

中小型冷库制冷系统和操作

余 根 法 编

中小型冷库制冷系统和操作

余根法 编

• • •
责任编辑 范崇权

农业出版社出版 (北京朝阳区枣营路)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16 开本 12.5 印张 1 插页 268 千字

1989年7月第1版 1989年7月北京第1次印刷

印数 1—3920 册 定价 4.75 元

ISBN 7-109-00620-4/S·469

前 言

近年来，中、小型冷库发展较快，社会对适合中、小型冷库的管理人员和技术工人阅读的制冷读物的需求极为迫切。为此，作者根据教学经验和生产实际的经验，编写了这本专为冷库制冷生产服务的中级读物。

本书在编写时，立足在实用目的，注意在讲清原理的基础上，培养分析、比较和解决问题的能力。

本书的主要内容有制冷技术的基础知识，制冷原理，制冷机的主机和辅机，冷库制冷系统，自控元件，操作、调整和维修技术等。

本书适合具有中等文化水平，又有一定实践经验的冷库技术人员、管理人员和技术工人阅读，也可供中等学校相应专业的师生参考，并适合作冷库操作工的培训教材。

本书在编写时得到中国水产科学研究设计院孙瑞璋高级工程师的指导，谨此致谢。

对本书中的错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

1987年5月

目 录

第一章 制冷技术基础知识	1
第一节 物质的三态和转化	1
一、物质的三态	1
二、物态的转化	1
第二节 液体的汽化和气体的液化	2
一、液体的汽化	2
二、气体和液体的几种状态	2
三、气体的液化	2
第三节 物质的状态参数	2
一、温度	2
二、压力 p	3
三、比容	4
四、焓 i	4
五、熵 s	4
第四节 热力学定律	4
一、热力学第一定律	4
二、热力学第二定律	5
第五节 湿空气	5
一、空气的湿度	5
二、空气的焓 i	6
三、湿空气的 i - d 图	6
第六节 传热	7
一、导热	7
二、对流	8
三、辐射	8
四、通过平壁的稳定传热	8
五、传热的平均温度差	9
第七节 流体的流动和节流	10
一、流体的流动方程	10
二、流体流动阻力的起因	11
三、流体在圆管内层流时的速度分布	11
四、流体在圆管内紊流时的速度分布	11
五、影响流体流动阻力的因素	11
六、流体的节流	12
第二章 活塞式压缩机	13
第一节 概述和工作原理	13

一、概述	15
二、活塞式压缩机的工作原理	15
第二节 活塞式压缩机的主要零部件	15
一、机体	15
二、曲轴	15
三、主轴承	16
四、连杆	16
五、活塞组	16
六、吸、排气阀组	19
七、汽缸套	22
八、密封器	22
九、安全阀	22
十、能量调节装置	22
十一、压缩机的润滑系统	23
第三章 制冷设备	27
第一节 冷凝器	27
一、立式壳管式冷凝器	28
二、卧式壳管式冷凝器	28
三、蒸发式冷凝器	28
四、淋浇式冷凝器	29
五、风冷式冷凝器	29
六、影响冷凝器中传热的因素	29
第二节 蒸发器	31
一、概述	31
二、卧式壳管式蒸发器	31
三、螺旋管式蒸发器	31
四、冷却排管	31
五、冷风机	37
六、平板冻结器	38
七、蒸发器中的传热	38
第三节 附属设备	41
一、油分离器	41
二、集油器	42
三、中间冷却器	43
四、高压贮液器	44
五、排液桶	44
六、循环贮液桶	45
七、氨液分离器	45
八、空气分离器	47
九、过滤器	48
十、紧急泄氨器	48
十一、氨泵	49
第四节 控制器件与指示仪表	52

