

制冷技工培训教材

制冷与空调技术

[美]雷克斯 米勒

邬振耀 阙雄才 译

刘焕成 夏 皖

顾安忠 校



ZHI LENG YU

KONG TIAO JI SHU

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书既论述了制冷与空调的基本理论，又详细介绍了该技术领域最近使用的各种主机、辅助设备及附件的结构与使用技术，作者也联系生产实际详尽地叙述了制冷和空调设备的维修工艺。全书共15章：制冷原理、压缩机、冷凝器和冷却塔、蒸发器、节流设备、电冰箱、冻结箱、空调、检修、商用制冷系统、空气特性、舒适空调、商用空调、热泵等；书中还有许多精致的插图，可帮助读者加深对内容的理解。

本书可作大专院校、成人高校、技工学校及高级制冷技工培训班的教材，也可供制冷技工及工程技术人员参考。

制冷与空调技术

出版：上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

发行：新华书店上海发行所

印刷：崇明永南印刷厂

开本：787×1092(毫米) 1/32

印张：20.25

字数：506,000

版次：1990年1月 第1版

印次：1990年3月 第1次

印数：1—10,000

科目：212—315

ISBN7—313—00513—X/TB.6

定价：6.80元

译 者 的 话

制冷与空调是近几十年来迅速发展的一门工程技术。它在国民经济各部门及人民生活中得到广泛的应用。现代化的各种工业、农业、商业、医学、交通运输和科学研究等部门都离不开制冷技术。电冰箱、窗式空调器也已逐步深入家庭生活领域，它对减轻家务劳动、改善工作和生活条件起着重要作用。

近年来，我国的制冷与空调行业十分兴旺，制冷技术迅速发展。兴建了许多冷冻机厂和电冰箱厂，许多厂家生产的制冷机、电冰箱和空调器质量大有提高，不仅供应国内市场，而且出口国外。毫无疑问，随着科学技术的不断发展和人民生活水平的不断提高，制冷与空调行业的发展前景是乐观的。

美国雷克斯·米勒 (Rex Miller) 教授 1983 年所著的制冷与空调技术 (Refrigeration and Air Conditioning Technology) 一书，不仅通俗地叙述了制冷与空调方面的基础知识，而且非常详细地介绍了该领域常用的各种主辅设备、部件的维护保养和检修工艺技术，有的技术在国内尚属缺口。现在我们将它译成中文介绍给读者，目的是为了普及和提高我国制冷与空调方面的维修保养技术。米勒教授的原著篇幅较长，我们根据国情，对部分章节作了少量的删减。

本书第一、三、四、五章由邬振耀同志翻译；第二、七、九、十、十四章由阙雄才同志翻译；第六、八章由刘焕成同志翻译；第十一、十二、十三、十五章由夏婉同志翻译。全书译稿由顾安忠副教授审校。本书的翻译出版过程得到徐德胜、戴逸鸣同志的关怀和帮助，还得到了福建医学院廖崇先教授的热心帮助和大力支持，在此一并致谢。

由于时间仓促，又加上我们水平有限，译文错误之处在所难免，恳切希望读者批评指正。

译 者

于上海交通大学

1988 年 12 月

单 位 换 算

长 度

- 1 英尺 = 30.48 厘米
 1 英寸 = 2.54 厘米
 1 英里 = 5280 英尺 = 1609.34 米

面 积

- 1 英寸² = 6.45×10^{-4} 米²
 1 英尺² = 9.29×10^{-2} 米²

体 积

- 1 英尺³ = 2.83×10^{-2} 米³
 1 英寸³ = 1.64×10^{-5} 米³
 1 美加仑 = 4 夸脱 = 3.785×10^{-3} 米³

质 量

- 1 磅 = 7000 格令 = 453.6 克 = 0.454 千克
 1 盎司 = 28.35 克

能 量

- 1 英热单位 = 1 Btu = 0.252 千卡
 = 1054.85 焦耳

功 率

- 1 英尺·磅力/分 = 3.03×10^{-5} 马力
 1 马力 = 745.7 瓦
 1 英热单位/时 = 0.293 瓦
 1 美冷吨 = 3024 千卡/时 = 3517.4 瓦

压 力

- 101325 牛顿/米² = 1 大气压
 1 英寸水柱 = 249.08 帕
 1 英寸汞柱 = 3376.85 帕
 1 磅力/英寸² = 1 psi = 6894.76 帕

温 度

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

导 热 系 数

$$1 \frac{\text{英热单位}}{\text{小时} \cdot \text{英尺} \cdot ^{\circ}\text{F}} = 0.004134 \frac{\text{卡}}{\text{秒} \cdot \text{厘米} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$= 1.7307 \frac{\text{瓦}}{\text{米} \cdot \text{K}}$$

