

165

全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材

TB657-43
Z34

工业制冷与空调作业

国家经贸委安全生产局组织编写

编写:张时善 刘金升 高祖锟 等

审定:刘金升 高祖锟



A0972287

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业制冷与空调作业/国家经贸委安全生产局组织编写. —北京:气象出版社,2002. 3

全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材
ISBN 7-5029-3321-2

I. 工… II. 国… III. 制冷-空气调节器-操作-安全技术-技术培训-教材 IV. TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 012398 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编:100081 电话:68407061)

责任编辑:纪乃晋 成秀虎 终审:周诗健

封面设计:刘扬 责任技编:陈红 责任校对:宋春香

*

北京市白河印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张:10.75 字数:278 千字

2002 年 3 月第一版 2002 年 3 月第一次印刷

印数:1—5000 定价:16.20 元

前 言

电工作业、金属焊接切割等一些特种作业容易发生伤亡事故，对操作者本人、他人及周围设施、设备的安全造成重大危害。从统计资料分析，大量的事故都发生在这些作业中，而且多数都是由于直接从事这些作业的操作人员缺乏安全知识，安全操作技能差或违章作业造成的。因此，依法加强直接从事这些作业的操作人员，即特种作业人员的安全技术培训、考核非常必要。

为保障人民生命财产的安全，促进安全生产，《劳动法》、《矿山安全法》、《消防法》等有关法律、法规作出了一系列的规定，要求特种作业人员必须经过专门的安全技术培训，经考核合格取得操作资格证书，方可上岗作业。原劳动部曾制定了相应的培训考核管理规定和培训考核大纲，并编写了特种作业人员培训考核统编教材，对推动此项工作发挥了重要作用。1998年国务院机构改革后，原劳动部承担的职业安全监察、矿山安全监察及安全综合管理职能划入国家经贸委。为适应社会主义市场经济的发展和劳动用工制度改革、劳动力流动频繁的新形势，防止各地特种作业人员实际操作水平的参差不齐，避免重复培训、考核和发证、减轻持证人员的负担和社会的总体运营成本，统一规范特种作业人员的培训、考核工作，国家经贸委发布了《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》（国家经贸委令第13号），在全国推广使用具有防伪功能的IC卡《中华人民共和国特种作业操作证》，实行统一的培训大纲、考核标准、培训教材及证件。

为此，在总结经验并广泛征求各方面意见的基础上，国家经贸委安全生产局组织有关单位的专家、技术人员编写了这套教材。本套教材包括：《电工作业》、《金属焊接与切割作业》、《厂内机动车辆驾驶员》、《起重机司机》、《起重司索指挥作业》、《小型制冷与空调

作业》、《工业制冷与空调作业》、《信号工、捆罐工》、《矿井泵工》、《矿井通风工》、《主扇风机操作工》、《主提升机操作工》、《绞车操作工》、《带式输送机操作工》、《矿用机车司机》、《铲运机司机》、《矿用汽车驾驶员》、《尾矿工》、《安全检查工》等近 20 种教材,由罗音宇、王红汉、张静、徐晓航、曲世惠主编,闪淳昌、杨富、任树奎主审。

本套教材在编审过程中,得到了武汉安全环保研究院、天津市劳动保护教育中心、河南省劳动保护教育中心、北京市事故预防中心、青岛市安全生产监督管理局、武钢矿业公司、大冶有色金属公司、鲁中冶金矿业公司、淮南矿务局、大冶铁矿、铜录山铜矿、梅山铁矿、马钢南山铁矿、南芬铁矿、鸡冠咀金矿、湖北省经贸委安全生产处、湖南省经贸委安全生产处、山东省安委会办公室等单位的大力支持,在此,谨对上述单位表示谢意。

本套教材介绍了特种作业人员必须掌握的安全技术知识,包括基本理论知识和实际操作技能,融科学性、实用性、系统性于一体,是特种作业人员上岗前,为取得《中华人民共和国特种作业操作证》进行安全技术培训的指定教材,也是上岗后不断巩固、提高的工具书,同时也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校师生参考。