一、手动控制阀	52
二、电磁阀	54
三、恒压阀	55
四、主阀	56
五、浮球阀	57
六、止逆阀	57
七、压力控制器	60
八、压差控制器	61
九、液位控制器	63
十、热力膨胀阀	64
第四章 制冷剂与冷媒	68
第一节 制冷剂的分类与性质	68
一、对制冷剂的要求	68
二、制冷剂的分类	68
三、制冷剂的毒性与爆炸性	70
第二节 常用制冷剂	71
一、氨 (R717)	71
二、氟利昂	71
三、共沸溶液	72
第三节 冷媒	73
一、对冷媒的要求	73
二、常用冷媒	73
第五章 制冷系统与功热计算	77
第一节 压焓图	77
一、等压线和等焓线	77
二、饱和液体线和干饱和气体线	77
三、压焓图上的聚态区	78
四、等干度线	78
五、等熵线	79
六、等温线	79
七、等容线	79
八、状态参数的查法	80
第二节 冷库制冷原理	80
一、循环过程	80
二、理论循环	81
三、功热计算	81
四、两级压缩制冷循环	82
第三节 直接膨胀供液制冷系统	86
一、供液原理	86
二、改善膨胀供液的措施	86
第四节 重力供液系统	87
一、工作原理	87
二、供液系统	88

三、重力供液系统的主要优缺点	88
四、氨液分离器的选择和安装应注意的问题	90
五、重力供液系统的功热计算	90
第五节 氨泵供液系统	91
一、工作原理	91
二、供液方式	91
三、再循环倍数	92
四、循环桶的控制液位与泵进口管间的相对标高	92
五、管径选择	93
六、氨泵的排出压力	93
七、氨泵供液系统的特点	94
八、氨泵回路应注意的问题	94
九、氨泵供液系统的功热计算	95
第六节 混合供液系统	95
一、供液方式	95
二、混合供液方式的优缺点	96
第六章 制冷系统的操作与调整	97
第一节 活塞式压缩机的制冷量	97
一、压缩机的活塞排量 V_h	97
二、活塞式压缩机的理论过程	97
三、活塞式压缩机的实际过程	97
四、压缩机的吸气系数 λ_s	98
五、压缩机的制冷量 Q	101
六、压缩机制冷量与工况的关系	104
七、制冷量的标准和换算	105
第二节 压缩机的功率和效率	105
一、压缩机的指示功率和指示效率	105
二、压缩机的轴功率、摩擦功率和机械效率	108
三、压缩机所需电动机的功率	108
四、制冷压缩机的最大功率工况	108
第三节 压缩机的操作	109
一、压缩机开机前的准备工作	109
二、氨压缩机的开机程序和注意事项	111
三、氨压缩机的停机程序和注意事项	112
四、压缩机的加油操作	114
五、压缩机的反向操作	114
六、压缩机运行时, 操作人员的管理内容和要求	115
七、氨压缩机正常运行的标志	115
第四节 压缩机常见故障及排除方法	116
一、压缩机不能正常启动	116
二、压缩机已启动, 忽又停机	117
三、压缩机正常运转中, 突然停机	117
四、压缩机运转中油压下降	117

五、压缩机启动后,油压表指针不动	118
六、油压表指示压力过高	118
七、油压表指示压力不稳定	119
八、曲轴箱内油温过高	119
九、曲轴箱内油起泡沫	119
十、压缩机耗油过多	120
十一、曲轴箱中压力过高	120
十二、曲轴箱中有敲击声	121
十三、曲轴箱外壁结霜	121
十四、汽缸中有敲击声	121
十五、排气压力过高	122
十六、汽缸壁温度过高	122
十七、汽缸拉毛	123
十八、排气温度过高	123
十九、吸入气体过热	124
二十、阀片漏气或碎裂	124
二十一、密封器漏油	124
二十二、密封器温度过高	125
二十三、轴承温度过高	125
二十四、连杆大头轴瓦熔化,与曲柄销抱合	125
二十五、压力表针跳动剧烈	125
二十六、连杆螺栓折断	126
二十七、能量调节机构失灵	126
第五节 制冷设备的操作与管理	127
一、放空气操作	127
二、设备放油操作	129
三、除霜操作	131
四、冷凝器的操作管理	134
五、高压贮液器的操作管理	135
六、循环桶的操作管理	136
七、低压贮液器的操作管理	136
八、排液桶的操作管理	136
九、冷风机的操作管理	136
十、盐水蒸发器的操作管理	137
十一、氨泵的操作管理	138
十二、冷却排管的操作管理	139
十三、中间冷却器和氨液分离器的操作管理	139
第六节 氨制冷系统的操作调整	139
一、制冷系统的工况参数	139
二、制冷系统的操作与调整	145
第七节 氨制冷系统的故障和排除	152
一、蒸发压力过低	152
二、蒸发压力过高	153