传 热 系 数

$$1 \frac{\text{英热单位}}{\text{小时} \cdot \text{英尺}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}} = 5.678 \frac{\text{瓦}}{\text{米}^2 \cdot \text{K}}$$

粘 滞 系 数

1 泊 = 100 厘泊

$$1 \frac{\text{磅}}{\text{秒} \cdot \text{英尺}} = 1490 \text{ 厘泊} = 1.49 \frac{\text{牛顿} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2}$$

$$1 \frac{\text{磅力} \cdot \text{秒}}{\text{英尺}^2} = 47800 \text{ 厘泊}$$

比 热

$$1 \frac{\text{英热单位}}{\text{磅} \cdot ^{\circ}\text{F}} = 4186.8 \text{ 焦耳/公斤} \cdot \text{K}$$

照 明 度

$$1 \text{ 英尺烛光} = 3.281 \text{ 米烛光} = 3.281 \text{ 流明/米}^2$$

$$= 3.281 \text{ 勒克司}$$

注：PPM——表示百万分之几的意思。按体积计，即在 1 米³空气中含有害气体的毫升数。

目 录

第一章 制冷与制冷剂	1
1.1 压力	1
1.2 温度与热量	2
1.3 制冷系统	4
1.4 制冷剂概述	5
1.5 常用制冷剂	6
1.6 氟里昂对制冷系统各种常用材料的作用	12
1.7 制冷剂参数	13
1.8 检漏	15
第二章 压缩机	17
2.1 制冷压缩机	17
2.2 全封闭压缩机	19
2.3 压缩机管接头和管路	30
2.4 回转式压缩机	34
第三章 冷凝器和冷却塔	37
3.1 冷凝器	37
3.2 冷水机组	40
3.3 冷却塔	43
3.4 蒸发式冷凝器	46
3.5 冷却塔的新发展	46
3.6 冷却水问题	46
第四章 蒸发器	53
4.1 空调用蒸发器	54
4.2 氨蒸发器的热气除霜控制	54
4.3 氨蒸发器热气除霜用的控制器和阀件	69
4.4 用于控制的背压调节阀	70
第五章 制冷剂流动控制	73
5.1 节流设备	73
5.2 液体指示器	74
5.3 热力膨胀阀	76
5.4 曲轴箱压力调节阀	80
5.5 蒸发压力调节阀	82
5.6 排气压力调节阀	84
5.7 排气旁通阀	89
5.8 液位控制阀	91

5.9	主液位控制	93
5.10	其他种类的阀	98
5.11	低压平衡筒	99
第六章	电冰箱	101
6.1	单门电冰箱的特点	102
6.2	循环除霜的冷冻-冷藏冰箱	104
6.3	无霜顶置式冷冻-冷藏冰箱	106
6.4	无霜并排式冷冻-冷藏冰箱	109
6.5	制冰器	110
6.6	故障的检查与排除	117
6.7	除霜系统分析	119
6.8	快速的电测诊断 (RED)	125
6.9	节能器开关	126
6.10	冷凝器风扇电动机	126
6.11	运转电容器	126
6.12	压缩机的型号	128
6.13	冷冻冷藏冰箱的使用和维修	128
6.14	检查及排除电冰箱电气元件的故障	130
6.15	电冰箱调试时各部件的鉴别	133
6.16	灯开关	137
6.17	管式加热器	137
6.18	防露管和干燥器线圈	139
6.19	冷冻室隔板横梁	139
6.20	除霜定时器	141
6.21	除霜加热器	142
6.22	风扇和电动机组合件	145
6.23	空气循环	146
6.24	调风门	147
6.25	排水槽加热器	147
6.26	灯泡插座	147
第七章	冻结箱	149
7.1	冻结箱的型式	149
7.2	冻结箱的装配	151
7.3	冻结箱组件	151
7.4	便携式冻结箱	158
第八章	用于空调和制冷的器具	161
8.1	过热测量仪器	161
8.2	卤素检漏仪	164
8.3	其他仪器	167