《工业制冷与空调作业》由张时善、刘金升、高祖锷同志主编,参加编写的还有肖宝泉、藏润清、牛鸣、刘生昌、庞万均、朱洪民等同志,并由刘金升、高祖锷等同志审定。

国家经贸委安全生产局

2000 年 12 月

目 录

第一章 制冷空调原理与制冷系统的基本构成	(1)
第一节 制冷与空调的基础知识.....	(1)
第二节 蒸汽压缩式制冷原理及典型系统	(14)
第三节 吸收式制冷原理及典型系统	(27)
第四节 空调系统	(35)
第二章 制冷剂、载冷剂、蓄冷剂和润滑油	(49)
第一节 制冷剂的分类与性质	(49)
第二节 载冷剂和蓄冷剂	(55)
第三节 润滑油	(57)
第三章 制冷设备	(60)
第一节 压缩式制冷设备	(60)
第二节 冷水机组	(91)
第三节 溴化锂吸收式冷水机组	(99)
第四节 空气热湿处理设备和冰蓄冷装置.....	(115)
第五节 循环水系统与水处理设备.....	(132)
第四章 制冷与空调作业危险性分析	(138)
第一节 制冷与空调作业事故及特点.....	(138)
第二节 制冷与空调作业事故原因分析.....	(142)
第三节 制冷作业的爆炸危害分析.....	(152)
第四节 制冷空调循环水水质对制冷系统安全的影响	(155)
第五章 安全装置与仪表	(159)
第一节 压力显示控制装置.....	(159)
第二节 温度显示控制装置.....	(166)
第三节 液位显示控制装置.....	(172)
第四节 安全阀等释压装置.....	(177)

第五节	溴化锂吸收式制冷机组安全装置·····	(180)
第六章	制冷设备运行安全操作·····	(188)
第一节	活塞式制冷设备安全操作·····	(188)
第二节	螺杆式制冷设备安全操作·····	(202)
第三节	离心式制冷设备安全操作·····	(206)
第四节	泵、冷风机、冷却塔安全操作·····	(209)
第五节	制冷设备与系统正常运转标志·····	(213)
第六节	吸收式制冷机组安全操作·····	(218)
第七章	制冷与空调设备安装、维修安全操作·····	(240)
第一节	制冷与空调设备安装安全操作·····	(240)
第二节	制冷与空调设备维修安全操作·····	(250)
第八章	制冷与空调作业常见事故处理·····	(255)
第一节	氟制冷作业事故处理·····	(255)
第二节	氟利昂制冷机组故障处理·····	(275)
第三节	吸收式制冷机组故障处理·····	(278)
第四节	循环水系统故障处理·····	(281)
第九章	制冷与空调作业安全技术·····	(284)
第一节	安全技术在制冷与空调作业中的意义·····	(284)
第二节	制冷与空调机房安全技术·····	(285)
第三节	压力容器安全技术·····	(294)
第四节	冷藏库安全技术·····	(299)
第五节	制冷剂钢瓶的使用安全·····	(305)
第六节	安全防护器材·····	(308)
第七节	空调系统防火排烟·····	(316)
第八节	制冷剂泄漏中毒的紧急救护·····	(321)
第十章	制冷与空调作业安全管理·····	(326)
第一节	制冷空调运行维护安全管理制度·····	(326)
第二节	制冷空调设备运行安全管理·····	(329)
参考文献	·····	(337)

第一章 制冷空调原理与制冷系统的基本构成

第一节 制冷与空调的基础知识

一、制冷基本概念

在制冷空调技术中所说的“冷”是相对于环境温度而言的。这里的环境是指自然界的空气和水。具有较高温度的物体或流体,在环境温度下自发地逐渐冷却,称为自然冷却,但它不能低于环境温度。“制冷”是指用人工的方法在一定时间和一定空间内将某物体或流体冷却,使其温度降到环境温度以下,并保持这个低温。

