

苏庆瑞 李华春 编著

# 制冷与空调

辽宁科学技术出版社

# 制冷与空调

辽宁科学技术出版社

1984年·沈阳

## 内 容 简 介

本书除叙述制冷原理及各种类型的容积式制冷压缩机、热交换设备和附属装置的工作原理外，还介绍了他们的结构、使用、操作、维修及部分设备的计算和选型。本书收集了大量的计算曲线和图表，可供读者直接使用查阅。

本书主要是使用和操作各种制冷及空调设备的工人及有关技术人员的工作参考书，也可作工人技术培训教材，设计人员进行制冷装置设计及选型时也可参考。

### 制冷与空调

Zhileng Yu Kongtiao

苏庆瑞 李华春 编著

---

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)  
辽宁省新华书店发行 朝阳六六七厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：12 1/2 字数：275,000

1984年9月第1版 1984年9月第1次印刷

---

责任编辑：李伟民 李殿华 责任校对：王 莉  
封面设计：马学礼

---

印数：1—23,000

统一书号：15288·97 定价：1.50元

# 前 言

为使制冷技术适应现代化建设的需要，我国出版了许多种有关制冷、空调、冷库设计等方面的技术书籍，这些书籍大部分是教课书和设计参考书。为了满足广大工人，特别是青年工人系统地学习制冷原理、制冷与空调设备的操作、使用及维护方面的技术基础知识，我们编写了这本技术基础读物，以供学习时参考。

本书共分十章，第一章主要介绍我国目前应用最广泛的容积式制冷机的制冷原理、工作特性及热力计算方法等；第二章至第九章主要介绍容积式制冷机、各种热交换器、附属装置的结构原理及特性，常用自动控制元件及自动控制系统，并比较详细地介绍了制冷机的运转、操作、故障分析与排除等方面的知识，还对各种制冷剂的性质和性能进行了比较；第十章介绍了空气调节的过程、空调原理及空调设备的布置等。

本书在编写过程中，得到了有关单位和同志的大力支持和协助，并提供了许多宝贵资料。初稿完成后，曾多次征求有关工人和技术人员的意见，并作了多次修改。但由于我们思想水平和业务水平不高，实践经验不多，错误和不当之处仍在所难免，深望广大读者批评指正。

最后向对本书进行审阅、提供资料的黄成田、曲建勋、郭增琦同志以及完成本书全部插图描绘工作的杨淑珍同志表示衷心的感谢。

编著者

1982年5月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 制冷原理</b> .....	1
第一节 概述.....	1
第二节 制冷的热力学基础.....	3
第三节 传热的理论基础.....	11
第四节 制冷剂的状态变化.....	16
第五节 压焓图.....	20
第六节 制冷剂气体的压缩.....	28
第七节 热力计算.....	34
第八节 温度变化对制冷机性能的影响.....	41
第九节 多级压缩.....	47
<b>第二章 制冷机</b> .....	54
第一节 高速多缸制冷机的构造与性能.....	55
第二节 半封闭、全封闭式制冷机的构造与性能.....	88
第三节 回转式制冷机的构造与性能.....	91
第四节 螺杆式制冷机的构造与性能.....	93
第五节 各种容积式制冷机压缩原理比较.....	98
<b>第三章 冷凝器与蒸发器</b> .....	100
第一节 冷凝器.....	100
第二节 蒸发器.....	114
<b>第四章 附属设备</b> .....	132
第一节 油分离器.....	132

第二节	贮液器	136
第三节	干燥器	138
第四节	过滤器	140
第五节	热交换器	141
第六节	液体分离器	146
第七节	液体返馈装置	147
<b>第五章</b>	<b>制冷剂 载冷剂 冷冻油</b>	<b>150</b>
第一节	制冷剂	150
第二节	载冷剂	169
第三节	冷冻油 (制冷机油)	182
<b>第六章</b>	<b>膨胀阀</b>	<b>186</b>
第一节	膨胀阀的工作原理及特性	186
第二节	膨胀阀的选择	194
第三节	温度式膨胀阀的结构	195
第四节	膨胀阀的安装	198
第五节	毛细管的节流原理	203
<b>第七章</b>	<b>制冷设备的自动控制</b>	<b>207</b>
第一节	自动控制的作用	207
第二节	自动控制范围和自动控制系统	209
第三节	自动控制元件	219
<b>第八章</b>	<b>制冷系统管路</b>	<b>241</b>
第一节	制冷剂管路的参数选择	241
第二节	制冷系统管路设计	265
第三节	制冷管路的保温处理	278
<b>第九章</b>	<b>制冷机的使用与维护</b>	<b>284</b>
第一节	制冷机的安装	284
第二节	制冷机的运转	288