8.4	修理工具	168
8.5	特种工具	170
8.6	注油	171
8.7	换油	172
8.8	活动注油站	172
8.9	缩管	172
8.10	冷挤铜管	173
8.11	制冷剂管道成型法	173
8.12	压缩组装铜管	174
8.13	清洁剂和去污溶剂	174
第九章	检修	176
9.1	安全性	176
9.2	压缩机故障的检查与排除	179
9.3	冷柜组件的故障检查与排除	179
9.4	压缩机电动机烧毁	182
9.5	烧毁后的系统清洁处理	182
9.6	更换过滤干燥器	183
9.7	更换冷凝器	184
9.8	更换热交换器	184
9.9	更换蒸发器-热交换器组合件	185
9.10	添加制冷剂	185
9.11	低压侧泄漏或轻微的充液不足	185
9.12	高压侧泄漏或轻微充液不足	186
9.13	制冷剂的过量充注	186
9.14	制冷剂检漏试验	186
9.15	检修分析	187
9.16	起动和运行电容器	192
9.17	永久对分式电容器(PSC)压缩机电动机	193
第十章	商用制冷系统	195
10.1	制冷循环	195
10.2	风冷式制冷设备	196
10.3	制冷机组	198
10.4	成套的小型冷却间	200
10.5	角置型成套机组	201
10.6	组合式小型冷藏库	203
10.7	商用制冷机组	208
10.8	开式果品陈列柜	212
10.9	冰淇淋陈列柜	213
10.10	室外装置	225

10.11	热量回收和空气调节	226
10.12	热量回收	228
第十一章	空气温度和空气流动	231
11.1	空气的性质	231
11.2	焓湿图	233
11.3	对流、传导和辐射	236
11.4	舒适条件	237
11.5	周边系统的设计	239
11.6	散流器和通风格栅的选择	242
11.7	回风栅	246
11.8	调风器和通风格栅的型式	246
11.9	防火、防烟阀门	247
11.10	用于天花板的通风格栅和调风器	247
11.11	天花板散流器	248
11.12	条形通风格栅	250
第十二章	舒适空调	252
12.1	窗式机组	252
12.2	用于住宅的附加蒸发器	255
12.3	遥控系统	260
12.4	单组式屋顶机组	261
12.5	制冷剂管系尺寸	265
12.6	移动式家用机组	269
第十三章	商用空调系统	272
13.1	膨胀阀空调系统	272
13.2	组合式冷却机组	273
13.3	直接分区系统	275
13.4	蒸发式冷却系统	276
13.5	吸收式空调系统	278
13.6	冷冻水空调系统	280
13.7	冷水机组	283
13.8	柜式空调系统	285
第十四章	热泵、燃气空调器和太阳能空调器	288
14.1	空气调节	288
14.2	燃气冷水机组	289
14.3	“冷-热”水机组	292
14.4	吸收式制冷机	294
14.5	太阳能空调器	295
14.6	热泵	300
第十五章	负荷估算和隔热	305

15.1	制冷和空调负荷.....	305
15.2	运行时间.....	305
15.3	冷负荷计算.....	306
15.4	计算渗入热量.....	306
15.5	计算物品冷却负荷.....	307
15.6	风幕.....	309
15.7	隔热.....	309

第一章 制冷与制冷剂

制冷就是从被冷却对象中不断地排除热量的过程。从食品中排除热量可使其保质保鲜，从房间空气中排除热量可使人感到舒适。许多工业领域都需要从给定的空间和设备中排除热量，以达到所希望的效果。

制冷机中，制冷剂液体在完成热量的转移过程中是很重要的。事实上，商用制冷剂是一些蒸发(或沸腾)温度较低的液体工质。制冷剂在蒸发(或沸腾)时要吸收热量。酒精涂在手背上会产生冷却效果就是这个缘故。

1.1 压 力

压力是作用在单位面积上的力。用公式表示，即：

$$P = \frac{F}{A}$$

式中 F ——力；
 A ——面积；
 P ——压力。

压力的计量单位，在英制系统中是磅/呎²，或者磅/吋² (psi)，在公制系统中是千帕 (kPa)。

帕斯卡定律表明，当封闭容器完全充满液体时，传递到容器四壁的压力等于液体的压力。

在注满气体的容器里，所有内表面积上的压力都同气体压力相等。

1.1.1 大气压力

地球周围空气层有几英里厚。空气层的重量对各个方向施加的压力称为大气压力。海平面上大气压力为 14.7psi。换算到公制系统，其值等于 1.013×10^5 Pa。用来测量大气压力的仪表称为气压表。常用的有真空气压表和水银气压表两种。真空气压表带有一个部分真空的密闭腔。当气压增加时，腔被压缩——引起指针移动。当气压降低时，密闭腔膨胀——使指针向另一方向移动。刻度标尺指示出正确的压力值。

水银气压表有一根长约 34 吋的玻璃管。管内注有水银，柱高反映大气压力值。海平面标准大气压时，水银柱约有 29.92 吋(即 759.96mm)高度。

1.1.2 表压力

表压力表示所测的压力与大气压力之差值。绝大多数压力表指示的压力值属于表压。真空压力表是既可测量压力又可测量真空度的仪表。真空度是指低于大气压力的那部分压力差值。开始测量前，压力表指示零值。它并不表示大气压力。

