

空调用制冷技术

崔红 李国斌 张宁 主编



北京理工大学出版社



“十三五”示范性高职院校建设成果教材

空调用制冷技术

主 编 崔 红 李国斌 张 宁



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书根据高职高专院校人才培养目标和课程改革要求,并结合多年教学经验编写而成。全书共分为11章,主要内容包括蒸汽压缩式的热力学原理,制冷剂与载冷剂,制冷压缩机,冷凝器与蒸发器,节流机构与辅助设备,压缩式冷水机组,热泵,直接蒸发式空调机组,溴化锂吸收式制冷,空调系统冷源设计,蓄冷空调技术等。

本书可作为高职高专院校供热通风与空调工程技术、建筑设备工程技术、建筑电气工程技术等相关专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员参考与自学用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

空调用制冷技术/崔红,李国斌,张宁主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.2
(2017.3重印)

ISBN 978-7-5682-3635-5

I. ①空… II. ①崔… ②李… ③张… III. ①空气调节设备—制冷技术—高等学校—教材
IV. ①TB657.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第020123号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 11.5

字 数 / 250千字

版 次 / 2017年2月第1版 2017年3月第2次印刷

定 价 / 29.00元

责任编辑 / 李玉昌

文案编辑 / 瞿义勇

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

本书按照空调制冷技术课程教学的基本要求编写。全书系统地阐述了单级蒸气压缩式制冷装置的工作原理、设备构造、制冷剂的性质和应用以及空调制冷机房设计等问题。

本书以培养学生能力为目的，遵循理论与实践、教学与应用相结合的原则，力求深入浅出、通俗易懂，突出高职高专教学中实用性、实践性的特点，删减了不实用的理论计算和公式推导等内容；并结合国内空调制冷技术的应用情况和发展趋势，删减了大量的陈旧知识，增加了空调行业的新技术和新设备；同时增加了空调制冷机房设计的内容，并提供了设计图纸。

本书由辽宁建筑职业学院崔红、李国斌和张宁编写。其中，绪论、第一、二、三、四、八、九章由崔红编写；第五、六、七章由李国斌编写；第十、十一章由张宁编写。

由于编者水平有限，书中存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

绪论.....	1	第三节 螺杆式制冷压缩机	40
		第四节 涡旋式制冷压缩机	43
第一章 蒸汽压缩式制冷的热力学原理...	4	第五节 离心式制冷压缩机	45
第一节 理想制冷循环	4	第四章 冷凝器与蒸发器.....	50
第二节 蒸汽压缩式制冷的理论循环	6	第一节 冷凝器	50
第三节 单级蒸汽压缩式制冷理论 循环的热力计算	8	第二节 蒸发器	58
第四节 液体过冷、蒸汽过热及 回热循环	9	第五章 节流机构与辅助设备.....	64
第五节 蒸汽压缩式制冷的 实际循环	13	第一节 节流机构	64
		第二节 辅助设备	70
第二章 制冷剂与载冷剂.....	16	第六章 压缩式冷水机组.....	79
第一节 制冷剂	16	第一节 活塞式冷水机组	79
第二节 载冷剂	21	第二节 螺杆式冷水机组	81
第三章 制冷压缩机.....	24	第三节 离心式冷水机组	82
第一节 活塞式制冷压缩机的分类 与构造	25	第四节 模块化冷水机组	84
第二节 活塞式制冷压缩机的 工作性能	33	第七章 热泵.....	86
		第一节 热泵的概念、工作原理及 分类	86

第二节 空气源热泵	87	第三节 直燃型溴化锂吸收式冷热水 机组	128
第三节 水源热泵	89		
第四节 土壤源热泵	91		
第五节 太阳能热泵	93	第十章 空调系统冷源设计	132
第六节 热泵的应用	96	第一节 冷水机组的技术参数和 选择	132
第八章 直接蒸发式空调机组	103	第二节 空调水系统的设计	133
第一节 房间空调器	103	第三节 制冷机房的布置	141
第二节 单元式空调机组	106		
第三节 多联式空调系统	114	第十一章 蓄冷空调技术	144
第九章 溴化锂吸收式制冷	121	第一节 蓄冷空调技术的发展	144
第一节 溴化锂吸收式制冷的 工作原理	121	第二节 蓄冷空调系统	146
第二节 溴化锂吸收式制冷机的结构 与工作流程	124	附录	151
		参考文献	178

