

初级制冷技工培训教材

小型制冷设备与维修

李天立 编著



上海交通大学出版社

TB657
7/11/15
7.4

制冷技工培训教材

小型制冷设备与维修

主 编 李天立

编 者

马旭升 王可江 王雅琦

李天立 陈英敏 单柳诚

周宪春 唐秉寰 滕英纯

主 审 徐德胜

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书是由中国医疗器械工业公司制冷设备企业协会组织编写的制冷技工培训教材,适合电冰箱、冷藏箱、低温箱、药用冰箱、空调器、冷冻治疗器等小型制冷设备的使用、维修人员使用。其内容主要有制冷原理、制冷压缩机、制冷系统主要部件、电气及温控系统、制冷设备的检修工艺及方法、常用材料及检修工具等,另外还详细介绍了电冰箱、冷藏箱、低温箱和空调器的结构、常见故障及维修方法。本书叙述由浅入深,结合实例讲解,读者易学,实用性强,可供各行业制冷技工培训班选作教材,也可供广大读者参考。

小型制冷设备与维修

上海交通大学出版社出版

(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行

崇文印刷厂印装

开本787×1092毫米 1/16 印张14 字数339000

1988年9月第1版 1988年12月第1版次印刷

印数: 1—14000

ISBN7-313-00316-1/TB.6 科技书目:182-251

定价: 4.80元

前 言

本书以叙述小型氟利昂制冷设备,如电冰箱、冷藏箱、低温箱、血液冷藏箱、药用冰箱、空调器、冷冻治疗器械等的维修为主,也较详细地讲述了各类制冷设备的原理、结构和常见故障,还介绍了有关进口冷藏设备的维修资料。

本书由李天立同志主编,其中第一、二章由李天立同志编写,第三、四、五、六、七章由马旭升同志编写,第八章由王雅琦同志编写,第九章由马旭升、单柳诚同志编写,第十章由唐秉寰同志编写,第十一章由滕英纯同志编写,第十二章由陈英敏、王可江同志编写,第十三章由周宪春同志编写,最后由李天立同志定稿。在编写过程中,中国医疗器械工业公司制冷设备企业协会及有关会员单位给予了大力支持,特于本书出版之际,向上述单位和有关同志表示衷心感谢。

本书编写过程中曾参考和引用了国内外出版的有关书籍、文献中的实用经验、理论数据等,在此不一一列出。

由于编者的业务水平有限,错误与缺点在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者 1987年12月
于沈阳

国际单位与工程单位的 换算关系

常用符号:	h	小时
	kcal	千卡
	kgf	公斤力
	kJ	千焦耳
	kPa	千帕斯卡
	N	牛顿
	W	瓦

换算关系:

力:	$1\text{kgf} = 9.8\text{N}$
压力:	$1\text{kgf/cm}^2 = 98\text{kPa}$
热量:	$1\text{kcal} = 4.2\text{kJ}$
制冷量:	$1\text{kcal/h} = 1.16\text{W}$
传热量:	$1\text{kJ/h} = 0.276\text{W}$

目 录

第一章 制冷原理	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 热力学基础	(2)
第三节 传热学基础	(5)
第四节 制冷原理	(9)
第五节 制冷系统	(11)
第二章 制冷剂 and 冷冻油	(17)
第一节 氟利昂	(17)
第二节 冷冻油	(24)
第三节 氟利昂和冷冻油与制冷装置性能的关系	(26)
第三章 制冷压缩机	(29)
第一节 制冷压缩机的分类及工作原理	(29)
第二节 封闭式压缩机	(30)
第三节 封闭式压缩机常见故障及维修方法	(39)
第四节 开启式和半封闭式压缩机	(43)
第五节 开启式压缩机常见故障及维修方法	(48)
第四章 制冷系统主要部件	(54)
第一节 蒸发器	(54)
第二节 冷凝器	(56)
第三节 过滤器	(58)
第四节 膨胀阀 毛细管	(59)
第五节 膨胀容器 蒸发冷凝器	(65)
第五章 电气控制系统主要部件	(66)
第一节 温度控制器	(66)
第二节 起动继电器	(70)
第三节 电磁阀	(73)
第四节 压力继电器	(76)
第六章 制冷设备检修的主要工艺及方法	(78)

