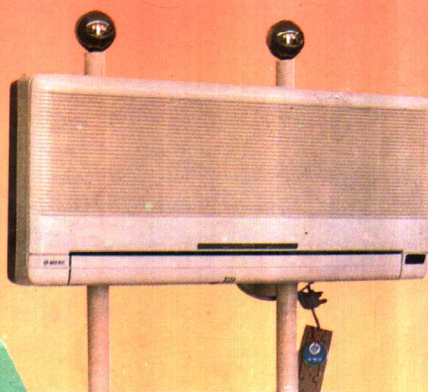


初级技工培训“应知”教材

制冷空调基础与设备维修

徐德胜 凌恩飞 编 陈维刚 审



- 理论知识应知
- 制冷基础入门
- 初级技能训练
- 备考维修参考

上海交通大学出版社

初级技工培训(应知)教材

制冷空调基础及设备维修

徐德胜 编
凌恩飞
陈维刚 审

上海交通大学出版社

(沪)新登字 205 号

内 容 提 要

本书根据上海市技工理论教学大纲(试行稿)和编者多年从事技工培训授课、监考、阅卷积累的资料编写,作为初级制冷技工培训的“应知”技术理论知识教材,结合当前空调器使用面广的特点加强了空调器的知识内容。全书共 14 章:1. 热工基础;2. 制冷原理及系统;3. 制冷剂和润滑油;4. 制冷压缩机;5. 换热器;6. 电气及自动控制;7. 设备安装与调试;8. 电冰箱结构及故障分析;9. 冷藏箱和拼装冷藏库;10. 低温箱;11. 空调基础知识;12. 窗式和分体式空调器;13. 柜式空调器和除湿机;14. 空调器维修。

本书可作制冷空调生产、安装调试、操作与管理、维修的初级制冷技工“应知”的培训教材,也可供广大读者自学和工作参考之用。

责任编辑:张泉宝

装帧设计:王敦琪

制冷空调基础及设备维修



出版:上海交通大学出版社

(上海市华山路 1954 号 邮政编码:200030)

发行:新华书店上海发行所

开本:787×1092(毫米)1/16

版次:1994 年 8 月 第 1 版

印数:1~12000

印刷:上海交通大学印刷厂

印张:22 插页:4 字数:543000

印次:1994 年 8 月 第 1 次

科目:291-310

ISBN 7 313 01156-3/TB·6

定价:20.00 元

前 言

随着我国经济的高速发展和人民生活水平的提高,制冷和空调技术在工农业生产、商业、交通、旅游、军事、科研和生活领域等各个部门都得到了极其广泛的应用,从事空调器和制冷设备生产、销售、安装、维修和管理的人员越来越多,他们迫切希望学习制冷和空调的基本知识,以提高自己的专业技能。为了满足广大读者的需要,编者根据多年来担任上海市制冷技工培训班授课、技工等级考试的监考和阅卷等工作的教学实践,并结合上海市制冷技工教学大纲(试行稿)的要求,编写了《制冷空调基础与设备维修》一书,供制冷初级技工培训班作“应知”课程的教材,也可供广大制冷技工自学和工作参考之用。

本书的内容有基础知识热力学及制冷循环,在此基础上再叙述制冷剂、活塞式制冷压缩及零部件、换热器和辅助设备、自动控制及电气零部件、制冷设备安装与调试、电冰箱结构及故障诊断,接下去的冷藏箱和拼装冷藏库、低温箱两章对少学时的培训班可不讲,多学时的班级可以选用。最后部分是窗式空调器、分体式空调器、柜式空调器、恒温恒湿机、除湿机及空调器维修等四章,与市场上现有初级制冷技工培训教材相比,这部分内容得到了加强,以适应当前家用空调和办公用、商用局部式空调比较普及的情况,使读者能较多地掌握这方面的知识。至于中央空调和有关空气性质及处理的知识安排在中级工培训班的教材中,本书不作介绍。

本书编写过程中得到了下列人员提供资料和帮助,他们是马旭升、马伟鸣、单柳诚、滕英纯、邬振耀、孙兆礼、朱寅生、龚萍、徐剑红、宏韦、徐兰珍等同志;全书由上海市劳动局制冷工考委、市医药局制冷工等级考试主考教师陈维刚高级工程师主审,并提出了许多宝贵意见,编者在此书的出版之际向他们致以诚挚的谢意!

