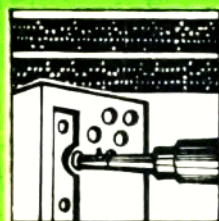
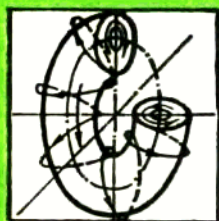
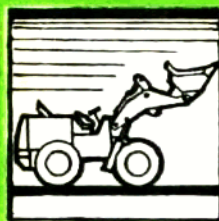


高等学校试用教材

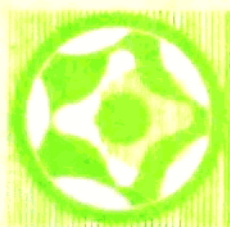


# 制冷及低温技术

下 册

西安交通大学张祉祐  
华中工学院石秉三

主编



机械工业出版社

# 制 冷 及 低 温 技 术

下 册

西安交通大学张祉祐 主编  
华中工学院石秉三

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)  
(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张 20  $\frac{1}{2}$  · 字数 496 千字  
1981 年 9 月北京第一版 · 1981 年 9 月北京第一次印刷  
印数 0,001—10,000 · 定价 2.10 元

统一书号: 15033 · 5032

## 前 言

本书是根据第一机械工业部 1978 年 4 月在天津召开的高等学校对口专业座谈会所制定的“制冷及低温技术”专业教学计划及同年 7 月在江西庐山召开的“制冷及低温技术”专业教材大纲编写会议的有关文件和精神编写的。它的内容包括制冷及低温技术的热力学原理、主要设备及装置。本书是作为高等工业学校“制冷及低温技术”专业的基本教材,也可供有一定基础的技术人员自学或参考之用。

本书主要阐明制冷及低温技术的基本原理、主要设备及装置的特性及设计计算方法,以便使读者能从理论同实践的结合上掌握这门技术。本书取材立足于国内,但同时也介绍了国外在新近时期的成就。在叙述方法是力图将制冷技术与低温技术从理论上综合在一起,而不是截然分开;但各章则有所侧重,在教学中可以根据专业侧重点的不同而予以取舍。

本书共计二十章,分为上、中、下三册,上册讲述制冷及低温技术的热力学原理,中册讲述几种主要设备的工作原理及计算,下册讲述几种常用的制冷及低温装置。

本书是西安交通大学低温技术教研室和华中工学院制冷教研室部分同志的集体劳动成果。全书由张祉祐同志任主编,石秉三同志任副主编,郑德馨、陈长青和谢鸿济三同志参加了中、下册的统稿工作。

本书下册由李文林 (§ 16-1 至 § 16-10)、林秀诚 (§ 16-11 至 § 16-16)、谢鸿济 (§ 17-1 至 § 17-6)、陈芹元 (§ 17-7 及 § 18-4、§ 18-5)、谢志镜 (§ 18-1 至 § 18-3)、张丙元 (§ 19-1 至 § 19-3)、林应国 (§ 19-4 至 § 19-8)、高香院(二十章)等同志编写,插图由俞美英、刘淑琴同志描绘。

本书由上海机械学院制冷教研室顾景贤同志任主审,参加审稿的有上机院的韩鸿兴、蒋能照、周启瑾及杭州制氧机研究所的李永康、陈允恺、陈锡顺、严寿鹏等同志。

本书责任编辑是第一机械工业部教材编辑室孙祥根同志。

本书在编写及审查过程中得到江西制氧机厂、西安交大印刷厂以及钱鸿章、郭方中、茅以惠、边绍雄、李天瑞、杨杰辉、华泽钊、郑贤德、万威武、李桂阳、袁秀玲、祝汉慧、唐明净、夏仕琨等同志的协助,特此予以致谢。

本书内容涉及面较广,又尝试采用了综合讲述的方法,更限于编写人员的水平,错误和缺点势所难免,恳切欢迎读者批评指正。

1979 年 10 月

## 下 册 通 用 符 号

| 符号           | 意 义            | 单 位                     |                                 | 符号              | 意 义          | 单 位                                       |                                                  |
|--------------|----------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|              |                | 中 文                     | 代 号                             |                 |              | 中 文                                       | 代 号                                              |
| $c_p$        | 定压比热           | 千焦/千克·开                 | $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$     | $r$             | 汽化潜热         | 千焦/千摩尔                                    | $\text{kJ/kmol}$                                 |
| $d$          | 直 径            | 米                       | $\text{m}$                      | $S$             | 相对余隙容积       |                                           |                                                  |
| $F$          | 面 积            | 米 <sup>2</sup>          | $\text{m}^2$                    | $T$             | 热力学温度        | 开                                         | $\text{K}$                                       |
| $f$          | 粗氨塔气液比         |                         |                                 | $t_{\text{ou}}$ | 外气温度         |                                           | $^{\circ}\text{C}$                               |
| $f_m$        | 粗氨塔最小气液比       |                         |                                 | $t_o$           | 蒸发温度         |                                           | $^{\circ}\text{C}$                               |
| $G$          | 质量流量           | 千克/秒                    | $\text{kg/s}$                   | $t_{\text{oc}}$ | 室外计算温度       |                                           | $^{\circ}\text{C}$                               |
| $H$          | 扬 程<br>液位高度    | 米<br>米                  | $\text{m}$<br>$\text{m}$        | $t_{\text{ic}}$ | 室内计算温度       |                                           | $^{\circ}\text{C}$                               |
| $h$          | 高 度<br>焓       | 米<br>千焦/千摩尔             | $\text{m}$<br>$\text{kJ/kmol}$  | $U$             | 总 内 能        | 千 焦                                       | $\text{kJ}$                                      |
| $\Delta h_T$ | 等温节流效应         | 千焦/千摩尔                  | $\text{kJ/kmol}$                | $u$             | 内 能          | 千焦/千克                                     | $\text{kJ/kg}$                                   |
| $k$          | 传热系数           | 瓦/米 <sup>2</sup> ·开     | $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$     | $V$             | 体 积          | 米 <sup>3</sup>                            | $\text{m}^3$                                     |
| $L$          | 液 体 量          | 千 克                     | $\text{kg}$                     |                 | 流 量          | 米 <sup>3</sup> /小时<br>标米 <sup>3</sup> /小时 | $\text{Nm}^3/\text{h}$<br>$\text{Nm}^3/\text{h}$ |
| $M$          | 分 子 量          |                         |                                 |                 | 单位加工空气的流量    | 标米 <sup>3</sup> /标米 <sup>3</sup> 加工空气     | $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3\text{A}$                |
| $n$          | 转 数            | 转/秒                     | $\text{r/s}$                    | $W$             | 功            | 千焦                                        | $\text{kJ}$                                      |
| $N$          | 功 率            | 千 瓦                     | $\text{kW}$                     | $w$             | 流 速<br>容 积 比 | 米/秒                                       | $\text{m/s}$                                     |
| $p$          | 压 力            | 千 帕                     | $\text{kPa}$                    | $x$             | 液相摩尔浓度       |                                           | %                                                |
| $Q$          | 热 流 量<br>热 量   | 千 瓦<br>千焦/千摩尔           | $\text{kW}$<br>$\text{kJ/kmol}$ | $y$             | 气相摩尔浓度       |                                           | %                                                |
| $Q_0$        | 制 冷 量<br>单位制冷量 | 千 瓦<br>千焦/千摩尔           | $\text{kW}$<br>$\text{kJ/kmol}$ | $Z$             | 行 程          | 米                                         | $\text{m}$                                       |
| $q$          | 单位热量           | 千焦/标米 <sup>3</sup> 加工空气 | $\text{kJ/Nm}^3\text{A}$        | $\delta$        | 厚 度          | 米                                         | $\text{m}$                                       |
| $q_F$        | 单位热负荷          | 瓦/米 <sup>2</sup>        | $\text{W/m}^2$                  | $\varepsilon$   | 制冷系数         |                                           |                                                  |
| $Q_2$        | 复热不足冷损         | 千焦/千摩尔                  | $\text{kJ/kmol}$                | $\eta_M$        | 空压机机械效率      |                                           |                                                  |
| $Q_3$        | 跑冷损失           | 千焦/千摩尔                  | $\text{kJ/kmol}$                | $\eta_p$        | 膨胀机绝热效率      |                                           |                                                  |
| $q_3$        | 跑冷损失           | 千焦/标米 <sup>3</sup> 加工空气 | $\text{kJ/Nm}^3\text{A}$        | $\eta_T$        | 空压机等温效率      |                                           |                                                  |
| $R$          | 气体常数           | 千焦/千克·开                 | $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$     | $\rho$          | 密 度          | 千克/米 <sup>3</sup>                         | $\text{kg/m}^3$                                  |
|              |                |                         |                                 | $\tau$          | 时 间          | 小时<br>秒                                   | $\text{h}$<br>$\text{s}$                         |