1.1.3 绝对压力

绝对压力等于表压力与大气压力之和。缩写符号是 psia。汽车轮胎内的压力是一个例子。一般它为 28psi，即等于 42.7psia。

$$\text{表压} = 28\text{psi}$$

$$\text{大气压力} = 14.7\text{psi}$$

$$\text{绝对压力} = 42.7\text{psia}$$

表压磅/吋²缩写成 psig。绝对压力磅/吋²缩写成 psia。求绝对压力可用表压加 14.7psi。但是大气压力是随着海拔高度而变化的。

若要将英制压力单位换算成国际单位 kPa，要乘以 6.9。

1.1.4 压缩比

压缩比等于排气绝对压力除以吸气绝对压力，即

$$\text{压缩比} = \frac{\text{排气绝对压力}}{\text{吸气绝对压力}}$$

压缩比过高，会使制冷系统运行过热。这种系统的排出温度有时要比正常的系统大 150°F (65.6°C)。制冷剂每温升 18°F (7.8°C)，其化学反应速率约增加一倍。因而，过高排出温度的工作系统会比正常系统产生更多的麻烦。工业制冷系统的压缩比以 10:1 为限。

有趣的是，如果排出压力都是 175psia，制冷剂 R12 和 R22 的蒸发盘管都工作在 -35°F (-37°C)。其计算结果，R22 系统的压缩比是 10.9:1，而 R12 系统的压缩比是 17.4:1。R22 系统处于边界状态，而 R12 系统则超出安全范围。过热运行会伴有许多问题。

图 1-1 温度压力表是一种温度与压力呈饱和函数关系的仪表。它可直接读出与温度对应的 R22 或 R12 制冷剂饱和压力值。其外侧刻度读数指示华氏温标(°F)。

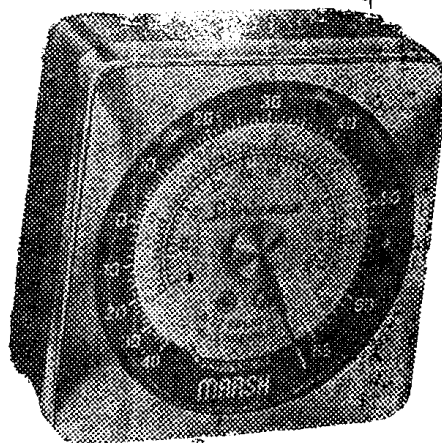


图 1-1 温度压力表

1.2 温度与热量

温度是冷热的度量标志。每种物质都有温度。温度愈高，分子运动愈快。反之，温度愈低，分子运动愈慢。理论上，分子运动停止时的温度是物质的最低温度，称为绝对零度。它近似等于 -460°F [-273°C]。

物体的含热量直接同分子运动有关，即直接同温度有关。通常，增加热量会使温度上升，排除热量会使温度下降。

热量概念经常会同温度概念混淆。温度是热强度的度量，它不是热量的直接度量。热量

大小不完全取决于温度，它还同物体的种类和质量有关。例如，一杯 200°F [93.3°C] 的咖啡含有的热量比一加仑 200°F [93.3°C] 咖啡的含热量小，也比一加仑 180°F [82.2°C] 咖啡所含有的热量少。

1.2.1 比热

比热表示当施加给某物质一定热量时，其温度变化的度量。每种物质都有各自的比热值。

1Btu(英热单位)等于 1 磅水在 39°F 时温升 1°F 所需要的热量。除了少数几种物质，如氨和氦气以外，所有其他物质的比热都小于水。因而，水就能成为比热的标尺，其值等于 1.0。铝的比热是 0.2，说明 1 磅铝温度升高 1°F 只需要 0.2Btu 热量。换句话说，1Btu 热量可使 5 磅铝温升 1°F，或者使 1 磅铝温升 5°F。

1.2.2 含热量

理论上，每种物质含热量等于该物质从绝对零度升高到该温度时所需要的热量。含热量由显热和潜热组成。显热可引起物质的温度变化，能被感觉。潜热不能被感觉，但能见到从固态变到液态或者从液态变到气态的状态变化。

1. 显热

物质没有状态变化，只有温度变化时所增加或除去的热量称为显热。其效应可用温度计以物质的温差(ΔT)来测量。

如果工质的质量和比热都已知，则温差乘以质量和比热，可用来计算增加或排除的热量。所以，一加仑(8.34 磅)水从 140°F 升高到 160°F 所需要的热量是：

$$\begin{aligned} \text{显热} &= \text{温差} \times \text{质量} \times \text{比热} \\ &= (160 - 140) \times 8.34 \times 1 = 166.8 \quad (\text{Btu}). \end{aligned}$$