第三节	制冷机的维护	298
第四节	常见故障的判断与排除	310
第十章	空气调节	321
第一节	空调热负荷	321
第二节	空调系统	331
第三节	空调装置	341
第四节	风道	351
附录		358
I	氨 (R <sub>717</sub> ) (NH <sub>3</sub> ) 饱和蒸气表	358
II	R <sub>11</sub> 饱和蒸气表	364
III	R <sub>12</sub> 饱和蒸气表	366
IV	R <sub>22</sub> 饱和蒸气表	373
V	R <sub>500</sub> 饱和蒸气表	377
VI	R502饱和蒸气表	380
VII	R <sub>12</sub> 压焓图	387
VIII	R <sub>22</sub> 压焓图	388
IX	R <sub>500</sub> 压焓图	389
X	R <sub>502</sub> 压焓图	390
XI	氨 (NH <sub>3</sub> ) 压焓图	391

# 第一章 制冷原理

## 第一节 概 述

### 一、制冷

所谓制冷，就是用人工的方法制造出一个低温环境，从被冷却物体中吸取热量，并将其冷却至常温以下。把热水冷却成常温的水，不是制冷，它只是冷却；只有把水变成低于常温的冷水或制成冰，才可称作制冷。因此，制冷需要特殊的介质和专用设备。

制冷技术最初只用于食品贮藏，随着科学技术的发展，它在石油化工、医药卫生、工业生产、建筑施工、各种低温或超低温的科学试验以及人们的日常生活中都得到越来越广泛的应用。

### 二、制冷方法

制冷方法主要有以下几种：

(1) 利用冰融化来产生低温。冰融化时，从周围吸热而使周围的物体冷却。这种方法主要用于贮存食品或防暑降温，不能获得 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的低温。

(2) 利用冰和盐类的混合物的溶解热产生低温。这种方法可获得 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的低温。



(3) 利用固体二氧化碳（通称干冰）升华为气体时从周围吸取大量的升华热来实现制冷。这种制冷方法可获得低温或超低温。

(4) 利用低温状态下容易蒸发的液体蒸发时吸热的特点实现制冷。这种方法可获得各种不同的温度环境，是目前应用最广泛的制冷方法，普遍应用于冷藏、冷冻、空调等各种制冷过程中。

(5) 利用高压气体膨胀时吸热而产生低温的特点实现制冷。它只适宜于空调系统及 $0^{\circ}\text{C}$ 以上的低温水系统。

(6) 热电制冷（又称半导体制冷或温差电制冷）。两种不同的半导体材料组成一个电偶，通电时，一端结温度上升释放热量（称为热端），另一端结温度下降并吸取热量（称为冷端），使周围环境温度降低。由于价格昂贵，目前热电制冷只限于小制冷量范围，如热电空调器、半导体冰箱等。

上述各种制冷方法，归纳起来可分为两种，即利用物质的溶解、升华、蒸发等物理变化实现制冷和消耗能量（如机械能、热能等）从低温物体中吸取热量，并将此热量传递至高温物体而实现制冷。前者称为自然制冷，后者称为机械制冷或人工制冷。

机械制冷是利用制冷机实现的，制冷方式主要有蒸汽压缩式制冷、吸收式制冷、蒸气喷射式制冷、热电制冷等。

在机械制冷中，蒸汽压缩式制冷是最经济而且应用最广泛的制冷方法，其原理是利用氨或氟利昂等液体的蒸发潜热从被冷却物体中吸热而实现制冷。图 1—1 为蒸汽压缩式制冷循环过程的示意图，经膨胀阀节流进入蒸发器的液体，从周围物体中吸取蒸发潜热而蒸发，蒸发后变成低温低压气体

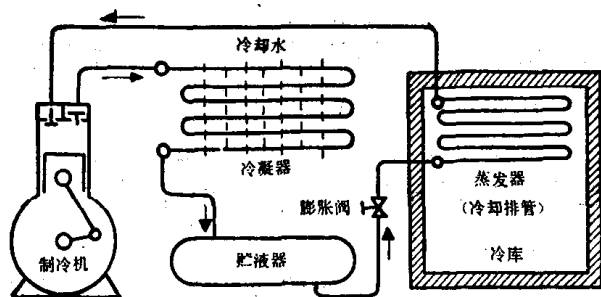


图 1—1 蒸汽压缩式制冷循环

被制冷压缩机（以下简称制冷机）吸入，经制冷机压缩后变成高温高压气体进入冷凝器；在冷凝器中，用常温的冷却水或空气将其冷却成高压液体，此液体再经膨胀阀进入蒸发器。以此循环往复，从低温处吸热实现制冷，再利用机械的作用在高温处将热量放掉。