## 下角标

|       |         |       |       |       |             |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------------|
| Ar    | 氮的      | K     | 空气的   | $pr$  | 实际的         |
| $a$   | 总的      | L     | 液体的   | $R$   | 回热器的        |
| $b$   | 底部的     | $l$   | 液化器的  | $r$   | 可逆的         |
| $bc$  | 膨胀前     | $lf$  | 环流的   | $s$   | 切换的、死隙的     |
| $bee$ | 膨胀后的    | $lc$  | 下塔的   | $s_a$ | 饱和的         |
| $by$  | 旁通的     | $m$   | 平均的   | $s_n$ | 液面的、过冷的、过热的 |
| $c$   | 冷凝的、纯的  | max   | 最大的   | $t$   | 顶部的         |
| COM   | 压缩的     | min   | 最小的   | $th$  | 理论的         |
| $e$   | 膨胀的     | $N_2$ | 氮的    | $uc$  | 上塔的         |
| $f$   | 精馏的、馏分的 | $O_2$ | 氧的    | $W$   | 污的          |
| $h$   | 高的      | $o$   | 输出的   | Wa    | 水的          |
| $hc$  | 辅塔的     | PK    | 膨胀空气的 |       |             |

## 上角标

|      |       |      |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|------|
| $a$  | 总的    | LK   | 液空中的 | N    | 氮中的  |
| $c$  | 纯的    | LN   | 液氮中的 | O    | 氧中的  |
| $fN$ | 馏分氮中的 | LO   | 液氧中的 | $R$  | 回热器的 |
| K    | 空气中的  | $l$  | 液化器的 | $s$  | 切换的  |
| L    | 液体中的  | $lc$ | 下塔的  | $uc$ | 上塔的  |

附注：在本书下册中，凡物理量符号不另作说明时，其意义及单位均同此表。

# 目 录

## 第五篇 制冷及低温装置

|                                     |    |                                    |    |
|-------------------------------------|----|------------------------------------|----|
| 第十六章 制冷装置 .....                     | 1  | § 16-11 制冷装置自动化的意义及功用 .....        | 57 |
| § 16-1 制冷装置的种类和功用 .....             | 1  | § 16-12 供液量的自动调节 .....             | 58 |
| § 16-2 冷藏装置 .....                   | 1  | 一、浮球阀 .....                        | 58 |
| 一、冰箱 .....                          | 1  | 二、浮球液位控制器及电磁阀、电磁主<br>阀 .....       | 59 |
| 二、冷库 .....                          | 7  | 三、热力膨胀阀 .....                      | 63 |
| 三、运输式冷藏装置 .....                     | 9  | 四、热膨胀阀 .....                       | 66 |
| § 16-3 试验用制冷装置 .....                | 14 | § 16-13 温度的自动调节 .....              | 66 |
| 一、试验装置的种类和用途 .....                  | 14 | 一、被冷却介质温度的自动调节 .....               | 67 |
| 二、试验装置的结构 .....                     | 15 | 二、冷凝温度的自动调节 .....                  | 68 |
| 三、试验装置的加热及真空系统 .....                | 16 | § 16-14 融霜过程的自动控制 .....            | 70 |
| § 16-4 空调用制冷装置 .....                | 17 | 一、电热融霜系统 .....                     | 70 |
| 一、非热泵型空气调节机组 .....                  | 18 | 二、热气融霜系统 .....                     | 71 |
| 二、热泵型空气调节机组 .....                   | 19 | § 16-15 自动保护及安全装置 .....            | 72 |
| 三、空气去湿机 .....                       | 21 | 一、压力保护 .....                       | 72 |
| § 16-5 制冰 .....                     | 22 | 二、排温控制器 .....                      | 74 |
| 一、冰的物理性质及应用 .....                   | 22 | 三、断水保护装置 .....                     | 74 |
| 二、制冰设备 .....                        | 23 | § 16-16 制冷装置的自动化系统 .....           | 75 |
| § 16-6 制冷装置的冷却方式及制冷系统 .....         | 27 | 一、小型制冷机组的自动化系统 .....               | 75 |
| 一、制冷装置的冷却方式 .....                   | 27 | 二、水冷式小型制冷机组的自动化系统 .....            | 75 |
| 二、制冷装置的制冷系统 .....                   | 29 | 三、使用盐水系统的氨制冷机组的自动<br>化系统 .....     | 77 |
| § 16-7 制冷装置的容量及冷量负荷的<br>定 .....     | 35 | 四、氨直接蒸发制冷装置的自动化系统 .....            | 77 |
| 一、制冷装置的容量 .....                     | 35 | 五、低温试验装置的自动化系统 .....               | 81 |
| 二、制冷装置冷量负荷的计算 .....                 | 36 | 参考文献 .....                         | 84 |
| § 16-8 制冷机械及设备的选择及管道尺<br>寸的确定 ..... | 44 | 第十七章 空气分离装置 .....                  | 85 |
| 一、制冷机械及设备的选择 .....                  | 44 | § 17-1 空气分离装置及其在国民经济中<br>的作用 ..... | 85 |
| 二、制冷装置管道尺寸的确定 .....                 | 45 | § 17-2 典型空分装置工艺流程 .....            | 88 |
| § 16-9 制冷装置的辅助设备 .....              | 50 | 一、11-800 型空分装置 .....               | 88 |
| 一、润滑油的分离及收集设备 .....                 | 50 | 二、KFS-860-2 型空分装置 .....            | 89 |
| 二、制冷工质的贮存及分离设备 .....                | 53 | 三、带液氧泵的小型空分装置 .....                | 90 |
| 三、制冷工质的净化设备 .....                   | 53 | 四、小型制氮装置及小型液氮装置 .....              | 91 |
| § 16-10 制冷装置的气密性试验及试运<br>转 .....    | 55 | 五、带中压制冷循环系统的低压液氧装<br>置 .....       | 93 |
| 一、气密性试验 .....                       | 55 | 六、KFD-41000 型空分装置 .....            | 95 |
| 二、制冷装置的试运转 .....                    | 56 |                                    |    |