实现制冷可以通过两种途径:一种是天然冷源,另一种是人工冷源。

天然冷源是自然界存在的冷源,例如冰、雪和地下水等,都可以作为冷源,用于食品的冷藏和防暑降温。天然冷源具有价廉、贮量大的特点,在使用中不需要复杂的技术和设备。在满足使用要求下,应首先考虑利用天然冷源。但是天然冷源的利用受时间、地点及运输等条件的限制,而且不易控制和调节。

人工冷源是利用制冷机进行冷量的生产,即利用人工的方法实现制冷,而且可以根据不同的要求获得不同的低温。

按照制冷所达到的低温范围,制冷可以分成以下几个领域:

普通制冷:120K 以上;

深度制冷:120~20K;

低温制冷:20~0.3K;

也可将 120K 以下的制冷统称为低温制冷。

制冷技术在国民经济中的应用：

1. 用于空气调节的冷源

随着社会的发展,空气调节已广泛地用于生活服务设施和工业生产中,对空气温度、湿度、空气流动速度、清洁度及新鲜度进行人工调节,以满足人体舒适和工艺生产过程的要求。

2. 用于商业和食品工业

一些易腐食品(如鱼、肉、蛋、蔬菜、果品等)的加工、贮藏和运输都需要在低温条件下进行,以减少生产和分配中的食品损耗,保证和调节季节市场的供应。现代的食品工业,从生产、贮运到销售已经形成完整的冷链。它所用的装置有速冻机或急冻间、冷库、冷藏汽车、冷藏列车、保鲜车、冷藏船、冷藏柜、陈列柜、冰箱等。

3. 用于工业、产品性能试验及科学研究

在机械制造中,对钢进行 $-70\sim-90^{\circ}\text{C}$ 的低温处理,改变其金相组织,提高钢的硬度和强度。在化学工业中可以合成橡胶,合成塑料等。在国防工业中对武器性能作环境模拟试验等。

4. 用于医疗卫生方面

在一些医疗手术中,进行低温麻醉和手术。对一些疫苗、血液、药品等进行低温贮藏。

它还可用于农牧业和建筑工程等,今天的制冷技术已渗透到国民经济的各个部门及人们的日常生活中。

实现人工制冷方法很多,常见的有以下四种:液体汽化制冷、气体膨胀制冷、涡流管制冷和热电制冷。其中液体汽化制冷的应用最广泛,它是利用液体汽化时的吸热效应来实现制冷的。蒸汽压缩式、吸收式、蒸汽喷射式和吸附式制冷都属于液体汽化制冷。

二、空调基本概念

空气调节简称空调。它是对室内空气环境的温度、相对湿度、空气流动速度、洁净度、空气的新鲜度进行人工调节,以满足人体舒适和工艺生产过程的要求。随着现代技术发展有时还要求对空

气的压力、成份、气味及噪声等进行调节与控制。由此可见,采用技术手段创造并满足对空气环境的一定要求,是空调的任务。

室内的空气环境一般受到两方面的干扰,一方面受到室外太阳辐射、外部气候变化及空气中有害物的干扰;另一方面是来自室内人体、照明设备、生产过程及设备等等所产生的热、湿和其它有害物的干扰。

为了消除对空调房间的内、外干扰,达到房间所需要的空气参数,空调系统必需对空气进行加热、冷却、加湿、除湿及净化等处理。

由于空调房间各自的要求不同,因此对空气环境的参数及其控制精度的要求也不同。衡量空调工程的等级,常用空调的基数和空调的精度来规定。

空调基数是指空调房间所要求的基准温度和基准的相对湿度。

空调精度是指在空调区内,空气的温度和相对湿度的允许波动幅度。

例如:某空调房间,温度要求 $t=20\pm 1^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $\phi=60\pm 10\%$ 。此时房间的空调基数为 $t=20^{\circ}\text{C}$, $\phi=60\%$,空调精度 $\Delta t=\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\Delta\phi=\pm 10\%$,即空调房间温度在 $19\sim 21^{\circ}\text{C}$,相对湿度在 $50\%\sim 70\%$,在这种情况下空调系统的运行是正常的。