2. 潜热

物质只进行状态变化，而没有温度变化时所需要的热量称为潜热，即隐热。不同的物质在其特定的温度和压力的条件下都可变成气态、液态或固态。由固态转变到液态，或者由液态转变到气态，需要吸收热量。例如，1 磅 32°F 的冰变化到 1 磅 32°F 的水需要 144Btu 潜热。1 磅水从 32°F 升高到 212°F，温升 180°F 需要 180Btu 显热。1 磅 212°F 水变化水蒸气需要 970Btu 的潜热。逆变化时，要从物质中除去相等的热量。水的这种吸热或放热能力，以及热交换，是大多数采暖和空调工程的基础。多数产业部门不仅涉及到中心站集中加热或排热，还涉及到工作介质的分配，和通过换热设备去加热和冷却其他介质。

1.2.3 热源

房间内的热量来源基本上来自四个方面：电热设备、太阳、室外空气温度和居住者。

照明、厨房加热器、烤炉、烙铁等电热设备，工作时每千瓦小时可产生 3413Btu 热量。

太阳是一种热源。晴天中午，每小时垂直于太阳光线的每平方米表面的直接辐射热是 300Btu。

当室外温度超过室内温度时，室外环境也是一种热源。传热量取决于房间大小，窗户数量和其他因素。

由于人体的温度总是高于房间的温度，所以房间居住者也是一种热源。当房间温度为 74°F [23.3°C] 时，每个坐着休息的人每小时将散发 400Btu 热量。如果人在工作，其散热量将根据活动量大小增加 1~2 倍。人体散发的热量，一部分是显热，由对流和辐射方式散发；其余部分是潜热，由显汗或隐汗蒸发方式散发。显热可使房间温度上升，潜热可使房间湿度增加。

1.3 制冷系统

最早，冰是一种冷源。把冰贮存在冰箱里，这种冰箱外表结构类似于现在的电冰箱，隔热很好，箱内有搁板，可放置易腐品。送冰人约每星期来一次，冰箱内可存放 50~100 磅新的冰块。50 磅冰块将会产生多大的冷效应呢？1 磅冰块的熔解热是 144Btu，熔解 50 磅冰块需要 7200Btu 潜热。100 磅冰块的熔解潜热是 14400Btu。

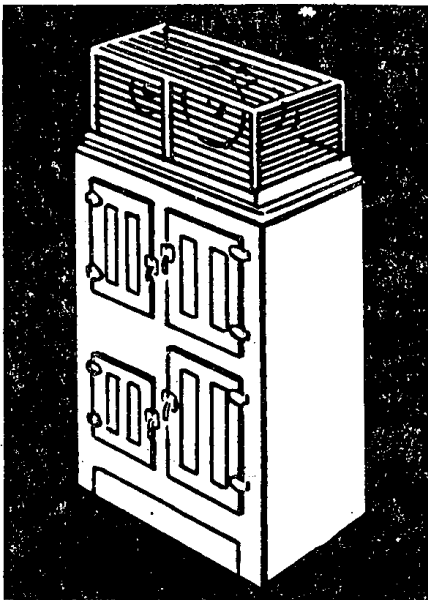


图 1-2 较早带有制冷装置的电冰箱

电冰箱直到二十世纪二十年代才问世。图 1-2 是当时最早的电冰箱之一。顶部设备表示制冷装置，它代替冰块的作用。

1.3.1 基本制冷循环

物质含热量变化时，可能会发生状态变化。水的固态是冰，气态是水蒸气。由固态变到液态，或者由液态变到气态，需要加热。物质汽化或沸腾需要加热。其液化时要排出热量。热量大小取决于物质种类及其压力变化。

例如，用火焰加热一盆正在沸腾的水，水的沸腾温度在海平面是 212°F [100°C]。增加火焰温度只能使热量传递速度加快，沸腾得更激烈，但不会提高水的温度。

压力变化会影响物质的沸点。在海平面以上，海拔高度增加时，因大气压力下降，沸腾

温度也降低。例如，在海拔 1000 呎时，水的沸点是 193°F [89.4°C]。压力为 100psia 时，水的沸点是 338°F [170°C]。

压力与制冷的关系可通过下面例子加以说明。如图 1-3 所示，钢瓶内盛有压力为 100psia 的液态物质。液体经过软管和喷嘴从钢瓶进入很长的盘管，然后直通大气，从而在大气压力下汽化。

当液体进入喷嘴后，压力降至大气压，汽化温度（或沸点）也随之下降。当其低于液体自身温度时，产生沸腾汽化。部分液体吸热变成气体，剩余的没有汽化的液体因失去热量而被冷却。低温液体可继续从金属盘管中吸热。而盘管则从周围空间里吸取

