



全国高等职业教育规划教材

家用电冰箱与空调器原理及维修

主 编 何丽梅

副主编 张 悦



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是根据教育部高等职业教育应用电子技术专业教学大纲的“家用电器原理与维修”课程中关于电冰箱、空调器原理及维修的教学基本要求编写的。在编写中同时参考了有关行业职业技能鉴定规范及制冷设备维修中级技术工人等级考核标准。

本书既覆盖了教学大纲的知识点,又体现了时代特征,增加了一些实用的新知识、新技术和新工艺。主要内容有制冷与空调技术基础知识、电冰箱与家用空调器的主要部件及工作原理、制冷设备维修与安装工艺、电冰箱与空调器检修实训等。

本书可供高等职业学校3年制应用电子技术专业使用,也可供从事电子电器制造和维修工作的工程技术人员学习参考及作为岗位培训用书。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过与下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

家用电冰箱与空调器原理及维修/何丽梅主编. —北京:
机械工业出版社, 2012. 5

全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-37533-3

I. ①家… II. ①何… III. ①冰箱—理论—高等职业教育—教材②冰箱—维修—高等职业教育—教材③空气调节器—理论—高等职业教育—教材④空气调节器—维修—高等职业教育—教材 IV. ①TM925

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第028178号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王颖 版式设计:霍永明

责任校对:赵蕊 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10 75印张·264千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37533-3

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	邓 红	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳	杨打生
杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文	季顺宁
罗厚军	姚建永	钮文良	聂开俊	袁 勇	袁启昌
郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健	崔金辉	曹 毅
章大钧	黄永定	曾晓宏	蔡建军	谭克清	

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

随着社会经济的发展，对技术人才的需求越来越迫切，同时也对技术人才的专业知识和操作技能提出了更高的要求。职业学校的教材内容和教学方法也在不断进行相应的调整。

本书是高等职业院校应用电子技术专业的一门技术课程教材，是依据教育部颁发的应用电子技术专业教学大纲“家用电器原理与维修”课程中关于电冰箱、空调器原理及维修的教学基本要求编写而成的。在编写中，还参考了有关行业职业技能鉴定规范及制冷设备维修中级技术工人等级考核标准。

本书既覆盖了教学大纲的知识点，又体现了时代特征，并增加了一些实用的新知识、新技术和新工艺，将制冷技术基础与家用电冰箱、空调器实用技术相互贯通，对传统内容进行了压缩，着重介绍了新工艺、新技术的应用以及新产品的性能特点。主要内容有制冷与空调技术基础知识、电冰箱与家用空调器的主要部件及工作原理、制冷设备维修与安装工艺、电冰箱与空调器检修实训等。

本书从目前职业学校学生的实际出发，简化理论教学，突出能力培养，着重培养学生的学习能力、分析问题的思维能力、应用理论知识解决实际问题的能力和动手操作的能力，在文字上力求通俗易懂，降低理论难度。

本书可供高等职业学校3年制应用电子技术专业教学使用，也可供从事家用电器制造、维修工作的工程技术人员学习参考及作为岗位培训用书。

本书由吉林信息工程学校何丽梅任主编，何丽梅编写第1章并统稿，参加编写的还有吉林电子信息职业技术学院张悦，吉林北华大学师范分院杨柳，吉林信息工程学校田凤君、牛春娇。其中张悦编写第2章，杨柳编写第3章，牛春娇编写第4章，田凤君编写第5章。