为了保持房间规定的空气参数,通常在空调房间内设定一个受控的工作区,即离地区 2m,距外墙 0.5m 以内的空间,亦称空调区。

根据使用对象不同,空调可以分为“舒适性”和“工艺性”空调。

舒适性空调,其目的是为人们提供良好的工作条件或舒适的生活环境,以利于提高人们的工作效率或保障人们的身体健康,主要用于公共与民用建筑中。人体舒适状态由许多因素决定。从生理上看,所谓舒适就是人体能维持正常的散热量和散湿量。通常人体舒适状态主要反映在冷热感觉,而冷热感觉与室内空气温度、相对湿度、人体附近的空气流速、围护结构内表面及物体表面温度有

关外,还和人体活动量、年龄、习惯、衣着情况有关。根据我国 GBJ19—1987《采暖通风与空气调节设计规范》中规定,舒适性空调室内计算参数如下:

- 夏季:温度 24~28℃;
- 相对湿度 40%~65%;
- 风速 0.3m/s。
- 冬季:温度 18~22℃
- 相对湿度 40%~60%;
- 风速 0.2m/s。

工艺性空调,其目的是满足生产、科研等工艺过程所要求的空气参数,以保证产品质量。工艺性空调可以分为一般性空调,恒温恒湿空调和净化空调等。

一般性(降温)空调对夏季温、湿度的要求是工人操作时手不出汗,不使产品受潮。一般只规定温度和湿度的上限,不再注明空调精度。

恒温恒湿空调对室内空气的温、湿度基数和精度都有严格要求。

净化空调不仅对空气温、湿度提出一定要求,而且对空气中所含尘粒的大小和数量有严格的要求。

三、基础知识

(一) 物质与物态的变化

具有一定质量及占有空间的任何物体称为物质。自然界一切物质都是由大量分子组成的,组成物质的分子间有一定的距离,分子间存在着相互作用力;同时分子又处在永不停息的无规则运动中,这种运动称之为热运动。

由于分子间的作用力及其热运动等原因,使物质在常态下呈现固态、液态和气态。

固态时,分子间的相互引力最大,固体中的分子紧密地排列在

一起,热运动仅在平衡位置的附近作微小的振动,不能作相对移动。因此固态时的物质有一定的体积和形状,并具有一定的机械强度。

液态时,分子间的引力仍较大,使分子之间仍能保持一定的距离。因此液态物质有固定体积,并有自由液面。此外,液态物质的分子不仅在平衡位置附近振动,还可以相对移动。所以它具有流动性而无固定的形状。

气态时,分子间距大,引力很小,分子间不能相互约束。因此,它没有一定的形状和一定的体积,可以充满任何的空间。在热运动中可相互碰撞发生旋转运动。

同种物质在不同条件下,由于分子间作用力和分子热运动的结果也会以不同的状态存在。

物质状态的变化 当物质在吸热或放热时,除了温度变化以外,还有状态的变化,即固态、液态、气态之间的相互转化,如图 1-1 所示。气体变成液体的过程称为液化(或冷凝),液体变成固体的过程称为凝固;固体变成液体

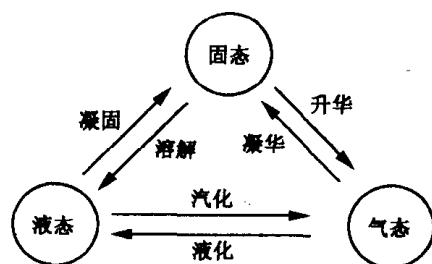


图 1-1 物态的变化

的过程称为溶解,液体变成气体的过程称为汽化;固体直接变化成气体的过程称为升华,反之称为固化(或凝华)。

物质在状态变化过程中,伴随着吸热或放热现象,这种形式的热量统称为潜热,如溶解潜热、凝固潜热;汽化潜热、液化潜热;升华热和固化热。在状态相互变化过程中潜热量相等。

汽化有两种形式,即蒸发和沸腾。在任何温度下,在液体表面上进行汽化的过程称为蒸发。在沸点温度下,在液体内部和表面同时发生剧烈的汽化过程称为沸腾。在制冷技术中,制冷剂在蒸发器内不断吸收被冷却物体的热量,由液体变成气体,实际上这是沸

