外环境温度在不断的发生变化，为了使冷库在一年中的绝大部分时间里的性能可以得到保证，需要根据绝大部分时间的温度条件确定计算温度和湿度。

#### 4.1.1 室外气象条件的确定

室外气象条件的确定包括确定室外空气参数、太阳辐射照度、地温与土壤冻结深度。

##### 4.1.1.1 室外空气参数

夏季通风室外计算干球温度采用最热月 14 时平均干球温度，即历年最热月 14 时平均干球温度的平均值，可查《建筑气象参数标准》得出，也可按下式计算：

$$t_{wf} = 0.71t_{rp} + 0.29t_{\max} \quad (4-1)$$

式中： $t_{wf}$ ——夏季通风室外计算干球温度（℃）；  
 $t_{rp}$ ——最热月月平均干球温度，即累年各月月平均干球温度中的最高值（℃）；  
 $t_{\max}$ ——极端最高干球温度，即累年各月极端最高干球温度中的最高值（℃）。

夏季通风室外计算相对湿度采用最热月 14 时平均相对湿度，即历年最热月 14 时平均相对湿度的平均值，可查《建筑气象参数标准》得出。

夏季室外计算干球温度采用历年平均不保证 50 小时的干球温度，可查《建筑气象参数标准》得出，也可按下式计算：

$$t_{wg} = 0.47t_{rp} + 0.53t_{\max} \quad (4-2)$$

式中： $t_{wg}$ ——夏季室外计算干球温度（℃）。

夏季室外计算日平均干球温度采用历年平均不保证 5 天的干球温度，可查《建筑气象参数标准》得出，也可按下式计算：

$$t_{wp} = 0.80t_{rp} + 0.20t_{\max} \quad (4-3)$$

式中： $t_{wp}$ ——夏季室外计算日平均干球温度（℃）。

夏季室外计算湿球温度采用历年平均不保证 50 小时的湿球温度，可查《建筑气象参数标准》得出，也可如下计算。

在北部地区：

$$t_{ws} = 0.72t_{srp} + 0.28t_{s\max} \quad (4-4)$$

式中： $t_{ws}$ ——夏季室外计算湿球温度（℃）；  
 $t_{srp}$ ——与最热月月平均干球温度和最热月月平均相对湿度（即累年各月平均气温中最高值出现月份的平均相对湿度）相对应的湿球温度（℃）；  
 $t_{s\max}$ ——与极端最高干球温度和最热月月平均相对湿度相对应的湿球温度（℃）。

在中部地区：

$$t_{ws} = 0.75t_{srp} + 0.25t_{s\max} \quad (4-5)$$

在南部地区：

$$t_{ws} = 0.80t_{srp} + 0.20t_{s \max} \quad (4-6)$$

夏季室外平均风速  $v_{fp}$  采用累年 6、7、8 三个月月平均风速的平均值。

年最多风向及频率采用累年全年平均各风向频率中的最大值及风向。

夏季室外大气压采用累年 6、7、8 三个月的月平均大气压的平均值。

#### 4.1.1.2 日照

夏季太阳辐射照度由使用地点的地理纬度、大气透明度和大气压力，取 7 月 21 日为标准设计日得出，海拔高度以海平面计。

建筑物各朝向垂直面与水平面的太阳总辐射照度由直射辐射照度、散射辐射照度和反射辐射照度组成，根据投影关系得出。

太阳辐射平均照度为逐时太阳辐射照度的日平均值。

#### 4.1.1.3 地温与土壤冻结

各深度的月平均地温采用历年该深度月平均地温的平均值。

最大冻土深度采用历年冻土深度最大值中的最大值。

### 4.1.2 逐时温度和综合温度

#### 4.1.2.1 逐时计算温度

夏季室外计算逐时温度可按下式计算：

$$t_{wh} = t_{wp} + \beta_t \Delta t_r \quad (4-7)$$

式中： $t_{wh}$ ——夏季室外计算逐时温度（℃）；

$\beta_t$ ——基于平均温度的模比系数，见表 4-1；

$\Delta t_r$ ——夏季室外计算平均日较差，按式（4-8）得出。

表 4-1 逐时的模比系数

时刻 $\tau$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\beta_t$	-0.35	-0.38	-0.42	-0.45	-0.47	-0.41	-0.28	-0.12	0.03	0.16	0.29	0.4
时刻 $\tau$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\beta_t$	0.48	0.52	0.51	0.43	0.39	0.28	0.14	0.00	-0.10	-0.17	-0.23	-0.26

夏季室外计算平均日较差为：

$$\Delta t_r = \frac{t_{wg} - t_{wp}}{0.52} \quad (4-8)$$

#### 4.1.2.2 逐时计算综合温度

建筑物外表面得热是在室外空气温度和太阳辐射综合作用下的结果。太阳辐射对建筑物外表面得热的作用可以等效为一个附加温升的作用，室外空气温度与此附加温升之和称为室外空气综合温度。夏季室外计算逐时温度与太阳辐射附加温升之和称为夏季室外计算综合温度。逐时室外计算综合温度可表示为：

$$t_{zh} = t_{sh} + \frac{J\rho}{\alpha_w} - \frac{\varepsilon\Delta R}{\alpha_w} \quad (4-9)$$

式中： $t_{zh}$ ——逐时室外计算综合温度（℃）；

$J$ ——建筑物外表面所接受的太阳总辐射照度（ $W/m^2$ ）；

$\alpha_w$ ——夏季建筑物外表面换热系数 [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]；



$\Delta R$ ——由天空和周围环境入射到建筑物外表面上的长波辐射与建筑物外表面在所具有的辐射率和温度下向外界发射的长波辐射之差，对于垂直表面  $\Delta R = 0$ ；

$\epsilon$ ——建筑物外表面的半球辐射率；

$\rho$ ——建筑物外表面的吸收率。

各个时刻、各个朝向建筑外表面所接受的太阳总辐射照度可根据地理纬度和大气透明度查出。主要城市的太阳总辐射照度可以直接在手册中查出，以郑州地区为例见表 4-2。如根据地理纬度查出，且设计地点海拔较高时，对大气透明度按表 4-3 进行修正。

表 4-2 建筑物外表面所接受的太阳总辐射照度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

城市	方位	不同大气压 (kPa) 下的透明度等级												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
郑州	S(南)	21	53	84	172	262	320	341	320	262	172	84	53	21
	SE(东南)	176	333	445	495	480	406	283	138	127	109	84	53	21
	E(东)	338	528	609	591	492	334	142	138	127	109	84	53	21
	NE(北东)	315	445	466	405	291	148	142	138	127	109	84	53	21
	N(北)	119	133	99	109	127	138	142	138	127	109	99	133	119
	NW(北西)	21	53	84	109	127	138	142	148	291	405	466	445	315
	W(西)	21	53	84	109	127	138	142	334	492	591	609	528	338
	SW(南西)	21	53	84	109	127	138	283	406	480	495	445	333	176
	H(水平)	95	276	476	662	808	902	935	902	808	662	476	276	95

表 4-3 大气透明度修正

101.3kPa 时的 透明度等级	不同大气压 (kPa) 下的透明度等级							
	650	700	750	800	850	900	950	1000
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2
3	1	2	2	2	2	3	3	3
4	2	2	3	3	3	4	4	4
5	3	3	4	4	4	4	5	5
6	4	4	4	5	5	5	6	6

室外计算日平均综合温度可用下式计算：

$$t_{zp} = t_{sh} + \frac{J_p \rho}{\alpha_w} - \frac{\epsilon \Delta R_p}{\alpha_w} \quad (4-10)$$

式中： $t_{zp}$ ——室外计算日平均综合温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$J_p$ ——建筑物外表面所接受的平均太阳总辐射照度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )；

$\Delta R_p$ ——平均辐射之差。

#### 4.1.3 冷间温度和货物温度

冷间温度是冷库设计需保证的温度，也是计算冷负荷的基础；货物温度是计算冷负荷的重要依据。

#### 4.1.3.1 冷间设计温度和相对湿度

冷间设计温度和相对湿度应根据冷库的使用性质、温度分级、贮存物品的要求而定。当资料缺乏时，可按表 4-4 确定。

#### 4.1.3.2 肉禽鱼类货物进库温度

肉类在冷却前或冻结前的温度取决于晾肉间的空气温度。如晾肉间无降温措施，取进库温度为 28℃。如晾肉间有降温措施，取进库温度比晾肉间温度高 3℃。

表 4-4 冷间设计温度和相对湿度

序号	冷间名称	设计温度 (℃)	设计相对湿度 (%)	适用食品
1	冷却间	0		肉、蛋等
2	冻结间	-18 ~ -23		肉、禽、冰蛋、蔬菜、冰淇淋等
		-23 ~ -30		鱼、虾等
3	冷却物冷藏间	-2 ~ 0	80 ~ 85	鲜蛋
		-1 ~ 1	90 ~ 95	冰鲜血、大白菜、蒜苔、菠菜、香菜、胡萝卜、甘蓝、芹菜、茼蒿等
		0	85 ~ 90	冷却后的肉、禽
		0 ~ 2	85 ~ 90	苹果、梨
		2 ~ 4	85 ~ 90	土豆、茄子、桔子等
		7 ~ 13	90 ~ 95	青椒、菜豆、黄瓜、西红柿、菠萝、柑子等
4	冻结物冷藏间	11 ~ 16	85 ~ 90	香蕉
		-15 ~ -20	85 ~ 90	冻肉、禽和副产品、冰蛋、冰蔬菜、冰淇淋等
		-18 ~ -23	90 ~ 95	冻鱼、虾等
5	贮冰间	-6 ~ -4		盐水制冰的冰块

禽类在冻结前的温度由预冷温度决定。当预冷器为低温水预冷时，取进库温度为 5℃。当预冷器为常温水预冷时，取进库温度比当地水温高 3℃。如采用强制吹风预冷时，取进库温度比预冷温度高 3℃。如无预冷，取进库温度为 30℃。

鱼类等水产进库是鲜货时，取进库温度比当地水温高 2℃。

冻结货物由冻结间进入冷藏间时，温度通常取为 -15℃。如为冷藏车等冷藏运输装置运到冷库的货物，当冷藏运输装置为机械制冷时，取比冷藏运输装置内温度高 2℃，需根据车（箱、船）型而定，如不能确定车（箱、船）型，取进库温度为 -15℃。

#### 4.1.3.3 果蔬、蛋类货物进库温度

鲜蛋、水果、蔬菜及其包装材料进行冷却时，其进货温度以及计算水果、蔬菜冷却时呼吸热的初始温度，均按当地进货旺月的月平均温度计算。如建设单位未提供确切的旺月的月平均温度时，可按夏季室外计算日平均干球温度乘以旺月修正系数来计算。旺月修正系数见表 4-5。

表 4-5 旺月修正系数

旺月月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
修正系数 $n_{mp}$	0.44	0.48	0.63	0.79	0.94	0.97	1.00	1.00	0.94	0.81	0.66	0.49

## 4.2 冷负荷计算

冷负荷计算是冷库重要的设计计算内容，是冷间冷却设备与制冷系统冷负荷计算的依据。冷负荷计算的正确与否，直接关系到制冷机械设备能否正确选用。

### 4.2.1 围护结构冷负荷

围护结构冷负荷指由于库内温度低于环境温度，热量通过围护结构传递到库内而产生的冷负荷。

#### 4.2.1.1 围护结构冷负荷计算

冷库围护结构冷负荷是围护结构各部分冷负荷的累加：

$$Q_1 = \sum_1^m Q_{1j} \quad (4-11)$$

式中： $Q_1$ ——冷库围护结构冷负荷（W）；

$Q_{1j}$ ——各冷间围护结构冷负荷（W）。

由于围护结构漏热而进入某一冷间的热量所产生的冷负荷，应将冷间围护结构按不同的温度参数和隔热层厚度进行分区，对各部分进行计算后累加：

$$Q_{1j} = \sum K_i F_i (t_{wi} - t_{ni}) a_i \quad (4-12)$$

式中： $K_i$ ——所计算分区的传热系数 [W/(m<sup>2</sup>·K)]；

$F_i$ ——围护结构所计算分区的计算面积 (m<sup>2</sup>)；

$t_{wi}$ ——所计算分区的室外计算温度 (°C)；

$t_n$ ——所计算分区的室内计算温度 (°C)；

$a_i$ ——所计算分区的围护结构温差修正系数。

#### 4.2.1.2 几何尺寸计算

计算屋面、地面和外墙的长和宽分别按图 4-1 中的  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  计算，楼板和内墙的长和宽分别按图 4-1 中的  $L_5$ 、 $L_6$ 、 $L_7$ 、 $L_8$  计算。在外墙的高度中，地下室按图 4-2 中的  $h_1$ 、 $h_2$  计算，底层按  $h_3$  计算，中间层按  $h_4$ 、 $h_5$  计算，顶层按  $h_6$ 、 $h_7$  计算。在内墙的高度中，地下室、底层、中间层分别按图 4-1 中的  $h_8$ 、 $h_9$ ，顶层按  $h_{10}$ 、 $h_{11}$  计算。

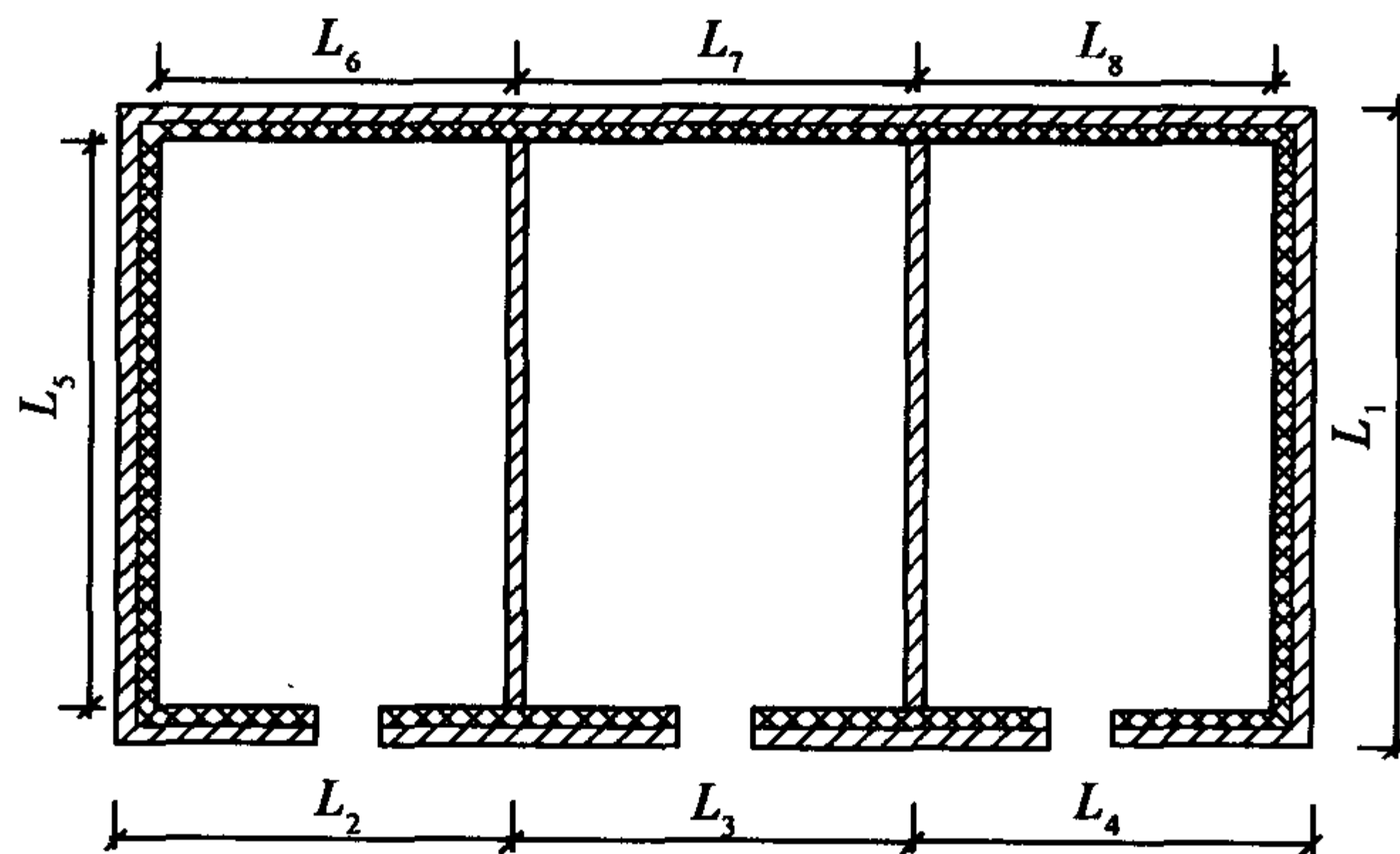


图 4-1 长和宽尺寸

#### 4.2.1.3 外墙与屋面的冷负荷计算

由于围护结构的热阻和蓄热系数的不同，热惰性指标也不同，因此围护结构外侧计算温



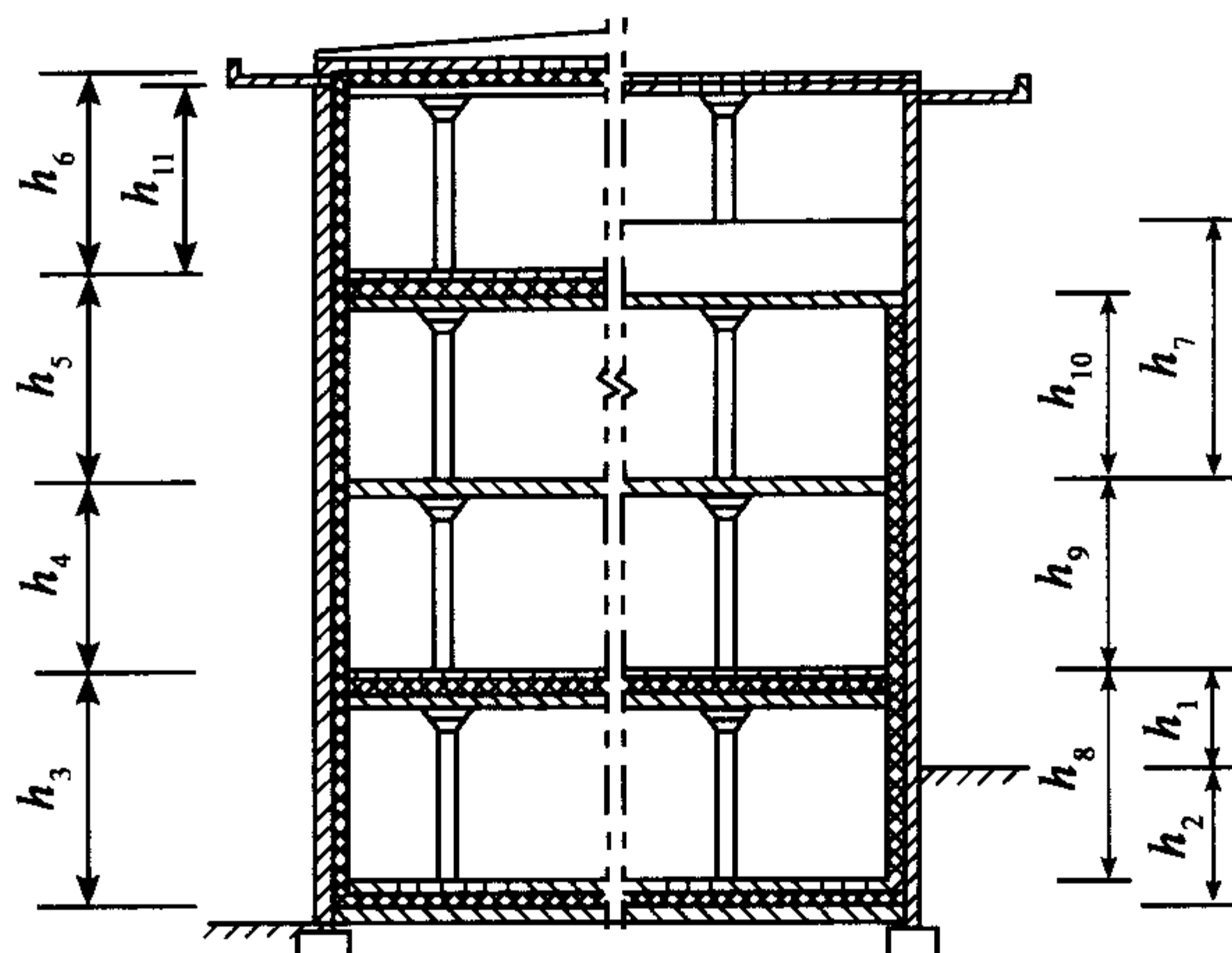


图 4-2 高度尺寸

度的取值不同。

对于  $D > 7$  的重体结构，由于其波幅衰减很大。峰值滞后时间很长，可按定常传热计算。围护结构外侧的计算温度  $t_{wi}$  取夏季室外计算日平均干球温度，温差修正系数取为 1。计算相对湿度采用夏季通风室外计算相对湿度。

对于  $7 > D \geq 1.7$  的中体结构应按非定常传热进行计算，其计算过程相当复杂。工程上通常可以用以下两种方法之一近似确定围护结构外侧的计算温度。方法一是取夏季室外计算日平均干球温度为围护结构外侧的计算温度，由表 4-5 中的冷间类型和结构种类查取温差修正系数。计算相对湿度采用夏季通风室外计算相对湿度。方法二是按照《采暖通风和空气调节设计规范》所规定的方法，根据墙体和屋顶的类型，在书后参考文献 9 中查取相应的冷负荷计算温度和地点修正值，以二者之和为围护结构外侧的计算温度，此时温差修正系数取为 1。

对于  $D < 1.7$  的轻体结构，如是室外用装配式冷库，以夏季室外计算综合温度作为围护结构外侧的计算温度，温差修正系数取为 1。

室内用装配式冷库按标准温度条件选取围护结构外侧的计算温度和相对湿度，即无论热惰性大小，均按气候类型选取。温带型为干球温度  $32^{\circ}\text{C}$ 、 $\phi = 80\%$ ，亚热带型为干球温度  $35^{\circ}\text{C}$ 、 $\phi = 80\%$ 。

#### 4.2.1.4 内墙冷负荷计算

在计算内墙和楼面冷负荷时，围护结构外侧的计算温度应取邻室的室温。如邻室为冷藏间，取其库温。如邻室为冷却间或冻结间，取其空库保温温度，即冷却间为  $10^{\circ}\text{C}$ ，冻结间为  $20^{\circ}\text{C}$ 。如邻室是空调间歇使用的空调操作间，围护结构外侧的计算温度应采用夏季室外计算日平均干球温度。当邻室为无空调房间时，则采用夏季通风室外计算干球温度。

计算内墙和楼面冷负荷时，温差修正系数均取为 1。

#### 4.2.1.5 地坪冷负荷计算

如地坪隔热层下装设有自然通风管时，其外侧的计算温度取  $2^{\circ}\text{C}$ ，不进行修正。

如地坪隔热层下装设有机械通风管、油加热管或用电加热时，其外侧的计算温度取  $5^{\circ}\text{C}$ ，温差无需进行修正。

如无通风加热装置或地坪隔热层下为通风架空层时，其外侧的计算温度取夏季室外计算日平均干球温度，由表 4-6 查取温差修正系数。

例 4-1 某小型室内用装配式冷库，外形尺寸（宽×深×高）为 6m×5.4m×3m，已知设计条件：库外空气干球温度  $t_w = 32^\circ\text{C}$ 、库内空气温度  $t_n = -18^\circ\text{C}$ ，隔热板外侧空气自由对流换热系数  $\alpha_w = 11.6\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 、隔热板内侧空气对流换热系数  $\alpha_n = 29.1\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ，隔热材料为硬质聚氨脂泡沫塑料、导热系数  $\lambda_r = 0.024\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 、厚度  $\delta_r = 0.12\text{m}$ ，除隔热材料外围护结构其他各层热阻可以忽略不计，求围护结构冷负荷。

解：

由式 (3-4)，传热系数：

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \frac{1}{\alpha_n}} = \frac{1}{\frac{1}{11.6} + \frac{0.12}{0.024} + \frac{1}{29.1}} = 0.19529 [\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})]$$

传热面积按中心线尺寸计算，由于围护结构各部分厚度相同，不必分别计算：

$$F = [(6 - 0.12)(5.4 - 0.12) + (5.4 - 0.12)(3 - 0.12) + (3 - 0.12)(6 - 0.12)] \times 2 = 126.3744(\text{m}^2)$$

围护结构冷负荷：

$$Q_1 = KF(t_w - t_n) = 0.19529 \times 126.3744 \times (32 + 18) = 1234(\text{W})$$

#### 4.2.2 货物冷负荷

货物冷负荷指由于货物降温放热、包装材料降温放热、通风换气带入放热量、电动机与用电设备放热和操作人员放热而产生的冷负荷。

##### 4.2.2.1 货物冷负荷计算

冷库货物冷负荷是各冷间货物冷负荷的累加：

$$Q_2 = \sum_1^m Q_{2j} \quad (4-12)$$

式中： $Q_2$ ——冷库货物冷负荷 (W)；

$Q_{2j}$ ——各冷间货物冷负荷 (W)。

冷间货物冷负荷由四项组成，用下式得出：

$$Q_{2j} = Q_{2aj} + Q_{2bj} + Q_{2cj} + Q_{2dj} \quad (4-13)$$

式中： $Q_{2aj}$ ——货物降温放热产生的冷负荷 (W)；

$Q_{2bj}$ ——包装材料和运输工具降温放热产生的冷负荷 (W)；

$Q_{2cj}$ ——货物冷却时的呼吸热产生的冷负荷 (W)；

$Q_{2dj}$ ——货物冷藏时的呼吸热产生的冷负荷 (W)。

表 4-6 温差修正系数

序号	围护结构部位	修正系数	序号	围护结构部位	修正系数
	$D > 4$ 的外墙			$D > 4$ 相邻有常温房间的外墙	
1	冻结间、冻结物冷藏间	1.05	2	冻结间、冻结物冷藏间	1.00
	冷却间、冷却物冷藏间、储冰间	1.10		冷却间、冷却物冷藏间、储冰间	1.00

续表

序号	围护结构部位	修正系数	序号	围护结构部位	修正系数
3	$D > 4$ 的冷间顶棚, 其上为通风阁楼, 屋面有隔热层或通风层	1.15	6	$D \leq 4$ 的外墙 冻结物冷藏间	1.30
	冻结间、冻结物冷藏间	1.20	7	$D \leq 4$ 的无阁楼屋面 冻结物冷藏间	1.60
	冷却间、冷却物冷藏间、储冰间		8	半地下室外墙外侧为土壤时	0.20
4	$D > 4$ 的冷间顶棚, 其上为不通风阁楼, 屋面有隔热层或通风层	1.20	9	冷间地面隔热层下无通风等加热设备时	0.20
	冻结间、冻结物冷藏间	1.30	10	冷间地面隔热层下有通风等加热设备时	0.6
	冷却间、冷却物冷藏间、储冰间		11	冷间地面隔热层下为通风架空层时	0.7
5	$D > 4$ 的无阁楼屋面, 室内有通风层	1.20			
	冻结间、冻结物冷藏间	1.30			
	冷却间、冷却物冷藏间、储冰间				

#### 4.2.2.2 货物降温的冷负荷计算

货物降温放热产生的冷负荷按下式计算:

$$Q_{2aj} = \frac{G_{hj}(h_1 - h_2)}{3.6T} \quad (4-14)$$

式中:  $G_{hj}$ ——冷间的日进货量 (kg);

$h_1$ ——货物进入冷间初始温度下的焓值 (kJ);

$h_2$ ——货物降温终止温度下的焓值 (kJ);

$T$ ——货物冷却阶段的时间 (h)。

对于冷却物冷藏间和冻结物冷藏间, 冷却阶段的时间取 24 小时; 冷却间和冻结间取设计冷加工时间。如货物为鲜蛋且无预冷直接进入冷藏间, 则取实际降温时间。

货物的焓值由表 1-11 和表 1-12 查出。对于焓值表中未列出的货物, 降温放热产生的冷负荷可由下式计算得出:

$$Q_{2aj} = \frac{G_{hj}}{3.6T} [C_{hc}(t_1 - t_{hd})] + q_{dq} + C_{hd}(t_{hd} - t_2) \quad (4-15)$$

式中:  $C_{hc}$ ——货物在冻结点以上的比热容 [kJ/(kg·K)];

$C_{hd}$ ——货物在冻结点以下的比热容 [kJ/(kg·K)];

$q_{dq}$ ——货物冻结潜热 [kJ/kg];

$t_1$ ——货物进入冷间初始温度 (°C);

$t_2$ ——货物降温终止温度 (°C);

$t_{hd}$ ——货物冻结点温度 (°C)。

如为冷却货物, 则上式简化为:

$$Q_{2aj} = \frac{G_{hj}}{3.6T} C_{hd}(t_{hd} - t_2) \quad (4-16)$$

#### 4.2.2.3 包装材料和运输工具冷负荷

包装材料和运输工具降温放热产生的冷负荷为:

$$Q_{2bj} = \frac{G_{hj}B_b}{3.6T} C_{bc}(t_{b1} - t_2) \quad (4-17)$$



式中： $Q_{2bj}$ ——包装材料和运输工具降温放热产生的冷负荷 (W)；  
 $B_b$ ——包装材料和运输工具重量系数，见表 4-7；  
 $C_{hc}$ ——包装材料和运输工具的比热容 [kJ/(kg·K)]，见表 4-8；  
 $T_{b1}$ ——包装材料和运输工具进入冷间初始温度 (℃)。

表 4-7 货物包装材料和运输工具重量系数

包装和运输方式	重量系数	包装和运输方式	重量系数
肉、鱼类冷藏	0.1	肉、鱼、蛋类冻结或冷却 (吊笼、手推车)	0.6
猪肉冻结 (单轨叉档式吊轨)	0.1	鲜蛋类	0.25
猪肉冻结 (双轨叉档式吊轨)	0.3	鲜水果	0.25
肉、鱼、蛋类冻结 (搁架式)	0.3	鲜蔬菜	0.25

包装材料和运输工具进入冷间初始温度可按下式进行计算：

$$t_{b1} = t_{wp} b_b \quad (4-18)$$

式中： $b_b$ ——包装材料和运输工具进入冷间时的温度修正系数，见表 4-9。

如包装材料在进入冷藏间前，已经过冷却间或冻结间降温冷却，则按货物进入冷间初始温度计算，运输工具仍按式 (4-18) 计算。

表 4-8 包装材料和运输工具的比热容 [kJ/(kg·K)]

名称	比热容	名称	比热容	名称	比热容
木板类	2.51	铝制类	0.88	布类	1.21
黄铜制类	0.39	玻璃容器类	0.84	竹器类	1.51
镀锌板制类	0.42	黄油纸类	1.51	瓦楞纸板类	1.47

表 4-9 包装材料和运输工具进入冷间时的温度修正系数

进入冷间月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
温度修正系数	0.10	0.15	0.33	0.53	0.72	0.86	1.00	1.00	0.83	0.62	0.41	0.20

#### 4.2.2.4 货物的呼吸热

货物冷却时呼吸热产生的冷负荷为：

$$Q_{2cj} = \frac{G_{hj}}{3.6T} \cdot \frac{q_{h1} + q_{h2}}{2} \quad (4-19)$$

式中： $Q_{2cj}$ ——货物冷却时呼吸热产生的冷负荷 (W)；

$q_{h1}$ ——货物冷却初始温度时的呼吸热 (W/kg)；

$q_{h2}$ ——货物冷却终止温度时的呼吸热 (W/kg)。

货物冷藏的呼吸热产生的冷负荷

$$Q_{2dj} = (G_{nc} - G_{hj}) q_{h3} \quad (4-20)$$

式中： $Q_{2dj}$ ——货物冷藏时呼吸热产生的冷负荷 (W)；

$G_{nc}$ ——冷却物冷藏间的冷藏量 (kg)；

$q_{h3}$ ——货物冷藏温度时的呼吸热 (W/kg)。

冷却间和冷却物冷藏间需要冷加工鲜果蔬时才需要计算  $Q_{2cj}$  和  $Q_{2dj}$ ，冻结间、冻结物冷藏间、不对鲜果蔬进行冷加工的冷却间和冷却物冷藏间无此两项冷负荷。

#### 4.2.2.5 冷间的日进货量

冷间的日进货量按冷间的用途分别考虑，冷却间和冻结间取其设计冷加工能力；存放鲜果蔬的冷却物冷藏间、存放已预冷鲜蛋的冷却物冷藏间按不大于该冷间冷藏吨位的 5% 计算；存放外库调入货物的冻结物冷藏间按该冷间冷藏吨位的 5% 计算；存放本库冻结货物的冻结物冷藏间按日冻结量计算。

以冷藏为主的如按日冻结量计算得出的冷负荷大于按该冷间冷藏吨位的 5% 计算得出的冷负荷，应按该冷间冷藏吨位的 5% 计算。以冻结为主的水产加工冷库和其他冻结量大于冷藏吨位的 8% 的冷库，冻结物冷藏间日进货量应按冻结能力计算。

室内用装配式冷库的日进货量是名义指标之一，可按该冷间冷藏吨位的 12% 计算，也可按设计要求另行确定。

例 4-2 某室内用装配式冷库，贮存货物为牛肉、日进货量  $G_h = 500\text{kg}$ 、进货温度  $t_1 = 32^\circ\text{C}$ 、降温终了温度  $t_2 = -18^\circ\text{C}$ 、降温时间  $T = 24\text{h}$ ，货物塑料袋小包装  $B_b = 0.05$ 、比热容  $C_{bc} = 1.47\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 、包装与货物同温；求该冷库货物热负荷。

解：查附表 4， $h_1 = 335.6\text{kJ}/\text{kg}$ ， $h_2 = 4.6\text{kJ}/\text{kg}$

由式 (4-14)，货物热量的冷负荷

$$Q_{2s} = G_h (h_1 - h_2) / (3.6T) \\ = 500 (335.6 - 4.6) / (3.6 \times 24) = 1915.51 \text{ (W)}$$

由式 (4-17)，包装材料的冷负荷

$$Q_{2a} = G_h B_b C_{bc} (t_1 - t_2) / (3.6T) \\ = 500 \times 0.05 \times 1.47 (32 + 18) / (3.6 \times 24) = 21.27 \text{ (W)}$$

由式 (4-12)，货物冷负荷

$$Q_2 = Q_{2s} + Q_{2a} = 1936.78 \text{ (W)}$$

#### 4.2.3 通风换气冷负荷

如冷间有操作人员较长期停留或存放鲜果蔬，必须进行通风换气以保证呼吸，由此而产生的冷负荷通风换气冷负荷。

##### 4.2.3.1 通风换气冷负荷计算

冷库的通风换气冷负荷为：

$$Q_3 = \sum_1^m Q_{3j} \tag{4-21}$$

式中： $Q_3$ ——冷库的通风换气冷负荷 (W)；

$Q_{3j}$ ——冷间的通风换气冷负荷 (W)。

各冷间的通风换气冷负荷由两部分组成：

$$Q_{3j} = Q_{3aj} + Q_{3bj} \tag{4-22}$$

式中： $Q_{3aj}$ ——货物所需换气所产生的冷负荷 (W)；

$Q_{3bj}$ ——操作人员所需新鲜空气所产生的冷负荷 (W)。

货物所需换气所产生的冷负荷指贮存鲜果蔬的冷却物冷藏间，为保证果蔬有氧呼吸而进行通风换气，从而产生的冷负荷。非存放鲜活货物的冷间，此项冷负荷为零。以新鲜空气体

积等于冷间内净容积为一次完全换气。货物所需换气产生的冷负荷由下式确定：

$$Q_{3aj} = \frac{n_{aj} V_n \rho_{an}}{3.6 \times 24} \quad (4-23)$$

式中： $n_{aj}$ ——冷间因贮藏货物每天所需的换气次数；

$V_n$ ——冷间内净容积 ( $\text{m}^3$ )；

$\rho_{an}$ ——冷间内空气密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

操作人员所需新鲜空气所产生的冷负荷指供操作人员呼吸而进行的通风换气，从而产生的冷负荷。仅操作人员长期停留的冷间，如加工间、包装间等需要计算。其他冷间，此项冷负荷为零。以每个操作人员每小时需  $30\text{m}^3$  新鲜空气量计，所产生的冷负荷为：

$$Q_{3bj} = 8.33 n_r \rho_{an} (h_{aw} - h_{ab}) \quad (4-24)$$

式中： $n_r$ ——操作人员数。

每小时每人  $30\text{m}^3$  新鲜空气可以满足中等及以下强度的体力劳动的需要，如为较重体力劳动，则可按每小时每人  $50\text{m}^3$  计。

室外空气的焓值应按夏季通风室外计算干球温度和夏季通风室外计算相对湿度取值。室内空气的焓值应按冷间设计温度和相对湿度取值。室内空气密度应按冷间设计温度和当地大气压取值。

#### 4.2.3.2 通风换气量

单位质量货物所需要的通风换气量为：

$$V_{wp} = \frac{m_{cp}}{\rho_{cp} (x_p - x_a)} \quad (4-25)$$

式中： $V_{wp}$ ——单位质量货物每小时所需要的通风换气量 [ $\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ]；

$m_{cp}$ ——货物的二氧化碳排出量 (1/h)；

$x_p$ ——冷间内二氧化碳允许质量浓度 (%)；

$x_a$ ——大气中二氧化碳的质量浓度 (%)；

$\rho_{cp}$ ——冷间设计温度和当地大气压下二氧化碳的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

库内二氧化碳允许质量浓度根据所贮存果蔬的种类和冷间温度确定，在种类难以确定或缺乏相应资料时，可取  $x_p = 0.55\%$ 。

单位质量货物每小时所需要的通风换气量与冷间因贮藏货物每天所需的换气次数之间存在以下关系：

$$n_{aj} = 24 \frac{V_{wp} G_{nc}}{V_n} \quad (4-26)$$

在不能计算通风换气量的场合，可取  $n_{aj} = 2 \sim 3$ 。

#### 4.2.4 电动机与用电设备冷负荷

电动机与用电设备冷负荷指由于冷间内存在运转的电动机和用电设备，这些机械设备耗电发热而产生的冷负荷。

##### 4.2.4.1 电动机与用电设备冷负荷计算

冷库电动机与用电设备冷负荷为：

$$Q_4 = \sum_1^m Q_{4j} \quad (4-27)$$

式中： $Q_4$ ——冷库电动机与用电设备冷负荷 (W)；



$Q_{4j}$ ——冷间电动机与用电设备冷负荷 (W)。

在每个冷间,电动机与用电设备所产生的冷负荷为:

$$Q_{4j} = Q_{4aj} + Q_{4bj} \quad (4-28)$$

式中:  $Q_{4aj}$ ——冷间电动机运转所产生的冷负荷 (W);

$Q_{4bj}$ ——冷间用电设备所产生的冷负荷 (W)。

#### 4.2.4.2 电动机运转冷负荷

冷间电动机运转所产生的冷负荷可如下计算:

$$Q_{4aj} = 1000 \sum N_m \zeta_{mb} B_{mb} \quad (4-29)$$

式中:  $B_{mb}$ ——电动机运转时间系数;

$\zeta_{mb}$ ——热转化系数,电动机在冷间内时取 1,电动机在冷间外时取 0.75;

$N_m$ ——电动机额定输入功率 (W)。

冷风机配用的电动机运转时间系数取 1,其他设备配用的电动机按下式计算:

$$B_{mb} = \frac{\tau_y}{24} \quad (4-30)$$

式中:  $\tau_y$ ——电动机每天运转时间 (h)。

#### 4.2.4.3 用电设备发热产生的冷负荷

冷间用电设备主要有加湿器、融霜电加热器、防冻电加热器等,有时还会有紫外线灭菌灯、臭氧发生器等,所产生的冷负荷可表示为:

$$Q_{4bj} = \sum N_e B_{cb} \quad (4-31)$$

式中:  $B_{cb}$ ——用电设备工作时间系数;

$N_e$ ——用电设备额定输入功率 (W)。

#### 4.2.5 操作冷负荷

操作冷负荷指由于冷间照明设备发热、开门造成热空气进入冷间、操作人员散热所产生的冷负荷。除冷却间和冻结间外,其他冷间均需计算此项负荷。

##### 4.2.5.1 操作冷负荷计算

冷库操作冷负荷由下式确定:

$$Q_5 = \sum_1^m Q_{5j} \quad (4-32)$$

式中:  $Q_5$ ——冷库操作冷负荷 (W);

$Q_{5j}$ ——冷间操作冷负荷 (W)。

在每个冷间,操作所产生的冷负荷为:

$$Q_{5j} = Q_{5aj} + Q_{5bj} + Q_{5cj} \quad (4-33)$$

式中:  $Q_{5aj}$ ——冷间照明发热所产生的冷负荷 (W);

$Q_{5bj}$ ——冷间开门时热空气进入冷间所产生的冷负荷 (W);

$Q_{5cj}$ ——冷间内操作人员散热所产生的冷负荷 (W)。

##### 4.2.5.2 照明发热产生的冷负荷

已确定照明功率的冷间,可按下式确定照明发热产生的冷负荷:

$$Q_{5aj} = \sum N_l B_{lb} \quad (4-34)$$

式中:  $N_l$ ——冷间照明灯输入功率 (W);

$B_{lb}$ ——冷间照明时间系数。

如果冷间照明是连续工作的，或每天照明工作时间为 16h 以上，照明时间系数为 1。如冷间内间歇使用照明，按表 4-10 选照明时间系数。

表 4-10 照明时间系数

照明时间 $T_1/h$	13	10	8	6	4	2	1
照明时间系数 $B_{lb}$	0.92	0.87	0.84	0.81	0.76	0.71	0.67

如不能确定实际照明功率，则按下式确定照明发热产生的冷负荷：

$$Q_{5aj} = q_d F_n \quad (4-35)$$

式中： $F_n$ ——冷间地板面积 ( $m^2$ )；

$q_d$ ——每平方米地板照明发热量 (W)。

以冷间地板面积计的照明发热量由冷间用途而定，加工间、包装间取  $5.8W/m^2$ ，冷藏间可取  $1.7 \sim 2.3W/m^2$ 。

#### 4.2.5.3 开门产生的冷负荷

冷间开门必然产生库内外空气对流，造成热空气进入冷间，由此产生的冷负荷：

$$Q_{5bj} = \frac{V_n (h_{aw} - h_{an}) n_{m1} n_{m2} C_m \rho_{an}}{3.6 \times 24} \quad (4-36)$$

式中： $n_{m1}$ ——冷间门的数量；

$n_{m2}$ ——每日开门次数，根据库容量查图 4-3。

$C_m$ ——修正系数，当库门上有空气幕时， $C_m = 0.5$ ；有一道 PVC 门帘时，可取  $C_m = 0.7$ 。

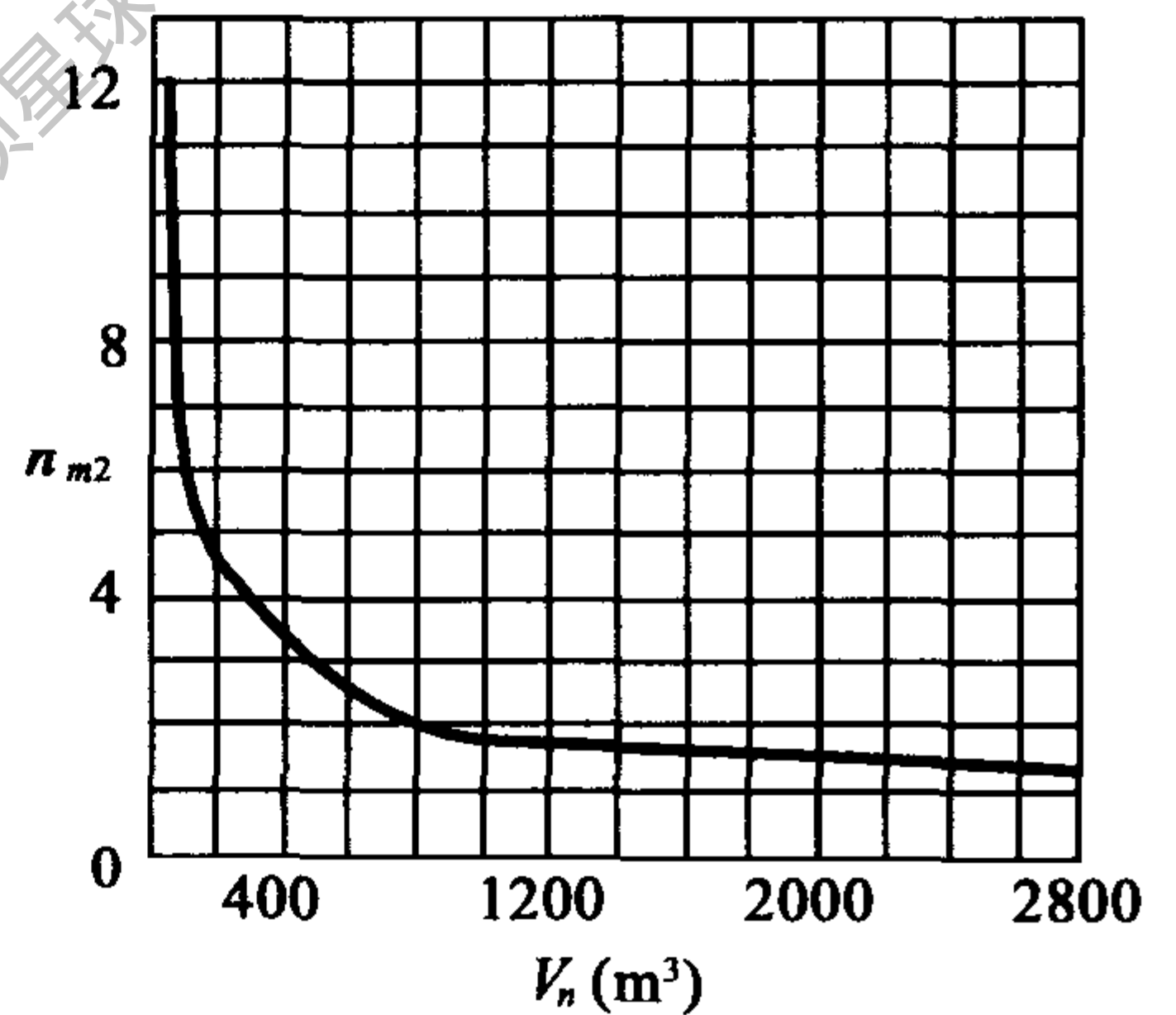


图 4-3 每日开门次数与库容量的关系

#### 4.2.5.4 操作人员产生的冷负荷

在冷间内工作的操作人员向冷间散热所产生的冷负荷为：

$$Q_{5cj} = B_{rb} n_r q_r \quad (4-37)$$

式中： $B_{rb}$ ——操作时间系数，按每日操作 3h 计， $B_{rb} = 0.125$ ；

$q_r$ ——每个操作人员的散热量，当冷间温度高于或等于  $-5^\circ C$  时，取  $q_r = 295W$ ；当冷间温度低于  $-5^\circ C$  时，取  $q_r = 395W$ 。

## 4.3 冷间冷却设备与制冷系统冷负荷计算

冷间冷却设备与制冷系统冷负荷计算是冷间冷却设备和制冷系统机械设备选择的依据，正确的选择冷间冷却设备与制冷系统机械设备是冷库运行的保证。

### 4.3.1 冷间冷却设备负荷

冷间冷却设备冷负荷又称为冷间冷却设备制冷量，应按下式计算：

$$Q_{qj} = Q_{1j} + P_j Q_{2j} + Q_{3j} + Q_{4j} + Q_{5j} \quad (4-38)$$

式中： $Q_{qj}$ ——冷间冷却设备冷负荷 (W)；

$P_j$ ——负荷系数，冷却间和冻结间取 1.3，其他冷间取 1。

### 4.3.2 制冷系统制冷量

制冷系统的制冷量又称机械负荷，应根据不同的蒸发温度、不同的系统进行计算。

#### 4.3.2.1 制冷系统的制冷量计算

某一蒸发温度的库房系统所需制冷系统的制冷量为：

$$Q_{0j} = (n_1 Q_1 + \sum_1^m n_{2j} Q_{2j} + n_3 Q_3 + \sum_1^m n_{4j} Q_{4j} + n_5 Q_5) R \quad (4-39)$$

式中： $Q_{0j}$ ——某一蒸发温度制冷系统的制冷量 (W)；

$n_1$ ——围护结构冷负荷的季节修正系数，根据生产旺月出现的月份和地理位置，由表 4-11 查出；

$n_2$ ——各冷间货物冷负荷的机械折减系数，根据冷间的用途确定，冷却物冷藏间和冻结物冷藏间推荐在表 4-12 中查出，其他冷间取 1；

$n_3$ ——同期换气系数，指同时最大换气量与设计全库每日总换气量的比值，与需换气的冷间数量有关，推荐数据见表 4-13；

$n_4$ ——冷间用电动机同期使用系数，由电动机用途确定，冷却间和冻结间中冷风机电机取 1，其他冷间中的电机见推荐数据表 4-14；

$n_5$ ——冷间同期操作系数，推荐按表 4-14 取值；

$R$ ——冷损耗补偿系数，直接冷却取 1.07，间接冷却取 1.12。

#### 4.3.2.2 计算结果汇总

表 4-11 围护结构冷负荷的季节修正系数

纬度	库温 (°C)	月 份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
北纬 40° 及以上	0	-0.76	-0.50	-0.10	0.40	0.70	0.90	1.00	1.00	0.70	0.30	-0.10	-0.50
	-10	-0.25	-0.11	0.19	0.59	0.78	0.92	1.00	1.00	0.78	0.49	0.19	-0.11
	-18	-0.22	0.10	0.33	0.64	0.82	0.93	1.00	1.00	0.82	0.58	0.33	0.1
	-23	0.08	0.18	0.40	0.68	0.84	0.94	1.00	1.00	0.84	.62	0.40	0.18
	-30	0.19	0.28	0.47	0.72	0.86	0.95	1.00	1.00	0.86	0.67	0.47	0.28
北纬 35° ~ 40° 以下	0	-0.30	-0.20	0.20	0.50	0.80	0.90	1.00	1.00	0.70	0.50	0.10	-0.2
	-10	0.05	0.14	0.41	0.65	0.86	0.92	1.00	1.00	0.78	0.65	0.35	0.14
	-18	0.22	0.29	0.51	0.71	0.89	0.93	1.00	1.00	0.82	0.71	0.38	0.29
	-23	0.30	0.36	0.56	0.74	0.90	0.94	1.00	1.00	0.84	0.74	0.40	0.36
	-30	0.39	0.44	0.61	0.77	0.91	0.95	1.00	1.00	0.86	0.77	0.74	0.44
北纬 30° ~ 35° 以下	0	0.10	0.15	0.33	0.53	0.72	0.86	1.00	1.00	0.83	0.62	0.41	0.20
	-10	0.31	0.36	0.48	0.64	0.79	0.86	1.00	1.00	0.88	0.71	0.55	0.38
	-18	0.42	0.46	0.56	0.70	0.82	0.90	1.00	1.00	0.88	0.76	0.62	0.48
	-23	0.47	0.51	0.60	0.73	.84	0.91	1.00	1.00	0.89	0.78	0.65	0.53
	-30	0.53	0.56	0.65	0.76	0.85	0.92	1.00	1.00	0.90	0.81	0.65	0.58



续表

纬度	库温 (°C)	月 份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0	0.18	0.23	0.42	0.60	0.80	0.88	1.00	1.00	0.87	0.65	0.45	0.26
北纬 25° ~ 30° 以下	-10	0.39	0.41	0.56	0.71	0.85	0.90	1.00	1.00	0.90	0.73	0.59	0.44
	-18	0.40	0.51	0.63	0.76	0.88	0.92	1.00	1.00	0.92	0.78	0.65	0.53
	-23	0.54	0.56	0.67	0.78	0.89	0.93	1.00	1.00	0.92	0.80	0.67	0.57
	-30	0.59	0.61	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00	1.00	0.93	0.82	0.72	0.62
	0	0.44	0.48	0.63	0.80	0.90	0.97	1.00	1.00	0.93	0.81	0.65	0.49
北纬 25° 及以 下	-10	0.58	0.60	0.73	0.85	0.95	0.98	1.00	1.00	0.95	0.85	0.75	0.63
	-18	0.65	0.67	0.77	0.88	0.96	0.98	1.00	1.00	0.96	0.88	0.79	0.69
	-23	0.68	0.70	0.79	0.89	0.96	0.98	1.00	1.00	0.96	0.89	0.81	0.72
	-30	0.72	0.73	0.82	0.90	0.97	0.98	1.00	1.00	0.97	0.90	0.83	0.75

表 4-12 货物冷负荷的机械折减系数

全部冷却物冷藏间容积之和 (m <sup>3</sup> )	≤1 000	1 001 ~ 3 000	≥3 001
机械折减系数	0.6	0.45	0.3
全部冻结物冷藏间容积之和 (m <sup>3</sup> )	≤7 000	7 001 ~ 20 000	≥20 001
机械折减系数	0.8	0.65	0.5

表 4-13 同期换气系数

冷间数量	1	2 ~ 3	≥4
同期换气系数	1	0.7	0.5

表 4-14 电动机同期使用系数与同期操作系数

冷间数量	1	2 ~ 4	≥5
电动机同期使用系数与同期操作系数	1	0.5	0.4

冷间冷却设备冷负荷与制冷系统制冷量的计算结果应分别按不同蒸发温度的库房系统和制冷系统汇总列表, 推荐的列表格式见表 4-15 和 4-16。

#### 4.3.2.3 单库房单机冷库制冷系统的制冷量

对于仅一个冷间的小型冷库, 或一个冷间配一套制冷系统的冷库, 制冷系统的制冷量按下式计算:

$$Q_{0j} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) / b \quad (4-40)$$

式中:  $b$ ——机械工作时间系数,  $b = 0.25 \sim 0.75$ 。

机械工作时间系数的选取对制冷系统能否正常运行以及运行经济性影响很大，通常可取  $b = 0.5$ 。

表 4-15 冷却设备冷负荷汇总

库房系统	……℃系统				……℃系统				……℃系统			
	1	2		m	1	2		m	1	2		m
冷间												
$Q_{1j}$												
$Q_{2j}$												
$Q_{3j}$												
$Q_{4j}$												
$Q_{5j}$												
$Q_{qj}$												

表 4-16 制冷系统制冷量汇总

系统	……℃系统		……℃系统		……℃系统	
	制冰间	贮冰间	冷却间	冷却物冷藏间	冻结间	冻结物冷藏间
$n_1 Q_1$						
$n_{2j} Q_{2j}$						
$\sum n_{2j} Q_{2j}$						
$n_3 Q_3$						
$n_{4j} Q_{4j}$						
$\sum n_{4j} Q_{4j}$						
$n_5 Q_5$						
$Q_j$						

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

# 5 制冷系统设计

制冷系统指由实现制冷循环中压缩、冷凝、节流、蒸发四个过程所需的全部设备、管路及其附件相互连接而组成的整体，是制冷装置的重要组成部分。

冷库是为不同使用目的服务的，需要有不同的制冷系统与之适应，常用制冷系统可按压缩的级数、制冷剂和蒸发器供液方式不同分为三类。

目前，冷库制冷系统均为压缩式制冷系统，按压缩的级数可分为单级压缩系统、双级压缩系统、单级-双级混合系统。

按所用制冷剂的不同，可分为氨制冷系统、卤代烃制冷系统以及采用其他制冷剂的制冷系统。

按蒸发器供液方式的不同，可分为直接膨胀式制冷系统、重力供液式制冷系统和液泵强制供液制冷系统。

在循环的四个过程中，蒸发过程必然是在库房中进行的，压缩和冷凝过程是在机房中进行的，节流过程多在机房或设备间进行。因此，可根据所处位置将制冷系统人为分成库房系统和机房系统。

制冷系统是多种多样、变化非常灵活的，以下将介绍最基本的系统设计、选择和特点。

## 5.1 管路设计

制冷系统的各设备和部件通过管路连接而成整体，制冷装置运行的安全性、可靠性、经济性与维护管理的方便性都与管路的设计有关。

### 5.1.1 管路阻力损失计算

沿程阻力损失按下式计算：

$$\Delta p_a = \lambda_a L \rho w^2 / (2d_i) \quad (\text{Pa}) \quad (5-1)$$

式中： $\lambda_a$ ——沿程阻力损失系数；

$L$ ——管子长度 (m)；

$\rho$ ——密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$w$ ——流速 (m/s)；

$d_i$ ——管内径 (m)。

单位管长的沿程阻力损失为：

$$R_a = \Delta p_a / L = \lambda_a \rho w^2 / (2d_i) \quad (5-2)$$

层流时，沿程阻力损失系数为：

$$\lambda_a = 64\text{Re}^{-1} \quad (5-3)$$

式中： $\text{Re}$ ——雷诺数。

紊流时的沿程阻力损失系数可按下式计算：

$$\lambda_a = 0.3164\text{Re}^{-0.25} \quad (5-4)$$

局部阻力损失系数的计算式为：

$$\Delta p_b = \zeta \rho w^2 / 2 \quad (\text{Pa}) \quad (5-5)$$



式中： $\zeta$ ——局部阻力损失系数。

在制冷工程中，常采用当量管长来计算局部阻力损失。即认为流体在流过弯头、三通、阀门、管接头或其他管件时的流动阻力损失，与其在相同内径某一长度直管段的流动阻力损失等值。即：

$$L_e = d_i \zeta / \lambda_a \quad (\text{m}) \quad (5-6)$$

式中： $L_e$ ——当量管长 (m)。

于是式 (5-5) 成为：

$$\Delta p_b = \lambda_a L_e \rho w^2 / (2d_i) \quad (\text{Pa}) \quad (5-7)$$

常见管件的当量系数  $L_e/d_i$  见表 5-1。

表 5-1 常见阀和管件的当量系数

阀和管件名称	当量系数 $L_e/d_i$	阀和管件名称	当量系数 $L_e/d_i$
球阀 (全开)	340	$R = d$	20
角阀 (全开)	170	弯头 90° $R = 1.5d$	15
阀门 闸阀 (全开)	8	$R = d$	20
止回阀 (全开)	80	$d/D = 1/4$	30
标准弯头 $R = d$	20	管径突扩 $d/D = 1/2$	20
$R = 1.5d$	15	$d/D = 3/4$	17
三通 主管直通	20	$d/D = 1/4$	15
主管通支管或支管通主管	60	管径突缩 $d/D = 1/2$	11
		$d/D = 3/4$	7

对于封闭系统，总阻力损失为各管段沿程阻力损失与各局部阻力损失之和：

$$\begin{aligned} \Delta p &= \sum \Delta p_a + \sum \Delta p_b \\ &= \sum \lambda_a L \rho w^2 / (2d_i) + \sum \lambda_a L_e \rho w^2 / (2d_i) \quad (\text{Pa}) \end{aligned} \quad (5-8)$$

对于开启系统，总阻力损失还包括位势阻力损失：

$$\Delta p = \sum \Delta p_a + \sum \Delta p_b + \sum \Delta H \rho \quad (\text{Pa}) \quad (5-9)$$

式中： $\Delta H$ ——位势阻力损失 (Pa)。

### 5.1.2 管径的选择

制冷装置中的各单元设备或部件需用管路连接才能构成完整的制冷系统，制冷机所制得的冷量也要通过管路才能输送到需要冷却的地方。因此，管道尺寸选择的合理与否，直接关系到系统的运行效率，甚至会影响制冷机的正常运转。

#### 5.1.2.1 回气管径的选择

回气管道的压力降将直接影响压缩机的吸入压力和制冷量，选择管径的条件是将压力降控制在某一压力差所对应的饱和温度差。对于卤代烃制冷系统，取饱和温度差为 1℃，对于氨系统，由于单位制冷量的制冷剂容积流量较小，取饱和温度差为 0.5℃。图 5-1 和图 5-2 为 R12 和 R22 回气管管径的线算图，该两图中以膨胀阀前的制冷剂液体温度是 40℃ 为基准，

但在 35 ~ 45℃ 之间可近似使用。图 5-3 为氨制冷系统各种管路的管径。

例 5-1 某 R22 制冷系统回气管直管段的长度为 20m，当量系数  $\sum L_e/d_i = 400$ ，制冷量为 116.3kW，蒸发温度为 0℃，选择合适的管径。

解：先假定当量总长为 50m，在图 5-2 上，从图下横坐标上的 10 处 ( $Q_0 = 10 \times 11.63\text{kW}$ )，向上作垂线交当量长度线，由交点向左作水平线与蒸发温度线相交，再向上至图上部所标注的数字可读出钢管内径为 60mm。

此时管件当量长度： $d_i = 400 \times 0.06 = 24 \text{ (m)}$

管路当量总长： $\sum L_e = 20 + 24 = 44 \text{ (m)}$

回气管压降产生的饱和温度差： $\Delta t = 1.0 \times 44/50 = 0.88 \text{ (}^\circ\text{C)}$

由于  $\Delta t$  小于 1℃，在允许范围内，管径可以取 60mm。否则要重新假定当量总长，重新查图。

由于卤代烃制冷剂与润滑油互溶，可将润滑油带进蒸发器。为保证润滑油能够返回压缩机，在选择上升吸气立管的管径时，须考虑必要的带油速度。上升吸气立管的回油最低流速见图 5-4 和图 5-5。

#### 5.1.2.2 排气和高压输液管管径

排气管道的压力降将直接影响压缩机的排气压力和功耗，选择管径的条件是将压力降控制在饱和温度差 0.5℃ 所对应的压力差。图 5-6 和图 5-7 为 R12 和 R22 排气管与高压输液管的管径线算图。该两图中以冷凝温度 40℃ 为基准。但冷凝温度在 35℃ ~ 45℃ 之间可近似通用。R717 系统排气和高压输液管的管径见图 5-3。