第一节	部件的清洗和干燥	(78)
第二节	管路焊接	(80)
第三节	系统吹污与气密性试验	(82)
第四节	检漏	(83)
第五节	抽真空	(84)
第六节	充灌制冷剂	(86)
第七节	系统中残留空气的排放	(88)
第八节	系统中水分的排除	(89)
第九节	添加润滑油	(90)
第七章	维修工具及常用材料	(92)
第一节	通用工具及材料	(92)
第二节	专用工具及操作方法	(93)
第八章	电冰箱	(99)
第一节	概述	(99)
第二节	单门电冰箱	(100)
第三节	风冷式双门双温电冰箱	(102)
第四节	直冷式双门双温电冰箱	(104)
第五节	立式大型双门双温电冰箱	(107)
第六节	三门电冰箱	(108)
第七节	电冰箱常见故障及维修方法	(108)
第九章	冷藏箱	(114)
第一节	封闭式机组冷藏箱	(114)
第二节	开启式机组冷藏箱	(117)
第三节	冷藏箱的检查方法	(119)
第四节	冷藏箱的常见故障及维修方法	(121)
第十章	血液冷藏箱和药品冷藏箱	(129)
第一节	概述	(129)
第二节	血液冷藏箱(血库冰箱)	(129)
第三节	药品冷藏箱	(138)
第十一章	低温箱	(141)
第一节	低温制冷及低温箱	(141)
第二节	长城牌低温箱	(147)
第三节	美国Kelvinator 低温箱	(143)
第四节	日本三洋低温箱	(154)

第五节	低温箱的常见故障及维修方法	(158)
第十二章	空调器	(162)
第一节	概述	(162)
第二节	空调器的制冷制热原理	(164)
第三节	整体式空调器	(165)
第四节	分体式空调器	(170)
第五节	空调器的选择、安装与使用	(178)
第六节	空调器的常见故障及维修方法	(179)
第十三章	医用冷冻治疗器械	(186)
第一节	概述	(186)
第二节	医用冷冻治疗器械常用的制冷剂	(186)
第三节	获得低温的方法	(188)
第四节	医用冷冻治疗器械的种类及结构原理	(190)
附 录:	中国医疗器械工业公司制冷设备企业协会部分厂家产品规格及技术数据 (200)	
	沈阳医疗器械厂主要产品及技术数据	(200)
	杭州医疗器械厂主要产品及技术数据	(201)
	广东省医疗器械厂主要产品及技术数据	(202)
	株洲市电冰箱厂主要产品及技术数据	(203)
	武汉医用制冷设备厂主要产品及技术数据	(204)
	西北医疗设备厂西安分厂主要产品及技术数据	(205)
	杭州东风医疗器械厂主要产品及技术数据	(206)
	R ₁₂ , CC ₂ F ₂ 饱和热力性质表	(207)
	R ₂₂ , CHClF ₂ 饱和热力性质表	(210)

第一章 制冷原理

第一节 概 述

随着科学技术的发展，制冷在石油化工、医药卫生、工业生产、工程施工、各种低温或超低温的科学试验、航天技术以及人们的日常生活中都得到越来越广泛的应用。

几百年前，人们就懂得在冬季存贮天然冰或从寒冷地区采掘天然冰作为冷源，用于冷藏易腐食品、防暑降温、治疗疾病。欧美一些国家就曾出现过大规模的天然冰贸易，据文献记载，1854年仅美国波士顿出口天然冰就达156000吨之多；第一次世界大战后，英国仍从挪威进口少量天然冰，天然冰贸易直至30年代才告结束。对天然冰的广泛需求刺激了制冷技术的出现和发展，1834年，Jacob Perkins申请了一份英国专利，内容如图1-1所示，该专利阐述的制冷技术可以说是当代蒸气压缩式制冷装置的雏形。