|                                     |     |                            |     |
|-------------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 七、KFS-21000 型空分装置 .....             | 97  | 一、从空分装置中提取氮和氩 .....        | 183 |
| 八、10000m <sup>3</sup> /h 空分装置 ..... | 99  | 二、从合成氨尾气中提取氮和氩 .....       | 192 |
| 九、用非利浦斯制冷机制取液氮的装置 .....             | 101 | § 18-5 氮、氩的提取 .....        | 193 |
| § 17-3 空分装置工艺流程制冷系统的组织 .....        | 103 | 一、从空分装置中提取氮和氩 .....        | 193 |
| 一、冷量的生产 .....                       | 103 | 二、从天然气中提取氮 .....           | 200 |
| 二、低压流程制冷系统 .....                    | 104 | 三、从合成氨尾气中提取氮 .....         | 205 |
| 三、中压流程制冷系统 .....                    | 111 | 参考文献 .....                 | 206 |
| 四、高压流程制冷系统 .....                    | 113 | 第十九章 低温液化装置 .....          | 207 |
| § 17-4 空分装置工艺流程精馏系统及换热系统的组织 .....   | 114 | § 19-1 概况 .....            | 207 |
| 一、精馏系统的组织 .....                     | 114 | 一、液化气体的种类及其应用 .....        | 207 |
| 二、换热系统的组织 .....                     | 116 | 二、气体液化技术的发展概况 .....        | 207 |
| § 17-5 空分装置工艺流程的设计 .....            | 118 | § 19-2 天然气液化装置 .....       | 208 |
| 一、空分装置工艺流程的拟定 .....                 | 118 | 一、天然气液化前的预处理 .....         | 209 |
| 二、空分装置工艺流程的设计程序及计算方法 .....          | 120 | 二、天然气液化装置的类型 .....         | 211 |
| § 17-6 空分装置工艺流程计算举例 .....           | 130 | 三、天然气液化装置典型流程 .....        | 212 |
| 附表 I 国产制取氧、氮的空分装置技术性能 .....         | 142 | 四、液化天然气的汽化及冷量利用 .....      | 218 |
| 附表 II 国产制取液氧及液氮的空分装置技术性能 .....      | 144 | § 19-3 氢液化装置 .....         | 219 |
| § 17-7 空分装置的自动调节系统 .....            | 145 | 一、氢原料气及其纯化 .....           | 219 |
| 一、压缩机的自动调节系统 .....                  | 145 | 二、氢的正-仲转化 .....            | 221 |
| 二、可逆式换热器的自动控制 .....                 | 149 | 三、中、小型氢液化装置 .....          | 224 |
| 三、分离设备的自动调节系统 .....                 | 153 | 四、大型氢液化装置 .....            | 228 |
| 四、空分装置的自动调节系统举例 .....               | 154 | § 19-4 氮液化装置 .....         | 229 |
| 参考文献 .....                          | 157 | 一、氮原料气及其纯化 .....           | 229 |
| 第十八章 稀有气体的提取 .....                  | 158 | 二、小型氮液化装置 .....            | 235 |
| § 18-1 概述 .....                     | 158 | 三、中型及大型氮液化装置 .....         | 239 |
| 一、稀有气体的性质及用途 .....                  | 158 | 附表 国外主要大、中型氮液化装置统计表 .....  | 243 |
| 二、提取稀有气体的主要方法 .....                 | 159 | § 19-5 低温液化装置的设计基础 .....   | 244 |
| 三、稀有气体在空分塔中的分布规律及其对精馏过程的影响 .....    | 159 | 一、流程的确定 .....              | 244 |
| § 18-2 从空分装置中提取粗氩 .....             | 161 | 二、设计参数的选择 .....            | 246 |
| 一、典型制氩流程 .....                      | 161 | 三、液化装置流程设计计算 .....         | 247 |
| 二、在高压和中压空分装置上制取粗氩 .....             | 164 | § 19-6 氮液化装置用喷射器及其计算 ..... | 260 |
| 三、在全低压空分装置上制取粗氩 .....               | 169 | 一、喷射器在低温系统中的作用 .....       | 260 |
| § 18-3 纯氮的制取 .....                  | 170 | 二、喷射器的工作原理与主要尺寸的确定 .....   | 261 |
| 一、化学除氧和低温精馏制取纯氮 .....               | 170 | 三、喷射系数的确定 .....            | 263 |
| 二、用分子筛低温吸附法制取纯氮 .....               | 174 | § 19-7 低温液化装置的真空系统 .....   | 265 |
| 三、从合成氨尾气中提氮 .....                   | 177 | § 19-8 低温液化装置的安全技术 .....   | 268 |
| § 18-4 氮、氩的提取 .....                 | 183 | 一、天然气液化装置的安全技术 .....       | 268 |
|                                     |     | 二、氮液化装置的安全技术 .....         | 269 |
|                                     |     | 参考文献 .....                 | 270 |
|                                     |     | 第二十章 低温制冷机 .....           | 272 |
|                                     |     | § 20-1 概述 .....            | 272 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| § 20-2 斯特林及 VM 制冷机 .....  | 273 |
| 一、斯特林制冷机 .....            | 273 |
| 二、VM 制冷机 .....            | 296 |
| § 20-3 G-M 及 SV 制冷机 ..... | 301 |
| 一、G-M 制冷机 .....           | 301 |
| 二、SV 制冷机 .....            | 305 |
| § 20-4 脉管制冷 .....         | 309 |
| § 20-5 氦稀释制冷机 .....       | 310 |

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 一、 $^3\text{He}$ 、 $^4\text{He}$ 及 $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ 溶液的性质和<br>稀释制冷机原理 ..... | 310 |
| 二、稀释制冷机的流程原理 .....                                                                       | 313 |
| 三、稀释制冷机的结构及设备 .....                                                                      | 313 |
| 参考文献 .....                                                                               | 315 |
| 国际单位制(SI)与工程制的换算 .....                                                                   | 317 |
| 外国人名对照表 .....                                                                            | 318 |