绪 论

一、制冷概述

制冷是指用人工的方法将被冷却对象的热量移向周围的环境介质，使得被冷却对象达到比环境介质更低的温度，并在所需要的时间内维持一定的低温。这里所说的环境介质，是指自然界的空气和水。制冷不能被简单地理解为是一个降温过程，应区别于自然冷却。按照热力学的观点，制冷实质上是热量由低温热源向高温热源的转移过程。根据热力学第二定律可知，这个过程是不可能自发进行的。为使这个过程得以实现，必须要消耗一定的能量作为补偿。

实现制冷可以通过两种途径：一是利用天然冷源；二是人工制冷。天然冷源是自然界存在的低温物质，如天然冰、雪和深井水等。我国对天然冰、雪的应用有着悠久的历史，而且在采集、储存和使用天然冷源方面积累了丰富的经验，直到现在，天然冷源在一些地区仍然得到应用。天然冷源具有价格低廉、储量大等优点，而且利用天然冷源时不需要复杂的技术设备，所以，在满足使用要求的前提下，应优先考虑利用天然冷源。但是利用天然冷源受到时间、地区和运输等条件的限制，最主要的是受到制冷温度的限制，它只能制取 0°C 以上的温度，所以，天然冷源只能用于防暑降温和少量食品的短期贮存。要想获得 0°C 以下的制冷温度，必须采用人工制冷来实现。

人工制冷需要比较复杂的技术和设备，而且生产冷量的成本较高，但是它完全避免了天然冷源的局限性，可以根据不同的要求获得不同的低温。

人工制冷所需要的设备称为制冷机。制冷机中使用的工作物质称为制冷剂。人工制冷可以获得的温度称为制冷温度。根据制冷温度的不同，制冷技术可分为普冷技术和深冷技术。空调用制冷技术属于普冷技术范畴。

人工制冷的方法很多，常见的物理方法有液体汽化法、气体膨胀法、热电法等。目前应用最广泛的是液体汽化法制冷，又称为蒸汽制冷。蒸汽制冷装置有蒸汽压缩式制冷、吸收式制冷、蒸汽喷射式制冷三种。

二、制冷技术的发展

现代制冷技术作为一门科学，是从 19 世纪中期和后期发展起来的。1834 年，波尔金斯研制成功了第一台以乙醚为制冷剂的蒸汽压缩式制冷机。1844 年，高里在美国费城用封闭循环的空气制冷机建立了一座空调站。1859 年，法国人开利制成了氨水吸收式制冷机。

1875 年,卡列和林德用氨作制冷剂,制成了氨蒸汽压缩式制冷机,从此蒸汽压缩式制冷机开始占有统治地位。1910 年左右,马利斯·莱兰克发明了蒸汽喷射式制冷系统。

进入 20 世纪以后,制冷技术有了更大的发展。随着制冷机械发展,制冷剂的种类也不断增多。1930 年以后,氟利昂制冷剂的出现和大量应用,曾使压缩式制冷技术得到极大的发展,也使其应用范围得以扩大。1974 年以后,人们发现氟利昂族中的氯氟烃会破坏臭氧层,从而危害人类的健康,破坏地球上的生态环境。因此,减少和禁止氯氟烃的生产和使用已成为国际社会共同面临的紧迫任务,研究和寻求氯氟烃的替代物也成为急需解决的问题。混合制冷剂的应用使蒸汽压缩式制冷的发展有了重大的技术突破。与此同时,其他制冷方式和制冷机的研究工作进一步加快,特别是吸收式制冷机也得到了更大的发展。

我国制冷技术真正的发展是在新中国成立以后。从开始仿制生产活塞式压缩机,到自行设计和制造,并制定了有关的系列标准,之后又陆续发展了其他类型的制冷机。目前已有压缩式(活塞式、螺杆式、离心式、涡旋式等)、吸收式、热电式及蒸汽喷射式等类型的制冷机,许多产品的质量和性能已接近或已达到世界先进水平。