制冷机的作用是把热量从低温处转移至高温处，它与水泵可把水从低处送往高处的作用相似。但水泵的吸水量与排水量是相等的，而制冷机转移至高温处放掉的热量则等于吸取的热量再加上制冷机耗功所转化的当量热。

## 第二节 制冷的热力学基础

### 一、压力

物体表面所受到的垂直作用力称为压力。单位面积上的压力称为压强，用符号  $P$  表示。例如，在制冷系统中，被封闭于容器内的气体向外膨胀时对容器内壁产生的垂直作用

力，即称为容器内的压力。在工程中，习惯上把压强称为压力。在制冷技术中常用的压力单位有：

(1) 采用工程度量制压力单位。如力的单位以公斤力(kgf)表示，单位面积以米<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)表示，则压力单位是公斤力/米<sup>2</sup>(kgf/m<sup>2</sup>)。在工程应用中kgf/m<sup>2</sup>太小，一般常用公斤力/厘米<sup>2</sup>(kgf/cm<sup>2</sup>)。两者关系是：

$$1\text{kgf/cm}^2 = 10,000\text{kgf/m}^2$$

(2) 采用液柱高度做为压力单位。不同的液体，有其相应的重度，当液体的种类一定时，其重度 $\gamma$ 即为定值，这样在一定压力下就会有相应的液柱高度。也就是说，压力的大小可用液柱高度 $h$ 表示，它们之间有下列关系式：

$$h = \frac{P}{\gamma}$$

式中： $h$ —液柱高度；

$P$ —压力；

$\gamma$ —液体重度。

常用表示压力的液柱有水银柱(汞柱)和水柱。

$$1\text{毫米水柱}(\text{mmH}_2\text{O}) = 1\text{kgf/m}^2 = \frac{1}{10,000}\text{kgf/cm}^2$$

$$1\text{毫米汞柱}(\text{mmHg}) = 13.6\text{kgf/m}^2$$

(3) 采用大气压做压力单位。我们四周空气的压力是由地面上几百公里高的大气层的重量所形成，称为大气压力，大气压力随地理位置、高度及气候条件而变化，物理学上所指的物理大气压，是在纬度 $45^\circ$ 的海面上，大气的常年平均压力，或称为标准大气压(atm)，其值为760mmHg。即

$$1\text{标准大气压}(\text{atm}) = 1.0332\text{kgf/cm}^2$$

工程上为使用和计算方便，把大气压力作为 $1\text{kgf/cm}^2$ 来

计算，称为一个工程大气压，简称大气压 (at)。即

$$1 \text{ 工程大气压 (at)} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 735.6 \text{ mmHg}$$

制冷系统中，制冷机的吸排气口压力、各种容器中的压力大小就是指的工程大气压。

在工程上，由于测量和计算的需要，还常用绝对压力、表压力及真空度等几种方式来表示压力的大小。所谓绝对压力，是指容器中的气体对于容器内壁的实际压力，用符号  $P_{\text{绝}}$  表示；表压力是用压力表测量出的压力，其值等于绝对压力和当地大气压力之差，用符号  $P_{\text{表}}$  表示，即

$$P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - B \text{ (当地大气压)} \text{ 或 } P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + B$$