三、冷凝温度过高	154
四、冷凝压力过低	155
五、冷却排管不结霜	155
六、中间压力过高	155
第八节 制冷系统的试验和加氨操作	156
一、氨制冷系统的排污	156
二、系统试压	156
三、系统检漏	157
四、系统真空试验	157
五、系统充氨试验	157
六、系统灌氨	158
七、库房降温	159
第七章 氨制冷系统的安全操作	160
第一节 安全装置与设备	160
一、安全装置及其作用	160
二、安全标志	162
第二节 安全操作	163
一、阀门的安全操作	163
二、设备与管道的安全检修	163
第三节 氨瓶的使用与保管	163
一、氨瓶使用时应注意的安全事项	163
二、氨瓶的贮存和保管	164
三、氨瓶的运输	164
第四节 预防措施与紧急救护	165
一、预防措施	165
二、跑氨事故的抢修处理	165
三、人员受氨损伤时救护	166
第八章 制冷机器与设备的检修	167
第一节 活塞式制冷压缩机的检修	167
一、检修的种类和内容	167
二、拆卸工艺	168
三、零件的检查和测量	170
四、零件的修理	175
第二节 压缩机的装配与试车	178
一、部件组装	178
二、总装	179
三、试车	180
第三节 制冷设备的检修	182
一、检修的种类和内容	182
二、容器和热交换器的检修工艺	183
三、其他设备的检修	184
附录1 R-717的logp-i图	185
附录2 氨 (R-717) 饱和特性表	188



第一章 制冷技术基础知识

第一节 物质的三态和转化

一、物质的三态

在我们周围存在的各种各样的物质虽然千差万别，但都是由各自的分子组成的。组成物质的分子之间存在一定的空隙，分子又在不停地运动，分子之间既有引力又有斥力。分子在运动中还会发生碰撞，有的获得能量，有的失去能量，因此，分子运动的轨迹是不规则的。同一种物质，由于分子运动的能量不同，分子间距离也不同，在物态上就有固体、液体和气体之分。

气体的分子具有较大动能，可以均匀地充满任何形状的空间，气体密度较小，分子间有较大空隙，因此分子间引力和斥力都较小，并且可被压缩。

液体分子的动能较小，分子较密集，相对地说是不可压缩的。但是液体的分子可以互相移位，因此，液体的外形还可以随容器而改变。但分子间引力或斥力较大，分子运动的自由度受限。

固态物质的分子一般都呈有规律的排列，分子之间不能作相对运动，只能围绕平衡位置作有限的振动，因此，固体具有确定的形状和较大的密度。

二、物态的转化

物质的三态依赖一定的条件存在，也可在一定的条件下互相转化，如：对冰加热，冰可融化为水，水再加热可以转化为蒸汽。蒸汽冷却时可凝结成液体，液体冷却到一定程度又可结晶成固体。这种物质能量的变化引起物态的变化称相变。相变有以下几种：

固体变液体称溶化或融解，吸热。

固体变气体称升华，吸热。

液体变固质称结晶或凝固，放热。

液体变气体称气化，吸热。

气体变液体称凝结或冷凝，放热。

物质在相变时吸收或放出的能量并不改变物质的温度，只改变分子间的聚态状态，因此，相变过程是一个等温过程。相变时吸收或放出的热量称潜热。

相变时，凡是分子由密集状态或较稳定状态转化为运动自由度较大的状态时，必须吸收能量，以摆脱分子间的引力，凡是分子由较松散状态转变为密集状态或以一定规则排列

起来时，则必须夺去其一部分运动的能量，才能使其在能量较低的状态下稳定下来。

第二节 液体的汽化和气体的液化

一、液体的汽化

液体的汽化有两种类型：

(一) 蒸发 液体表面发生的汽化现象称蒸发，蒸发可以在任何温度下进行。蒸发时液体若不能从外界获得热量，则温度将相应降低。

(二) 沸腾 液体表面和内部同时发生的剧烈汽化现象称沸腾，沸腾必须在加热情况下才能继续进行，沸腾时液体表面的蒸汽压力达到最大值，且与外界的压力相等。

增加液体的温度、降低液体表面的环境压力可以加速液体的汽化。

二、气体和液体的几种状态

(一) 湿蒸汽 液体和蒸汽的共存体称湿蒸汽。

(二) 饱和状态 湿蒸汽中汽体的密度大到与液体没有区别时，此湿蒸汽所处的状态为饱和状态，饱和状态时的压力称饱和压力，其温度为饱和温度。密闭容器内液体蒸发形成的蒸汽达到最大密度时，即达饱和状态。沸腾中的液体和蒸汽也呈饱和状态。