本书由吉林信息工程学校黄永定主审。

本书编写过程中参考了部分同类教材及相关杂志，部分数据与图片来自生产厂家工艺文件及互联网相关信息，特向本书参考文献的作者表示衷心的感谢。

对本书的错误、疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正，使之在教学实践中不断充实完善，以便更好地为职业技术教育服务。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 制冷与空调技术基础知识	1
1.1 制冷与空调技术概述	1
1.1.1 制冷的基本概念	1
1.1.2 人工制冷及其基本方法	2
1.1.3 制冷技术的研究内容	3
1.2 热力学基础知识	4
1.2.1 热力状态参数	4
1.2.2 热力学基本定律与常用术语	6
1.2.3 压焓图	9
1.2.4 传热学基础	10
1.3 制冷剂与润滑油	11
1.3.1 对制冷剂的要求	11
1.3.2 常用制冷剂的种类与性质	12
1.3.3 润滑油（冷冻油）	14
1.4 习题	15
第2章 电冰箱	16
2.1 电冰箱的结构与工作原理	16
2.1.1 电冰箱的分类	16
2.1.2 型号命名与能效标识	18
2.1.3 电冰箱的基本组成	18
2.1.4 压缩式电冰箱的制冷原理	21
2.2 电冰箱制冷系统主要部件	22
2.2.1 制冷压缩机	22
2.2.2 蒸发器	25
2.2.3 冷凝器	26
2.2.4 干燥过滤器	27
2.2.5 毛细管与热力膨胀阀	28
2.2.6 温控器	30
2.2.7 化霜定时器	33
2.2.8 起动器	34
2.2.9 热保护装置	35
2.3 电冰箱的电气控制系统	38

2.3.1	直冷式单门电冰箱电路	38
2.3.2	间冷式双门全自动化霜电冰箱电路	40
2.3.3	电子温控电路	41
2.3.4	电冰箱的微电脑控制	45
2.4	电冰箱维修技术	46
2.4.1	电气系统故障分析	46
2.4.2	制冷系统故障分析	49
2.4.3	维修制冷剂为 R600a 电冰箱的特殊要求	50
2.4.4	电冰箱常见故障及维修	52
2.5	习题	54
第3章	家用空调器	56
3.1	家用空调器的功能与种类	56
3.1.1	空调器的功能	56
3.1.2	空调器的种类	57
3.1.3	空调器型号的命名方法	59
3.1.4	空调器的能效等级	59
3.2	空调器制冷系统的主要部件	60
3.2.1	全封闭压缩机	60
3.2.2	电磁换向阀	61
3.2.3	换热器	61
3.2.4	毛细管与干燥过滤器	62
3.3	空调器的主要电气部件	63
3.3.1	风机	63
3.3.2	压缩机外部加热器	64
3.3.3	交流接触器	65
3.3.4	漏电保护器	66
3.3.5	高压开关	66
3.3.6	同步电动机与步进电动机	67
3.4	家用空调器的工作原理	68
3.4.1	冷风型空调器的工作原理	68
3.4.2	热泵冷风型空调器制冷工作原理	70
3.4.3	热泵冷风型空调器制热工作原理	70
3.5	空调器电路分析	71
3.5.1	冷风型空调器的电气系统	71
3.5.2	分体式热泵型空调器的电气系统	72
3.5.3	微电脑控制的空调器电路	73
3.6	变频式空调器	77
3.6.1	变频器及控制原理	77
3.6.2	变频空调器的制冷系统及其特有部件	80

3.6.3 电气控制系统	83
3.7 空调器常见故障分析方法与检修	85
3.7.1 故障分析方法	85
3.7.2 常见故障的检修	87
3.8 习题	90
第4章 制冷设备维修与安装工艺	91
4.1 制冷系统检修常用工具与设备及其使用方法	91
4.1.1 通用工具与专用工具	91
4.1.2 制冷剂充注工具	95
4.1.3 检漏工具	96
4.1.4 测量仪表	97
4.1.5 焊接设备及材料	100
4.2 焊接工艺	102
4.2.1 焊接火焰	103
4.2.2 焊接操作要点	104
4.2.3 焊接缺陷与原因分析	108
4.2.4 焊接安全注意事项	109
4.2.5 使用洛克环进行管路连接的方法	110
4.3 制冷系统的清洗与排油	112
4.3.1 制冷系统的清洗	112
4.3.2 制冷系统的排油	113
4.4 检漏	114
4.5 抽真空与充注制冷剂	115
4.5.1 抽真空操作	115
4.5.2 对电冰箱制冷系统充注制冷剂的方法	117
4.5.3 对空调器制冷系统充注制冷剂的方法	119
4.6 制冷系统的常见故障及排除方法	119
4.6.1 冰堵故障及排除方法	120
4.6.2 脏堵故障及排除方法	121
4.6.3 泄漏故障及排除方法	122
4.7 空调器的安装	123
4.7.1 安装空调器的准备工作	123
4.7.2 挂壁式空调器的安装	124
4.7.3 嵌入式空调器的安装	131
4.8 空调器的移机	135
4.8.1 移机方法与步骤	135
4.8.2 空调器的重新安装	137
4.8.3 追加制冷剂	138
4.9 习题	139