三、制冷技术的应用

随着制冷工业的发展,制冷技术的应用也日益广泛,现已渗透到人们生活和生产活动的各个领域。从日常的衣、食、住、行到尖端科学技术都离不开制冷技术。

空调工程是制冷技术应用的一个广阔领域。例如,光学仪器仪表、精密计量量具、纺织等生产车间及计算机房等,都要求对环境的温度、湿度、洁净度进行不同程度的控制;体育馆、大会堂、宾馆等公共建筑和小汽车、飞机、大型客车等交通工具也都要有舒适的空调系统。总而言之,任何一个空调系统都需要有一个冷源。

食品工业中,易腐食品从采购或捕捞、加工、贮藏、运输到销售的全部流通过程,都必须保持稳定的低温环境,才能延长和提高食品的质量、经济寿命与价值。这就需要各种制冷设施,如冷加工设备、冷冻冷藏库、冷藏运输车或船、冷藏售货柜台等。

医疗卫生事业中,血浆、疫苗及某些特殊药品需要低温保存。低温麻醉、低温手术及高烧患者的冷敷降温等也需要制冷技术。

建筑业中,浇制巨型混凝土大坝时,可用人工制冷方法来排除混凝土在凝固过程中析出的热量,以防坝体裂缝,并可提高混凝土的强度;在流沙地区开掘矿井或隧道时,可先将其四周土壤冻结,然后在冻土中进行施工,以保证施工安全;拌和混凝土时,用冰代替水,利用冰的融化热补偿水泥的固化反应热,能有效地避免大型构件因得不到充分散热而产生裂缝等缺陷。

机械工业中,精密机床油压系统利用制冷来控制油温,可稳定油膜刚度,使机床能正常工作;对钢进行低温处理可改善钢的性能,提高钢的硬度和强度,延长工件的使用寿命。

电子工业中,多路通信、雷达、卫星地面站等电子设备也都需要在低温下工作,以提高其性能,减少元件发热和环境温度的影响;大规模集成电路、光敏器件、功率元件、高频晶体管、激光倍频发生器等电子元件的冷却都广泛应用制冷技术。

国防工业中，高寒地区的汽车、坦克、大炮等常规武器的性能需要做环境模拟试验；火箭、航天器也需要在模拟高空的低温条件下进行试验。

现代农业中，浸种、育种、微生物除虫、良种的低温贮存、冻干法长期保存种子、低温贮粮等都要用到制冷技术。

综上所述，制冷技术的应用是多方面的，它的应用标志着科技水平、工业水平的发展，也标志着人们生活水平的提高。可以预料，我国的制冷事业将会有更进一步的发展和提高。



思考题与习题

1. 什么是制冷和制冷过程？
2. 实现制冷有哪两种途径？
3. 人工制冷有哪几种方法？最常用的是哪一种？
4. 蒸汽制冷有哪几种方法？最常用的是哪一种？
5. 根据制冷温度的不同，制冷技术可分为哪几类？

第一章 蒸汽压缩式制冷的热力学原理

液体在汽化的过程中需要吸收热量，而且饱和温度与压力有关，压力越低，饱和温度也越低。例如，在一个标准大气压下，1 kg 的液氨汽化时吸收 1 368 kJ 的热量，饱和温度为 $-33.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；在 8.72 mbar 的压力下，1 kg 的水汽化时吸收 2 489 kJ 的热量，饱和温度为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由此可见，只要创造一定的低压条件，选择合适的物质作为工质，就可以利用工质的汽化获得所需要的冷量。蒸汽压缩式制冷就是利用液体汽化吸热的特性来实现制冷的。

制冷实质上是热量从低温热源向高温热源转移的逆向传热过程。根据热力学第二定律可知，热量不会自发地从低温物体传向高温物体。要实现这种逆向传热过程，就必须消耗一定的能量作为补偿。蒸汽压缩式制冷是以消耗机械能为补偿条件，借助制冷剂的状态变化将热量不断地从被冷却对象传向周围环境，从而使被冷却对象的温度始终低于周围环境。

第一节 理想制冷循环

逆卡诺循环是可逆的理想制冷循环。实现逆卡诺循环的重要条件是：高、低温热源温度恒定；工质在冷凝器和蒸发器中与外界热源之间的换热无传热温差；制冷工质流经各个设备时无摩擦损失及其他内部不可逆损失。