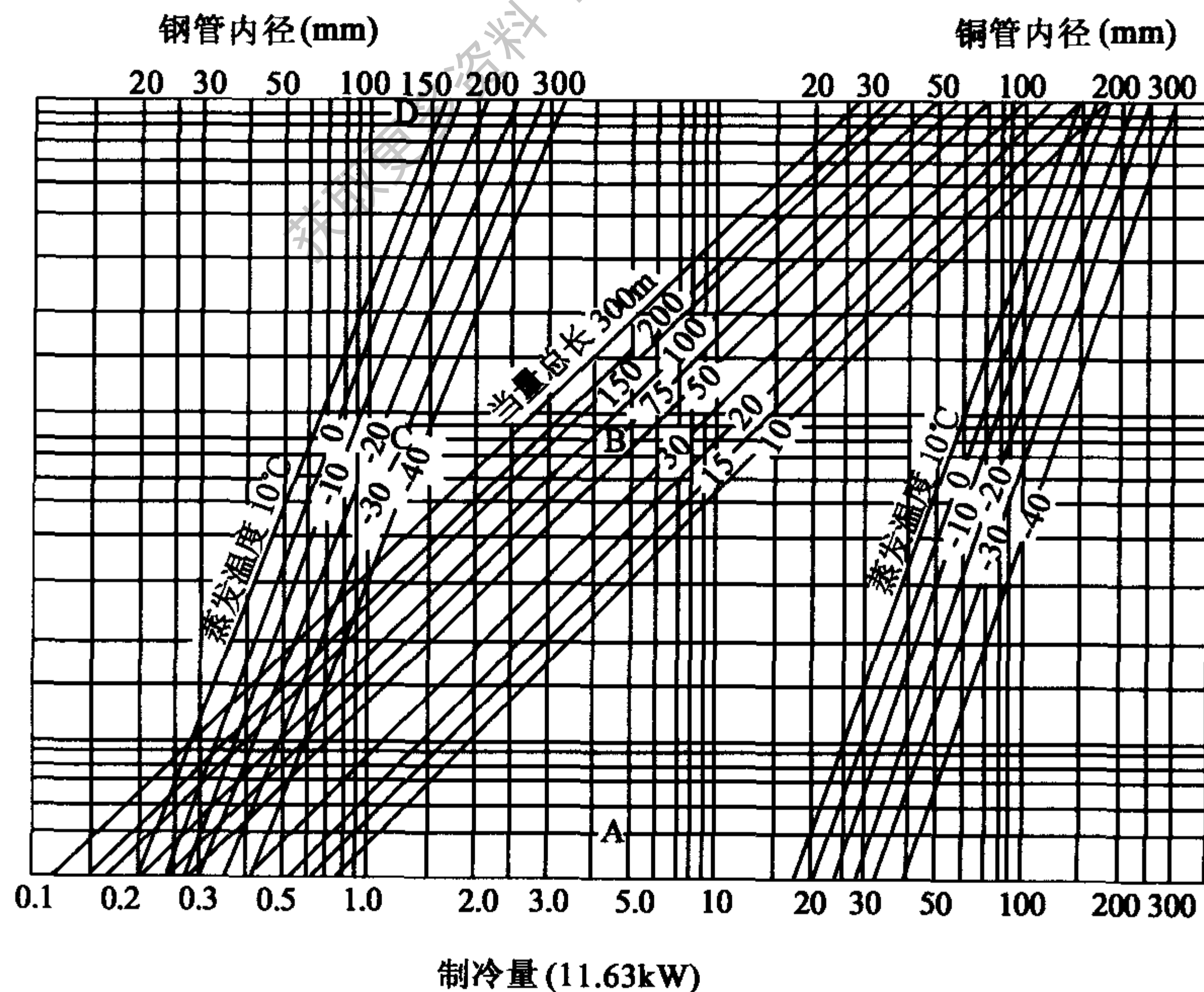


图 5-1 R12 回气管管径

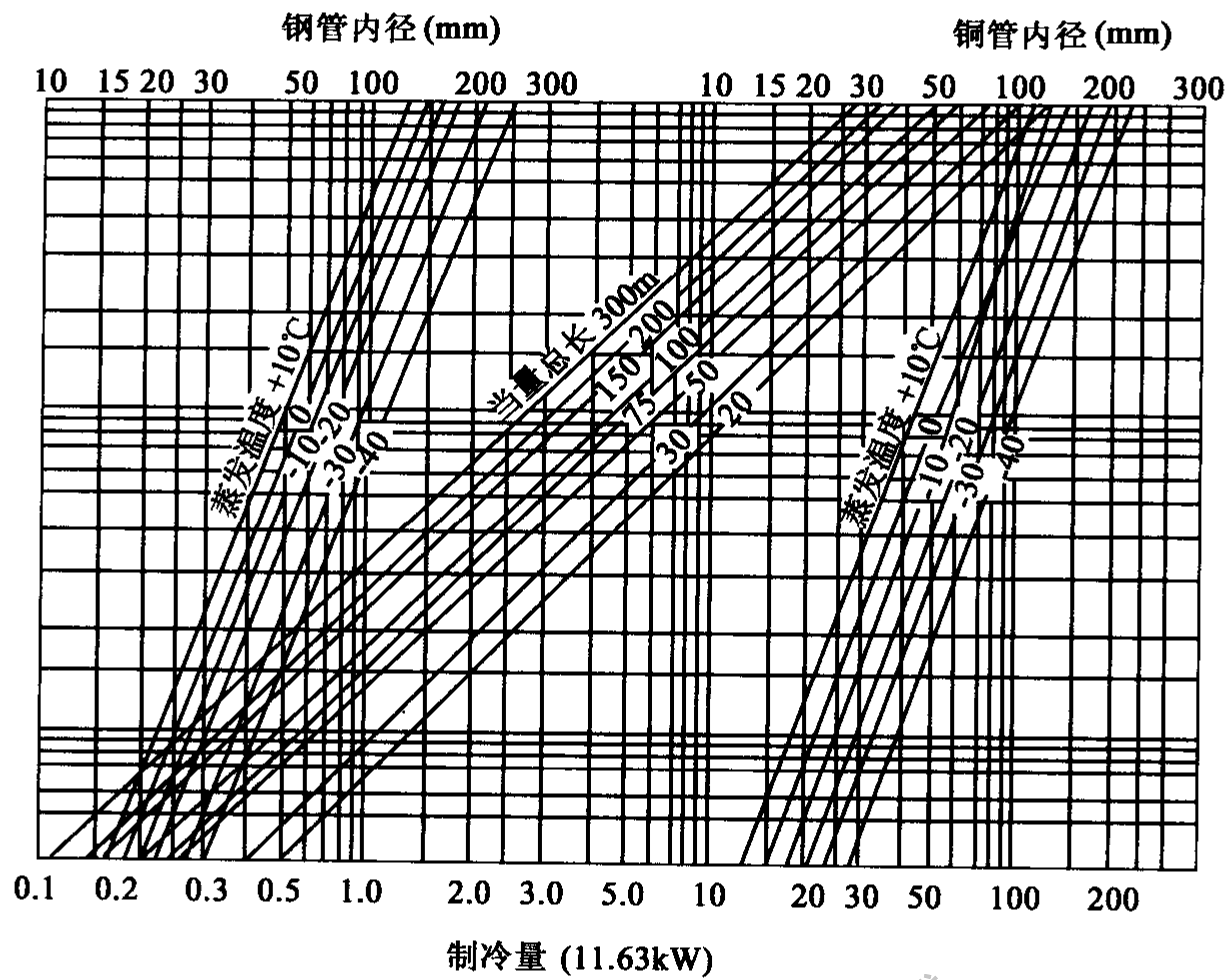


图 5-2 R22 回气管管径

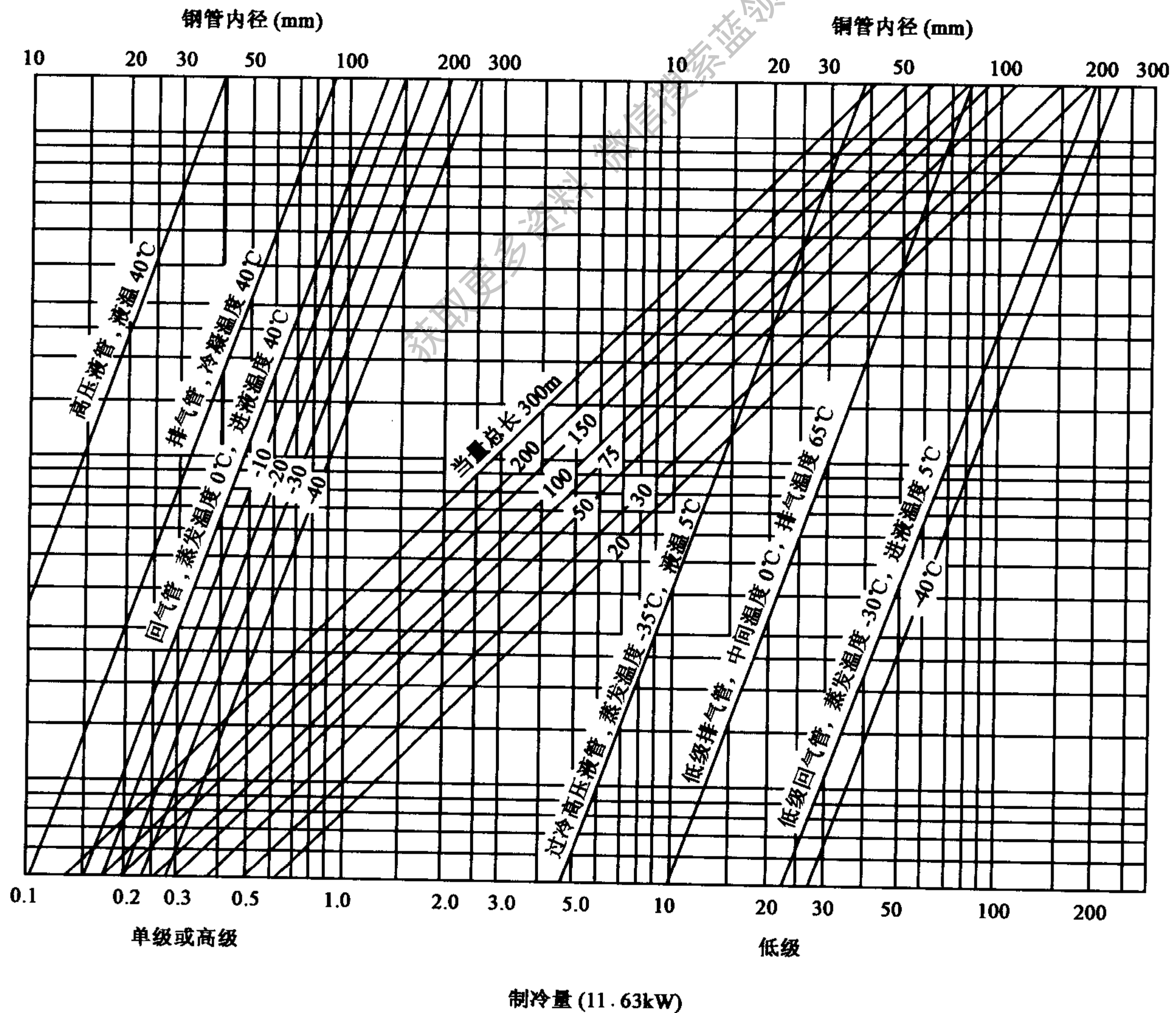


图 5-3 R717 管径



卤代烃制冷系统的上升排气立管也须考虑必要的带油速度。上升排气立管的回油最低流速仍见图 5-4 和图 5-5。

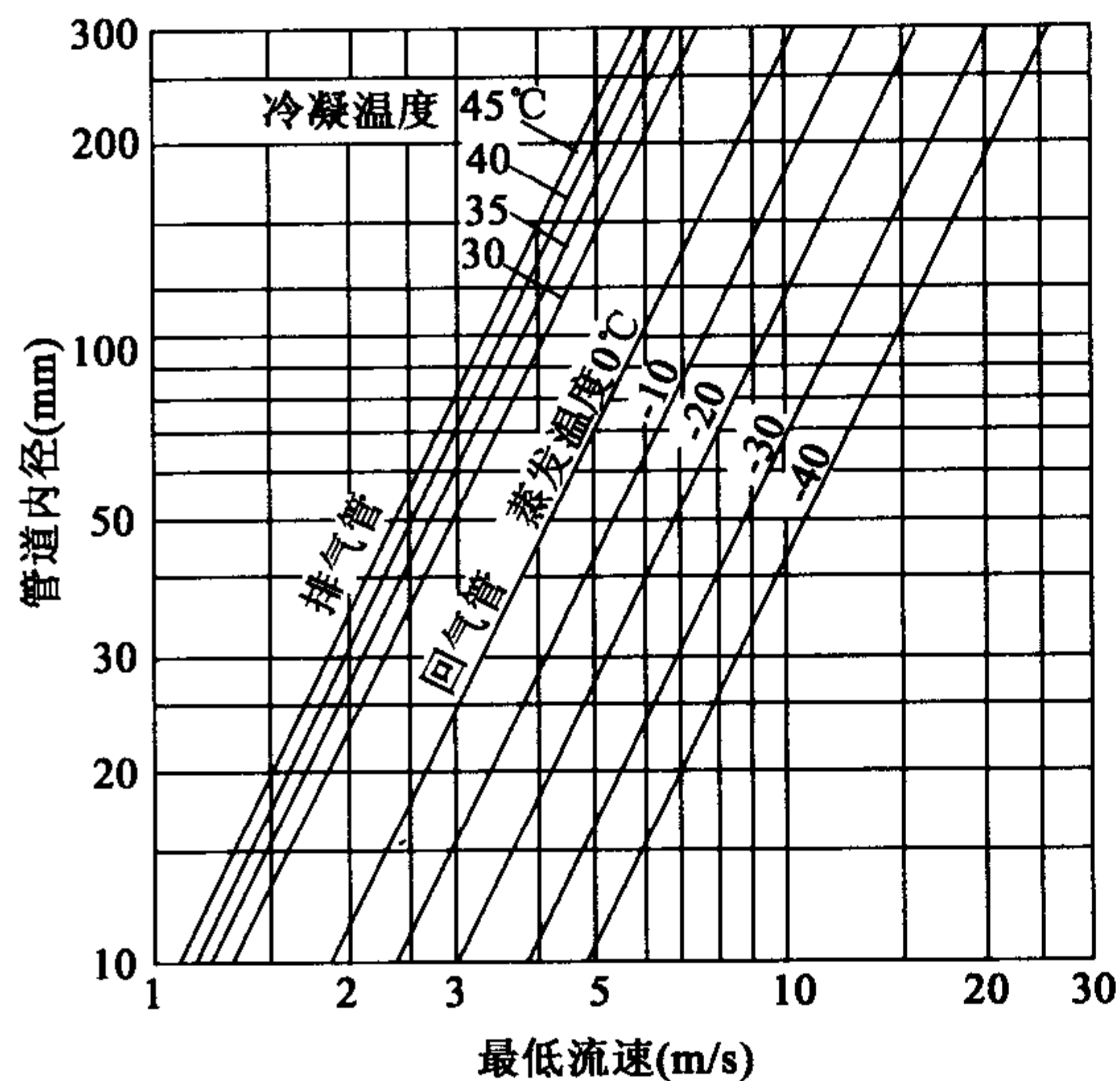


图 5-4 R12 上升吸气立管与排气管管径

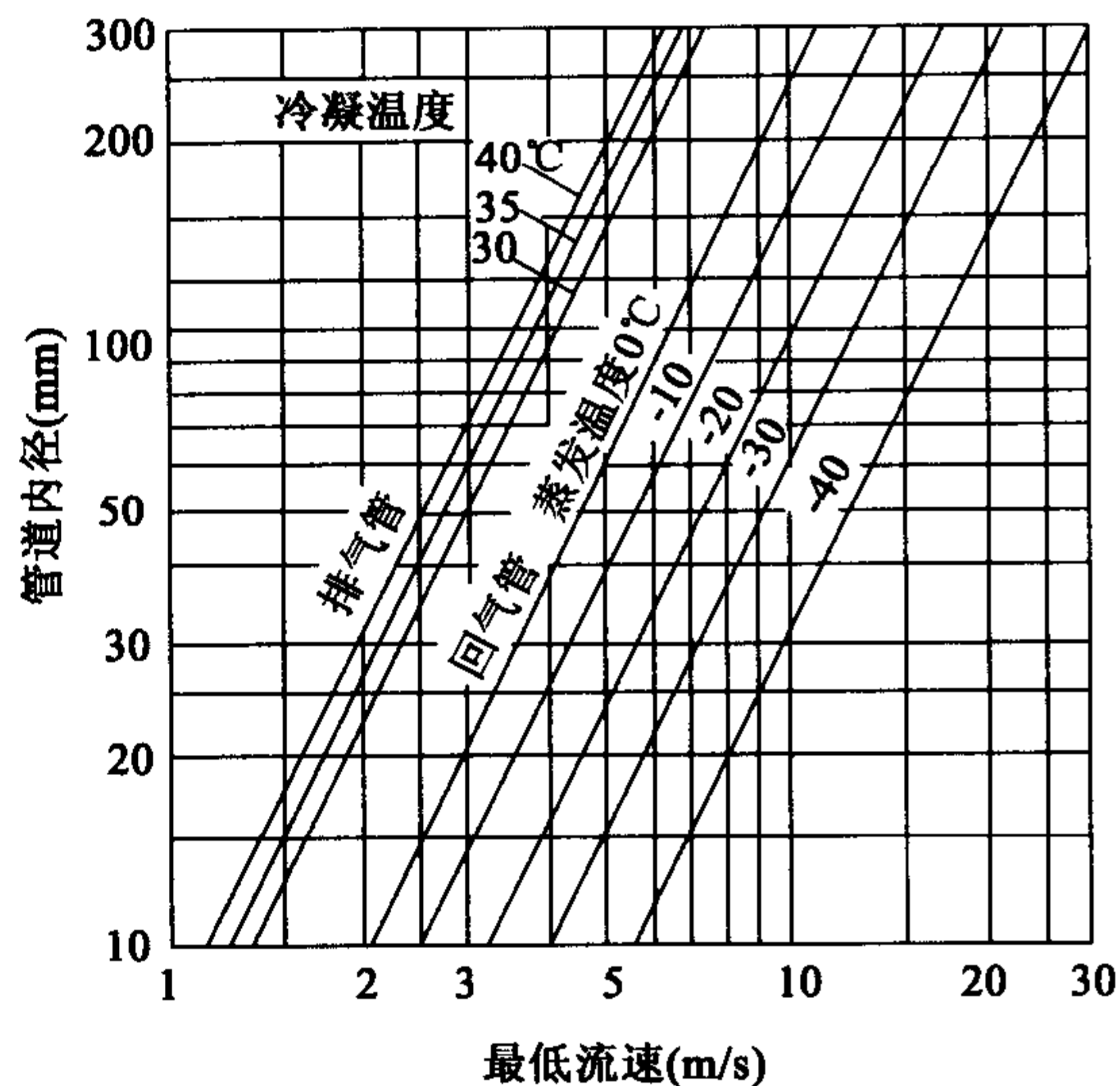


图 5-5 R22 上升吸气立管与排气管管径

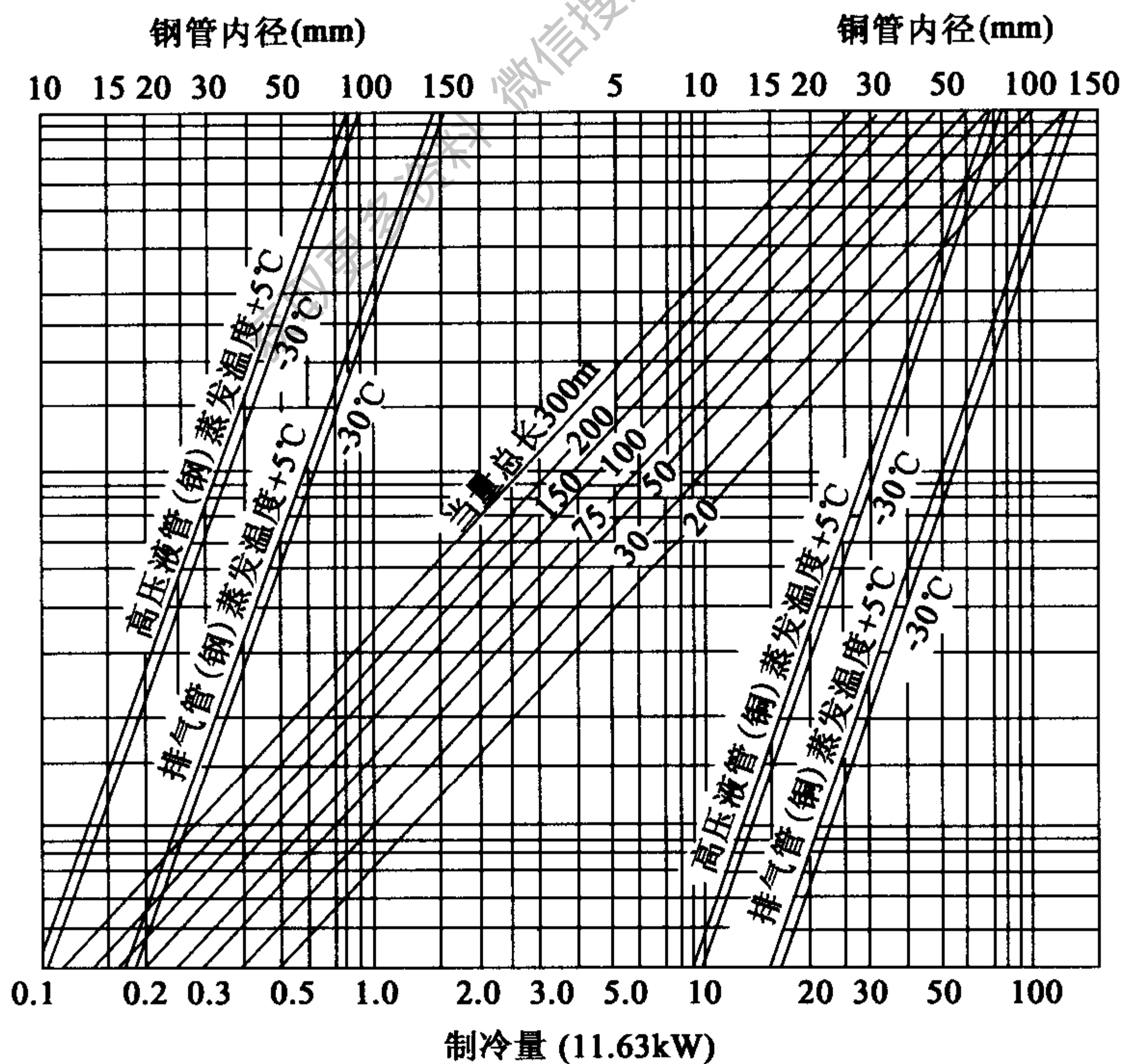


图 5-6 R12 排气管与高压输液管管径

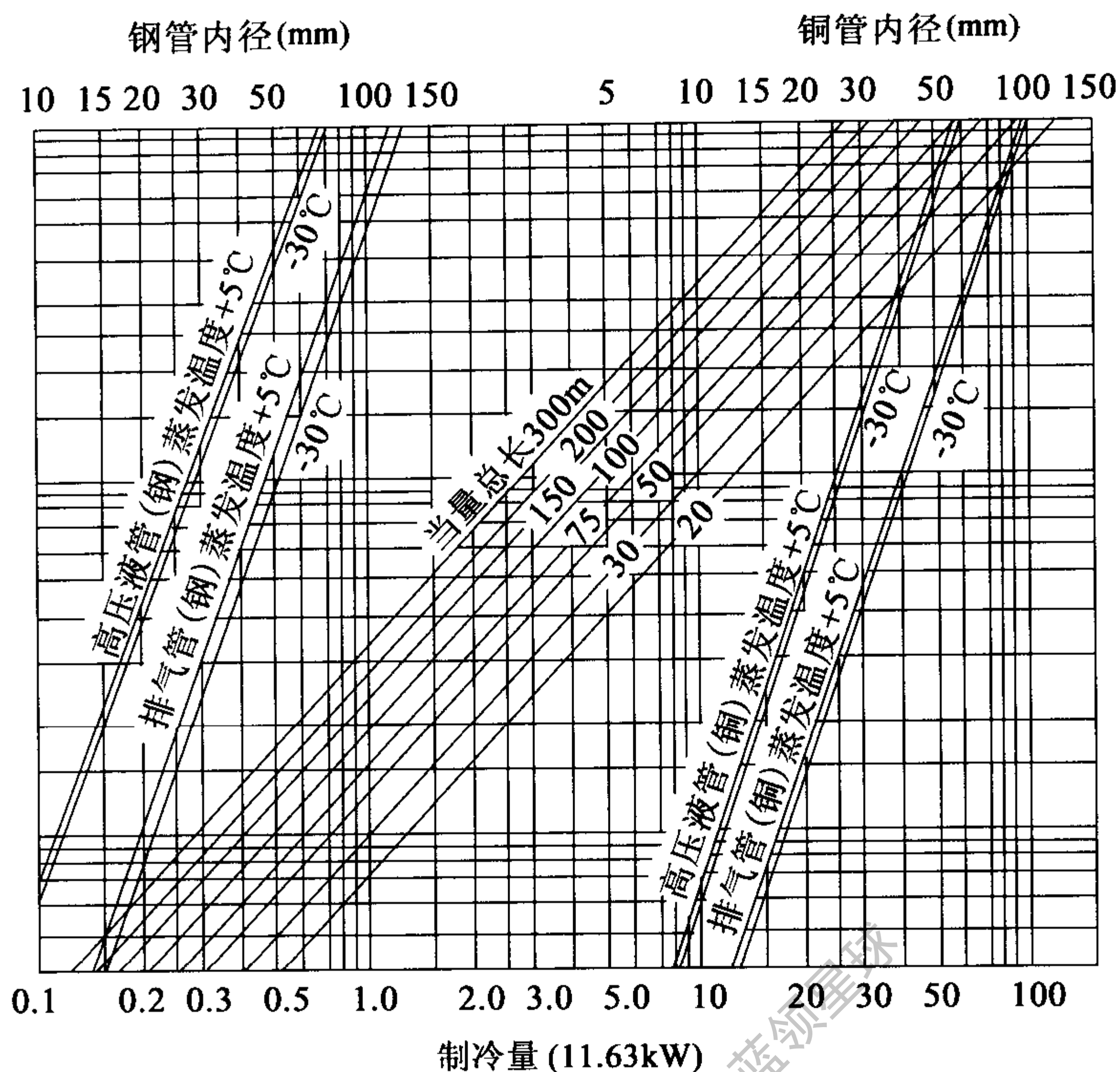


图 5-7 R22 排气管与高压输液管管径

### 5.1.2.3 泄液管

由冷凝器到贮液器之间的液体管称为泄液管，泄液管径由图 5-8 查取。该图中的曲线是以液温 40℃、蒸发温度 -20℃，无气体均压管计算的。如有气体均压管，则液体流速可由 0.5m/s 增大到 0.75m/s。

### 5.1.2.4 重力供液的低压供液管

重力供液的低压供液管的管径由图 5-9 查取，因压头很小，无论制冷量多小，其管内径也应不小于 20mm，且从气液分离器至最后一组蒸发器应保持同一管径。

### 5.1.2.5 直接供液的低压供液管

在直接供液的低压供液管中，由于闪蒸气体的产生，流阻远大于高压液体管。直接供液的低压供液管中，在不同的蒸发温度下，制冷剂的压降相当于高压液体管压降的倍数见表 5-2。可先按表找出压降倍数，再由图 5-6 和图 5-7 确定所需直接供液的低压供液管的管径，也可按热力膨胀阀的出口管径来确定。直接供液的低压供液管应尽可能的短。

表 5-2 直接供液的低压供液管压降相当于高压输液管的倍数

膨胀阀前液温 (°C)	30					40					
蒸发温度 (°C)	10	0	-10	-20	-30	10	0	-10	-20	-30	
压降倍数	R12	14	21.5	33.5	52	76.5	19	29	43	61	93
	R22	12	18.5	28.5	43.5	64	17	24.5	35.5	51	77

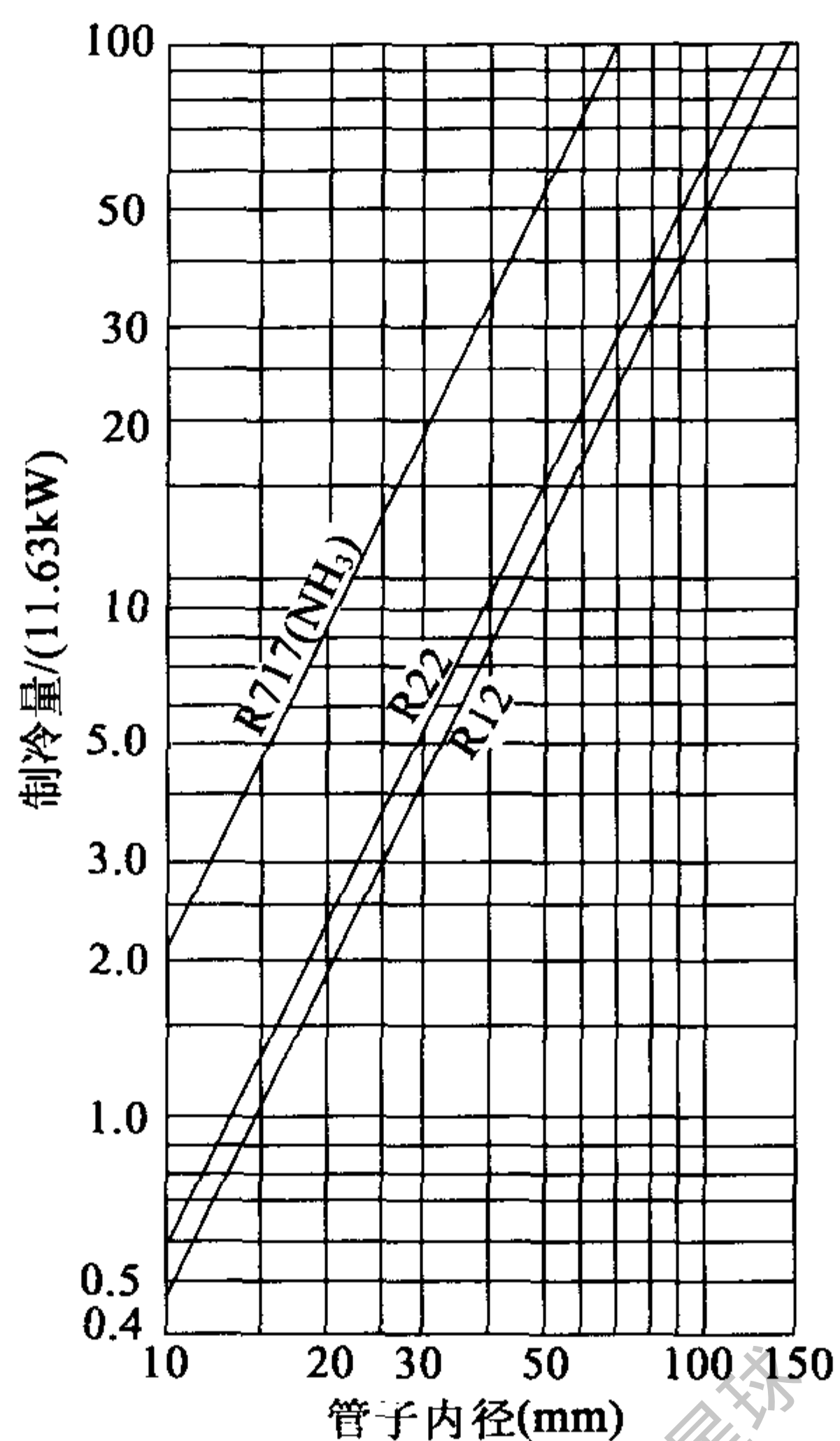


图 5-8 泄液管管径

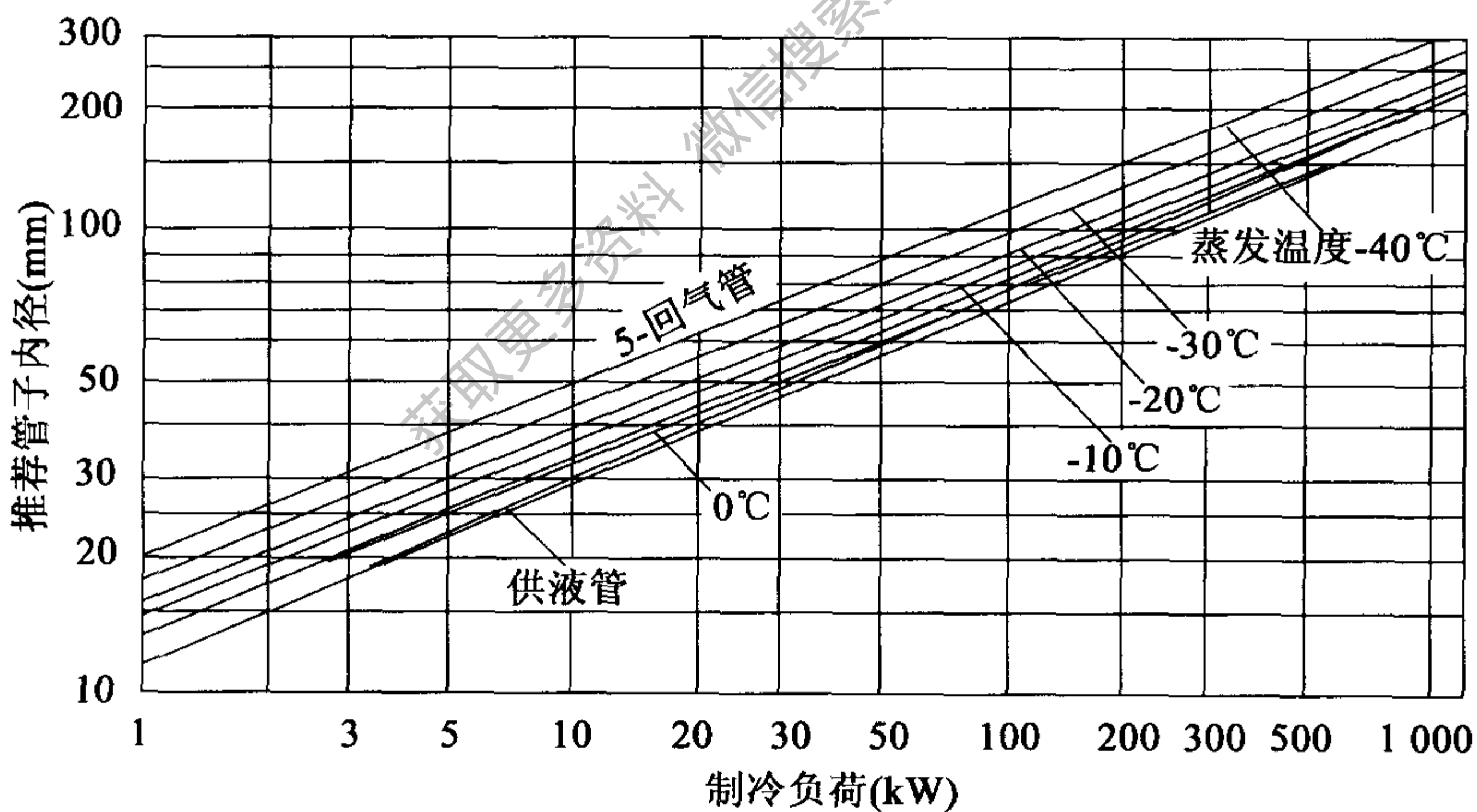


图 5-9 重力供液的低压供液管

#### 5.1.2.6 载冷剂管

载冷剂管管径的选择主要取决于流速，管径不应小于 25mm。当管径小于 100mm，流速应不大于 1m/s；当管径为 100mm 以上时，流速为 1~2m/s。

#### 5.1.3 管路隔热

制冷系统中的低温管道都必须保温，以免造成过多的冷量耗损和回气过热，另外低温管道若不进行隔热处理，管子外表面与周围空气接触后，其管壁表面就要凝水，管内工质温度越低，凝水越多，低于 0℃ 就会结霜，甚至结冰。

管道保温层的厚度与保温材料的性能、管道的规格、管道和设备内制冷剂的温度以及周围空气的温度有关。管道的隔热保温工作是在吹污、试压、刷防锈漆并干燥以后灌注制冷剂



之前进行。

### 5.1.3.1 管道隔热结构的要求

冷库管道的保温结构一般由保温层和保护层两部分组成。隔热结构的设计直接关系到保温效果、投资费用、使用寿命及外表面的整齐美观等，设计时应认真选择。一般对隔热结构有以下主要的要求：

(1) 保证热损失较小，当已知被保温管道及内部介质温度时，其热损失主要取决于保温材料的导热系数。导热系数越小，保温层就越薄，反之保温层就越厚。

(2) 隔热结构应有足够的机械强度，因室外管道要受风、雨、水、泥砂等的作用，且室外温度变化较大，管道和保温材料的膨胀系数不同，伸缩量相差较大，很容易破坏保温结构。因此，对保温材料的机械强度要求坚固耐用。

(3) 吸水率低，耐水性好。

(4) 抗水蒸气渗透性好。

(5) 材料不易燃烧，不易霉烂。

(6) 决定隔热结构时要考虑管道及设备的振动情况，由于冷库在运行过程中不停的振动，这些振动将传到管道上来，如果保温结构不牢靠，时间一长就会产生裂纹以致脱落。因此，要求保温结构必须紧固。

(7) 施工方便。

### 5.1.3.2 隔热结构的施工

管道的隔热施工应在系统试压、抽真空合格后进行。管道在隔热施工前，应先清除铁锈污垢，擦拭干净，涂上一层红丹防锈漆，以保护金属表面不受腐蚀。硬质的隔热材料（软木制品、聚苯乙烯泡沫塑料）应先加工成所需的形状和尺寸，半硬质的隔热材料（玻璃棉、矿棉制品）则加工成管壳。

包隔热层时板材应先浸以热沥青，成错缝排列，与管道压紧；管壳应对好接缝，并嵌以玛蹄脂。第一层包好后再涂以热沥青，依次包第二层及第三层。为了防止空气中水分渗入而破坏隔热层性能，在隔热层外需设防潮层。常用的防潮材料有沥青玛蹄脂夹玻璃布、沥青油毡及塑料薄膜等。防潮层外再包一层金属丝网或缠绕玻璃布，而后做一层石棉石膏涂抹料保护层。最后在保护层上涂刷一层防腐蚀及兼作识别的油漆。图 5-10 中示出了用软木作隔热材料时的管道隔热结构的例子。

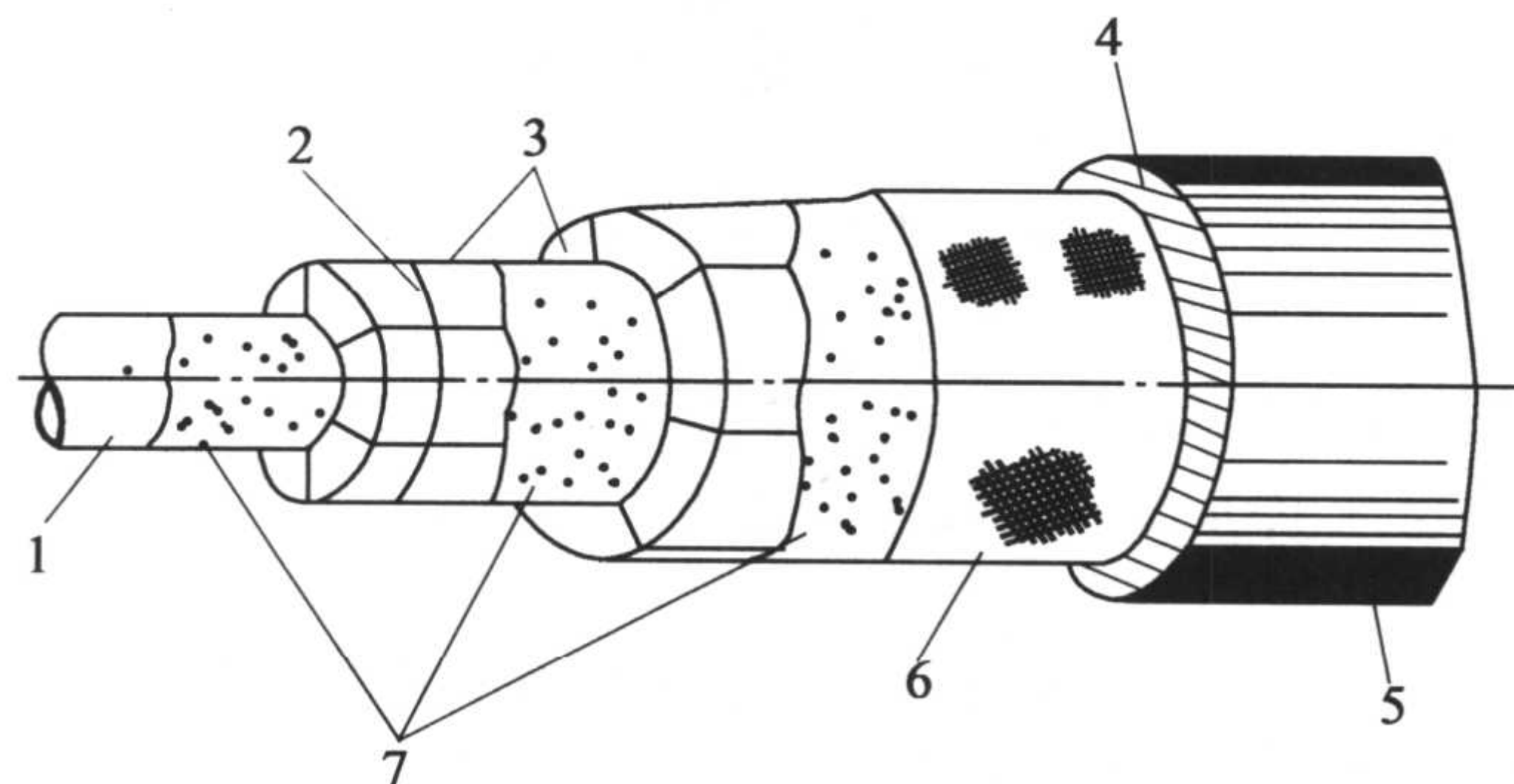


图 5-10 管道的软木隔热层结构

1. 管道 2. 铁丝 3. 软木 4. 石膏灰 5. 面漆 6. 钢丝网 7. 沥青漆

当用硬质聚氨酯泡沫塑料时，也可用现场发泡的方法，将配好的原料喷涂到管道或容器的表面；或者先做好模板，将配好的原料注入其中，待成型固化后再将模板拆除。管道也可以用松散性材料，此时应预先用薄木板或铁皮做圆形或方形外套，再将材料填入其中即可。当几条平行管道较接近时可将其隔热结构做在一起。管道上的阀门、法兰接头等一般用铁皮做一个绝热盒，内充松散材料或碎料，以便于检修工作。

### 5.1.3.3 管道保温层厚度的计算

在蒸发压力下工作的管道和设备，均应包隔热层。中间冷却器、过冷器、过冷氨液管、融霜用的热氨管和排液管、冻结间的融霜给水管、冷却间及冷却物冷藏间内的氨管和水管均应包隔热层。根据通过保温管或保温设备每层单位长度传热量相等的原则，保温层厚度可按下列式计算：

$$\frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_3} = 1 + \frac{1}{2\lambda} \alpha D_1 \ln \frac{D_1}{D_2} \quad (5-10)$$

式中： $t_1$ ——管道或设备内工质的温度（℃）；

$t_2$ ——绝热管道或设备周围空气温度（℃）；

$t_3$ ——绝热层外表面温度，应采用稍高于周围空气露点温度（℃）；

$\lambda$ ——绝热材料的导热系数 [W/(m·℃)]；

$D_1$ ——包绝热层后的外径（m）；

$D_2$ ——管道或设备的（m）；

$\alpha$ ——外表面对流换热系数 [W/(m<sup>2</sup>·℃)]。

保温层的厚度  $\delta$  为：

$$\delta = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (\text{m}) \quad (5-11)$$

常用管道隔热层厚度也可按表 5-3 查用。

表 5-3 管道隔热层厚度（取外表面对流换热系数为 8.141 [W/(m<sup>2</sup>·℃)]

管道 外径 (mm)	$t_2 = +30^\circ\text{C}$								$t_2 = +15^\circ\text{C}$							
	$t_1 = -10^\circ\text{C}$		$t_1 = -15^\circ\text{C}$		$t_1 = -33^\circ\text{C}$		$t_1 = -40^\circ\text{C}$		$t_1 = -10^\circ\text{C}$		$t_1 = -15^\circ\text{C}$		$t_1 = -33^\circ\text{C}$		$t_1 = -40^\circ\text{C}$	
	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07	$\lambda =$ 0.047	$\lambda =$ 0.07
22	50	70	55	75	75	100	80	105	30	45	35	50	50	65	55	75
32	55	75	60	80	80	105	85	115	35	45	40	50	55	75	60	85
38	60	80	65	85	85	110	90	120	35	45	40	55	60	80	65	85
57	65	85	70	95	90	120	100	135	35	50	45	60	65	85	70	95
76	65	90	75	100	95	130	105	140	40	55	45	60	65	90	75	100
89	70	95	75	105	100	135	110	145	40	55	45	65	70	95	75	105
108	70	100	80	110	105	140	110	155	40	55	50	65	70	100	80	110
133	75	100	80	115	105	145	115	160	45	60	50	70	75	100	85	115
159	75	105	85	120	110	155	120	165	45	60	50	70	75	105	85	120
219	80	110	90	125	120	165	130	180	45	65	55	75	80	110	90	125



### 5.1.4 管道布置及支撑

制冷系统的各设备和部件通过管路连接而成整体，管道布置和支撑设计是系统设计的一个环节，设计正确与否，直接影响系统的安全性和经济性。

#### 5.1.4.1 管道布置

冷库管道材料的选用，既要符合系统的要求，也要考虑其积极性。对氨系统管道一律采用无缝钢管，直接与氨接触的管壁不允许镀锌。对氟系统管道选用铜管、碳素钢管均可，由于钢管的价格比铜管低，制冷量大的氟系统也一般选用钢管。在进行制冷管道布置时，要注意以下要点：

(1) 管道布置力求经济合理，考虑共用支架、吊点和节省隔热工程的工作量；对并联设备（特别是蒸发器排管），配管时一定要对称布置，以便供液均匀，管子排列外形要整齐、美观。

(2) 在同一标高上不应有平面交叉，也不允许在绕过建筑物的梁、板时形成上下弯。

(3) 穿过建筑围护结构时，应尽量合并穿墙孔洞，有时候即使多费一点管线也应当这样做。因为穿过围护结构的孔洞会破坏围护结构绝热层与隔气层的连续性和密封性，因而都必须作特殊处理。有许多冷库围护结构绝热防潮失效，管道穿墙处理不当是重要原因之一。因此在设计布置管道时应顾全大局，作全面的技术经济上的衡量。

(4) 库房内部的管道应吊在梁板上，不应在内衬墙上设支架。所有吊点应在土建施工时预埋。

(5) 各种管道在支架、吊架上的排列，应该是供液管在下，回气管在上，热氨管在最上或外侧，如图 5-11 氨管道用经过防腐处理的木材作垫块，不应与型钢支吊架直接接触。

(6) 接管应有防震措施，较长的接管应有架子支撑，以免震动损坏或碰伤。较长管子与设备连接时，严格要求垂直和水平。以使制冷剂沿直线方向运动而减少震动。如冷热管道穿墙时，应设管套，否则冷热管道穿过墙将会对墙产生拉力和推力。

(7) 各种管道的安装 QS 坡度及坡向按表 5-4 采用。各种管道吊点最大间距按表 5-6 采用。

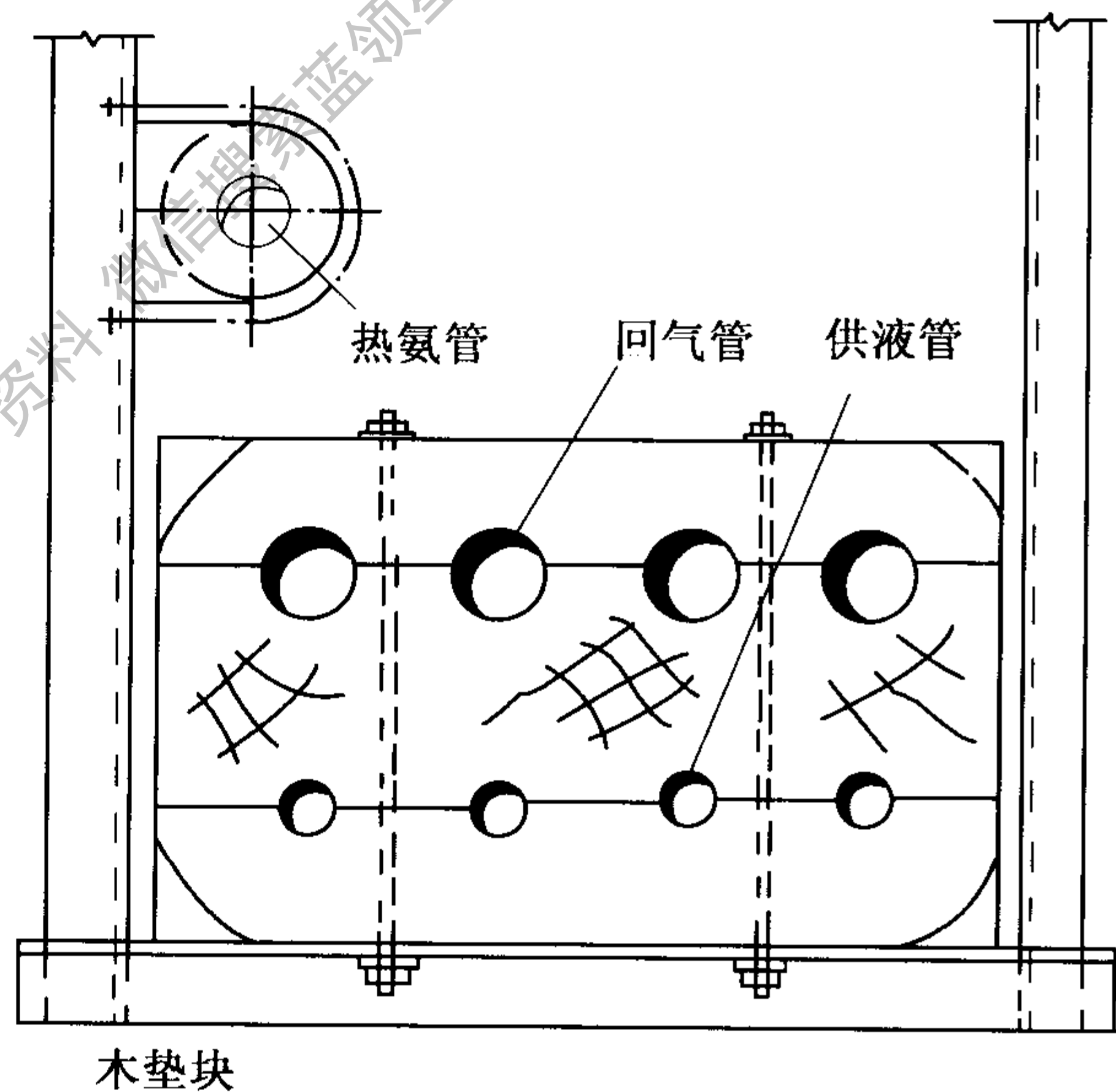


图 5-11 管道的排列



表 5-4 系统管道坡度及坡向

管道名称	倾斜方向	倾斜度参考数值 (%)
压缩机排气管至油分离器的水平管段	向油分离器	0.3~0.5
与安装在室外冷凝器相连接的排气管	向冷凝器	0.3~0.5
压缩机吸气管的水平管段	向氨液分离器或低压循环贮液器	0.1~0.3
冷凝器至贮液器的出液管其水平管段	向贮液器	0.5~0.1
液体调节站至蒸发排管的供液管水平管段	向排管	0.1~0.3
蒸发排管至气体调节站的回气管水平管段	向排管	0.1~0.3

### 5.1.4.2 管道支撑

管道支撑由支架和吊架构成，一般采用角铁作支承，用 U 形双头螺栓管卡作固定，用圆钢或角铁作吊接。对管道有隔热层的，为防止冷桥，管与螺栓连接处用一块涂过沥青的木板夹住，木板的大小要与隔热层厚度相适应。

根据管道支撑的结构，可将支撑分为固定支架、半固定支架和吊架三种基本类型。固定支架通常是用焊接的方法将管道与支架完全固定，在冷库工程中，一般采用固定支架的较少。半固定支架通常是用一根圆钢或一条扁钢带做成管卡，两端有螺母将管道拉紧在支架上，当管道发生伸缩时，如管热胀推力能克服管卡所造成的侧应力，在轴向将产生小量位移，这就避免了管道截面内产生过高的力，因此这种支架成为半固定支架。活动支架是允许管道在支架上作一个或两个方向的滑移。此外由于工程上的需要，也常用吊架代替支架。半固定支架和吊架的基本结构如图 5-12 所示。

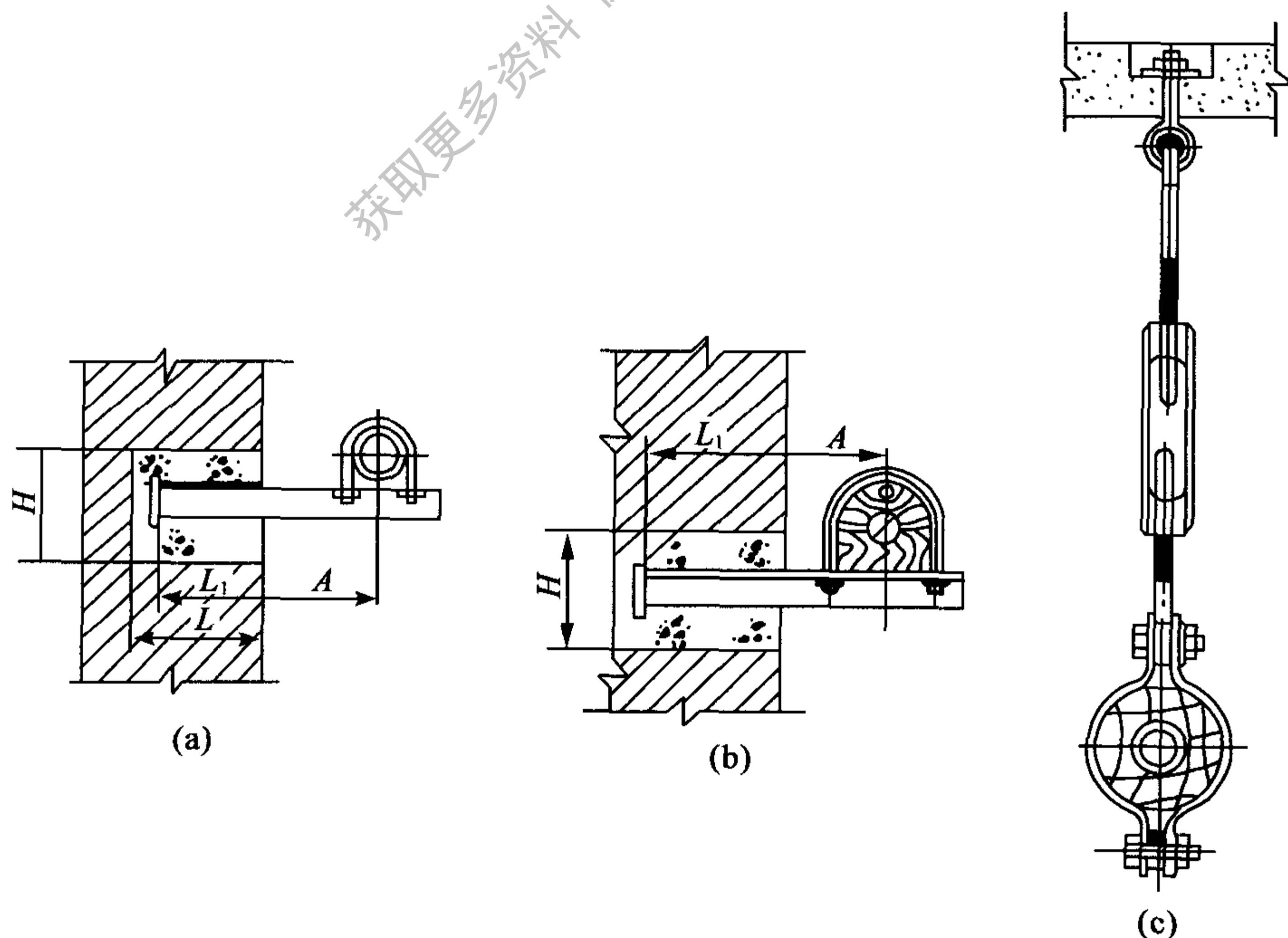


图 5-12 常用的半固定支架和吊架的结构图

(a) 无保温半固定支架 (b) 有保温半固定支架 (c) 吊架

管道支撑的布置取决于管道的布置形式和管道的受力情况。首先根据管道数量和管道在梁、柱、墙的布置情况来分析管道和支架的受力情况，选择合适的吊支架固定方式，进而决定吊支架间距，布置吊支架，同时在建筑物内要预埋合适的金属物件以连接吊支架。管道支架和吊架最大允许距离主要是由承受的垂直方向的载荷所决定的。表 5-5 所列为管架之间的最大距离，可供设计时参考。

表 5-5 管道支、吊架最大距离

外径 × 管道壁厚 (mm)	气体管道 (不带保温层)	氨液管道 (不带保温层)	气体管道 (带保温层)	氨液管道 (带保温层)	热水管道 (带保温层)
10 × 2	—	1.05	—	0.27	—
14 × 2	—	1.35	—	0.45	—
18 × 2	—	1.55	—	0.60	—
22 × 2	1.95	1.85	0.75	0.76	0.76
32 × 2.5	2.60	2.35	1.02	1.02	1.02
38 × 2.5	2.85	2.50	1.20	1.16	1.16
45 × 2.5	3.25	2.80	1.42	1.40	1.40
57 × 3.5	3.80	3.33	1.92	1.90	1.90
76 × 3.5	4.60	3.94	2.60	2.42	2.42
89 × 3.5	5.15	4.32	2.75	2.60	2.60
108 × 4	5.75	4.75	3.10	3.00	2.95
133 × 4	6.80	5.40	3.89	3.65	3.60
159 × 4.5	7.65	6.10	4.56	4.3	4.25
219 × 6	9.40	7.38	5.90	—	5.40
271 × 6	10.90	8.40	7.35	—	6.55
325 × 8	12.25	9.40	8.66	—	7.55
377 × 10	13.40	10.40	10.00	—	8.70

## 5.2 氨系统设计

以氨为制冷剂的制冷系统称为氨制冷系统，在我国氨制冷系统是冷库最常用的制冷系统。由于氨有环境可接受性好，近年来在国外的冷库中也重新开始使用氨。

### 5.2.1 库房系统

氨库房系统有直接膨胀式、重力供液式和液泵强制供液式三种，其中常用的是后两种。

#### 5.2.1.1 重力供液式库房系统

重力供液式库房系统主要用于小型冷库和制冰间、也可用于冷藏间，其基本组成见图 5-13。由机房来的高压氨液经浮球阀节流进入气液分离器，低压氨液由分配器分配到各蒸发器，蒸发后的氨蒸气经气体分配器回到气液分离器，与节流产生的闪发蒸气一起到压缩机或机房气液分离器。

图 5-13 为带有热氨融霜的重力供液式库房系统，如无热氨融霜，则去掉融霜热蒸气分配器和排液分配器即可。

重力供液式库房系统布置时应注意气液分离器液面至蒸发器出液口的高差，其静压差应大于蒸发器、调节站和管路的流动阻力之和。在多层冷库中，库房气液分离器应分设，且应

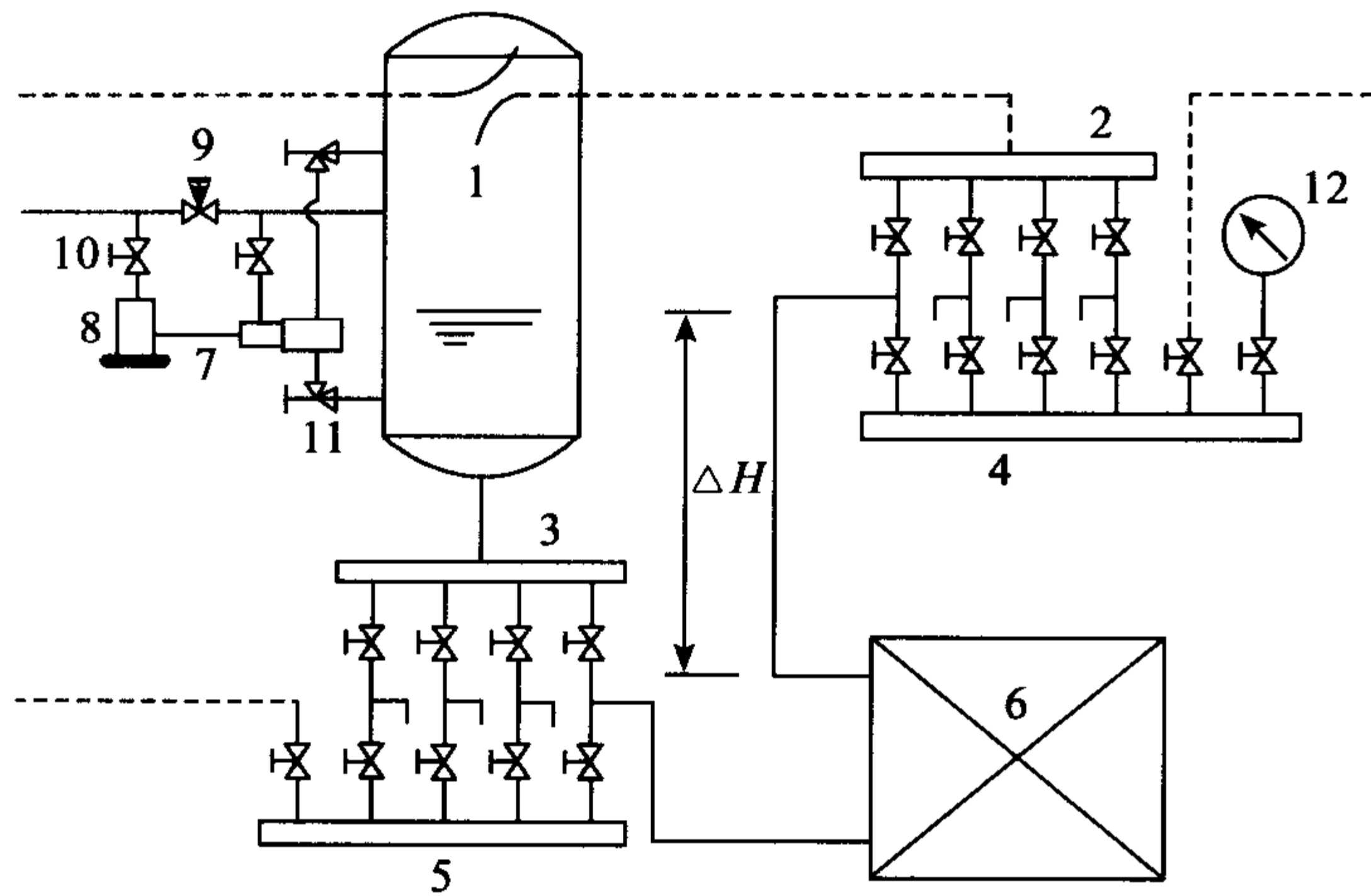


图 5-13 重力供液式库房系统示例

1. 气液分离器 2. 回气分配器 3. 供液分配器 4. 融霜热蒸气分配器 5. 排液分配器  
6. 蒸发器 7. 浮球阀 8. 过滤器 9. 节流阀 10. 直通截止阀 11. 直角截止阀 12. 压力表

设在所供液楼层的上面一层。

不同蒸发温度的系统应分设气液分离器，以气液分离器为中心的作用半径应不大于 30m。

冷风机与冷却排管应分设气液分离器。当墙排管和顶排管共用一根进液管时，如并联则应先接顶排管，后接墙排管。如串联则应先进顶排管，后进墙排管。在进液管的末端应设放油装置，以防积油影响供液。

重力供液式库房系统的缺点是：蒸发器内制冷剂流速低，浸润面积小；操作距离长，监视困难。但其造价和能耗优于强制供液系统。

#### 5.2.1.2 强制供液库房系统

液泵强制供液库房系统，广泛应用于各种冷库。与重力供液系统相比，液泵强制供液系统的优点是：

- (1) 制冷剂流量是蒸发量的数倍，故而流速高，浸润充分，换热效果好；
- (2) 离开蒸发器的制冷剂为湿蒸气，回气过热度小，系统制冷系数高；
- (3) 便于实现自动化；
- (4) 所有控制、操作均集中在机房和设备间，便于监控。

图 5-14 为液泵强制供液库房系统的流程图，图中采用蒸发器下进上出供液和融霜加压排液的方式。

来自节流阀的制冷剂低压液体进入低压循环贮液器后，经液泵再加压送至供液分配器，到各蒸发器蒸发，蒸发后的制冷剂蒸气与未蒸发的液体经回气分配器回到低压循环贮液器蒸气与节流产生的闪发蒸气由压缩机抽走，未蒸发的液体又由液泵加压重复循环。

在液泵强制供液库房系统中，制冷剂流量与蒸发量之比称为再循环倍率。再循环倍率愈大，蒸发换热系数愈大，但蒸发器管内流动阻力也愈大。实验证明，当再循环倍率  $n \leq 2$  时，随着  $n$  的增大，蒸发器热流密度显著增大；当  $n = 4 \sim 6$  时，热流密度增加缓慢；而  $n = 6 \sim 12$  时，热流密度基本不变；如  $n > 12$ ，随着  $n$  的增大，热流密度反而下降。因此，存在一个最佳再循环倍率，使得蒸发器热流密度最大。在工程中，可根据不同的供液方式、制冷



剂种类以及负荷是否稳定，在表 5-6 中查取再循环倍率。

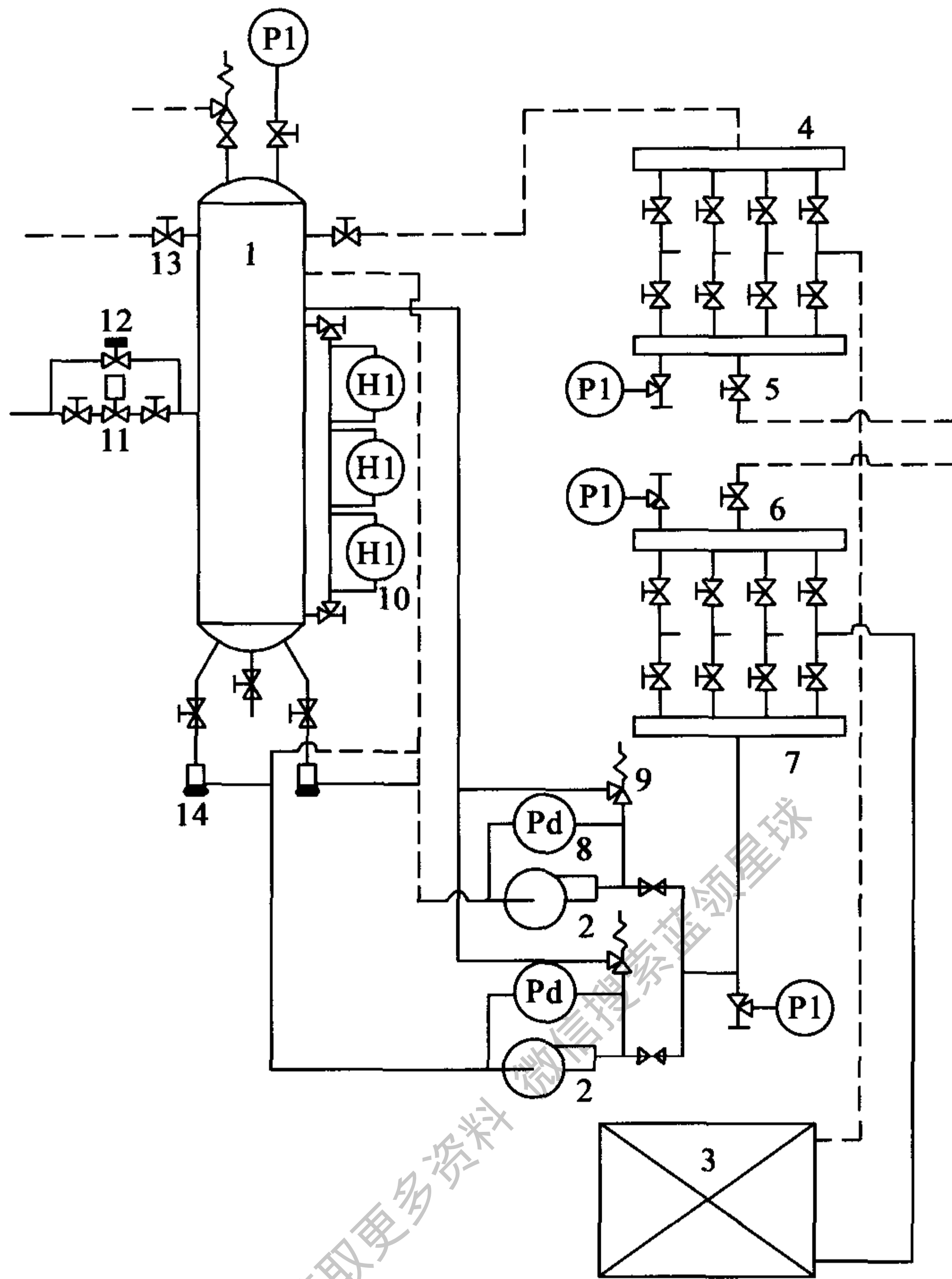


图 5-14 液泵强制供液库房系统流程图

1. 低压循环贮液器 2. 液泵 3. 蒸发器 4. 回气分配器 5. 融霜热蒸气分配器  
6. 排液分配器 7. 供液分配器 8. 压差控制器 9. 自动旁通阀 10. 液位控制器  
11. 电磁阀 12. 手动节流阀 13. 截止阀 14. 过滤器

表 5-6 再循环倍率

制冷剂	冷负荷稳定		冷负荷不稳定	
	下进上出系统	上进下出系统	下进上出系统	上进下出系统
R717	3~4	4~5	5~6	6~7
R12		2		3
R22		3		4.5

根据蒸发器供液方式的不同，液泵强制供液库房系统分为下进上出和上进下出两种。上进下出是指从蒸发器的上部管道进液，制冷剂在蒸发器中自上而下流动。采用这种方式时，蒸发器内部液量少、冷惰性小、无静液柱影响、融霜无须先排液、蒸发器中的油易冲出；但

配液困难、蒸发器管内制冷剂浸润差、低压循环贮液器的位置须低于最低一台蒸发器、下进上出指从蒸发器的下部管道进液，制冷剂在蒸发器中自下而上流动。其配液均匀、蒸发器管内制冷剂浸润好、低压循环贮液器位置与蒸发器无关，目前的氨冷库大多采用下进上出方式。

低压循环贮液器的液位由三个液位控制器控制，中间的液位控制器控制正常液位，为双位控制；当液位低于下限时，发出使供液电磁阀开启的信号；当液位达到上限时使电磁阀关闭。下面的液位控制器为单点控制，当液位到下限位时，发出信号报警并关断液泵电源，以防蒸气进入液泵造成气蚀。上面的液位控制器也为单点控制，当液位到其上限时，发出信号报警并关断压缩机电源，以防止液体进入吸气管造成液击。