## 第五篇 制冷及低温装置

### 第十六章 制 冷 装 置

#### § 16-1 制冷装置的种类和功用

制冷装置是将生产冷量的制冷机械与消费冷量的设施结合在一起的技术装置。在制冷装置中虽然可以用不同种类的制冷机来供应冷量,但制冷装置的类型和特性主要还是取决于冷量用户。随着冷量使用方式的不同,制冷装置的类型也就多种多样,目前比较广泛使用的大致有下面几类:(1)冷藏制冷装置。它主要用于食品的冷加工、冷藏及冷藏运输,但也有用来贮存其他物品,如药品,疫苗,蚕丝等;其目的是为了保证物品的质量,以防其因生化作用或霉菌腐蚀而腐败或变质。(2)空调及降温用制冷装置。空调装置有生产性的,如冶金、纺织、仪表装配、精密零件加工等车间用的空气调节,也有舒适性的,如会堂、宾馆的降温等;其目的是为了保证产品质量,改善劳动条件,提高工作效率以及增强人们的身心健康。(3)试验用制冷装置。它是专门用来进行产品的性能试验及科学研究试验,以检查它们在低温条件下能否保证所规定的性能指标,能否正常工作。(4)工业生产用制冷装置,就是制冷机用于某些生产工艺过程。例如在食品工业中,用于乳制品、啤酒、冰淇淋等的生产过程;在化学工业中,用于合成氨、氮肥、苯胺等的生产及溶液的浓缩等;在石油及天然气工业中,用于石油脱蜡、油品精炼、石油气的液化及分离等;石油化学工业中,用于合成塑料,合成纤维,合成橡胶等的生产过程。工业生产用制冷装置是随服务对象的工艺过程而变,而且往往是将制冷机的蒸发器与生产设备合为一体,有时是使用生产过程中的原料或产品作为制冷工质并将制冷机的系统与生产工艺流程联系起来。(5)建筑及其他工程用制冷装置。如巨型混凝土坝浇制时,可用人工制冷的方法排除混凝土在凝固过程中析出的热量,以防坝体裂缝,并提高混凝土的强度。在流砂地带开掘矿井或隧道时,可用制冷方法将其四周的土壤冻结,形成坚实的围墙,以便在围墙内进行施工。此外还可用人工制冷来建造人工冰球场及人工溜冰场,以利于人民体育事业的开展。

在这一章中我们只介绍几种最常用的比较定型的制冷装置,这就是冷藏装置、试验用制冷装置、空调用制冷装置以及制冰用的制冷装置等。

#### § 16-2 冷 藏 装 置

冷藏装置就是在低温下贮藏物品的设备或建筑物。现代型冷藏装置按其容量大小、用途和特性,大体上可以分为冰箱、冷库及运输式冷藏装置三类。

##### 一、冰箱

冰箱是一种小型整体式冷藏装置,通常采用钢板和塑料混合组件结构,并将制冷机组与冷

藏设备组装成一个整体。冰箱按其用途可分为生活用冰箱、商店和厨房冰箱等多种。因它们的用途不同,结构和特性也各不相同。下面分别予以介绍。

### (一)生活用冰箱

生活用冰箱是冰箱中应用最广泛的一种,它箱体结构家具化、造形美观、使用方便。生活用冰箱可供家庭或食堂用来贮藏各种食品或饭菜,也可用来制作少量的冷食品。生活用冰箱的冷藏室容积,小型者为 50 升,大型者为 400 升;就其结构型式又有单门和双门双温结构。我国现在生产的冰箱普遍为 200 升单门冰箱。生活用冰箱按所用制冷机型式分为压缩式、氨水吸收扩散式及热电式。目前,国内外绝大部分冰箱是压缩式,吸收扩散式冰箱应用不多。至于热电式(即半导体)冰箱则更少,且目前都还不是为日常生活所用,故这里不介绍。

#### 1. 压缩式冰箱的结构

压缩式冰箱由箱形冷藏室、制冷机组及操作元件组成。冷藏室四周均包有绝热材料,现在多用聚氨酯泡沫塑料现场发泡浇灌,壁厚仅 30 毫米左右,这样既增加了有效容积,又提高了绝热层的密封性,减少了跑冷损失。制冷机的蒸发器通常是用复合铝板制成的板管式,装在冷藏室的上部(中央或一侧),且作成盒状,形成一个低温区,其内温度一般为  $-15^{\circ}\text{C} \sim -18^{\circ}\text{C}$ , 可用来贮存冻结食品或用来制冰。蒸发器上还带有小门,可利用其开闭来调节冷藏室内的温度。冷藏室的其他部分是靠空气的自然对流来冷却,其温度一般为  $0^{\circ}\text{C} \sim 8^{\circ}\text{C}$ , 称为高温区,可用来

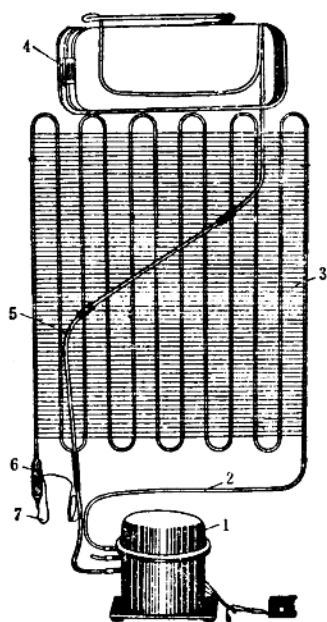


图 16-1 使用一个蒸发器的单门冰箱制冷系统

1—压缩机 2—排气管 3—冷凝器 4—蒸发器  
5—吸气管 6—干燥过滤器 7—毛细管

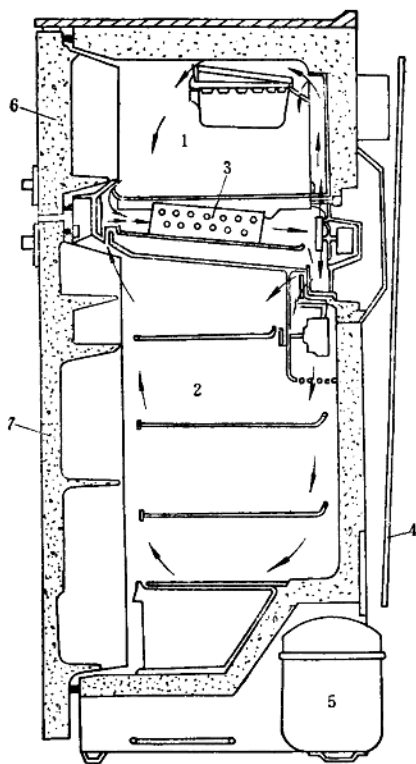


图 16-2 高低温室上下分的双室冰箱

1—低温室 2—高温室 3—蒸发器 4—冷凝器  
5—压缩机 6、7—冰箱门

存放冷食品。冰箱门由外皮、内衬板和绝热层构成,内衬板上作有可以放置酒瓶及蛋类的容器,有些容器还可以倾斜拉出。门框四周装设强力磁带,使门关闭紧密,冷气不易外漏。另外还可利用冷凝器散热管环绕箱门周边,形成“防潮发热线”,使箱体在潮湿季节不会凝露滴水。