(三) 不饱和气体 气体的密度小于同温度时饱和气体的密度时称不饱和气体。

(四) 过冷液体 温度低于同压力下饱和液体温度的液体称过冷液体。

(五) 干饱和气体 没有液体的饱和气体称干饱和气体。

(六) 过热气体 干饱和气体在等压力加热即为过热气体，过热气体与同压下饱和气体的温度差称过热度。

三、气体的液化

欲使气体液化，必须缩小分子间的距离，降低分子的运动能量。工业上一般用提高气体压力，降低气体温度和夺取液化潜热的方法来液化气体。

第三节 物质的状态参数

所有物质都在一定条件下，以一定状态存在于自然界。描述物质这种存在状态的特性参数，称状态参数。制冷工程上常用的状态参数有：温度、压力、比容、内能、焓和熵。

一、温度

温度表示物体冷热的程度，它反映物质内部分子运动的剧烈程度。物体的温度可用温度计测量。为了比较温度高低，应有规定的温度尺度，即温标。

(一) 摄氏温标 温标符号 $^{\circ}\text{C}$ ，温度值代号 t 。摄氏温标在工程上应用极广，其零点是一个大气压下纯水的冰点，并将其沸点定为 100°C ，中间作100等份，每一等份为 1°C 。

(二) 凯氏温标 温标符号 $^{\circ}\text{K}$ ，温度值代号 T 。凯氏温标的起点比摄氏温标的起点低 273.16°C ，那是通过计算推导出物质完全停止分子运动时的温度。当然，由于分子运动不

可能完全停止，凯氏温标的零度是永远达不到的。凯氏温标在热力学中有广泛应用。凯氏温度和摄氏温度可通过下式换算：

$$T = t + 273.16^{\circ}\text{K}$$

二、压力p

压力是单位面积上所受垂直力的量度。它反映大量分子单位时间内撞击容器壁的次数和强度的综合效果。

(一) 压力的表示方法 压力的大小通常有以下几种表示方法：

1. 用单位面积上所受力的大小表示 工程上通常力的单位用公斤，面积用米²或厘米²，则压力的单位为公斤/米²或公斤/厘米²。

2. 用液柱高度表示 一般压力小于1公斤/厘米²时，其大小用液柱表示。压力相等时，比重小的液体液柱高，比重大的液体液柱低，实际使用时可根据压力大小选择表示方法。常用液柱单位有水柱、汞柱两种，很小压力也可用毫米水柱表示。

3. 用工程大气压表示 工程上规定1公斤/厘米²为1个工程大气压。

(二) 压力之间的换算 上述三种压力值有以下换算关系：

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10 \text{ 米水柱} = 735.6 \text{ 毫米汞柱}$$

$$1 \text{ 米水柱} = 1000 \text{ 毫米水柱}$$

(三) 大气压 大气压是包围在地球表面一层很厚的大气层的重量对地球表面所造成的压力，因此，大气压的大小随地理位置和季节等因素而改变。根据测定，实际大气压与工程大气压很接近，因此，在制冷工程上可以将大气压看作1公斤/厘米²。

(四) 绝对压力、表压力、真空度

1. 绝对压力 指气体的实际压力。

2. 表压力 气体的实际压力克服大气压力以后使压力表指出压力值的那部分压力，见图1—1。

图中， $p_{\text{表}}$ 即为表压力。显然，

$$\begin{aligned} p_{\text{表压力}} &= p_{\text{绝对压力}} - p_{\text{大气压}} \\ &= p_{\text{绝对压力}} - 1 \quad \text{公斤/厘米}^2 \end{aligned}$$