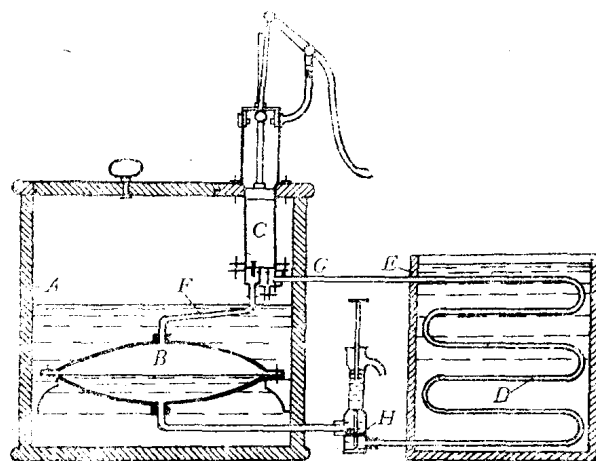


图 1-1 Jacob Perkins制冷机

B. 蒸发器 C. 压缩机 D. 冷凝器 H. 节流装置

制冷方法分为以下几种：

- (1) 蒸气压缩式制冷；
- (2) 吸收式制冷；
- (3) 蒸气喷射式制冷；
- (4) 气体膨胀式制冷；
- (5) 热电制冷。

在上述制冷方法中，蒸气压缩制冷是最经济而且应用最广泛的制冷方法，是本书讲述的重点，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1-2为蒸气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被制冷压缩机（以下简称制冷机）吸入，经制冷

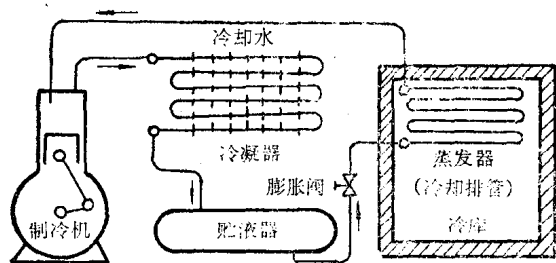


图 1-2 蒸汽压缩式制冷循环

机压缩后变成高温高压气体进入冷凝器；在冷凝器中，此液体用常温的冷却水或空气将其冷却成高压液体，再经膨胀阀进入蒸发器。如此循环往复，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，它与水泵把水从低处送往高处的作用相似。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 热力学基础

在制冷技术中，经常遇到压力、温度、焓和熵等概念，这些物理量都是表征制冷工质状态的状态参数。本节逐一阐述，它们的物理意义及度量单位等。

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。在工程中，习惯把压强称为压力。在制冷系统中，蒸发器内制冷剂气体的压力可看作是气体分子撞击蒸发器内壁的结果，其作用方向总是垂直于蒸发器内壁表面，这一压力通常称之为制冷剂的蒸发压力。

由上可知，工程上的压力定义式为：

$$P = \frac{F}{S}.$$

在国际单位制中，力的单位为牛顿，以符号 N 表示；面积的单位为平方米，以 m^2 表示，因而，压力的单位为牛顿/平方米，用符号 N/m^2 表示。1 N/m^2 等于 1 帕斯卡，帕斯卡以符号 Pa 表示。由于一般情况下帕斯卡单位量值很小，所以通常使用千帕斯卡为单位，即 kPa 。

我们四周空气的压力是由地面上几百公里厚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和气候条件而变化，物理学上所指的物理大气压，是在纬度 45° 的海面上，大气的常年平均压力，或称为标准大气压：

$$1 \text{ 标准大气压 (atm)} = 1.01 \times 10^5 Pa.$$

工程上为使用和计算方便，把 1 个大气压力作为 $0.98 \times 10^5 Pa$ 来计算，称为一个工程大气压，简称大气压。即：

$$1 \text{ 工程大气压} = 0.98 \times 10^5 Pa = 98 kPa.$$

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用工程大气压来表征的。

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：

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

工程上为计算方便, 将 B 按 $0.98 \times 10^5 \text{Pa}$ 考虑, 故得:

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + 0.98 \times 10^5.$$

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:

$$P_{\text{真}} = 0.98 \times 10^5 - P_{\text{绝}}.$$

用水银柱高度表示真空度时, 则为:

$$P_{\text{绝}} = \left(1 - \frac{h}{76} \right) \times 10^5,$$

式中 $P_{\text{绝}}$ ——绝对压力 (Pa),

h ——真空度 (水银柱高度, 即 cmHg)。

二、温度和热量

温度是标志物体冷热程度的尺度。也就是说, 当两个物体相接触时, 如果有热量自 A 物体传至 B 物体, 那么 A 的温度就高于 B, 反之, 则 B 的温度高于 A。若两者间没有热量传递, 两物体的温度就相等。

测量温度的标尺称为温标。工程上使用的温标有热力学百度温标和热力学绝对温标两种。热力学百度温标习称摄氏温标, 用符号 $^{\circ}\text{C}$ 表示, 该温标规定, 在标准大气压下, 冰的熔点为 0 度, 水的沸点为 100 度, 两点间的百分之一为 1 摄氏度, 表示为 1°C 。热力学绝对温标习称开氏温标, 用符号 K 表示, 它的温标间隔与摄氏温标间隔相同, 只是起点不同。热力学中规定, 当物质内部分子的均方根速度为零时, 其绝对温度为 0 度, 即 $T = 0\text{K}$ 。

绝对温度与摄氏温度的关系为:

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

例: 设低温箱的箱温降至摄氏 -40°C , 问此时箱温的绝对温度为几度?