本书的不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1994年1月于上海交通大学

对教学内容学时分配的建议

章	教 学 内 容	学时数
1	热工基础知识,包括热力学参数、定律、状态变化及传热、隔热	6
2	制冷原理及制冷系统,包括制冷方法、制冷原理、制冷循环、单级、双级制冷系统、覆叠式制冷系统及间接冷却式制冷系统	12
3	制冷剂、载冷剂和润滑油的种类和特性	6
4	制冷压缩机结构及维修:活塞式压缩机原理、开启式压缩机、半封闭式压缩机、全封闭式压缩机、旋转式压缩机、压缩机故障及检修	20
5	换热器和辅助设备的结构及特性	6
6	自动控制及电气零部件:自动控制系统、毛细管与膨胀阀、温控器、起动继电器、过载保护器、压力继电器、电磁阀	14
7	制冷设备的安装、调试与维修	8
8	电冰箱的结构及故障诊断:制冷系统、主要零部件、电气及控制系统、除霜方法与装置、故障诊断与维修	16
9	* 冷藏箱和拼装冷藏库的结构及工作原理	6
10	* 低温箱的结构及工作原理	8
11	空调基础知识:空调分类、热湿负荷及估算	4
12	窗式和分体式空调器:窗式空调器原理和结构、分体式空调器原理和结构、电路及零部件、安装调试、故障分析	16
13	柜式空调器和除湿机:柜式空调器、恒温恒湿机、除湿机的原理、结构和维修	12
14	* 空调器的维修与更换制冷剂	6
	(少学时班级可删去打*号的章) 总计	120~140

目 录

1 热工基础知识	1
§ 1.1 热力学的基本参数	1
§ 1.2 热力学的基本定律	3
§ 1.3 热量、焓和熵的概念	5
§ 1.4 制冷剂状态变化及术语	8
§ 1.5 传热和隔热的基本知识	9
2 制冷原理及制冷系统	14
§ 2.1 制冷方法概述	14
§ 2.2 氟里昂蒸发制冷的原理	14
§ 2.3 蒸气压缩式制冷循环	18
§ 2.4 单级压缩制冷系统	19
§ 2.5 双级压缩制冷系统	21
§ 2.6 覆叠式制冷系统	22
§ 2.7 间接冷却式制冷系统	25
3 制冷剂和润滑油的特性	26
§ 3.1 常用制冷剂的种类和特性	26
§ 3.2 载冷剂的种类和特性	36
§ 3.3 润滑油(冷冻油)的牌号和特性	40
4 制冷压缩机结构和维修	43
§ 4.1 活塞式制冷压缩机的工作原理	43
§ 4.2 小型开启式压缩机的结构	50
§ 4.3 小型开启式压缩机的故障及检修	62
§ 4.4 半封闭和全封闭式压缩机的结构	68
§ 4.5 旋转式压缩机的结构特点	75
§ 4.6 全封闭式压缩机的故障及检修	77
5 换热器和辅助设备的结构	83
§ 5.1 冷凝器的工作原理与结构	83
§ 5.2 蒸发器的工作原理与结构	90
§ 5.3 辅助设备的作用与结构	96
6 自动控制及电气零部件	102
§ 6.1 自动控制系统的组成	102
§ 6.2 毛细管和膨胀阀	104
§ 6.3 温度控制器(温度继电器)	111
§ 6.4 起动继电器和过载保护器	119
§ 6.5 压力继电器	122
§ 6.6 制冷系统用阀件	127

7 制冷设备的安装、调试与检修	138
§ 7.1 零部件的清洗和干燥	138
§ 7.2 管道的安装与连接	140
§ 7.3 系统的吹污与气密性试验	147
§ 7.4 抽真空与充灌制冷剂	150
§ 7.5 系统中空气和水分的排除	154
§ 7.6 制冷系统润滑油的添加	155
§ 7.7 制冷系统的调试和检修	156
8 电冰箱结构及故障诊断	160
§ 8.1 电冰箱的分类及组成	160
§ 8.2 电冰箱的制冷系统和布置	167
§ 8.3 电冰箱的主要部件	172
§ 8.4 电气及控制系统零部件	178
§ 8.5 电冰箱的除霜方法与装置	183
§ 8.6 电冰箱的故障诊断	187
9 冷藏箱和拼装冷藏库的结构	192
§ 9.1 冷藏箱的工作原理及结构	192
§ 9.2 冷藏箱的常见故障及检修	196
§ 9.3 拼装冷藏库的特点与结构形式	205
§ 9.4 XL 系列拼装冷藏库的结构与安装	208
§ 9.5 GE-LK 系列拼装冷藏库的结构与安装	213
§ 9.6 拼装冷藏库的常见故障及检修	215
10 低温箱的结构及工作原理	216
§ 10.1 低温箱的制冷系统及其特点	216
§ 10.2 长城系列低温箱的结构及系统	220
§ 10.3 三洋系列低温箱的结构及系统	224
11 空调基础知识	236
§ 11.1 空调中常用名词术语	236
§ 11.2 空调系统的分类	238
§ 11.3 空调器的热湿负荷及估算	239
12 窗式空调器和分体式空调器	242
§ 12.1 房间空调器概述	242
§ 12.2 窗式空调器的原理和结构	244
§ 12.3 分体式空调器的原理和结构	253
§ 12.4 房间空调器的电路及零部件	258
§ 12.5 房间空调器的安装与调试	265
§ 12.6 房间空调器的故障分析	284
13 柜式空调器和除湿机简介	289
§ 13.1 柜式空调器的原理与结构特点	289