逆卡诺循环是由两个定温和两个绝热过程组成的。在湿蒸汽区内进行的逆卡诺循环由压缩机、冷凝器、膨胀机和蒸发器组成，如图 1-1 所示。其工作过程为：工质在膨胀机中绝热膨胀，温度从 T'_k 降低为 T'_0 ，输出功为 w_c ；然后工质在蒸发器中定温汽化，在 T'_0 温度下从被冷却介质吸收热量 q_0 ；接下来工质在压缩机中被绝热压缩，温度从 T'_0 升高到 T'_k ，消耗功为 w_c ；最后工质在冷凝器中定温凝结，在 T'_k 温度下向冷却介质放出热量 q_k 。这样便完成了一个制冷循环。

在逆卡诺循环中，1 kg 制冷剂从被冷却介质吸收的热量 q_0 ，连同循环所消耗的功 $\sum w$ 一起转移给温度较高的冷却介质，根据能量守恒，有

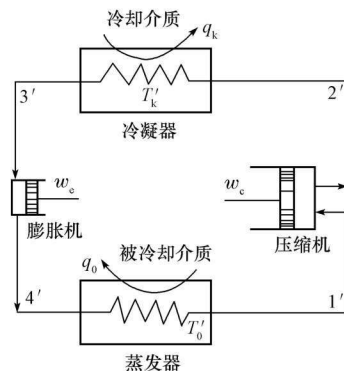


图 1-1 逆卡诺循环

$$q_k = q_0 + \sum \tau w$$

$$\sum \tau w = \tau w_c - \tau w_e$$

制冷循环常用制冷系数 ϵ 表示它的循环经济性能，制冷剂从被冷却介质中吸收的热量 q_0 与循环中所消耗功 $\sum \tau w$ 的比值称为制冷系数，即

$$\epsilon = \frac{q_0}{\sum \tau w}$$

对于逆卡诺循环，1 kg 制冷剂从被冷却介质吸收的热量为

$$q_0 = T'_0(s_a - s_b)$$

向冷却介质放出的热量为

$$q_k = T'_k(s_a - s_b)$$

制冷循环中所消耗的净功为

$$\sum \tau w = (T'_k - T'_0)(s_a - s_b)$$

则逆卡诺循环制冷系数为

$$\epsilon_c = \frac{q_0}{\sum \tau w} = \frac{T'_0(s_a - s_b)}{(T'_k - T'_0)(s_a - s_b)} = \frac{T'_0}{T'_k - T'_0} \quad (1-1)$$

逆卡诺循环的制冷系数只与被冷却介质的温度 T'_0 和冷却介质的温度 T'_k 有关，与制冷剂的性质无关。当 T'_0 升高， T'_k 降低时， ϵ_c 增大，制冷循环的经济性越好。而且， T'_0 对 ϵ_c 的影响比 T'_k 要大。

实际上，蒸汽压缩式制冷采用逆卡诺循环有许多困难，主要有以下几点：

(1) 压缩过程是在湿蒸汽区中进行的，危害性很大。这是因为压缩机吸入的是湿蒸汽，在压缩过程中必然产生湿压缩，而湿压缩会引起液击现象，使压缩机遭到破坏。所以在实际蒸汽压缩式制冷循环中采用干压缩，即进入压缩机的制冷剂为干饱和蒸汽或过热蒸汽。

(2) 膨胀机不经济。这是因为进入膨胀机的是液态制冷剂，一则它的体积变化不大，再则其机件特别小，摩擦阻力大，以致使所能获得的膨胀功常常不足以克服机器本身的摩擦阻力。所以在实际蒸汽压缩式制冷循环中采用膨胀阀代替膨胀机。

(3) 无温差传热实际上是不可能的。这是因为冷凝器和蒸发器不可能有无限大的传热面积。所以在实际蒸汽压缩式制冷循环的传热过程中是有温差的，即蒸发温度低于被冷却介质的温度，冷凝温度高于冷却介质的温度。