解: 低温箱箱温的绝对温度为

$$\begin{aligned} T &= t + 273 \\ &= -40 + 273 \\ &= 233(\text{K}). \end{aligned}$$

测量温度所使用的温度计种类很多, 制冷工程中常用的有玻璃温度计、热电偶温度计、电接点式温度计、电阻温度计和半导体温度计等。

当高温物体 A 和低温物体 B 相接触时, 两者间就发生了能量交换。这种能量交换是以传热的形式进行的, 传热的结果是高温物体 A 把能量传递给了低温物体 B, 所传递能量的多少是用热量来度量的, 因此, 热量是能量传递的度量。也就是说, 只有在能量的传递过程中才有所谓的热量, 离开了能量的传递过程就谈不上什么热量了。热量的单位为焦耳, 用字母 J 表示, 或以千焦耳 (kJ) 表示。

温度与热量传递有密切关系, 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, 温度变化也不一定相同。单位质量的物体温度升高 (或降低) 1°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 $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ 或 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。在一个标准大气压下, 1kg 水温度升高或降低 1K , 所吸收

放或出的热量为4.2kJ, 因此水的比热为4.2kJ/(kg·K)。

对于同样质量的不同种物质, 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异。在制冷技术中, 对于温度变化不大的物质, 可以认为其比热为常数。但有的物体(如食品)温度变化会引起内部水分的冻结或融化, 此时比热也有较大的变化。

物体的质量与比热的乘积, 即为物体的热容量。它表示该物体温度升高(或降低)1℃时所吸收(或放出)的热量。物质不同, 其热容量也不相同。

例: 将5 kg 15℃的水加热至32℃, 需要输入多少热量?

$$\begin{aligned}\text{解: } Q &= C \cdot m \cdot \Delta t \\ &= 4.2 \times 5 \times (32 - 15) \\ &= 357(\text{kJ}).\end{aligned}$$

三、焓与熵

焓和熵的定义都可以用数学式给出, 它们的物理意义却很难作简明通俗的表述。可是, 它们在制冷工程计算中具有特别重要的作用, 其重要性不在压力、温度等参数之下。这里, 只要会运用就可以了。

焓是一个复合状态参数, 它是工质的内能和推动功的总和。在制冷系统中, 工质不断地循环运动, 工质的焓在循环中也相应地发生变化。当焓增加时, 表明工质从外界吸收了热量或系统外对其作了功; 当焓减少时, 表明工质对外界放热或做功。焓用符号*i*表示, 其单位是kJ/kg。

焓在制冷工程热力学计算中具有广泛的用途。在制冷循环计算中, 用制冷剂由某状态变化到另一状态时焓值的变化, 可直接计算出热量或功耗的大小。因此, 工程上只要求知道工质状态变化时焓的相应变化量就够了。为了便于计算, 取0℃的制冷剂饱和液体的焓(420kJ/kg)为基准, 然后确定其它状态下的焓值。

熵是判断热力过程进行方向的一个参数, 也就是说, 没有熵的变化就没有传热。工质的熵增加, 即表示其吸入了热量, 反之, 表示放出热量。熵用符号*S*表示, 单位是kJ/(kg·K)。

熵和热量及温度的关系如下:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} [\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})].$$

式中 *Q*——1 kg物质所获得的热量(kJ/kg);

T——物质在获得热量时的绝对温度(K)。

在制冷工程中, 通常把0℃时饱和制冷剂液体的熵值定为4.2kJ/(kg·K)。

四、热力学的基本定律

热力学的基本定律(热力学第一定律和热力学第二定律)是制冷工程的热力学基础。热力学第一定律表明了热和功之间互相转换和它们之间的当量关系, 即不论在什么场合下, 一定量的热量消失时, 必会产生一定量的机械能(作了功)。反之, 消耗了一定量的功时, 必然会出现与此对应的一定数量的热能。热力学第一定律是能量守恒定律在热力学中的表述。