§ 13.2	恒温恒湿机的原理与结构特点	296
§ 13.3	冷风机和恒温恒湿机的安装	300
§ 13.4	冷冻除湿机的原理和结构简介	302
14	空调器的维修与更换制冷剂	306
§ 14.1	概要及准备工作	306
§ 14.2	机组修理工作顺序	307
§ 14.3	空调器制冷剂的更换	318
附录	制冷剂特性表和 $\lg P-i$ 图	332
附表 1	NH_3 、R12、R22、R134a 的液体和饱和蒸气热力性质表	332
附表 2	常用单位换算	336
参考文献		337

制冷机和空调器都是热工设备,其工作原理都以热工理论为基础,系统的设计和计算又离不开热工知识,因此要学好制冷技术,必须掌握与制冷和空调技术密切相关的热力学、传热学基础知识。

§ 1.1 热力学的基本参数

气体或蒸气的分子时刻处于无规则的运动中,其状态随着外部条件的变化而发生变化,即物质以气态、液态、固态存在是相对的,在一定的条件下可以相互转化。即使是气体,也有饱和及过热等状态之分,为了描述气体在各种状态下的特征,必须用某些物理量来确定和描述气体的性质,这些物理量称为气体的状态参数。最常用的是温度、压力和比容,它们被称为气体的基本状态参数。

1.1.1 温度

温度是物体内部分子运动平均动能的标志,或者说是表示物体冷热程度的量度。两个冷热不同的物体相互接触时,一个物体放热,另一个物体吸热,热量由热的物体转移至冷物体,放热的物体变冷,吸热的物体变热。

表示温度的标度称为温标,常用的有摄氏温标和华氏温标,前者的单位用摄氏度($^{\circ}\text{C}$)表示,后者用华氏度($^{\circ}\text{F}$)表示。摄氏温标规定在 1 个标准大气压下,清洁冰的融点和清洁水的沸点各为 0° 和 100° ,在这两个点之间 100 等分,每个等分就是 1°C 。华氏温标规定在 1 个标准大气压下,清洁冰的融点和清洁水的沸点分别为 32° 和 212° ,在这两个点之间 180 等分,每个等分就是 1°F 。摄氏和华氏温标之间的关系为

$$t_c = \frac{5}{9}(t_F - 32),$$

式中: t_c ——摄氏温标, $^{\circ}\text{C}$;

t_F ——华氏温标, $^{\circ}\text{F}$ 。

在热力学计算中通常使用绝对温标,也称热力学温标或开氏温标,其单位用 K 表示。它规定以水的三相点(273.16K 即 0.001°C)作为基点,每 1 个等分与摄氏温标大小一样,因此两者的关系为:

$$T = t_c + 273.15,$$

式中: T ——绝对温标,K;

t_c ——摄氏温标, $^{\circ}\text{C}$ 。

在工程计算中,为了方便常近似地取

$$T = t_c + 273.$$

华氏、摄氏和绝对温度之间的换算见表 1-1。

表 1-1 温度换算表

温度	摄氏温度 $t_c(^{\circ}\text{C})$	华氏度 $t_F(^{\circ}\text{F})$	绝对温度 $t_k(\text{k})$
t_c	t_c	$\frac{9}{5}t_c + 32$	$t_c + 273$
t_F	$\frac{5}{9}(t_F - 32)$	t_F	$\frac{5}{9}(t_F - 32) + 273$
t_k	$t_k - 273$	$\frac{9}{5}(t_k - 273) + 32$	t_k
冰点	0	32	273
水沸点	100	212	373

1.1.2 压力

在工程上把单位面积上所受的垂直作用力称为压力,而在物理学上称为压强。

用公式表示为:

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

式中: P ——压力, Pa;

F ——垂直作用力, N;

S ——面积, m^2 。

压力的单位为帕(Pa),在工程计算中由于 Pa 单位太小,经常用千帕(kPa)或(MPa)来代替。 $1\text{kPa} = 1 \times 10^3\text{Pa}$, $1\text{MPa} = 1 \times 10^6\text{Pa}$ 。

在物理学上常用物理大气压(又称标准大气压)这个单位,它是指纬度 45° 的海平面上大气的常年平均压力,其值为 $1\text{atm} = 0.101\text{MPa}$ 。

在工程上过去常用工程大气压(kgf/cm^2),它的值为 $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.0981\text{MPa}$ 。

由于测压仪表的工作原理建立在力的平衡原理上,其数值不是绝对值(绝对压力),而是相对于大气压的差值,即相对压力,又称表压。绝对压力与表压之间的关系为:

$$P_i = P_b + B,$$

式中: P_i ——绝对压力, MPa;

P_b ——表压, MPa;