工程上为计算方便，将  $B$  (当地大气压) 按  $1 \text{ kgf/cm}^2$  考虑。故得

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + 1$$

当容器中的绝对压力比大气压力还低时，表压力即为负值。容器内的绝对压力小于当地大气压力的数值称为真空度，用符号  $P_{\text{真}}$  表示。

绝对压力和真空度的关系为

$$P_{\text{真}} = 1 - P_{\text{绝}}$$

用水银柱高度表示真空度时，则为

$$P_{\text{绝}} = 1 \times \left(1 - \frac{h}{76}\right)$$

式中： $P_{\text{绝}}$ —绝对压力 ( $\text{kgf/cm}^2$ )；

$h$ —真空度 (水银柱高度) ( $\text{cmHg}$ )。

## 二、温度和热量

温度是表示物体冷热程度的度量。也就是说，温度是表示吸热和放热的变化结果。两种冷热程度不同的物体接触

时，一个物体放热，一个物体吸热，热量由热的物体转移至冷的物体，物体放热后变冷，吸热后变热。

表示温度的标度称为温标。工程上常用的温标有华氏温标和摄氏温标两种。华氏温标用符号 $^{\circ}\text{F}$ 表示，它把标准大气压下冰的融点定为32度，把水的沸点定为212度，二点之间分为180等份，每1等份称为华氏1度，表示为 $1^{\circ}\text{F}$ 。摄氏温标用符号 $^{\circ}\text{C}$ 表示，它是把标准大气压下冰的融点定为0度，水的沸点定为100度，二点之间分为100等份，每1等份即为摄氏1度，表示为 $1^{\circ}\text{C}$ 。

华氏温度和摄氏温度可以互相换算。华氏温度换算为摄氏温度时，可按下式计算：

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t_1^{\circ}\text{F} - 32)$$

摄氏温度换算为华氏温度时，可按下式计算：

$$t_1^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32$$

摄氏温标和华氏温标还可沿水沸点或冰融点向两端延长到更高或更低的温度区间。例如，当温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ 时，应在温度数字的前面标记一个“-”号。摄氏零下23度应写成 $-23^{\circ}\text{C}$ 。

在热力学中，规定当物质内部分子运动速度等于零时，为物质的最低温度，这就是绝对零度，其值为冰点以下 $273^{\circ}\text{C}$ ，即 $-273^{\circ}\text{C}$ 。这个温度用绝对温度表示时称为绝对零度。绝对温度用符号 $^{\circ}\text{K}$ 表示。绝对温度标度的1度份与摄氏温度标度的1度份相等，所以冰点用绝对温度表示时，就成为 $273^{\circ}\text{K}$ 。绝对温度与摄氏温度的关系为：

$$T = t + 273(^{\circ}\text{K})$$

例：如果测得蒸发器盐水温度为 $-23^{\circ}\text{C}$ ，问换算为华氏温度为几度？绝对温度为几度？

解：换算为华氏温度时：

$$t = \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 32 = \frac{9}{5} \times (-23) + 32 = -9.4(^{\circ}\text{F})$$

换算为绝对温度时：

$$T = -23 + 273 = 250(^{\circ}\text{K})$$

测量温度使用的温度计种类很多，制冷工程中常用玻璃温度计、压力式温度计、电接点式温度计、电阻温度计及半导体温度计等。

热量是能量的一种形式，它是表示物体吸热或放热多少的物理量。热量的单位通常用卡或千卡（也叫大卡）表示。

(1) 卡—在标准大气压下，将1克水加热或冷却，温度升高或降低 $1^{\circ}\text{C}$ ，所吸收或放出的热量称为1卡，用符号cal表示。

(2) 千卡—在标准大气压下，1公斤水温度升高或降低 $1^{\circ}\text{C}$ ，所吸收或放出的热量称为1千卡或1大卡，用符号kcal表示。

温度和热量有密切关系，同一种物体，吸收或放出的热量不同，温度变化也不同；对于不同的物体，即使所吸收或放出的热量相同，温度变化却不一定相同。单位重量的物体温度升高（或降低） $1^{\circ}\text{C}$ 所吸收（或放出）的热量称为该物体的比热，用符号C表示，单位是 $\text{kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

在一定条件下，水的比热为 $1\text{kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ ，空气的比热是 $0.24\text{kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ ，冰的比热为 $0.5\text{kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。对于同样重量的不同种物质，升高的温度相同时，比热大的物体需要吸收的热量就多。物体的比热除与物体的性质有关以外，还与物体所处的温度有关。例如，食品的比热随食品中水分含量和温度的不同而不同。在制冷技术中，对于温度变化不大的物质，可以认为比热为常数。但有的物体（如食品）温度

变化将引起内部水分冻结或融化，此时比热也将有较大的变化。

物体的重量与比热的乘积，即为物体的热容量。它表示该物体温度升高（或降低） $1^{\circ}\text{C}$ 时所吸收（或放出）的热量。物体性质不同，热容量也不相同。

### 三、受热后物质的状态及状态变化

物质在吸热或放热时，除有温度上升或下降的现象外，还有固体变成液体或液体变成固体的状态变化。也就是说，物质有“三态”，即固态、液态和气态。物质的三态可以互相转变。如图 1—2 所示，气体冷却转化为液体的过程称为冷凝；物质从液体冷却转化成固体的过程称为凝固；固体吸热转化为液体的过程称为熔解；液体吸热转化成气体的过程称为蒸发；固体吸热直接转变为气体的过程称为升华。