图 16-1 示出单门冰箱的制冷系统。

单门冰箱冷藏室只是靠空气的自然对流来冷却,其温度难以控制。针对这一情况近年来出现了一种双门双温冰箱(或称双室冰箱)。这种冰箱内部分为高低温两室,因此又有上下双门结构和左右双门结构。两室可各有自己的蒸发器,靠自然对流来冷却;但大多数是共用一个蒸发器,用空气的强制对流来冷却,因而冷却快,温度可以通过循环空气的分配来调节。这种冰箱的蒸发器作成长方体形,多装在高低温室之间的通道上,或装在低温室内的后壁上,并罩以冷气分配的风道。图 16-2 示出上下双门双温冰箱的结构示意图,它的低温室温度可分别保持为  $-6^{\circ}\text{C}$ 、 $-12^{\circ}\text{C}$  或  $-18^{\circ}\text{C}$ ,高温室一般为  $0\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。用翅片管式蒸发器,水平地装在高低温室之间。箱内空气是在小型风机作用下强制循环,风机装在蒸发器的后端,它的电机是装在箱体的外面,电动机的发热量不会直接进入冰箱内。

图 16-3 为高低温室左右分的双温冰箱空气循环图。翅片管蒸发器垂直地装在冷藏室内的后壁上,并罩以通风道。风机 3 把冷空气送入分配箱 4,空气被分为两股,大部分空气继续上升,小部分沿通道 7 通过室间隔墙到贮肉容器。此容器嵌在隔墙上的塑料箱内,冷空气在容器与塑料箱间的间隙中循环,容器中的温度比高温室(冷藏室)低  $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。冷空气在冷藏室的

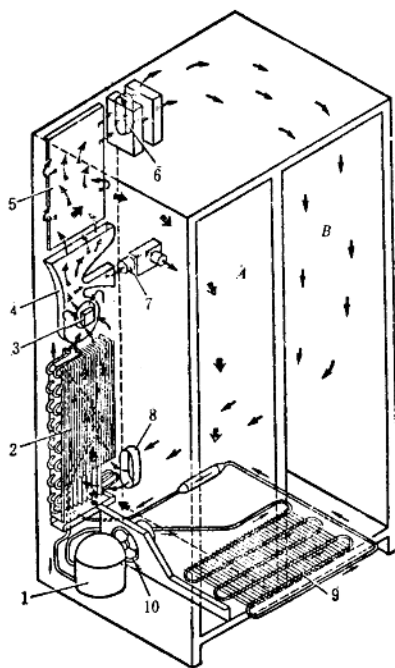


图 16-3 双温冰箱室内空气循环图

1—压缩机 2—蒸发器 3—离心风机 4—空气分配箱  
5—空气导板 6—排气通道 7—供气至贮肉容器的通道 8—吸气通道 9—冷凝器 10—冷凝器风机

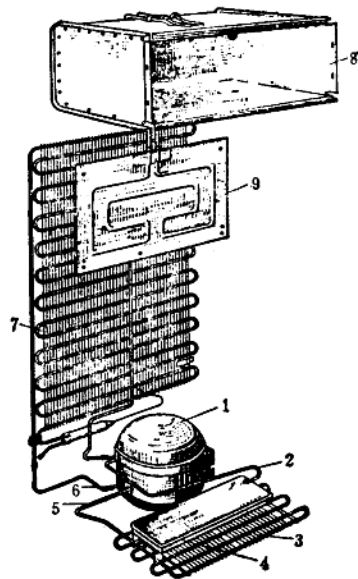


图 16-4 带油冷却器的双温冰箱的制冷系统

1—压缩机 2—排气管 3—油冷却器 4—泄水托盘  
5、6—油冷却器进出管 7—冷凝器 8—低温蒸发器 9—高温蒸发器

上部分又分为两股,大部分通过室壁与空气导板之间的缝隙流到低温室,而小部分沿通道 6 进入高温室。进入高温室的气量可用挡板调节。热空气经回气通道 8 返回蒸发器下端,这里翅片距离最大。蒸发器用金属板与低温室隔开,因此,从高温室来的湿空气不与低温室来的干空气相混合。低温室空气由蒸发器围护板中部缝隙吸入。

图 16-4 为具有两个蒸发器的双温冰箱制冷系统图。两个蒸发器串连在制冷系统中,制冷剂先进入低温室蒸发器,然后经高温室蒸发器后被压缩机吸入(反之亦可以)。这个系统还带有压缩机的油冷却器。

## 2. 冰箱制冷机组的主要设备

**压缩机** 生活用冰箱使用活塞式与旋转式全封闭压缩机,其标准冷量约 45~300 W。最广泛应用的是曲柄连杆或滑管式活塞式压缩机。

**蒸发器** 蒸发器按结构型式分为板管式与翅片管式。板管式蒸发器是用复合铝板吹胀成形,是将复合铝板放在模具中,用电加热至 440~500°C 时中间锌层开始熔化,此时通以 2350~2740 kPa 的氮气,待几秒钟后,再行抽空;当其冷却后锌层重新与铝板粘合,于是在板层间便形成一个管网。这种蒸发器大多做成方框形,当热流密度为 45~230 W/m<sup>2</sup> (约 40~200 kcal/m<sup>2</sup>·h) 时传热系数约为 3.5~7 W/m<sup>2</sup>·K (约 3~6 kcal/m<sup>2</sup>·h·°C)。

空气强制循环的蒸发器常作成蛇形翅片管式,管径 6~8 mm 的钢管或铝管上套以厚 0.2~0.3 mm 的铝片,片距沿蒸发器的高度或深度(这与安装位置有关)而变化。蒸发器的吸入侧片距最大(10 mm),因为这里与来自高温室的湿空气进行热交换,容易结霜。蒸发器的总外表面积一般为 2~3 m<sup>2</sup>。翅化系数 4。

**冷凝器** 冷凝器按结构分为板管式及管式两种。板管式是由板管压焊而成,管式冷凝器是由钢管绕成蛇形管,其上焊以钢丝或翅片而成。

钢丝式冷凝器是用外径 4.8~6.5 mm 的管子做的蛇形管,从两边垂直于管子点焊上直径 1.2~2.5 mm 的钢丝,起翅片作用,管距 40~60 mm,钢丝距离 6~9 mm,翅化系数 3~10。

翅片管冷凝器常用外径 6~10 mm 的钢管,用 0.2~0.8 mm 厚的钢带做翅片,管距 20~35 mm;片距 4~12 mm,翅化系数 7~20。管片之间用锡焊或铜焊,保证良好接触。这种冷凝器多用于较大容量的冰箱。冷凝器的翅片还可做成百叶窗式,它是将冷凝盘管夹紧或点焊在冲有百叶窗状的散热片上而成。

还有一种所谓皮型冷凝器,就是将冷凝器管子焊附在冰箱外皮内侧和绝热材料之间,利用箱皮散热来冷凝。这既保证了冷凝器有足够大的传热面积,又不增大冰箱的外形尺寸;冷凝器对外皮加热还可以防止结霜,但维修不便。

冷凝器按放热方式分为空气自然对流与强制对流两种。带钢丝的及百叶窗形冷凝器,常用于空气自然对流,其传热系数约为 9~12 W/m<sup>2</sup>·K。翅片冷凝器多用于空气强制对流。

冰箱的节流机构一般都用毛细管。它的内径为 0.6~2.5 mm,长度约 2~4.5 m。用毛细管简化了设备,增加了运转可靠性,但毛细管对供液量无法进行调节。因之系统中的氟利昂充灌量要适当,保证不会产生液击。毛细管通常是与吸气管并在一起(绕于吸气管外,或插入吸气管内),可起回热器的作用,并可保证毛细管的供液量。