B ——当地大气压, MPa。

当被测容器内压力低于大气压时,其表压为负值,工程测试中称为真空度。

各种压力之间的换算见表 1-2。

表 1-2 压力换算表

公斤力/厘米 ² (工程大气压) (at)	大气压(标准) (atm)	米水柱 (mH_2O)	毫米汞柱 (mmHg)	磅力/英寸 ² (lbf/in^2)	达因/厘米 ² (巴, bar) (dyn/cm^2)	帕斯卡 (N/m^2)
1	0.9678	10	735.56	14.223	0.981	0.981×10^5
1.0333	1	10.3333	760	14.696	1.013	1.013×10^5
0.1	9.678×10^{-2}	1	73.556	1.422	0.0981	9.81×10^3
1.36×10^{-3}	1.316×10^{-3}	13.596×10^{-3}	1	1.934×10^{-2}	1.333×10^{-3}	1.333×10^2
0.07	0.068	0.703	51.715	1	6.895×10^{-2}	6.895×10^3
1.020	0.987	10.20	750	14.5	1	10^5
1.02×10^{-5}	0.987×10^{-5}	1.02×10^{-4}	7.5×10^{-3}	1.45×10^{-4}	10^{-5}	1

1.1.3 比容

单位质量的物质所占有的容积称比容。用公式表示为:

$$v = \frac{V}{G},$$

式中: v ——比容, m^3/kg ;

V ——容积, m^3 ;

G ——质量, kg 。

§ 1.2 热力学的基本定律

热力学第一和第二定律是基本定律,也是制冷技术的理论基础。它们说明了制冷机中功和能(热量)之间相互转换的关系及条件,以及制冷要消耗功的原因。

1.2.1 热力学第一定律

阐述能量相互转换与守恒的热力学第一定律可表达为:在任何发生能量转换的热力过程中,转换前后能量的总量维持恒定。它是自然界的一个普遍规律,是对参与热力过程的各项能量之间量的关系进行分析的基本依据。在制冷技术中,它可确定制冷循环中各种能量在转换过程中的数值,制冷系统与外界的能量交换的主要形式是作功和热量传递。

1.2.2 气体的压缩功及压容图(p - v 图)

气体压缩时,外力对气体作功。图 1-1 为一个理想的气缸,活塞在气缸里可作无摩擦运动,气体的压力为 P ,比容为 v ,当活塞在外力作用下使活塞向左移动,气体的比容减少,外力对气体作功,这功称为压缩功。反之,当气缸内压力大于外部大气压力时,活塞要向右移动,气体膨胀使比容增大,气体对外界作功,这功称为膨胀功。在热力学中规定:膨胀功为正功,压缩功为负功。

假设气缸里有 1kg 气体,其压力为 P_1 ,所占的容积为 v_1 ,在 P - v 图上用 1 点表示它所处状态;如果对活塞施加外力 f ,使活塞向左移动,如果保持气缸压力 P_1 不变,活塞移动后到达 2 点,气缸里气体比容减小到 v_2 ,其压缩过程在图 2-2 中为一横线 1-2。在活塞无摩擦的理想情况下,对 1kg 气体而言的压缩功为:

$$L = FPS = P(v_1 - v_2),$$

式中: L ——压缩功, J

F ——活塞面积, m^2 ;

P ——压力, Pa ;

S ——活塞行程, m ;

v_1, v_2 ——比容, m^3/kg 。

上式中的压缩功 L 值在 P - v 图上正好是过程线 1-2 下的一块面积。

在实际的压缩过程中,由于气体压力的不断升高,是一个非等压过程,使计算就变得复杂了。但是还可以利用 p - v 图将压缩过程分成许多微小的压缩过程来计算,如图 1-2 所示,在这个微小过程中由于压力变化非常小,就可以近似地看作等压过程。图中打斜线的这块面积就是这微小过程中所作的压缩功,把许多个微小过程合起来,过程线 1-2 下的面积就是整个过程的压缩功。

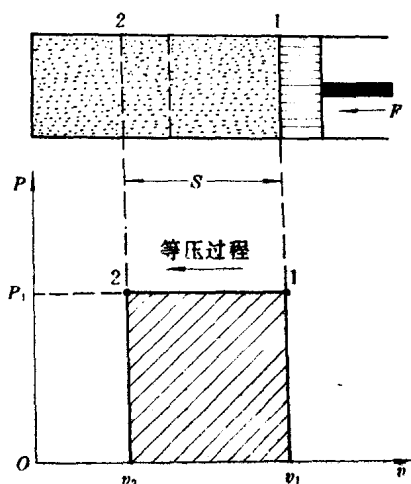


图 1-1 等压过程 $P-v$ 图

$P-v$ 图在热力工程中又叫示功图。

1.2.3 热力学第二定律

热力学第二定律阐述了热功转换的方向、条件及限制。有几种等效表达：①不可能把热量从低温物体传至高温物体而不需要附加条件(如制冷机)；②不可能从单一热源取热量使之变为有用功而不产生影响；③不可能造出一种机器在循环动作中把一重物提升而同时使一低温热库冷却。制冷装置是根据热力学第二定律，用消耗一定的压缩功或热能(或电能)作为补偿条件，把热量从低温库传递到外界的高温环境中，如图 1-3 所示，从而达到连续制冷的目的。