物质在发生状态变化过程中，温度保持不变时所吸收或放出的热量称为潜热；液体转变为气体时的潜热称为汽化潜热；固体转变为液体时的潜热称为熔解潜热。

物质不发生状态变化，只是温度上升或下降时所吸收或放出的热量称为显热。

显热量与受热物质在受热前后的温度差、受热物体的重量、物质的比热成正比；而潜热量则对应不同物质、对应不同状态有一固定值。在标准大气压下，水的汽化潜热为

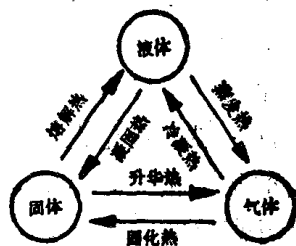


图 1—2 物质的三态

539kcal/kg，而冰在标准大气压下融解时，每公斤冰将吸收79.68大卡的热量，所以冰的融解潜热为79.68kcal/kg。又如氟利昂12液体在15°C时的蒸发潜热为38.6kcal/kg。

物体由固体变成液体时，所吸收的热量叫作熔解热；由液体变成气体时所吸收的热量叫作蒸发热。与此相反，由气体变成液体时所放出的热量叫作冷凝热；由液体变成固体时所放出的热量叫作凝固热。而由固体直接变成气体时所吸收的热量叫作升华热；在特定条件下，由气体直接变为固体时所放出的热量叫作固化热。

在制冷工程中，研究物质在低温条件下的状态变化很有意义。例如，在冷凝过程中，气体制冷剂在高温高压条件下放出热量而本身液化；在蒸发器中，液体制冷剂则在低压条件下吸热蒸发而变成气体。制冷就是利用制冷剂的状态变化实现的。

#### 四、热与功

热力学的基本定律是热力学第一定律和热力学第二定律。它是制冷工程的热力学基础。

热力学第一定律是说明热和功之间互相转换和它们之间的当量关系。也就是说，不论在什么场合下，一定量的热量消失时，必产生一定量的机械能（作了功）。反之，消耗了一定量的功时，必然出现与此对应的一定数量的热能。

热和功互相转化的当量关系可由下式表示：

$$Q = AL \text{ 或 } W = JQ$$

式中：Q—产生或消耗的热量(kcal)；

L—消耗或产生的机械功(kg·m/kg)；

A—功的热当量(kcal/kg·m)；



J—热的功当量 (kg·m/kcal)。

$A = \frac{1}{J}$ ,  $J = 427 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{kcal}$ 。这就是说, 1 千卡的热量全部转变为功时为  $427 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 。反之, 每  $\text{kg} \cdot \text{m}$  的功可以转化成  $\frac{1}{427}$  千卡的热量。

热力学第一定律说明了热能和机械能在形式变化时相互间数量上的关系, 但并没有指出能量转化的方向和必备的条件。机械功可以很容易地转变为热能, 反过来, 把热能变为机械能则相当困难。同样, 热可以从高温物体自然转移到低温物体, 但相反的转移就很困难, 因此必须采取一定手段。

热力学第二定律的含意可表述为: 自发过程是不能独自进行的, 热量不能自然地由低温物体向高温物体转移; 从热源得到的热量不可能全部转化为机械功。在制冷工程中, 为了冷冻食品, 必须从低温物体中吸收热, 再把热转移给常温的水或空气, 这种从低温物体向高温物体的热转移, 就需要在制冷机上消耗一定的机械功。

## 五、焓与熵

焓是一个复合的状态参数。表征系统中物质内能和动能的总能量称为焓, 用符号  $i$  表示, 单位是  $\text{kcal}/\text{kg}$ 。

焓是一个状态参数, 在制冷工程热力计算中, 它具有广泛的用途。在制冷循环计算中, 用制冷剂由某一状态变化到另一状态时焓值的变化, 可直接计算出热量和耗功率的大小。制冷剂均把  $0^\circ\text{C}$  时的饱和液体的焓值定为  $100 \text{ kcal}/\text{kg}$ , 再以此为基础, 确定出不同状态下的焓值大小。

熵是表征物质热力学状态变化的物理量, 用符号  $S$  表示, 对 1 公斤工质而言, 单位是  $\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$ 。