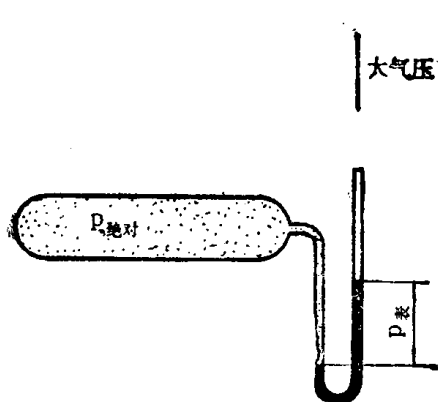


图1—1 表压力示意图

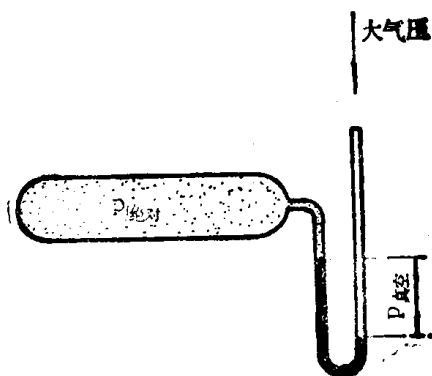


图1—2 真空度示意图

3. 真空度 指气体的绝对压力低于大气压力的数值, 见图 1--2。图中 $p_{\text{真空}}$ 即为真空度。真空度由表压为零向下算起, 气体的绝对压力为零时, 真空度最高, 约为 760 毫米水银柱。

三、比容

单位重量物质所占的容积称比容, 制冷工程上常用的单位是米³/公斤, 代号 v 。比容的倒数是容重, 用 γ 表示, 即:

$$\gamma = \frac{1}{v}$$

四、焓 i

(一) 内能 u 分子的直线运动、旋转运动和振动的动能以及分子间因吸引力构成的位能的总和称内能, 单位千卡*/公斤。

(二) 外能 处于压力为 p , 比容为 v 的稳定状态下的流体, 必然具有与外界压力相对应的能量, 否则就不能维持它原有的状态。这种能量即为外能。其大小为 Apv , 其中 A 为功热当量。如果流体进入较低压力的环境中, 流体必然要膨胀对外作功。因此, Apv 也称压力能或压势能, 单位千卡/公斤。

(三) 焓 焓是由状态参数内能 u 和压势能构成的复合状态参数, 用 i 表示, 则:

$$i = u + Apv \quad \text{千卡/公斤}$$

五、熵 s

熵和焓一样, 也是一个导出的状态参数。如果将焓看作可以反映流体具有的总热能, 那末利用熵量的变化可指明流体热交换的方向和程度。流体在换热过程中, 熵的微量变化是热量的微量变化被换热时的绝对温度相除而得的商。即:

$$\text{熵的微量变化 } ds = \frac{\text{热量的微量变化 } dq}{\text{换热时的绝对温度 } T}$$

第四节 热力学定律

在自然界, 存在多种形式的能量, 例如: 电能、光能、机械能、化学能、热能等等。这些能量既不能无中生有, 也不会自行消灭, 但可以从一种形式转换成另一种形式, 从一个物体转移到另一个物体。能量在转换过程中, 总量保持不变, 这就是能量转换和守恒定律。如果将此定律用于功、热现象, 就称为热力学定律。

一、热力学第一定律

热力学第一定律专门论述热能与机械能之间的转换关系。热力学第一定律可表述为热可以转变为功; 功也可以转变为热。一定量的热消失时, 可产生一定量的功; 消耗了一定量的功, 必产生与其相应量的热。实验测定, 每消耗 427 公斤·米的功必产生 1 千卡热量,

* 1千卡 = 4186.8焦耳, 后同。

人们称此比例关系为功热当量，用A表示，则：

$$A = 1/427 \text{ 千卡/公斤} \cdot \text{米}$$

二、热力学第二定律

热力学第一定律指出了功、热可以互相转换，并遵守能量守恒定律，但没有说明转换的条件和方向。譬如一盆热水放置在空气中，就会自动地散发热量而冷却，根据热力学第一定律，空气所获得的热量也可以自动地聚集起来转移给盆中的水，使它重新热起来。显然，这是不可能的。又如，机械能可以无条件地转化为热能，而热能不可能自动地转化为机械能。可见，在机械能与热能的转换时，存在方向和条件问题。热力学第二定律专门叙述这个问题。