如制冷剂进入液泵入口的压力低于制冷剂实际温度下的饱和压力，将蒸发成为蒸气进入液泵，产生气蚀。为防止这种现象，要求液泵入口的压力比其饱和压力高，这二者之差称为净正吸入压头 NPSH (Net Positive Suction Head)。液泵的 NPSH 是液泵的性能参数，其数值大于液泵入口的加速损失与涡流损失之和。为保证 NPSH，低压循环贮液器设计液位与液泵入口之间应有足够的高差  $H$ ， $H$  可按下式计算：

$$H\rho g - \sum \Delta p = 1.3\text{NPSH} \quad (\text{Pa}) \quad (5-10)$$

式中： $H$ ——低压循环贮液器设计液位与液泵中心的高差 (m)；

$\rho$ ——蒸发压力下制冷剂饱和液体的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$g$ ——重力加速度 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )；

$\sum \Delta p$ ——吸入管路流动阻力之和 (Pa)。

如缺少液泵的 NPSH 数据，当制冷剂为 R717 时，高差可参考表 5-4 中的数值。

一般来说，低压循环贮液器放置在架空平台上，而液泵安装在地面或地坑中，位于低压循环贮液器的正下方，而管路尽可能的短。

当液泵停止工作时内部液体因温度逐步升高而蒸发，使液泵无法再次启动。为了排除液泵中的气体，液泵吸入管与低压循环贮液器之间设有抽气管。

在液泵入口与排出口之间，设有压差控制器。如液泵中有气体而不能建立正常压差时，经延时切断液泵电源。

如液泵出口处压力过高，则自动旁通阀打开，将制冷剂液体旁通。

## 5.2.2 机房系统

机房系统又称高压系统，随制冷量的大小和库温的不同而不同，本节只讨论典型的几种。

### 5.2.2.1 系统

机房系统由压缩机、油分离器、冷凝器、高压贮液器、中间冷却器、排液桶、集油器、空气分离器、紧急泄氨器等设备以及系统管路组成。

压缩机的级数和配合方式根据使用场合的具体要求和压缩机种类而定。如用活塞式压缩机，当库温高于  $-6^\circ\text{C}$  或制冰时，采用单级压缩；当库温为  $-6^\circ\text{C}$  及以下时，采用双级压缩；如既有高温负荷又有低温负荷，则采用混合系统。双级压缩应尽可能采用单机双级压缩机。当高温负荷相对于低温负荷很小时，可采用单机双级带中间负荷的系统。如采用螺杆式压缩机，只需采用单级压缩。

图 5-15 至图 5-17 为机房系统流程图。在图中，每种设备均只有一台，实际上根据需要，每种设备都可以是多台并联。图中所示机房系统适用于液泵强制供液库房系统，当库房

系统为重力供液时，机房中需设汽液分离器。

在图 5-15 中制冷剂循环回路为：压缩机压缩后的制冷剂蒸气经油分离器分离出所夹带的润滑油后进入冷凝器，凝结得到的液体少部分进入油分离器去洗涤压缩机排气，大部分进入高压贮液器；然后绝大部分送至库房系统，很少一部分至空气分离器；在库房系统中制冷

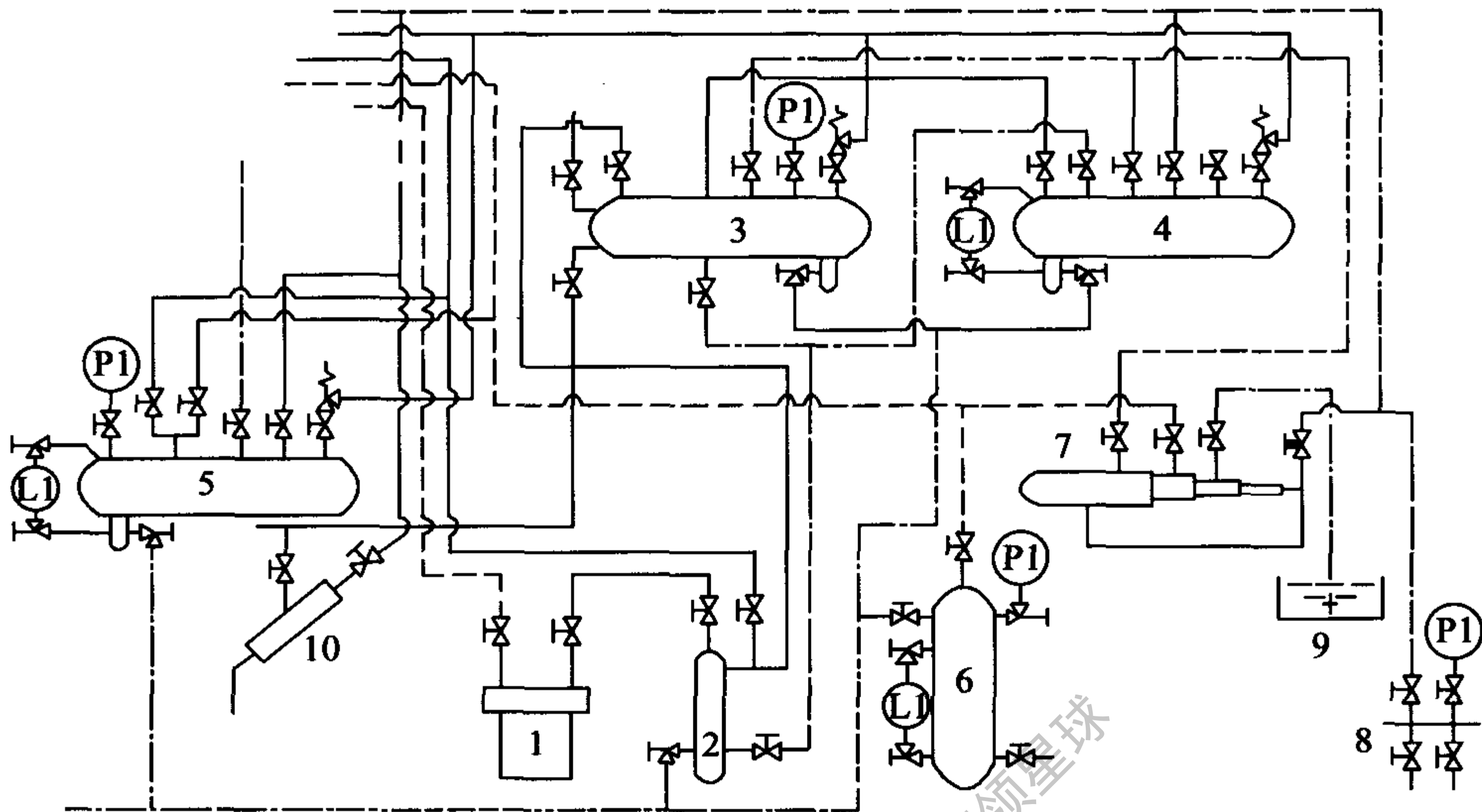


图 5-15 单级压缩氨制冷系统

1. 压缩机 2. 油分离器 3. 冷凝器 4. 高压贮液器 5. 排液桶 6. 集油器  
7. 空气分离器 8. 加氨分配器 9. 盛水容器 10. 泄氨器

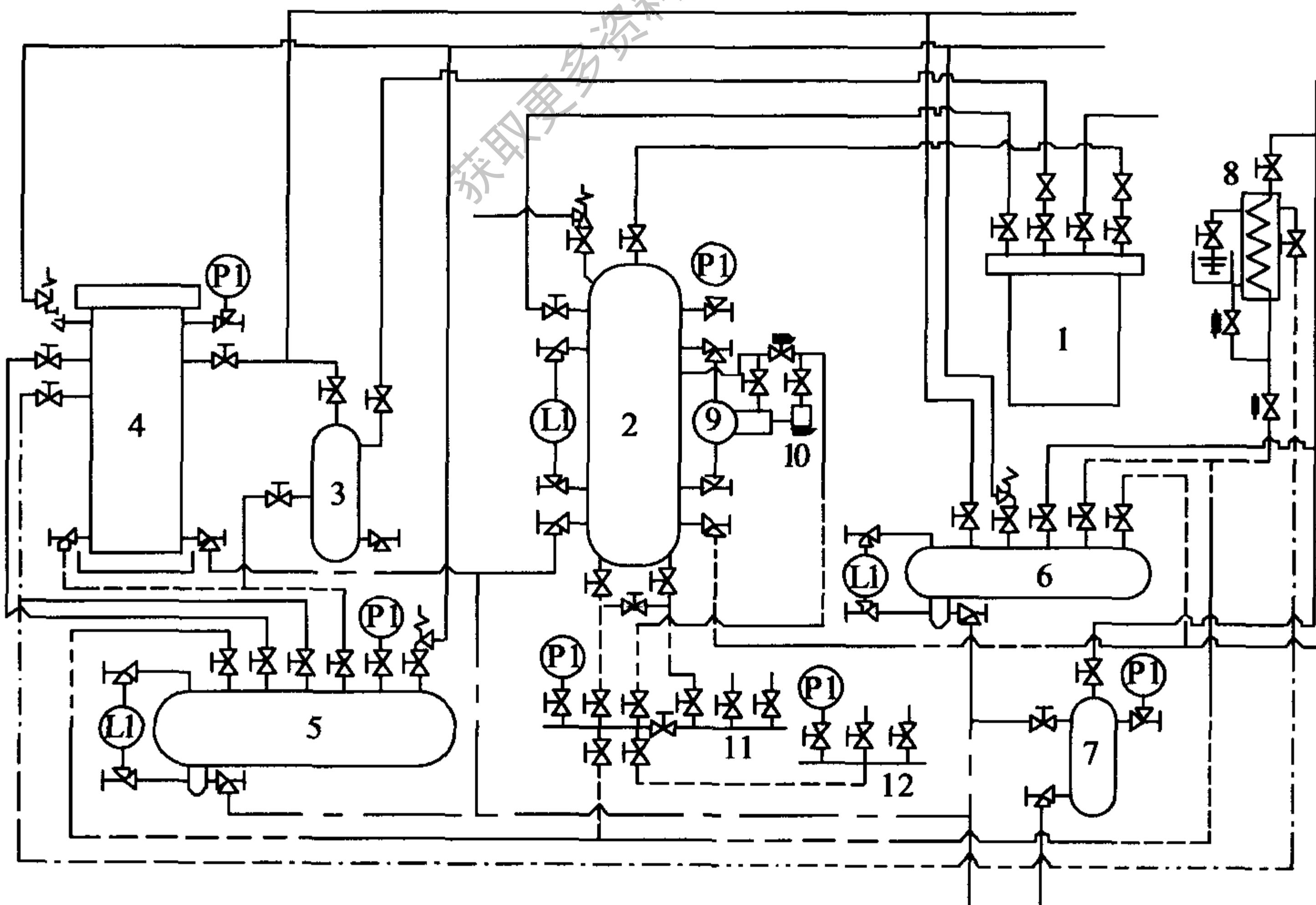


图 5-16 双级压缩氨制冷系统

1. 压缩机 2. 中间冷却器 3. 油分离器 4. 冷凝器 5. 高压贮液器 6. 排液桶  
7. 集油器 8. 空气分离器 9. 浮球阀 10. 过滤器 11. 高压分配器 12. 加氨分配器



剂蒸发制冷，蒸气又被压缩机吸入。

热蒸气融霜回路为：由油分离器至冷凝器的管道引出热氨蒸气送到库房系统的融霜热蒸气调节器，凝结后的液体经排液分配器排入排液桶；当排液桶进液时，可用连通低压循环贮液桶的抽气管减压；如需排出液体，则用来自融霜热蒸气管的热蒸气加压，将液体排至高压液体管。

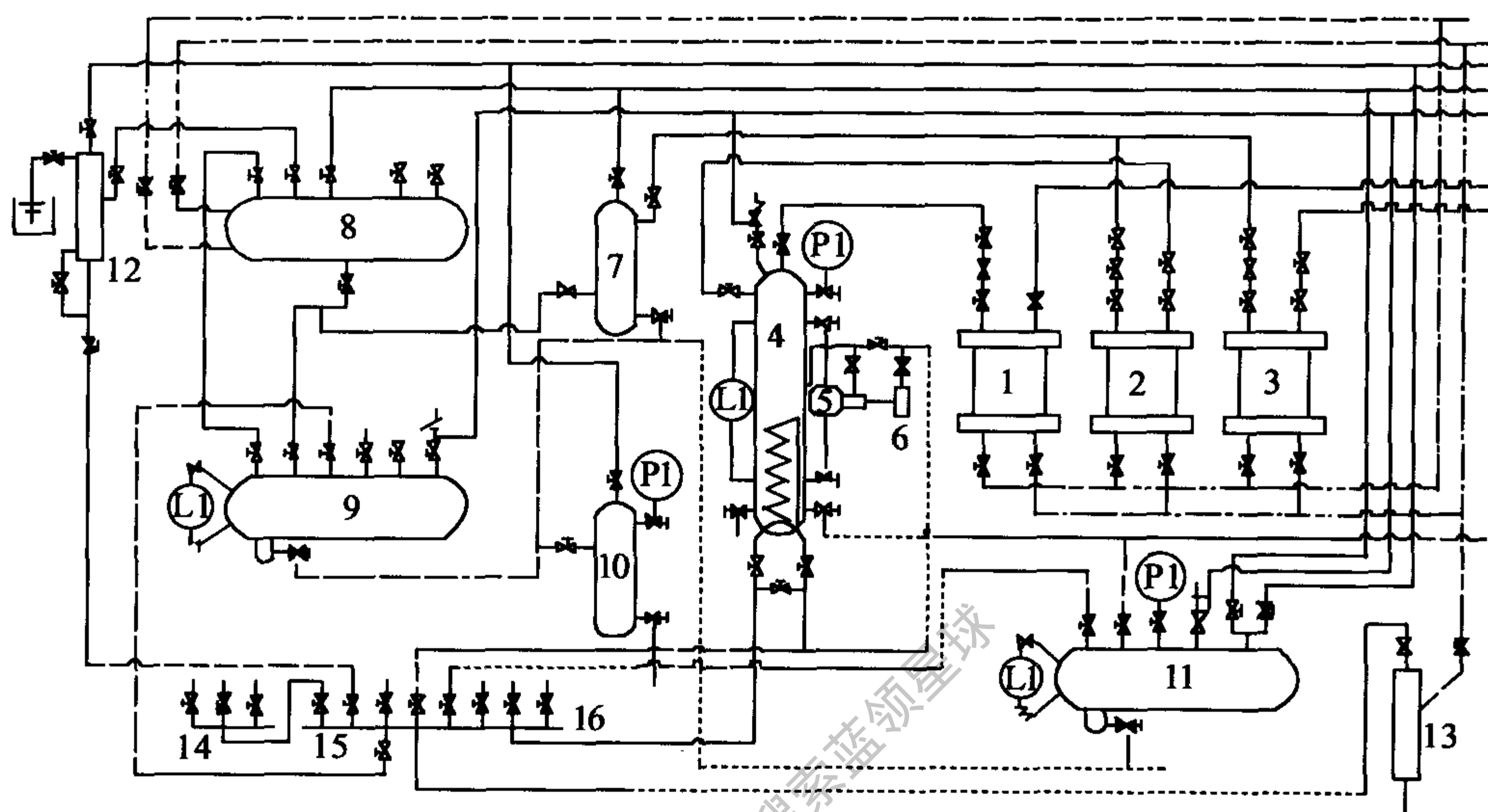


图 5-17 单一双级混合氨制冷系统

- |               |               |             |             |
|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 1. 双级压缩低压级压缩机 | 2. 双级压缩高压级压缩机 | 3. 单级压缩机    | 4. 中间冷却器    |
| 5. 浮球阀        | 6. 氨液过滤器      | 7. 油分离器     | 8. 冷凝器      |
| 9. 高压贮液器      | 10. 集油器       | 11. 排液桶     | 12. 空气分离器   |
| 13. 紧急泄氨器     | 14. 加氨分配器     | 15. 高温液体分配器 | 16. 低温液体分配器 |

系统放油通路为：各容器底部积存的油通过放油管放入集油器，混入的氨液在集油器中蒸发，经抽气管抽走，剩下的油即可放出。

系统放空气通路为：来自高压液体管的制冷剂液体节流进入空气分离器蒸发制冷，以冷却来自冷凝器 and 高压贮液器的混合气体，将其中的氨凝结下来再节流进入空气分离器制冷，空气从空气分离器排出至盛水容器中。

如机房发生重大事故，系统中的氨可通过紧急泄氨器排出至大型蓄水池或污水池。

图 5-16 与图 5-15 的不同之处在于压缩机为单机双级压缩机，并增加了一个中间冷却器。压缩机低压级排出的中压制冷剂蒸气进入中间冷却器冷却后，由高压级吸入再压缩，排气仍进入油分离器。离开高压贮液器的制冷剂液体进入高压分配器，一部分节流进入中间冷却器，补充其中的液体；另一部分进入中间冷却器再冷却盘管进行再冷却后，到高压分配器的另一端，分配到各个库房系统去。

将图 5-15 与图 5-16 结合起来即成为图 5-17。由于冷凝压力取决于冷却水的温度，单级与双级压缩机的排气压力相同，系统的高压部分是公用的。除单级压缩机从高温库房系统吸气，双级压缩机的低压级从低温库房系统吸气外，单一双级混合氨制冷系统与双级压缩氨制冷系统完全相同。

### 5.2.2.2 机器与设备布置

压缩机的基础应以生产厂的说明书为依据制做，两台压缩机或压缩机与其他设备之间的间距，根据维修的需要而定，并不小于 1m。压缩机的主操作面应朝向主操作通道，排水漏斗应尽可能靠近压缩机。机房内有多台压缩机时，宜将其斜放，以便操作和维护。启动设备应尽可能靠墙放置，其所占面积应加入压缩机的面积。活塞式压缩机的基础高度以 100mm 为宜。螺杆式压缩机的基础高度以 50mm 较合适。

立式壳管式冷凝器常与油分离器、高压贮液器、集油器一起放在室外，冷凝器安装在落水池上面，上部需设操作平台，其出液管口应比高压贮液器的进液管口高 150mm 以上，应比洗涤式油分离器进液管口高 250 ~ 300mm。

如采用卧式壳管式冷凝器，则与油分离器、高压贮液器、集油器一起放在室内。卧式壳管式冷凝器常与压缩机、油分离器、高压贮液器、一起组成机组。如用单独的卧式壳管式冷凝器，可架设在高压贮液器的上面，但两端必须留有足够的空间，以备检修维护之用。

高压贮液器安装在靠近冷凝器的地方，如布置在室外应避免阳光直射。如多个高压贮液器并连使用，必须装设液体联通管和平衡管，间距以 0.8 ~ 1m 为宜。高压贮液器基础的高度应为 300 ~ 400mm。

中间冷却器应靠墙距压缩机较近的位置安装，中间冷却器所占面积应包括本体、液位指示器、节流阀、其他附件和隔热层所占面积。为便于制做隔热层，基础应至少高于地面 0.3m，底脚与基础之间应垫 50mm 厚经防水处理的木块。中间冷却器筒体上有规定的液位高度线，应严格按其控制液位。

洗涤式油分离器与立式壳管式冷凝器配合使用，其安装高度也根据与立式壳管式冷凝器的相对位置而定。填料式油分离器与任何一种冷凝器配合使用都很方便，它的标高无严格限制，室外安装时基础高约 300mm，室内可地面安装。

低压循环贮液器有立式和卧式两种，国内常用立式。采用立式低压循环贮液器时，设备间须设一平台，将立式低压循环贮液器的中部安装在平台的开孔中，开孔半径为筒体半径加上隔热层厚度。低压循环贮液器底脚与基础之间应垫 80mm 厚经防水处理的木块。

排液桶通常布置在设备间，其水平位置应靠近低压循环贮液器或机房气液分离器，基础高度 300mm 左右。多台排液桶并联使用时，须设液体联通管和气体平衡管。高温、低温液体分配器设置在机房靠近压缩机与中间冷却器之处，面向主操作通道，其后侧距墙应留有检修阀门的空间，阀门手轮之间的间距应不小于 50mm。供液与回气分配器在设备间液泵后面的墙上，其他要求与高低温液体分配器相同。

空气分离器安装在机房的外墙上，其下部应有水池或贮水容器。

集油器应设于室外，其高度应使低压循环贮液器或气液分离器中的油依靠重力流入，但基础高度不应低于 300mm。

紧急泄氨器设于室外，一般是制做一个前面为玻璃的木箱，安装在机房的外墙上，将其装入。事故发生时将玻璃打碎进行操作。

### 5.2.3 融霜

众所周知，当制冷装置中蒸发器的温度低于 0℃ 时，蒸发器外表面就会结霜。霜层对冷库性能的影响很大，会使蒸发器的传热系数下降；库温降不下来；制冷量下降而功耗增大。若霜层厚度与钢管壁厚相等，则其热阻是管壁热阻的 94 ~ 443 倍（视霜层久积还是新积而定）。实践证明，当蒸发器的传热温差为 10℃，库内温度为 -18℃ 时，冷却排管工作一个月

后，其热流密度只有原来的 65% 左右。而冻结间用冷风机工作 7d 后，结霜不仅增大了传阻，而且使空气流动阻力显著增大，热流密度仅为原来的 49%。由此可知，为了充分发挥蒸发器的效能，必须定期除霜。

### 5.2.3.1 除霜方式

除霜的办法有：

(1) 人工扫霜 适用于冷却排管冷却的冻结物冷藏间，其操作简单，不影响库温，但劳动强度大，除霜不彻底。

(2) 水冲霜 适用于用冷风机冷却的冷却物冷藏间，水温需控制在 25℃ 左右，不可过高过低；虽然操作简单，但因水加热制冷剂，使得蒸发压力变化较大；如无专用放油设备，冷风机中的油不易排出；还要采取严格的技术措施以防止水对库房的危害。

(3) 制冷剂热蒸气融霜 适用于对库温要求不特别高的各种冷间，这种融霜方式设备较简单，容易操作，蒸发器中的油可以冲到排液桶中，但热蒸气带来的热量对库温影响大。

(4) 制冷剂热蒸气—水融霜 适用于对库温要求较高的用冷风机冷却的各种冷间，融霜时热蒸气从里面加热将霜层与蒸发器表面脱开，水从外面可很快将霜冲掉，还可利用热蒸气“烘干”蒸发器表面，这种融霜方式是 (2)、(3) 两种方式的联合使用，其效果好、速度快，但设备和操作都较复杂。

(5) 电加热融霜 适用于小型冷库，特点是结构简单、易于实现自动化；但耗电多、影响库温稳定；其他特点与水融霜相同。

以上各种融霜方法各有优缺点，在工程中究竟采用哪一种，应根据库房的大小、库内冷却设备的种类、库房系统的类型进行综合考虑。

### 5.2.3.2 热氨—水融霜

热氨—水融霜是氨制冷剂热蒸气—水融霜的简称，其库房和机房系统在图 5-13 至图 5-17 已经介绍，下面只讨论具体问题。

融霜水源应直接采用自来水，如水压不能保证，则需设融霜给水泵。融霜后的回水应排入循环水池，作为循环水的补充水。

融霜给水总管应敷设在常年温度高于 0℃ 的地方或加保温层，从总管至冷风机淋水管的支管布置见图 5-18。支管的库内部分应包隔热层，且隔热层应延伸到库外至少 1.5m，以防在库外产生凝结水。

融霜时，风机关闭，通热氨后打开给水阀，水从喷淋装置中淋下。融霜结束时，给水阀关闭后关断热氨，喷淋装置与给水支管中的残存水通过排水管和排水封排出，以防喷淋装置和库内水管冻结。同时，水封还可以防止风机吸入库外空气。

融霜后的回水由接水盘和融霜排水管排出，融霜排水的管内径应不小于

100mm，排水坡度应不小于 5%。融霜排水管最好设于库内地坪之上，管外须有隔热层和防潮层。融霜排水管的进口应加镀锌钢丝网，网孔尺寸为 25mm × 25mm 或 50mm × 50mm、丝径

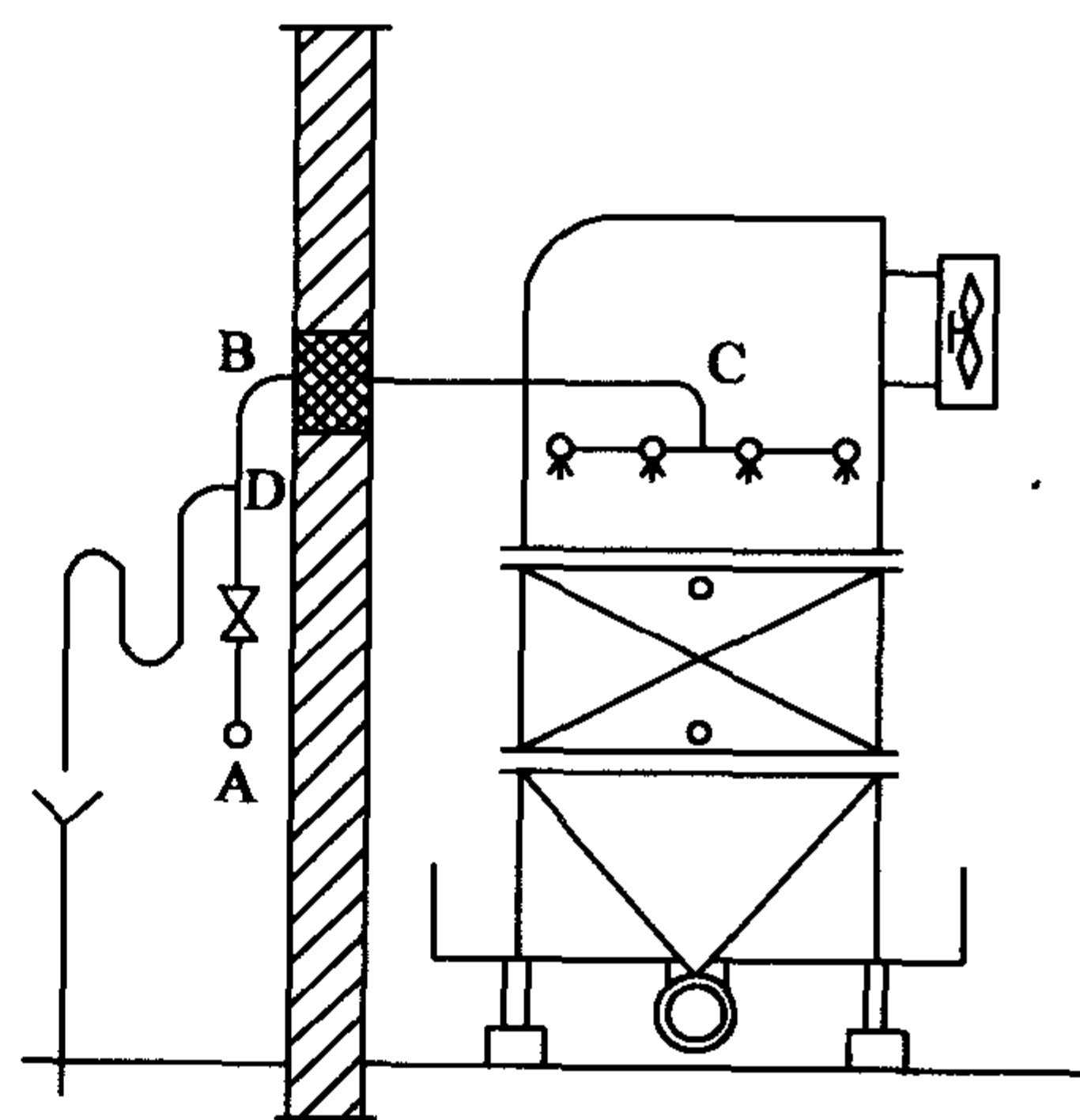


图 5-18 冷风机融霜给水



为 2~2.5mm，丝网面积为融霜排水管截面积的 10 倍左右。融霜排水管的出口应设水封井，防止室外空气进入库内。水封井应设于常年温度高于 0℃ 的地方或加保温层，融霜排水管的隔热层应延伸至水封井。

热氨是融霜的内部热源，融霜热氨蒸气的压力应不小于 0.6MPa，不大于 0.9MPa，融霜热氨的流量应小于压缩机排气量的 1/3。为了有较高的热氨温度，油分离器最好不用洗涤式。

融霜热氨管不应穿过冷间，可设于常温穿堂内或月台上，外包隔热层应采用耐高温的石棉、玻璃纤维毡、矿渣棉毡等材料。

#### 5.2.4 系统放空气

冷库在运转过程中系统内有时会混有空气及其他不凝性气体。冷库系统中往往由于抽真空未达标，系统密封不严，充注制冷剂时排空操作不规范，甚至运行工况恶化引起制冷剂和润滑油在高温下分解等原因形成不凝性气体。进入系统中的空气及其他不凝性气体在运行中最终都是集中在冷凝器中，妨碍冷凝器传热，将引起冷凝压力和排气温度升高，制冷量减少，功耗增大，经济性降低。因此，要根据空气及其他不凝性气体在冷凝中的聚集的情况（可根据冷凝液体的温度同冷凝压力的对应关系来判断）及时地予以排除。

因为空气及其他不凝性气体在冷凝器中与制冷剂蒸气混合在一起，直接从冷凝器中排放时不可避免地要同时放掉一部分制冷剂，不仅造成损失，而且还污染环境。为了减少所排空气及其他不凝性气体中制冷剂蒸气的含量，通常使用空气分离器。空气分离器的作用是用以清除冷库系统内的空气及不凝性气体，同时把其中的氨蒸气冷凝为氨液并予以回收。但对于活塞式氟立昂制冷系统和其他小型制冷系统，通常不单独设空气分离器，而是直接从冷凝器、高压贮液器或排气管上的放空阀把空气等不凝性气体放出，这样不可避免地会放出一些制冷剂，但制冷系统要简单些。

空气分离器有多种不同的结构型式，下面就两种常用的空气分离器的结构和原理予以介绍。

##### 5.2.4.1 卧式四重套管式空气分离器

图 5-19 示出了广泛用于氨制冷装置的卧式四重套管式空气分离器的结构图。它是由四个同心套管焊接而成，空气分离器的管腔，第一层同第三层连通，第二层同第四层连通；同时在第一层同第四层之间有一个装有节流阀的外接旁通管；空气分离器上还设有氨液进口、氨气出口、混合气体进口、空气出口。

图 5-20 示出它的管道系统。这种空气分离器的作用原理是：从调节站引来的高压氨液节流后由接头 3 处进入内管，并在内管和第三层管腔中蒸发；蒸发形成的蒸气从接头 4 引出，接到压缩机的吸气管上。由冷凝器来的拟排放的混合气体经接头 1 进入第四层管腔，由于受到冷却其中的氨气便在第二层及第四层管腔内冷凝成液体（因受气液平衡条件的制约，不可能全部冷凝）。冷凝的氨液集存于外管的底部，当其积存量较多时（可由外表面结霜情况判断）可打开节流阀 5 使之进入内管蒸发，从而予以回收。在空气分离器中不能冷凝的空气及其他不凝性气体由接头 2 处放出，经一根放气管通入水池中。这一方面可使放出的气体中所含的氨气溶解于水中，不致污染周围环境，同时也可检查冷库系统内的空气是否已被排净。当水池中不再出现大气泡，水开始发热且有噼噼响声时，即说明空气基本排净。

卧式四重套管式空气分离器安装时注意使氨液的一端稍高一些，约 30~50mm，以便使分离下来的高压氨液流进旁通管。

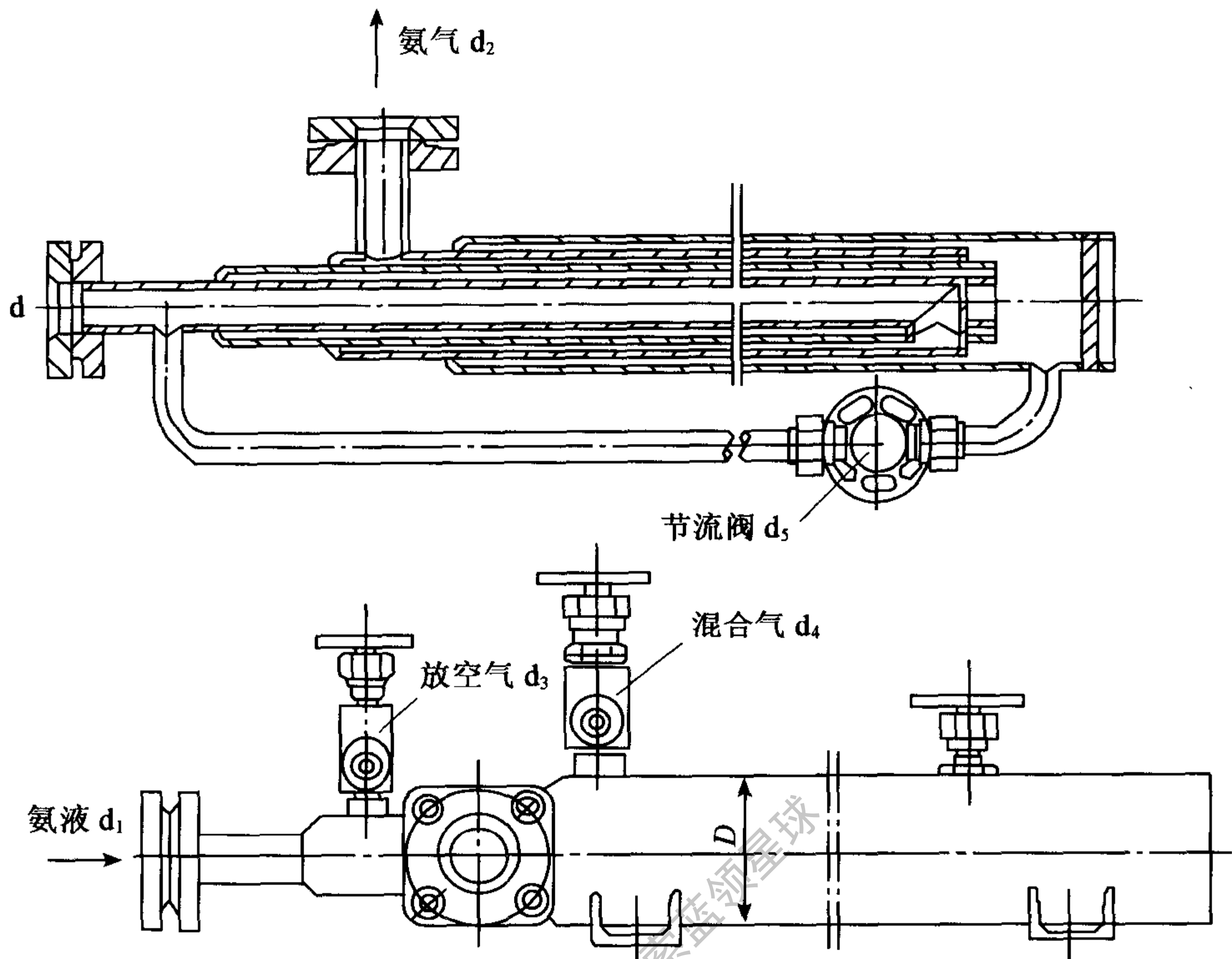


图 5-19 卧式四重套管式空气分离器

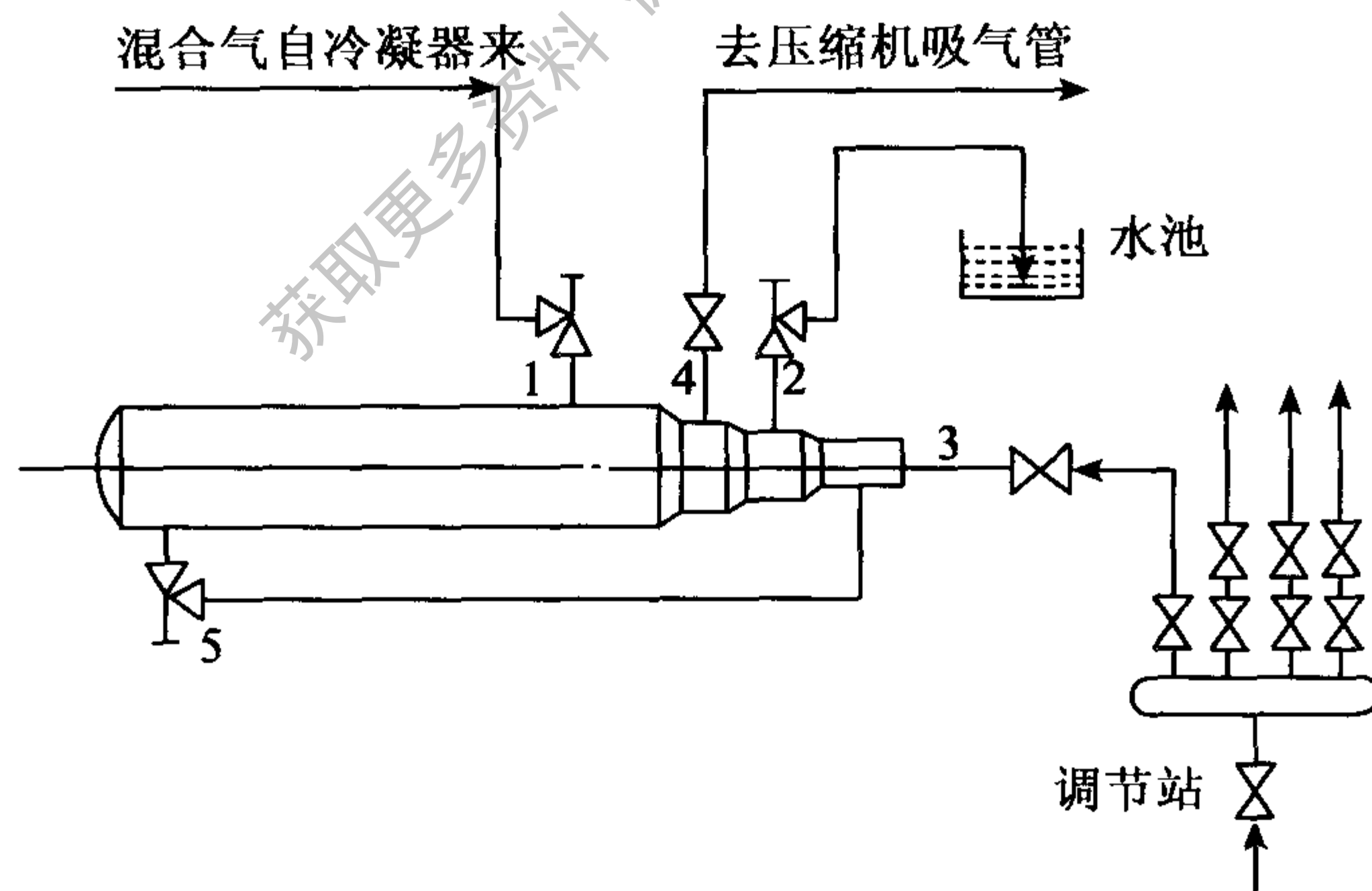


图 5-20 卧式四重套管式空气分离器的管道系统图

#### 5.2.4.2 立式壳盘管式空气分离器

图 5-21 示出了一种应用于氨制冷装置的立式壳盘管式空气分离器的结构图。它的壳体由无缝钢管制成，在两端加封的壳件中有一组冷却盘管，下端与进液管相通，上端与压缩机回气管相接，盘管由于氨液的蒸发成为一个小型蒸发器。壳体的中部侧面和上部侧面分别焊接混合气体入口管接头和放空气接头，混合气体进入壳体中即与盘管表面进行热交换，凝结下来的高压液体通过底部的排液管回到贮液器，或者通过膨胀阀送入盘管重新利用；分离出来的空气及不凝性气体由上部的放空气口放至水池中。壳体顶部设有一温度计插座，用以

测量壳体内混合气体的温度，根据温度变化掌握放空气的操作。整个空气分离器的外面用隔热材料隔热。这种空气分离器装上自控元件，即可实现放空气自动操作。

图 5-22 为应用立式壳盘管式空气分离器的系统原理图。冷凝器、贮液器中的不凝性气体与氨的混合物，由放空气管进入空气分离器的壳体，冷却用的氨液经膨胀阀进入管圈。混合气体中的氨气被冷凝成液体，经阀 7 及管泻入贮液器，余下的不凝性气体则从放空气阀排出。空气分离器顶端插入温度计，根据壳体内温度的变化掌握放空气操作。由于壳体内的温度随着混合气体中氨气比例的减少而降低，随着氨气比例的增加而上升，若壳体内为氨气或绝大部分为氨气，冷凝时其温度相近于排气压力下的冷凝温度，若壳体内氨气很少，则温度将显著降低，此时即应放空气。空气放完后，含氨气的混合气体补充进来，温度将回升，此时即停止放空气。

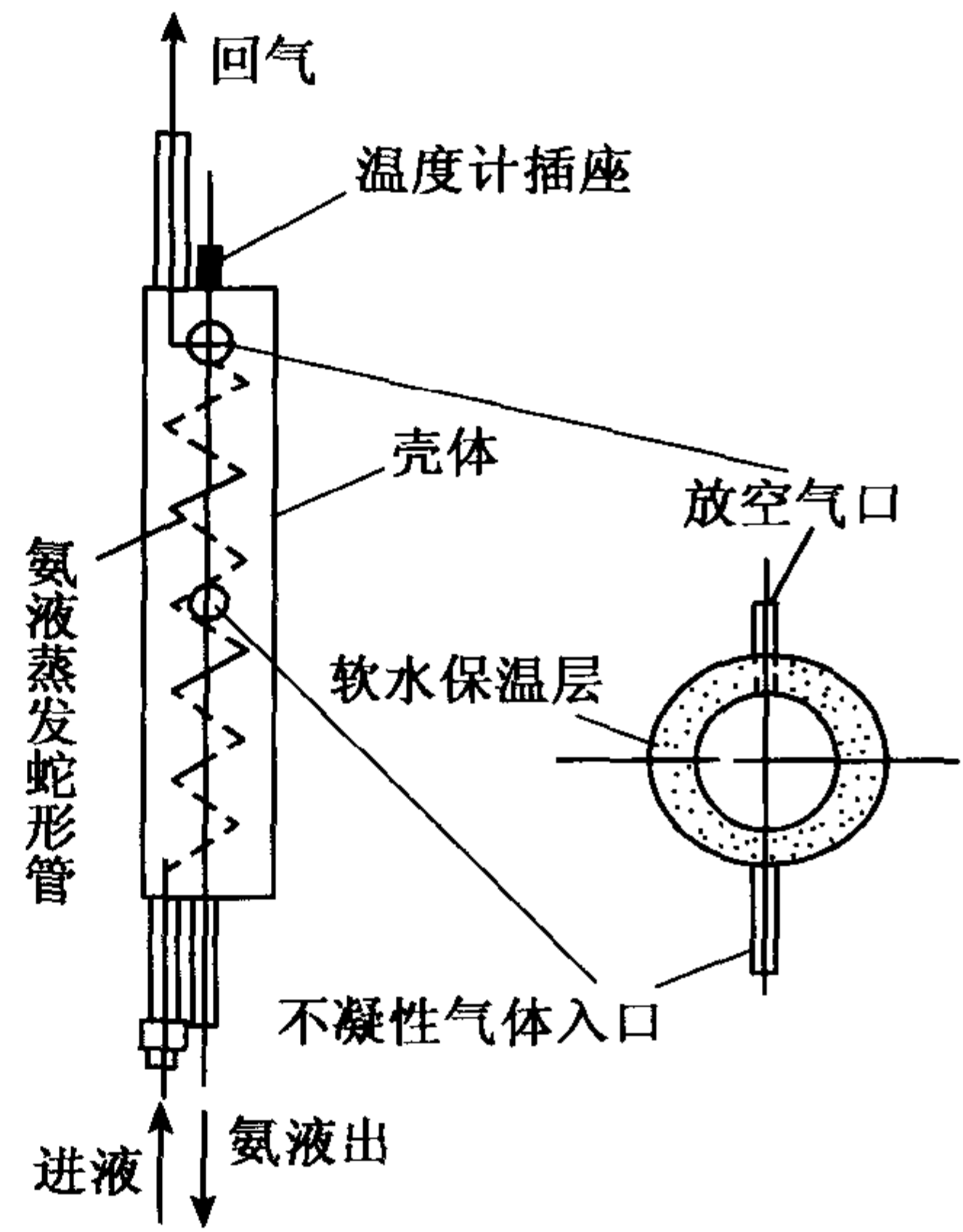


图 5-21 立式壳盘管式空气分离器

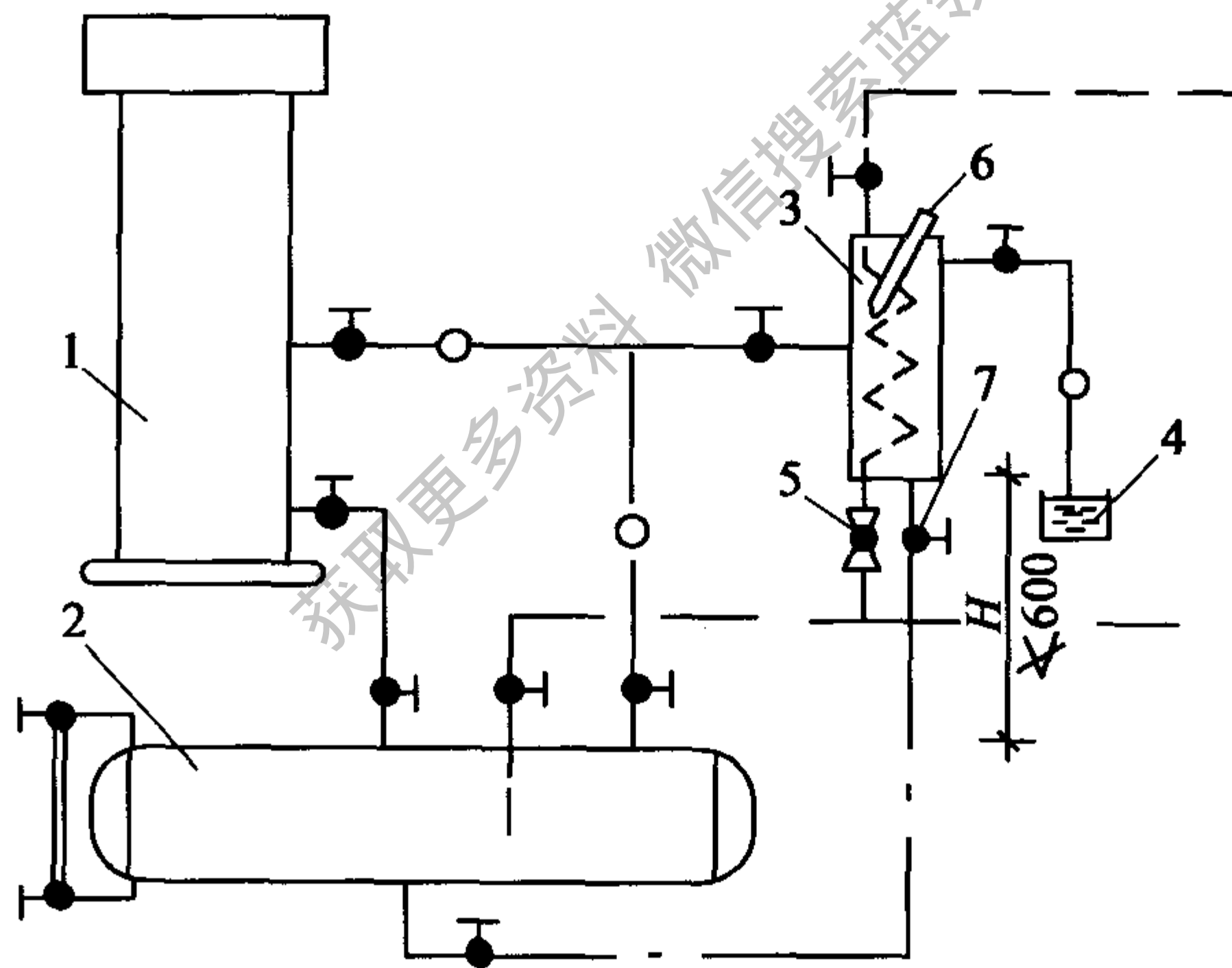


图 5-22 放空气装置系统原理图

1. 冷凝器 2. 贮液器 3. 空气分离器 4. 玻璃容器 5. 膨胀阀 6. 温度计插座 7. 截止阀

### 5.2.5 系统放油

冷库压缩机工作时需要润滑油在机内起润滑、冷却和密封作用。系统在运行过程中润滑油往往随压缩机进入冷凝器甚至蒸发器，使它们的传热效率降低，影响整个制冷装置技术性能的发挥。因此，必须设法将润滑油从制冷剂中分离出来并予以回收，这就需要设润滑油的分离和收集设备。在本节中仅介绍氨系统中用于收集高中压端润滑油的设备即集油器。

集油器又叫放油器。它用于氨制冷装置中用来存放从油分离器、中间冷却器、冷凝器及贮液器中分离出来的润滑油，并在低压下将油放出。图 5-23 示出了集油器的结构图。集油器是一个立式圆筒形容器，系由钢板壳体及封头焊接而成。筒体上部的进油管与其他设备的放油管相连，各设备的油氨混合液由此放入集油器内（注意：只允许各个设备单独放油）；



筒体顶部抽气管与系统的回气管相连，作回收氨和降低筒体压力之用；筒体下侧有放油管，以便把分离氨气之后的润滑油从集油器内放出；此外筒体上还有液面指示器和压力表接头。

集油器的底座离地面应有适当的高度，一般不宜小于 300~500mm，以便于在放油管下放置承接油的容器。高压和中压容器的工作压力大于系统的回气压力，其中的润滑油可以借助压力差流入集油器，所以集油器与他们之间的相对高度不是主要的。

低压容器可以不通过集油器而直接放油，但放油阀及放油管径应加大至 Dn25。若采用通过集油器放油的方案时，不宜与高压侧的放油共用集油器，以免由于操作失误或者阀门关闭不严而引起“串压”。

在向各个设备收集润滑油时，先开启顶部的抽气阀，利用压缩机抽气使集油器内压力降低，达到规定压力值后关闭抽气阀。然后打开将相应设备中的油放入集油器，此时应注意集油器内油面高度，当达到一定高度时即停止进油，关闭进油阀。当集油器内集存一定数量的油时（存油达到内容积的 70%）即需放油。放油时应先打开抽气阀（此时进油阀已关闭），使溶解于油中的氨蒸发并被压缩机抽回（但不要抽到真空状态）。然后关闭抽气阀，打开放油阀，直至放完为止。集油器及油分离器的管路系统如图 5-24 所示。

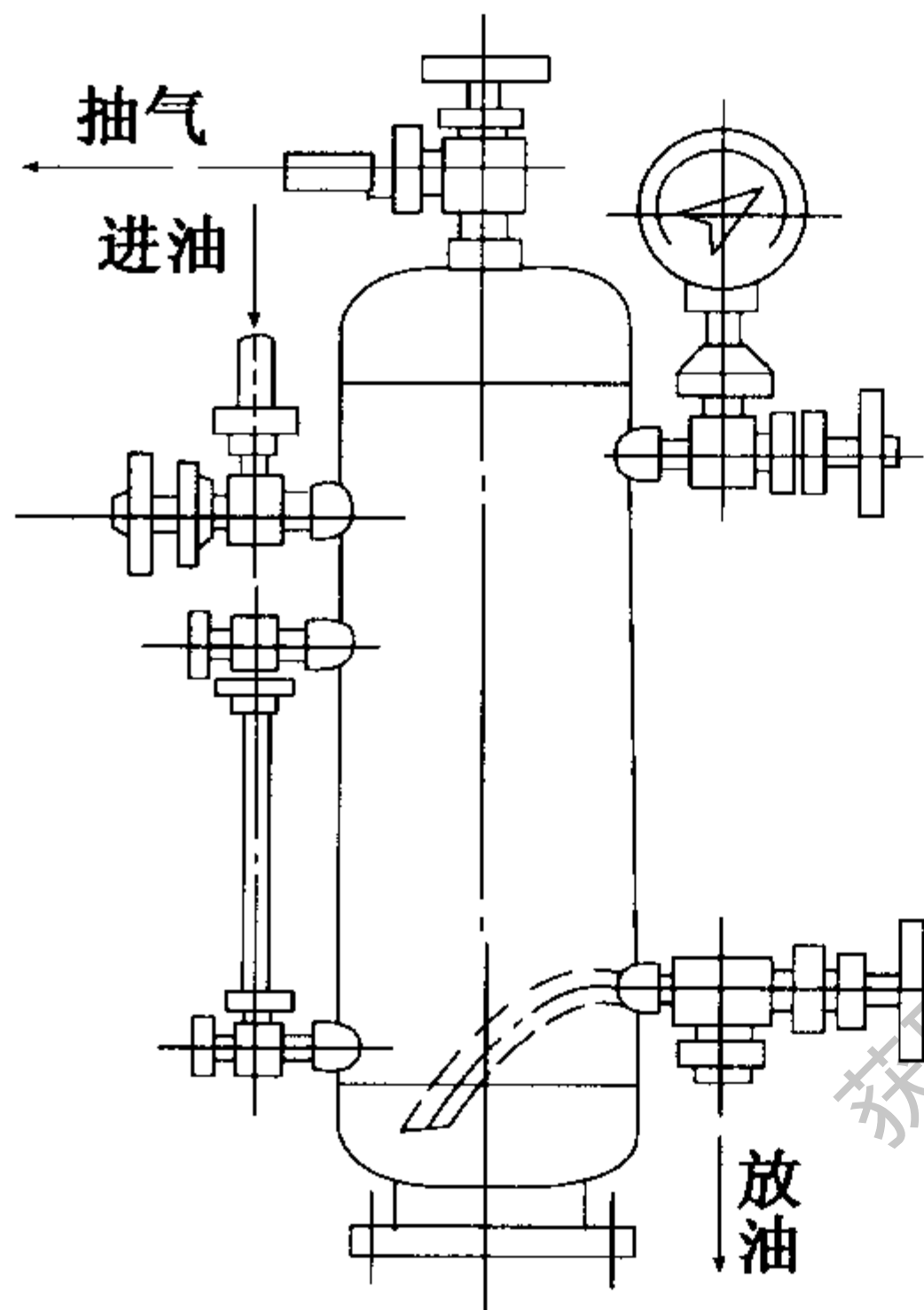


图 5-23 集油器

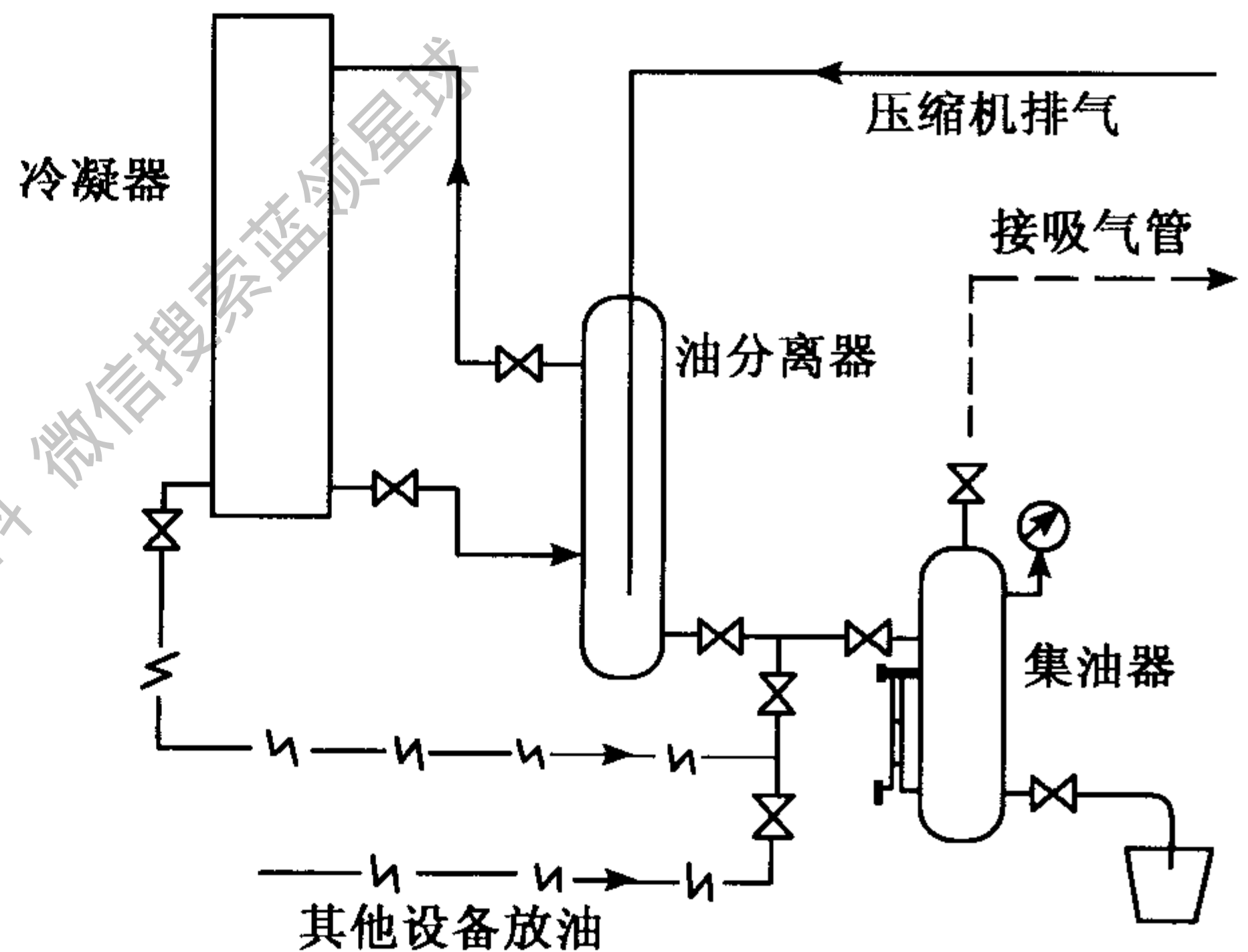


图 5-24 集油器及油分离器的管路系统图

### 5.3 卤代烃系统设计

卤代烃制冷系统所用的制冷剂为 R12、R22、R134a、R152a、R502 等，虽然制冷剂不同，但系统设计基本相同。

#### 5.3.1 系统特点

与氨制冷系统相比，卤代烃制冷系统重要特点是：

(1) 油分离器具有加油管路；卤代烃制冷剂的排气温度一般比相同工况下氨的排气温度低，润滑油一般不碳化，故从排气中分离出的润滑油不带小碳粒，可以直接返回压缩机曲轴箱内。

(2) 卤代烃制冷系统中必须进行干燥处理，一般应有干燥设备，且必须严格掌握制冷剂的含水量；由于卤代烃制冷剂与水基本不互溶，进入卤代烃制冷系统中的水会在节流时冻结下来，产生冰堵；卤代烃制冷剂中含水会造成对零部件和电机绕组的腐蚀，并产生不凝性

气体。

(3) 卤代烃制冷系统设计的蒸发压力应高于大气压力，以防空气进入系统。

(4) 系统设计时要考虑回油；要考虑蒸发器的结构、供流方式、与压缩机之间管道的尺寸等因素，使未被油分离器分离出来的润滑油能连续、均匀、全部的返回压缩机；既要保证回气管的流动阻力不太大，又要保证回气的带油速度；多台压缩机并联工作时，应设均油管。

(5) 在相同制冷量的条件下，卤代烃制冷设备和管道的尺寸较氨系统的稍大。

(6) 应用全封闭压缩机的系统可不设油分离器，直接采用夹带回油。

### 5.3.2 单级压缩系统

单级压缩系统的组成如图 5-25 所示，用于蒸发温度  $-25^{\circ}\text{C}$  以上的场合。与氨系统相比，显得相当简单。

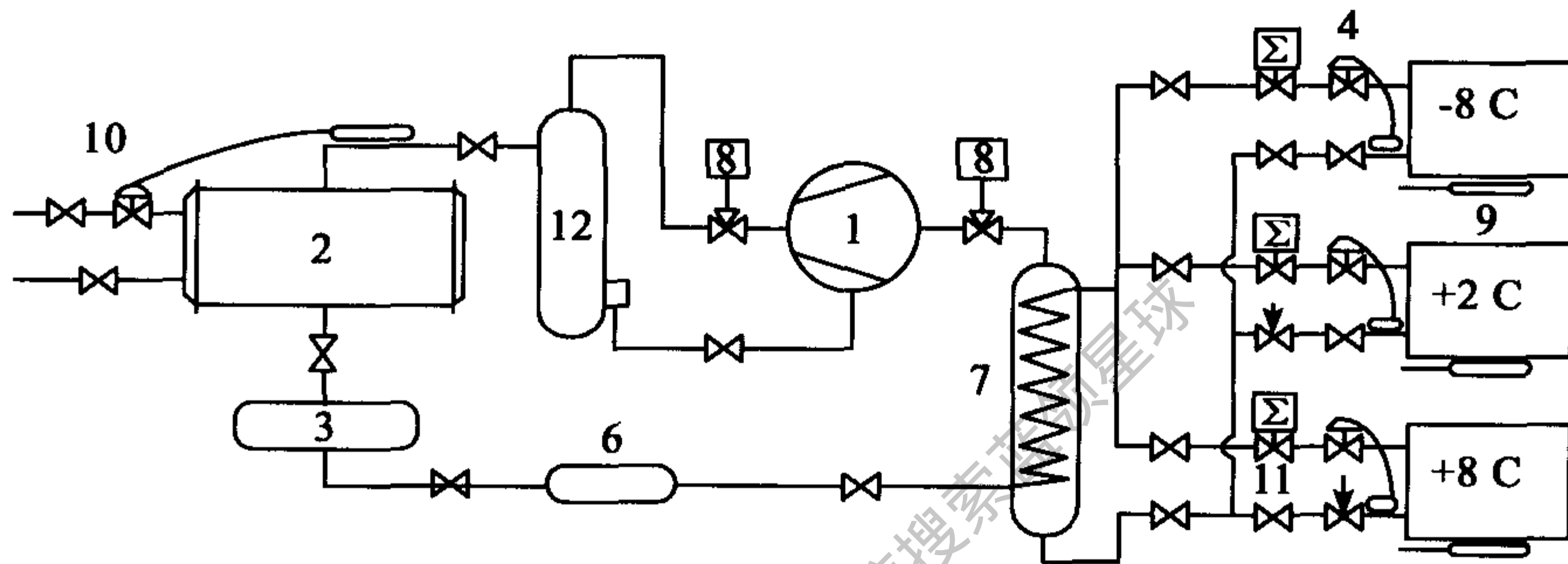


图 5-25 单级压缩卤代烃制冷系统系统

1. 压缩机 2. 冷凝器 3. 贮液器 4. 热力膨胀阀 5. 蒸发器 6. 干燥过滤器 7. 回热器  
8. 压力控制器 9. 温度控制器 10. 水量调节阀 11. 背压阀 12. 油分离器

该系统是一机多库单级压缩系统，同时满足三个不同温度冷间的要求。由于不同蒸发温度的蒸发器共用一条回气管，压缩机的吸气压力只能与蒸发温度最低的一台蒸发器的蒸发温度相同。为此，在两个较高温度库房的蒸发器出口安装了背压阀，即蒸发压力调节阀。这样做相当于在蒸发器出口又加了一个节流阀，虽然降低了热力完善度，但简化了系统、降低了造价，整体的技术经济指标较高。

图 5-26 是这种系统的循环在  $\lg p-h$  图上的表示。每台蒸发器的出口均设有止回阀，其目的是防止当压缩机停机时，由于各蒸发器的压力不同，会产生平衡作用，使制冷剂全部流入温度最低的一台蒸发器中，如压缩机再次开机就会产生液击。

水量调节阀的作用是根据冷凝器工况的变化，自动调节进入冷凝器的水量，使冷凝压力和温度维持大致不变。以防止冷凝压力过低造成热力膨胀阀的流量过小，保持工况的稳定和系统的正常运行。

如只有一个蒸发温度，其系统为在图 5-26 所示系统的基础上去掉各个背压阀。如采用风冷冷凝器，其系统为在图 5-25 所示系统的基础上用风冷冷凝器换掉水冷冷凝器，用室外温度控制器控制风机开停以代替水量调节阀，并去掉油分离器。

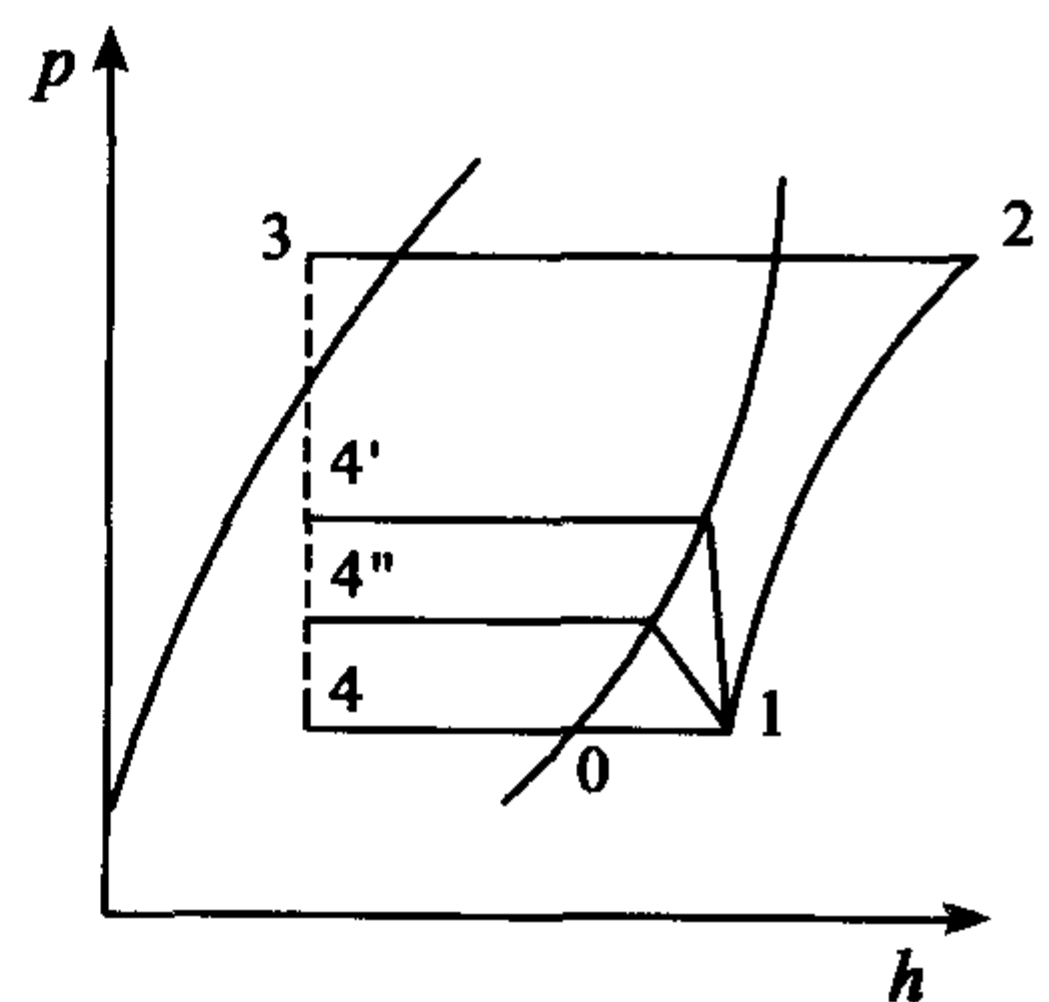


图 5-26 单级多温系统的循环

### 5.3.3 双级压缩系统

图 5-27 为双级压缩卤代烃制冷系统，其工质一般为 R22，可应用于蒸发温度在  $-30 \sim -60^{\circ}\text{C}$  的场合。

该系统采用带有回热的两级压缩、一级节流、中间不完全冷却循环。采用回热的目的是提高低压级压缩机的吸气温度，防止润滑油冻结、机壳结霜等现象。虽然从循环分析，对于 R22 等制冷剂，回热是不利的，但由于压缩腔的温度总是较高的，随着吸气温度与环境温度的接近，压缩机输气系数大幅度提高，指示效率也随之上升，且将无效过热转变成了有效过热，COP 实际上是上升的。两级压缩时每一级的压缩比并不大，排气温度不会过高。