热和功互相转化的当量关系可由下式表示:

$$Q = A \cdot L,$$

式中 Q ——热量(J);

L ——功(J);

A ——功的热当量。

功的热当量 A 的单位与数值同 Q 和 L 的单位有关。在国际单位制中, Q 和 L 的单位均为焦耳,因而根据能量守恒定律, A 为无量纲数,其值为1。所以,当使用国际单位制时,功和热的关系式如下:

$$Q = L。$$

这就是说,1 J的热量全部转变为功时,可得1 J的机械功。

热力学第一定律说明了热能和机械能转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。

人们从长期的生活实践中观察到,自然现象的进行有一定的方向性。例如两个温度不同的物体相接触时,热量总是从高温物体转向低温物体,而不可能反向进行。机械能可以通过摩擦变为热能,而热能却不可能通过摩擦变为机械能。前一过程的进行不需要任何条件,是自发进行的,而后一过程却不可能自发进行,要使它们成为可能,必须具备一定的补充条件。这些经验就被归纳为热力学第二定律。

热力学第二定律可表述为:热不可能自发地、不付代价地从一个低温物体传到另一个高温物体。可以说,热力学第二定律从本质上阐述了“制冷”的含义。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,需要在制冷机上消耗一定的机械功。

第三节 传热学基础

热力学第二定律阐述了热的传递方向,但是没有指出传热的形式和传热的规律。传热是热量从高温的物体通过中间媒介向低温物体转移的过程,这是一个复杂的过程,它有三种形式,即导热、对流和辐射。

在导热和对流的过程中,传热的物体必须互相接触,所以称作接触传热,传递辐射热时则物体间不必互相接触,所以又称作非接触传热。小型制冷设备中的传热,通常只考虑导热和对流两种形式。

制冷系统中的传热问题不外乎以下两种:一种是力求传热的加强(蒸发器、冷凝器上的传热);另一种是力求传热的减弱(如冷库的隔热保温、低温管道的保温)。

一、传热温差和传热热阻

如果物体内部存在着温差,热量会从高温部分向低温部分传递,导致热量传递的原动力是传热温差。

在热量由高温部分向低温部分传递的过程中,介质的温度降是连续的。如图1-3所示,温度 t 降至 t_2 ,均为连续变化。热量传递时由于传热温差克服了传热热阻,热量从而由I侧传递到II侧。

传热量、传热温差和传热热阻三者有如下关系:

$$Q = \frac{\Delta t}{W}$$

这里, Q 为单位时间内通过单位面积传递的热量, Δt 为传热温差, W 为传热热阻。上述关系同电学中的欧姆定律相类似, 传热量相当于电流, 温差相当于电压, 而热阻就相当于电阻。

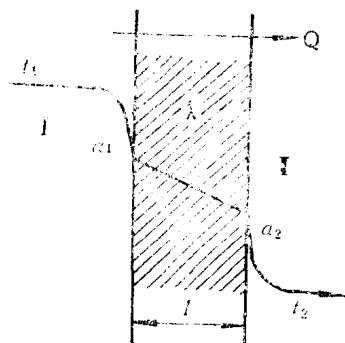


图 1-3 平壁的传热

二、导热

在同一物体中或在相互接触着的物体上, 从温度高的一侧向温度低的一侧的传热称为导热。一般来讲, 金属的导热性好, 非金属的导热性差。

物体两点间的导热量与此两点间的温度差成正比。例如, 有某一平壁, 设其两侧壁面温度分别为 t_1 和 t_2 , 壁厚为 L , 壁面积为 F , 则壁面之间的导热量为:

$$Q = \lambda \frac{F}{L} (t_1 - t_2) = q \cdot F,$$

式中 Q ——导热量(kJ/h);

λ ——壁材料的导热系数(kJ/(m·h·K));

F ——导热的壁面积(m²);

L ——平壁厚度(m);

q ——单位面积上的导热量(kJ/(m²·h));

t_1, t_2 ——温度(K)。

上式中, $\lambda \frac{F}{L}$ 的倒数即为导热热阻。若计算单位面积上的导热量, 则 $\frac{\lambda}{L}$ 的倒数为导热热阻。

因金属的导热系数比非金属大, 所以导热系数大的铜、铝等金属材料被用来制造各种热交换器, 而导热系数小的玻璃纤维、软木、各种泡沫塑料等非金属材料则用来做保温材料。各种材料的导热系数值见表 1-1。