热力学第二定律指出：热量不可能自动地由低温物体流向高温物体，正如水不会自动地由低处流向高处一样。欲使热量由低温物体流向高温物体，必须消耗外功。如利用水泵，以消耗机械能为代价，可以将水由低处提向高处。人工制冷也是利用热力学第二定律，制冷系统消耗了机械功AL，将热量Q₀从低温介质送到高温介质，又根据能量守恒原理，高温介质得到了Q₀ + AL的热量（图1—3）。从而实现制冷过程。

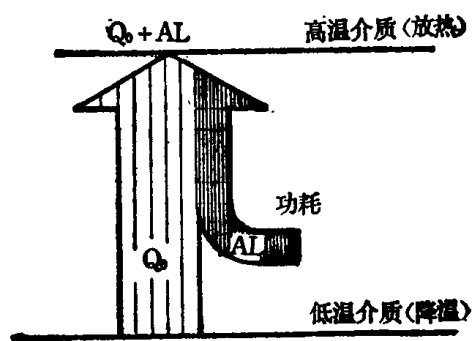


图1—3 人工制冷原理

第五节 湿空气

一、空气的湿度

（一）绝对湿度 自然界存在的空气都含有一定的水分，单位体积内所含水分的重量称绝对湿度，符号 γ ，制冷工程上用公斤/米³作单位。

（二）相对湿度 绝对湿度只能说明湿空气在某一温度下实际所含的水蒸气重量，但不能直接说明湿空气的干湿程度。例如在18℃时，含水蒸气0.0153公斤/米³的空气已达到饱和状态，但在30℃时水蒸气含量要到0.0301公斤/米³才达饱和状态。可见，绝对湿度相等的两种空气，其干、湿程度未必相同。必须在相同温度下，才能根据绝对湿度的数值来判断干、湿的程度，这就给实际使用带来不便。为此，制冷工程上广泛采用相对湿度的概念。

相对湿度是指湿空气的绝对湿度与同温度下饱和空气的绝对湿度的比值，用符号 φ 表示，即：

$$\varphi = \frac{\gamma_{\text{实际}}}{\gamma_{\text{饱和}}} \times 100\%$$

显然，相对湿度反映了湿空气中水蒸气含量接近饱和的程度。 φ 越小，表示空气越干燥，反之空气越潮湿。 $\varphi = 0$ 时称干空气， $\varphi = 100\%$ 时称饱和空气。

(三) 含湿量 1 公斤干空气中所含水分的克数称含湿量, 用符号 d 表示, 可用下式算得:

$$d = 622 \frac{\varphi p}{B - p} \quad \text{克/公斤}$$

式中: p ——饱和水蒸气分压, 毫米汞柱;

B ——大气压力, 毫米汞柱;

φ ——相对湿度。

二、空气的焓 i

湿空气的焓由干空气的焓和水蒸气的焓组成。可用下式算得:

$$i = 0.24t + 0.001d (595 + 0.47t) \quad \text{千卡/公斤} \cdot \text{干空气}$$

式中: t ——湿空气的温度, $^{\circ}\text{C}$;

d ——含湿量, 克/公斤。

三、湿空气的 i - d 图

(一) i - d 图的图线 将湿空气的 t 、 d 、 p 、 φ 及 i 等状态参数之间的关系用线图表示出来, 即为湿空气的 i - d (焓湿) 图如图 1-4。

焓湿图广泛用于分析湿空气的状态过程。图上每一个点都代表湿空气的一个状态。只要知道图中任意两个状态参数, 即可在图上查得其他有关状态参数。

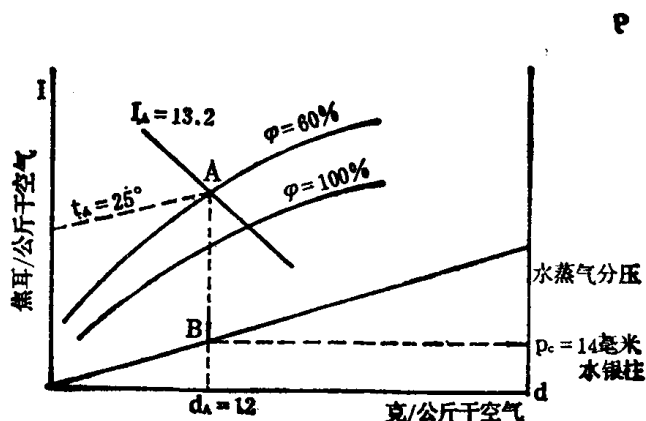


图 1-4 湿空气的 i - d 图

例如: 湿空气的温度 $t = 25^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $\varphi = 60\%$, 用 i - d 图求此湿空气的焓 i 、含湿量 d 、水蒸气分压 p 。