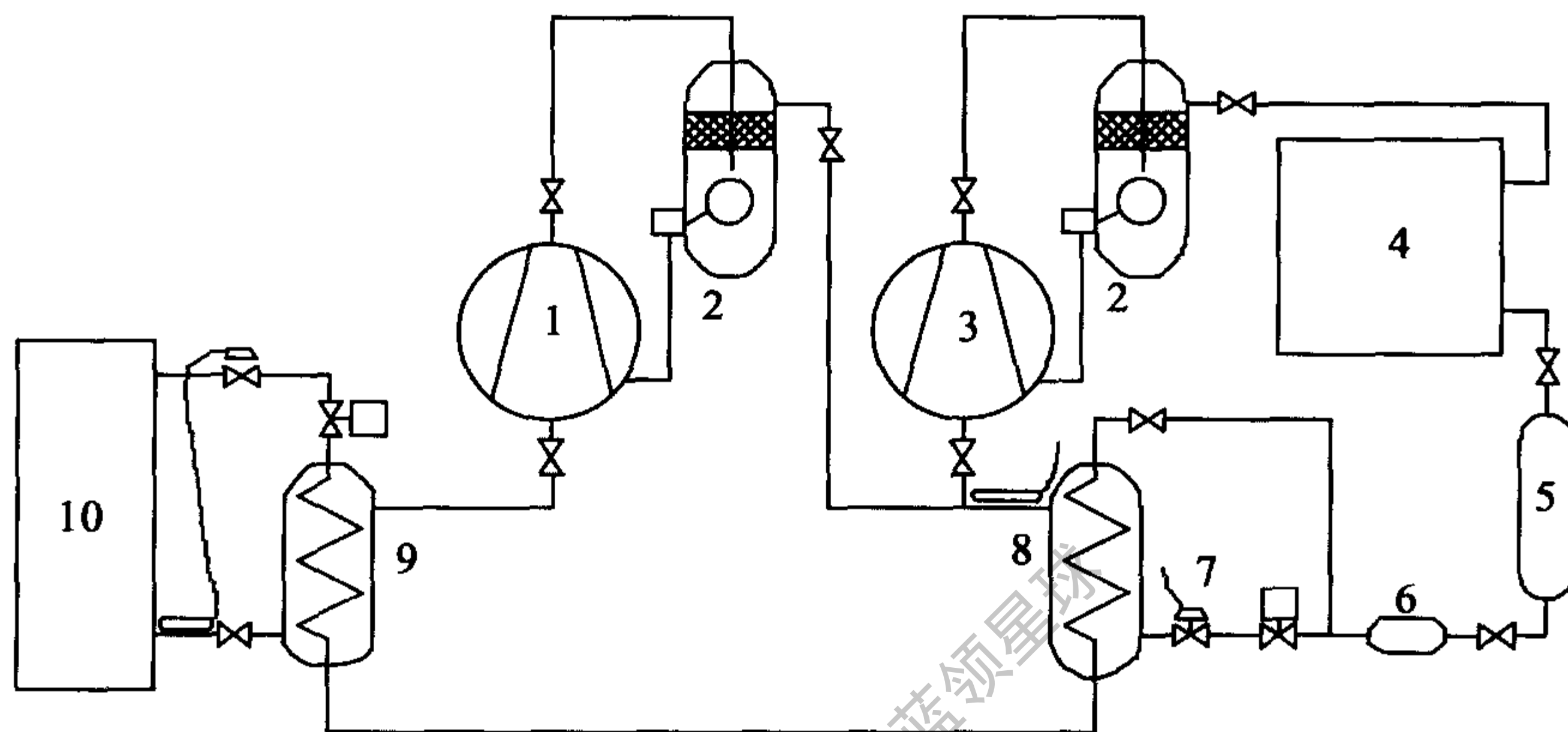


图 5-27 双级压缩卤代烃制冷系统

1. 低压级压缩机 2. 油分离器 3. 高压级压缩机 4. 冷凝器 5. 贮液器 6. 干燥过滤器  
7. 热力膨胀阀 8. 中间冷却器 9. 回热器 10. 蒸发器

中间冷却器用热力膨胀阀节流供液，其感温包应该位于中间冷却器回气管的下部四十五度角处，且用隔热层包扎在一起。如位于高压级压缩机的吸气管上，则所感受的温度不是离开中间冷却器的制冷蒸气温度，而是低压级压缩机排气与离开中间冷却器的制冷蒸气混合后所得过热蒸气的温度；当过热度较大时，热力膨胀阀的开度变大，较多的制冷剂进入中间冷却器，而液体再过冷所需热量几乎不变，从而中间冷却器蒸发量几乎不变，液位很快上升，有使高压级压缩机液击的趋势，且过冷度急剧变小；然后，热力膨胀阀开度变小直至关闭，停止供液，液位又下降，过热度重新增大；如此反复振荡，不能稳定工作。热力膨胀阀的过热度应调节的尽可能的小，工作过热度以  $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$  为宜，使离开中间冷却器的制冷剂蒸气接近饱和蒸气。中间冷却器可以如图中所示为壳—盘管式，也可以是喷射制冷剂冷却式。

由于有两台压缩机串联使用，为保证能分别回油，两台压缩机均采用分离回油。所用油分离器为填料式，依靠浮球阀控制油分离器内的油位使油回到压缩机。在蒸发温度下，润滑油与制冷剂的溶解度很小，带入蒸发器的润滑油很难带出。如不采用分离回油，压缩机必须是开启式，以备随时回油；且因两级压缩机曲轴箱内的压力不同，无法自行均油；蒸发器需定时排空，以放出进入蒸发器的润滑油，需回排液放油设备；设备繁杂，操作非常麻烦，难以实现自动化。

双级压缩卤代烃制冷系统的单位容积制冷量较小，所需低压级压缩机的输气量较大。在启动时，降温所需时间较长，此时低压级压缩机的负荷很重，可采用吸气节流的方法来限制制冷剂流量，降低低压级压缩机电动机的功率。



蒸发器用的热力膨胀阀应是外平衡式，以充分利用蒸发器的传热面积。由于有回热，热力膨胀阀的工作过热度宜为  $3 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

因停机时润滑油中溶解了较多的制冷剂，启动时压力降低，会形成大量泡沫，为防止压缩机启动液击，曲轴箱需加油加热器或是外缠电加热带。在每次启动前，先加热润滑油。

如系统设计蒸发温度在  $-41^{\circ}\text{C}$  以下，则蒸发压力低于大气压力，在冷凝器上部应考虑设置放空气阀排出渗入系统的空气。

双级压缩卤代烃制冷系统在启动时，必须先启动高压级压缩机，待中间压力降低到设计压力后，才能启动低压级压缩机。

双级压缩卤代烃制冷系统比较繁杂，设计时应充分考虑各种实际因素，使系统最优。

## 5.4 制冷系统的安装与试运转

冷库制冷系统安装与试运转将长期影响冷库的运行状况，安装与试运转技术要求是设计的一项重要内容。

### 5.4.1 安装及技术要求

安装是制冷系统建设的一项重要工序，安装质量取决于安装前的准备、压缩机与主要辅助设备的安装、管路安装与隔热等各个步骤。

#### 5.4.1.1 安装前的准备

在安装工作开始前，施工人员应熟悉技术资料，了解设计内容、设计要求和施工工作内容。

设备开箱之前，应先检查并打扫包装箱外部。开箱后应根据装箱清单逐项检查设备的型号、规格、数量、外观与随机技术文件，检查压力容器的检验标牌和标记是否齐全有效、检验期限是否过期，逐项作出记录，然后妥善保管。

施工开始之前必须有以下技术资料：

- (1) 制冷系统的设计图、施工图、安装施工说明书和施工计划。
- (2) 压缩机的合格证和使用维修说明书、辅助设备的合格证和产品样本或说明、仪表的合格证和说明、阀门和其他附件的合格证。
- (3) 施工现场的水电资料。

根据技术资料检查各机器设备的基础尺寸和位置。

#### 5.4.1.2 压缩机与主要辅助设备的安装

压缩机以及机组的安装按以下步骤进行：

(1) 于每个地脚螺栓孔的两侧距孔  $20\text{mm}$  处放上随机附带的楔形垫铁，按制造厂规定的吊装部位整体将压缩机吊上，穿上地脚螺栓和穿棒，初步检查水平。

(2) 用水泥砂浆填满螺栓孔，干燥后用调整垫铁的方法调整压缩机水平，将垫铁斜面用断续焊法焊牢，拧紧地脚螺栓。

(3) 进行基础外表修饰处理。

(4) 安装压缩机与管路之间的吸排气阀、止回阀等阀门。

(5) 清洗曲轴箱。

立式冷凝器的安装按以下步骤进行：

(1) 检查基础水平。

(2) 于每个地脚螺栓孔的两侧距孔  $20\text{mm}$  处放上随设备附带的楔形垫铁，按制造厂规定

的吊装部位整体吊上，穿上地脚螺栓和穿棒，初步检查垂直度。

(3) 用水泥砂浆填满螺栓孔，干燥后用调整垫铁的方法调整垂直度到偏差每米不大于2mm，将垫铁斜面用断续焊法焊牢，拧紧地脚螺栓。

(4) 进行基础外表修饰处理。

卧式冷凝器和贮液器的安装按以下步骤进行：

(1) 于每个地脚螺栓孔的两侧距孔20mm处放上随设备附带的楔形垫铁，按制造厂规定的吊装部位整体吊上，穿上地脚螺栓和穿棒，初步检查水平。

(2) 用水泥砂浆填满螺栓孔，干燥后用调整垫铁的方法调整水平，使向集油包的一端有1/100倾斜度，将垫铁斜面用断续焊法焊牢，拧紧地脚螺栓。

(3) 进行基础外表修饰处理。

低压循环贮液器和气液分离器的安装按以下步骤进行：

(1) 检查基础水平。

(2) 于每个地脚螺栓孔处放上经防水处理的垫木，穿上地脚螺栓，按制造厂规定的吊装部位整体吊上，初步检查垂直度。

(3) 用水泥砂浆填满螺栓孔，干燥后用在垫木下加木楔的方法调整垂直度到偏差每米不大于2mm，拧紧地脚螺栓。

落地式冷风机的安装按以下步骤进行：

(1) 检查基础水平。

(2) 于每个地脚螺栓孔的两侧距孔20mm处放上楔形垫铁，按制造厂规定的吊装部位整体吊上，穿上地脚螺栓，初步检查垂直度。

(3) 用水泥砂浆填满螺栓孔，干燥后用调整垫铁的方法调整垂直度到偏差每米不大于2mm，将垫铁斜面用断续焊法焊牢，拧紧地脚螺栓。

其他设备的安装可根据其安装型式是立式还是卧式，参照上述设备进行。

#### 5.4.1.3 管路安装的一般要求

管路的安装主要是指管子的连接和固定

在安装前，必须用压缩空气对管子进行吹污。如是钢管，还应根据实际情况考虑是否进行机械除锈。弯管必须冷弯或根据管径采用成品冷、热压弯头。

管子的连接方法有四种，即焊接、法兰连接、管接头和管螺纹连接。其中管接头还有焊接管接头和喇叭口接头两种。连接时，应先将各机器和设备固定，各阀门和管路附件定位，然后进行连接。

焊接钢管时，采用熔焊；如壁厚大于或等于4mm时，应采用电焊；如壁厚小于4mm时，应采用气焊。焊缝修补次数不得超过两次，否则应割去重焊。焊缝之间的距离应不小于200mm。焊缝应尽可能靠近吊点或支点，但与这二者的间距不应小于200mm。焊接铜管时，应采用铜焊或银焊等硬钎焊，但不允许用酸性钎料。

法兰用于阀门或设备与管子的连接。钢管与法兰焊接时，应首先将法兰的两半连接在一起，然后将钢管与法兰焊接，最后焊钢管另一端与管子对焊的焊口。焊接完成后，法兰端面的垂直度偏差应不大于0.5mm，两侧轴线的同轴度偏差应不大于0.3mm。

管接头与法兰一样，也是用于阀门或设备与管子的连接。钢管与管接头焊接时，应首先将管接头与接头螺母连接在一起，再将接头螺母拧在阀门上，然后将钢管与管接头焊接，最后焊钢管另一端与管子对焊的焊口。

管螺纹连接用于直径在 38mm 以下的水管，连接时应先在外螺纹缠上聚四氟乙烯密封带，再旋进内螺纹。

#### 5.4.1.4 管路的涂色

管路安装后，均应涂两遍防锈漆，然后在管外或隔热管外涂面漆，以表示不同管道在系统中的不同作用。其颜色如下：

制冷剂高压气体管	红色	制冷剂低压气体管	蓝色
制冷剂液体管	黄色	安全管	黑色
油管	棕色	水管	银白色
载冷剂管	草绿色		

涂漆后，按管内介质流动方向画出白色箭头。

#### 5.4.2 吹污与系统压力试验

系统吹污是防堵塞、防压缩机非正常磨损的措施。气密性试验和真空试验是防制冷剂泄漏的措施，也是安装质量的重要检验手段。

##### 5.4.2.1 吹污

氨系统吹污时，应关闭系统至压缩机吸气管上的阀，再向系统内充入压缩空气。在充气的同时，用木锤轻击管道，待压缩空气压力上升到表压力 0.8MPa 后，停止充入压缩空气，用木锤轻击各容器，然后打开某一个容器底部的排污螺塞。如此反复进行，直至每一个容器都排放完污物，且排出的空气吹在贴有白纸的木板上不带污物方可。在吹污的同时，可用肥皂水在法兰、管接头、焊缝等连接部位和各密封部位进行检漏，发现泄漏，及时进行修补，待修补后再继续进行吹污。

卤代烃系统吹污用干燥空气或干燥氮气进行，其步骤和要求与氨系统一样，但铜管不应敲击。吹污完成后，应向系统中充入干燥氮气，直至气密性试验。

吹污时最好是用空压机向系统内充气，其次是选高压气瓶作为气源，确实无法得到上述设备时，才可用已经过空机试运转合格的制冷压缩机向系统内压气。此时，应将压缩机吸气过滤器拆下，另加一个空气滤清器。由于压缩机吸入空气，排气温度较高，要逐次升压，每次升压不超过 0.6MPa，每次停机应不少于 30min，并随时注意压缩机排气温度不得超过 120℃。如为多台压缩机，则要固定使用一台。待全部吹污与气密性试验工作完成后，此压缩机必须全部拆开清洗。

##### 5.4.2.2 气密性试验

吹污完成后，用干燥空气或干燥氮气进行气密性试验，试验压力见表 5-7。进行气密性试验时，应一边充气，一边对连接部位和密封部位检漏。找到漏点后，做好标记，待找到一批漏点后集中修补，修补好后再次充气。如此反复进行，直至无明显泄漏点为止。

在系统密封的条件下，充气后开始 5~6h，因气体温度下降，压力也会下降，但不应超过 0.04MPa。等压力稳定后，保压 24h，扣除因环境温度变化造成的压力变化因素，压力不应下降。即应有：

$$p_2 = p_1(t_2 + 273.15)/(t_1 + 273.15) \quad (5-12)$$

式中： $p_1$ ——试验开始时的压力 (MPa)；

$p_2$ ——试验终止时的压力 (MPa)；

$t_1$ ——试验开始时的温度 (℃)；

$t_2$ ——试验终止时的温度 (℃)。



表 5-7 制冷系统整体气密性试验压力 (MPa)

制冷剂	R717、R22、R404a、R507	R12、R134a、R152a
低压侧	1.2	1.0
高压侧	1.8	1.2

氨系统在用压缩空气进行气密性试验时, 系统内不可有氨。旧的氨系统进行气密性试验时, 不可用压缩空气。以免压缩空气与氨、油混合后, 遇明火发生爆炸。

卤代烃系统进行气密性试验时, 可在系统中充入少量制冷剂, 以便于用卤素检漏仪检漏。

#### 5.4.2.3 真空试验

气密性试验合格后, 应进行真空试验。其目的是检查在负压条件下系统的密封性, 同时也排除系统中的不凝性气体和水分。真空试验时, 系统内的剩余压力要求见表 5-8。

表 5-8 真空试验系统剩余压力

系统类型	剩余压力 (Pa)
氨系统	8 000
应用开启式或半封闭压缩机的卤代烃系统	1 333
应用全封闭压缩机的密闭卤代烃系统	667

进行真空试验时, 最好应用真空泵抽真空, 如无真空泵, 才可用已经过空机试运转合格的制冷压缩机抽真空。用制冷压缩机抽真空时, 应打开排气多用管帽, 缓慢打开吸气阀, 防止排气压力过高。真空试验结束后, 应更换润滑油。

在系统压力达到剩余压力要求后, 等待两小时, 再抽一次; 如此反复三次, 以清除系统中残留水分。然后静置 18h, 排除因温度变化引起的压力变化后, 系统压力应不变。

#### 5.4.3 系统试运转

系统试运转是安装工作的最后一道工序, 也是制冷系统投入正常使用前的最后检验。

##### 5.4.3.1 系统试运转的主要内容

系统试运转时要作的工作主要有以下各项:

(1) 压缩机试车, 包括无负荷试车和空气负荷试车, 在系统吹污之前按压缩机随机附带的试车技术文件进行。

(2) 控制系统联动试验, 以检查各控制元器件动作是否可靠。

(3) 充注制冷剂。

(4) 系统试运行。

(5) 系统调试。

##### 5.4.3.2 充注制冷剂

在充注前应仔细检查一遍系统各部分, 在充注中按正常制冷对各阀门进行调节, 且须打开冷却水泵。

为了确定制冷剂的充注量, 应根据系统中所用具体设备, 先按表 5-9 找出容积充注量, 再由设计条件下各设备中制冷剂的密度求出质量充注量。表中未出现的设备, 其充注量可忽

略不计。

表 5-9 各设备中制冷剂容积充占设备容积的百分比 (%)

设备名称	百分比	设备名称	百分比	设备名称	百分比
立式冷凝器	7	中间冷却器	30	墙排管	60
卧式冷凝器	15	低压循环贮液器	30	顶排管	50
高压贮液器	30	氨液分离器	30	冷风机	50
洗涤式油分离器	15~20	液体管	100	回热器管内	100

如制冷剂为氨，从回氨调节器以液体充入；如为卤代烃，则从压缩机吸入阀的多用口充入饱和蒸汽。

#### 5.4.3.3 系统试运行

充入制冷剂后，即可按压缩机说明书规定的开机程序，以正常制冷进行试运行。试运行时须检查的项目有以下几项。

(1) 压缩机油压是否比吸气压力高 0.15 ~ 0.3MPa，如不符合要求，则应调整油压调节阀。

(2) 油温是否为 5 ~ 65℃。

(3) 压缩机排气温度是否低于限定值，即 R12、R134a 等低于 130℃，R22、R717 等低于 150℃。

(4) 压缩机运行的声音是否正常。

(5) 试验能量调节装置能否正常动作。

(6) 整个系统的设备、管路和阀门是否存在泄漏。

(7) 高压继电器的动作压力：将吸气阀开至最大，极缓慢地关小排气阀，使排气压力缓慢上升，检查高压继电器的动作压力与设计值是否相符，如不相符，则进行调整，然后将排气阀恢复开至最大。

(8) 低压继电器的动作压力：将吸气阀缓慢关小，使吸气压力缓慢下降，检查低压继电器的动作压力与设计值是否相符，如不相符，则调整至设计值，然后将吸气阀恢复开至最大。

#### 5.4.3.4 系统调试

系统调试的目的在试运行阶段是为了检验制冷系统是否能够在设计的工况范围内正常工作，在正常运行中是为了将系统调节到最佳的运行参数上。系统主要运行参数和调节方法如下：

(1) 蒸发温度和蒸发压力，可通过调节压缩机输气量，即调节压缩机台数以及用压缩机能量调节装置调节气缸数来实现。

(2) 冷凝温度和冷凝压力，调节水泵的台数和水阀的开度、冷凝器风机开停和转速、水冷却塔风机的开停和转速，可调节冷却水或冷却空气的流量，从而调节冷凝温度和冷凝压力。

(3) 压缩机的吸气温度，调节库房系统的供液量或再循环倍率可间接调节压缩机的吸气温度，但需保证吸气过热度。

(4) 压缩机的排气温度，在单级压缩系统中，压缩机的排气温度只能通过调节蒸发温度、压缩机的吸气温度和冷凝温度进行间接调节；在双级压缩系统中，压缩机的排气温度还

可通过调节中间温度和高压级压缩机的吸气温度来调节。

(5) 库房系统的供液量或再循环倍率，调节膨胀阀的开度可调节直接膨胀式库房系统的供液量，调节液泵的台数和供液分配器阀门的开度可调节液泵强制供液库房系统的再循环倍率。

在系统调试的前 6h，应每 30min 记录一次运行参数；6h 以后，应每小时记录一次运行参数。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球



# 6 气调冷库设计

## 6.1 气调贮藏

气体组成调节贮藏简称气调贮藏（CA贮藏）。目前在果蔬的贮藏中，延长贮藏寿命最重要的手段有三种，其一是低温贮藏，其二是控制贮藏环境中的气体组成，其三为前两者的结合，即低温气调贮藏。

### 6.1.1 气调贮藏原理

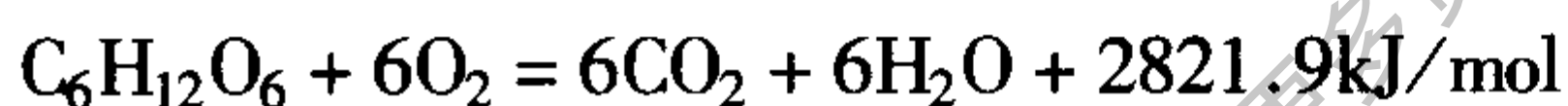
果蔬在收获后与贮存中仍然是生命体，延长果蔬贮藏寿命实际上就是控制和调节果蔬的后熟与衰老。果蔬的后熟与衰老过程非常复杂，受很多因素影响，而且各因素之间又有密切关系。气调贮藏就是用人工的方法，控制果蔬的贮存环境中气体的成分，以延长贮存期的贮藏技术。

#### 6.1.1.1 呼吸作用

果蔬是有生命的植物有机体，在后熟与衰老阶段仍在进行正常的生命活动，生命活动的基本标志是呼吸作用。

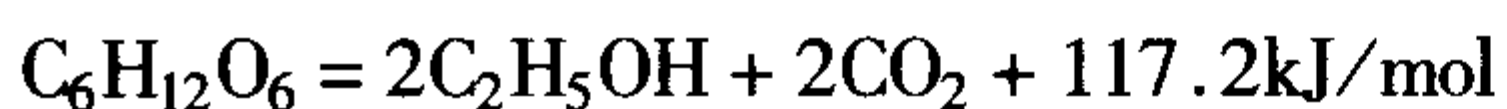
果蔬的呼吸作用是一个多种物质参与进行的氧化过程，这些物质包括糖类、脂肪、有机酸类等。在酶的参与下，这些物质被分解成较简单的物质，并放出热量。

在正常有氧条件下，贮存期的果蔬要吸入氧，而呼出二氧化碳。此时进行的呼吸称为有氧呼吸，果蔬内部最主要的生化活动可用以下化学式表示：



由于氧化作用，果蔬内的糖类等营养物质被消耗，逐步产生衰败。

当氧浓度下降到某一水平之下，或二氧化碳浓度达到某一水平之上时，果蔬内部的生化活动将发生变化，此时进行的呼吸称为无氧呼吸，最主要的生化活动可用以下化学式表示：



由化学式可以看出，所谓无氧呼吸并不是真正的呼吸，不吸入氧气仅是呼出二氧化碳而已。在无氧呼吸中，所产生的热量仅为有氧呼吸的 1/24。为了获得维持生命活动所需要的能量，将会消耗与日俱增多的能量，并造成大量的乙醇积累。

这两种呼吸作用都有化学能转变，绝大部分转变成热量，散发到库内，使库内温度升高，反过来又促使呼吸作用进一步加强。

呼吸作用与果蔬的贮存期有密切的关系，一般来说呼吸强度较高的果蔬贮存期较短，低呼吸率的果蔬贮存期较长。由于呼吸作用是使果蔬衰败的主要原因，为了延长果蔬的贮存寿命，将其呼吸作用抑制到能维持其最低的生理代谢水平，既不出现异常的生命活动，又不出现旺盛的代谢作用的强度上。

呼吸作用的变化与果蔬内部许多生理、生化作用有关，其中最主要的几个因素是收获后贮藏的时间、温度、氧浓度、二氧化碳浓度以及乙烯浓度。

在果蔬收获以后，随着时间的变化，呼吸强度也发生变化。一般来说，果蔬进入成熟期时，呼吸强度提高；进入衰老期，呼吸强度逐步下降。部分果实进入成熟阶段时，呼吸强度

有突然升高的现象，这种现象称为呼吸跃变。当达到一个呼吸强度的最大值以后，呼吸强度又逐步下降。呼吸强度由突然升高到下降到某一基本稳定水平所经历的一段时间称为呼吸跃变期。

温度对呼吸强度的影响极为显著。对于大多数果蔬来说，当温度在 35℃ 以下时，随着温度的下降，呼吸强度下降。虽然在较低的温度下，呼吸高峰期在时间上会有所延长，但高峰呼吸强度的下降更为明显。同时，温度的降低使乙烯的产生量下降，进一步抑制了呼吸作用，温度的降低还抑制了微生物和酶对果蔬衰败的促进作用。需要注意的是，在果蔬贮存时，存在一个与果蔬的种类、产地和收获时间等因素有关的临界温度，在低于临界温度的条件下贮存，将对果蔬产生冷害，反而加速了果蔬的变质。

#### 6.1.1.2 乙烯的影响

乙烯是果蔬的成熟激素，即催熟剂。在果蔬贮存时，乙烯的来源有两个，其一是果蔬自身产生的，是果蔬成熟的副产品，称为内源乙烯；其二是由果蔬外部而来，被果蔬吸收的，称为外源乙烯。在果蔬的贮存中，呼吸作用与乙烯存在是密不可分的。乙烯的催熟作用，体现在它对呼吸的刺激。当果蔬内部乙烯的浓度达到  $0.1 \times 10^{-6}$  时，就能刺激呼吸强度上升。由于乙烯的刺激，果蔬的呼吸作用增强，果蔬内部一系列生化反应均相应增强，其结果是产生了更多的乙烯。

果蔬的成熟以及内源乙烯的合成需要氧的参与，在无氧或低氧的条件下，内源乙烯的前体 ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) 将不能转化成乙烯。

在果蔬的贮存环境中，降低乙烯的浓度，可以延长果蔬的贮存寿命。

#### 6.1.1.3 氧和二氧化碳浓度的影响

在果蔬的贮存环境中，氧的含量与呼吸强度以及乙烯的产生量有直接关系。在 5% ~ 25% 的范围内，氧含量愈高，呼吸强度愈高，乙烯产生量也愈大。二氧化碳的作用与氧相反，一方面较高浓度的二氧化碳可以抑制果蔬呼吸，另一方面对果蔬而言二氧化碳又是乙烯的拮抗剂。因此，在果蔬的贮存环境中，降低氧分压，提高二氧化碳分压，可以降低果蔬的呼吸强度，减少乙烯的产生量，延长贮存寿命。

需注意氧和二氧化碳分压力的调节是有限度的，氧浓度低于临界值会造成缺氧呼吸，此临界值称为缺氧浓度。而高于临界值的二氧化碳浓度会造成二氧化碳伤害，此临界值称为伤害浓度。

### 6.1.2 气体成分调节方法

在有限空间内，改变空气组成的方法有多种。以实现所需要的气体成分的技术手段来划分，调节方法有塑料薄膜袋（帐）简易气调、硅窗简易气调、燃烧降氧式气调、充氮降氧式气调等多种。以降低氧分压、提高二氧化碳分压的方法而言，调节方法有自然降氧法、半自然降氧法和机械调节法三种。

#### 6.1.2.1 自然降氧法

自然降氧法是降低贮藏环境中的氧分压、提高二氧化碳分压的主要方法之一。在接近密封的条件下，利用果蔬本身的呼吸作用消耗氧气，降低氧分压，使其逐步达到所需要的浓度。

在贮藏初期，由于果蔬的呼吸强度较高，消耗的氧较多，同时产生的二氧化碳也较多，二氧化碳分压上升较快。在这一阶段需要吸收或排除过多的二氧化碳。在贮藏的中后期，则在密闭条件下，利用较少的换气量来维持所需要的氧和二氧化碳浓度。

这种方法成本低，操作简便，但仅靠呼吸作用降氧，氧分压下降慢，达到所需氧浓度用的时间较长，调节效果较差。

#### 6.1.2.2 半机械降氧法

在贮藏室的开始阶段，利用机械降氧的方法，迅速地将氧浓度降至 10% 左右。然后再利用果蔬的呼吸作用降低氧含量，提高二氧化碳含量，使氧和二氧化碳达到所需的含量。

由于氧含量从自然状态降到 10% 的阶段，机械降氧的耗电量相对较少，且在此阶段果蔬的呼吸强度较高，发热量较大，先用机械方法快速降氧，可使呼吸强度较快下降。在贮存环境中氧含量在 10% 以下时，机械降氧的耗电量相对较多，且在此阶段果蔬的呼吸强度较低，利用果蔬的呼吸作用自然降氧，仅用机械方法作补充。这样一方面耗能不多、成本增加不多，另一方面避免了贮藏初期的高强度呼吸，降低了冷负荷、提高了贮存品质、延长了贮存期。

#### 6.1.2.3 机械降氧法

机械降氧法是在贮藏的全过程中均采用机械降氧，改变空气组成的方法。在调节过程中，氧的浓度用燃烧或充入氮气的方法来降低，用充入新鲜空气的方法来提高；二氧化碳的浓度用吸收或吸附的方法来降低、用燃烧的方法来提高。在调节时，用仪器分析成分，随时进行调节。

机械降氧法调节精度高、调节效果好、果蔬贮存品质好、贮存期长，但能耗高、机械设备成本高、操作繁琐。

#### 6.1.2.4 乙烯的脱除

脱除乙烯是延长果蔬贮存期的一个重要手段。目前脱除乙烯的方法有很多种，一部分尚不够成熟，常用的方法如下：

(1) 用事先浸泡过 5% 高锰酸钾溶液的机制红砖放入库内或气调帐内，使乙烯氧化。此方法简单可靠、效果很好，但需较多人工。

(2) 用高锰酸钾溶液喷淋，使库内空气与高锰酸钾溶液接触，将其中的乙烯氧化。此方法效果较好、操作方便，但需增加喷淋设备。

(3) 采用燃烧的方法将乙烯烧掉。由于乙烯的浓度对燃烧而言过低，采用此方法一方面要消耗大量的燃料，另一方面库内进入热空气，增大了冷负荷。

(4) 用紫外线照射氧化乙烯，但紫外线对果蔬及其包装同样有氧化作用，会使贮存品质下降。

(5) 用活性炭吸附乙烯，此方法效果很好，但价格昂贵。

### 6.1.3 气调贮藏方法

改变空气组成的任何方法均可以在一般密闭仓库中使用，也均可以在冷库中使用。如果单独采用气调方法，即为气调贮藏。如与冷藏结合，在冷库中使用，则为低温气调贮藏。采用气调方法的冷库即为气调冷库。

#### 6.1.3.1 塑料薄膜制品简易气调

这种简易气调方法成本相当低，适用于地窖、普通仓库和冷库。塑料薄膜对氧和二氧化碳有一定渗透性，而渗水性极小。利用这一特性，用塑料薄膜制品贮藏果蔬，可以抑制果蔬的呼吸作用并防止水份蒸发，从而使果蔬有较长的贮藏寿命和较好的出库品质。

常用的塑料薄膜是厚度为 0.08 ~ 0.2mm 的聚乙烯薄膜或厚度为 0.1 ~ 0.15mm 的聚乙烯



醇薄膜。聚乙烯薄膜的氧、二氧化碳和水蒸气渗透率均较小，水蒸气渗透率约是氧的 13 倍，二氧化碳渗透率约是氧的 5.5 倍。聚乙烯醇薄膜的水蒸气渗透率较大，氧和二氧化碳渗透率均极小。

如将塑料薄膜制成包装袋，尺寸通常为  $1.2\text{m} \times 0.4\text{m}$  和  $0.85\text{m} \times 0.35\text{m}$ ，分别可以装 20kg 和 10kg 左右的水果。为了防止产生缺氧呼吸和袋内产生凝结水，袋上应均匀开直径为 10mm 的孔，大袋开 8 个孔、小袋开 4 个孔。袋装水果和蔬菜在冷库贮藏时，需放置在货架上，库内冷却设备应是冷风机：

用塑料薄膜制做塑料帐的方法为：先用塑料薄膜平铺在地上形成帐底，在帐底上放好垫木，然后将箱装果蔬堆码成垛；货垛码好后，进行降温或通风，在冷库中需将货温降至  $8^{\circ}\text{C}$  以下，在其他仓库中降至常温；接着可在垫木缝中放置消石灰，即  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ；最后在货垛上覆盖塑料薄膜制成的帐顶，将帐底和帐顶边缘重叠折边并用竹夹子夹紧即成。

在塑料帐加消石灰的作用是吸收二氧化碳，放置量根据所贮藏果蔬的品种而定。如贮存苹果，可按每 260kg 苹果放置 1kg 消石灰来考虑。帐中空气的组成需定期测定，当氧浓度接近缺氧浓度或二氧化碳浓度接近伤害浓度时，需进行换气。为了测定和换气方便，塑料帐两端可制袖口。如需去除帐内的乙烯，可用机制红砖浸泡 5% 高锰酸钾溶液的方法，机制红砖放置在帐内上部。

塑料薄膜包装袋或塑料薄膜帐气调适合于贮存果实类和根茎类果蔬，不适合于呼吸量大的叶菜类。在地窖贮藏时，采用这种简易气调方法，贮藏时间可大幅度延长。

#### 6.1.3.2 硅窗气帐简易气调

在普通的塑料薄膜帐侧面中部，开出一个长方形窗口，将硅橡胶膜粘合或热合在上面即成硅窗，这样的塑料帐称为硅窗气帐。硅橡胶膜是用聚甲基硅氧烷为选择性透气材料涂复在纤维织物基料上而成。硅橡胶膜对氧和二氧化碳有较大的透气性和良好的透气比。用在塑料帐上，可以排出多余的二氧化碳，并使适量的氧透入，以维持帐内空气组成的平衡。

硅窗气帐如图 6-1 所示，其结构非常简单。硅窗粘在硅窗袖口上，硅窗袖口用压敏胶粘在预先制出的开孔上。在帐的两端各有一个直径为 30mm 的透气袖口，上部的一个为充气袖口，下部的一个为排气袖口。

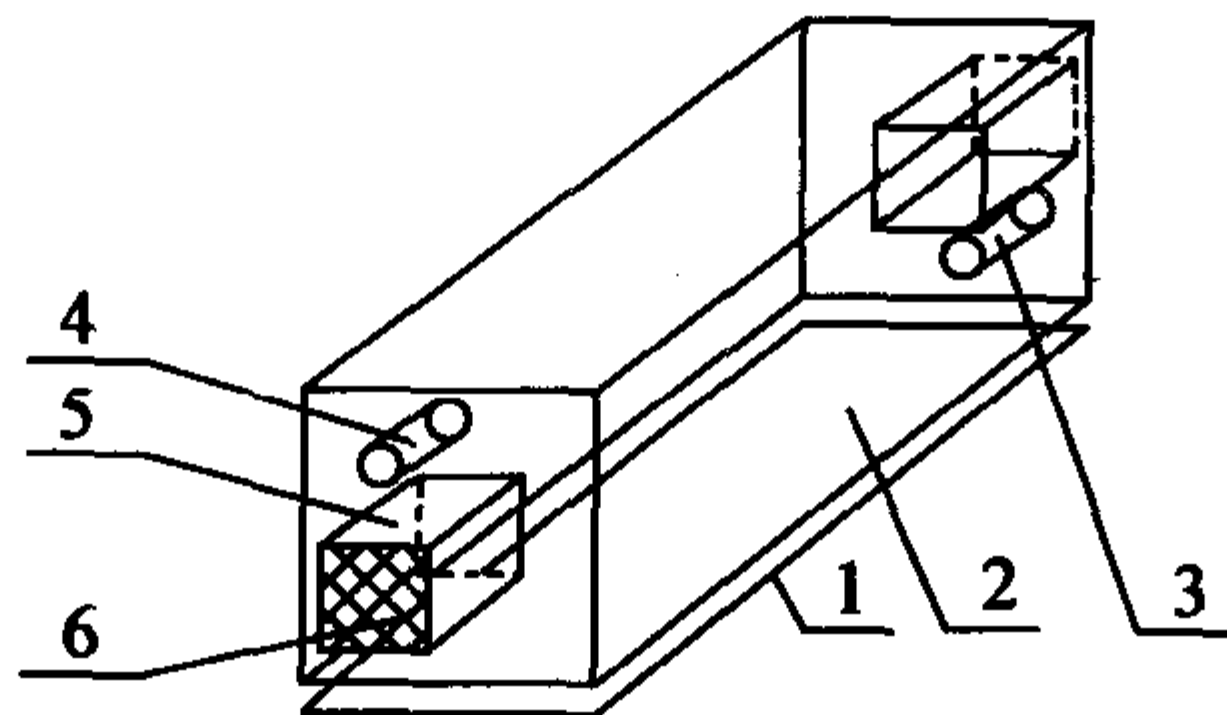


图 6-1 硅窗气帐

1. 帐底 2. 帐体 3. 抽气袖口 4. 充气袖口 5. 硅窗袖口 6. 硅窗

目前国内有多家企业生产硅橡胶膜，表 6-1 列出了上海橡胶制品研究所和中国科学院兰州化学物理所研制的硅橡胶膜的性能。

表 6-1 部分硅橡胶膜的容积透过率

容积透过率 $q$	D <sub>45</sub> M <sub>2-1</sub> 型	38-4型
二氧化碳容积透过率 $q_{CO_2}$ [L/(m <sup>2</sup> ·d·MPa)]	≥8 000	≥11 000
氧容积透过率 $q_{O_2}$ [L/(m <sup>2</sup> ·d·MPa)]	≥1 000	≥1 500

硅窗的面积由所贮存的果蔬品种和硅窗气帐的贮存量根据氧浓度或二氧化碳来确定。如根据氧浓度确定,可按下式计算:

$$S_{sw} = \frac{MR_{O_2}}{q_{O_2}(0.021 - X_{O_2})} \quad (6-1)$$

式中:  $S_{sw}$ ——硅窗面积 (m<sup>2</sup>);

$M$ ——贮存量 (kg);

$R_{O_2}$ ——果蔬氧吸入强度 [L/(kg·d)];

$X_{O_2}$ ——帐内氧分压 (MPa)。

如根据二氧化碳浓度确定,则:

$$S_{sw} = \frac{MR_{CO_2}}{q_{CO_2}(X_{CO_2} - 0.000033)} \quad (6-2)$$

式中:  $R_{CO_2}$ ——果蔬二氧化碳呼出强度 [L/(kg·d)];

$X_{CO_2}$ ——帐内二氧化碳分压 (MPa)。

由于果蔬的品种非常多,而硅橡胶膜的品种较少,按上两式计算得出的结果可能不相同。加之在实际使用中,果蔬的呼吸强度难以准确测定。在设计时,应取较大值。在实际使用时根据需要对袖口流通截面或硅窗面积予以调整。

在使用中调整硅窗面积的方法为:用塑料薄膜压在硅橡胶膜上,塑料薄膜的边缘用压敏胶带粘贴在袖口上,即可遮挡一部分硅窗面积。但需注意,硅橡胶膜上不能粘胶带,以防堵塞、污染胶膜。

硅窗气帐贮存果蔬时,常利用自然降氧法调节空气的组成,贮存过程常分为四个阶段:

(1) 降氧阶段 从扣帐开始,至氧浓度降至 2%~5%、二氧化碳浓度上升至 10%~14% 止,时间约为 2d。在此阶段,应注意氧浓度由果蔬需要而定,且每 2~6h 需检查一次货温、氧浓度和二氧化碳浓度。

(2) 高二氧化碳浓度阶段 维持降氧阶段后的氧浓度和二氧化碳浓度,时间约为 7~10d,此阶段每 6h 检查一次氧浓度和二氧化碳浓度,严防缺氧呼吸和二氧化碳伤害。

(3) 降二氧化碳浓度阶段 在此阶段中先将二氧化碳浓度降至 10% 左右,氧浓度维持 2%~5%,维持约 30d;再将二氧化碳浓度降至 6% 左右,氧浓度仍维持 2%~5%,时间由果蔬需要而定;最后将氧浓度提高至 7%。这个阶段每天 2 次检查氧浓度和二氧化碳浓度。

(4) 维持阶段 维持氧浓度为 7% 左右,维持二氧化碳浓度为 10% 左右,直至货物出库。在维持阶段,除要检查氧浓度和二氧化碳浓度外,还应检查果蔬的成熟程度和贮存品质。

以上各阶段的空气组成及时间要求均与具体果蔬的种类有关,应根据果蔬种类改变,切

不可照搬。帐内空气组成可通过改变硅窗面积、补氧和加消石灰等方法进行调节，不同空气组成情况下的调节措施见表 6-2。

表 6-2 硅窗气帐简易气调的空气成分调节措施

$X_{O_2}$	$X_{CO_2}$	硅窗面积	其他措施
合适	低	减小	充气袖口补氧
	高	不变	加消石灰
低	低	减小	充气袖口补氧
	合适	不变	充气袖口补氧
高	高	加大	
	低	减小	
高	合适	减小	加消石灰
	高	减小	加消石灰

硅窗气帐简易气调可用于窖洞和冷库，其成本比小包装塑料袋来要低，适合多品种同库贮存、适合小批量进出库的情况，贮藏效果好于塑料薄膜制品简易气调。

### 6.1.3.3 气调冷库

根据气调范围的大小，气调冷库有帐式局部气调库和整间式气调库两种。帐式局部气调库仅调节气帐内的空气组成，是普通冷库与气调帐的结合。所用气调帐与硅窗气帐的型式相同，仅是无硅窗而已，帐内空气组成用库外机械设备调节。帐式局部气调库的库体可以是普通库体对密封性要求不高，库内随时可以有人员进行操作，可同库多品种贮藏；但库内有空气管道、占用库内一定空间、且管理较麻烦。整间式气调库调节整间库房内所有空气的组成，其库体强度和密封性要求很高，贮存期间库内一般不能进入操作，适合于大批进货、整库贮藏，管理方便、贮藏效果好。

气调冷库一般采用机械降氧法进行降氧，其技术途径主要有两条：一种是燃烧快速降氧，另一种是用吸附制氮装置快速降氧。前一种能耗较高，操作较麻烦，降氧的同时会有少量有害气体进入库内。后一种较先进，但设备较复杂、维护技术要求较高。

图 6-2 为采用吸附制氮装置快速降氧方法的气调库的气调原理流程图。这种气调库的基本组成除库体、制冷系统、库内冷却设备外，还有碳分子筛吸附制氮装置、进气冷却器、通风机和气压平衡装置。

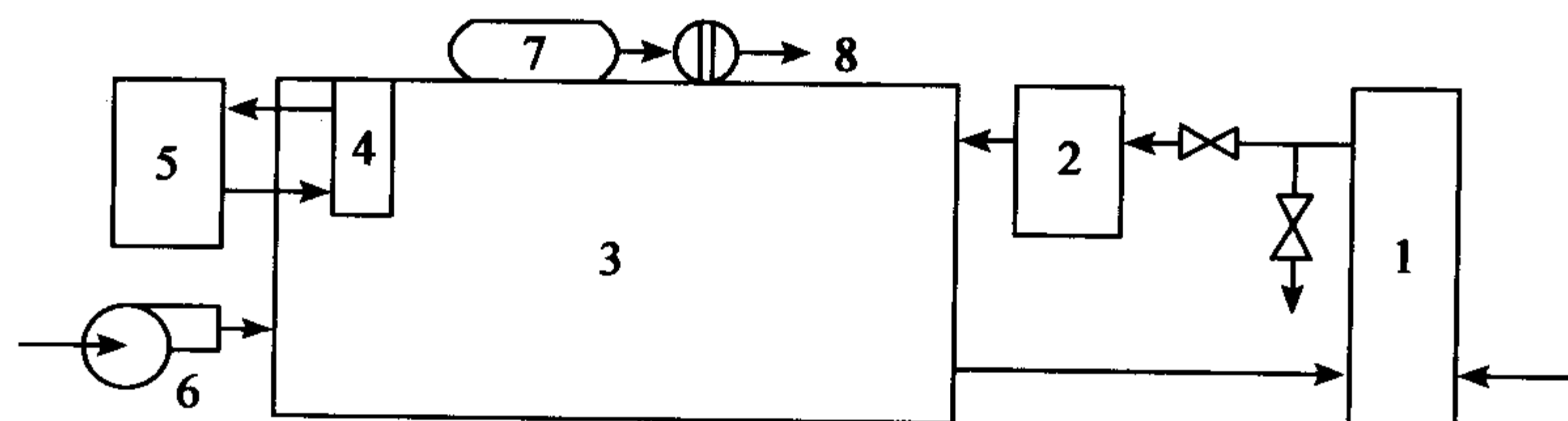


图 6-2 吸附制氮快速降氧气调库的气调原理流程图

1. 吸附制氮装置
2. 冷却器
3. 库体
4. 库内冷却设备
5. 制冷系统
6. 通风机
7. 平衡气囊
8. 排气阀



用碳分子筛吸附制氮装置来进行快速降氧，在贮存开始阶段，可向库内供氮，使氧浓度快速下降。在贮存的后三个阶段，也可用来调整氧和二氧化碳的浓度，当氧和二氧化碳的浓度过高时进行脱除。这种制氮装置对乙烯也有脱除作用，向库内送气的乙烯浓度在  $10 \times 10^{-6}$  以下。

进入碳分子筛吸附制氮装置的气体可来自库内，也可来自库外。当来自库内时，称为循环降氧；如来自库外，称为充气降氧。通常循环降氧与充气降氧结合使用。

通风机的作用是向库内补气。当库内氧浓度过高时，向库内供氮。当库内氧浓度过低时，向库内供空气。平衡气囊和排气阀的作用是保持库内压力平衡，以防止库体损坏。库内冷却设备必须是冷风机，以使库内空气充分混合。

当果蔬进入气调库后，需封闭库门和门洞，由此开始贮存过程。首先，一方面用制冷系统降温，一方面用碳分子筛吸附制氮装置降氧；这一阶段约需 24h，将温度降至贮藏所需要的温度，将氧浓度降至 10% 左右；在降温降氧过程中，即使制冷系统不工作，冷风机也必须运转。然后进行自然降氧，在此阶段由于果蔬的呼吸作用会使库内氧浓度逐步下降，二氧化碳浓度逐步上升；当氧浓度低于缺氧浓度时，用通内机向库内补氧。最后是维持阶段，温度、氧和二氧化碳浓度均维持在贮藏所需要的水平；如氧浓度过低，用通内机向库内补氧；如二氧化碳浓度过高，则用碳分子筛吸附制氮装置脱除。

碳分子筛吸附制氮装置可按式(6-3)进行选择计算：

$$V_n = 0.096 V_{1\max} \quad (6-3)$$

式中： $V_n$ ——碳分子筛吸附制氮装置的运行产气量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )；

$V_{1\max}$ ——最大一间库房的库容 ( $\text{m}^3$ )。

所需碳分子筛吸附制氮装置产品气的氮浓度为 95%。

## 6.2 气调设备与附件

气调设备与附件是保证气调库正常工作的重要设备，其主要作用是保证库内空气成分和压力。

### 6.2.1 碳分子筛制氮装置

碳分子筛制氮装置是利用碳分子筛变压吸附方法，分离空气制取氮气的一种装置。与其他空分装置相比其特点是设备价格较低、基建投资较少、操作较简单、基本可自动运行、使用安全、适应性好、开机快、氮纯度可调。

图 6-3 为一种真空解吸的双塔变压吸附碳分子筛制氮装置，其工作过程分为四步：

(1) 阀门  $V_1$ 、 $V_4$ 、 $V_6$  开启，其他阀门关闭，A 塔加压吸附，B 塔减压解吸。原料气经空气压缩机压缩到 0.7MPa 左右的压力，流向干燥与净化设备去油、水和固体颗粒等杂质后进入原料空气缓冲罐，而后由调压阀  $V_9$  降压至 0.4MPa 进入 A 塔的塔底，氧被碳分子筛吸附、氮由塔顶流出。此时 B 塔用真空泵减压，将氧释放出来，使碳分子筛解吸再生。流出 A 塔塔顶的氮气进入氮气贮罐，然后再由调压阀  $V_9$  降压至常压，通过流量计测流量即得到产品气。

(2) 气动调节阀  $V_5$ 、 $V_8$  开启，其他阀门关闭，A 塔与 B 塔均压。此阶段 A 塔塔顶的氮气进入 B 塔塔顶、A 塔塔底的原料气进入 B 塔的塔底，使两塔的压力相等。

(3) 气动调节阀  $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_7$  开启，其他阀门关闭，B 塔加压吸附，A 塔减压解吸。

(4) 气动调节阀  $V_5$ 、 $V_8$  开启，其他阀门关闭，A 塔与 B 塔均压。此阶段 B 塔塔顶的氮气进入 A 塔塔顶、B 塔塔底的原料气进入 A 塔的塔底，使两塔的压力相等。

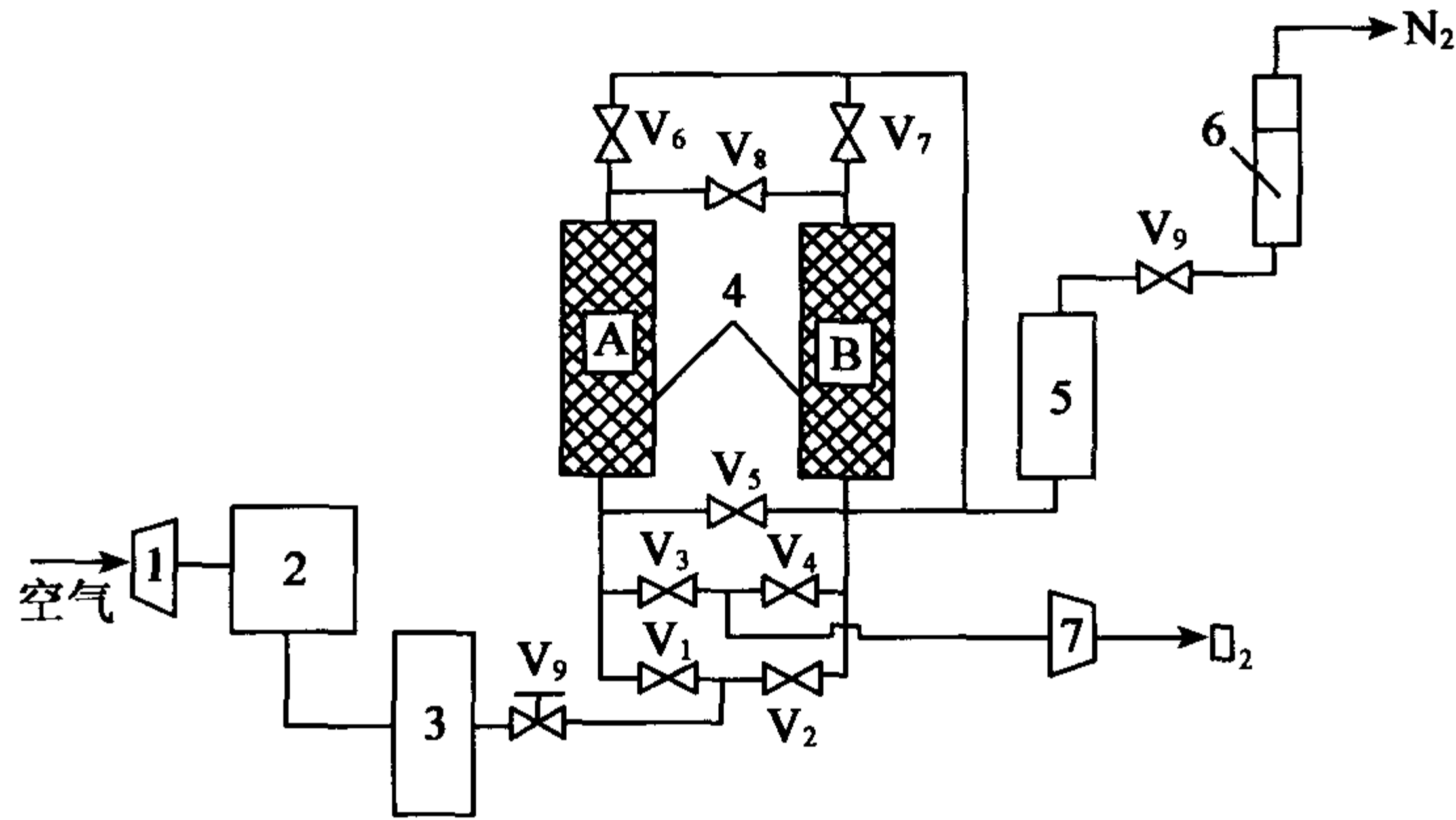


图 6-3 一种真空解吸的双塔变压吸附碳分子筛制氮装置原理

1. 空压机 2. 空气干燥与净化设备 3. 原料空气缓冲罐 4. 碳分子筛床层 5. 氮气贮罐  
6. 流量计 7. 真空泵 A、B—吸附塔  $V_1 \sim V_8$ —气动调节阀  $V_9$ —调压阀

工作循环周期为 120s，其中 1 与 3 各为 57 ~ 58s，2 与 4 各为 2 ~ 3s。

对于给定的碳分子筛制氮装置，产气量与产品气纯度有关。如产品气中氮浓度愈高，则产气量愈小，其关系如图 6-4 所示。在实际应用中，可根据需要进行调节。在气调库中使用时，产品气中的氮浓度一般不宜高于 95%。

可供气调库作用的碳分子筛制氮装置型号有多种，国内瑞气企业生产的 CN 系列制氮装置的技术性能如下：

- ① 产品气纯度 90% ~ 95%
- ② 含水量（露点）  $\leq -30^\circ\text{C}$
- ③ 含氢量 不可检出
- ④ 二氧化碳含量  $10 \times 10^{-7} \sim 30 \times 10^{-7}$
- ⑤ 产品气压力  $\leq 0.35\text{MPa}$  可调
- ⑥ 原料空气压力  $\geq 0.5\text{MPa}$

CN 系列制氮装置的规格型号见表 6-3，主要技术数据见表 6-4。

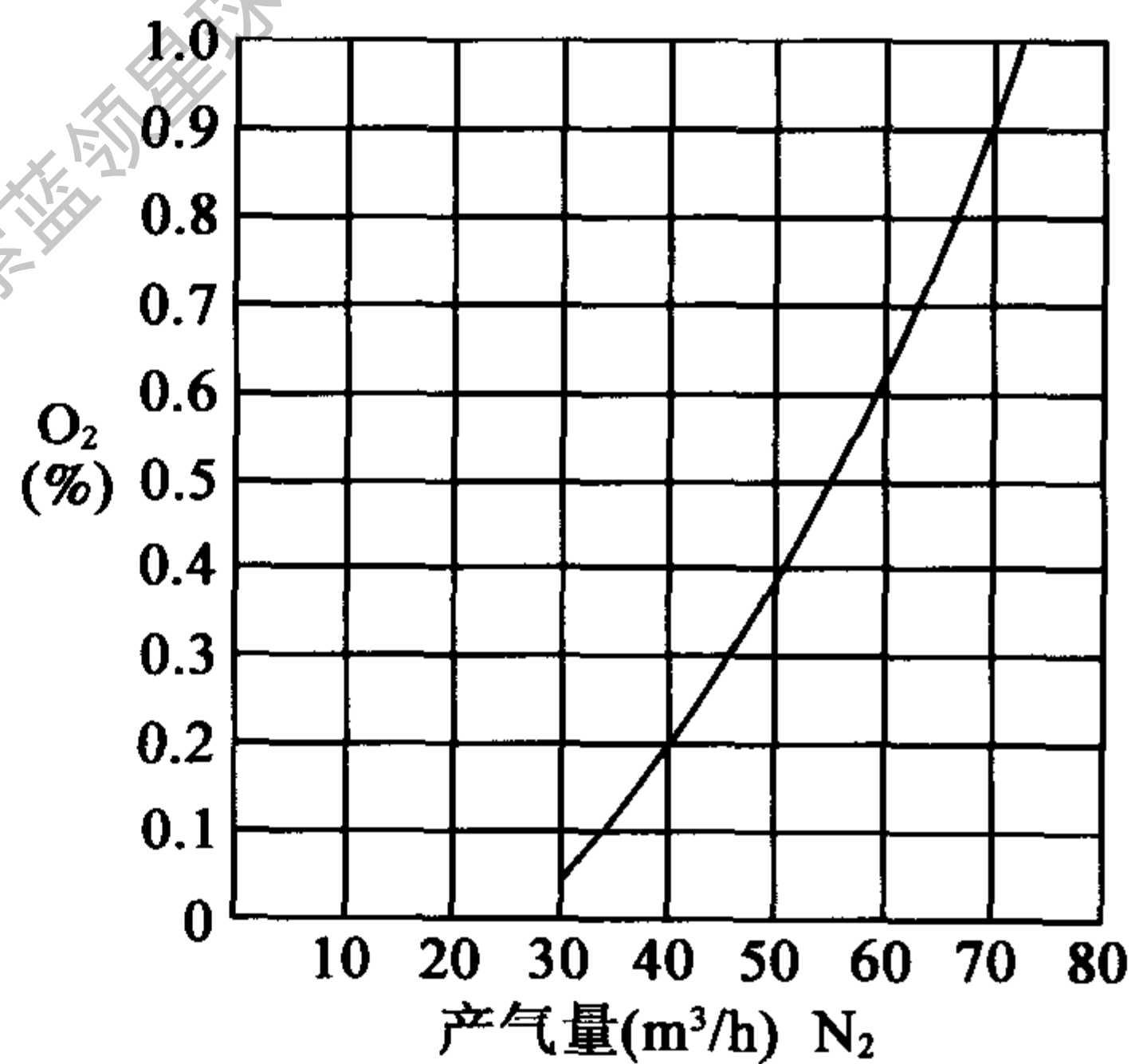


图 6-4 产气量与产品气中含氧量的关系

表 6-3 CN 系列制氮装置的规格型号

型号	CN-2.5	CN-6	CN-10	CN-16	CN-25	CN-40	CN-60	CN-100
产气量 (m³/h)	2.5	6	10	16	25	40	60	100

表 6-4 CN 系列制氮装置的主要技术数据

产气量 (m <sup>3</sup> /h)	真空泵		空压机型号	气源耗气量 (m <sup>3</sup> /h)	重量 (t)	冷却水量 (t/h)	耗电量 (kW)
	型号	功率 (kW)					
2.5	W <sub>1</sub>	2.2	2V-0.3/7	15	1.2	0.2	1.8
6	W <sub>2</sub>	4	2V-0.6/7	36	1.8	0.4	3.5
10	W <sub>3</sub>	5.5	3WC-1/7	60	2.2	0.6	4.7
16	W <sub>3</sub>	5.5	1V-2/8	90	2.5	0.8	5.5
25	W <sub>4</sub>	11	1V-3/8	150	3.2	1.8	10
40	W <sub>5</sub>	22	2V-4/8	240	4.0	2.0	20
60	W <sub>6</sub>	40	2V-6/8	360	5.0	3.0	32
100	2×W <sub>5</sub>	2×22	2V-4/8、2V-6/8	600	6.0	4.0	41

### 6.2.2 乙烯脱除方法与装置

目前，在气调冷库中推荐采用的方法为机砖浸泡高锰酸钾溶液或喷淋高锰酸钾溶液。

#### 6.2.2.1 机砖浸泡高锰酸钾溶液

机砖浸泡高锰酸钾溶液的操作步骤为：选质地较疏松的红色机砖用水洗净晾干；配制 5% 高锰酸钾溶液；将机砖放在溶液中浸泡 10min，捞出砖在溶液桶上方放置数分钟以不滴溶液为止；将机砖放入聚丙烯或不锈钢制的盘中摆放在库内。

摆放时机砖间距为 1~4m，视果蔬品种而定。

#### 6.2.2.2 高锰酸钾溶液喷淋装置

高锰酸钾溶液喷淋装置如图 6-5 所示，装置全部用不锈钢制作。作用时，根据溶液槽的容积配制溶液，开动循环泵和风机，每星期检查一次溶液浓度即可。

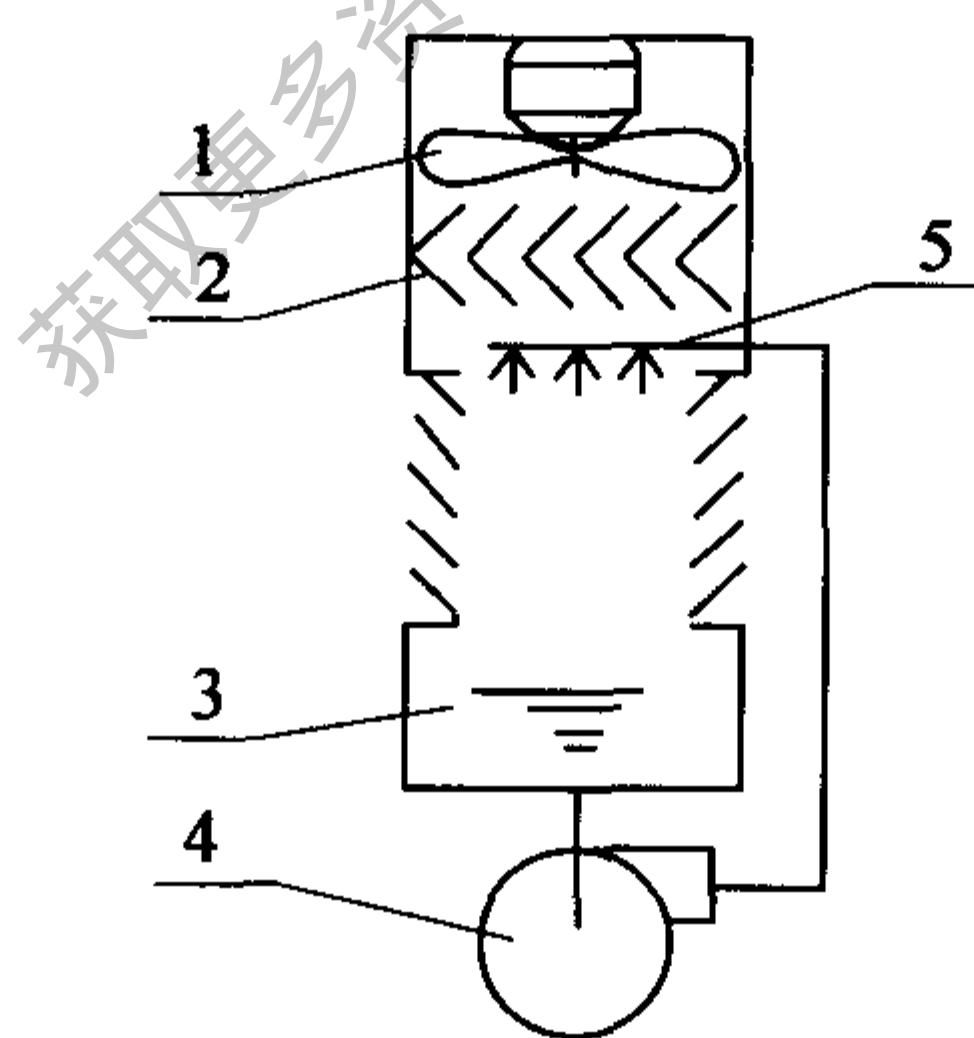


图 6-5 高锰酸钾溶液喷淋装置

1. 风机 2. 挡水板 3. 溶液槽 4. 循环泵 5. 喷淋管

### 6.2.3 气调库附件

气调库附件主要指平衡气囊、气压平衡窗、观察窗等。

#### 6.2.3.1 平衡气囊

平衡气囊用来消除气调库使用中出现的库内外轻微压力失衡。其结构和组成如图 6-6 所示。在气调冷库运行期间，如需除霜、冷风机开启或停机、环境大气压发生变化时，平衡气囊内部容积发生变化，从而消除压力失衡。

如库内外压力均接近当地大气压，平衡气囊用厚度为 0.1mm 的聚乙烯薄膜制成，其形状为一椭圆柱体。椭圆长轴为 2 200mm、短轴为 800mm，长度为 4 000mm，每个平衡气囊