1.2.4 热效率和制冷系数

动力工程中将热能转变为机械功的设备称为热力发动机或热机。如果一热机从一热源吸取了 Q 的热量，根据热力学第二定律，只能把其中的一部分能量转变成机械功 L 。热机输出功与吸取热量之比称热效率，即

$$\eta_t = \frac{L}{Q}。$$

根据热力学第二定律， η_t 总是小于 1，因为吸热 Q 中的一部分 $(Q-L)$ 不能被利用，而要排放到周围环境中去。

对于制冷机来说，根据热力学第二定律，要把低温库中的热量 Q_2 排放到高温的环境中，必须消耗一定的机械功 L 。为了评定制冷机的性能，便引出了制冷系数 ϵ ，即

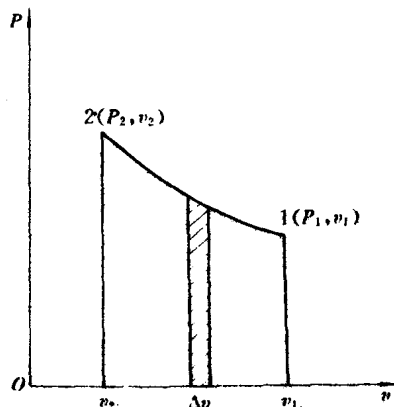


图 1-2 非等压过程 $P-v$ 图

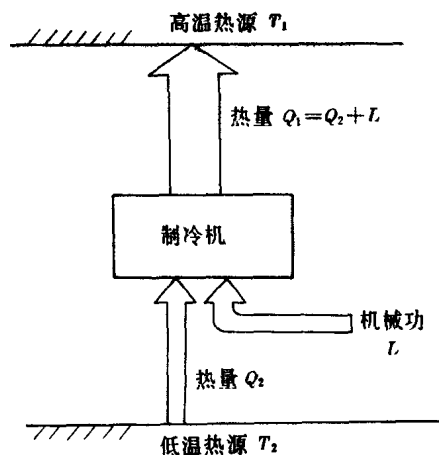


图 1-3 从低温热源向高温热源抽热

$$\epsilon = \frac{Q_0}{L}。$$

ϵ 的值可以大于 1, ϵ 愈大, 则在相同的条件下, 该制冷机的性能愈好。因此, 制冷技术的重要任务之一是不断提高制冷系数 ϵ 。

1.2.5 热力学第三定律

它是研究低温现象而得到的一个热力学定律, 指出: 不可能用有限个手续使一个物体冷却到绝对温度零度(0K)。换句话说, 0K 只能无限地接近, 但无法达到。

§ 1.3 热量、焓和熵的概念

在制冷与空调技术中, 经常要遇到热量、焓和熵等热力学参数, 并用它们来进行制冷循环的分析与计算, 因此读者首先要理解这些参数的物理意义。

1.3.1 热能、热量和功

一切物体都由大量的分子组成, 这些分子总是永远不停地无规则运动着, 分子间还有作用力。这就是分子运动论的基本观点。由于分子运动, 使分子具有动能; 由于分子间的作用力, 使分子具有势能。物体内动能和势能的总和, 叫做物体的内能。内能与物体的温度、体积、质量和组成有关, 对于一定质量的某种物体(如冰箱中的制冷剂)来说, 当它的体积或温度变化时, 都将会引起物体内能的变化。

热能 是能量的一种形式, 它是物质分子运动的动能。热能是可以随物质运动由这种形式转变为另一种形式的能量。

热量 是物质热能转移时的度量, 表示某物体吸热或放热多少的物理量。热量的单位为焦耳(J)或千焦耳(kJ)。

比热 是用来衡量单位质量物质温度变化时所吸收或放出的热量。比热的单位为 J/(kg · K) 或 kJ/(kg · K)。

显热 物体在加热(或冷却)过程中, 温度升高(或降低)所需吸收(或放出)的热量, 称为显热。它能使人们有明显的冷热变化感觉。通常可以用温度计测量物体的温度变化。

如果把一杯开水(100℃)放在空气中冷却, 不断地放出热量, 温度也不断地下降, 但其形态仍然是水, 这种放热称为显热放热。同样, 把饮水放入电冰箱中, 它的温度会逐渐下降, 在冷却到 0℃ 之前放出的热量也是显热。

潜热 当单位质量的物体在吸收或放出热量的过程中, 其形态发生变化, 但温度不发生变化, 这种热量无法用温度计测量出来, 人体也无法感觉到, 但可通过实验计算出来, 这种热量就称为潜热。

例如, 把一块 0℃ 的冰加热, 它不断地吸热而熔化, 但其温度维持不变, 直至固体的冰完全熔化成水之前。这时单位质量的冰所吸收的热量称为溶解潜热。与上述现象相反, 从 0℃ 的水中抽取热量, 则会使水凝固成冰, 这时单位质量的水放出的热量就称为凝固潜热。100℃ 的水因沸腾而汽化时, 所吸收的热量称为蒸发潜热, 也称汽化潜热; 相反, 100℃ 的蒸气变成 100℃ 的水时, 所放出的热量称为液化潜热。