解: 先在图上找出 $t = 25^{\circ}\text{C}$ 与 $\varphi = 60\%$ 线的交点 A 。 A 点为题设湿空气的状态点。通过 A 点的等焓线 $i_A = 13.2$ 千卡/公斤、等含湿量线 $d_A = 12$ 克/公斤干空气, 再从 A 点引等 d 线与水蒸气分压力变换线相交于 B 点, 从 B 点向右引水平线与水蒸气分压坐标相交得 p_c , 查得 $p_c = 14$ 毫米汞柱。

(二) i - d 的应用举例

1. 求露点 湿空气受冷, 随着温度的降低, 相对湿度逐渐增加, 当相对湿度增加到饱和状态, 开始有水分凝析, 我们称此时空气的温度为露点温度, 简称露点。对此一定状态的湿空气, 利用 i - d 图可以很方便地求得露点温度。例如, 有初态为 A 的湿空气 (图 1-5) 欲求其露点, 可使 A 点沿等 d 线延长交 $\varphi = 100\%$ 线得 B 点, t_B 即为该湿空气的露点。

2. 湿空气的加热过程 湿空气的加热一般是在含湿量不变的情况下进行的。在 i - d 图上有初态为 i_1 、 t_1 、 d_1 的湿空气在 d 不变的情况下, 由状态 1 加热至状态 2 后, 湿空气的温度升高, 焓值增加, 含湿量不变, 相对湿度减小。因此, 在空调中可用加热空气的方法

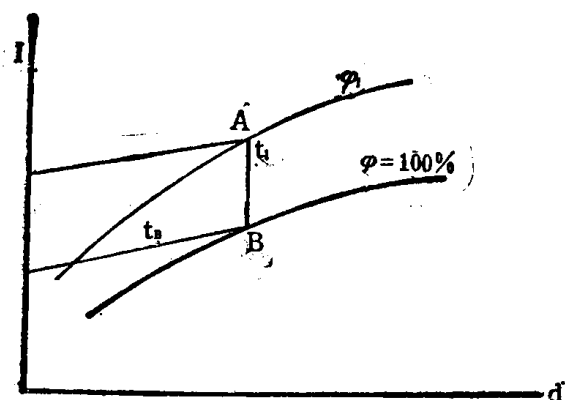


图 1—5 求露点法

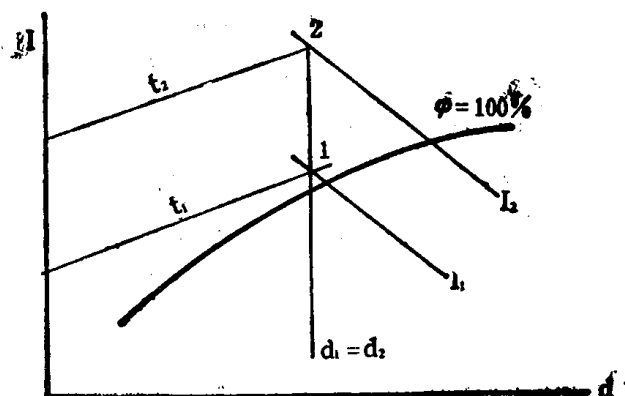


图 1—6 湿空气的加热过程

来减少空气的潮湿程度。

3. 其他用途 i-d 图还可用于求湿球温度, 分析加湿过程、加热加湿过程、冷却过程、湿空气的混合过程等与空调有关的状态过程。读者有兴趣可参考有关空调方面的书籍。

第六节 传 热

热量的传递可分三种基本形式, 即: 导热、对流换热和辐射换热。

一、导热

导热是两种温度不同物质之间或同一物体但温度不同的两部分之间因直接接触而引起的热量交换, 导热一直进行到接触物体的温度相等为止。导热的基本公式为:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t F \quad \text{千卡/小时}$$

式中: λ ——导热系数, 千卡/米·小时·℃;