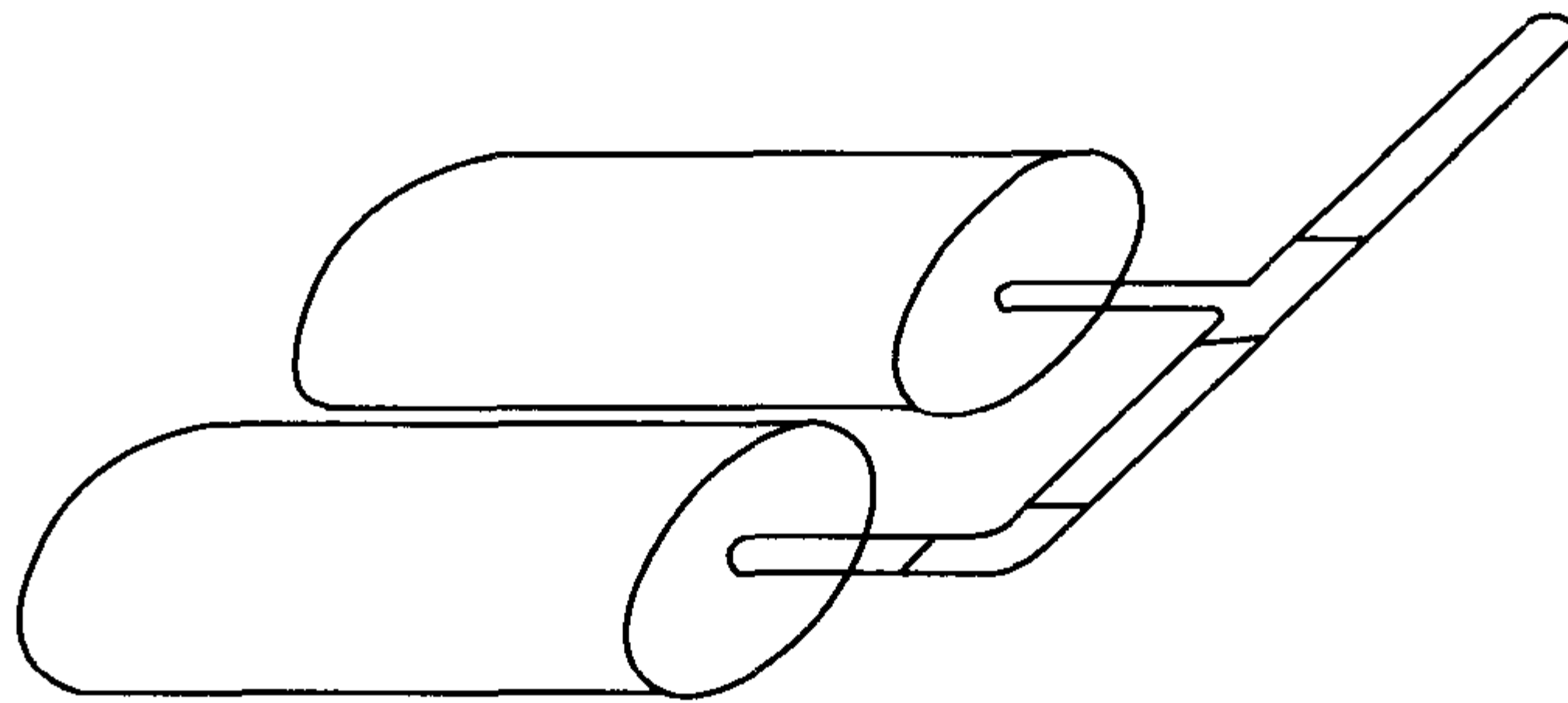


图 6-6 平衡气囊

供 800m<sup>3</sup>库容使用。如库容较大，可将多个平衡气囊并联使用。

如气调库的结构为装配式，平衡气囊安装在顶隔热板上。如为土建库，则吊装在靠近库房的过道或月台上方。平衡气囊与库房用直径为 150mm 的连接总管连接，各平衡气囊用直径为 100mm 的连接支管连接，总管与支管均用聚乙烯制成。总管在库内冷风机上方进入库内，进入长度约为 1m，管口必须处于无静压区。

#### 6.2.3.2 气压平衡窗

冷库在增温或降温时，温度急剧变化，库内空气压力随之改变。在库体密封的条件下，温度每升高或降低 1℃，库内压力改变约 370Pa。这样的压差极易破坏库体密封，也会破坏库体建筑结构。因此气调库、库内外温差大于 20℃ 的装配式、库容小于的 100m<sup>3</sup> 装配式需要安装气压平衡装置。

气压平衡装置的种类有多种，冷库中常用的是弹簧式气压平衡窗，其结构同见图 6-7。

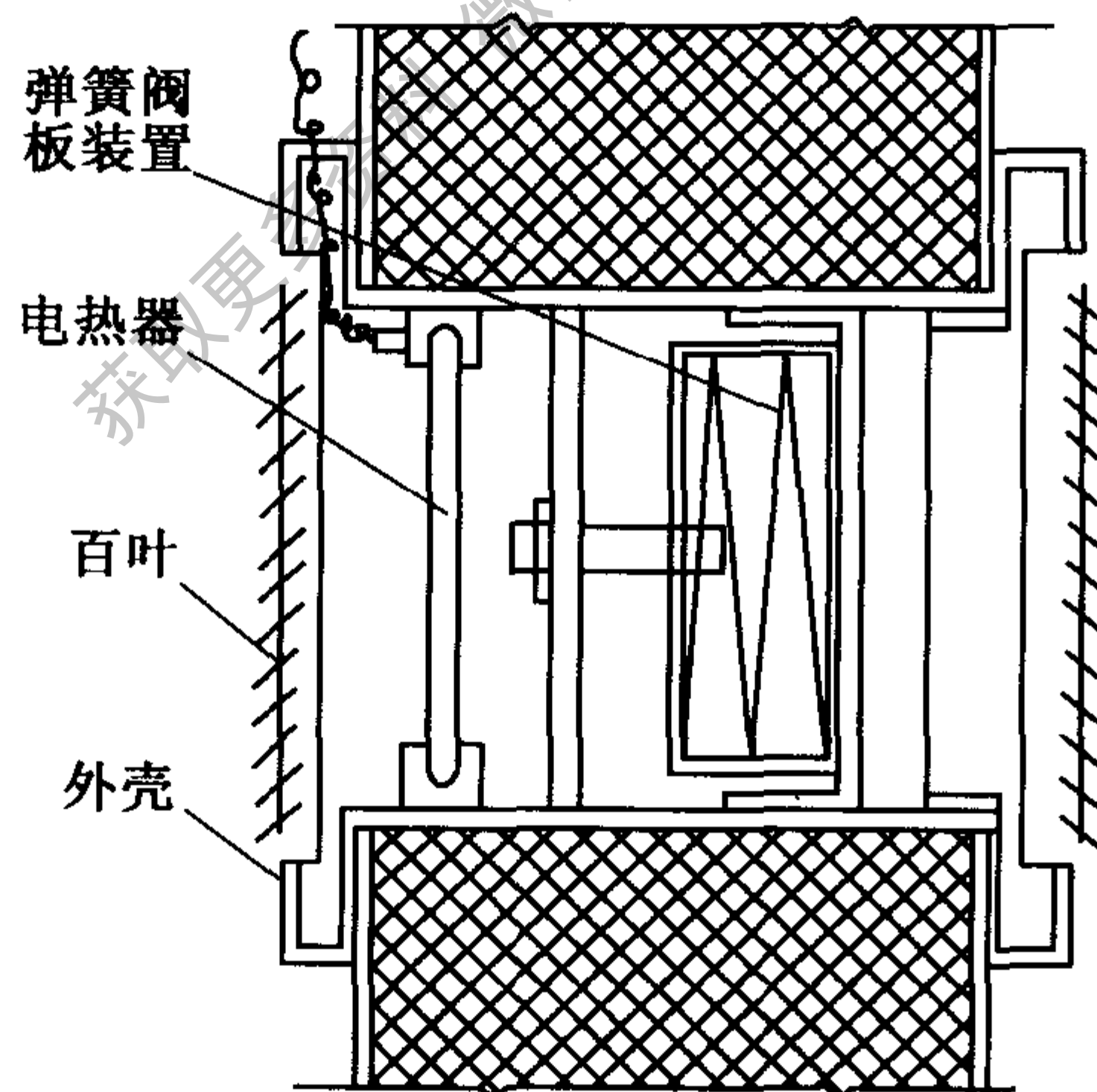


图 6-7 弹簧式气压平衡窗

弹簧式气压平衡窗有多种规格，其最基本的参数是开启压力和流通截面。一般来说，在气调库中使用时，开启压力应调整为 150Pa 左右。

弹簧式气压平衡窗的流通截面积建议按以下经验公式选取：

$$F_{wv} = \frac{20 V_s \Delta t}{\tau (273 + t_c)} \quad (6-4)$$

式中：  $F_{wv}$  —— 气压平衡窗阀口流通截面 (m<sup>2</sup>)；

$V_s$  —— 库内有效容积 (m<sup>3</sup>)；

$\Delta t$ ——库内温度变化，一般为货物入库降温前的温度与库温之差（℃）；  
 $\tau$ ——降温时间（s）；  
 $t_c$ ——库温（℃）。

如库内气压有可能高于大气压，也有可能低于大气压，则应双向均安装气压平衡窗。

### 6.2.3.3 观察窗

在气调库工作时，库房内不能进入人员，为了观察库内果蔬的贮藏情况，需在库体上安装观察窗。当人员进入正在使用中的气调库房进行检修或其他操作时，观察窗又可用于进行安全监护。图 6-8 为泡状观察窗的结构，这种观察窗适用于装配式气调库。

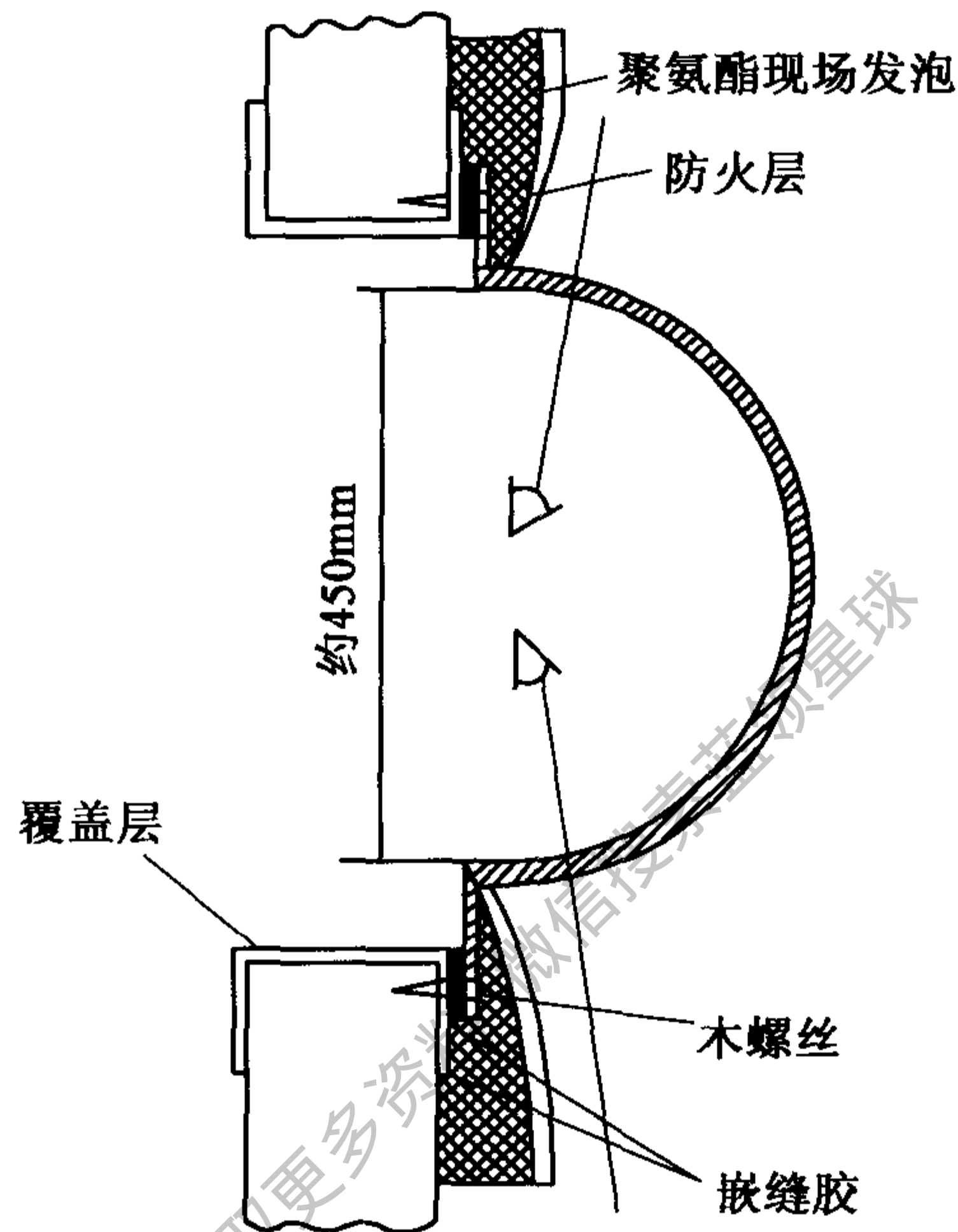


图 6-8 泡状观察窗

泡状观察窗的主体部分为一透明半球，用聚丙烯塑料或聚碳酸酯塑料制成。其边缘用自攻螺钉紧固在库板上，再用聚氨脂泡沫塑料现场发泡进行密封。

一般来说，观察窗的视距可达 9m，较大的气调库房可安装多个观察窗。

## 6.3 气调库密封要求

对于采用整间气调方式的气调库冷间来说，库体的密封性是库性能最重要的性能指标。为保证库内气体成分的要求，必须进行密封处理。

### 6.3.1 土建库的库体密封

土建库房需进行密封处理的部位主要有两类，一类是墙体与顶板的接缝处，另一类是墙体与地坪的接缝处。

墙体与顶板接缝处密封的做法为：在内墙外侧和顶板交缝处用聚氨脂现场发泡，发泡层外用聚氯乙烯薄膜贴面。

墙体与地坪接缝处密封处理较为复杂，通常的做法为：

(1) 基础设计与制作时，在库内侧设一道沿周边凸出 100mm 的凸缘，以供支承地板，详见图 6-9。

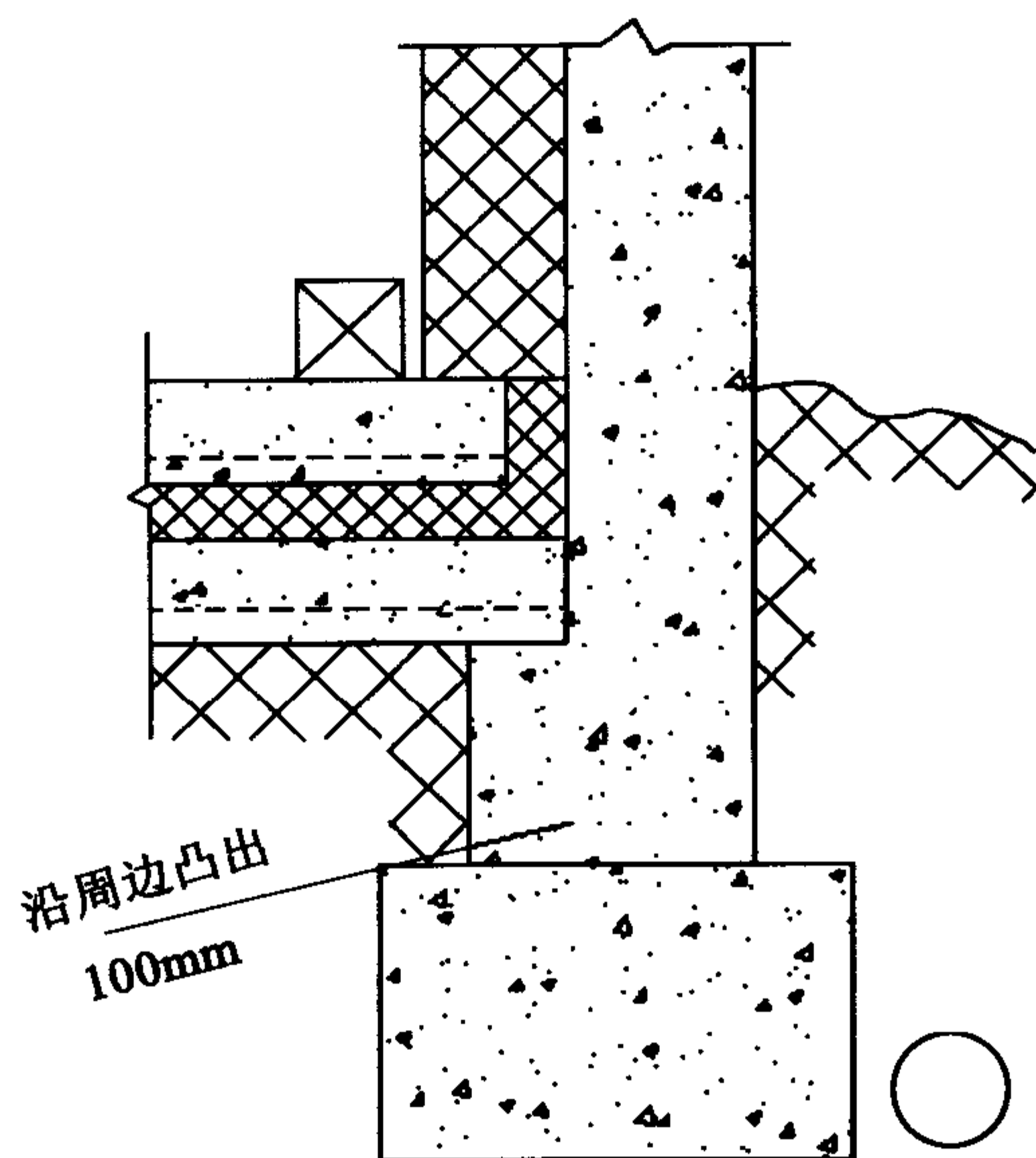


图 6-9 地坪与墙体的密封处理

(2) 制作地坪与外墙隔热层。

(3) 如无内墙，则在地坪隔热层与墙体隔热层之间预留 50mm 宽的间隙，用聚氨脂现场喷涂发泡充填间隙。

(4) 如有内墙，则在制作墙体隔热层之前，于地坪和外墙的接缝处，用聚氨脂现场喷涂发泡。

### 6.3.2 装配式气调库的库体密封

装配式库体需进行密封处理的部位较多，但处理较容易，处理后的效果较土建库体好。

#### 6.3.2.1 墙板与地坪交接处的密封

在地坪隔热层四周与墙板之间留出 50mm 宽的槽，先用铝箔胶带将墙板与结构地坪接缝处贴严，再用封箱胶带在铝箔胶带上粘一层，然后用聚氨脂在槽中灌注发泡，最后在室内地坪与墙板之间所有缝隙处用密封硅橡胶填充饱满，如图 6-10 所示

#### 6.3.2.2 墙板与顶板交接处的密封

在顶板与墙板凸缘间留 50mm 宽的空隙，待墙板和顶板全部就位以后，先在内侧用拉铆钉将翼宽 100mm 的涂塑钢板角条与库板紧固，固定后在边缘处用密封硅橡胶填充饱满进行封边；然后在空隙中用聚氨脂喷涂发泡，最后在外侧用拉铆钉将翼宽 150mm 的涂塑钢板角条与库板紧固，固定后也用密封硅橡胶填充封边，制作完成后如图 6-11 所示。

#### 6.3.2.3 库板缝的密封

库板缝密封的要点是：

(1) 尽可能用聚氨脂灌注发泡接缝，然后在接缝的内、外侧贴铝箔胶带和封箱胶带进行气密。

(2) 如采用镶嵌、偏心钩锁紧等接缝，则应在接缝中饱满注入密封硅橡胶，然后在接缝的内、外侧贴铝箔胶带和封箱胶带进行气密，最后两侧各用拉铆钉铆上宽 100mm 的涂塑钢板条作为面层，如图 6-12 所示。



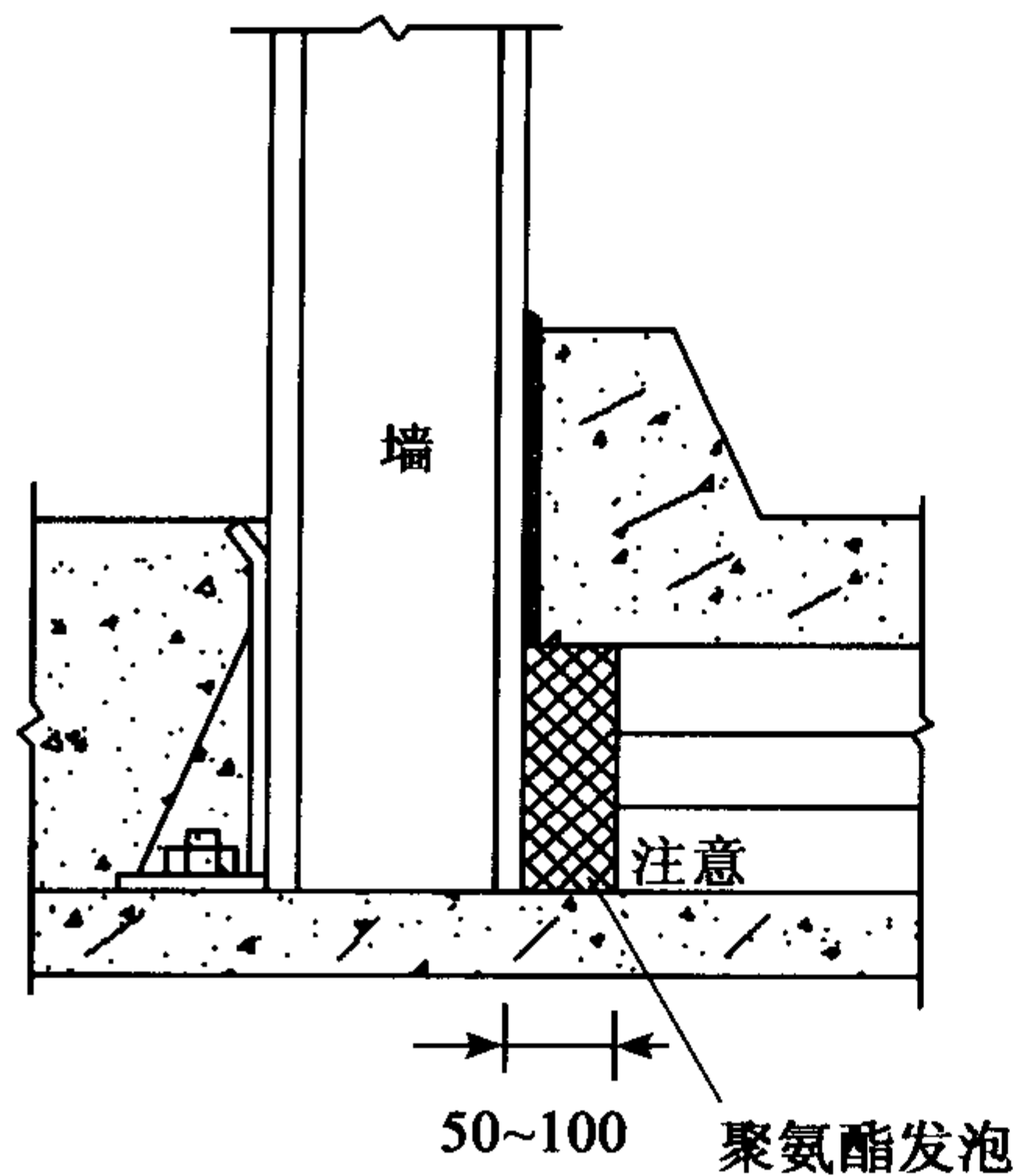


图 6-10 装配式库体地坪与墙板间的密封处理

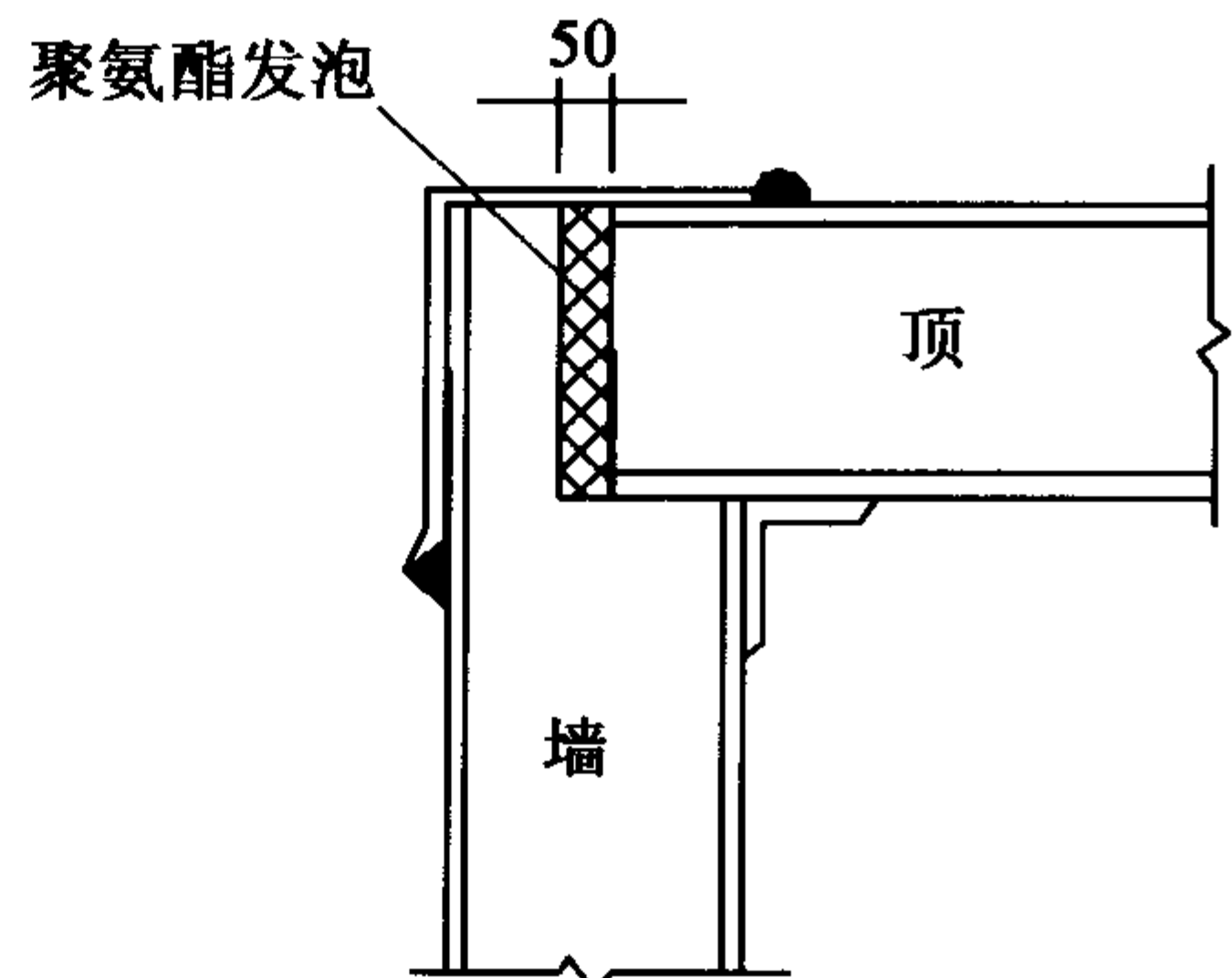


图 6-11 装配式库体墙板与顶板间的密封处理

库板缝的密封包括墙板和顶板，固定面层的拉铆钉间距应不大于 150mm。在几种接缝式中，聚氨脂灌注发泡的气密性最好，而镶嵌式接缝最容易施工。

### 6.3.3 其他部位的密封

气调库房密封是一个完整的工程，对所有可能漏气的部位均要进行仔细处理。

#### 6.3.3.1 库门的密封

气调库门必须是密封的。首先，库门的内、外表面必须是金属制做的，且外面层向内折边，包住内面层。第二，库门上至少要有两道弹性良好的密封条，布置成内外两重。第三库门要用压紧装置压紧在门框上，压紧装置至少要有八个。最后，库门最好是平拉式，如为旋转式，则铰链必须是气密门专用的。采用压紧装置的气密门及其压紧装置如图 6-13 所示。

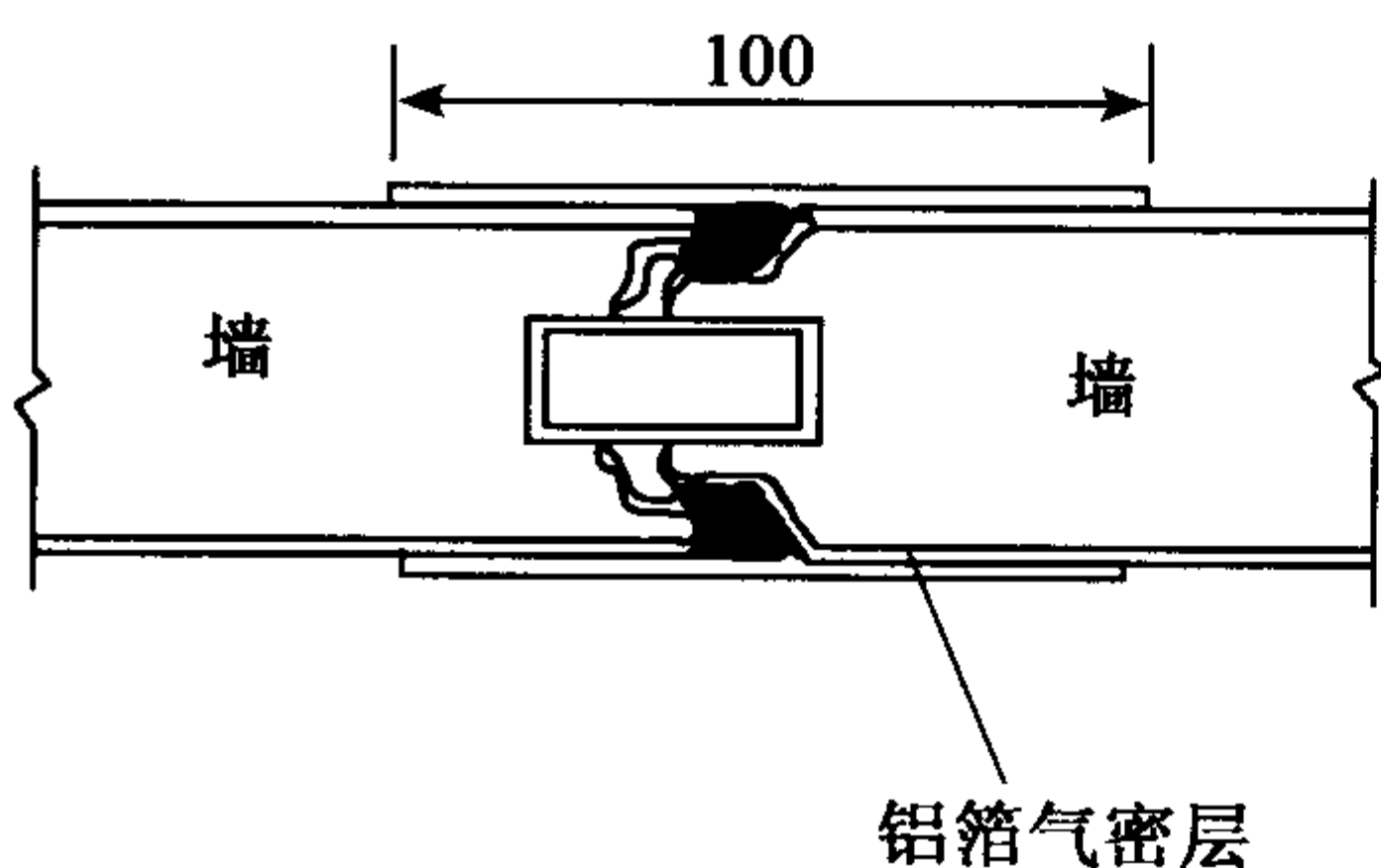


图 6-12 库板缝的密封

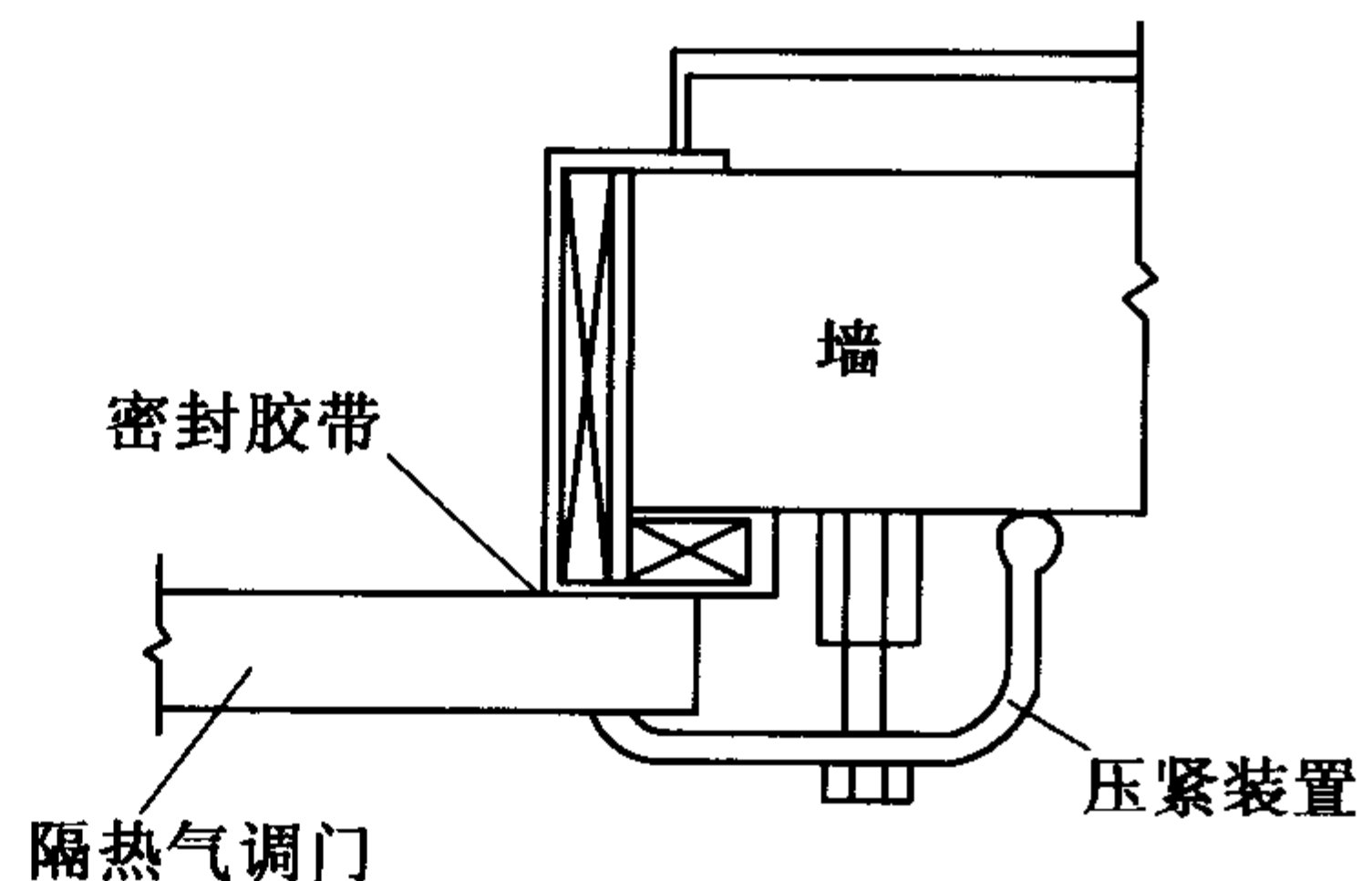


图 6-13 气密门及其压紧装置

#### 6.3.3.2 管路穿墙的密封

当管路穿过气调库房墙体时，除要进行隔热外，还要进行密封处理。管道穿墙时应进行的处理有以下几个步骤：

(1) 预制穿墙塑料管并套上法兰，穿墙管和法兰用聚氯乙烯制作，见图 6-14，穿墙管直径应比管道直径大 20mm。

(2) 将穿墙管与墙体用聚氨脂喷涂发泡固定。

(3) 将管路从穿墙管中穿过，在管道与穿墙管之间的间隙中饱满充填密封硅橡胶。密封硅橡胶由库内向库外挤压，密封硅橡胶之外用封箱胶带贴面。

#### 6.3.4 气调库房密封性指标

气调库房的密封性采用压力试验的方法进行的，密封性是用以下两项主要指标来表示的：

(1) 试验压力 目前所用的试验压力有 250Pa 和 150Pa 两种。

(2) 压降 50% 的时间 目前所用的时间有 30min 和 20min 两种。

进行压力试验时，应将所有的门、压力平衡窗等开口封严；然后用离心风机向库房内加压至试验压力；第三步要维持试验压力 3min；第四步是关闭风机并密封送风口；接下来一面测库房内压力，一面记录时间，当库内压力由试验压力降至 50% 时所用的时间即为压降 50% 的时间；最后排出库房内残余气体，将库房内压力恢复到试验前的状态。

采用不同的气调设备，对库体有不同的要求。如库内氧含量维持在 5% 以上，采用消石灰脱除二氧化碳，可以采用 150Pa、20min 的密封性指标。如库内氧含量维持在 5% 以下，采用碳分子筛制氮装置调节库内空气成分，则应采用 250Pa、30min 的密封性指标。

工程实践证明，气调库房的密封性主要与密封处理时的施工技术和施工要求有关，而与库房造价、结构型式的关连程度较低。因此，为降低运行费用，对密封性指标要求可以高一些，这样做时工程造价并没有显著上升。

## 6.4 气体测控仪器仪表

气体测控仪器仪表用来确知库内空气成分、控制碳分子筛制氮装置、送风设备的技术保证手段。

### 6.4.1 气体成分测量仪表

目前所用的气体成分测量仪表主要有测氧仪、二氧化碳测定仪、气体测定仪等。

#### 6.4.1.1 测氧仪

目前在气调冷库中所用的测氧仪有 CY-Ⅱ、CY-87A、CYS-1 等型号，其工作原理与控氧仪相同，详见 6.4.2 节。现以 CYS-1 型为例，讨论其应用技术性能。

显示方式：数字显示

测量范围：0 ~ 100% O<sub>2</sub>

测量精度：±0.7% ±1 个字 (0 ~ 25% O<sub>2</sub>)

±2.5% ±1 个字 (> 25% O<sub>2</sub>)

电源：9V 干电池

#### 6.4.1.2 二氧化碳测定仪

目前在气调冷库中所用的二氧化碳测定仪通常为热导测定仪，是基于导热率测定的仪表。其工作原理为：以空气的热导率为 1，并作为基准值；二氧化碳的热导率较小，其数值

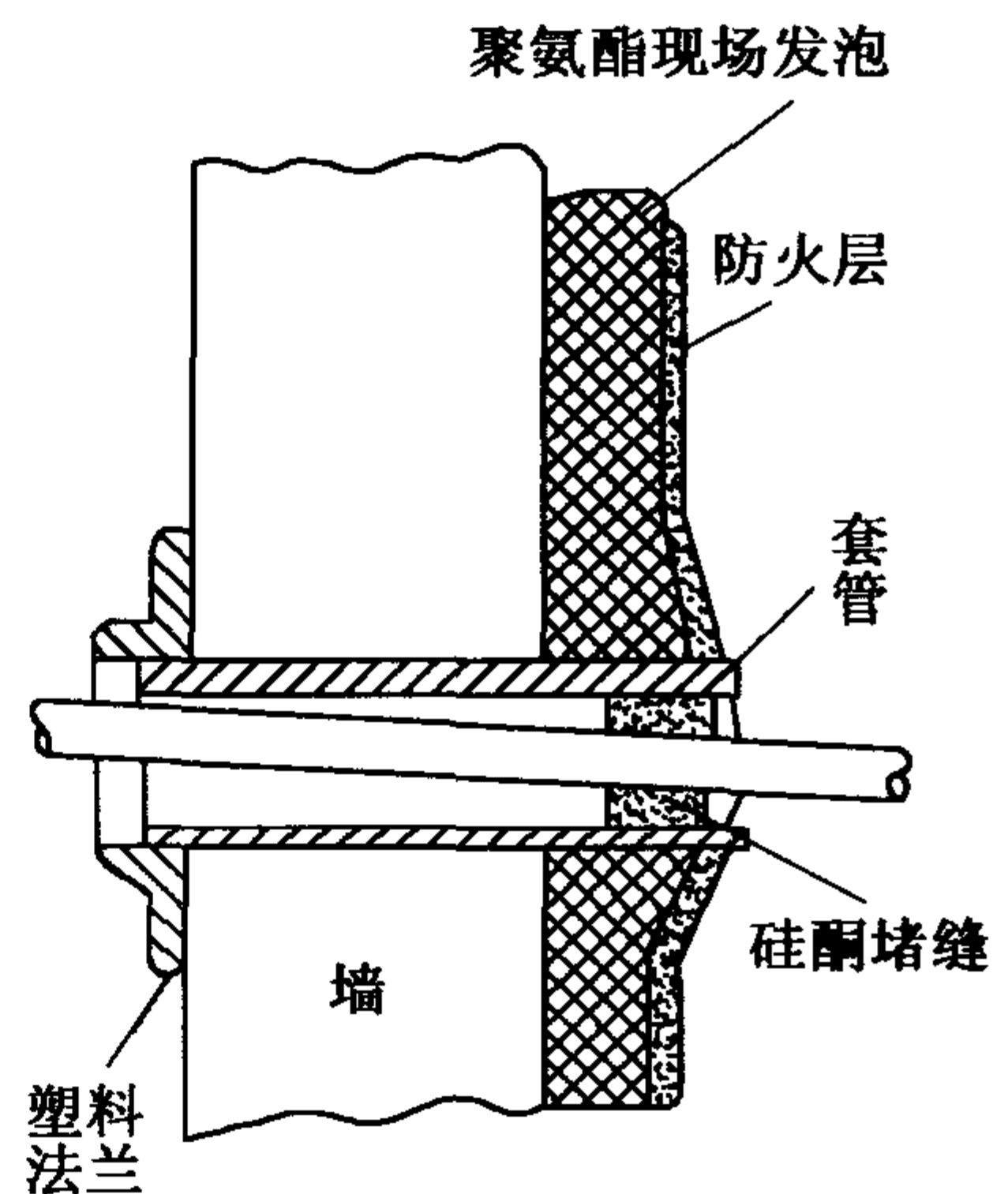


图 6-14 管路穿墙的密封

为 0.65；当测试二氧化碳含量高于正常空气的气体时，电桥产生不平衡输出；二氧化碳含量愈高，不平衡电流愈大；经计算、放大后显示出被测气体中二氧化碳的含量。

CH-6 型二氧化碳测定仪的主要技术性能如下。

测量范围：0~5%；0~25% CO<sub>2</sub>

测量精度：±5%

电源：9V 干电池

#### 6.4.1.3 气体测定仪

目前在气调冷库中所用的气体测定仪为 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 气体测定仪，其主要优点是使用方便、一套仪表既可测定氧含量，又可测定二氧化碳含量。常用的 CYES-Ⅱ 型数字式 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 气体测定仪的主要技术性能如下。

测量范围：0~99.9% O<sub>2</sub>

0~50% CO<sub>2</sub>

测量精度：±1.0% ±1 个字 (0~25% O<sub>2</sub>)

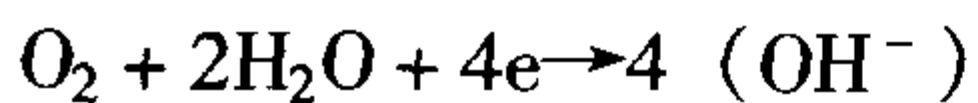
±2.5% ±1 个字 (25%~99% O<sub>2</sub>)

±3.0% ±1 个字 (0~50% CO<sub>2</sub>)

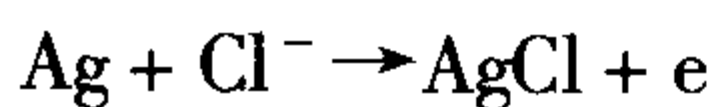
#### 6.4.2 控氧仪

气调库房和碳分子筛制氮装置均需使用控氧仪，常用型号为 KY-Ⅱ 型，除输出部分外，工作原理与 CY 系列测氧仪完全相同。

该仪器由氧电极和显示仪表两部分组成。氧电极为极谱隔膜式，阳极为银制，阴极为铂制，渗透隔离膜用聚四氟乙烯薄膜制成。测试时，将氧电极置于被测气体中，气体中的 O<sub>2</sub> 可透过渗透隔离膜到达阴极，在 0.63V 的极化电压的作用下，阴极发生如下反应：



而阳级的反应为：



由于此反应，产生出极化电流，此电流的大小正比于被测气体中的氧浓度。

显示仪表由放大线路、转换线路、输出线路和数码显示部分组成。当反应达到平衡时，极化电流经放大转换后，驱动数码显示部分，从而显示被测气体的氧浓度；同时输出线路还可输出 0~10mA 的电流，用作控制器或外接记录仪的输入信号。

KY-Ⅱ 型控氧仪的测量范围有 0~1%、0~5%、0~10% 和 0~25% 等几种，用于气调库房氧含量监控时，可选 0~25% 量程的仪表。

#### 6.4.3 可用于气体成分测量的新型传感器

目前在气调库房中使用的测氧仪、二氧化碳测定仪、气体测定仪、控氧仪均在一定程度上存在传感器使用维护不方便、被测气体取样较困难的缺陷。随着传感器技术的不断发展，新型气敏传感器不断出现。这些传感器维护简单，配合数字仪表使用，可较方便的测量氧、二氧化碳以及乙烯的浓度；可以长期置于库房内，减少了取样操作的困难。表 6-5 列出了部分氧气传感器的技术特性，表 6-6 为 GS-100 二氧化碳传感器的技术特性。在气调库房中，测量乙烯含量可用 CY 型乙烯气体传感器。



表 6-5 部分氧气传感器的技术特性

型 号	FCX - MV	FCX - MW	FCX - MVL	FCX - MWL
测量范围 (%O <sub>2</sub> )	0.1 ~ 25	0.1 ~ 95	0.1 ~ 25	0.1 ~ 95
精度 (%)	± 1	± 0.5	± 1	± 0.5
响应时间 (s)	30	30		
输出 (mV)	1 ~ 250	1 ~ 2700	1 ~ 250	1 ~ 950
工作环境温度 (°C)	- 10 ~ + 50		- 10 ~ + 50	
电源 (DC V)	5		5	
尺寸 (mm)	38 × 15 × 104		38 × 38 × 104	
重量 (g)	65		120	
功率消耗 (W)			3	

表 6-6 GS-100 二氧化碳传感器的技术特性

极限值	电源 (DC V)	2.1
	工作环境温度 (°C)	- 20 ~ + 65
	工作环境相对湿度 (%)	> 95
	存储环境温度 (°C)	- 30 ~ + 70
	存储环境相对湿度 (%)	> 95
额定值	电源 (DC V)	1.8
	电流 (mA)	125 ~ 130
	工作环境温度 (°C)	- 10 ~ + 50
	工作环境相对湿度 (%)	< 95

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

# 7 冷库自动控制

冷库自动控制包括运行控制和安全保护两大部分。自动控制是提高货品贮存品质、减轻劳动强度、降低运行成本的重要手段，安全保护则是运行安全的保障。

近年来，随着电子、机械技术的发展，特别是计算机技术的发展，冷库自动控制和保护的方法以及所用器件有了很大的改变。冷库自动化水平、可控参数的数量和调节品质、冷库运行的可靠性都有了很大的提高，技术管理与商务管理的结合也越来越紧密。

## 7.1 运行控制及其器件

冷库运行控制的作用是使冷库运行中的被调热工参数保持恒定或按所需的规律进行变化。在冷库运行中，需要进行调节的热工参数主要有库温、库内空气相对湿度、制冷剂的流量与液位、蒸发压力和冷凝压力等。被控制的机械设备主要是压缩机、水泵和风机、电磁阀、膨胀阀等。

### 7.1.1 温度控制

冷库的热容量较大，系统整体热惰性较好，库温变化较为缓慢。冷库温度控制大多采用双位调节方式，以简化系统与器件，提高可靠性，降低造价。

#### 7.1.1.1 温度控制规律与特性

根据双位调节的特性，库温呈等幅振荡，即在最高值和最低值之间进行周期性变化。在这种调节方式下的库温可以用以下参数进行描述：

- (1) 冷间平均温度  $t_c$ ，此温度即冷间的设计温度；
- (2) 稳定工作时冷间温度的最高值  $t_{\max}$ ，即冷间正常运行时控制的温度上限；
- (3) 稳定工作时冷间温度的最低值  $t_{\min}$ ，即冷间正常运行时控制的温度下限；
- (4) 运行温度波动  $\Delta t_c$ ，即冷间正常运行时库温的范围。

运行温度波动与控制的温度上、下限的关系为：

$$\Delta t_c = t_{\max} - t_{\min} \quad (7-1)$$

正常运行时，冷间平均温度维持在  $t_c$ 。当制冷系统开机时，由于制冷量  $Q_0$  大于冷负荷  $Q_1$ ， $t_c$  下降。且因蒸发温度较高时，制冷量较大，而冷负荷较小，所以开始降温时，冷间温度下降较快。随着冷间温度和蒸发温度的下降，冷负荷增大而制冷量减小，冷间温度下降较慢。当制冷系统停机时，制冷量为零，冷间温度开始上升。当冷间温度较低时，温度上升较快，而冷间温度较高时上升较慢。双位调节时，冷间温度变化特性如图 7-1 所示。

为了保证  $t_c$  和  $\Delta t_c$ ，温度控制器件的控制中间温度也应为  $t_c$ 。温度控制器件需设定的参数为：

- (1) 设定温度上限  $t_{on}$ ，此温度为制冷系统开机温度；
- (2) 设定温度下限  $t_{off}$ ，此温度为制冷系统停机温度；
- (3) 差动范围  $\Delta t_{cs}$ 。

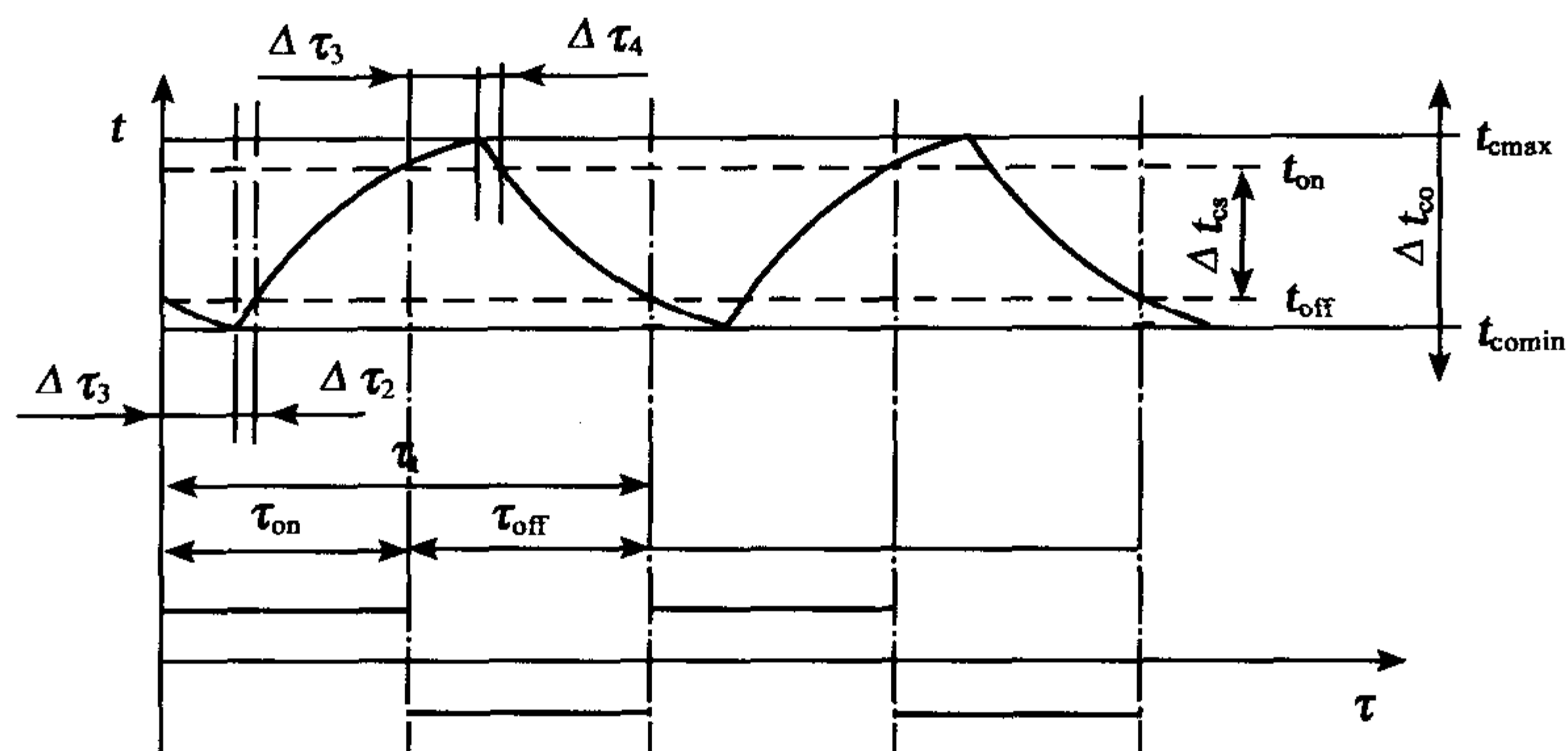


图 7-1 双位调节时冷间温度变化曲线

差动范围是制冷系统的开停温差，即：

$$\Delta t_{cs} = t_{on} - t_{off} \quad (7-2)$$

由于冷间有相当的热惰性，调节存在滞后。制冷系统开机后，冷间温度仍有短时上升；制冷系统停机后，冷间温度仍略有下降。所以应有：

$$t_{on} < t_{max} \quad (7-3)$$

$$t_{off} > t_{min} \quad (7-4)$$

$$\Delta t_{co} = \Delta t_{cs} + \Delta t_1 + \Delta t_2 \quad (7-5)$$

制冷系统由开机到停机所经历的时间称为开机时间  $\tau_{on}$ ；由停机到下一次开机所经历的时间称为停机时间  $\tau_{off}$ ；两次开机（或两次停机）之间所经历的时间称为工作周期  $\tau_t$ 。

$$\tau_t = \tau_{on} + \tau_{off} \quad (7-6)$$

开机时间在工作周期中所占比例称为工作时间系数：

$$b = \tau_{on} / \tau_t \quad (7-7)$$

随着开停温差的减小， $\tau_{on}$  与  $\tau_{off}$  均减小，制冷系统开停频繁。停机时间存在最小极限，一般为 3min，所以开停温差不可能很小。采用双位控制的冷库，库温的波动范围也不可能很小，一般为 2℃ 左右。

### 7.1.1.2 温度控制器件

温度控制器有电接点温度计、压力感温包式、数字显示式和基于微处理器的电子式等多种。目前使用较多的是压力感温包式和数字显示式温度控制器。

WT-1226 温度控制器为压力感温包式，常用于小型冷库，其结构如图 7-2 所示。

数字温度显示控制仪可用于各类制冷装置，与压力式温度计相比，价格接近、调节方便、通向库内的是电线而非毛细管、安装容易。以 XMT-100 型温度显示控制仪为例，其盘面如图 7-3 所示，基本原理如图 7-4 所示。标有 PV 的数字是所测实际温度，标有 SV 的数字是设定值。当实际温度达到设定值时，温度显示控制仪动作。

上限设定和下限设定用来设定温度。使用时，上限应设定为所需的  $t_{on}$ ，下限应设定为所需的  $t_{off}$ 。上限执行和下限执行为继电器的通断输出，每一个继电器有一组先断后合的触点。U/I 变换器及其输出的作用是对应于量程的线性直流输出，可直接配接记录仪或通过接口与计算机相连。



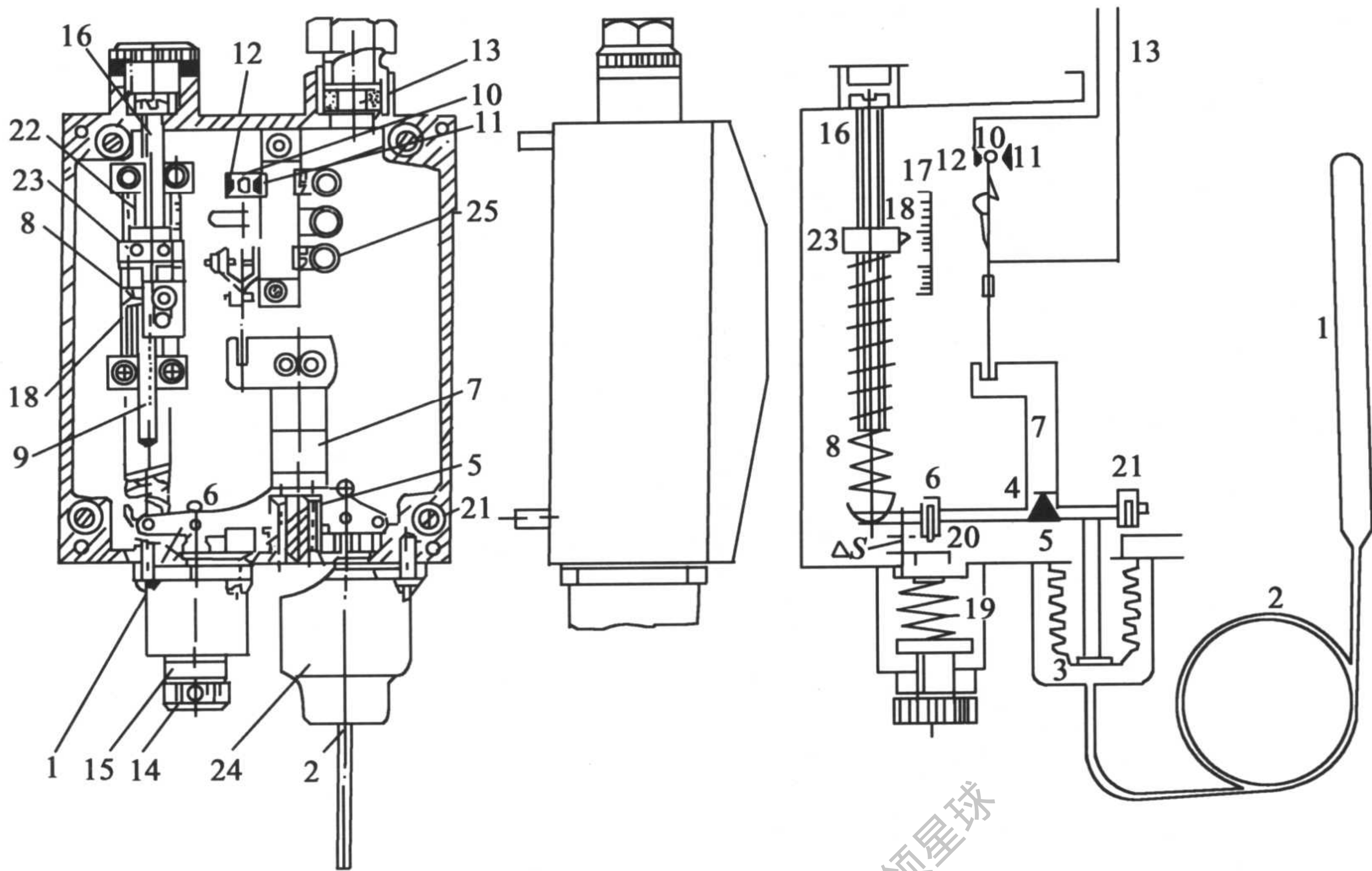


图 7-2 WT-1226 温度控制器

1. 感温包 2. 毛细管 3. 波纹管 4. 杠杆 5. 刀口支点 6. 螺钉 7. 拨臂 8. 主跳弹簧  
 9. 跳簧片调节杆 10. 动触头 11、12. 定触头 13. 进线孔 14. 幅差旋钮 15. 幅差标尺  
 16. 主跳螺杆 17. 温度标尺 18. 指针 19. 幅差弹簧 20. 弹簧座 21. 止动螺钉  
 22. 导杆 23. 活动螺母 24. 波纹管室 25. 接线柱



图 7-3 温度显示控制仪

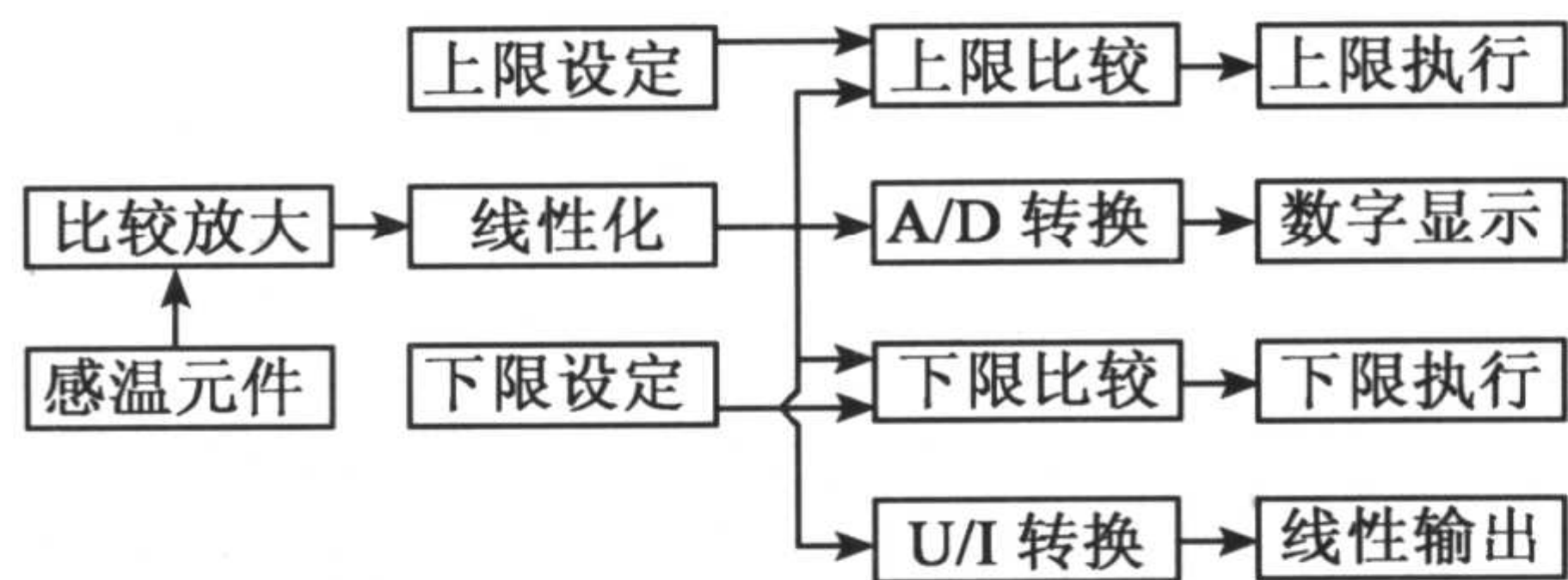


图 7-4 温度显示控制仪的基本原理

检测元件可以是热电阻、热电偶、热敏元件、霍尔元件等。在冷库中，主要使用热电阻和热敏电阻。选择时，应注意检测元件的种类和分度号应与仪表相一致。

温度显示控制仪在冷库中使用时，一般的技术要求有以下几项。

温度显示和控制范围：-50 ~ +50℃

温度显示和控制精度：0.5 级或 1.0 级

输出触点容量：3A 或 5A、220V 或 380V

上下限设定范围：均为 100%

数字显示位数：不少于 3 位

电源：AC 220V 或 380V ± 10% 50Hz

温度显示控制仪有制冷专用和通用两类。通用的位式控制的温度显示控制仪背面的接线端子如图 7-5 所示。这一类的温度显示控制仪，当传感器所感受的温度低于下限设定值时，上、下限继电器均为总低合、总高断。当传感器所感受的温度等于或高于下限设定值而低于上限设定值时，下限继电器均为总低断、总高合；上限继电器均为总低合、总高断。当传感器所感受的温度等于或高于上限设定值时，上、下限继电器均为总低断、总高合。用于库温双位控制时，需另加一个中间继电器，以中间继电器作为温度显示控制仪的执行机构，接线方法见图 7-6。