表 1-1 各种材料的导热系数 λ

材 料	λ (kJ/(m·h·K))	材 料	λ (kJ/(m·h·K))
铜	1386	玻 璃	2.86
铝	735	水	2.14
钢	201.6	玻 璃 丝 棉	0.13
新霜	0.38	发 泡 塑 料	0.08
旧霜	1.76	空 气	0.08

三、对流传热

在冷藏室中，热通过空气传递给低温的蒸发器表面；在水冷冷凝器中，热通过冷凝管外表面传递给流体水。上述这种从流体移向固体表面或从固体表面移向流体的热转移叫作对流传热。它是一种表面放热现象。

对流传热的强弱取决于放热热阻。图 1-4 所示为一表面放热过程，若流体的温度为 t_f ，壁的表面温度为 t_w ，壁的面积 F ，那么传递的热量 Q 与面积 F 和温差 $t_f - t_w$ 成正比，即：

$$Q \propto F \cdot (t_f - t_w)。$$

也就是说，面积越大，温差越大，传递的热量也就越大。如在上式中引入一个比例常数 α ，则上式为：

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_f - t_w)，$$

式中的比例常数 α 就叫做放热系数，其单位为 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ 。

单位面积传热量的倒数就是放热热阻。

放热系数 α 随流体的种类及其流动状态的不同而不同。气体的 α 值比液体的 α 值小得多。不论是哪一种气体或液体，处于流动状态者的 α 值大于静止状态者的 α 值，而且流速越大， α 值也越大。

制冷剂在冷凝面或蒸发面上的放热系数 α 值，因制冷剂的种类而异，但它们的放热系数 α 都相当大。

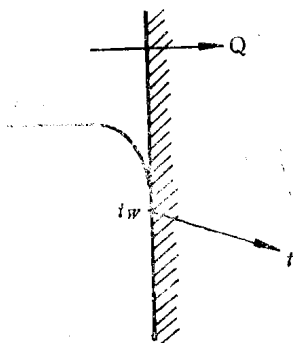


图 1-4 表面放热

表 1-2 放热系数 α

流体的种类和状态	$\alpha(\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}))$
气体 (静止)	4~20
气体 (流动)	10~50
液体 (静止)	70~300
液体 (流动)	200~1,000
冷凝面 R ₁₂	1,600
蒸发面 R ₁₂	1,700

四、通过传热壁的传热

热从温度较高的流体 A 传至温度较低的流体 B，往往不是导热、对流等单一形式的传热，而是一个复杂的过程。由于传热的条件不同，某一种形式可能占据主导地位。图 1-3 中的传热就是以对流传热为主导形式的。温度为 t_1 的流体 A 同壁面进行对流换热，壁内进行导热，然后另一侧壁面再与流体 B 进行对流换热，从而完成流体 A 与流 B 体的传热。当传热量为 Q 时，则

$$Q = K \cdot F \cdot (t_1 - t_2) (\text{kJ/h}),$$

式中, K 为传热系数, 单位取 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$, F 为平壁的面积, 因此传热热阻为 $1/K \cdot F$ 。

本书所述传热过程是对流放热和导热的结合, 而其传热热阻是总热阻, 应为相应的放热热阻与导热热阻之和, 可用下述方程表述:

$$\frac{1}{KF} = \frac{1}{\alpha_1 F} + \frac{l}{\lambda F} + \frac{1}{\alpha_2 F},$$

经整理, 传热系数 K 为:

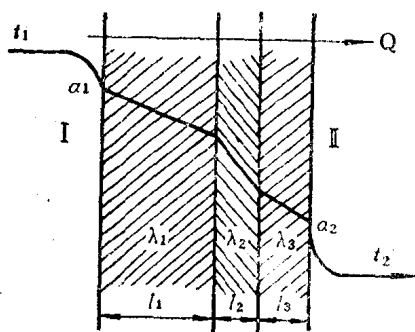
$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

式中 α_1 ——流体A的放热系数;

α_2 ——流体B的放热系数;

l ——平壁的厚度;

λ ——平壁材料的导热系数。



对于多层平壁, 若各层壁厚分别为 l_1, l_2, l_3 对应各层导热系数分别为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, (见图 1—5), 则多层壁的传热系数为:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \dots \right) + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

对于圆筒壁的传热, 在稳定热流的情况下, 每米长的单层壁圆筒 K 值可由下式求得:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \quad (\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})).$$