δ ——导热物体的厚度, 米;

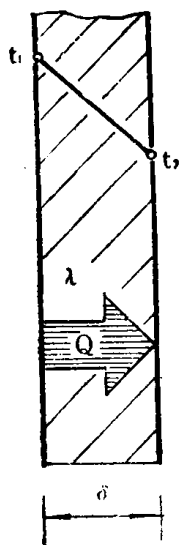


图 1—7 导热示意图

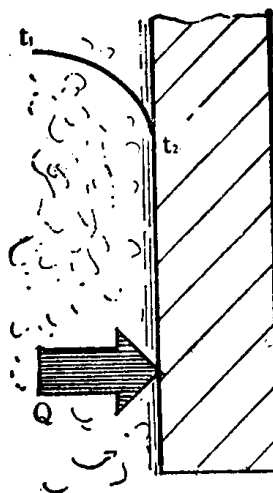


图 1—8 对流换热示意图

Δt ——导热物体两侧温度差, $^{\circ}\text{C}$,

F ——导热物体的面积, 米²。

导热可在固体、液体或气体中进行。

二、对流

对流是指流体借助部分质点流动而转移的热量。对流换热可发生在流体之间和流体与固体之间。对流换热量可用下式计算:

$$Q = \alpha F \Delta t \quad \text{千卡/小时}$$

式中: α ——对流换热系数, 千卡/米²·小时· $^{\circ}\text{C}$,

F ——换热面积, 米²;

Δt ——换热体之间温差, $^{\circ}\text{C}$ 。

对流换热的强度, 即 α 值的大小, 决定于许多因素, 其中最主要的是流体的流速。

三、辐射

辐射是物体热能转变为辐射能, 并以光速通过空间传递给其他物体。任何物体都在不停地发出辐射能, 同时又接受其他物体的辐射能。物体辐射能的强度与其绝对温度的四次方成正比, 因此, 辐射的总效果是高温物体失去能量, 低温物体获得能量。高温炉中, 火焰的辐射能可烧红铁件; 冷库外墙接受阳光的辐射能会增加库墙两端的传热温差; 冷库内被冻结的食品也会向温度比它低的冷却排管辐射能量。辐射换热的计算比较复杂, 在制冷工程中, 辐射换热量比导热和对流小得多。因此, 本节不再作进一步介绍。

四、通过平壁的稳定传热

在实际换热过程中, 几种换热方式往往是同时进行的, 过程也比较复杂。在制冷工程上, 最常见的是流体通过固体壁面向另一流体换热, 我们称这种复合换热为传热。在传热过程中, 物体每点上的温度不随时间而变化者称稳定传热。

在图 1—9 中, 流体 1 通过平壁向流体 2 换热可剖分为以下三过程:

1. 流体 1 向壁面 A 对流换热, 热量

$$Q_1 = F \alpha_1 (t_1 - t_1') \quad (1)$$

2. 壁内由 A 面向 B 面导热, 热量

$$Q_2 = F \cdot \frac{\lambda}{\delta} (t_1' - t_2') \quad (2)$$

3. 壁面 B 向流体 2 对流换热, 热量

$$Q_3 = F \alpha_2 (t_2' - t_2) \quad (3)$$

在稳定传热时, $Q_1 = Q_2 = Q_3$ 。将 (1)、(2)、(3) 式相加并整理后可得:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} F (t_1 - t_2) \quad \text{千卡/小时}$$

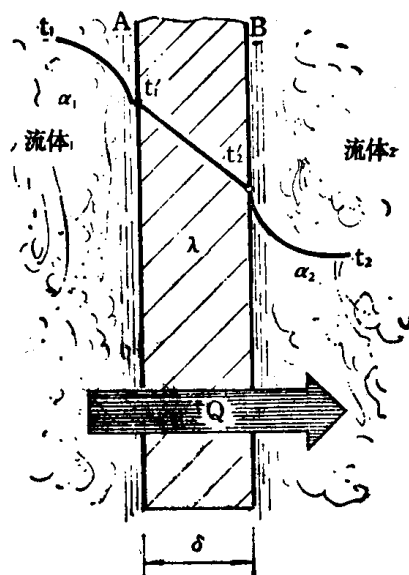


图 1—9 通过平壁的传热示意图