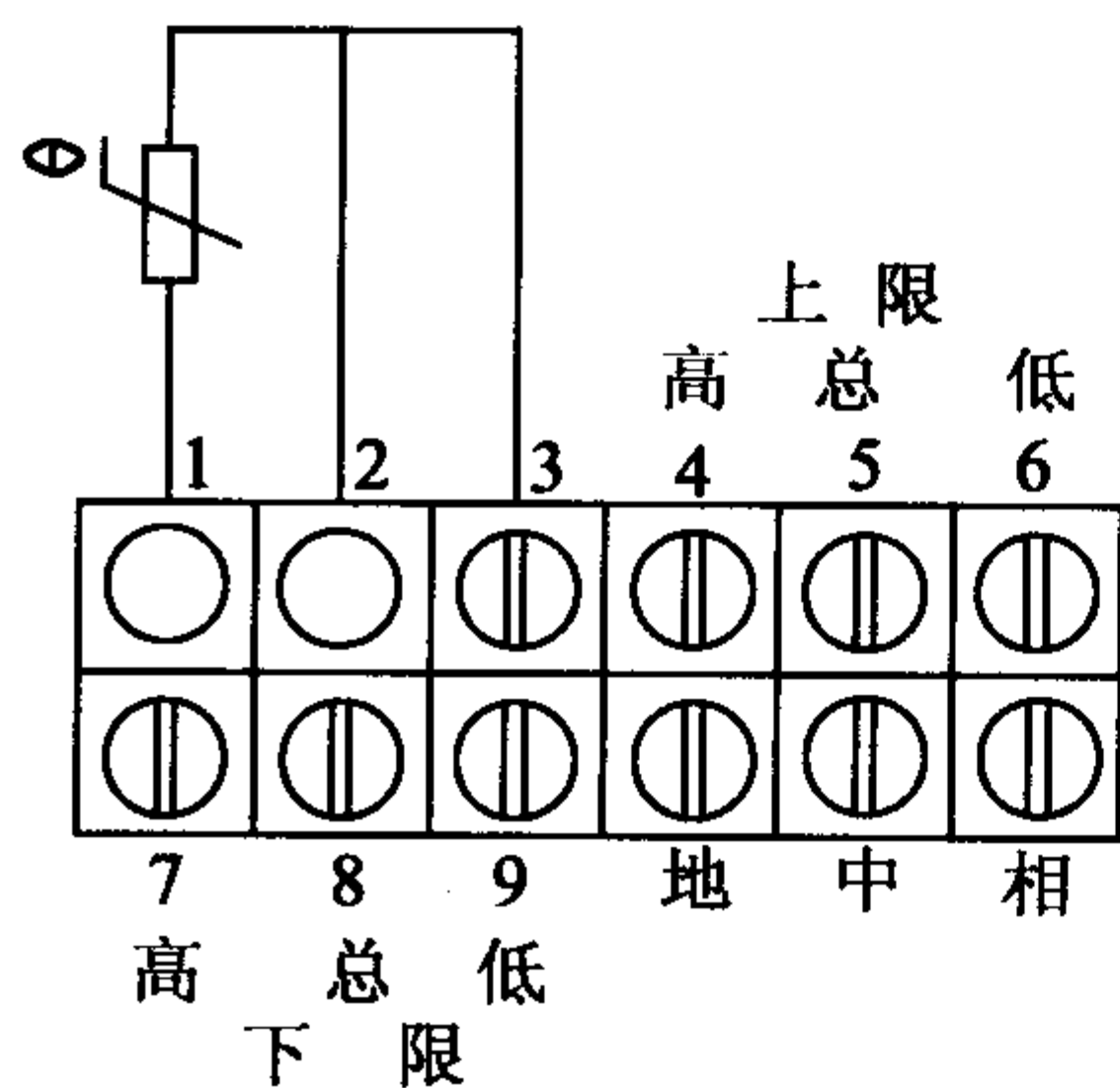


图 7-5 温度显示控制仪接线端子

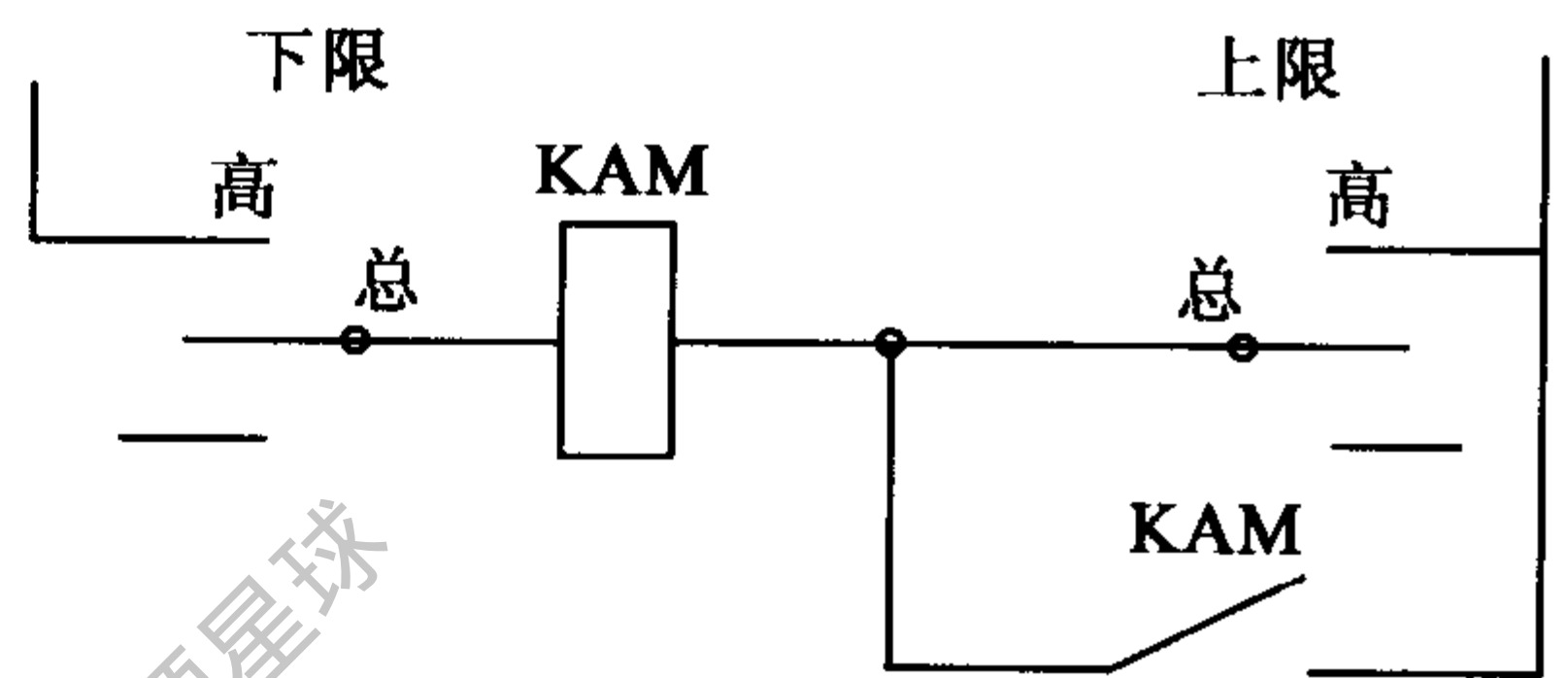


图 7-6 通用温度显示控制仪的接线方法

### 7.1.1.3 温度控制线路

根据冷间的数量和温度，冷库有单温库和多温库两类。根据压缩机数量的不同，又可分为单机和多机两种。

单机单温库的库容通常较小，其温度控制与大型冷柜相同。温控器控制压缩机、冷风机和电磁阀等设备的开停，感温元件设置于冷风机进风口或其他能代表库内平均温度的地方。这类冷库温度控制部分的线路如图 7-7 所示。

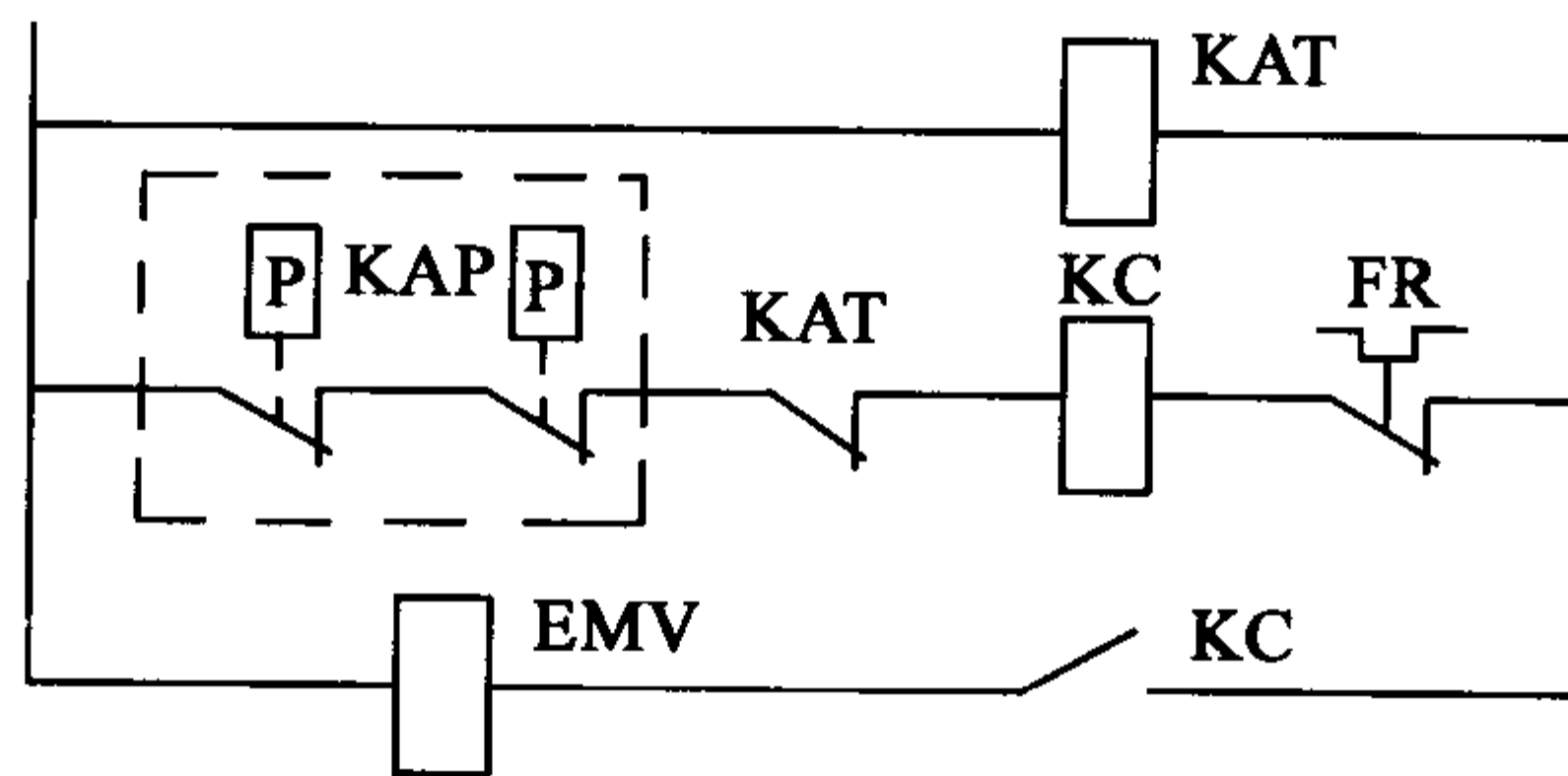


图 7-7 单机单温库的温度控制回路

KC—交流接触器 KAP—压力继电器 KAT—温度控制仪 FR—热继电器 EMV—电磁阀

一机多温冷库用一台压缩机向多个冷间供冷，各冷间温度不同。每个冷间各设一套温度控制器件和冷间冷却设备。各蒸发器并联，通过制冷剂的流通和截止、蒸发压力调节来控制库温，其制冷系统和温控方案如图 7-8 所示。



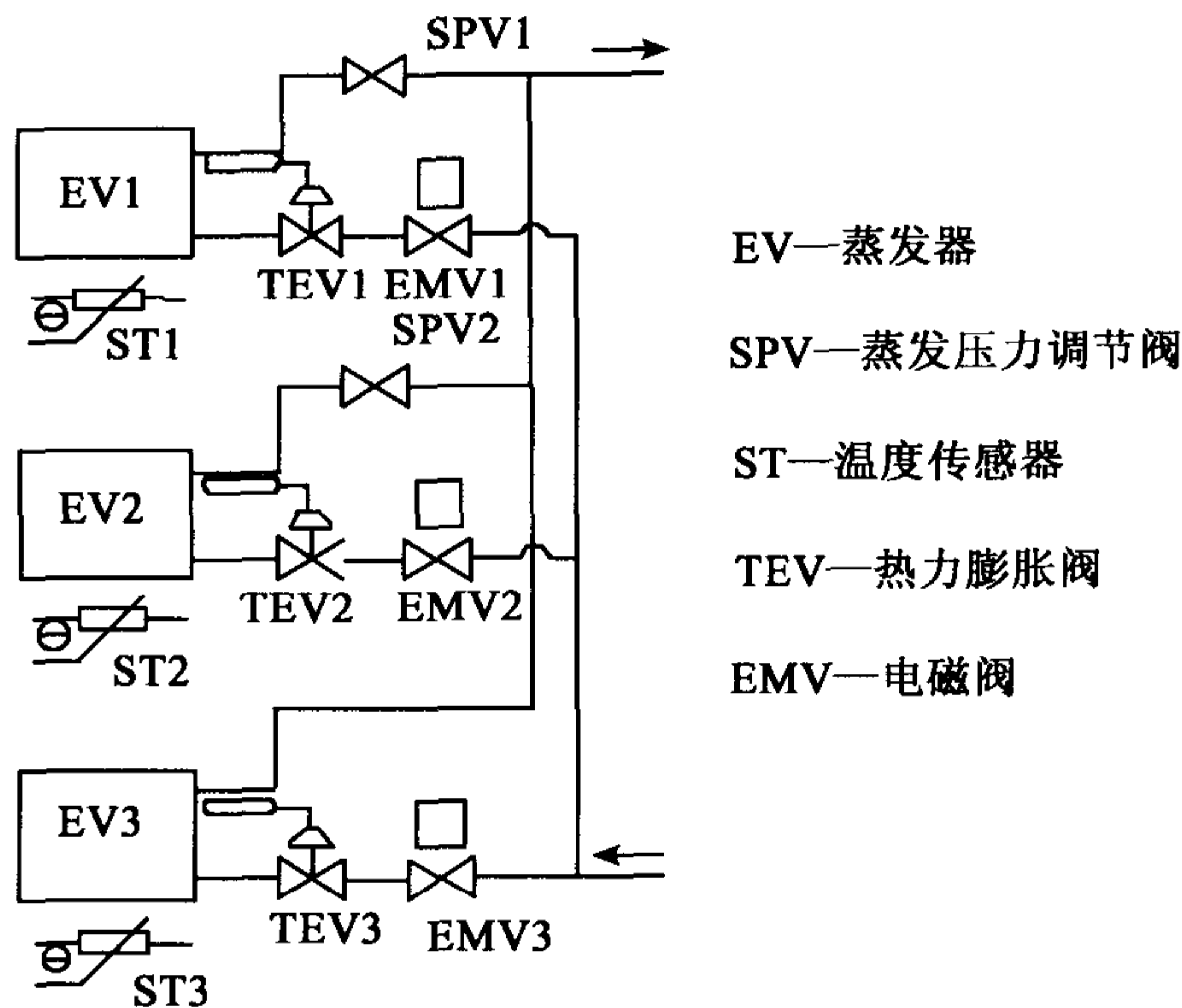


图 7-8 单机多温库的库房系统

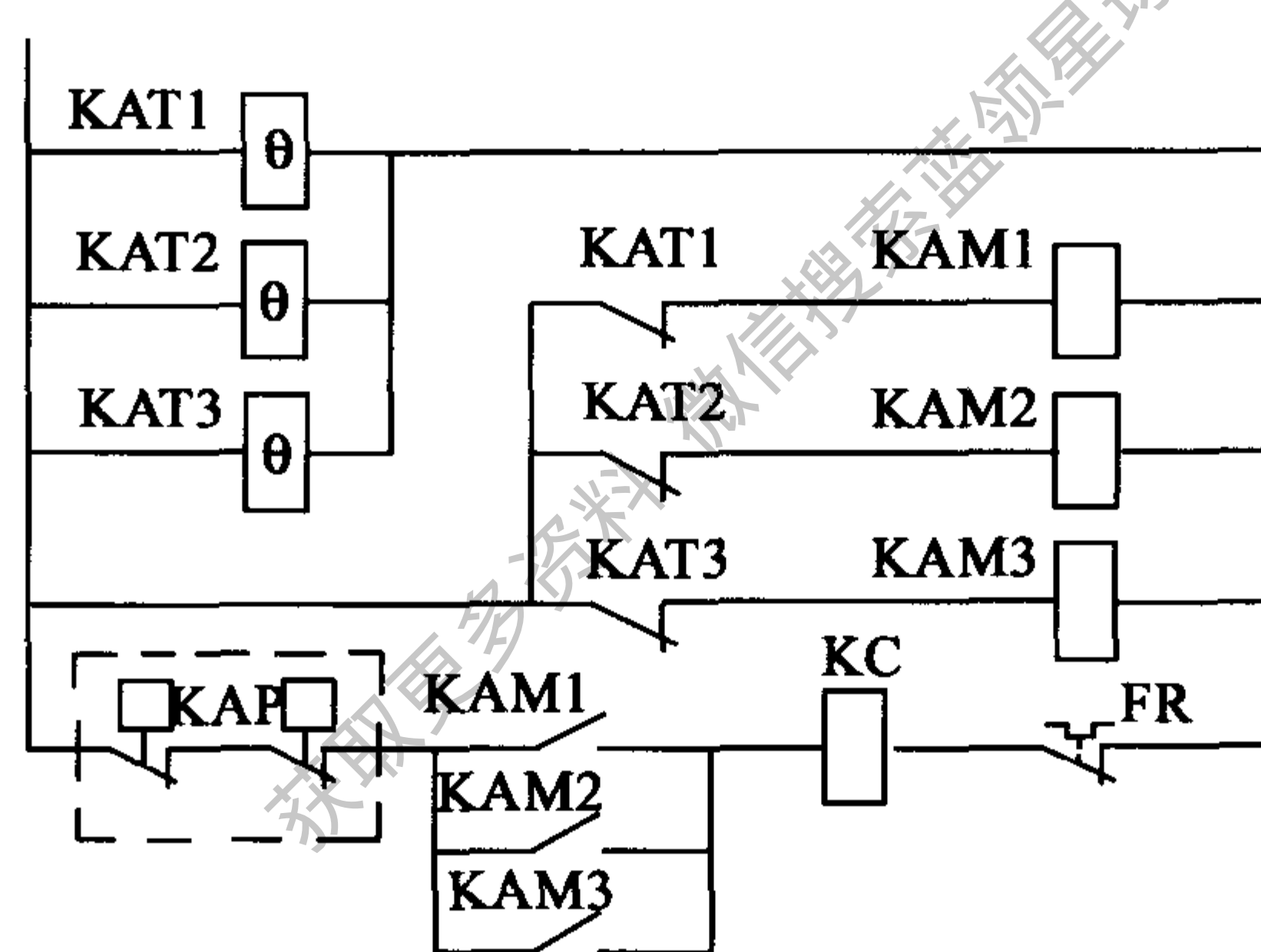


图 7-9 单机多温库的温度控制回路

### 7.1.2 相对湿度控制器件与线路

对于冻结物冷藏间来说，相对湿度的保持与控制的重要性仅次于温度，居第二位。而对于冷却物冷藏间而言，相对湿度几乎是与温度同等重要的热工参数。因此，库内温度、湿度应同时控制，才能保证被贮存物品的品质。

#### 7.1.2.1 控制方案与特性

冻结物冷藏间的湿度控制难度较大。由于其库温低，加湿困难。湿度控制的主要措施是减小库温波动，减小蒸发器空气侧传热温差，以减小去湿量。同时，食品采用有包装入库，以减少食品干耗。除个别有特殊要求的场合外，几乎没有向库内加湿的。

为了控制和保持冷却物冷藏间的湿度，可能需要减湿，也可能需要加湿。由于库内冷却设备的冷却过程是减湿冷却，减湿过程伴随着降温过程同时进行，减湿在冷库运行中始终存在。所以，冷却物冷藏间的湿度保持主要依靠加湿。

库内使用的加湿设备主要有电极式加湿器、电热式加湿器、离心式加湿器、超声波式加



湿器等四类。由于电极式和电热式加湿器的加湿效率低、加湿时产生较大热量，库房内应尽量避免使用。

相对湿度控制一般仍为双位控制，控制规律与控制过程的特性与库温控制相同。如库内仅需加湿，且使用离心加湿器或超声波加湿器时，可将相对湿度单独进行控制。此时，控制线路相当简单，如图 7-10 所示。相对湿度传感器应设置在最能代表平均相对湿度的位置，通常在冷风机的进风口。

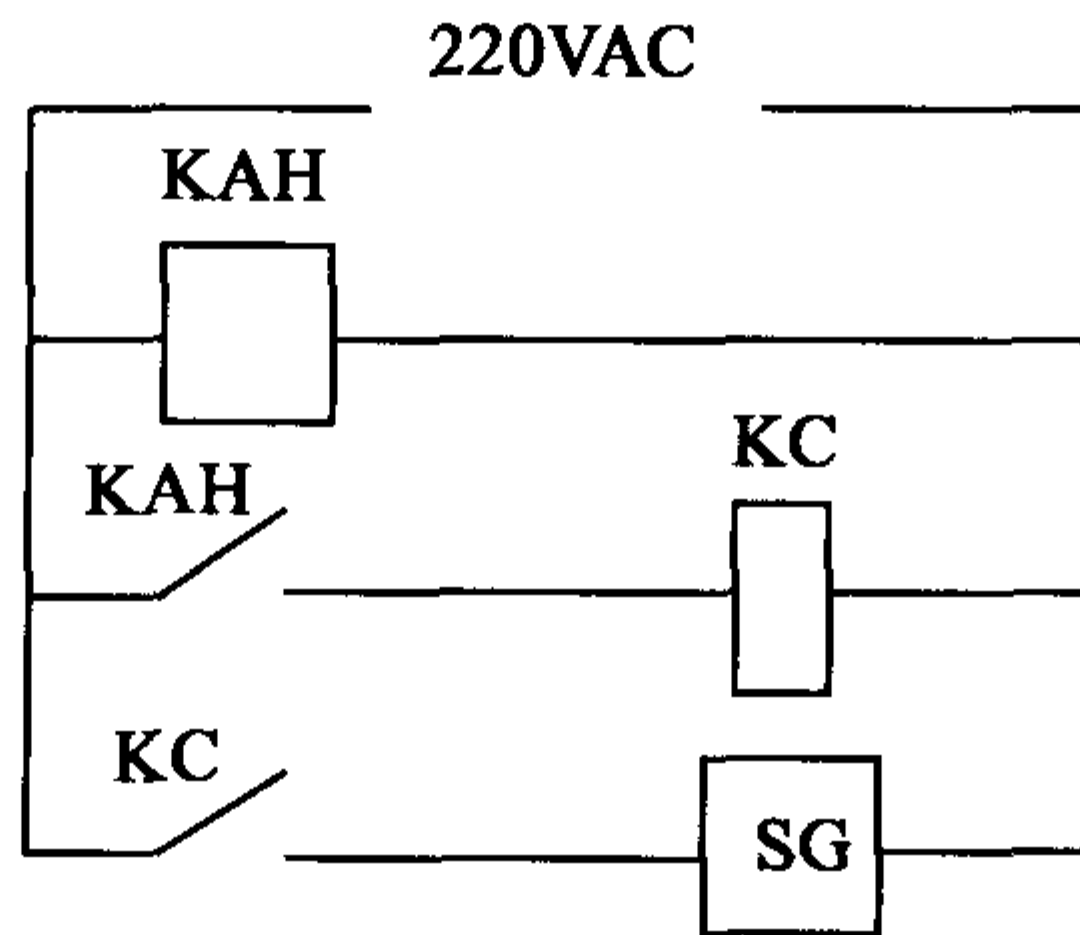


图 7-10 相对湿度控制线路

KAH—湿度调节器 KC—交流接触器 SG—加湿器

#### 7.1.2.2 湿度调节器

湿度调节器又称湿度控制器，有毛发式湿度仪、干湿球湿度仪、电子湿度控制器等几种。过去主要应用毛发式湿度仪，目前电子湿度控制器的应用日益普及。

电子湿度控制器的原理框图见图 7-11。在冷库中使用的此类仪表，应选到的一般技术指标主要有以下几项。

湿度调节范围：50% ~ 90% RH

控制误差：< 5% RH

使用温度范围：-5 ~ +60℃

继电器触点容量：3A 或 5A、220V 或 380V

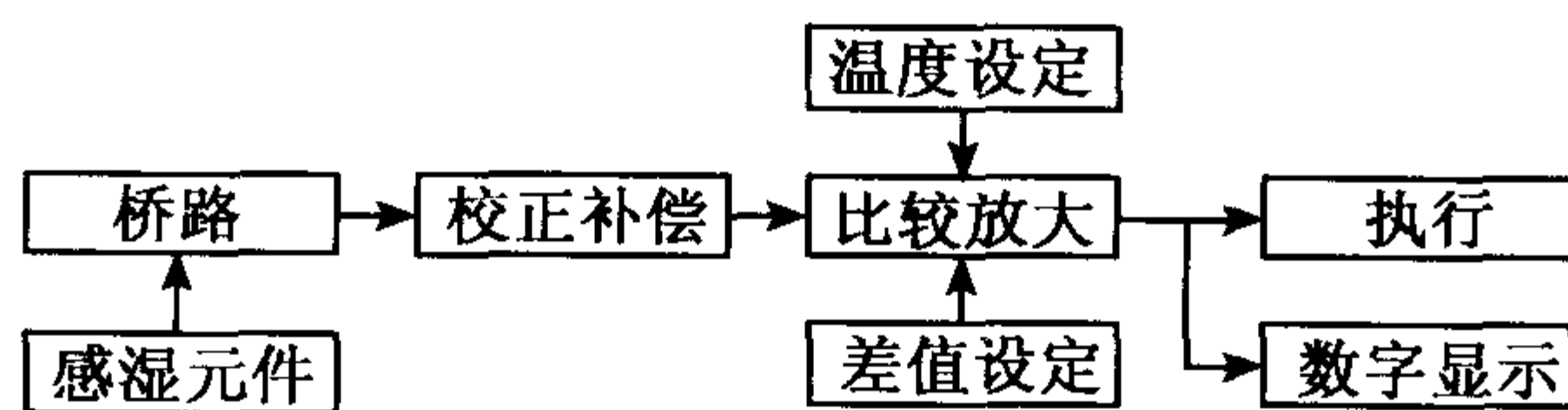


图 7-11 相对湿度显示控制仪原理

选择应用电子湿度控制器时，应注意所用的湿敏元件应与仪表的要求相一致。目前常用的湿敏元件有以下几类：

(1) 硅湿敏电阻 硅湿敏电阻是用加入少量碱金属氧化的硅粉烧结而成。在冷库使用时的技术特性有：使用温度范围：-10 ~ +55℃，测量范围应不小于 30% ~ 90% RH，湿度温度系数约为  $3 \times 10^{-3} \% \text{RH}/^\circ\text{C}$ 。风速为零时全量程降湿平衡时间小于 10min，精度为 2.5% RH，元件年变化率小于 2% RH/℃，寿命不少于 5 年。硅湿敏电阻抗水抗污性能好、阻值变化大、元件一致性好。

(2) 氯化锂湿敏电阻 氯化锂湿敏电阻是在一绝缘芯上平行绕两根铂丝，外涂以聚乙烯醇为粘接剂的氯化锂而制成的。相对湿度越高，氯化锂盐吸收的水蒸气越多，电阻值也越

小。其测量范围为 50% ~ 90% RH，测量误差通常为 5% RH。平衡时间约 5min，使用寿命约 3 年。湿度温度系数约为  $4 \times 10^{-3} \% \text{RH}/^{\circ}\text{C}$ 。氯化锂湿敏电阻的配套湿度控制器较常见，但其寿命短、互换性差。

(3) 湿敏电容 湿敏电容以高分子聚合膜为感湿材料，其电容值随相对湿度变化呈线性变化。使用温度范围： $-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$ ，最低可达  $-40^{\circ}\text{C}$  以下。测量范围为 0 ~ 100% RH，响应时间约为 15s，精度为  $\pm 2\% \sim \pm 4\% \text{RH}$ ，湿滞小于 3% RH，湿度温度系数约  $5 \times 10^{-4} \% \text{RH}/^{\circ}\text{C}$ 。湿敏电容稳定性好、响应时间短、寿命长、使用温度与测量范围宽，但元件表面易污染、不可用手触摸、不宜在结霜条件下长期使用。

在条件许可的情况下，湿敏元件应尽可能选用硅湿敏电阻或湿敏电容。

相对湿度控制可与温度控制合用一个控制器，即温湿度控制器，来控制库温和相对湿度。

### 7.1.3 液位与液量控制

液位控制与液量控制是冷库控制的重要方面，也是冷库安全运行的重要保障。液位控制包括制冷剂液位控制和油位控制，液量控制包括冷却水量和冷媒水量控制。

#### 7.1.3.1 水流继电器

水温控制与保护有两方面的意义，一方面是防止冷却水温过高，另一方面是防止冷媒水温过低。造成冷却水温过高的原因是冷却水泵故障或水管路堵塞造成冷却水断流或冷却水量不足、水冷却塔故障造成冷却水无法降温等。冷却水温过高的危害是冷凝温度和压力上升，尤其是冷却水断流，会造成冷凝压力急剧上升。造成冷媒水温过低的原因是冷媒水泵故障或水管路堵塞，造成冷媒水断流或冷媒水量不足、冷负荷过小造成的蒸发温度过低等。冷媒水温过低的危害是冷媒水冻结，将蒸发器胀裂，尤其是冷媒水断流，会在很短时间内冻坏蒸发器。

由以上分析可知，断流和流量不足是冷却水温过高和冷媒水温过低的主要原因，也是破坏性最大的因素，所以水温与水流量保护是密切相关的，防止冷却水温过高和冷媒水温过低最主要的措施是断流和流量不足保护，所用的器件是水流继电器，如图 7-12 所示。

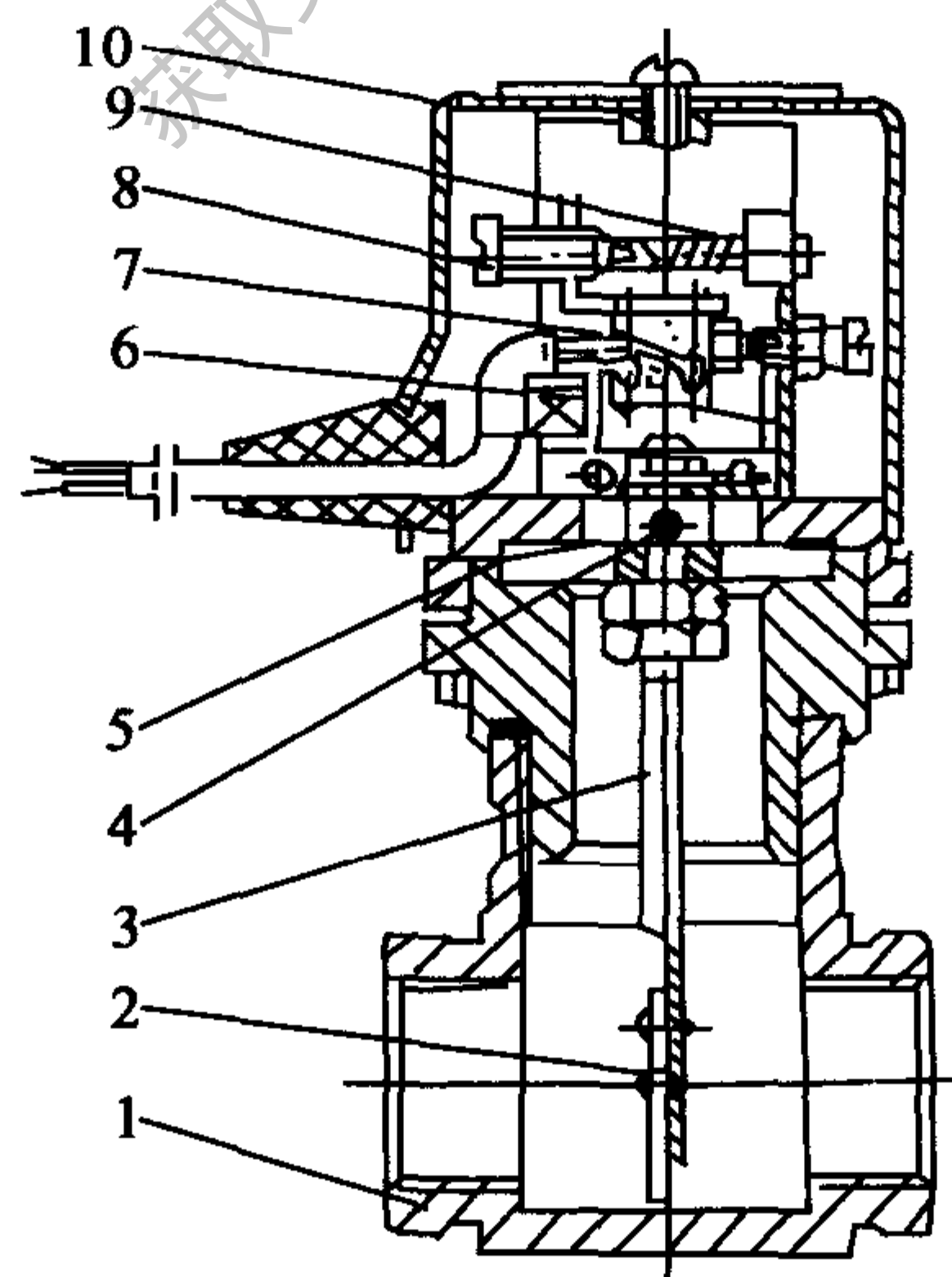


图 7-12 水流继电器

1. 管接头 2. 挡水板 3. 心轴 4. 轴销 5. 膜片 6. 拨杆  
7. 触点 8. 调节螺钉 9. 弹簧 10. 罩壳

### 7.1.3.2 液位计

液位计又称液面指示计，在制冷工艺中用以指示容器中的制冷剂或润滑油的液面位置。一般冷凝器、集油器、贮液桶等设备上均配有液位计。液位计应安装在明显和不易碰撞的地方，安装前需将两端阀门用煤油清洗干净，内部滚球要灵活，盘根填料处不能漏气，两阀门应安装在同一中心线上，最后安装高压玻璃管，外装保护罩，见图 7-13。

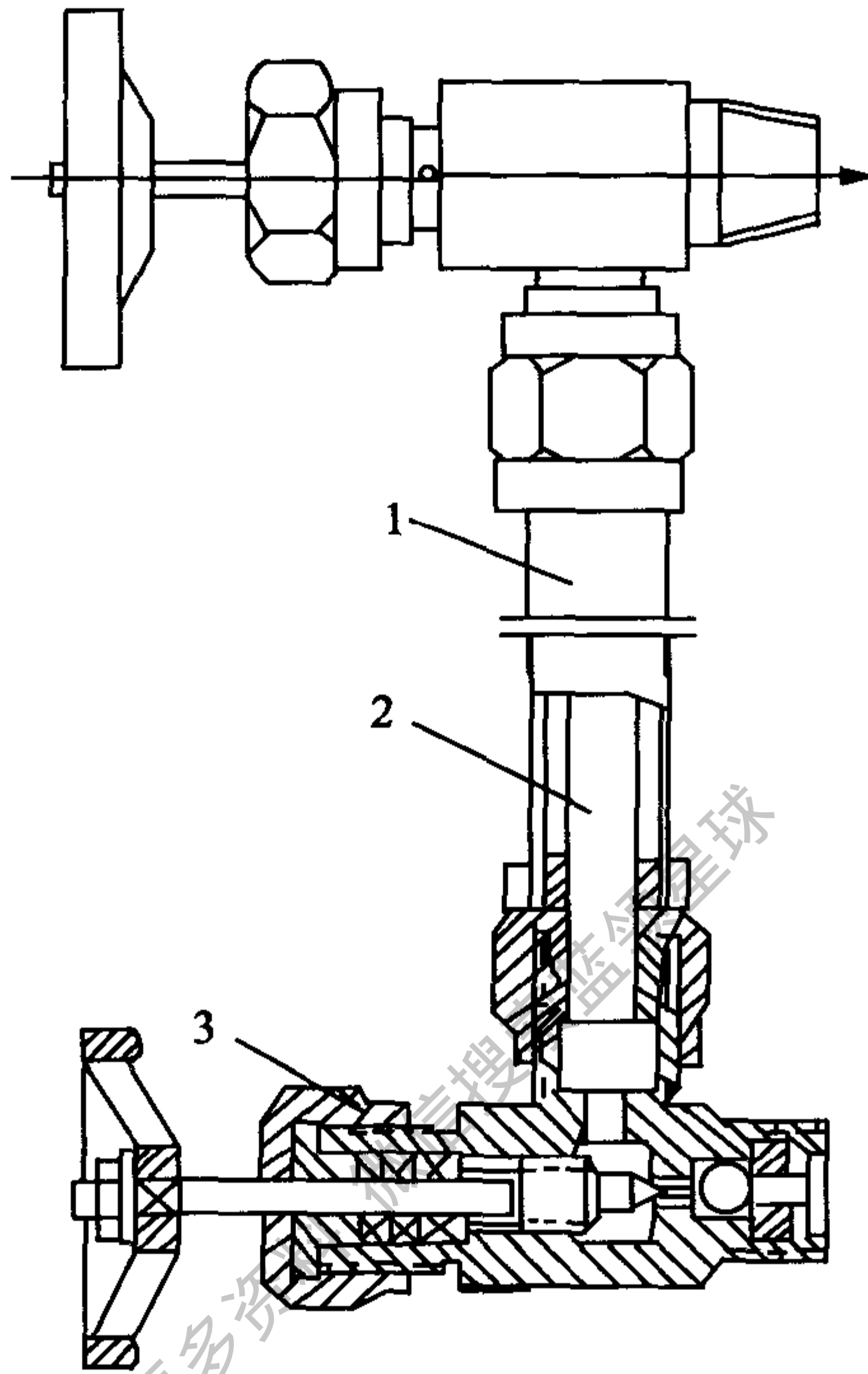


图 7-13 液位计

1. 保护罩 2. 玻璃管 3. 液位计阀

### 7.1.4 融霜自动控制

冷库融霜的方式主要有自然融霜、电热融霜、水冲霜、热蒸气融霜、蒸气加水融霜等多种，对于不同的融霜方式，有不同的控制方法。

#### 7.1.4.1 自然融霜控制

如冷间的温度为  $4 \sim 7^{\circ}\text{C}$ ，蒸发器有可能结霜，但霜温较高，通常为  $-2 \sim 0^{\circ}\text{C}$ ，此时可采用自然融霜方法。当蒸发器工作时，换热表面结霜。如回风温度达到设定温度下限，供液阀关闭，蒸发器停止工作，换热表面温度自然回升。在库温达到设定温度上限之前，依靠库内热量将霜融化。如冷间制冷设备为冷风机，则先启动风机，在蒸发器不制冷的情况下通风，使换热表面温度上升到  $0^{\circ}\text{C}$  以上。自然融霜常用时间控制，融霜结束后，再向蒸发器供液，使蒸发器投入制冷。

由以上融霜工作过程可知：这种融霜方式是将融霜与库温控制同时进行，每一个循环周期内有一次融霜。使用的温控器可以是电子温控仪，也可以是定温差型或定温复位型压力式温控器，融霜时间用通电延时型时间继电器来控制，控制线路见图 7-14。如为单机单温库，则压缩机应与供液电磁阀联动，均需延时。

自然融霜时所需的热量来自库内，无需另加热量。但只适合  $4 \sim 7^{\circ}\text{C}$  的冷间，融霜时间



较长，延时继电器需有 60min 内可调的延迟时间。

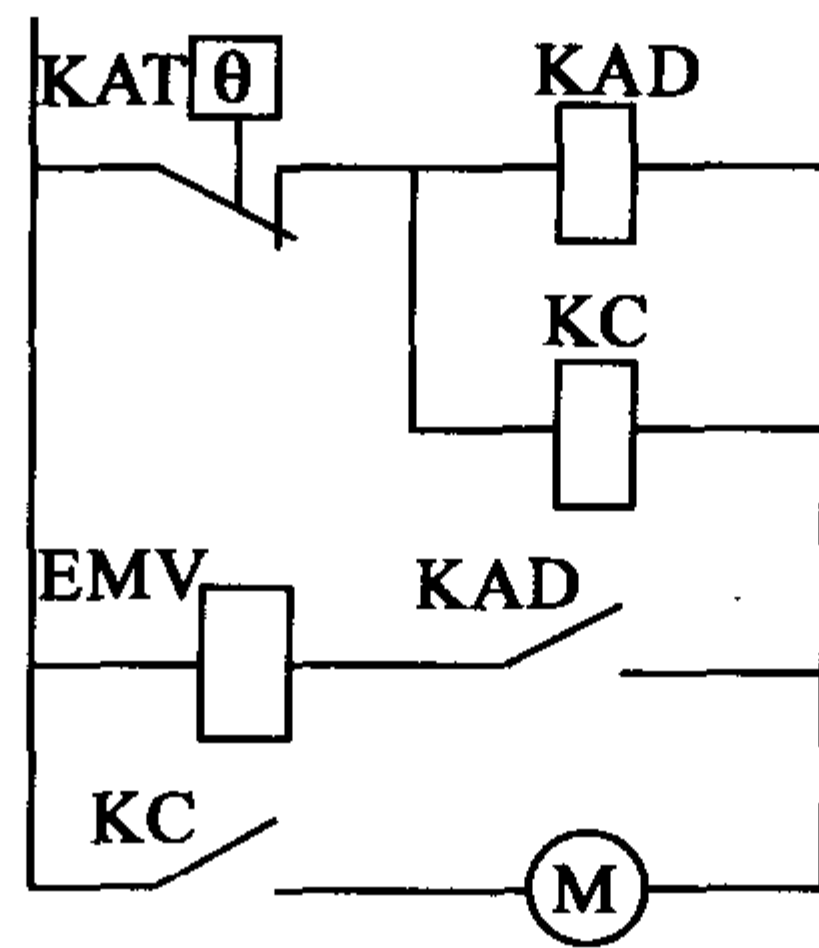


图 7-14 自然融霜控制线路

KAT—温控器 KAD—延时继电器 KC—交流接触器 EMV—电磁阀 M—风机电动机

#### 7.1.4.2 电热融霜控制

电热融霜利用电加热器产生的热量融化翅片管式蒸发器上的结霜，适用于小型室内用装配式冷库。这种融霜方式的优点是制冷系统与控制系统均很简单、控制与执行器件价廉、除霜完全，缺点是耗电多，融霜耗电给冷间带来额外的冷负荷，故不宜在较大的冷库中使用。

采用这种融霜方式时，融霜与温度控制线路见图 7-15。该线路用时间控制融霜的开始，用温度控制融霜的结束。当制冷系统累计工作时间达到设定时间后，融霜控制器动作，计量线路回零，融霜加热器通电，融霜开始。当蒸发器温度达到 13℃ 时，融霜温控器跳开，融霜加热器停止加热，融霜结束，计量线路启动。约 2min 后，制冷系统开始工作。但蒸发器风机不运转，再延时约 30s 风机才启动。过热保险丝的作用是防止融霜温控器损坏而使蒸发器温度过高。

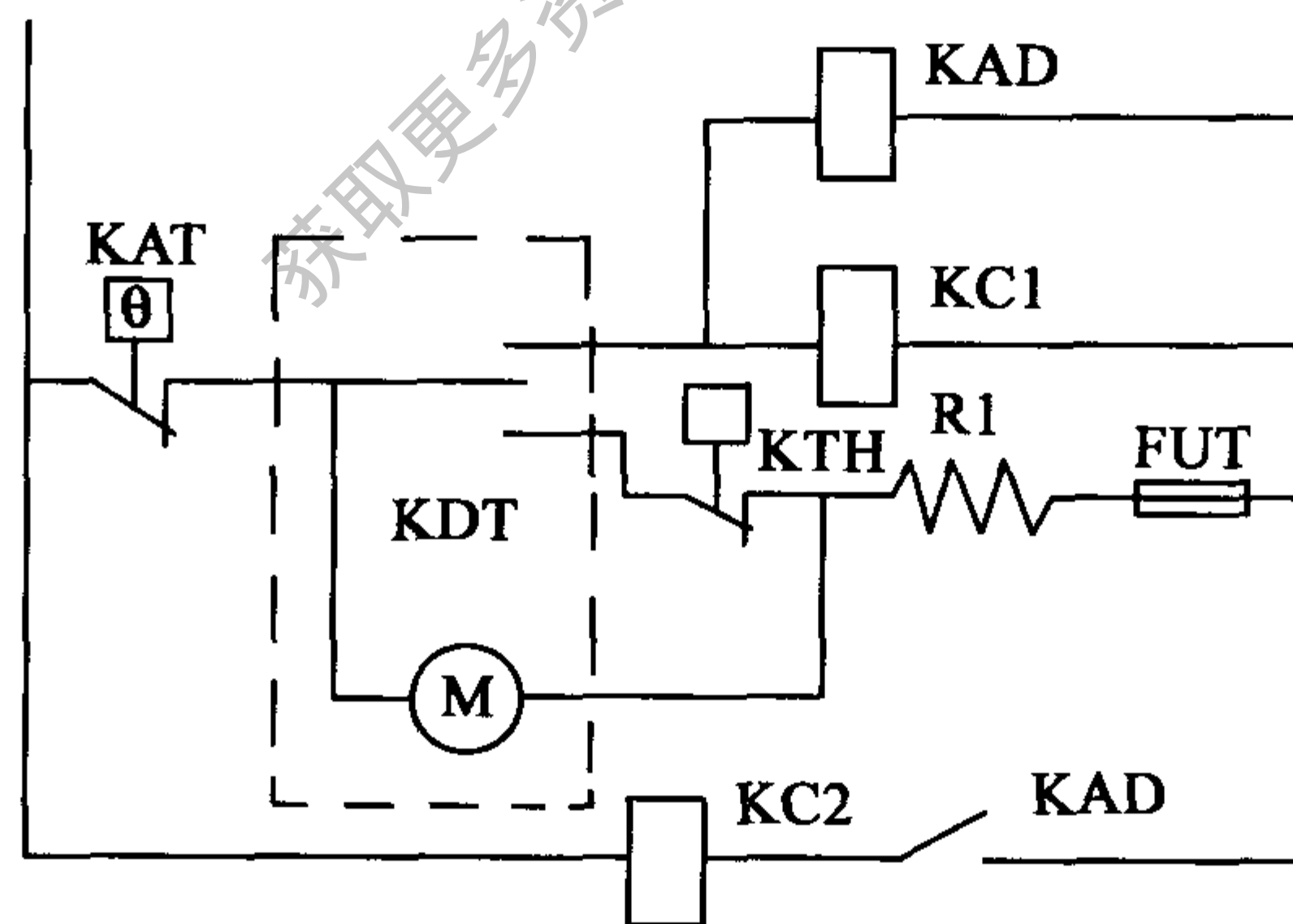


图 7-15 电热融霜控制线路

KAT—温控器 KDT—融霜控制器 KC—交流接触器 KAD—延时继电器  
KTH—融霜温控器 M—融霜控制器电机 R1—融霜加热器

#### 7.1.4.3 热蒸气加水融霜控制

在热蒸气融霜方式的基础上，向蒸发器上淋水，可加快融霜速度。这种融霜方式适用于有多台及多台蒸发器的中型以上冷库。

采用热蒸气加水融霜方式，在融霜时热蒸气与水同时开通，霜融化后先关闭冲霜水，蒸发器表面上的水烘干后再关闭热蒸气。一方面利用热制冷剂蒸气加热蒸发器表面的内层霜，使之与蒸发器表面分离，另一方面利用水加热外层霜，并将破碎的霜层冲走。

这种融霜方式适合于三台及其以上蒸发器，且蒸发温度高于 $-40^{\circ}\text{C}$ 的场合。其融霜速度快、耗能少、库温容易稳定，但系统复杂、控制要求高。

采用这种融霜方式的直接蒸发式库房系统如图 7-16 所示，库房制冷系统中各电磁阀与风机的动作时序见表 7-1。

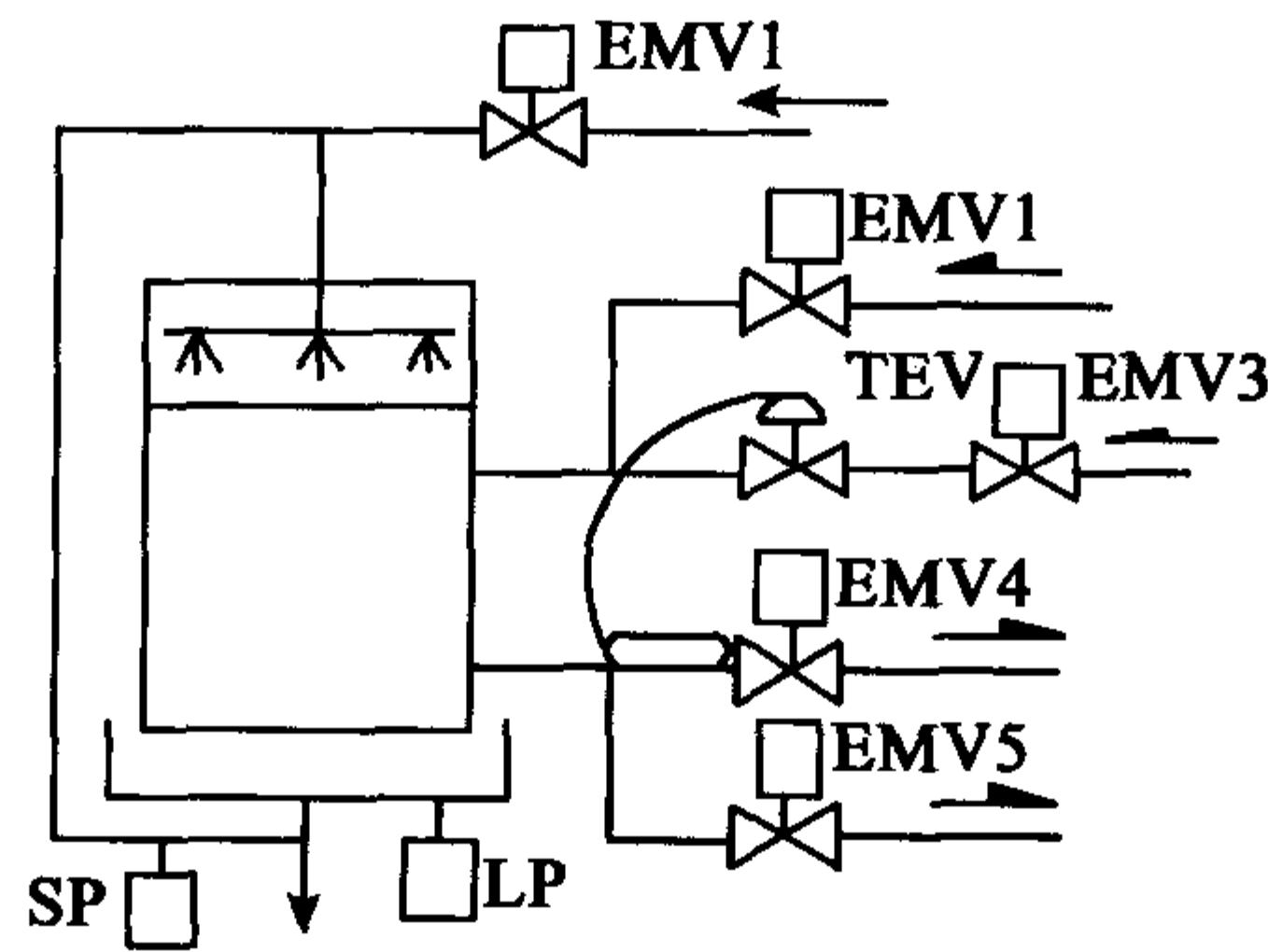


图 7-16 热蒸气融霜加水融霜的库房系统

EV—蒸发器及风机 TEV—热力膨胀阀 EMV—电磁阀 SP—压力传感器 LP—液位传感器

表 7-1 电磁阀与风机的动作

名称	符号	1	2	3	4	1
冲霜水电磁阀	EMV1	+	-	-	-	+
融霜热蒸气电磁阀	EMV2	+	+	-	-	+
供液电磁阀	EMV3	-	-	-	+	-
回气电磁阀	EMV4	-	-	+	+	-
融霜回液电磁阀	EMV5	+	+	-	-	+
蒸发器风机电机	EV	-	-	-	+	-

在系统中，泄水管上设一个压力传感器 SP，以防止电磁阀关闭不严造成冻结。接水盘上设置液位传感器，用来防止排水口或排水管冻结而造成的接水盘溢水。融霜水量根据库温确定，当库温为 $-18^{\circ}\text{C}$ 以下时，每平方米蒸发器外表面积的需水量为 $0.7 (\text{kg}/\text{min})$ ；如库温为 $0^{\circ}\text{C}$ 以上时，每平方米蒸发器外表面积的需水量为 $0.6 (\text{kg}/\text{min})$ 。融霜水温应为 $15 \sim 24^{\circ}\text{C}$ 。如水温过低，则融霜速度太慢，且接水盘和排水管容易冻结。如水温超过 $24^{\circ}\text{C}$ ，则融霜时出现水雾，会造成墙壁结冰。

为使控制系统可靠工作，融霜周期常采用时间积算式控制，而融霜时间多采用时间控制方式。由于在冷库运行条件下可靠性目前还不很好，霜层厚度控制方式和微压差控制方式应用较少。

热蒸气加水融霜的控制较复杂，控制器件可以是带有自动融霜控制的单片机温度控制器。这类控制器一般有多个控制回路，可将库温、相对湿度、融霜等控制结合在一起控制。这种控制又称 DDC (Direct Digital Control) 控制，使用时，应根据冷库融霜的实际情况确定控制程序。为了说明控制原理，图 7-17 用全继电器方式给出了原理图。

#### 7.1.4.4 水冲霜控制

如冷间的温度为 $4 \sim 7^{\circ}\text{C}$ ，为了加快融霜，可以向蒸发器上淋水，此方法主要用于冷间

制冷设备为冷风机的场合。启动风机，在蒸发器不制冷的情况下通风并喷淋常温的水，使换热表面温度上升到 0℃ 以上，融霜结束之前，停止冲水，风机继续运行一段时间，将水吹干。

在图 7-16 中去掉 EMV2 和 EMV5 及相关管路，则成为水冲霜的库房系统。水冲霜方式的冲霜水量和水温与热蒸气加水融霜方式相同，电磁阀与蒸发器风机电机的动作仍为表 7-1 中所列。

#### 7.1.4.5 热蒸气融霜控制

如一台或多台压缩机向多台蒸发器供冷，则融霜可以采用热蒸气融霜方式。利用压缩机排气的热量将蒸发器上的霜融化。这种融霜方式适用于三台及以上蒸发器、冷间温度为 -40℃ 以上的场合。其融霜速度快、耗能少、库温较易稳定，但系统复杂、控制要求高，通常仅在中型以上冷库应用。

当某一蒸发器需要融霜时，关闭向此蒸发器供液和回气的阀门，开启热蒸气和排液阀门，将压缩机排出的热蒸气分出一部分，通入蒸发器，融霜后热蒸气降温并凝结成液体，通过排液阀进入排液桶或低压循环贮液器。

在图 7-16 中去掉冲霜水电磁阀 EMV1 及相关管路，则成为热蒸气融霜方式的库房系统，电磁阀与蒸发器风机电机的动作仍见表 7-1。

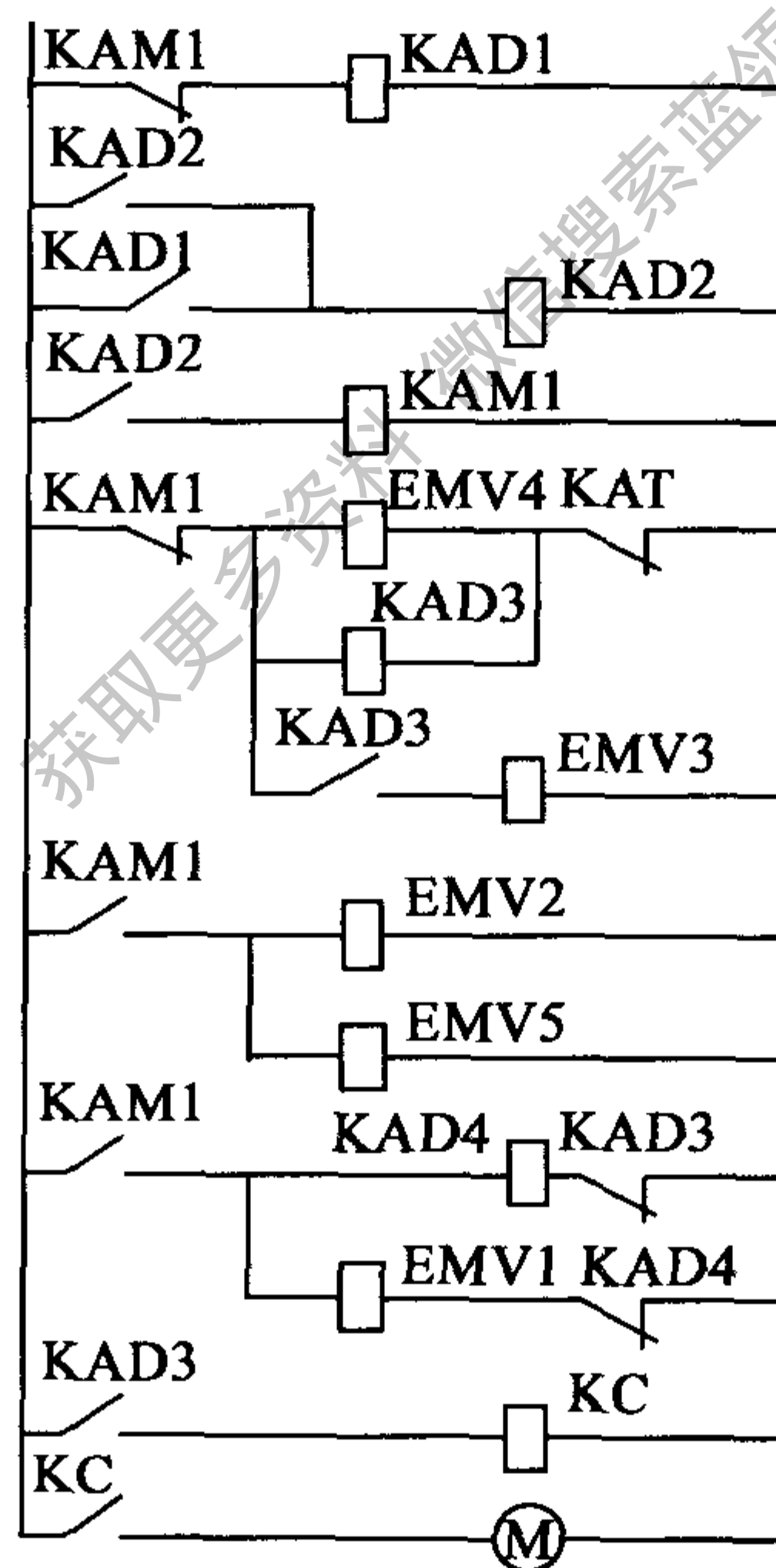


图 7-17 热蒸气加水融霜的控制线路示意图

KAD—时间继电器 KAT—温度控制器 KAM—中间继电器 KC—交流接触器

必须指出，虽然热蒸气加水融霜方式的自动控制是发展的趋势，但由于自动控制器件的水平所限，目前国内大部分采用热蒸气加水融霜的冷库，特别是氨制冷系统，为了保证运行的可靠性，仍采用手动控制。

#### 7.1.5 冷凝压力与蒸发压力调节

冷库制冷系统工作时，希望冷凝压力和蒸发压力稳定在合适的工作范围内。冷凝压力过



高则冷凝温度也高，导致压缩机功耗增大，而且还容易引起压缩机、设备和阀门密封处泄漏；而冷凝压力过低则节流阀的流量变小，导致蒸发压力和蒸发温度下降，食品干耗增大，直接膨胀式库房系统的制冷量也将下降。

### 7.5.1.1 应用水冷式冷凝器时冷凝压力的调节

当冷凝器为水冷式冷凝器时，可用调节冷却水量的方法来调节冷凝压力。所用调节器件为水量调节阀，具体有利用压力信号和利用温度信号进行调节两种，其系统连接分别见图7-18和图7-19。由于饱和压力与饱和温度存在对应关系，两种器件的调节作用完全相同。

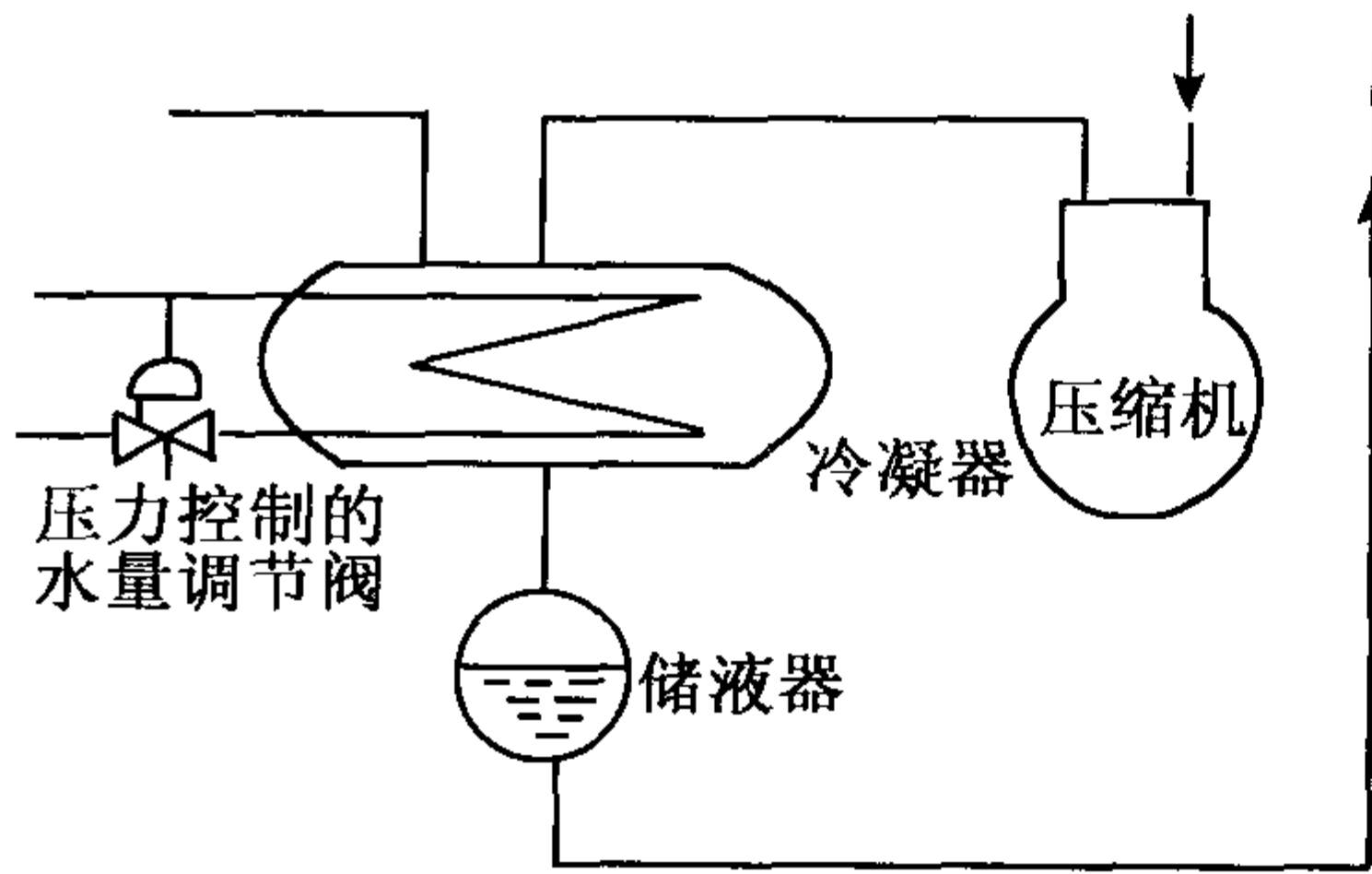


图 7-18 利用压力信号进行调节的系统

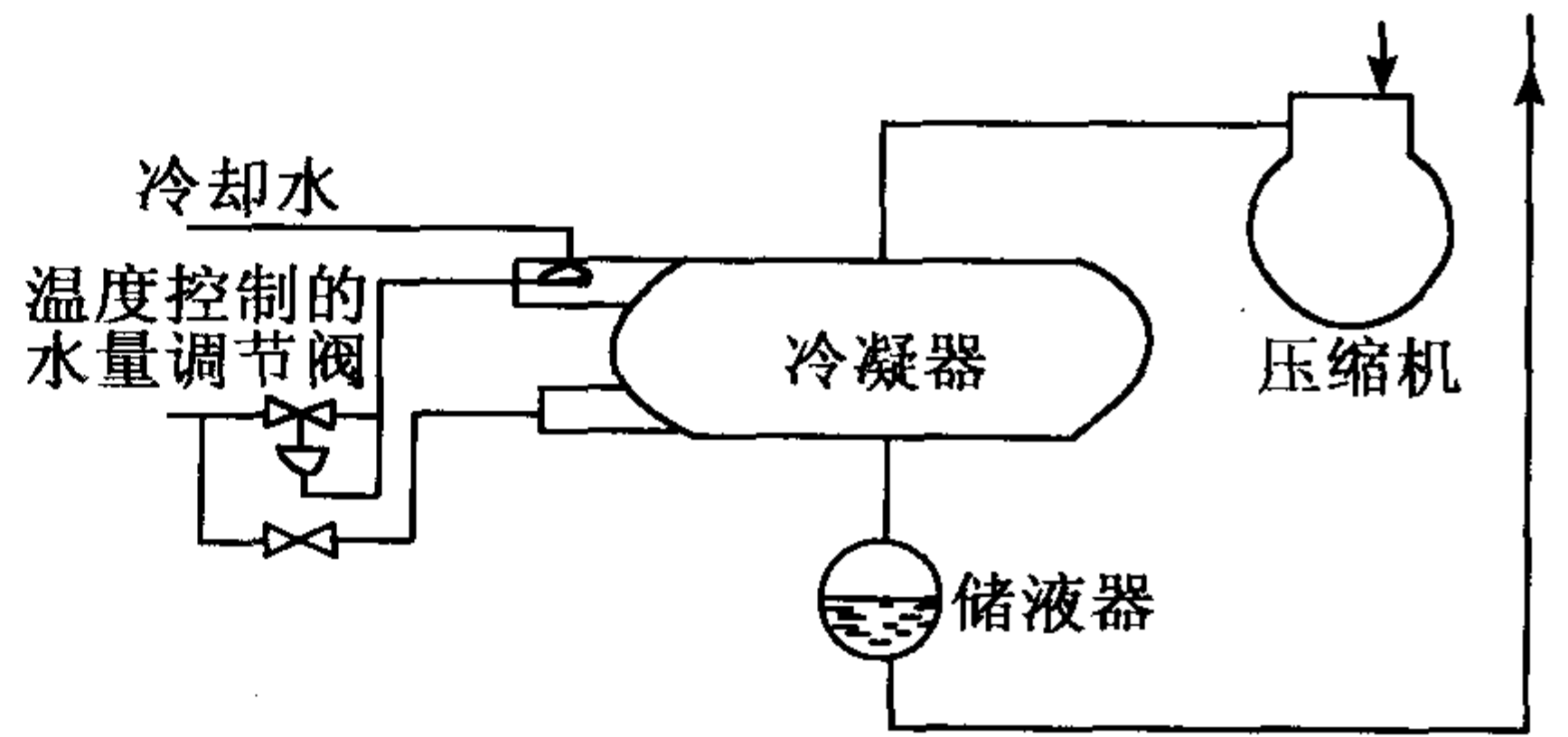


图 7-19 利用温度信号进行调节的系统

图7-20为直动式压力控制的水量调节阀，在阀上部有连通管连接到冷凝器，以感受冷凝压力的变化。如果冷凝压力升高，阀的波纹管就被压缩，使上顶杆和下顶杆下移，将阀门开大，增大冷却水量，从而使冷凝压力降低，回复到给定值范围；反之，如果冷凝压力下降，弹簧向上顶调节螺杆，则阀门关小，减少冷却水量，让冷凝压力回升到给定值范围。阀