腾,但习惯上常称为蒸发。

饱和蒸汽 装在密闭容器里的液体,液体分子不断地从液面扩散到液体上面的气体中去,同时部分气体分子由于不规则运动又返回到液体中来,当两者达到平衡时称为饱和状态。在此状态下的蒸汽称为饱和蒸汽,与其对应的压力和温度称为饱和蒸汽压力和饱和蒸汽温度。

过热蒸汽和过热度 在饱和压力下,继续对饱和蒸汽加热,使其温度高于饱和温度,这种状态称为过热。这种蒸汽称为过热蒸汽。过热气体温度和其饱和温度之差为过热度。

过冷液体和过冷度 在饱和压力不变的条件下,饱和液体继续冷却,这时液体状态为过冷。其液体为过冷液体。液体的饱和温度和过冷液体温度的温差称为过冷度。

临界温度和临界压力 各种气体当压力升高时,其比容减小。随压力不断地升高,蒸汽的比容逐渐接近液体的比容,当两者比容相等时称为临界状态。对应临界状态点的压力和温度称为临界压力和临界温度。在临界温度以上的蒸气,无论加多大的压力,都不能液化。

(二) 流体的状态参数

流体和气体统称为流体。流体的基本状态参数有温度、压力、比容、焓、熵和内能等。

1. 温度

温度是物质冷、热程度的标志,而不是热的量。从物质分子运动来看,温度是分子运动平均动能的度量。温度高低的程度可用温度计来测量,常用温标有:

(1) 摄氏温标 在标准大气压下,把水的冰点定为 0°C ,沸点定为 100°C ,两点之间均分为 100 格,每格为 1°C (1 摄氏度),以符号 t 表示,其测量单位记作 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 绝对温标(即热力学温标,又称开氏温标) 在热工计算中常用绝对温度作为状态参数,符号用 T 表示,单位为开(尔文),代号为 K。它把纯水的冰点定为 273.15°C ,水的沸点为 373.15°C ,

理论上把物质中分子全部停止运动之点作为零点称为绝对零度。其每一度的大小与摄氏温标相等。

绝对温度 T 和摄氏温度 t 之间的关系是：

$$T = t + 273.15 \approx t + 273 \quad \text{K}$$

(3) 华氏温标 目前有些进口制冷和空调设备使用华氏温标 (F)。把它换算成摄氏温度的计算式为：

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

2. 压力

单位面积上所受到垂直作用的力称为压力，物理中习惯称为压强。

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

式中： p ——压力，Pa(帕斯卡，简称帕)；

F ——作用力，N(牛顿)；

A ——面积， m^2 。

有时 Pa 太小，常采用千帕(kPa)或兆帕(MPa)单位。

$$1\text{kPa} = 10^3\text{Pa}, 1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$$

对于气体，压力是气体分子不断运动时碰撞容器器壁的结果。对于液体，自身重力也能产生压力。目前还常用液柱高度 H 来表示压力，这是不允许的，现已废除。液柱和帕的换算关系为：

$$1\text{mmH}_2\text{O}(\text{毫米水柱}) = 9.806\text{Pa};$$

$$1\text{mmHg}(\text{毫米汞柱}) = 133.32\text{Pa}.$$

此外，在物理学中将 0°C 时 760mmHg 所表示的压力为标准大气压(或称物理大气压)即在纬度 45° 的海平面上，大气的常年平均压力。用 atm 表示，其值 $1\text{atm} = 101325\text{Pa}$ 。