综上所述，逆卡诺循环是理想的制冷循环，其制冷系数最大，虽然逆卡诺循环在实际工程中无法实现，但是通过对该循环进行分析所得出的结论对实际制冷循环具有重要的指导意义，对提高制冷装置的经济性指出了重要的方向。

第二节 蒸汽压缩式制冷的理论循环

一、理论循环

蒸汽压缩式制冷的理论循环由两个定压过程组成，一个是绝热过程；另一个是绝热节流过程。理论循环与逆卡诺循环相比较，有以下特点：

- (1) 用膨胀阀代替膨胀机。
- (2) 用干压缩代替湿压缩。
- (3) 传热过程为等压过程，且传热过程有温差。

蒸汽压缩式制冷的理论循环由压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器组成，如图 1-2 所示。其工作过程为：高压液态制冷剂通过膨胀阀降压降温后进入蒸发器，在蒸发压力下吸收被冷却介质的热量 q_0 而汽化，成为低压低温的蒸汽，随即被压缩机吸入，经压缩提高压力和温度后送入冷凝器，在冷凝的压力下将热量 q_k 释放给冷却介质，由高压过热蒸汽冷凝成液体，这样便完成了一个制冷循环。

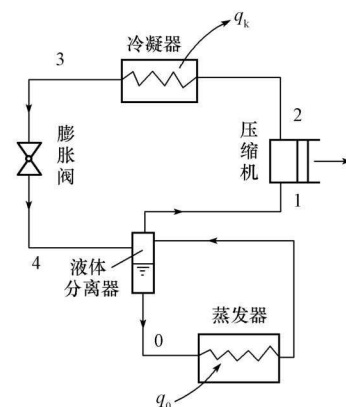


图 1-2 蒸汽压缩式制冷的理论循环

二、蒸汽压缩式制冷循环在压焓图上的表示

1. 压焓图

在进行制冷循环的分析与计算时，常采用压焓图，如图 1-3 所示。

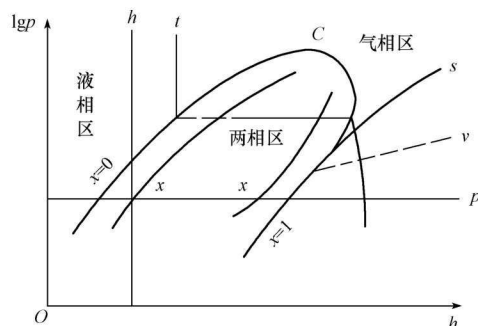


图 1-3 压焓图

压焓图以绝对压力为纵坐标，为提高低压区域的精度，采用对数坐标 $\lg p$ ，以比焓 h 为横坐标。图中所反映的内容有：

一点：临界点 C (有时也用 K 表示)。

两线：临界点 C 左边的粗实线为饱和液体线，其干度 $x=0$ ；右边的粗实线为饱和蒸汽线，其干度 $x=1$ 。

三区：液相区、两相区、气相区。

五状态：过冷液体状态、饱和液体状态、湿蒸汽状态、饱和蒸汽状态、过热蒸汽状态。

六种等参数线簇：等压线——水平线；等焓线——垂直线；等温线——在液相区几乎为垂直线，在两相区为水平线，在气相区为向右下方弯曲的倾斜曲线；等熵线——向右上方倾斜的实线；等容线——向右上方倾斜的点画线，其斜率比等熵线平坦；等干度线——只存在与两相区内，其方向视干度大小而定。

在以上六个参数中，只要知道其中任意两个参数，就可以在 $\lg p-h$ 图上确定制冷工质的状态点，从而可以在图上直接读出其他未知的状态参数。对于饱和液体和饱和蒸汽，只要知道一个状态参数，就可以在图上确定其位置。本书附录中给出了一些常用制冷剂的热力性质表和压焓图。