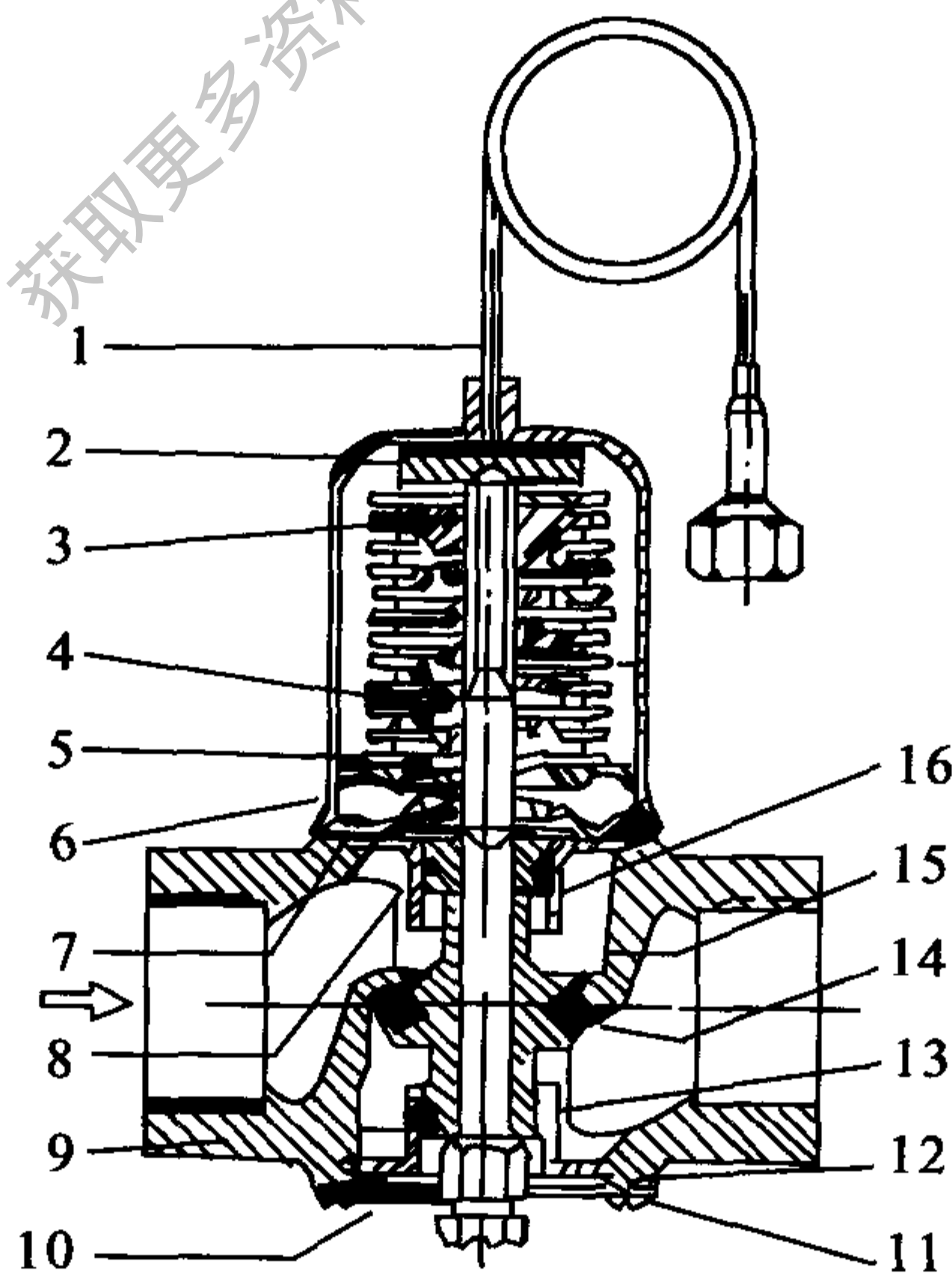


图 7-20 直动式压力控制的水量调节阀

- 1. 传压管 2. 波纹管承压板 3. 可调弹簧座 4. 波纹管 5. 调节弹簧 6. 气箱
- 7. 弹簧下座 8. 上密封活塞 9. 下导套 10. 底板 11. 螺钉 12. 阀杆
- 13. 下密封活塞 14. 密封圈 15. 阀芯 16. 上导套

下部有调节螺杆和弹簧，通过调节螺杆改变弹簧的压力大小，可以获得不同的给定值。若减小弹簧力，冷凝压力的给定值降低，同一冷凝压力下阀开大，冷却水量增多；若增大弹簧力，则冷凝压力的给定值就增大。

图 7-21 所示的水量调节阀为间动式压力控制的水量调节阀，即间接作用二次开启式。它的主阀和导阀组件及节流通道用铜或不锈钢制作。镍丝网过滤器装在节流通道前，避免杂质堵塞通道。冷凝压力通过传压管接头引入，作用在波纹管上，推动推杆带动导阀阀芯。冷凝压力达到设定的开启压力值时，推杆向下推开阀芯，使主阀上腔的水泄入主阀出口，因而主阀上部压力降低，使主阀在阀前后水流压力差的作用下自动打开。冷凝压力越高，主阀开度越大，成比例地增加冷却水流量。冷凝压力低于开启压力的设定值时，导阀在弹簧的作用下关闭，主阀上部压力升到与下部压力相同，由于主阀上部的承压面积大于下部的承压面积，在上、下压力差和弹簧作用下主阀关闭。泄放塞的作用是长期停止作用时放出阀中存水，以防冻结。

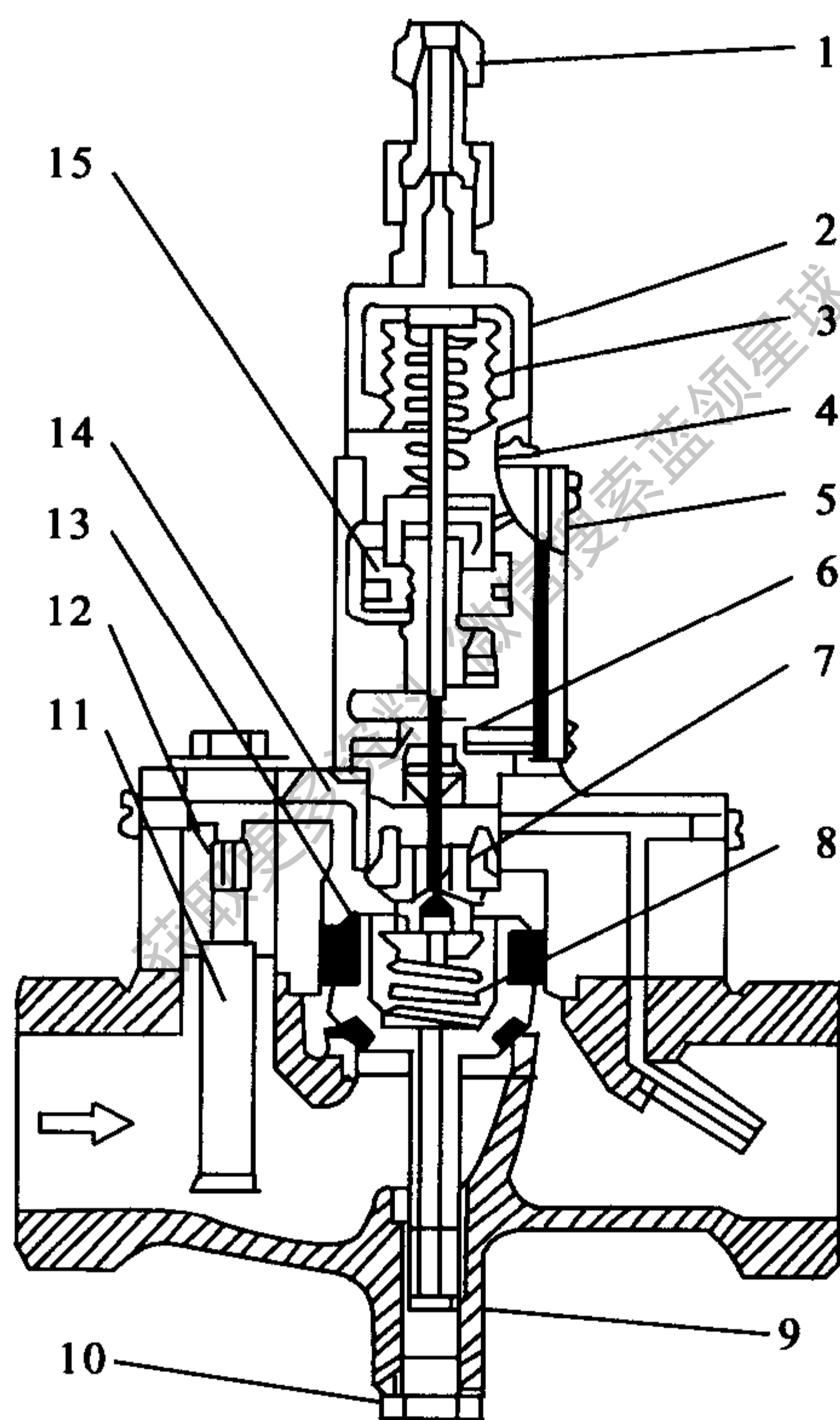


图 7-21 间动式压力控制的水量调节阀

1. 传压管接头 2. 调节弹簧 3. 波纹管 4. 推杆 5. 上侧盖  
6. 导阀组件 7. 导阀阀芯 8. 弹簧 9. 螺钉 10. 泄放塞  
11. 导阀进口滤网 12. 节流通道 13. 主阀 14. 阀盖 15. 调节螺钉

温度控制的水量调节阀是利用冷却水进出温差参数来调节冷却水量，进而达到控制冷凝压力的目的。图 7-22 是它的结构图。它的动作原理和压力控制的水量调节阀相同，所不同的是用温包感受温度变化再转换成压力变化去操纵阀。

#### 7.5.1.2 应用风冷式冷凝器时冷凝压力的调节

当冷凝器为风冷式冷凝器时，目前常用两种方法调节冷凝压力。其一是改变冷却风机风

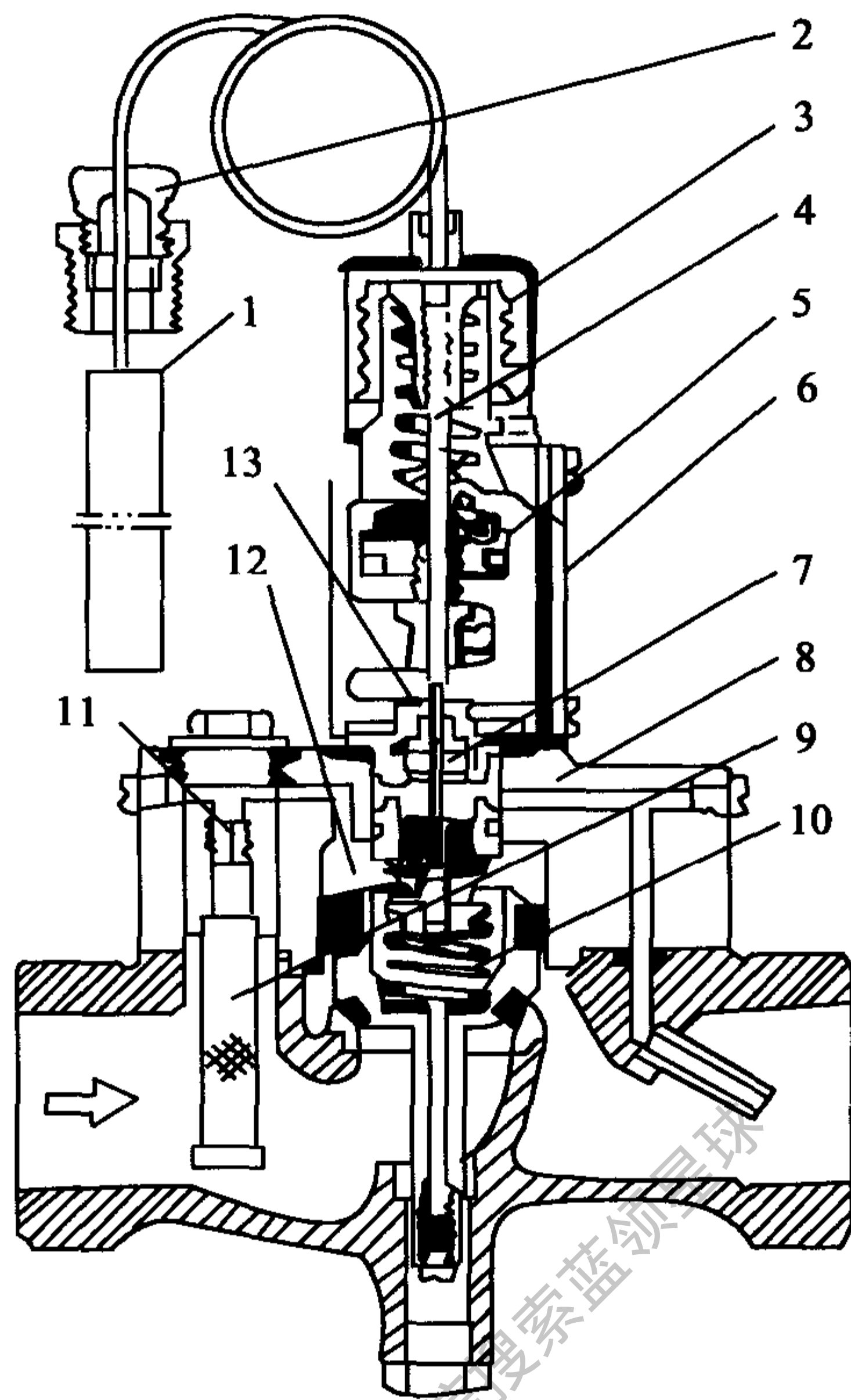


图 7-22 温度控制的水量调节阀

1. 感温包 2. 接头 3. 波纹管 4. 推杆 5. 调节螺母 6. 上侧盖 7. 隔热垫  
8. 阀盖、9. 滤网 10. 弹簧 11. 节流通道 12. 主阀 13. 导阀

量法，一般是对冷却风机电机变频调速来调节风量，如为多台风机，也可用压力继电器控制部分冷却风机的启停来调节风量，进而达到控制风冷冷凝器冷凝压力的目的。其二是利用压力调节阀与旁通调节阀来稳定冷凝压力，这种系统的安装图如图 7-23 所示。当冬季冷凝压力下降时，压力调节阀根据阀前冷凝压力关小调节阀，使冷凝器与储液器之间有较大的流动阻力，同时冷凝器中液体量增多，用于冷凝的面积减小，使冷凝压力回升到给定值。当冷凝压力回升时，压力调节阀开大，减少液量、使冷凝面积充分利用，从而使冷凝压力不致过分升高。旁通调节阀则是根据储液器内的压力（为阀后压力）来控制其开度，使储液器内压力与冷凝器压力始终保持恒定的差值，此差值一般约为 0.05 ~ 0.1MPa。

### 7.5.1.3 导阀与主阀组合调节蒸发压力

压力导阀与主阀组合使用调节蒸发压力的系统布置如图 7-24 所示。压力导阀又叫恒压阀或定压阀，结构如图 7-25 所示，主阀的结构如图 7-26 所示。它们组合使用时，用压力引管将蒸发器出口的压力信号引入导阀膜片的下部，当蒸发压力为设定值时，克服膜片上部的弹簧力，膜片向上移动，导阀开启，将制冷剂蒸气引入主阀的控制压力接口。制冷剂蒸气压力推开主阀上的单向阀片，蒸气进入主阀活塞上部的腔室，推动活塞下移，使主阀处于设定对应的开度上。蒸发压力超过设定的值时，导阀开度增大，主阀活塞上腔的压力提高，将主阀口开大；反之，如低于设定值时，主阀口关小；蒸发压力低于导阀弹簧力的设定值时，导阀关闭，主阀活塞上腔的制冷剂经过活塞上的平衡孔泄到吸气侧，在主阀活塞下部弹簧的作用下，主阀关闭。



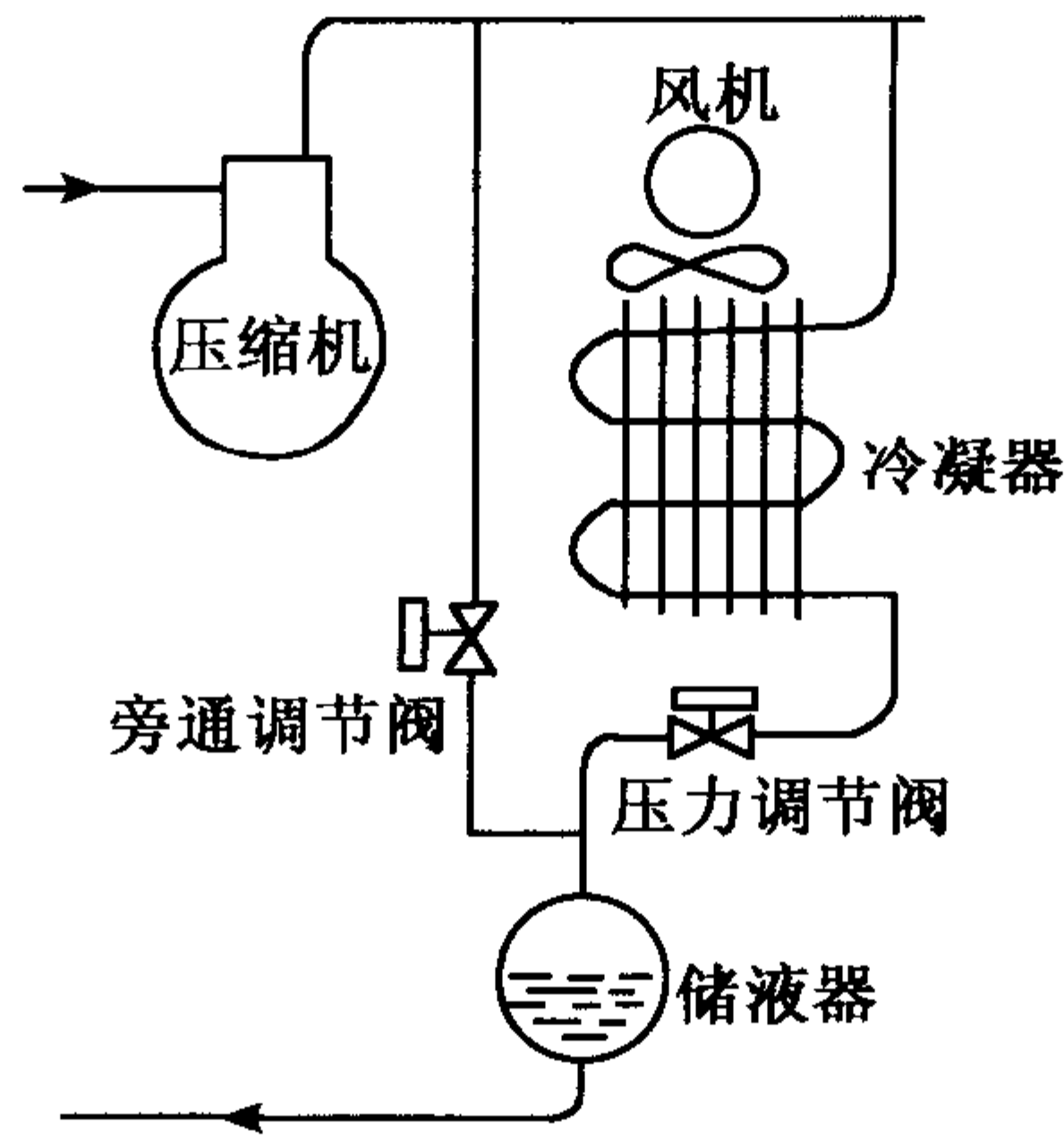


图 7-23 应用风冷式冷凝器时冷凝压力的调节

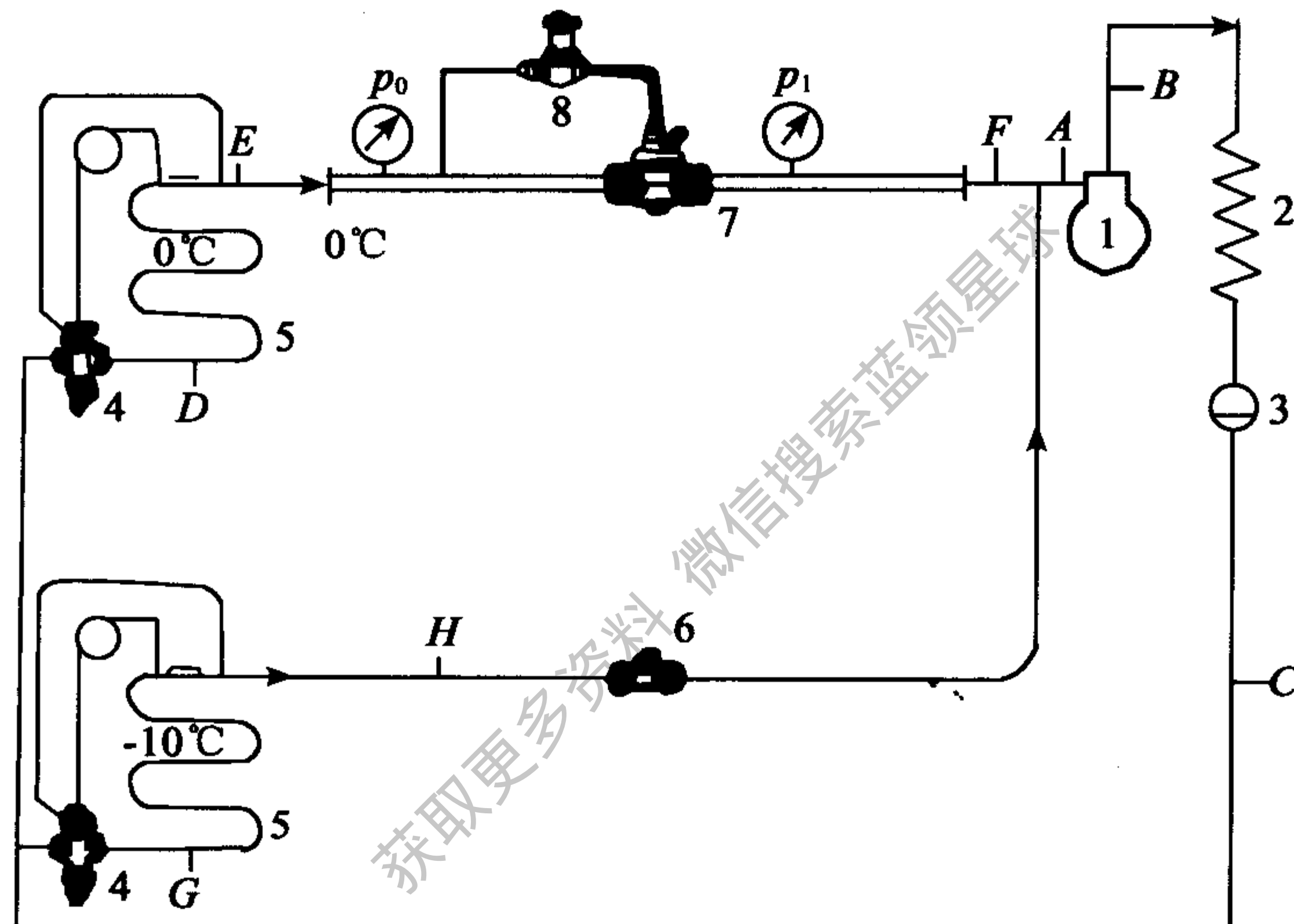


图 7-24 压力导阀与主阀组合使用调节蒸发压力

1. 压缩机 2. 冷凝器 3. 贮液器 4. 热力膨胀阀 5. 蒸发器  
6. 止回阀 7. 主阀 8. 压力导阀

为了结构紧凑，还可以将导阀调节器直接连在主阀上，称为恒压主阀，它是控制式蒸发压力调节阀，如图 7-27 所示。连接时省去了外部引压管，由阀体内的辅助通道引导控制压力信号。

从调节特性上分析，定压阀与主阀组合的阀（或恒压主阀）属于比例型调节阀。阀的开度与蒸发压力变化成比例。虽然调节过程中存在一定的静态偏差，但由于导阀和主阀的比例系数较大，主阀的灵敏度高，所以压力波动较小，基本上可以维持蒸发器恒定的蒸发压力（或蒸发温度）。

导阀与主阀组合的控制式阀门在制冷装置中有广泛的应用。导阀起接受和引导信号、控制主阀动作的作用，是控制阀；主阀则是放大执行机构，是调节阀。这种组合阀控制方式的优点在于：主阀根据装置容量要求制成系列尺寸规格，而导阀只需一种尺寸规格，具有通用性，能够与各种尺寸规格的主阀灵活组合，适应多种控制要求。导阀按照它的

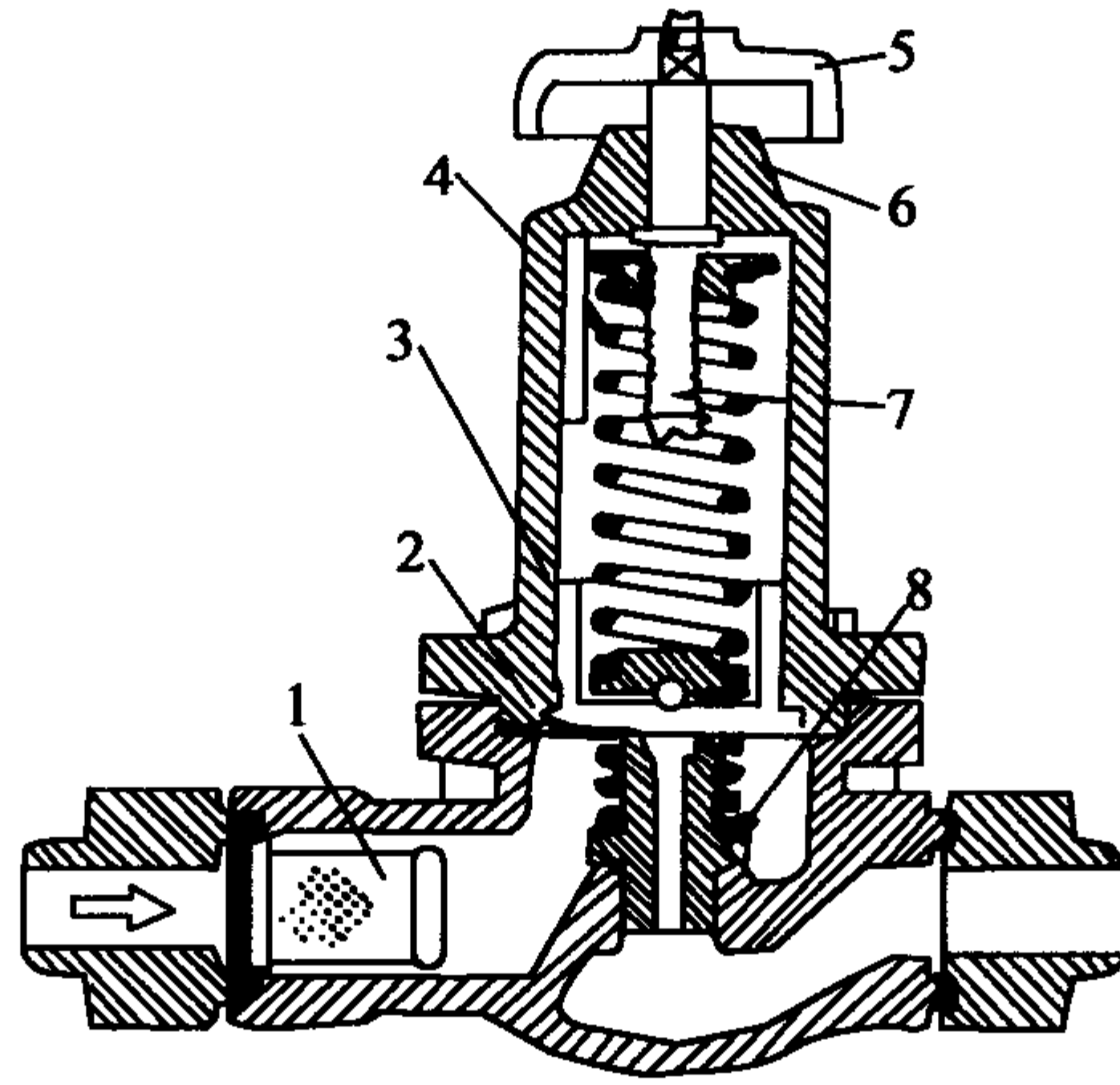


图 7-25 压力导阀

1. 滤网 2. 膜片 3. 弹簧座 4. 弹簧 5. 手轮 6. 密封圈 7. 调节杆 8. 阀座

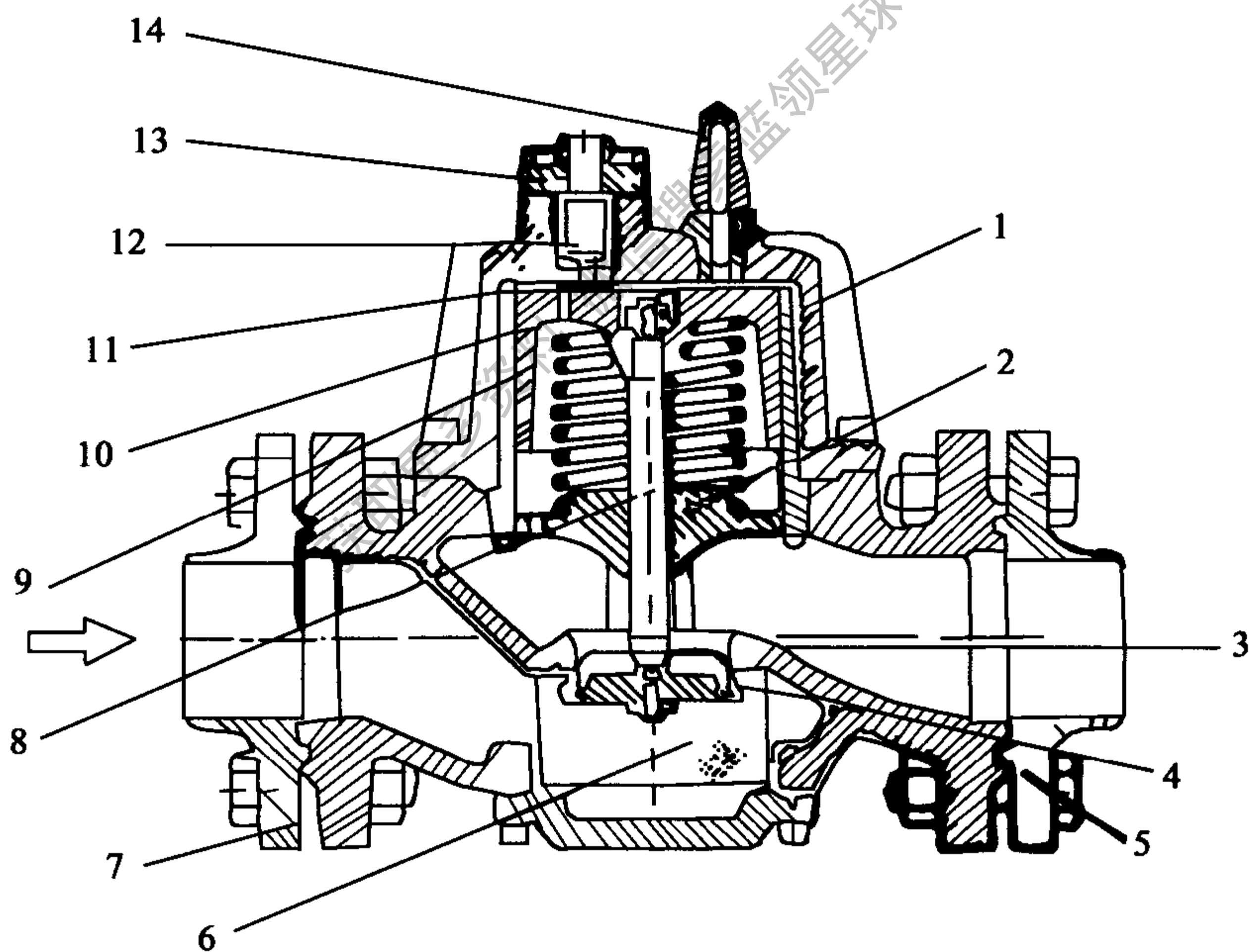


图 7-26 主阀

1. 活塞筒 2. 弹簧座 3. 密封环 4. 阀板 5. 出口法兰 6. 主过滤网 7. 进口法兰

8. 推杆 9. 活塞 10. 平衡孔 11. 止回阀片 12. 过滤网 13. 接管法兰 14. 强制开启手柄

控制信号有：压力导阀（定压阀）、温度导阀（恒温阀）、压差导阀（差压阀）、电磁导阀、电动导阀等等。不仅可以用一种导阀，也可以用几种导阀联合控制主阀动作，取得多种控制效果。

#### 7.5.1.4 排气旁通调节蒸发压力

排气旁通调节蒸发压力有多种型式，应用全封闭压缩机的制冷系统中，可用图 7-28 所

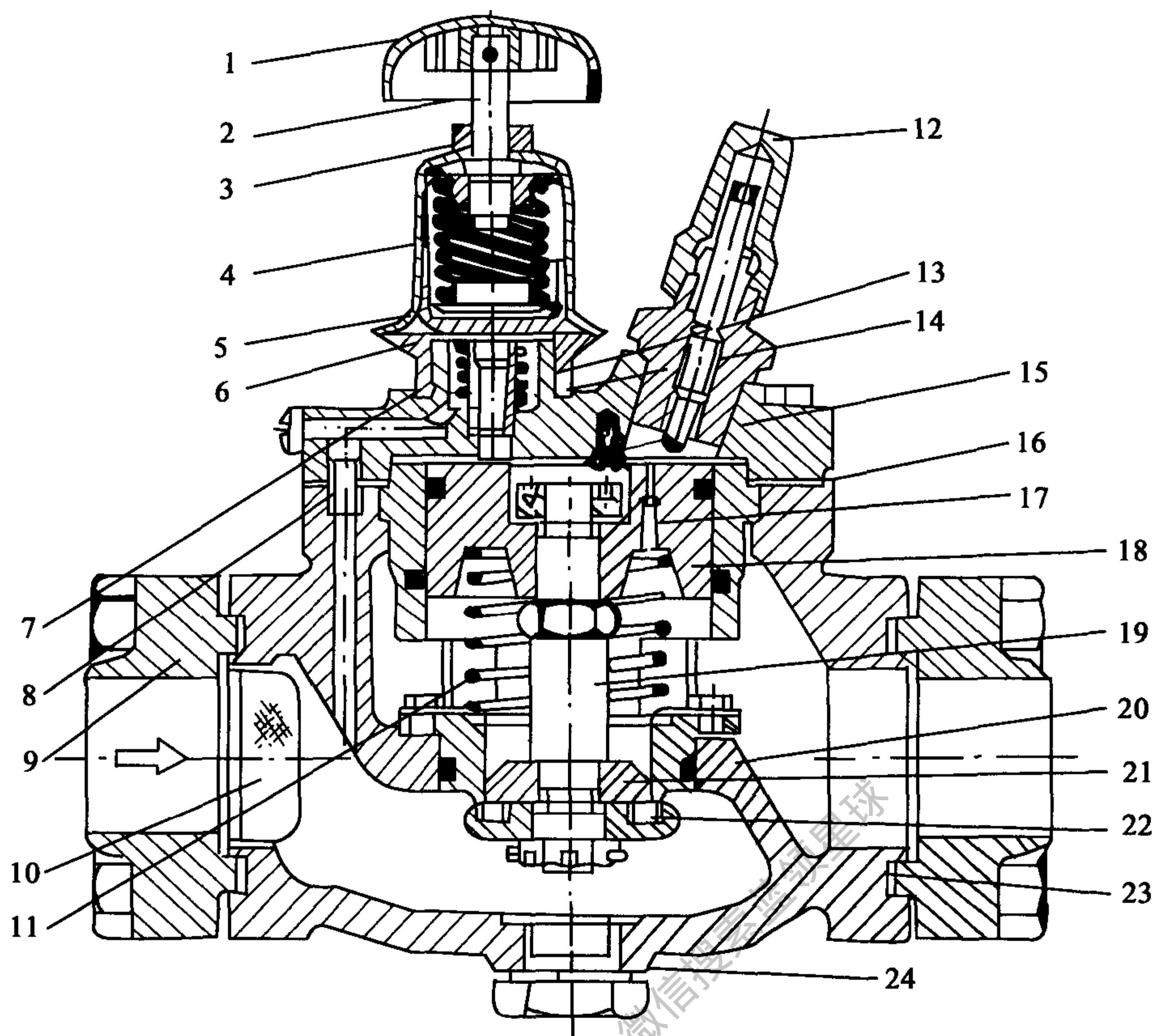
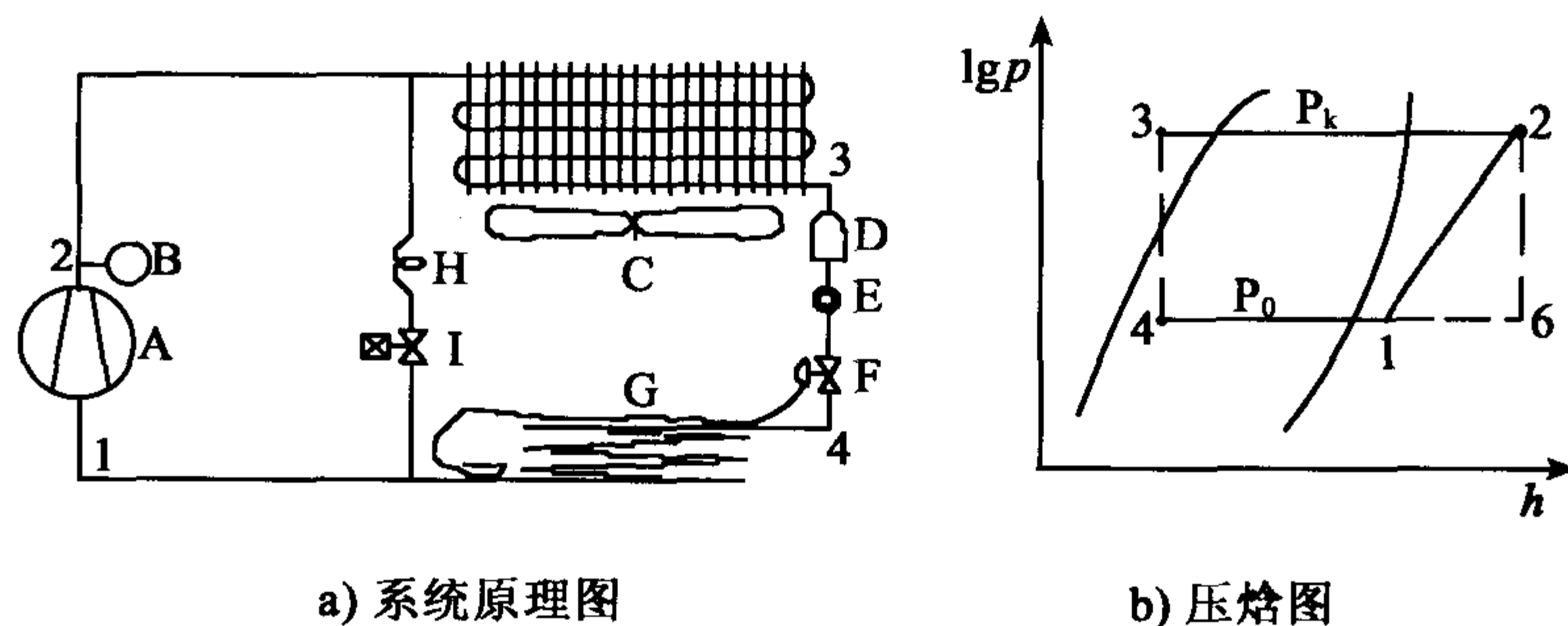


图 7-27 恒压主阀

1. 手轮 2. 调节杆 3. 密封圈 4. 辅助弹簧 5. 辅节流阀 6. 膜片  
 7. 垫片 8. 辅助孔道 9. 进口接管 10. 主过滤网 11. 主弹簧 12. 强制开启手柄  
 13. 辅阀座 14. 过滤网 15. 止回阀片 16. 垫片 17. 压力平衡孔 18. 活塞  
 19. 推杆 20. 密封圈 21. 主调节阀芯 22. 主阀板 23. 垫片 24. 泄放塞

示的热蒸气旁通方式。当冷负荷较小，制冷温度低于所需温度时，开启旁通电磁阀。热蒸气旁通的最大缺陷是进行旁通时，由于6点与1点焓值相差较多，压缩机吸气温度升高，从而



a) 系统原理图

b) 压焓图

图 7-28 热蒸气旁通

- A—全封闭压缩机 B—高压控制器 C—风冷冷凝器 D—干燥过滤器  
 E—视镜 F—热力膨胀阀 G—蒸发器 H—旁通限流管 I—旁通电磁阀



使排气温度升高。旁通的制冷剂质量流量愈大，压缩机排气温度愈高。这个缺陷一方面使压缩机工作条件变劣，另一方面限制了调节范围。

如将制冷系统改进成图 7-29 的型式，利用饱和蒸气旁通，可解决压缩机排气升高问题。当冷负荷与最大制冷量平衡，旁通电磁阀关闭；当冷负荷较小，制冷温度低于所需温度时，旁通电磁阀间断开启，旁通的饱和蒸气与不完全蒸发后湿蒸气混合。冷负荷愈小，旁通电磁阀开启时间愈长，关闭时间愈短，制冷量也愈小。

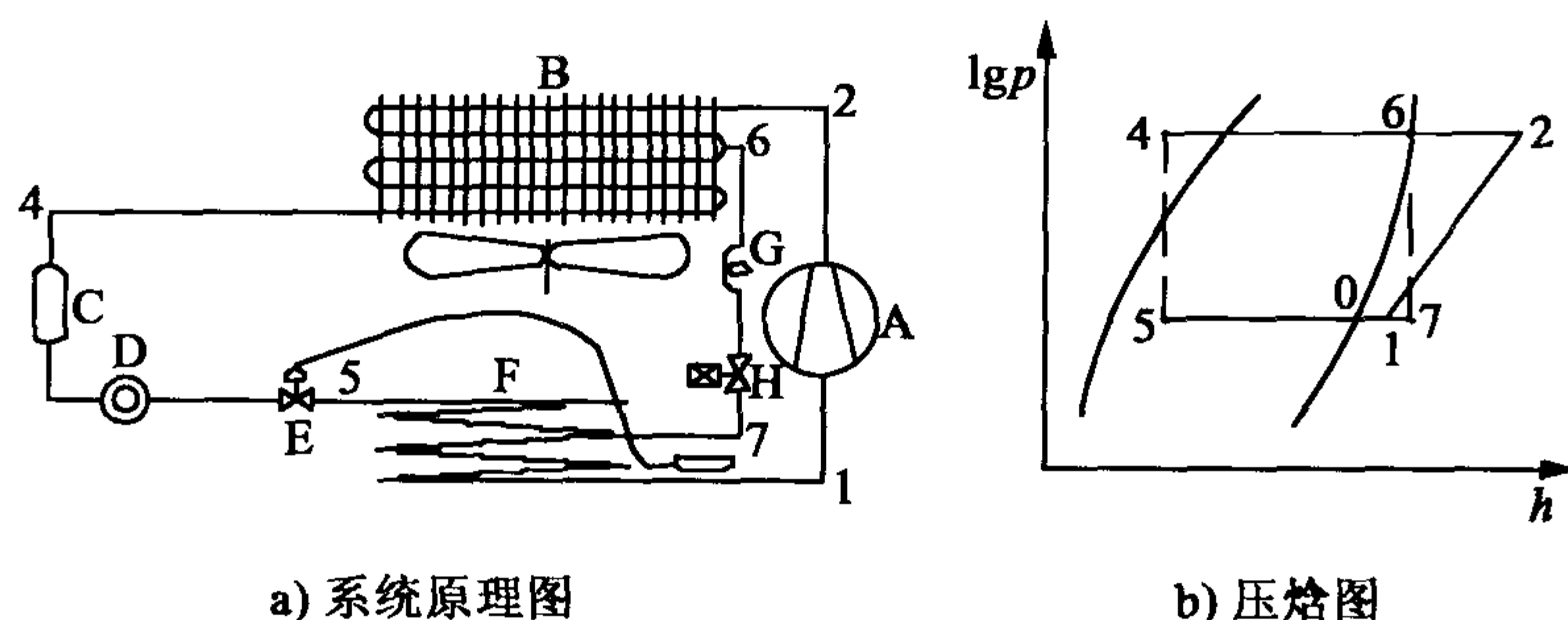


图 7-29 饱和蒸气旁通

A—全封闭压缩机 B—风冷冷凝器 C—干燥过滤器 D—视镜 E—热力膨胀阀  
F—蒸发器 G—旁通限流管 H—旁通电磁阀

饱和蒸气旁通相当于在蒸发器中附加热负荷。旁通时，蒸发压力不降低，压缩机吸气过热度仍由热力膨胀阀控制，吸气温度也不上升，因此，压缩机排气温度不上升。

考虑蒸发器的质量平衡与能量平衡关系，可得旁通的制冷剂质量流量：

$$m_b = \frac{m_c(h_1 - h_4) - Q_1}{h_6 - h_4} \quad (7-8)$$

## 7.2 设备的安全保护

为了使冷库制冷系统在安全可靠的工作条件范围内运行，压缩机、制冷剂泵、风机、压力容器等均需设置安全保护，当工作参数出现异常时，应停止机器、设备运行。制冷系统安全保护范围很广，本节只涉及与冷库有关的安全保护。

### 7.2.1 压缩机压力保护

压缩机压力保护主要是吸排气压力保护和油压差保护。制冷系统工作时，为防止压缩机吸气压力过低或排气压力过高，需设置高、低压保护。对于单级压缩机，每台压缩机设一套保护装置；对于单机双级压缩机，每台压缩机的高压级和低压级应分设高、低压保护；对于压力润滑的压缩机，为了防止润滑油压力过低，需设油压差保护。

#### 7.2.1.1 吸排气压力保护

制冷装置吸排气压力保护的主要目的是为了控制压缩机运行时的排气压力和吸气压力。因为压缩机排气压力过高，不但会增加电耗、影响机器寿命，而且有可能产生意外事故。当压缩机吸气压力过低时，特别是低于大气压时，外界的空气和水分可能进入制冷系统，影响制冷装置的正常运行。另外，过低的吸气压力会影响润滑油泵的供油量，危及压缩机的各摩擦偶合件，影响压缩机的使用寿命。

吸排气压力保护所用保护器件是压力控制器，其中吸气压力保护用低压控制器，排气压力保护用高压控制器；如将高压控制器与低压控制器组合在一起，则成为高低压控制器。根

据所控压力是否可调，压力控制器可分为可调式与固定式两种。根据动作后，继电器的复位情况，可分为自动复位和手动复位两类。

高低压控制器是一种受压力信号控制的电器开关。现以广泛使用的国产 KD 型高低压力继电器为例，对其结构和控制原理进行介绍。

图 7-30 为 KD 型高低压控制器的内部结构，继电器的高低压接管分别与压缩机的排气阀和吸气阀上的旁通孔（或阀）连接，接受排气压力和吸气压力信号，它的电器线路接入压缩机电机的控制线路，这样压力继电器就能根据接受到的吸、排气压力，直接控制压缩机的开停。

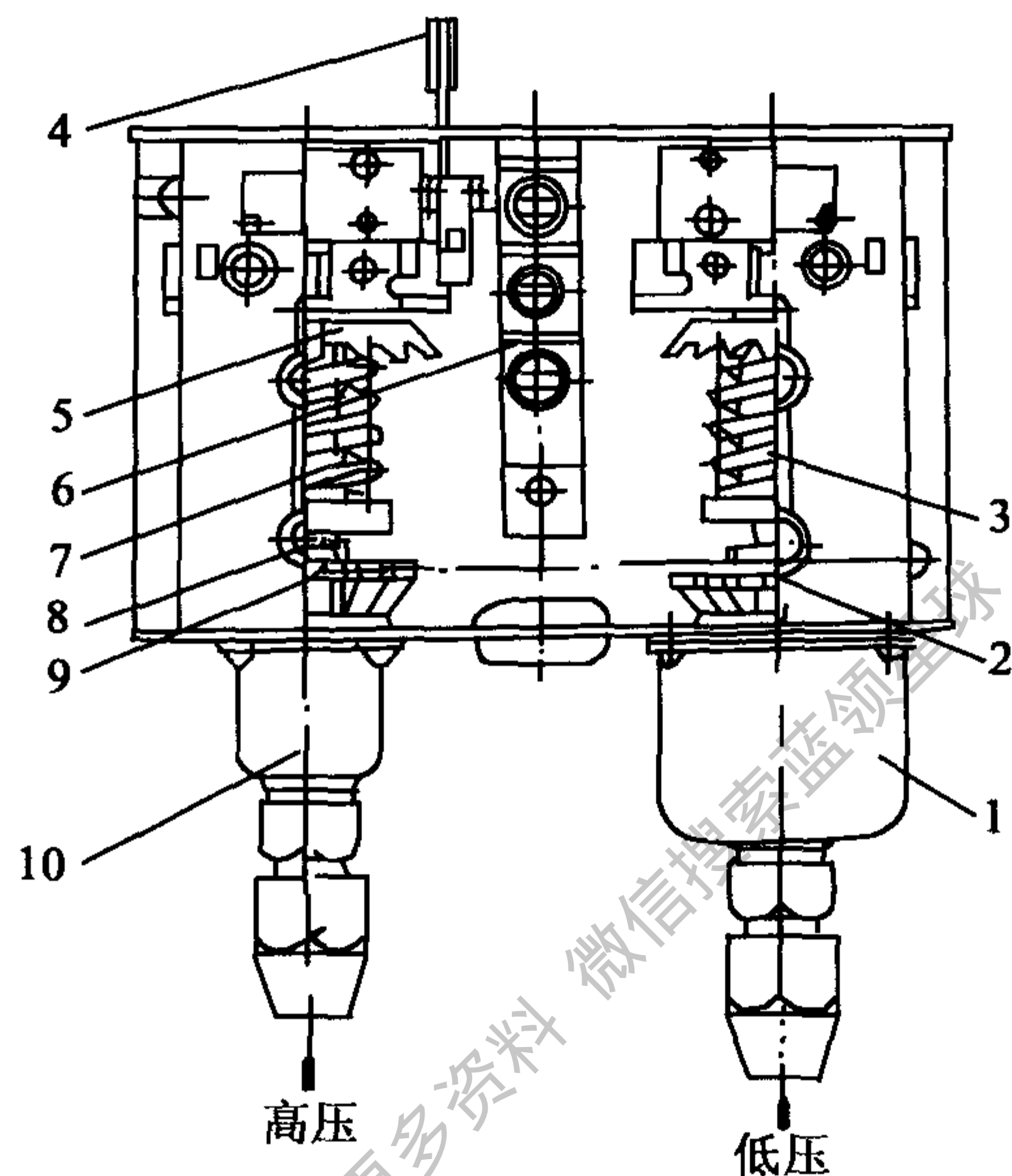


图 7-30 高低压力控制器结构图

1. 低压箱 2. 低压压差调节盘 3. 低压调节弹簧 4. 复位手柄 5. 压力调节盘 6. 接线板  
7. 高压调节弹簧 8. 顶杆 9. 高压压差调节盘 10. 高压箱

当压缩机排气压力高于高压给定值时，高压控制部分动作，压缩机停机。当压力下降至给定值以下，并不能使高低压控制器复位，要降低到给定值减去差动值以下，才能使压缩机开机。当压缩机吸气压力低于低压给定值时，低压控制部分动作，压缩机停机。当压力上升到给定值加上差动值时，压缩机可以开机。

高低压控制器的压力控制值（限定值）可通过转动各自的压力调节螺杆而得到调节。顺时针方向转动压力调节螺杆能使调节弹簧压紧，压力控制值升高，反之则降低。高压压差调节螺杆是调节高压的差动值。当顺时针转动调节盘时，差动值增加，反之则减少。低压差动值一般是固定值，不可调节。

KD 型高低压控制器有低压自动和高压手动、低压自动和高压自动、低压手动和高压手动复位等不同复位形式。当制冷压缩机运行过程中出现高低压超出设定值范围时，由于继电器的作用而使压缩机停车，在停车后制冷系统中的制冷剂压力将很快恢复平衡，即高压下降，低压上升，当高低压达到设定值范围时，自动复位的压力继电器中的触点即闭合，压缩机又开始工作。若此时尚未排除引起超压的故障，压缩机又将开车。这样由于压缩机的频繁启动，可能使电机烧毁。带有手动复位的压力继电器，当高压触点分离后有一铜片自锁装



置，触点不能自行闭合。只有找出和排除故障，并按动复位按钮时，压缩机才能重新开始工作。

高低压控制器在出厂时的控制设定值均已作过调整和试验，如果不符合实际应用要求，可以在其允许使用范围内进行调整，见表 7-2。调整后应反复试验几次，确认其切断与接触压力控制值已达到设定值要求。装在制冷装置上的压力继电器，每年至少应试验一次，特别是高压控制部分，以免继电器失控产生重大事故。

表 7-2 常用高低压控制器技术参数

型号	复位		压力范围 (表压) (MPa)		差值范围 (MPa)	
	高压	低压	高压	低压	高压	低压
FF215-S7-BAAA FF215-S7-BAAK	自动	自动	0.06~3.1	-0.05~0.7	固定 0.4	0.05~0.5
FF215-S7-BARA FF215-S7-BARK	手动	手动	0.06~3.1	-0.05~0.7	固定 0.4	固定 0.1
017-H6701	自动	自动	0.07~3	-0.03~0.7	固定 0.35	0.06~0.4
017-H6703	手动	手动	0.07~3	-0.03~0.7	固定 0.35	固定 0.06
017-H6705	手动	自动	0.07~3	-0.03~0.7	固定 0.35	0.06~0.4
	自动	自动	0.08~3.2	-0.02~0.75	固定 0.4	0.07~0.4
	手动	自动	0.08~3.2	-0.02~0.75	固定 0.4	0.07~0.4
KP15	自动手动可变	自动手动可变	0.08~3.2	-0.02~0.75	固定 0.4	0.07~0.4
	自动手动可变	自动手动可变	0.08~3.2	-0.09~0.7	固定 0.4	固定 0.07

在封闭式制冷系统中，可采用固定式压力控制器，其优点是结构简单、工作可靠、无制冷剂泄漏点，如图 7-31 所示。当系统中制冷剂的压力上升到设计动作压力  $p_m$  时，球冠形膜片产生失稳跳跃反转，推动电气开关动作，见图 7-32。当压力下降到恢复压力  $p_r$  时，在弹性力的作用下，膜片跳跃恢复。固定式压力控制器可用作高压保护、低压保护、制冷剂泄漏保护和压力控制器件。

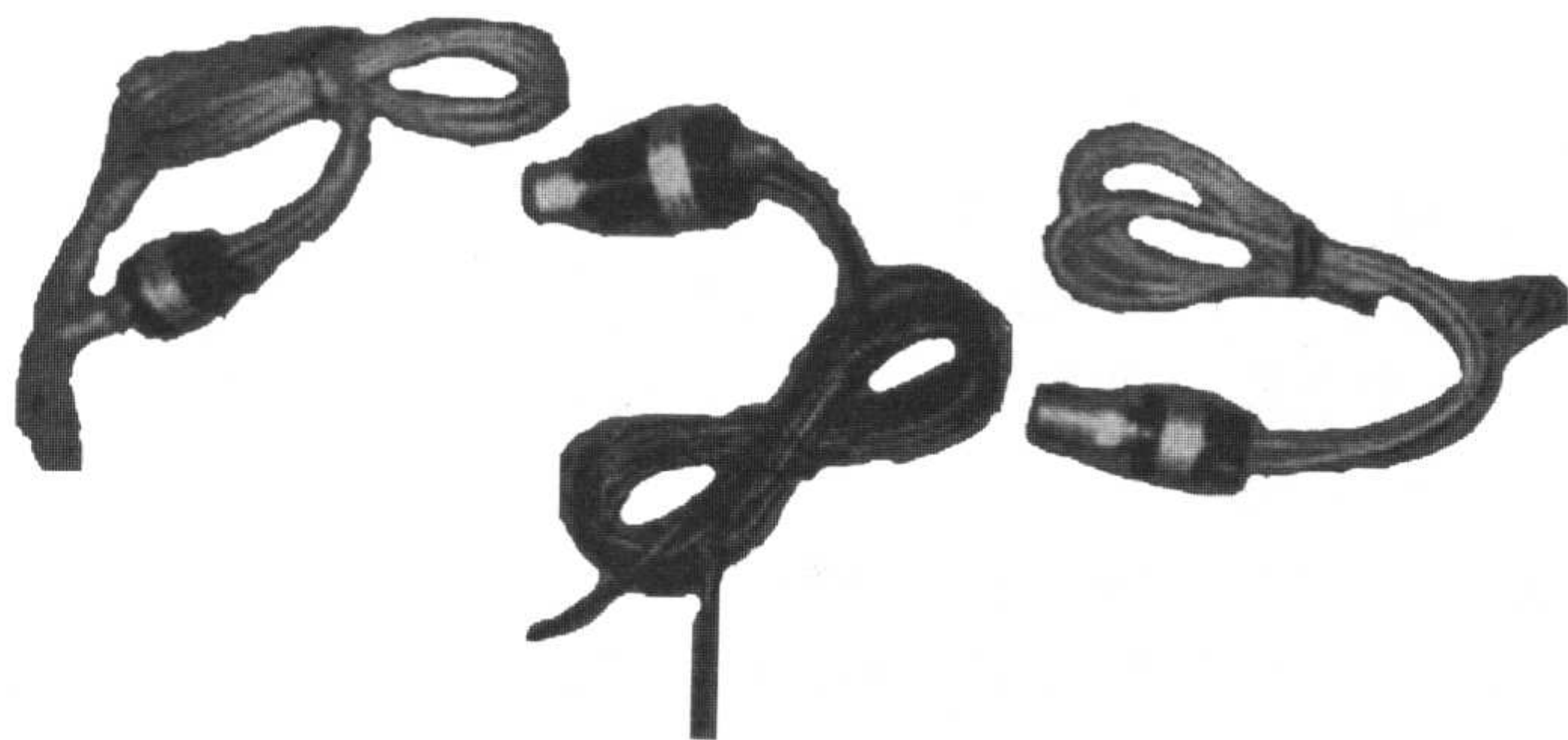


图 7-31 固定式压力控制器图

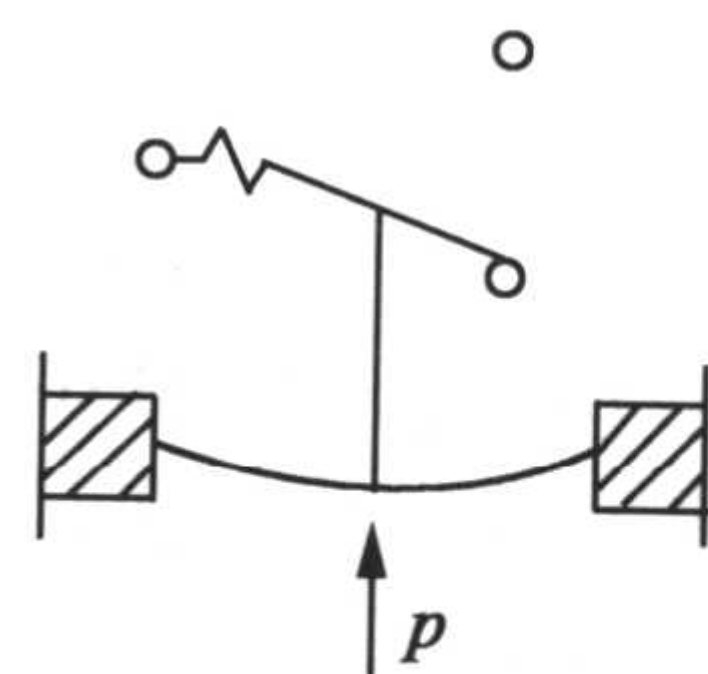


图 7-32 动作原理

随着计算机控制在冷库中的普及，压力保护与压力控制愈来愈多的采用新型压力传感器，通过变送器与接口线路，连接到计算机。

#### 7.2.1.2 压差保护

对于压力润滑的压缩机，润滑油与吸气压力之间的压差过小时，运动部件将会因缺油造



成损坏。因此当润滑油压差过小时，需将压缩机停机。对于强制供液的库房供液系统，为防止制冷剂泵气蚀，当制冷剂进出泵的压差过小时，需将制冷剂泵停机。压差保护所用的器件是压差控制器。

压差控制器是压缩机润滑系统低压端（曲轴箱）及高压端间的压力差小于规定数值（一般为  $0.05 \sim 0.35\text{MPa}$ ）时，能自动切断电源的控制装置。它的工作原理是根据作用在两个相对的感压元件（波纹管）上的两个不同压力的差值所产生的力，经弹簧平衡后，如果小于规定数值时，由于杠杆作用，压力开关接通延时机构的电热元件，在一定延时范围（一般为  $60 \sim 120\text{s}$  左右）使延时触点动作，切断压差控制器。安装时应与电气人员密切配合。压差控制器应垂直安装在压缩机机体上或安装在压缩机附近，用直径  $4\text{mm}$  的无缝钢管将控制器的低压端与压缩机曲轴连接，高压气箱与齿轮油泵的排出管连接，如图 7-33 所示。

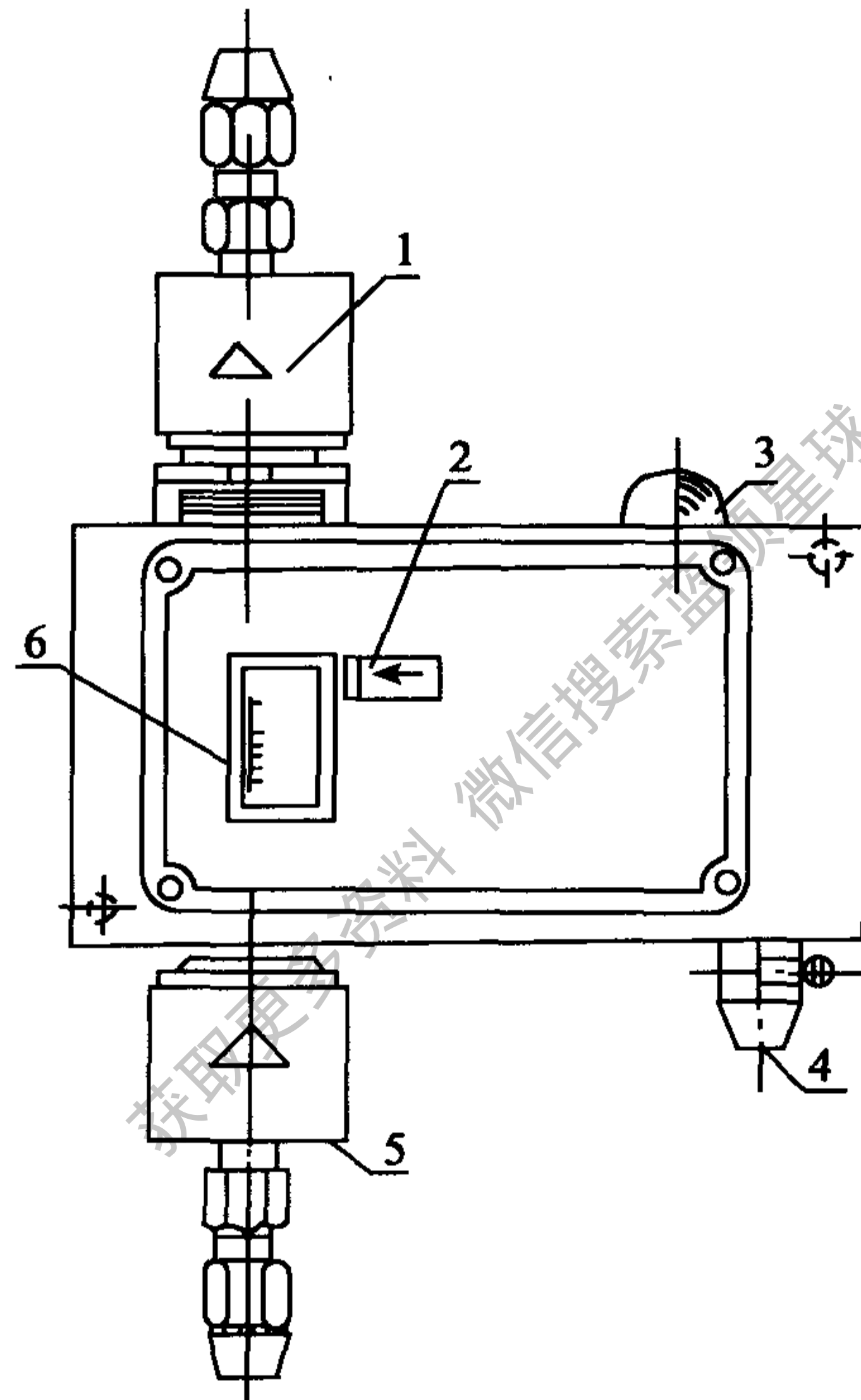


图 7-33 压差控制器示意图

1. 低压气箱 2. 试验按钮 3. 复位按钮 4. 进线口 5. 高压气箱 6. 指示盘

压差控制器在出厂时的控制设定值均已作过调整和试验，见表 7-3，如果不符合实际应用要求，可以在其允许使用范围内进行调整。

安装完毕后，可根据压缩机的油压控制范围拨动压差调整齿轮，将指针拨到实际需要数值。控制器的前盖正面装有试验按钮，以供随时测试延时机构的可靠性。当压缩机正常工作时，将按钮依箭头方向推动，推动时间必须大于延时时间，在经一定时间后，如能切断电源，则说明延时机构能正常工作。使用中如果延时机构动作过一次，要使它再恢复工作，必须待延时机构中加热器全部冷却后（约  $1\text{min}$ ）才能重复正常工作。

压差控制器的延时机构中装有人工复位装置，当控制器动作后，待压缩机事故排除，再按一下复位按钮才能使延时机构的开关触点接通，进行正常工作。

表 7-3 常用压差控制器技术参数

型号	定时器延迟时间 (s)	压力范围 (表压) (MPa)	差值范围 (MPa)
FD113ZU	20 ~ 150	0.03 ~ 0.45	0.08 ~ 1.2
FD113ZUK	115	固定 0.63	0.08 ~ 1.2
P30 - 3701	90 ± 20	0.03 ~ 0.4	最大 0.5
P30 - 5826	120 ± 20	固定 0.6	最大 0.5
MP54	45, 60, 90, 120	固定 0.65	0.2
MP55	0, 45, 60, 90, 120	0.03 ~ 0.45	0.2

## 7.2.2 设备超压保护

冷库中所用制冷辅助设备大多是压力容器，为了保证操作人员、货物和设备安全，压力容器上必须有超压保护。

### 7.2.2.1 安全阀

安全阀是保证制冷设备在规定压力下工作的一种安全设备。安全阀可装在制冷压缩机的吸、排气连通管上，当压缩机排气压力超过允许值时，安全阀开启，使高、低压两侧串通，保证压缩机的安全工作。安全阀也常装在冷凝器、储液器等压力容器上，以避免容器内压力过高而发生事故。图 7-34 为微启式弹簧安全阀的结构，当设备中的压力超过规定工作压力时，即顶开阀门，使制冷剂迅速排出系统。