在我国法定计量单位中，工程大气压(atm)已废除。标准大气压作为一个概念被保留，但不能作为压力的度量单位。曾因为 Pa 值太小，以 10^5Pa 为 1 巴(bar)作为 Pa 的特殊表达式，但现在也不

能作为法定计量单位。

在实际使用中,经常遇到的是绝对压力、表压力和真空度。绝对压力是指容器内的气体或液体对于容器内壁的实际压力,用符号 p 表示。气体压力的大小常用弹簧管式压力表来测量,如图 1-2 所示。弹簧管式压力表测得压力为表压力,用符号 P_g 表示。表压力是指绝对压力与当地大气压力(B)之差,其关系式为:

$$P_g = p - B$$

在工程上常用表压力,但在计算时必须使用绝对压力。

当密闭容器中气体压力(绝对压力)低于大气压力时,大气压力与容器内气体压力差称为真空度,符号为 p_v 。其关系式:

$$p_v = B - p$$

在工程上,用于测量高于大气压力的压力仪表称为压力表,用于测量低于大气压力的压力表为真空表。既能测高压,又能测真空度大小的压力表叫连程压力表或称真空压力表。

绝对压力、表压力和真空度之间关系可见图 1-3、图 1-4 和图 1-5。

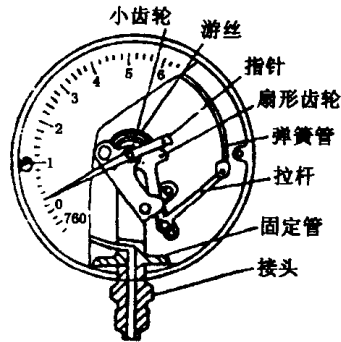


图 1-2 连程压力表

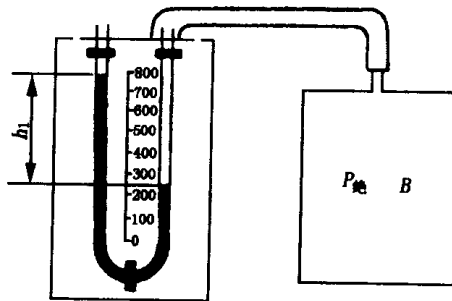


图 1-3 容器内压力大于大气压力

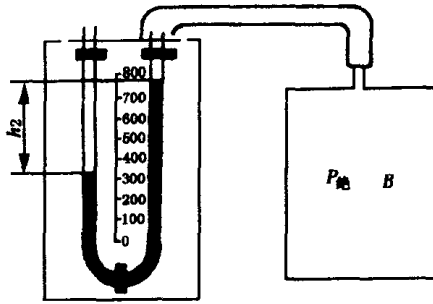


图 1-4 容器内压力小于大气压力

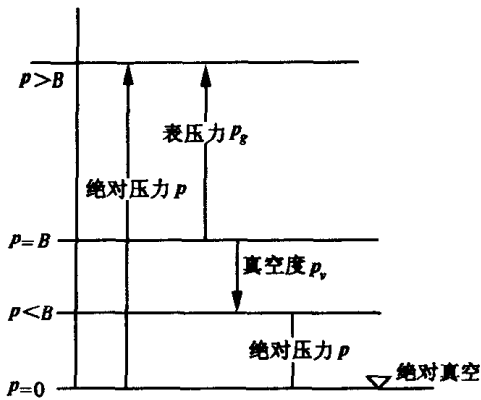


图 1-5 绝对压力、表压力和真空度的关系

3. 比容(容重)和比重

物质所占有的体积与其重量之比称为该物质的比容,比容符号为 ν ,其单位为 m^3/kg 。

比容和比重互为倒数。

4. 热量和比热

热量是表示物体吸热或放热多少的物理量。它是能量的一种表现形式,只有在热能转移过程才有意义。热量用符号 Q 表示,其单位为 J (焦耳)。目前进口设备有采用米制热量单位 Cal (卡),英制单位 Btu (英热单位),和冷吨(冷冻吨),这些单位都不是法定计量单位。它们与法定计量单位的关系为:

$$1\text{Cal}=4.1868\text{J}$$

$$1\text{Btu}=1055\text{J}$$

$$1\text{USRT(美国冷吨)}=3.517\text{kW}$$

$$1\text{BRT(英国冷吨)}=3.923\text{kW}$$

$$1\text{JRT(日本冷吨)}=3.851\text{kW}$$

比热是指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。其符号为 C ,单位为 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。在压力不变的条件下的比热为定压比热 $*$,其符号为 C_P ;在容积不变条件下的比热为定容比热 $*$,用符号 C_V 表示。由于定压加热气体时气体要膨胀,部分热量消耗于气体膨胀作功,因此 $C_P>C_V$ 。 C_P 与 C_V 之比叫绝热指数,其值大于1,比值符号为 k 。在制冷中气体制冷剂被压缩后的温度与绝热指数有关。

5. 显热与潜热

物质在加热(或冷却)过程中,温度升高(或降低)所吸收(或放出)的热量叫显热。在这个过程中其状态不变。

物质在加热(或冷却)过程中,只改变原有状态,而温度不变所消耗(或得到)的热量叫潜热。图 1-6 为物质在加热(或冷却)过程中温度和状态随时间变化的曲线。

(三) 热力学基本概念

1. 热力学第一定律

热力学第一定律是能量守恒和转换定律在热力学中的应用。即能量可以从一种形式转换为另一种形式,但在转换中能量的数量保持不变。工程热力学主要研究热量与功的转换关系。即热可变成功,功可变成热。

内能(热力学能)是指以一定方式储存于物质内部的能量。从微观上看,内能包括振动、移动、转动的动能以及分子间相互作用力的存在而具有的位能。其符号为 U ,单位为 J 。

* 定压比热、定容比热现称为比定压热容、比定容热容

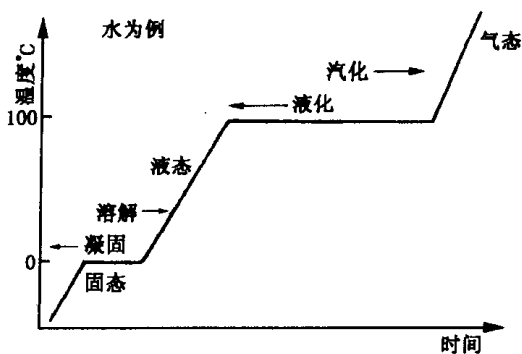


图 1-6 物质在加热(或冷却)过程中
温度和状态随时间变化曲线

焓和比焓 焓是状态参数,在数值上等于系统的内能和压缩功之和,符号为 H ,单位为 J 。在制冷、空调系统的分析、计算中常用比焓。比焓是焓除以质量,即单位物质中具有的热量,符号为 h ,单位为 J/kg 。

2. 热力学第二定律

热力学第二定律指出了热力过程的方向性,即热量能自发地从高温物体传向低温物体,而不能自行逆流。制冷装置就是根据该定律,用消耗一定的压缩功或热能作为补偿条件,将热量从低温介质传递到高温介质,从而达到连续制冷的目的。

熵和比熵 熵是状态参数。当温度为 T 的系统接受微小的热量时,如果系统内未发生不可逆变化,则系统的熵增为微小的热量除以温度(绝对温度)。熵的符号为 S ,单位为 J/K 。

焓与熵都一样,当工质状态变化时,与其变化过程无关,只与其初终状态变化值有关。系统熵的变化,反映了可逆过程热交换的方向及不可逆的程度。比熵(质量熵)是熵除以质量,符号为 s ,单位为 $J/(kg \cdot K)$ 。在制冷技术中,当工质从外界吸热时为熵增过程,当工质对外界放热时则为熵减过程。

(四) 传热学基本概念

热量传递的基本方式