热量——冷却周围空气。只要钢瓶中存在保持压力的制冷工质，就会连续产生上述过程的冷

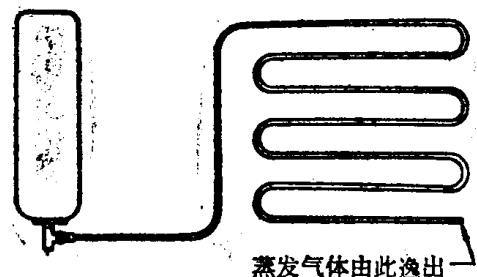


图 1-3 基本的制冷方法

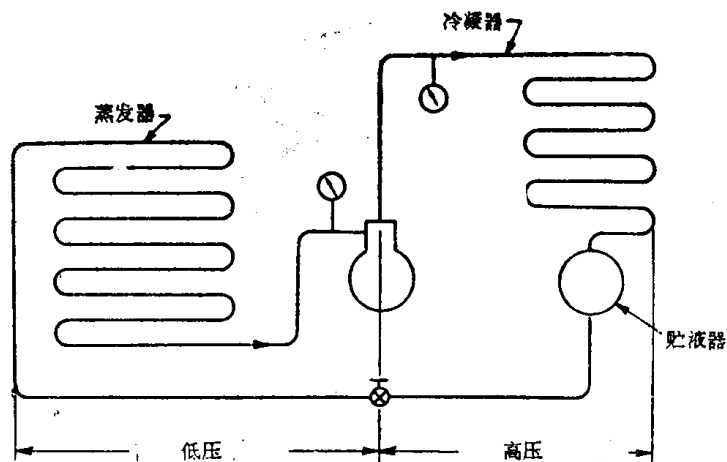


图 1-4 制冷系统的高压侧和低压侧

效应。

制冷系统的其他部件仅仅是为了回收产生了冷效应的制冷工质。这些部件中按照系统顺序是：压缩机，冷凝器，贮液器，膨胀阀，蒸发器。图 1-4 是一种典型的制冷循环系统。贮液器中的制冷剂处于高压液体状态。当其经过膨胀阀时，压力降低而同时开始汽化。当制冷剂流入蒸发器后，开始进行完全汽化。汽化要吸热，而热量只能来自蒸发器盘管。盘管由于失去热量而被冷却。此时制冷剂属于低压蒸气。蒸发器部分称为低压侧或吸气侧。盘管愈热，汽化进行愈快，吸气压力也愈高。

压缩机吸入低压蒸气，同时将其压力提高到足以使制冷剂进行冷凝的程度。它是高压侧的起点。为了使制冷剂回复冷凝到液体状态，它在蒸发器中所吸收的热量必须由冷凝器排出，这是冷凝器的功能。冷凝器有风冷和水冷两种。由于冷凝器中的冷却空气(或冷却水)温度比制冷剂低，因而可以吸收制冷剂热量，使其冷凝为液体，被冷凝的液体然后流入贮液器。有些系统的贮液器可以是冷凝器的一部分。

1.3.2 制冷能力

制冷机是以冷吨来标定的。其值表示在给定时间内制冷机产生冷量的大小和能力。1 冷吨等于 24 小时内熔解 1 吨冰所产生的冷量。由于熔解 1 吨冰需要 288000Btu 热量，所以 1 冷吨的制冷机，表示每 24 小时内它将吸收 288000Btu 热量。

1.4 制冷剂概述

制冷剂是制冷系统中必需的工作流体。它是一种在低温低压下由液体汽化为气体时能吸收潜热，而在高温高压下由气体冷凝为液体时要排出潜热的物质。因而，制冷剂就是能从一个地方吸收热量，而在另一个地方排出热量，以达到制冷效应的工质。

从理论上来说，在机械设备内能够交替进行液化和汽化的物质，都可用于作制冷剂。

较好的商用制冷剂应具有下列性质：(1) 沸点要低；(2) 安全而无毒性；(3) 在适中的温度和压力条件下容易液化；(4) 潜热要大；(5) 在正压状态下工作；(6) 不受潮气的影响；(7) 与润滑油混合性好；(8) 对金属没有腐蚀。

制冷剂的其他特性还有：分子量、密度、压缩比、焓和压缩温度。这些参数随制冷剂的不同而不同。压缩机的型式和排量也会影响制冷剂的选用。

制冷剂按照被冷却介质之间的吸热和排热关系来分，一般分为三类。

第一类制冷剂用于常规压缩式制冷系统。第二类制冷剂用作第一类制冷剂与被冷却物质之间的中间冷媒。第三类制冷剂常用于吸收式制冷系统。

1. 第一类制冷剂 这类制冷剂在制冷过程中是用潜热形式直接吸收或排出热量。表1-A是该类制冷剂的性质一览表。

2. 第二类制冷剂 这类制冷剂是用其显热形式来吸收或排出热量。它们是空气、水、氯化钙溶液、氯化钠溶液(盐水)、酒精和类似的不冻性溶液。

3. 第三类制冷剂 这组制冷剂是由溶液组成。溶液中含有被吸收的易液化的制冷介质。该溶液具有运载液化冷剂的能力，冷剂在汽化吸热时产生冷效应。氨水就是一个例子，它是由蒸馏水和氨液组成溶液。