2. 蒸汽压缩式制冷理论循环在压焓图上的表示方法

图 1-4 所示为蒸汽压缩式制冷理论循环的压焓图。

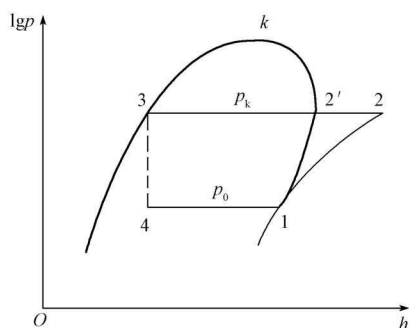


图 1-4 蒸汽压缩式制冷理论循环的压焓图

点 1：制冷剂离开蒸发器(进入压缩机)的状态。由压力为 p_0 的等压线与饱和蒸汽线的交点来确定。

点 2：制冷剂离开压缩机(进入冷凝器)的状态。由通过 1 点的等熵线与压力为 p_k 的等压线的交点来确定。

点 3：制冷剂离开冷凝器(进入膨胀阀)的状态。由压力为 p_k 的等压线与饱和液体线的交点来确定。

点 4：制冷剂离开膨胀阀(进入蒸发器)的状态。由通过 3 点的等焓线与压力为 p_0 的等压线的交点来确定。

过程 1→2：制冷剂在压缩机中的绝热压缩过程。该过程要消耗功量。

过程 2→3：制冷剂在冷凝器中的定压冷凝过程。该过程要向冷却介质放出热量。

过程 3→4：制冷剂在膨胀阀中的绝热节流过程。因为该过程不可逆，所以在图上用一

条虚线表示。

过程 4→1：制冷剂在蒸发器中的定压汽化过程。该过程要从被冷却介质吸收热量。

第三节 单级蒸汽压缩式制冷理论循环的热力计算

热力计算的目的是要算出理论循环的性能指标，为实际循环计算和选择制冷设备提供原始数据。

1. 单位质量制冷量 q_0 和单位容积制冷量 q_v

单位质量制冷量 q_0 是指在一次循环中，1 kg 制冷剂在蒸发器中从被冷却介质所吸收的热量，即 1 kg 制冷剂在蒸发器中完成一次循环所制取的冷量，又可称为单位制冷量。即

$$q_0 = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (1-2)$$

单位容积制冷量 q_v 是指在吸气状态下，压缩机每吸进 1 m³ 的制冷剂蒸汽所制取的冷量。即

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{h_1 - h_4}{v_1} \text{ (kJ/m}^3\text{)} \quad (1-3)$$

式中 v_1 ——吸气状态下，压缩机吸进制冷剂蒸汽的比容(m³/kg)。

2. 制冷装置中制冷剂的质量流量 M_R 和体积流量 V_R

制冷装置中制冷剂的质量流量 M_R 即单位时间内压缩机吸入制冷剂蒸汽的流量，其表达式如下：

$$M_R = \frac{\varphi_0}{q_0} \text{ (kg/s)} \quad (1-4)$$

$$V_R = M_R v_1 = \frac{\varphi_0}{q_0} v_1 = \frac{\varphi_0}{q_v} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (1-5)$$

3. 冷凝器的热负荷 φ_k

单位冷凝热负荷为

$$q_k = h_2 - h_3 \text{ (kJ/kg)} \quad (1-6)$$

$$\varphi_k = M_R q_k = M_R (h_2 - h_3) \text{ (kW)} \quad (1-7)$$

4. 压缩机的理论功率 P_{th}

单位理论耗功为

$$\omega_0 = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (1-8)$$

$$P_{th} = M_R \omega_0 = M_R (h_2 - h_1) \text{ (kW)} \quad (1-9)$$

5. 理论制冷系数 ε_{th}

$$\varepsilon_{th} = \frac{q_0}{\omega_0} = \frac{\varphi_0}{P_{th}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (1-10)$$

【例 1-1】 某空调房间需制冷量 3 kW，假定为蒸汽压缩式制冷理论循环，制冷剂为

R134a, 蒸发温度 $t_0 = 5^\circ\text{C}$, 冷凝温度 $t_k = 40^\circ\text{C}$ 。试对该循环进行热力计算。

【解】 要进行制冷循环的热力计算, 首先需要知道制冷剂在各特定状态下的热力状态参数。根据工作条件, 可在制冷剂 R134a 的 $\lg p-h$ 图上确定出理论循环, 如图 1-5 所示。并根据 R134a 的热力性质表和压焓图查取相应的热力状态参数如下:

$$h_1 = 400.90 (\text{kJ/kg})$$

$$v_1 = 57.47 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{kg})$$

$$h_3 = h_4 = 256.44 (\text{kJ/kg})$$

$$h_2 = 425.1 (\text{kJ/kg})$$

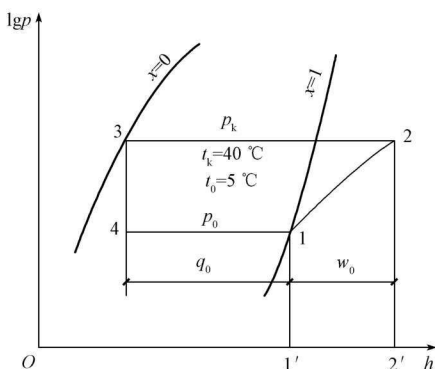


图 1-5 制冷剂理论循环图

(1) 单位质量制冷量 q_0 和单位容积制冷量 q_v :

$$q_0 = h_1 - h_4 = 400.90 - 256.44 = 144.46 (\text{kJ/kg})$$

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{144.46}{57.47 \times 10^{-3}} = 2513.66 (\text{kJ/m}^3)$$

(2) 制冷剂的质量流量 M_R 和体积流量 V_R :

$$M_R = \frac{\varphi_0}{q_0} = \frac{3}{144.46} = 0.021 (\text{kg/s})$$

$$V_R = M_R v_1 = 0.021 \times 57.47 \times 10^{-3} = 1.21 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{s})$$

(3) 冷凝器的热负荷 φ_k :

$$\varphi_k = M_R (h_2 - h_3) = 0.021 \times (425.1 - 256.44) = 3.54 (\text{kW})$$

(4) 压缩机的理论功率 P_{th} :

$$P_{th} = M_R (h_2 - h_1) = 0.021 \times (425.1 - 400.90) = 0.51 (\text{kW})$$

(5) 理论制冷系数 ε_{th} :

$$\varepsilon_{th} = \frac{\varphi_0}{P_{th}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{400.90 - 256.44}{425.1 - 400.90} = 5.97$$

第四节 液体过冷、蒸汽过热及回热循环

在蒸汽压缩式制冷的理论循环中, 压缩机吸入的是蒸发压力下的饱和蒸汽, 进入节流机构的是冷凝压力下的饱和液体, 而没有注意到蒸汽过热或液体过冷的影响。在实际应用中, 往往会根据实际情况采用液体过冷、蒸汽过热或回热循环, 这些都会使循环的特性发生变化, 下面将逐一说明。

为了简化分析, 在分析、讨论某一影响因素时, 假定其他方面仍按理论循环的假设条件进行, 不发生变化。

一、液体过冷循环

液体过冷是指制冷剂液体的温度低于冷凝温度的状态。两者温度之差称为过冷度，用 Δt_{gl} 表示。具有液体过冷的循环就称为液体过冷循环。图 1-6 为液体过冷循环的压焓图。图中 1-2-3-4-1 是基本理论循环，而 1-2-3'-4'-4-1 是有过冷的循环，其中 3-3' 为制冷剂液体的过冷过程。

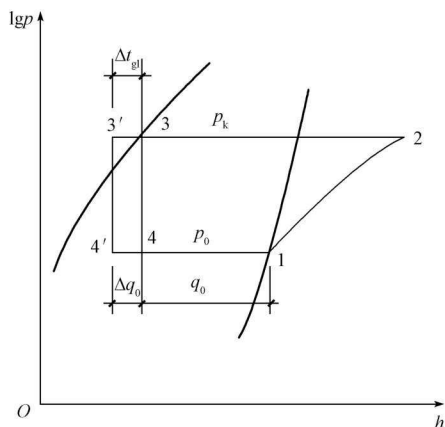


图 1-6 液体过冷循环的压焓图

由图 1-6 可以看出，液体过冷循环的单位制冷量为

$$q'_0 = h_1 - h_{4'} = (h_1 - h_4) + (h_4 - h_{4'}) = q_0 + \Delta q_0$$

即制冷量与理论循环相比有所增加，增加量为

$$\Delta q_0 = h_4 - h_{4'} = h_3 - h_{3'}$$

上式说明，在液体过冷循环中，增加的制冷量等于制冷剂因过冷而放出的热量。并且过冷度 Δt_{gl} 越大，单位制冷量也越大。

因为在液体过冷循环中，压缩机的耗功并未改变，所以液体过冷循环的制冷系数为

$$\epsilon'_0 = \frac{q'_0}{w_0} = \frac{q_0 + \Delta q_0}{w_0} = \epsilon_{th} + \Delta \epsilon$$