一般冰箱都有温度控制器,控制压缩机的开停,以保持箱内温度大致恒定。此外,有些生活用冰箱中,还装有半自动或全自动的融霜温度控制器,它能自动的或半自动的使压缩机停转

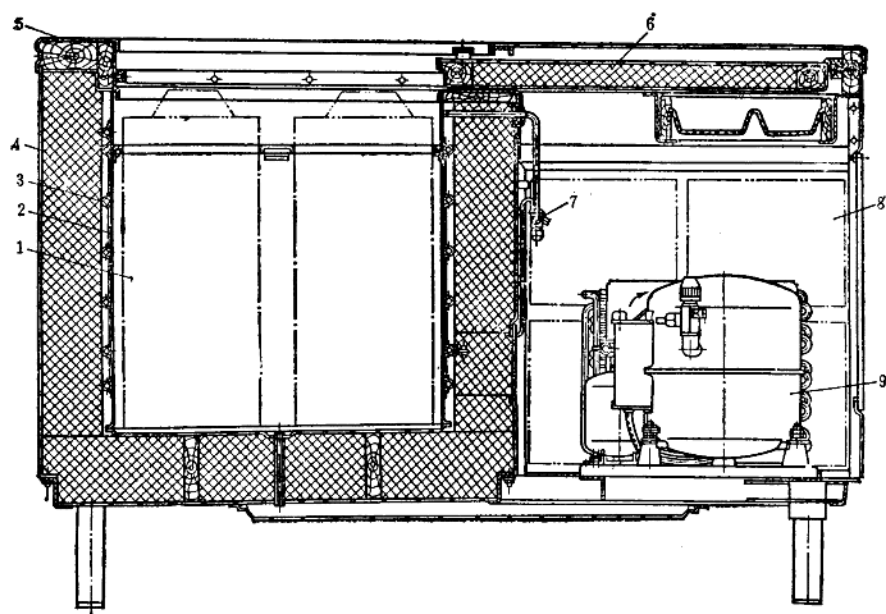


图 16-5 柜台式冰箱

1—冷藏室 2—冷藏室内胆 3—蒸发器 4—外皮 5—金属台 6—可动盖  
7—热力膨胀阀 8—机器间 9—制冷机组

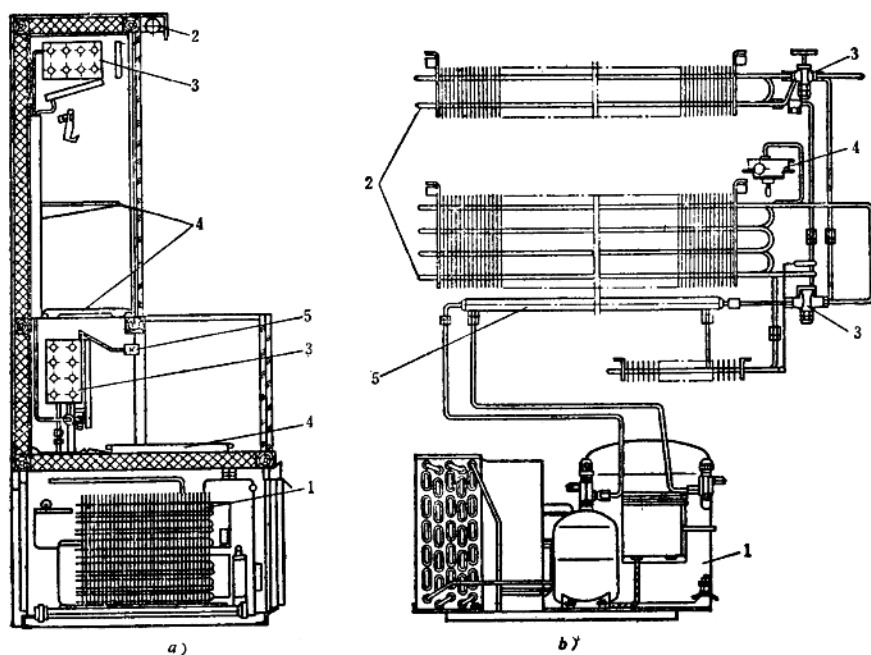


图 16-6 双层冷橱窗

a) 剖面图: 1—制冷机组 2—荧光灯 3—蒸发器 4—货品搁架 5—温度调节器  
b) 制冷系统: 1—制冷机组 2—蒸发器 3—热力膨胀阀 4—温度调节器 5—换热器

进行融霜,融霜后再使压缩机起动工作。

## (二)商店冰箱

商店冰箱用于食品商店及公共食堂,常见的有柜台式、橱窗式及橱窗柜台式。这类冰箱一般容量较大,故多使用小型开启式或大型全封闭氟利昂压缩机及强制通风的空冷冷凝器,箱内温度也能自动控制。

柜台式冰箱是用于商店销售冷食品。图 16-5 示出一种柜台式冰箱,它分为冷藏室及机器间两部分并组装在一个总机架上。冷藏室有薄铁皮组成的内外胆,中间填以 95 mm 厚的泡沫塑料绝热层,内胆外绕以蛇管蒸发器。冷藏室上面盖以可活动的盖子,为了取放冷食品在后壁或盖子上留有小门。冷藏室内温度由温度控制器自动控制。

橱窗式冰箱是用来陈列冷食品。它的围护结构必须有较大的透明部分,而且外形应比较美观。图 16-6a 示出一种双层冷橱窗的剖面图。它的冷却间除透明部分外全部围以绝热层。上层货品入口是可推开的小门,而下层是带有推移盖板的孔。两层分别装有各自的膨胀阀及蒸发器,用供液管和回汽管与机器间的全封闭式风冷冷凝机组连接。图 16-6b 就是这种橱窗

的制冷系统。为了防止压缩机电机过热,在压缩机外壳上装置热继电器,当外壳温度升至  $90 \pm 5^\circ\text{C}$  时,停止压缩机组;当机壳温度降至  $40^\circ\text{C}$  时,压缩机自动开启。设有半自动融霜设备,当蒸发器结霜较厚时,手动停止压缩机,而空气冷却器的风机继续运转,进行融霜,当蒸发器的温度升至  $4 \sim 7^\circ\text{C}$  时,压缩机自动运转。