功和功率 使用外力去移动物体时所消耗的能量称功。功的单位为焦耳(J)或千焦耳(kJ)。单位时间内所消耗的功称为功率, 其单位为瓦(W)或千瓦(kW)。

1.3.2 内能和焓

当施加外力对气体压缩时, 它从外界得到一定的压缩功, 由热力学第一定律知道, 有一定

的外界能量输入,它不会自行消失,一定贮存在气体内部。这种贮存在气体内部的能量被称为内能。从分子运动的观点来分析,气体的内能与分子的运动和分子间的作用力有关,即内能是分子动能和势能的总和。内能是一个气体状态参数,但它不能直接测量,而是用热力学第一定律推论来的。对于 1kg 气体而言,内能用 u 表示,单位为 J/kg。由于 u 无法测出,实际计算中只用其相对变化值,一般假定 0℃ 状态下的气体内能为零。

在热力工程计算中,经常碰到气体内能和推动功 Pv 两项,它们的和称为焓,用符号 i 表示为:

$$i = u + Pv。$$

从上式可看出,焓由三个状态参数 u 、 P 、 v 复合而成,因此它也是气体状态参数。在热机工程和制冷工程中,焓经常用到,而且使计算大大简化。

与内能一样,焓值也不能直接测量,只能用其相对值。制冷工程中一般假定 0℃ 饱和液体的焓人为地定为 500 或 200kJ/kg,于是各种状态下的焓值便可确定。

由于焓包含在气体内部,因此它是随气体(制冷剂)流动的能量。这对换热器热力计算很重要。

1.3.3 熵

熵是表征工质状态变化时,与外界换热程度的一个导出的热力状态参数。对 1kg 工质而言,熵用符号 s 表示,单位为 kJ/(kg·K)。与焓一样,熵的绝对值也无法测定,只需了解工质状态变化时熵的变化情况,即用其相对值。

1kg 工质在等温加热过程中,从外界加入热量 q ,加热时的温度为 T (绝对温度),加热前后的熵分别为 s_1 和 s_2 ,对于理想过程可得到

$$s_2 - s_1 = \frac{q}{T},$$

或

$$q = T(s_2 - s_1)。$$

因此,引入状态参数熵以后,理想过程的热力计算就很方便,在制冷技术中也很有用处。

当 $s_2 > s_1$ 时, $q > 0$,表示工质从外界吸收热量;当 $s_2 < s_1$ 时, $q < 0$,表示工质对外界放热;当 $s_2 = s_1$ 时, $q = 0$,表示等熵过程,即绝热过程。显然,对于制冷剂的理想绝热过程来说,是一个等熵过程。

1.3.4 T - s 图

在热力设备中,常用 T - s 图来计算工质与外界换热量的大小。用绝对温度 T 为纵坐标,用熵 s 作横坐标,所构成的热力状态图称温熵图(T - s 图),如图 1-4 所示。在图中的任一点都代表工质的某种状态,某状态变化可用过程线来表示,平行纵坐标的为等熵过程,平行横坐标的为等温过程。图中 1-2 为等温过程,该过程吸收的热量 $+q$ 用 1-2 线下面的面积 1-2-3-4-1 表示;1-2' 过程为放热过程,放出热量 $-q$ 用面积 1-2'-3'-4'-1 表示;1-2'' 为等熵过程,过程线 1-2'' 下面面积为零,无吸放热,因此 1-2'' 为绝热过程。

如果过程中 T 是变化的,那么在 T - s 图上的过程线是一曲线,如图 1-5 所示。在这种情况下,把过程 1-2 分成许多微小过程,即在横坐标上为许多个 Δs ,在每个微小过程中 T 可看作不变,这个微小过程的吸放热可用过程线下的面积来表示。由于 T - s 图能反映一个过程的吸热或放热,因此在热力过程中又称示热图。

1.3.5 R12 的 T - s 图

图 1-6 为氟里昂(R12)在定压下汽化过程的 T - s 图。该过程经历三个阶段,呈现五种状态:

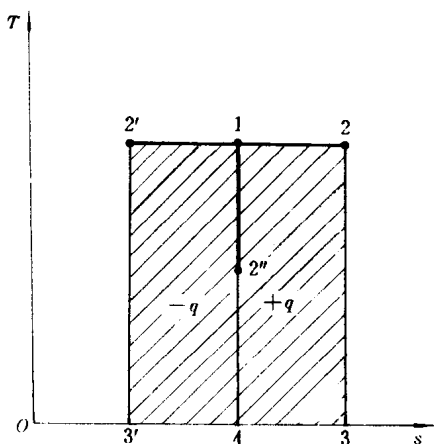


图 1-4 $T-s$ 图

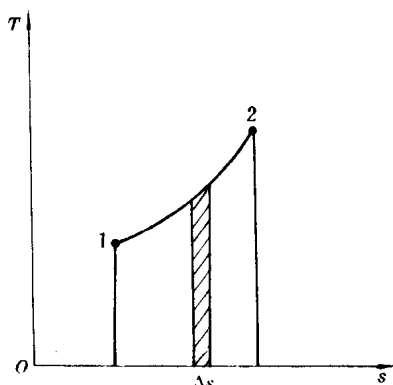


图 1-5 一般过程的 $T-s$ 图

$1^{\circ}-1'-1''-1$ 为这一过程线,其中 $1^{\circ}-1'$ 为液体加热阶段,点 $1'$ 为饱和液体; $1'-1''$ 为湿蒸气汽化阶段,点 $1''$ 为干饱和蒸气; $1''-1$ 为蒸气过热阶段,点 1 为过热蒸气。