由分析可知，液体过冷提高了制冷系数，对制冷循环是有利的，且过冷度越大越有益。同时，从图 1-6 可以看出，液体过冷循环的节流点 4' 比理论循环的节流点 4 更靠近饱和液体线，即干度减小、闪发性气体减少，可保证节流机构工作稳定，这对制冷循环也是有利的。

在实际制冷装置中，可以通过适当增大冷凝面积、在制冷系统中设置过冷器（也称再冷器）或回热器等方法来实现液体过冷。但采用液体过冷，要增设过冷设备，还需消耗冷却水，这无疑会增加制冷设备的初投资及运行成本。因此，是否采用液体过冷还需进行全面的经济技术分析与比较。

二、蒸汽过热循环

蒸汽过热是指制冷剂蒸汽的温度高于蒸发温度的状态。两者温度之差称为过热度，用

Δt_{gr} 表示。具有蒸汽过热的循环就称为蒸汽过热循环。图 1-7 为蒸汽过热循环的压焓图。图中 1-2-3-4-1 为基本理论循环，而 1-1'-2'-2-3-4-1 为有过热的循环。其中，1-1'为制冷剂蒸汽的过热过程，1'-2'为压缩机中的压缩过程，2'-2-3 为冷凝器中的冷却、冷凝过程。

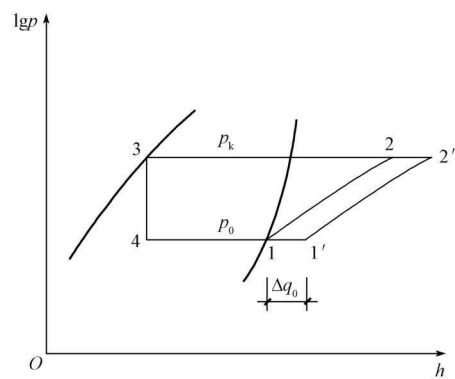


图 1-7 蒸汽过热循环的压焓图

蒸汽过热分为有效过热和有害过热两种情况。如果过热吸收的热量来自于被冷却的介质，产生了有用的制冷量，这种过热称为有效过热；否则，称之为有害过热。制冷循环中制冷剂蒸汽在蒸发器内过热属于有效过热；但制冷剂蒸汽在蒸发器与压缩机的连接管道中吸收周围环境的热量而过热属于有害过热。

根据图 1-7 分析过热对制冷循环的影响。表 1-1 中列出了过热循环与基本理论循环相比较发生的变化。

表 1-1 蒸汽过热循环与基本理论循环的比较

比较项目	理论基本循环	有效过热循环	有害过热循环
单位制冷量 q_0	h_1-h_4	$h_{1'}-h_4=q_0+\Delta q_0$	h_1-h_4
单位耗功 w_0	h_2-h_1	$h_{2'}-h_{1'}=w_0+\Delta w_0$	$h_{2'}-h_{1'}=w_0+\Delta w_0$
制冷系数 ϵ_0	$\frac{q_0}{w_0}$	$\frac{q_0+\Delta q_0}{w_0+\Delta w_0}$	$\frac{q_0}{w_0+\Delta w_0}=\epsilon_0-\Delta\epsilon_0$

以上分析表明，有害过热使制冷循环的制冷系数下降，对制冷循环是不利的。因此，压缩机前的低温吸气管需包裹绝热材料，以尽可能地减小有害过热。

有效过热是否对制冷循环有益，需要看制冷剂的种类和性质。研究表明，蒸汽有效过热对制冷剂 R134a、R290、R502 是有益的，可使制冷系数增加；而对制冷剂 R22、R717 则无益，会使制冷系数降低。

在实际运行中，压缩机吸入的制冷剂蒸汽应有一定过热度；否则很可能发生湿压缩，给压缩机的运行带来危害。