1.5 常用制冷剂

1.5.1 二氧化硫(SO₂)

二氧化硫(SO₂)是一种无色的气体或液体。有毒性，且带有强烈刺激性气味。硫放在空气中燃烧可产生SO₂，SO₂同水组合可变成硫酸或亚硫酸。它们对金属腐蚀性很强，对大多数设备有害。SO₂不是安全性制冷剂，大量使用是不安全的。它在真空条件下运行时，虽然可得到所需要的温度，但空气中的潮气也会从泄漏处渗入系统。这就意味着，这种系统的金属部件终究要被腐蚀，从而容易引起压缩机咬死现象。

在标准大气压条件下，SO₂在14°F[-10℃]沸腾，汽化潜热是172.3Btu/磅，SO₂同油不相溶，吸入管路必须略向压缩机倾斜。否则，油容易在管内截留，使吸气通路变小。这种制冷剂在某些场合是不适用的。

1.5.2 氯甲烷(CH₃Cl)

氯甲烷(CH₃Cl)在常压条件下，沸点是-10.6°F[-23.3℃]，在沸点时汽化热是177.8Btu/磅。它是一种较好的制冷剂。但是，它在某种条件下会燃烧，所以有些城市规定不允许使用它。它容易液化，且有较大的潜热值。干燥的氯甲烷气体不会腐蚀金属。但是有潮气存在时，会损害压缩机。当过量水汽与其化合时会形成黑色粘渣。氯甲烷能同油互溶。它在-10°F[-23℃]时仍能在正压下运行。各种气体对人体产生不舒适的数量比例如下：

二氧化碳	100
氯甲烷	70
氨	2

由此可见,氯甲烷的安全性是氨的 35 倍,是二氧化硫的 70 倍。氯甲烷对视觉和嗅觉没有刺激作用,因而要辨别它是困难的。所以,有些制造厂总是附加 1% 的丙烯醛作为警告剂。丙烯醛(C_3H_4O)是一种带有刺激性气味的无色液体。分解蒸馏油脂可产生丙烯醛。

1.5.3 氨

氨是大型工业制冷装置中最常用的制冷剂。冷库的结冻器也常用氨作制冷剂。它有强烈的刺激性气味,一点点小泄漏都能使鼻子感觉到。它在常压下的沸点是 $-28^{\circ}F$ [$-33^{\circ}C$]。其潜热较大,用小制冷机能获得较大的制冷量。制冷机组可用钢配件。制冷剂的冷却常用水冷却方式。制冷管系处于高压 ($125\sim 200\text{psi}$),需要较笨重的钢制设备和配件。制冷机组任意一侧发生泄漏,很快就会产生烟雾。当氨同一定数量的空气混合时(约氨:氢气 = 1:2)容易燃烧,同氧混合更易燃烧。氨有剧毒,为了减少其毒性的危害,必须通风。

1.5.4 二氧化碳(CO_2)

二氧化碳(CO_2)在常温时是无色气体,但有一点点气味和酸味。 CO_2 是不燃性气体,在常压条件下,沸点 $5^{\circ}F$ 。蒸发压力需维持在 300psi 以上,冷凝温度为 $80^{\circ}F$ [$26.6^{\circ}C$]时,对应的压力约 1000psi 。 CO_2 气体的临界温度是 $87.8^{\circ}F$ ($31^{\circ}C$)。除了高浓度外,一般它对人体无害。

二氧化碳在船舶制冷装置中曾经有过使用。但是,由于需要高压,而且制冷效率较低,所以不宜用于家用制冷设备。

1.5.5 氯化钙($CaCl_2$)

氯化钙($CaCl_2$)溶液只用于商业制冷装置。它作为载冷剂。

盐水系统常用于有漏泄危险的大型制冷装置以及被冷空间温度常需变化的场合。制冷剂直接蒸发先冷却盐水,然后盐水再由泵输送到需冷却的空间或设备,以吸取显热。

多数制冷装置都是用低温盐水工作的。它允许使用较少的盐水,较小的管路和水泵。壳管式蒸发器一般希望使用氯化钙盐水溶液。因为氯化钠盐水溶液的最低冷冻温度 $-6^{\circ}F$ [$-20.9^{\circ}C$],如果蒸发压力再降低,氯化钠可能会凝结析出,从而使蒸发器产生故障。