图中过程线 $2^{\circ}-2'-2''-2$ 与 $1^{\circ}-1'-1''-1$ 的不同点:压力提高后饱和温度升高,即液体的沸点提高;压力的提高使汽化过程缩短。若继续提高压力,得到与上述类似的情况。将不同压力下的 R12 汽化过程线画在 $T-s$ 图上,(见图 1-6),并作如下处理:

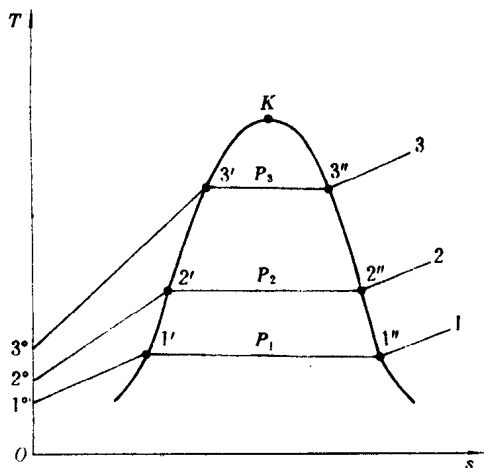


图 1-6 R12 的 $T-s$ 图

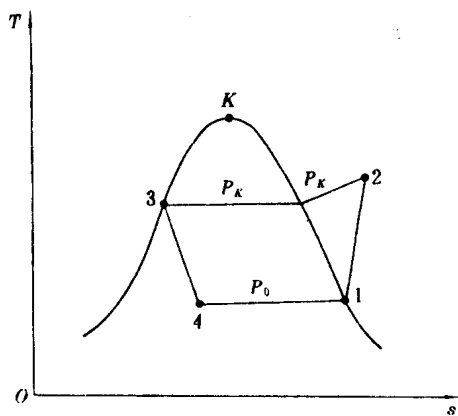


图 1-7 热力过程的 $T-s$ 图

(1) 将不同压力下代表饱和液体的各点连起来,得到一条饱和液体线 $1'-2'-3' \dots$,称为下界线。

(2) 将不同压力下代表干饱和蒸气的各点连起来,得到一条 $1''-2''-3'' \dots$,就是干饱和蒸气线,称上界线。

(3) 上界线与下界线的交点 K 称为临界点,在临界压力下,液体汽化阶段缩短为一点,即汽化在一瞬间完成。

这样,在 R12 的 $T-s$ 图上可归纳出如下要点:

一点(临界点);二线(上界线、下界线);三区域(下界线左边的过冷液区、上界线右边的过热蒸气区、两线之间的湿蒸气区)、五状态(过冷液体、饱和液体、湿蒸气、干饱和蒸气、过热蒸气)。

利用 $T-s$ 图可以很方便地表示和分析制冷装置的热力过程,如图 1-7 所示。1-2 为压缩机中的绝热等熵过程,从 1 吸入干饱和蒸气,排出过热蒸气,排出压力为 P_k ;2-3 为冷凝器里的等压冷凝过程;3-4 为节流阀(毛细管)中的等焓节流过程;4-1 为蒸发器中的等压(P_0)汽化吸热过程。

§ 1.4 制冷剂状态变化及术语

1.4.1 物质的三态及变化

物质是具有质量和占有空间的物体,它以固态、液态和气态三种状态中的任何一态存在于自然界中,随着外部条件的不同,三态之间可以相互转化,如图 1-8 所示。如果把固体冰加热便变成水,水再加热就变成蒸气;相反,对水蒸气冷却可变成水、继续冷却可结成冰。这样的状态变化对制冷技术有着特殊意义,人们可利用制冷剂在蒸发器中汽化吸热,而在冷凝器则又冷凝放热,即应用热力学第二定律的原理,通过制冷机对制冷剂气体的压缩,以及以后在冷凝中的冷凝和蒸发器中的汽化,实现热量从低温空间向外部高温环境的转移,实现制冷目的。

物质在状态变化过程中,总是伴随着吸热或放热现象,这种形式的热量统称为潜热,如熔化潜热、凝固潜热、汽化潜热、液化潜热、升华热和固化热。

1.4.2 沸腾、蒸发、冷凝、液化

沸腾和蒸发是汽化的两种形式。

沸腾 在一定温度(沸点)下,液体内部和表面同时发生剧烈的汽化过程,称为沸腾。这时,液体内部形成许多小气泡上升至液面,迅速汽化并吸收周围介质的热量。

蒸发 在任何温度下,液体外露表面的汽化过程称为蒸发。蒸发在日常生活中到处可见,如放在杯子中的酒精很快会蒸发掉,湿衣服晒在阳光下会干燥等。物质的蒸发过程伴随着吸热。