## (三)厨房冰箱

厨房冰箱系用于饭馆及集体食堂,用来短期贮存少量的食品。根据需要箱内可以保持

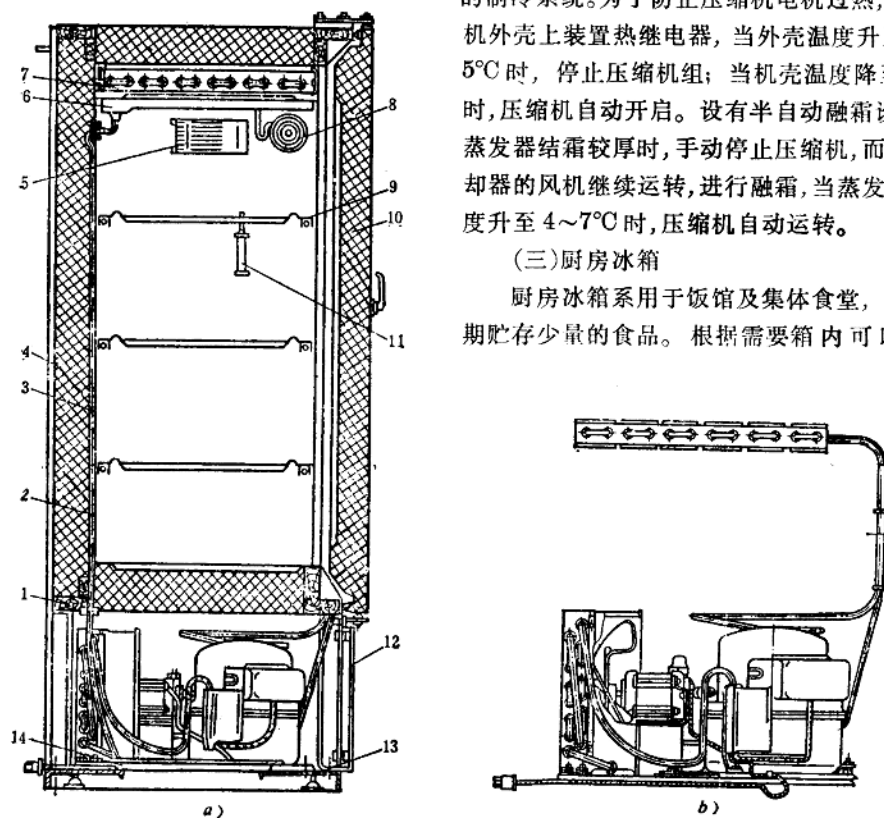


图 16-7 小型厨房冰箱

a) 纵剖面; b) 制冷系统

- 1—木骨架 2—内箱 3—泄水管 4—外箱 5—照明灯 6—泄水底盘 7—蒸发器 8—温度调节器  
9—货品搁架 10—门 11—温度计 12—机器间隔板 13—底架 14—凝结水收集盘

0°C 以上或 0°C 以下的低温。厨房冰箱一般都作成立式,其冷藏室的容积较大,而且用搁架分开,可设有一个或几个门,以便于食品的取放。厨房冰箱的耗冷量也较大,故一般使用开启式压缩机及空气强制对流的空冷冷凝器。图 16-7 为一种小型厨房冰箱。它的冷藏容积 0.4m<sup>3</sup>,正前设一单门,门之绝热层厚 80mm;箱壁绝热层厚 100mm。冰箱内安装翅片管蒸发器,沿高度设有三个食品搁架;还有一盏随门启闭而自动开关的电灯。机器间设在底部,正面用可拆卸的网板封闭,背面完全敞开,内装一台全封闭制冷机组(包括压缩机、冷凝器、贮液器及各种控制器等),用毛细管节流,其内径  $1.1 \pm 0.05$  mm,长 5.1m。用温度调节器自动控制。

#### (四)医用冰箱

医用冰箱是用来贮存少量的药品、疫苗、血浆等。一般的生活用冰箱都可用作医用冰箱。也有专门为医院设计的冰箱,可以贮存较多量的东西。上海冰箱厂生产的 XB-96 型血库冰箱就是为医院专用的。它应用 2F-4.8 型氟利昂压缩机(功率 1.1kW 冷量 1.162kW)及翅片管式空冷冷凝器,压缩冷凝机组装在冰箱下部。空气冷却器沿冷藏室背面安装,冷藏室内温度保持 2~8°C,用温度控制器来控制压缩机的开停。

## 二、冷库

冷库实际上是大型固定式贮藏食品的冰箱。冷库一般都是做成固定型建筑物的形式,其贮藏食品量可以由几吨到几万吨。冷库按其容量大小分为小型冷库与大型冷库。小型冷库冷藏量只几吨到几十吨,它主要用于机关、学校、工厂、食堂及肉食门市部短期贮藏冻品(也可能有少量鲜品),库温一般 0~-10°C。小型冷库全是用氟利昂制冷机,冷藏室内用氟利昂的直接蒸发来冷却,制冷机运转实现了全部自动化。

大型冷库是指容量为几百吨到几万吨的冷库。大型冷库按其性质可分为三种基本类型,这就是生产性冷库、分配性冷库及综合性冷库。生产性冷库是与肉类或鱼类联合加工厂或食品工业企业建在一起,作为该企业的一个组成部分,它主要是进行食品的冷加工。因此这类冷库冷却及冻结加工能力较大,且与该企业的生产能力相适应。分配性冷库系建在消费中心,它的主要任务是贮藏已经冻结的食品,因之它的冷藏容量较大。综合性冷库具有上述两类冷库的综合性,可以同时起上述两类冷库的作用。例如建在城市市区肉类联合加工厂中及港口鱼类联合加工厂中的冷库,通常多属此类。

大型冷库因冷藏品之种类及冷藏温度之差异,贮藏时间之不同,故分为许多库房。目前大型冷库中库房的种类及库温大致如下:

|       |             |
|-------|-------------|
| 冷却间   | 0~-2°C      |
| 冻结间   | -23°C~-30°C |
| 冷品冷藏间 | 0~-2°C      |
| 冻品冷藏间 | -18°C~-20°C |
| 冻品包装间 | -5°C        |
| 冰库    | -4°C        |

大型冷库一般都采用氨制冷机,近来也开始应用 R22 制冷机。通常都是采用直接蒸发冷却,适应库温的要求,氨的蒸发温度一般有三种:

|             |          |
|-------------|----------|
| -33°C~-40°C | 供冻结间     |
| -28°C~-30°C | 供冻品冷藏间   |
| -15°C       | 供其它库房及制冰 |

对于前两种蒸发温度要用两级压缩制冷机,而  $-15^{\circ}\text{C}$  则用单级压缩制冷机。

在冷却间及冻结间中只进行食品的冷加工,为了提高冷加工速度,一般都是采用冷风机来

冷却。冷品冷藏间一般也采用冷风机来冷却;而冻品冷藏间则多是用冷却排管来冷却,这样可减少贮藏物品的干缩损耗。但近年来已在冻品冷藏间中使用冷风机。

大型冷库除上述几种生产库房之外,还需要有一些辅助性的建筑物及设施,它们与冷藏室之间的具体配置示例于后。图 16-8 示出 500 吨冷库平面示意图。这个冷库按其布置分为两个独立的部分,可分贮不同的食品,以照顾民族习惯。该图中所谓的通用间,根据情况可用来存放冷却品(保持  $0^{\circ}\text{C}$ ),也可用来贮存冻结品(保持  $-15^{\circ}\text{C}$ ),因之它的冷却排管应与单级制冷机及两级制冷机的系统连接,可以机动使用。这种冷库容量不大,可以建在非铁路沿线,不设铁路站台。