1.5.6 氯乙烯(C_2H_5Cl)

氯乙烯(C_2H_5Cl)一般不用于家用制冷设备。它在许多方面类似氯甲烷,常压下沸点 $55.6^{\circ}F$ [$13.1^{\circ}C$],临界温度是 $360.5^{\circ}F$ [$182.5^{\circ}C$],临界压力是 784psia ,无色,但有刺激性芳香味。它对所有金属都呈中性,即制冷机组可使用铁、铜,甚至锡和铅质的构件设备。但它可使所有橡胶性材料或填料软化,因此,最好用铅作密封填料。

1.5.7 氟里昂制冷剂

家用制冷、工业空调和专用的低温设备都可使用相应的氟里昂制冷剂。一些氟里昂制品的综合特性如表 1-A 所示。图 1-5 是表示对应于不同温度的氟里昂制冷剂的饱和压力。

表1-A 氟 里 昂 产 品

项 目	称	R11	R12	R13	R13B1	R14	R21	R22
化 学 分 子 式		CCl ₃ F	CCl ₂ F ₂	CClF ₃	CBrF ₃	CF ₄	CHCl ₂ F	CHClF ₂
分 子 量		137.37	120.92	104.46	148.92	88.00	102.93	86.47
沸点(在标准大气压)	°C	23.82	-29.79	-81.4	-57.75	-127.96	8.92	-40.75
冰点	°C	-111	-158	-181	-168	-184	-135	-160
临界温度	°C	198.0	112.0	28.9	67.0	-45.67	173.5	96.0
临界压力	atm	43.5	40.6	38.2	39.1	36.96	51.0	49.12
临界比容	cm ³ /mol	247	217	181	200	141	197	165
临界密度	g/cm ³	0.554	0.588	0.578	0.745	0.626	0.522	0.525
液体密度(在25°C)	g/cm ³	1.476	1.311	1.298 (在-30°C)	1.538	1.317 (在-80°C)	1.366	1.194
在沸点时饱和蒸气密度	g/dm ³	5.86	6.33	7.01	8.71	7.62	4.57	4.72
液体比热(在25°C)	kcal/kg·°C	0.208	0.232	0.247 (在-30°C)	0.208	0.294 (在-80°C)	0.256	0.300
气体比热(在25°C, 1atm)	kcal/kg·°C	0.142 (在38°C)	0.145	0.158	0.112	0.169	0.140	0.157
比热系数(在25°C, 1atm)	C _p /C _v	1.137 (在38°C)	1.137	1.145	1.144	1.159	1.175	1.184
化潜热(在沸点时)	kcal/kg	43.10	39.47	35.47	28.38	32.49	57.86	55.81
导热系数 (在25°C) Btu/hr·ft·°F	液体	0.0506	0.0405	0.0378 (在-30°C)	0.0234	0.0361 (在-80°C)	0.0592	0.0507
	气体 (1atm)	0.00451	0.00557	0.00501 (在-30°C)	0.00534	0.00463 (在-80°C)	0.00506	0.00609
粘 度(在25°C) 厘 泊	液体	0.415	0.214	0.170 (在-30°C)	0.157	0.23 (在-80°C)	0.313	0.198
	气体 (1atm)	0.0107	0.0123	0.0119 (在-30°C)	0.0154	0.0116 (在-80°C)	0.0114	0.0127
表面张力(在25°C)	达因/cm	18	9	14 (在-73°C)	4	4 (在-73°C)	18	8
液体的折射率(在25°C)		1.374	1.287	1.199 (在-73°C)	1.238	1.151 (在-73°C)	1.354	1.256
相对绝缘强度 (在25°C, 1atm N ₂ =1)		3.71	2.46	1.65	1.83	1.06	1.85	1.27
介电常数	液体	2.28 (在29°C)	2.13 (在29°C)				5.34 (在28°C)	6.11 (在24°C)
	气体 (1atm)	1.0036 (在24°C)	1.0032 (在29°C)	1.0024 (在29°C)		1.0012 (在24.5°C)	1.0070 (在30°C)	1.0071 (在25.4°C)
氟里昂在水中饱和度 (在25°C, 1atm) (重量百分数)		0.11	0.028	0.009	0.03	0.0015	0.95	0.30
水在氟里昂中饱和度 (25°C, 1atm) (重量百分数)		0.011	0.009		0.0095 (在21°C)		0.13	0.13

a. CCl₂F₂/CH₃CHF₂(73.8/26.2%重量百分比) *b. CHClF₂/CClF₂CF₃(48.8/51.2%重量百分比)
c. CHF₃/CClF₃(40/60%重量百分比)