在制冷技术中,习惯上把制冷剂液体在蒸发器中的沸腾称为蒸发,这种换热器叫蒸发器也来源于此。

冷凝 又称液化。物质从气态变成液态的过程称冷凝或液化。例如,水蒸气遇冷就会凝结成水珠。水蒸气液化很容易,但有些气体的液化要在较低温度和较高压力下才能实现,例如电冰箱中制冷剂 R12 在室温下液化,需加压到 0.6MPa(6 个大气压)以上,才能在冷凝器中放热液化。

冷凝或液化都伴随着放热。

冷凝和汽化是相反过程,在一定的压力下,蒸气的汽凝温度与液体的沸腾温度(沸点)相同,汽化潜热与液化潜热的数值相等。

1.4.3 饱和、过冷、过热与临界状态

饱和温度和饱和压力 装在密闭容器里的液体,从液面飞升出来的分子不可能扩散到其

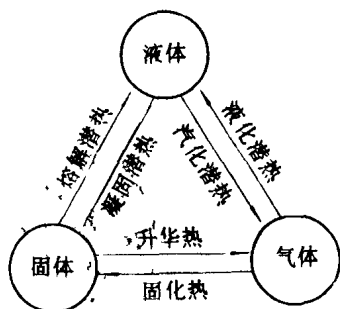


图 1-8 物质三态的转化

他地方去,只能聚积在液体上面的那个空间里,作无规则的运动。其中一部分气体分子碰撞液面时,又回到液体中去,一部分新的分子又从液面上飞升到气空间,当两者达到平衡时,空间里的气体比容不再变化,液体和它的蒸气处于动态平衡状态,蒸气中的分子数不再增加,这种状态称饱和状态。在此状态下的蒸气称为饱和蒸气,饱和蒸气的温度称为饱和温度,饱和蒸气的压力称为饱和压力。

过冷和过热 在饱和压力的条件下,继续使饱和蒸气加热,使其温度高于饱和温度,这种状态称为过热。这种蒸气称为过热蒸气。饱和液体在饱和压力不变的条件下,继续冷却到饱和温度以下称为过冷。这种液体称为过冷液体。

临界温度与临界压力 各种气体当压力升高时,其比容减小。随着压力继续升高,蒸气的比容逐渐接近于液体的比容,当两者相等时,称为临界状态。对应于临界状态点的温度称临界温度,压力称临界压力,比容称临界比容。每一种气体都有一临界点,临界温度对气体液化有很大意义,因为在临界温度以上的蒸气,无论加多大的压力,都不能液化。

§ 1.5 传热和隔热的基本知识

热力学第二定律阐述了传热的方向,但没有涉及传热形式及具体过程。热量从高温物体(空间)向低温物体(空间)传递的过程是很复杂的,它是属于传热学所研究的内容,其基本形式有三种:导热、对流和辐射。为了更好地传热,就要了解传热方式和设计换热器。

隔热又称绝热,它是利用隔热材料来防止热量从外界向冷却对象(空间)渗透(应用在制冷技术中),或防止热量散失到周围环境中,例如热能工程中供热管道的隔热等。

传热和隔热的本质是一样的,仅是应用的场合不同,在换热器中要求传热好,而对冷库、冰箱等则要求其外壳有好的隔热性能。

1.5.1 导热、对流和辐射

1. 导热

导热又称热传导。物体各部分温度不同时,热量从物体的一部分传递到另一部分,或者温度不同的物体接触时,热量从温度高的物体传递给温度低的物体的过程,称为导热。导热是在固体、静止液体或气体中由分子振动而引起的传热现象。导热总是在温度降低的方向上发生,而且是固体中唯一可能发生的传热现象。

不同的材料其导热本领不一样,容易导热的物质叫热的良导体,如金、银、铜、铁、铝等。相反,不容易导热的物质叫隔热(绝热)材料,如棉毛、软木、泡沫塑料、空气等。在制冷和空调技术中,经常要遇到选用优良导热材料和隔热材料的实际问题。

2. 对流换热(简称对流)

流体与固体表面接触时由于流体本身的运动而引起的传热过程,或流体内部因各部分的温度不同而发生流体运动所引起的传热过程,称为对流换热。其实,对流换热过程中除了因流体质点运动而引起传热外,其中还包含了界面上的导热和流体内部的导热。因此,对流换热是一个很复杂的传热过程,至今还未能用精确的方程式来计算,而是用试验方法确定。

对流只能在液体和气体中进行,是对流所特有的一种传热方式。电冰箱蒸发器从箱内空气中吸收热量,冷凝器把热量散发到空气中,都是靠对流传热。

3. 辐射换热(简称辐射)

辐射是通过电磁波传递热量的过程。物体可以通过各种形式发射辐射能,由于温度原因发