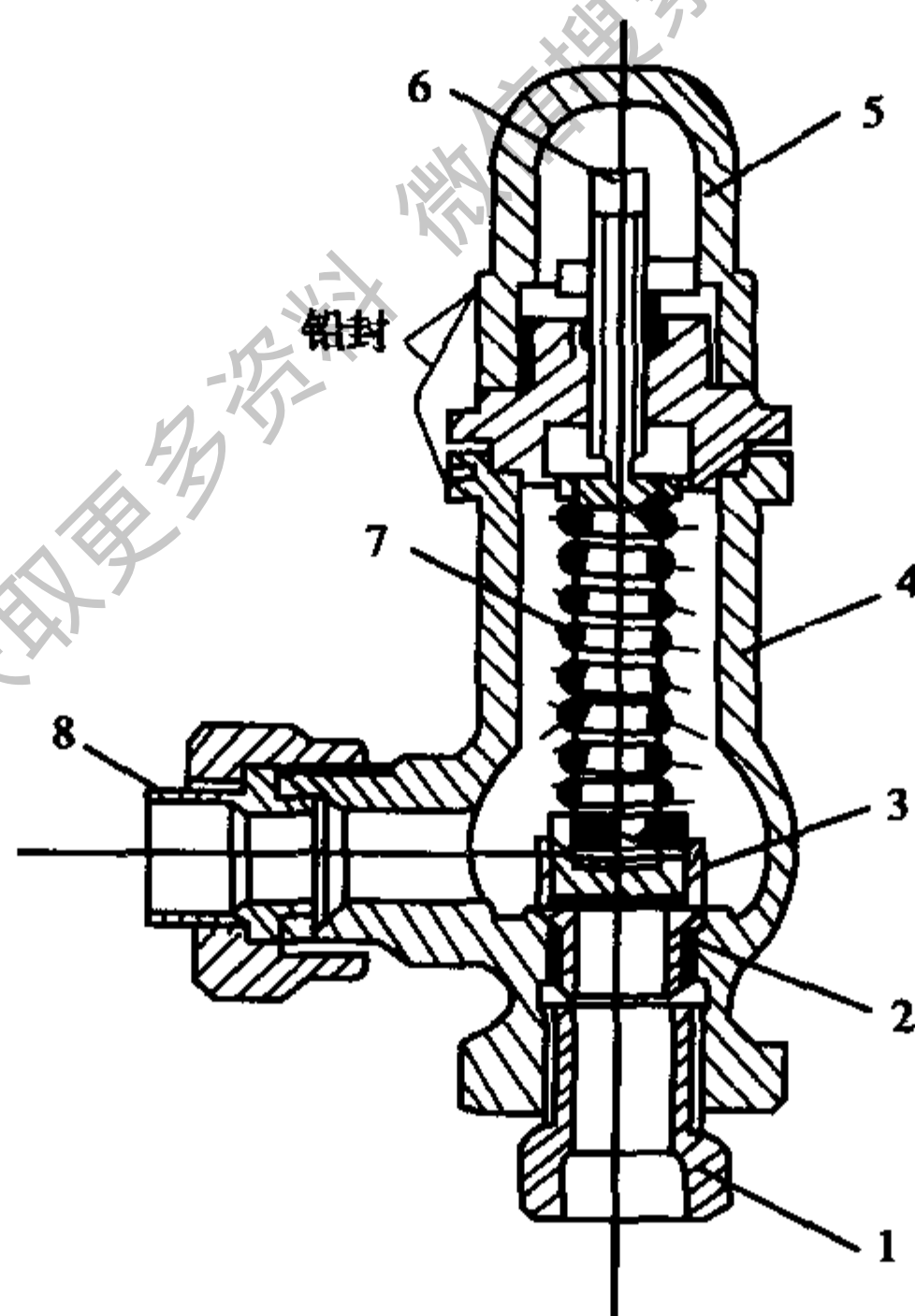


图 7-34 安全阀

1. 接头 2. 阀座 3. 阀芯 4. 阀体 5. 阀帽 6. 调节杆 7. 弹簧 8. 排出管接头

装在高压容器上的安全阀，其排出管应直接通至室外或高空排放，因为氨是有毒的；即使是氟利昂，排入机房内过多也会使人窒息。

安全阀应每年进行一次校验，校验它的准确性和灵敏度，以及检查密封性是否合乎要求。在拆卸时，首先关闭截止阀，然后将安全阀内的制冷剂泄去，再拆下安全阀进行检查和校验。

安全阀是压缩机和压力容器设备的重要安全保护装置，出厂时已调整在额定压力起跳并加了铅封，不允许操作者随意拆卸调整。当安全阀起跳后或经过长期工作需要重新校验时，就将安全阀送交当地计量部门在专门的校验设备上进行调整，并重新加以铅封标记方可使用。安全阀起跳压力值见表 7-4。

表 7-4 安全阀起跳压力值

位置	调整压力	压 力 (MPa)	
		NH <sub>3</sub> 和 R22	R12
压缩机安全旁通阀		1.569 ± 0.049	1.569 ± 0.049
在贮液器和冷凝器上的安全阀	接至大气	1.813	1.47
	接至低压侧	1.569	1.225

### 7.2.2.2 易熔塞

易熔塞主要应用于氟利昂制冷设备或容积较小的压力容器上。它用来代替安全阀，是结构最简单的一种安全设备。图 7-35 为易熔塞的结构及安装示意图。易熔塞中铸有易熔合金，其熔化温度一般在 75℃ 以下。一旦压力容器发生意外事故时，容器内压力骤然升高，温度也随之升高。而当温度高到一定值时，易熔塞中浇铸的易熔合金即熔化，容器中的制冷剂就排入大气，从而达到保护设备及人身安全的目的。易熔塞的合金熔化后应更换，并与容器一起试漏后才能使用。

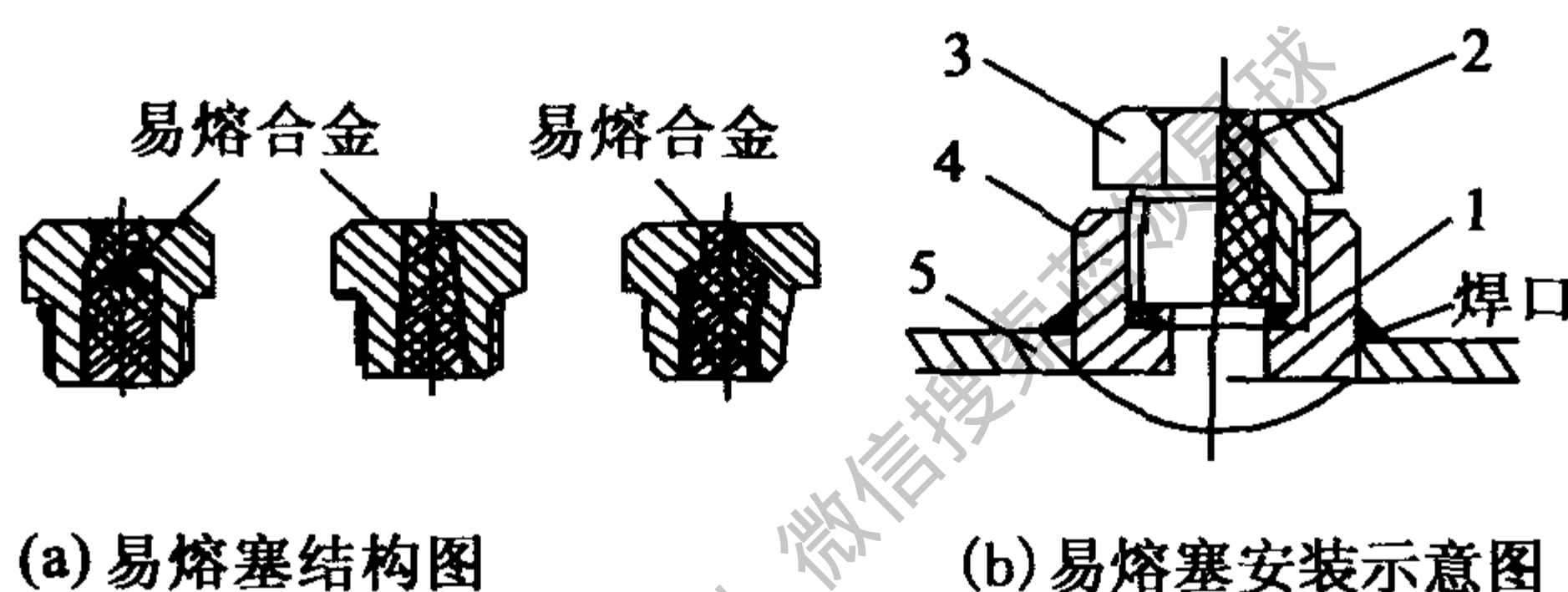


图 7-35 易熔塞

1. 封垫 2. 易熔合金 3. 旋塞 4. 接头 5. 壳体

### 7.2.3 制冷剂泵的保护

库房制冷系统，特别是中型以上冷库的氨制冷系统，常采用制冷剂泵强制供液方式。图 7-36 为一典型双泵系统。系统中所用制冷剂泵可以是齿轮泵、转子泵，也可以是离心泵或屏蔽式离心泵。制冷剂泵的保护为两个方面，一是气蚀保护，二是出口超压保护。制冷剂泵产生气蚀主要有两个原因，其一是启动时泵中有气体，其二是泵运行中吸入气体。产生制冷剂泵出口超压的原因是库房需液量很小，或是库房供液阀误关闭，超压会造成运动件损坏或气蚀。

在制冷剂泵启动之前，先将抽气阀打开 20 ~ 30s，排除泵和管道中的气体，抽气阀关闭后才能启动制冷剂泵。在制冷剂泵运行中，如泵中存在气体则泵不能建立正常的压差，利用压差继电器，关闭制冷剂泵。如库温达到预定值或在库房系统融霜时，库房系统供液阀关闭，制冷剂泵出口处压力有可能异常升高。此时自动旁通阀 PDV 打开，使制冷剂返流低压循环贮液器。

对于氨制冷系统，可选正常工作压力为 0.14MPa，自动旁通阀保护压力为 0.27MPa。

图 7-37 为双制冷剂泵强制供液系统中其中一个泵的控制保护回路。压差控制器无延时手动复位型，抽气延时继电器 KAT2 为延时吸合型，延迟时间为 3 ~ 30s。失压保护延时继电器 KAT1 为通电延时型，延迟时间为 12 ~ 120s。图中热继电器 KR1 起制冷剂泵电机过热保护作用，H1 为启动准备指示灯。如制冷剂泵不能建立正常压差而停止运行后，需手动复位。



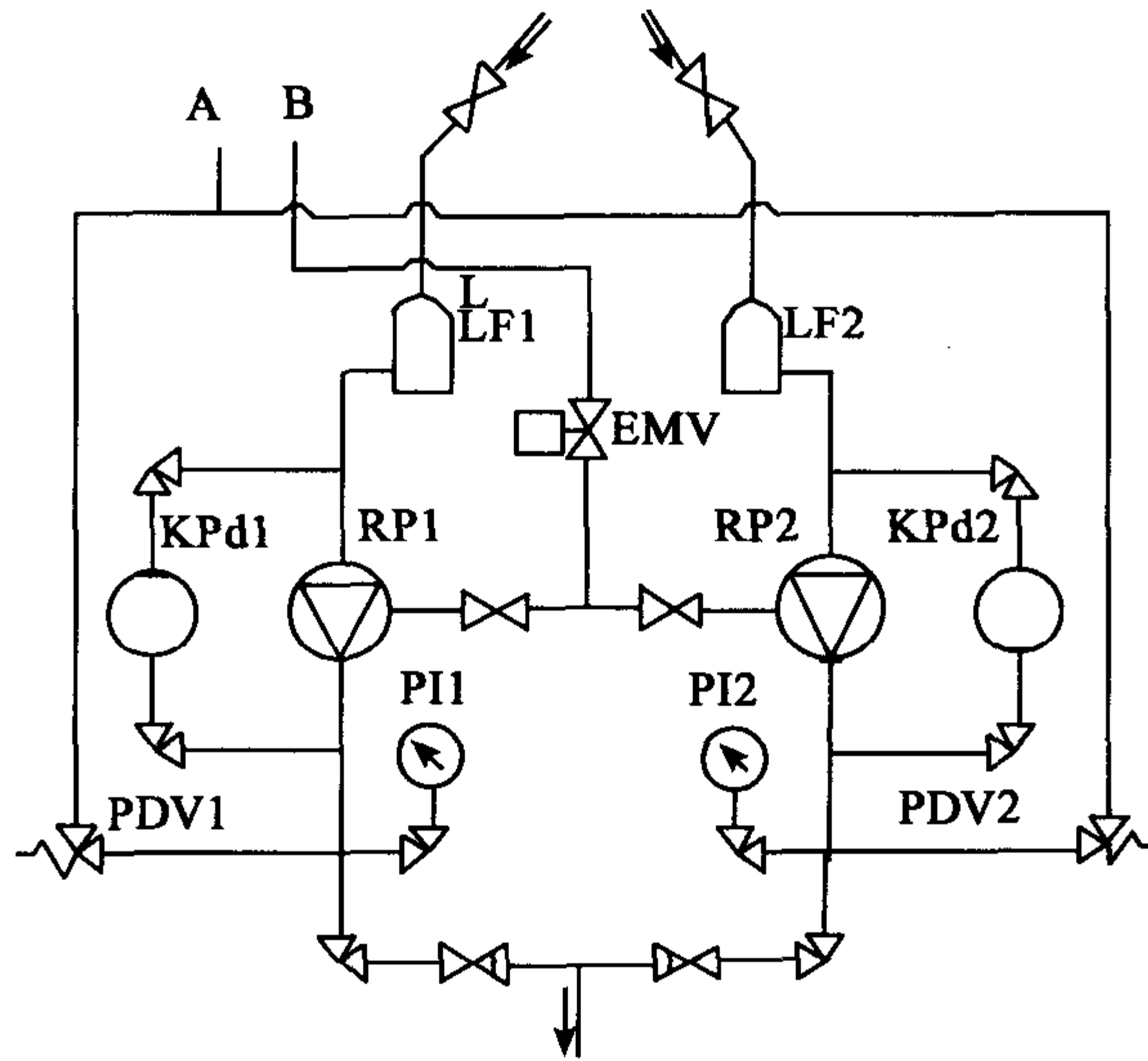


图 7-36 双制冷剂泵强制供液系统

这一点对于依靠制冷剂进行润滑和冷却的制冷剂泵尤为重要。

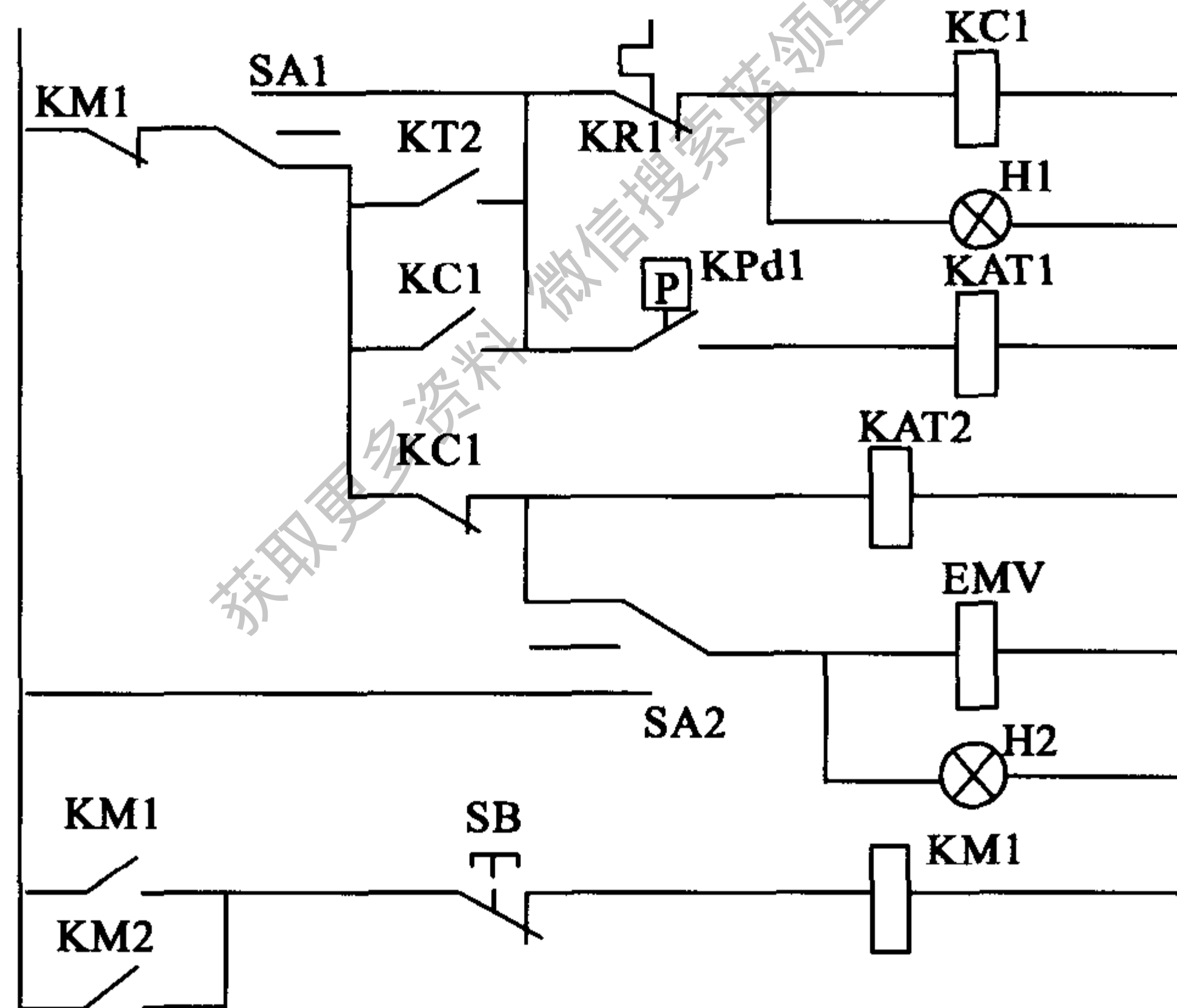


图 7-37 制冷剂泵控制保护回路

KC—交流接触器 KR—热继电器 KT—延时继电器 KM—中间继电器  
 KPD—压差控制器 SA—转换开关 H—指示灯 SB—复位按钮 EMV—电磁阀

## 8 冷库运行管理

冷库的运行管理是整个冷库生产经营过程中一个重要组成部分。冷库担负着提供食品加工、冷冻、冷藏等食品生产所需要的特定的空间环境，如果其运行管理工作做得不好，不仅会造成食品的变质、腐败、干耗大等质量问题，而且还会出现能耗大、设备故障多等问题，从而影响冷库的使用和管理部门的工作效率、经济效益。

要做好这方面的工作，必须了解运行管理工作的科学内涵，从而认识其重要性和基本内容，明确运行管理工作要达到的基本目标以及影响目标实现的主要因素，了解做好运行管理工作所需要具备的条件，并对整个冷库运行管理工作的考核评价有一个科学而全面的认识。

### 8.1 冷库运行管理综述

#### 8.1.1 运行管理的目标

一般冷库主要由制冷系统、库房围护结构、控制系统等组成，用于肉、乳、禽蛋、水产、水果和蔬菜等的保鲜、冷藏和冷冻。因此，冷库的运行管理工作的首要任务是保证食品生产工艺的温、湿度要求，确保食品的卫生质量和新鲜度。

冷库及相应的制冷设备需用电力驱动，而且运行时间长，耗电量大。因此在满足使用要求的前提下，尽量减少冷库运行时的用电量是冷加工企业的一项重要任务，它既涉及到经济效益问题，又包含专业技术问题。

建一个冷库往往一次性投资大，包含的设备品种多、管线长、自动化程度较高，其运行、维护、检修要综合运用热工、流体、制冷、机械、电工电子、自动控制等多方面的知识和技能。因此，要求运行管理人员和维修人员必须具有一定的专业知识和专业技能，才能管好、用好冷库。否则会使设备的使用效率降低、故障频繁，不仅影响正常使用，还会增加企业的非正常资金投入，从而加大管理成本。

如存在认识上的误区，将会使得管理工作存在许多疏漏。例如，把有人能按电钮开机、关机当成有专人管理；把自动化程度高当成容易管理、不用维护保养；把系统能开动运行当成工作正常等等。由于管理无制度、操作无规程、人员不专业、上岗不培训、使用不维护等现象普遍存在，会造成冷库系统存在以下问题：

- (1) 制冷效果不理想 库房的温、湿度不能保证在设计和冷藏工艺要求的范围内。
- (2) 运行费用高 耗电量大，冷冻机油、制冷剂消耗多，日常维护保养费开支大。
- (3) 事故和故障多 事故及故障频繁发生，跑、冒、滴、漏、管道锈蚀现象严重。
- (4) 设备使用寿命短 不到规定期限就需对设备进行维修，或不到正常的折旧年限设备就不能继续使用，需要更新。
- (5) 系统运行不正常 系统不能按设计要求运行和调节，设备达不到最佳运行状态。

对一个冷加工企业，冷库运行管理所做的一切工作，都是为了以最经济的费用换取最高的综合效能，实现最大的经济效益。其基本目标为：

- (1) 满足使用要求 满足使用要求是冷库系统运行管理必须达到的首要目标。冷库是用于食品冷加工的场所，利用低温来贮藏食品，使食品在较长的贮藏过程中，能基本保持原有

的营养成分、味道和色泽。食品的种类很多，不同食品具有不同的特性，因此，利用低温进行贮藏时，应采用不同的处理方法，贮藏时限不同，所要求的库温也不同。应该根据不同的冷加工工艺要求，调整库温，满足使用要求。

(2) 降低运行成本 冷库正常运行成本主要包括能耗费用、维护保养费和人工费。我国的冷库绝大部分采用的是电驱动制冷机（包括螺杆式和活塞式），其辅助设备如冷剂泵、冷却水泵、冷却塔风机、冷风机、风幕、电加热融霜、照明等也要耗电。因此，降低运行成本的首要任务是在满足使用要求的前提下想方设法减少用电量，其次是在维护保养方面要尽量减少相关费用的开支。要通过精心操作、细致维护来延长易损件的使用寿命，达到降低运行成本的目的。

(3) 延长使用寿命 在整个冷库系统中，制冷设备的购置费用要占到总投资的 30% 左右。首先应使这方面的投资发挥出最大效益，保证其正常的使用年限。冷库使用寿命还取决于三个主要因素：一是系统和设备类型；二是设计、安装、制造质量；三是操作、保养、检修水平。

此外，系统或主要设备的更新不仅要投入大量的人力、物力，而且还会影响冷库的正常使用。对大型主机和管道系统来说，由于与建筑围护结构相关，对其更新可能带来额外的费用开支。因此，必须通过规范的操作、科学的保养、精心的维护、及时的检修来充分发挥冷库的作用，在保证其高效低耗运行的同时，还要减少故障的发生，尽量延长整个系统的使用寿命。

### 8.1.2 运行营理的基本内容

由于冷库系统组成复杂、设备多样、管道通常有外包扎、室外气象条件多变等原因，使得影响冷库系统满足使用要求、降低运行成本、延长使用寿命等基本目标的因素很多，其中主要的有以下几方面：

(1) 系统设计与设备选用的合理性 包括系统形式的选择是否恰当，设计是否合理，设备类型的选用是否合适匹配等。

(2) 主要设备及辅助装置的制造质量 包括产品质量是否符合有关技术标准，各项技术参数是否达到说明书标明的指标等。

(3) 系统及设备安装调试的质量 包括各种管道的制作、安装及设备、辅助装置的安装是否符合国家有关规范，经调试后是否达到设计和使用要求等。

(4) 使用与操作的质量 在使用与操作过程中，是否使用适当并严格按操作规程操作。

(5) 维护保养的质量 维护保养是否严格按有关规定及时并保质保量地实施。

(6) 检修与技术改造的质量 包括检修是否按计划进行，该修的地方是否修好了，该换的零配件是否换了，出现的故障或发生的事故是否及时排除，技术改造是否合适，技术改造采用的新技术是否成熟。

(7) 专业管理队伍的素质 主要指专业管理队伍组成人员的技术水平和责任心，是否满足有关岗位职责的要求等。

(8) 管理制度的合理性 各专业性规章制度制订得是否科学合理、正确完善，是否具有针对性和可操作性，相互间是否协调一致等。

上述主要影响因素中，前三项因素是设计决定的，其质量好、坏对运行管理人员来说是无法控制的，但后面的因素取决于运行管理人员。

科学的管理、规范的操作、高素质的专业管理队伍是做好运行营理工作的前提。为此，



必须有以下四个基本措施作保证：

- (1) 各项管理内容都要形成相应的规章制度，做到有章可循、有法可依。
- (2) 各个操作项目都要制订出安全、合理的规程，做到规范、有序的操作。
- (3) 管理、操作、维修人员均需经过制冷专业的技能培训并通过相应考核。
- (4) 专业技术管理人员、班组长和工人分工明确、职责清楚。

### 8.1.3 冷库管理工作的考评

冷库的管理工作如何进行考核和评价，目前还没有一个全面、统一的标准，但对于一个有一定规模的冷库进行考核评估，至少应包括以下六个方面的内容：

(1) 管理制度 包括冷库运行操作管理制度、设备管理制度、人员管理制度、管理队伍建设等。各项规章制度齐全、并能认真严格地执行，各种技术资料、档案齐全，可随时方便地查阅。

(2) 人员及培训 各类专业管理人员和固定的运行（和维修）班（组）成员配备齐全，并经过专业技术培训并取得相关工种上岗证书，同时定期进行业务知识的学习和操作及检修技能的培训。

(3) 运行维护 各种设备、装置、管道均运行正常，无超标噪声、振动和跑、冒、滴、漏现象；各种仪表指示灵敏可靠，阀门操（动）作灵活，无滴漏现象；运行记录填写准确、清楚，符合要求；维护保养工作及时、到位；有经济节能运行措施并坚持执行，有成效。

(4) 安全文明生产方面 设备、管道、阀门等干净整洁，标识清楚，保养状态良好；机房环境整洁，照明通风良好，无杂物堆放，符合安全生产要求；库房整洁卫生，货物堆放合理，进出有序，无漏氨和多水作业等违反操作之现象；抢修仪器仪表、机具、零配件摆放有序，易取易放。

(5) 服务质量方面 无腐败变质、交叉污染食品输出，食品干耗小，最大限度保持食品新鲜度；有问题随叫随到，维修处理及时。

(6) 有关指标 单位冷量耗电量、单位产品耗电量、单位面积能耗系数、能效费用系数。

## 8.2 冷库的运行操作管理

冷库的运行操作管理可以概括为机房和库房安全运行管理、食品卫生管理、节能运行等几个部分。

### 8.2.1 机房与库房运行操作管理

机房是安装冷库冷源、运行设备的专用房间，也是冷库制冷系统工作的核心，同时也是冷库管理工作的核心。为了保证机房设备的运行安全，运行操作管理应包括以下几部分：

(1) 机器设备技术资料 车间记录、机器设备技术资料、设备维修保养、主要部位间隙检测、事故分析记录应正确和完整。

(2) 机器保养和仪表检修 各种机器设备按维修保养制度进行大中小修，使机器设备处于良好状态，各种压力表、安全阀一年校正一次。

(3) 库温保持 正确熟练掌握压缩机制冷设备操作和制冷系统的调节方法，认真掌握库内温度，记录准时、正确，冻结物冷藏间内温度波动不应超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ （出入库时，波动不超过 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ），冷却物冷藏间内波动不应超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 安全运行 严格执行交接班制度，确保制冷系统运行安全；机房要配备相应的消防

器材和防护器材；掌握防氨面具的检查和使用方法及中毒后的急救措施，发生重大事故按规定如实上报给主管部门。

(5) 节约 节约电、水、油和制冷剂。

(6) 机房面貌 机器设备清洁，地面干净无油污，工具、物品、配件按指定地点存放，堆放整齐。氧气呼吸器及其他用品如橡皮手套、防毒用器材具、安全救护绳、胶鞋以及救护用的药品应妥善放置在机房进口的专用箱内，使之取用方便。

根据库房使用及生产工艺特点，库房部分的运行管理包括以下几个方面：

(1) 安全生产 顶、墙排管冷风机漏氨、跑氨需及时报告；杜绝商品损坏和人身伤亡事故；商品进出库及库内操作时，要防止运输工具和商品碰撞库门、电梯门、柱子、墙壁和制冷系统管道等工艺设备；库内电器线路要经常维护，防止漏电，出库房要随手关灯。

(2) 商品堆码 库房必须合理利用，规范商品堆垛方法，安全、合理安排货位和堆垛高度，提高库房利用率；堆垛要稳固、整齐，商品分类清楚，便于盘点、检查，进出库帐卡相符，货垛不得在地板上直接堆码；库内货位堆垛时与冻结物冷藏间顶棚、冷却物冷藏间顶棚、顶排管下侧、顶排管横侧、距无排管的墙之间均应不小于 0.2m，距墙排管外侧 0.4m，距冷风机周围 1.5m，距风道底面 0.2m；库房要留有合理的走道，便于库内操作、车辆通过、设备检修等。

(3) 商品帐目 要认真记载商品的进出库时间、品种、数量、等级、质量、包装和生产日期等，要按垛挂牌，定期核对账目，出一批清理一批，做到账、货、卡相符。

### 8.2.2 食品冷加工及保管中的卫生管理

冷库要加强商品冷加工、保管中的卫生管理工作，重视商品养护，严格执行《食品卫生法》，保证商品质量，减少干耗损失。冷库要加强卫检工作，库内要求无污垢、无霉菌、无异味、无鼠害、无冰霜等，并有专职卫检人员检查出入库商品，商品无软化、污染、变色、氧化干枯、霉变、腐败等质量事故。

#### 8.2.2.1 食品入库前的卫生要求

食品入库冷加工之前，必须进行严格的质量检查，下列商品严禁入库：

- (1) 变质腐败、有异味、不符合卫生要求的商品。
- (2) 患有传染病畜禽的肉类商品。
- (3) 雨淋或水浸泡过的鲜蛋。
- (4) 用盐腌或盐水浸泡，没有严密包装的商品，流汁、流水的商品。
- (5) 易燃、易爆、有毒、有化学腐蚀作用的食品。
- (6) 未经检疫检验的畜禽肉及肉制品。
- (7) 食品污染和夹带有污物。

下列食品要经过挑选、整理或改换包装，否则不准入库：

- (1) 食品质量不一、好次混淆者。
- (2) 不能堆垛的零散食品，应加包装或冻结成型后方可入库。
- (3) 鲜蛋入库前必须剔除破损、裂纹、脏污等残次蛋，并在过灯照验后，方可入库储藏，以保证产品质量。

#### 8.2.2.2 食品冷加工时卫生要求

为保证食品质量，冻结、冷藏食品时，必须遵守冷加工工艺要求。食品深层温度必须降低到不高于冷藏间温度 3℃ 时才能转库，如冻结物冷藏间库温为 -18℃，则食品冻结后的深

层温度必须达到  $-15^{\circ}\text{C}$  以下。长途运输的冷冻商品，在装车、船时的温度不得高于  $-15^{\circ}\text{C}$ 。外地调入的冻结商品，温度高于  $-8^{\circ}\text{C}$  时，必须复冻到要求温度后，才能转入冻结物冷藏间。

根据商品特性，严格掌握库房温度、湿度。在正常情况下，冻结物冷藏间一昼夜温度升降幅度不得超过  $1^{\circ}\text{C}$ ，冷却物冷藏间不得超过  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。在货物进出库过程中，冻结物冷藏间温升不得超过  $4^{\circ}\text{C}$ ，冷却物冷藏间不得超过  $3^{\circ}\text{C}$ 。

根据不同的冷藏食品 and 不同的贮藏期确定相应的贮藏温度。可针对食品（特别是肉食品）在低温贮藏期间的生化变化及嗜低温细菌滋长和繁殖被抑制的程度，确定相应的贮藏温度。如不超过半年的低温贮藏，一般采用的贮藏温度为  $-15^{\circ}\text{C} \sim -18^{\circ}\text{C}$ ，超过半年的低温贮藏，贮藏温度应  $< -18^{\circ}\text{C}$ ；对于脂肪含量大的食品，如鱼类，为防止低温贮藏期脂肪的氧化，应采取低于  $-18^{\circ}\text{C}$  的贮藏温度，最好是  $-25^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$  的温度。

应按食品的不同种类和不同的冷加工最终温度而分别存放。如果冷藏间大而某种食品数量少，单独存放不经济时，也可考虑不同种类的食品混合存放，但应以不互相串味为原则。具有强烈气味的食品如鱼、葱、蒜、乳酪等和贮藏温度不一致的食品，严格禁止混存在一个冷藏间内。供应少数民族的商品和有强挥发气味的商品应设专库保管，不得混放。

对库存商品，要严格掌握贮存保质期限，定期进行质量检查。如发现商品有变质、腐败、脂肪发黄现象时，应迅速处理，商品贮藏保质期见表 8-1。

对冷藏中的食品，应经常进行质量检查，如发现软化、霉烂、腐败变质和异味等情况时，应及时采取措施，分别加以处理，以免感染其他食品，造成更大的损失。

高于  $0^{\circ}\text{C}$  的冷间，食品全部取出后应通风换气，利用风机排除冷间内的混浊空气，换入新鲜空气。

冷库工作人员经常接触多种食品，如不注意卫生，本身患有传染病，就会成为微生物和病原菌的传播者。因此对冷库工作人员的个人卫生应严格的要求。冷库作业人员要勤理发，勤洗澡，勤洗工作服，工作前后要洗手，经常保持个人卫生。同时必须定期检查身体，如发现患传染病者，应立即进行治疗并调换工作，未痊愈时，不能进入库房与食品接触。库房工作人员不应将工作服穿到食堂、厕所等冷间以外的场所。

表 8-1 常见商品贮藏保质期

品 名	库房温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	保质期
带皮冻猪白条肉	$-18$	12 个月
无皮冻猪白条肉	$-18$	10 个月
冻分割肉	$-18$	12 个月
冻牛羊肉	$-18$	11 个月
冻禽、冻兔	$-18$	8 个月
冻畜禽副产品	$-18$	10 个月
冻鱼	$-18$	9 个月
鲜蛋	$-1.5 \sim -2.5^{\circ}\text{C}$ (相对湿度 80% ~ 85%)	6 ~ 8 个月
冰蛋	$-18^{\circ}\text{C}$ (相对湿度 80% ~ 85%)	15 个月

### 8.2.2.3 库房及工具卫生

冷库的库房是进行食品冷加工和长期存放食品的地方，库房的卫生管理工作，是整个冷库卫生管理的中心环节。冷库库房在贮藏食品过程中，长期处于潮湿、阴暗的条件下，极易



滋生细菌和霉菌，并侵害食品。因此，应对库房和工具设备进行不定期的卫生消毒工作。冷库必须做好下列卫生工作：

(1) 库房周围和库内外走廊、汽车和火车月台、电梯等场所，必须设专职人员经常清扫，保持卫生。

(2) 库内冷藏的食品，无论是否有包装，都要堆放在垫木上；垫木应刨光，并经常保持清洁；细木，小车以及其他设备如秤盘、挂钩、工作台等，在使用前后都应清水冲洗干净，并定期在库外冲洗、消毒。

(3) 库内使用的易锈金属工具、木质工具和运输工具等设备，要勤洗、勤擦、定期消毒，防止发霉、生锈。

(4) 库内商品出清后，要进行彻底清扫、消毒、堵塞鼠洞，消灭霉菌。特别是出入库时，掉在地坪上的碎肉等残留物要及时清扫，以免污染环境。

霉菌是生活能力很强的一种微生物，在库房内，霉菌较细菌繁殖得更快，易在库房湿度大的墙壁上大量繁殖，一旦发育成熟，无数的霉菌孢子便会四处飞扬而落入食品中，发出各种难闻的霉味和腥臭味，造成食品变质。为了保证食品安全卫生，必须对库房进行定期的卫生消毒工作。下面介绍常用的冷库除霉杀菌与消毒方法。

冷库常采用抗霉剂与粉刷材料混合配成防霉涂料粉刷墙壁，抑制霉菌、孢子在库内墙壁上大量繁殖。常用防霉涂料及用法有以下几种：

(1) 氟化钠法 在白陶土中加入 1.5% 的氟化钠（或氟化铁）或 25% 的氟化铵，配成水溶液粉刷墙壁。白陶土中钙盐的含量不应超过 0.7% 或最好不含钙盐。

(2) 羟基联苯酚钠法 当发霉严重时，0℃ 以上的库房内，可用 2% 的羟基联苯酚钠溶液粉刷墙，或用同等浓度的药剂溶液配成刷白混合剂进行粉刷。消毒后，地坪要洗刷并干燥通风后，库房才能降温使用。用这种方法消毒，不应与漂白粉交替或混合使用，以免降低羟基联苯酚钠溶液的消毒作用，还会使墙面呈现褐红色。

(3) 硫酸铜法 将硫酸铜 2kg 和钾铝明矾 1kg 混合在木桶中，添加 30kg 热水进行溶解，粉刷时再逐渐添加 21kg 熟石灰，搅拌均匀成细腻稀粥状即可。每平方米需使用涂料 0.5 ~ 0.6kg；粉刷时应清库房，粉刷后地坪要洗刷干净，干燥一夜，食品才可入库，避免涂料污染食品。

(4) 用 2% 过氧酚钠盐水与石灰水混合粉刷。

冷库消毒常用的有以下几种方法：

(1) 漂白粉消毒 漂白粉杀菌主要是其中的有效氯对菌体起强烈的氧化作用。漂白粉是一种干燥、易结块的白色粉末，水溶液呈碱性，杀菌力强，应用范围广，价廉。漂白粉可配制成含有效氯在 0.3% ~ 0.4% 的水溶液（1L 水中加入含 16% ~ 20% 有效氯的漂白粉 20g），在库内喷洒消毒，或与石灰混合，粉刷墙面。配制时，先将漂白粉与少量水混合制成浓浆，然后加水至必要的浓度。在低温库房进行消毒时，为了增进墙壁的吸收能力，加强杀菌效果，可用热水（30 ~ 40℃）配制溶液。消毒时应将库房中的货物移出，打扫干净再消毒。消毒后应进行通风干燥，除去库中的氯气味，一般需经 1 ~ 2d 后，方可降温进货。库房中的垫木、小推车及其他设备，要定期在库外冲洗消毒。先用热水冲洗，再用 2% 浓度的碱水（50℃）除去油污，然后用含有效氯 0.3% ~ 0.4% 的漂白粉溶液消毒。

(2) 福尔马林消毒 福尔马林中含甲醛 40%，有强烈臭味。甲醛性质不稳定，遇空气成混浊白色沉淀物而失去消毒作用。温湿度越高，杀菌力越强。在高温库（20℃ 以上）的库

房，用7.5%~12.5%的福尔马林溶液，空间喷洒消毒（0.05~0.06kg/m<sup>3</sup>）。在低温库房内喷射，效果较差。可采用每立方米空间15~25g福尔马林，加入沸水稀释，与10%~20%的高锰酸钾（或60g漂白粉加40ml水和加80ml福尔马林）同置于铝锅中，任其自然发热和蒸发，闭门1~2d后，经过通风，消毒工作完成。福尔马林气味很大，肉吸收后即不能食用。为了吸收库房空气中剩余的福尔马林，可在通风时用脸盆等容器盛氨水放在库内。福尔马林对人有很大的刺激作用，使用时要注意安全。

(3) 次氯酸钠消毒 可用2%~4%的次氯酸钠溶液，加入2%碳酸钠，在低温库内喷洒，然后将门关闭。

(4) 乳酸消毒 乳酸为棕褐色粘稠的液体，无臭，呈弱酸性，易溶于水，对细菌、真菌、病毒等有较强的杀菌和抑制作用，适用于房间、仓库、冷库的除霉杀菌与消毒，还能用于食品的防腐保鲜。乳酸杀菌作用，主要是利用其酸性凝固菌体中的蛋白。乳酸杀菌率可达96%，除霉效率达90%~92%。一般每立方米库房空间需用乳酸1ml。如果霉味重，乳酸用量可适当增加。比例是一份乳酸加1份清水。放在瓷盘内，置于酒精灯上加热熏蒸。一般100m<sup>2</sup>库房需熏蒸3h左右即可起到除臭和消毒作用。在熏蒸过程中，人应离开库房，以免刺激呼吸道黏膜。消毒结束后，应进行通风处理，再贮存食物。

(5) 紫外线消毒 紫外线消毒是常用的空气消毒法，也可以对模子、工作服等消毒，不仅操作简单，节约费用，而且效果良好。每立方米空间装置功率为1W的紫外线光灯，每天平均照射3h即可对空气起到消毒作用。

(6) 臭氧消毒法 臭氧消毒是近几年较新的消毒方法。臭氧具有强烈的氧化作用，不但能杀菌消毒，抑制微生物的生长，还可同时消除库房中的异味。臭氧功效的大小取决于臭氧的浓度。浓度越大，氧化反应速度越快。通常使用时，依据食品的性质决定其浓度。一般用于鱼类产品、干酪食品，其浓度为1~2mg/m<sup>3</sup>；肉类食品为2mg/m<sup>3</sup>；蛋与蛋品为3mg/m<sup>3</sup>；水果与蔬菜为6mg/m<sup>3</sup>。臭氧不仅适用于空库消毒，也适用于堆有货物的情况下消毒。但不易用于库内存放含脂肪较多的食品消毒，以免脂肪氧化而产生酸败现象。高浓度臭氧（≥2mg/m<sup>3</sup>）对人的咽喉和鼻腔会产生刺激或头痛，使用臭氧消毒时人员应离开现场，或戴防毒面具。消毒工作完毕后，一般经2~3h通风处理后，人员方可入库。

冷库内消毒的效果，根据霉菌孢子的多少来评定。因此，在消毒前后均要做测定和记录。消毒后，每平方厘米表面上不得多于1个霉菌孢子。

### 8.2.3 冷库节能运行管理

1997年11月11日通过的《中华人民共和国节约能源法》提出加强节能宣传和教育，普及节能科学知识，增强全民节能意识，提高能源利用率和经济效益，各用电单位和个人都应履行节能义务。冷库属于生产性用电单位，耗电量较大，应当按照合理用能的原则，加强节能管理，制定并组织节能措施，降低能耗。能源利用情况包括能源消耗情况，用能效率，节能效益分析、节能措施等。此举也是降低生产成本，提高经济效益，增强市场竞争力的有力措施。

冷库节能运行管理主要是现役冷库在生产使用过程中，通过科学的管理而降低能耗，从而降低生产成本。冷库的节能管理可以从以下几个方面做起。

#### 8.2.3.1 制冷系统运行节能

制冷系统运行节能的主要措施有正确调节制冷系统运行参数，定期放油、放空气、定期除霜和清洗换热器、夜间运行等。



由于冷库制冷系统是一个专业技术性强且用冷情况较复杂，难以采用成套的制冷机组，多数采用现场设计，合理匹配而形成一个有机的系统。制冷系统的设计是依据一定的条件进行的，而实际运行中，工作条件是不断变化的。因此，必须依靠管理人员的精心操作和调节，使制冷系统始终处在合理的工作状态，才能达到高效节能的效果。制冷系统主要运行参数的调节和控制，包括蒸发温度和蒸发压力、冷凝温度和冷凝压力、压缩机的吸气温度、排气温度、双级压缩循环中间温度的调节等。这些参数调节的原则是：在满足库房温度要求的条件下，调节到尽可能低的冷凝温度以及尽可能高的蒸发温度。

蒸发器表面的油膜，能够增加热阻，降低换热效率。据资料介绍，蒸发器传热面如有0.1mm厚的油膜，为了保持已定的低温要求，蒸发温度就要下降2.5℃，耗电增加11%。

当制冷系统中混有不凝结气体，其分压力达到 $1.96 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，耗电要增加18%。对制冷系统要定期放油、放空气，以保持热交换设备良好的传热效果和充分利用传热面积，达到降低制冷系统的能量消耗的目的。

如库房冷却设备上有较厚的霜层，由于霜层的导热系数很小 $[0.6 \text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$ ，针对导致管壁的热阻增加，换热效率低，为达到库温，需要压缩机的运行时间延长而增加了电的消耗。同样道理，冷凝器的冷却水系统，由于长久使用，水中的矿物质会在管内或换热器表面形成水垢，水垢的导热系数很小 $[0.2 \text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$ ，从而增加了冷凝器的热阻，换热效率下降，致使冷凝温度上升。据统计，冷凝温度上升1℃，用电量增加3%。长期不清洗冷凝器，水垢过多，换热效率低，冷凝压力升高，制冷系数下降。因此要勤扫霜，定期对冷凝器进行除垢以保持热交换设备良好的传热效果，达到降低制冷系统能量消耗的目的。

我国自1984年开始在部分地区试行峰谷分时电价，即可以给在低谷时用电的用户以价格上的优惠。目前这一政策正在全国逐步实行。通常夜间为一个城市的用电低谷时间段，制冷装置夜间运行，就可以直接节省电费，获得显著的经济效益。另一方面，由于夜晚大气温度低于白天，使得制冷机的冷凝温度低于白天，在蒸发温度不变时，冷凝温度降低，制冷机的压缩比减少，输气系数增大，单位制冷量增大。因此在实际操作中，应尽可能让制冷装置在夜间运行，以获得节能的效益。

#### 8.2.3.2 食品冻结过程中的节能

食品冻结过程中的节能主要有以下措施：

(1) 采用变速冷风机，根据需要调节风量 食品在冻结间冻结过程中，热量的释放，实际上是不均匀的放热过程，所以冻结过程对冷却设备的需冷量也是不均匀的。食品的冻结过程分三个阶段组成：第一阶段是冷却阶段，食品温度从 $0^\circ\text{C}$ 以上降至 $0^\circ\text{C}$ 左右；第二阶段是冰晶形成阶段，食品温度由 $0^\circ\text{C}$ 降至 $-5^\circ\text{C}$ 左右；第三阶段是冻结降温阶段，食品由 $-5^\circ\text{C}$ 降至 $-15^\circ\text{C}$ 左右。在食品冻结的三个阶段中，第二阶段所需冷量最大，此时冻结间所配冻结设备要全部投入运转，而在第一和第三阶段，由于单位时间内热负荷较少，可适当降低风机风速，减少风量，以达到节能的目的。研究表明，吹过食品的风速提高一倍，则风机所消耗的功率将增加8倍。风机所消耗的功率最终变成热量增加制冷装置的冷负荷。因此在食品冷藏过程中，应根据货物热负荷的大小，调节一个合理的风速，以减少能量消耗。

(2) 设计均匀气流组织 食品的冻结主要有三种方法：吹风冻结、接触式平板冻结、沉浸或喷淋冻结，其中最常用的是吹风冻结。国内的研究表明，气流的均匀性对隧道式鼓风冻结的能耗影响很大。仅仅通过优化冻结间的气流组织，即可达到节能15.8%。具体采用何种气流组织，应视库房货物堆放情况而定。如冻结整片肉，采用从上至下的垂直气流较好；



冻结箱装食品，使用水平气流较好。已经设计好气流组织的冻结间、冷藏间，货物堆放时要正确合理，营造一个良好的空气循环回路。

### 8.2.3.3 减少消耗

减少消耗就是有效节能，其主要措施为：

(1) 减少制冷装置的耗水量 减少制冷装置的耗水量也是减少单位产品耗能的一部分重要工作。冷库中用水主要有三方面：水冷冷凝器的冷却水系统用水、冲霜用水、制冰用水。制冷压缩机效率低，制冷系统中冷凝压力过高都会使耗水量增加。另外，冷却水系统的供水管或水池有漏水也会使系统耗水量增加。

(2) 减少制冷装置的耗油量 制冷压缩机要加一定量的冷冻润滑油。如果压缩机本身质量差，或年久失修而形成各运动部件的装配间隙大、压缩机排气温度过高、冷冻油的质量差、油的规格不正确都会是压缩机耗油量增加。

(3) 减少制冷装置的制冷剂消耗量 制冷装置中必须充装一定数量的制冷剂才能正常工作。制冷剂充装量过多或过少都会使系统出现故障现象。然而制冷装置在运行过程中会由于系统中制冷机的轴封装配间隙过大、管道与阀门的连接不严、管道的焊接缺陷、放空气和放油时人员离开，致使系统制冷剂缺少而需要不断补充，提高了运行成本。

(4) 减少制冷装置的耗盐量 如果冷库有制冰，就要消耗一定的盐，当制冰用的冰桶漏水、盐水池不加盖或盖不严，盐水浓度将降低而需要加盐，应采取措施，减少盐的消耗量。

## 8.3 安全管理

安全管理是冷库运行管理非常重要的工作，主要包括安全预防措施、制冷剂钢瓶的安全使用、冷库建筑安全使用和事故紧急处理。

### 8.3.1 制冷剂钢瓶的使用和管理

盛装制冷剂的钢瓶，必须严格遵守国家劳动总局颁布的《压力容器安全监察规程》和《气瓶安全监察规程》的规定。

盛装氨的钢瓶是罐装液氨的压力容器，平时又处于高压之下，具有一定潜在的危险，钢瓶的爆炸是常见的事故，往往造成人身伤亡的惨痛后果。发生爆炸事故的主要原因是：

- (1) 超过允许的充装量；
- (2) 使用超过期限的钢瓶；
- (3) 使用受损有缺陷的钢瓶；
- (4) 使用了其他易爆或助燃气体的钢瓶；
- (5) 存放地点的温度过高或暴晒。

在氨瓶爆炸事故中，约 90% 是因为超装而引起的。这说明事故的性质是属于责任事故。充满液氨的钢瓶，放在日光照射的场地上半个小时爆炸率是 100%。

为了保证生产和人身的安全，对制冷剂钢瓶的充装、使用、运输和贮存都必须遵守安全技术要求。

氨瓶在充装前要有专人进行检查，有下列情况之一者，不准充装。

- (1) 漆色、字样和所装气体不同、字样不易识别的气瓶；
- (2) 附件不全、损坏或不符合规定的气瓶；
- (3) 不能判别装有何种气体，或钢瓶内没有余压的气瓶；
- (4) 超过检查期限的气瓶；

(5) 钢印标志不全，不能识别的气瓶；

(6) 外观检查有缺陷，如发现瓶壁有裂纹或局部腐蚀，其深度超过公称壁厚 10%，以及发现有结疤、凹陷、鼓包、伤痕和重皮等缺陷时，不能保证安全使用的气瓶。

钢瓶不得用储液器或其它容器代替。钢瓶必须每三年交当地劳动管理部门指定的检验单位进行技术检验，检验合格后，打上钢印方可使用。

向钢瓶中充装制冷剂时，必须遵守以下安全要求：

(1) 制冷剂的充装数量，一般按氨瓶容积要求充装，可按钢瓶标定充装。实际充装量为钢瓶容量乘以充装系数，一般氨瓶的充装系数不大于 0.53，即氨瓶每升容积只能充装氨 0.53kg 以下，严禁超量充装。

(2) 称量用的衡器要准确，衡器的检验期限不得超过三个月。

(3) 操作人员启闭钢瓶阀门时，应站在阀门的侧面缓慢开启。

(4) 钢瓶的瓶阀冻结时，应把钢瓶移到较暖的地方，或者用洁净的温水解冻，严禁用火烘烤。

(5) 立瓶应有防止跌倒措施，禁止敲击和碰撞。

(6) 不得靠近热源，与明火的距离不得小于 10m，与暖气片的距离不少于 1m。

(7) 认真填写充装记录，其内容包括充装日期、氨瓶编号、实际充装量、充装人和复核人姓名等。

(8) 氨瓶用过后应立即关闭瓶阀，盖好氨瓶防护罩，退还库房。

为了保证氨瓶的安全运输，应遵守以下安全要求：

(1) 轻装轻卸，妥善固定 旋紧瓶帽、轻装、轻卸，严禁抛、滑、滚、拖或撞击氨瓶。装车时应横向放置，头朝一方，旋紧瓶帽，妥善加以固定，备齐防震圈，应装置厚度不小于 25mm 的防振胶圈两道或其它相应的防振装置，并须旋紧安全帽。瓶子下面用三角木块等卡牢。车厢拦板要坚固牢靠，瓶子堆高不得超过车厢高度，以确保运输过程中氨瓶不跌落、瓶阀不受损坏。不能用电磁起重机来搬运气瓶，厂内搬运时宜用专用小车。夏季要有遮阳设施、防止暴晒。

(2) 分类装运，禁止烟火 严禁与氧气瓶、氢气瓶等易燃易爆物品同车运输；夏季要加覆盖物，防止暴晒；运输气瓶的车辆上禁止烟火，禁止坐人，并应配备防氨泄漏的用具，如相应的灭火器材和防中毒、防化学灼伤的个人防护用具。

(3) 防晒防雨，悬挂标志 运输氨瓶的车辆要有遮阳防雨设施，防止雨雪侵袭，防止太阳暴晒；炎热地区应该遵守当地政府关于夏季装运化学危险物品的有关安全规定。

储存充氨后的氨瓶仓库，与其他建筑物应保持一定距离。氨瓶库的建筑和设备必须满足下列要求：

(1) 必须是不低于二级耐火等级的单独的单层建筑，地面至屋顶最低点的高度不小于 3.2m，屋顶应为轻型结构。

(2) 仓库应采用非燃烧材料砌成隔墙，仓库的门窗应向外开，地面应平整不滑。

(3) 仓库周围 10m 内不得存放易燃物品和进行明火作业。

(4) 放置整齐，妥善固定，留有通道。氨瓶立放时，应设有专用拉杆或支架，严防碰倒；卧放时，头部朝向一方，其堆放高度不应超过 5 层。瓶帽和防振圈等附件必须完整无缺。

(5) 库内有良好的自然通风或有机械通风设备，仓库的温度不得高于 35℃，仓库的取

暖设备必须采用水暖或汽暖，不能有明火。

氨瓶储存时，应遵守以下安全要求：

(1) 旋紧瓶帽，放置整齐，妥善固定，留有通道，附件必须完整无缺。

(2) 氨瓶严禁与氧气瓶、氢气瓶同室储存，以免引起燃烧和爆炸，并应在附近设有消防、灭火器材。

(3) 禁止将有氨液的钢瓶储存在机器设备间内。

(4) 临时存放钢瓶，也要远离热源和防止阳光曝晒。

### 8.3.2 安全预防措施与事故处理

制冷系统的操作人员要做到安全生产，不仅要掌握制冷技术知识和熟练的安全操作技能，而且还必须掌握有关安全预防措施和急救知识。

#### 8.3.2.1 安全预防措施与防护器材

操作人员应加强安全技术的学习，严格执行操作规程，时刻提高警惕，严防事故的发生；应了解制冷剂对人体生理的影响，学习氨中毒后的急救知识及救护药品使用知识。制冷系统的机器、设备和管道等要保持密封，漏氨部位应及时修理，以防氨对人身的危害；防毒面具、橡胶手套、防毒衣具、胶鞋以及救护药品，应妥善放置在机器间进出口的专用箱内，并定期检查是否处于良好的待用状态。平时还应加强预防性训练，如训练对防护用品的使用，熟练掌握防毒衣具的穿法和防毒面具的使用方法；假设一定的事故，让操作人员处理，以训练他们处理事故的能力。

对于卤代烃类制冷剂泄漏，只要防止明火产生光气，并迅速通风严防使人窒息即可。

另外，机房内应配备二氧化碳或干粉灭火器材，以备扑灭油火、制冷剂火和电火。

冷库防护用防毒面具一般都是活性炭防毒面具，主要在漏氨时使用。活性炭防毒面具是利用活性炭分子有较强的吸附能力，吸附空气中的氨分子，将过滤后的空气供人呼吸。这种防毒面具是在空气中含氨量不太大情况下使用的，如果有大量氨液溢出，这种防毒面具不能使用，而必须使用氧气呼吸器。

使用时应检查覆面是否损坏，如已损坏，应停止使用。如覆面完好，可将过滤罐的橡皮塞子打开，将覆面从头上戴向下颚，松紧度合适，呼吸不困难时即可使用。

使用后，若氨味较大，说明活性炭分子吸附能力已经饱和，应将过滤罐内的活性炭更换。覆面和软管用酒精冲洗消毒，晾干后撒上滑石粉，保管在阴凉通风的专用箱内，以备再用。

氧气呼吸器是借助肺力而动作的一种呼吸器。由人体的肺部呼出的气体进入清净罐，二氧化碳被清净罐内的吸收剂吸收而清除掉，残余的气体与氧气瓶储存的氧气混合后组成新鲜空气，被人呼吸进入肺部。

使用时，将头和左臂穿过悬挂的皮带，然后落于右肩上，再用紧身皮带把呼吸器固定在左侧腰际。打开氧气瓶的开关，手按补给钮，排出呼吸器内各部分的污气。把覆面由头顶套入、戴向下颚，它的大小以既能保持气密，又不太紧为原则。

#### 8.3.2.2 事故紧急处理

氨制冷系统的阀门或法兰等处，由于填料或垫片不严引起的轻微泄漏是经常发生的，也易处理。但当系统管道或设备发生破裂而大量跑氨时，情况就比较严重。遇有这类事故，操作人员一定要镇静、沉着，不应惊慌失措，以免错开或乱开机器、设备上的阀门，导致事故进一步扩大；必须正确判断情况，迅速组织有经验的技工，穿戴防护用具进入现场抢救。



(1) 高压管路破裂时的处理 应立即停止压缩机运转, 根据事故发生的地点, 迅速将跑氨管路两端的截止阀关闭, 切断漏氨部位与有关设备相连通的管道, 卡断氨源。如果破裂管段不长, 可采用放空的办法, 待管内余氨放完后(漏处不再有氨气外逸)进行置换。

(2) 液位指示器氨泄漏时的处理 如果液位指示器被碰断, 应立即关闭液位计上、下角阀, 更换液位计。

(3) 高压容器氨泄漏时的处理 如果容器破裂, 应先截断氨来源, 并在破裂部位盖上淋透水的织物或胶皮, 然后扎紧, 以减轻泄漏程度, 或用水管喷淋冷水进行抢堵。同时, 应迅速将容器内液体送向低压容器(如排液桶)或蒸发器排管中; 液体大部分排出后, 关闭阀门, 切断与低压系统的联系。无法排放时, 应通过紧急泄氨器排入下水道。容器内余氨通过紧急泄氨器放入水池中, 待余液被放完后, 接通大气放空。

(4) 低压系统管道氨泄漏时的处理 首先要迅速查明跑氨部位, 关闭该冷却设备的供液阀、回气阀, 并调整有关阀门, 切断系统与该冷却设备的联系。在此情况下, 由于氨气过浓, 可开动或临时加风机向出口排除氨气, 并用醋酸溶液喷雾中和; 然后, 在破漏管段上包扎薄胶皮, 再用管卡将漏点夹死, 然后调整阀门, 抽空该冷却设备。在库房升温的同时, 转移库内货物, 待库内氨味已经消除, 可将管卡拆除, 进行置换。

采用氨制冷系统的冷库发生火灾时应采取以下措施:

(1) 边报警, 边扑救 在报警的同时要及时扑灭初起之火。在火灾的初起阶段, 由于燃烧面积小, 燃烧强度弱, 放出的辐射热量少, 是扑救的最有利时机。这种初起火一经发现, 只要不错过时机, 可以用很少的灭火器材, 如用雾状水或抗溶性泡沫、干粉等灭火器扑救。也可用二氧化碳灭火器扑救。所以, 就地取材、不失时机的扑灭初起火是极其重要的。

(2) 先控制, 后灭火 氨为可燃气体, 应首先切断氨的来源, 然后争取灭火一次成功。如果在未切断氨的来源使其从容器、管道中源源不断地喷散出来的情况下, 急于求成, 盲目灭火, 则是一种十分危险的作法。因为火焰即使被扑灭, 而可燃物继续向外喷散, 遇明火或炽热物体等着火源还会引起复燃。如果氨体浓度达到爆炸极限, 甚至还能引起爆炸, 很易导致严重伤害事故。因此, 在可燃物来源未切断之前, 扑救应以冷却保护为主, 积极设法切断可燃物来源, 然后集中力量把火灾扑灭。

(3) 先救人, 后救物 在发生火灾时, 如果人员受到火灾的威胁, 应贯彻执行救人重于灭火的原则, 先救人后疏散物资。要首先组织人力和工具, 尽早、尽快地将被困人员抢救出来。在组织主要力量抢救人员的同时, 部署一定的力量疏散物资、扑救火灾。

(4) 防中毒, 防窒息 氨有毒, 扑救人员如不注意很易发生中毒; 大量烟雾或使用二氧化碳灭火时, 火场附近空气中氧含量降低可能引起窒息。因此, 在扑救火灾时还应特别注意防中毒、防窒息。

### 8.3.2.3 发生氨伤害时的急救措施

氨对人体所造成的伤害, 大致可分为三类: 氨气被人体吸入, 导致昏迷甚至死亡; 氨液溅到眼睛和皮肤上引起的冷灼伤; 氨液或氨气对眼睛和呼吸器官的刺激性伤害。

发生氨伤害, 应采取如下急救措施:

(1) 当氨液溅到衣服或皮肤上时, 应立即把氨液溅湿的衣服脱去, 用常温水或 2% 硼酸水(注意水温不得超过 36℃) 冲洗皮肤, 当解冻后, 再涂上消毒凡士林或植物油脂。

(2) 当呼吸道受到较强烈的氨刺激, 而且中毒比较严重时, 可用硼酸水漱口, 并给中毒者饮入 0.5% 的柠檬酸水或柠檬汁。

(3) 当氨中毒十分严重，致使呼吸微弱、甚至休克、呼吸停止时，应立即进行人工呼吸抢救，有条件时施以纯氧呼吸；遇到这种严重情况，应立即送医院抢救。

无论中毒或窒息程度轻重与否，均应将患者转移到新鲜空气处进行救护，不使其继续吸入含氨的空气。对于受氨损伤的皮肤，只能用水或酸性的食醋和柠檬水冲洗，绝对不要用毛巾等擦洗受伤部位，以免擦破表皮引起继发感染。对腹部以下器官，当粘附氨而产生强烈刺痛感时，应立即跳进水池即可逐渐缓解。

对于卤代烃类制冷剂产生大量泄漏时，只要远离明火，并迅速通风，即可不对人产生伤害。

### 8.3.3 库房建筑结构安全

冷库是用隔热材料建筑的低温密闭库房，结构复杂，造价高，具有怕潮、怕水、怕热汽、怕跑冷的特性。如隔热层内有冰、霜、水，就必须停产修理，严重影响生产。冻结间、冻结物冷藏间的温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ ，容易出现建筑结构损坏的问题。为此，在使用时，要注意以下问题：

(1) 防止水、汽渗入隔热层 要及时清除穿堂和库房的墙体、地坪、门框、顶棚等这些部位的冰、霜、水；不要用水冲洗地坪和墙壁。

(2) 严格管理冷库门 商品出入库时，要随时关门，库门如有损坏要及时维修，做到开启灵活、关闭严密；凡通向库外或常温穿堂的门，均应设空气幕，减少冷热空气对流。

(3) 库房外部检查 经常检查屋顶、墙角有无漏水、渗水处，一旦发现，须及时修补。

(4) 防止建筑结构冻融循环 各类冷库库房必须按设计规定用途使用，高、低温库房不能随意变更（室内用装配式冷库除外）；没有经过冻结的货物，不准直接进入冻结物冷藏间，防止库内温升过高；空库时，冻结间和冻结物冷藏间应保持在 $-5^{\circ}\text{C}$ 以下，防止冻融循环。

(5) 防止地坪冻胀 没有地坪防冻措施的冷却物冷藏间，其库温不得低于 $0^{\circ}\text{C}$ ；冷库地下自然通风道应保持畅通，不得积水、有霜，不得堵塞，北方地区要做到冬堵春开；采用机械通风或地下油管加热等设备，要指定专人负责，定期检查，根据要求，及时开启通风机、加热器等装置；底层的地坪没有作通风等处理的库房，使用温度要控制在设计许可范围内。

(6) 保护地坪（楼板） 不得把商品直接散铺在地坪上或垫上席子等冻结；卸肉垛不得采用倒垛的方法；脱钩和脱盘不准在地坪上摔击，以免砸坏地坪，破坏隔热层；商品堆垛、吊轨悬挂、运输工具的装载、其重量不得超过设计载荷，如堆放超载，会使楼板裂缝，水分流入隔热层，使隔热层失效。

## 参考文献

- 1 GBJ16—87 建筑设计防火规范
- 2 GBJ19—87 采暖通风与空气调节设计规范
- 3 GBJ72—84 冷库设计规范
- 4 R. J. Dossat. Principles of Refrigeration. 2nd ed. John Weley & Sons, Inc. 1978
- 5 华泽钊, 李云飞, 刘宝林. 食品冷冻冷藏原理与设备. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 6 冯志哲, 沈新月. 食品冷藏工艺学. 北京: 中国轻工业出版社, 2001
- 7 刘学浩. 食品冷加工工艺. 北京: 中国展望出版社, 1983
- 8 冯志哲. 食品冷冻工艺学. 上海: 上海科学技术出版社, 1984
- 9 单寄平. 空调负荷实用计算法. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989
- 10 湖北工业建筑设计院. 冷藏库设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980
- 11 李明忠, 孙兆礼. 中小型冷库技术. 上海: 上海交通大学出版社, 1995
- 12 商业部设计院. 冷库制冷设计手册. 北京: 农业出版社, 1991
- 13 李珏等. 蔬菜贮藏生理及气调技术. 上海: 上海科学技术出版社, 1984
- 14 吴锦铸. 果蔬保鲜与加工. 北京: 化学工业出版社, 2001
- 15 陈志远, 陈孝通. 新型制氮技术. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 16 朱瑞琪. 制冷装置自动化. 西安: 西安交通大学出版社, 1993
- 17 邹根南, 郑贤德. 制冷装置及其自动化. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 18 张伯福. 制冷装置的管理与效益. 北京: 农业出版社, 1988
- 19 张建一. 制冷装置节能技术. 北京: 机械工业出版社, 1999



[ G e n e r a l I n f o r m a t i o n ]

书名 = 冷库设计与原理

作者 = 时阳, 朱兴旺, 姬鹏先等编著

页数 = 195

SS号 = 11731477

出版日期 = 2006年6月

出版社 = 中国农业科学技术出版社

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

书名  
前言  
目录

- 1 冷库设计基础知识
  - 1.1 冷库的分类
  - 1.2 冷库设计的主要内容
  - 1.3 食品冷冻冷藏的生物与化学的理论基础
  - 1.4 食品冷冻冷藏原理
  - 1.5 食品冷加工工艺简介
- 2 冷库建筑设计
  - 2.1 建筑布置
  - 2.2 土建库房结构
  - 2.3 装配式库房结构
  - 2.4 冷间设计
  - 2.5 其他建筑
- 3 隔热设计
  - 3.1 隔热材料
  - 3.2 隔热计算
  - 3.3 防潮隔汽层
  - 3.4 防潮隔汽计算
- 4 库房冷负荷设计
  - 4.1 计算温湿度
  - 4.2 冷负荷计算
  - 4.3 冷间冷却设备与制冷系统冷负荷计算
- 5 制冷系统设计
  - 5.1 管路设计
  - 5.2 氨系统设计
  - 5.3 卤代烃系统设计
  - 5.4 制冷系统的安装与试运转
- 6 气调冷库设计
  - 6.1 气调贮藏
  - 6.2 气调设备与附件
  - 6.3 气调库密封要求
  - 6.4 气体测控仪器仪表
- 7 冷库自动控制
  - 7.1 运行控制及其器件
  - 7.2 设备的安全保护
- 8 冷库运行管理
  - 8.1 冷库运行管理综述
  - 8.2 冷库的运行操作管理
  - 8.3 安全管理

参考文献

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球