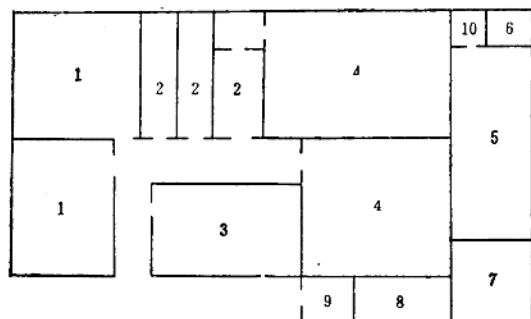


图 16-8 500 吨冷库平面示意图

- 1—通用间 ( $0/-15^{\circ}\text{C}$ ) 2—冻结间 ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) 3—冷却间 ( $0^{\circ}\text{C}$ ) 4—冷藏间 ( $-15^{\circ}\text{C}$ ) 5—机器间 6—配电间  
7—办公室 8—更衣室 9—保管室 10—机修室

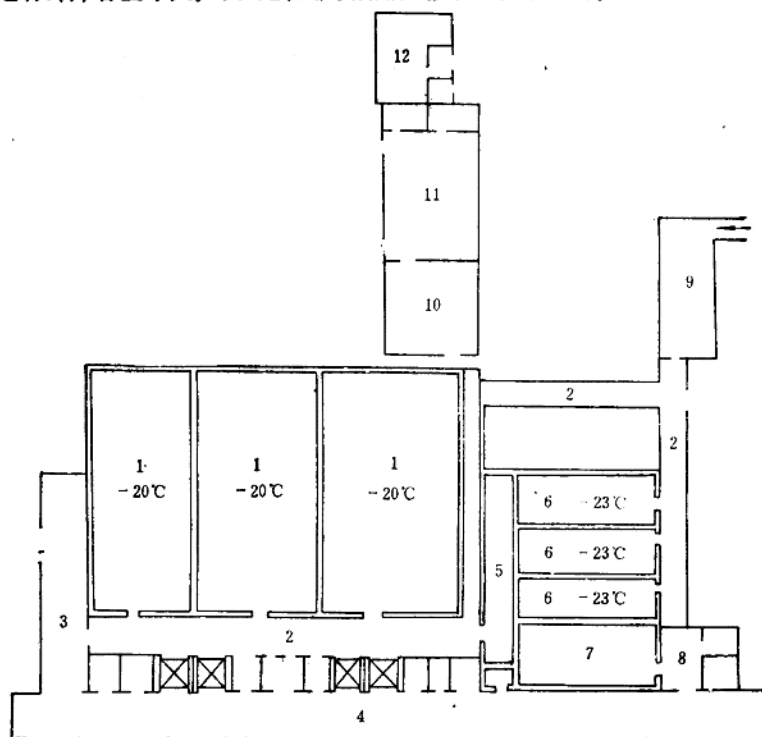


图 16-9 柳州冷库的平面布置图

- 1—冷藏间 2—常温川堂 3—公路站台 4—铁路站台 5—低温川堂 6—冻结间 7—冰库  
8—制冰间 9—晾肉间 10—设备间 11—机器间 12—配电间

图 16-9 示出柳州冷库的平面布置图,它的冻结能力为每日 60 吨,低温贮藏量 10700 吨,制冰能力为每日 15 吨,冰库容量 305 吨。这座冷库为多层建筑物,其设计特点是不用地下室,而且将冻结间及冰库从主体建筑中分离出来,设在另一个单层建筑物中。将冻结间与主体建筑分开是考虑到冻结间的温度波动较大,分开后不致影响主体部分的温度工况;且冻结间的绝热结构易受潮损坏,这样在进行维修时不会影响主体部分使用。主体部分为五层建筑物,全用作冻品冷藏间,库温为  $-20^{\circ}\text{C}$ ,机器间及配电间设在另一个辅助建筑物中,也与主体部分分开。此外,冻结间还留有一定的发展余地。

冷库建筑物的结构,是与其建筑形式及要求有关,同时也应因地制宜。冷库主体部分可采用钢筋混凝土骨架并用砖砌的围护结构;或者全部采用混凝土预制件装配结构,并采用机械化施工方法,以减少劳动强度和辅助材料消耗。库房层高与库房的种类有关,冷却间及冻结间的层高可以较小,只要能满足肉的悬挂、冷风机的布置及室内空气循环的要求即可。冻品冷藏间的层高一般不小于 5 米左右,它是取决于垛码机的操作高度。随着垛码机的改进和操作技术的提高,冷藏间的层高有不断增大的趋势,这样可以提高冷库建筑物的利用率。

### 三、运输式冷藏装置

运输式冷藏装置即是与交通工具相结合的冷藏装置,也就是可以移动的冷库,它是用来在低温条件下运输易腐食品。现在常用的运输式冷藏装置主要有三种,即铁路冷藏车,冷藏汽车和船舶冷藏装置。

(一)铁路冷藏车 铁路冷藏车一般也称保温车,它具有较大的运输能力,适用于长距离的冷藏运输。冷藏车的绝热车厢内,应设有堆放或吊挂食品的设备、通风设备、制冷设备及采暖设备。

铁路冷藏车辆应具有较好的保温性能,通常采用焊接的金属骨架,两侧铺以薄钢板或木板,中间填有绝热材料,厢壁厚度约为 200 mm,车顶为 200~250 mm,地板为 140 mm,平均传热系数  $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。铁路冷藏车按其冷却方式的不同可分为冰冷车(也称冰保车)及机冷车(也称机保车)两种。冰冷车是老式的冷藏车,它是利用冰的熔化来吸收车厢内空气的热量。为了使车厢内的温度能降到  $0^{\circ}\text{C}$  以下,通常是向冰中加入工业食盐。冰盐混合物融化温度及制冷能力是与加入的盐量有关,盐量增加冰盐混合物融点降低,但其制冷能力也减少,这可以从图 16-10 所示的食盐溶液冰点降低的规律来解释。由图可见,在  $0^{\circ}\text{C}$  时,水的蒸汽压力曲线 I 和冰的蒸汽压力曲线 III 相交,交点 A 的蒸汽压力为 0.61 kPa,这时的凝固热为 335 kJ/kg。当水中掺盐以后,在同一重量的溶液内水分子数量相对减少,而代以食盐分子,所以液相的蒸汽压力也就有相应的降低。这时要在  $0^{\circ}\text{C}$  以下的某一温度时溶液与冰的蒸汽压力才会相等。例如图上浓度为 30% 的溶液的蒸汽压力曲线 II 与曲线 III 的交点就不是 A 点,

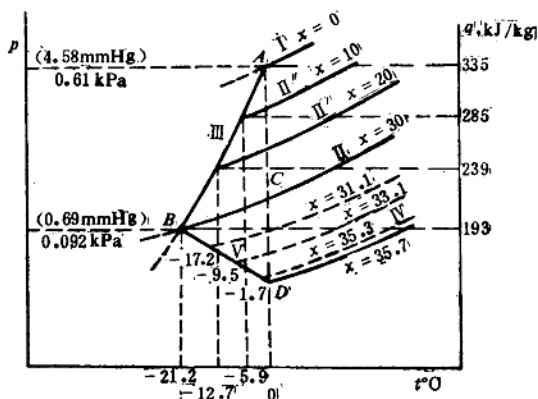


图 16-10 盐水溶液凝固点曲线图

I—水的蒸汽压曲线 II—溶液的蒸汽压曲线 III—冰的蒸汽压曲线 IV—过饱和溶液曲线 V—析出结晶盐曲线  
x—溶液中含盐百分数