式中, d_2 为圆筒壁的外径, d_1 为圆筒壁的内径。

对于多层壁圆筒, 传热量稳定时, 1 米长管子的 K 值由下式求得:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \quad \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}).$$

圆筒壁的计算式比较复杂, 为了简化计算, 工程上往往按平壁传热公式作近似计算。简化后 (1 米长管子) 的传热计算公式为:

$$q = K \cdot \pi \cdot d_m \cdot \Delta t \quad (\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})),$$

式中 K ——传热系数; ($\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$);

d_m ——圆筒平均直径(m);

Δt ——筒内外温度差(K)。

当 α_1, α_2 相差不超过 10 倍而 $\frac{d_2}{d_1} < 1.1$ 时, 用上式计算, 误差不超过 4%。

若 α_1 、 α_2 相差超过10倍时，可按下述简化方法计算：

当 $\alpha_1 \gg \alpha_2$ ，用 d_2 代替 d_m ；

当 $\alpha_1 \ll \alpha_2$ ，用 d_1 代替 d_m

即用放热系统较小的一侧圆筒直径代替 d_m 。

第四节 制冷原理

一、蒸发和液化

一般情况下，液体在某一压力下被加热后因吸热而温度上升，当温度上升到某一定值时，液体开始沸腾并变为蒸气，此刻温度并不改变，这种现象叫作沸腾。在制冷工程中，习惯上将液体气化的两种形式——蒸发和沸腾统称蒸发。沸腾时所吸收的热称为蒸发潜热。沸腾（蒸发）温度随着压力的变化而有相应变化。液体全部蒸发以后，蒸气温度再次上升，体积进一步增大，成为过热蒸气。如果把此蒸气在同样压力下冷却，则会出现与上述情况完全相反的变化过程，在放出等于蒸发潜热的全部热量后液化，这一过程中放出的热量叫作冷凝潜热，这一过程称为冷凝过程。

二、饱和状态

低温的液体发生状态变化而变成过热蒸气的过程如图 1-6 所示。开始蒸发时的液体叫作饱和液体，其蒸发后全部变成蒸气时，此蒸气叫作干饱和蒸气；这两者之间的状态叫作饱和状态；其间有液体和气体共存时的气体被叫作湿蒸气。干饱和蒸气再加热则变成过热蒸气，饱和液体再冷却则变成过冷液体。过热蒸气与干饱和蒸气的温度差叫作过热度，过冷后的液体与饱和液体的温度差叫作过冷度。

对于湿蒸气，从饱和液体状态开始加热，蒸气量逐渐增加，在两相状态下湿蒸气与饱和液体的重量比叫作干度，用符号 X 表示。在饱和液体状态下 $X = 0$ ，在干饱和蒸气状态下 $X = 1$ ，若 $X = 0.3$ ，则是指按重量比例蒸气占30%，液体占70%。

上述过程限于压力不变的情况，当压力降低时，沸点会下降；压力升高时，沸点则会上升。饱和蒸气的温度也随压力而变化，对应于某一饱和压力下的温度叫作这一压力下的饱和温度。反之，对应于某一饱和温度下的压力叫作

这一温度下的饱和压力。上述压力和温度的关系还随制冷剂的种类不同而不同。常温下的空气是不会液化的，即使把压力无限提高也如此。对于蒸气，在某一压力下，不把它冷却到一定温度，同样也不会液化。在一定温度下，当压力升高到某固定点时，饱和蒸气与饱和液体之间便没有明显区别，该点称作临界点，这时的状态称作临界状态。在临界点上的温度、压力分别叫作临界温度和临界压力。空气的临界温度是132K，临界压力是3626kPa。由于空气临界温度很低，难以液化，在小型制冷设备中一般被称为不凝气体。

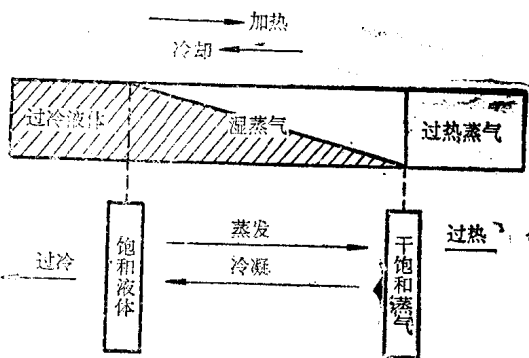


图 1-6 制冷剂的状态变化