第5章 检修工艺实训	140
5.1 电冰箱电气控制系统的检测	140
5.1.1 实训目的	140
5.1.2 实训器材	140
5.1.3 实训内容与步骤	140
5.1.4 实训报告	142
5.2 制冷系统维修工具的使用	143
5.2.1 实训目的	143
5.2.2 实训器材	143
5.2.3 实训内容与步骤	143
5.2.4 实训报告	144
5.3 制冷系统管路的焊接	145
5.3.1 实训目的	145
5.3.2 实训器材	145
5.3.3 实训内容与步骤	145
5.3.4 实训报告	147
5.4 电冰箱制冷系统抽真空与制冷剂充注	148
5.4.1 实训目的	148
5.4.2 实训器材	148
5.4.3 实训内容与步骤	148
5.4.4 实训报告	150
5.5 分体挂壁式空调器的拆装与检测	151
5.5.1 实训目的	151
5.5.2 实训器材	151
5.5.3 实训内容与步骤	151
5.5.4 实训报告	153
5.6 电冰箱开背修理与更换蒸发器	154
5.6.1 实训目的	154
5.6.2 实训器材	154
5.6.3 实训内容与步骤	154
5.6.4 实训报告	156
5.7 空调器制冷系统检查及制冷剂与冷冻润滑油的充注	156
5.7.1 实训目的	156
5.7.2 实训设备	156
5.7.3 实训内容与步骤	157
5.7.4 充注制冷剂的注意事项	159
5.7.5 实训报告	159
参考文献	161

第 1 章 制冷与空调技术基础知识

【教学目标】

- 掌握与制冷技术有关的热力学基础理论知识。
- 了解常用制冷剂的种类、命名及性质。
- 了解冷冻油的种类及性质。
- 掌握压焓图绘制方法。

1.1 制冷与空调技术概述

1824 年,英国著名科学家法拉第首先发现了吸收式制冷机理。1834 年,现代压缩式制冷技术的开创者美国工程师 J. Perkins (珀金斯) 首次研制成功以乙醚为制冷工质的人力驱动的制冷机。1844 年,美国的 J. 戈里 (John Gorrie) 试制了以空气为工质的制冷机,用在医院中制冰和冷却空气。1872 ~ 1874 年,美国和德国分别发明了氨压缩机,并制成了氨蒸汽压缩式制冷机,这是现代压缩式制冷机的发端。19 世纪 50 年代,法国的卡雷兄弟先后研制成功了以硫酸和水为工质的吸收式制冷机和氨水吸收式制冷机。1910 年出现了蒸汽喷射式制冷机。1930 年出现了氟利昂制冷剂,促进了压缩式制冷机的迅速发展。1945 年,美国研制成功溴化银吸收式制冷机。

自 1834 年始,制冷与空调技术已经历 100 多年的发展历史。这 100 多年来,随着科学技术的不断发展,制冷与空调技术已广泛应用于工农业生产、建筑环境、医疗卫生、国防建设等国民经济各个领域,并在改善人类的生活水平方面发挥了巨大作用。

1.1.1 制冷的基本概念

1. “制冷”的定义

制冷作为一门科学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。这里所说的“冷”是相对于环境而言的,将灼热的铁放在空气中,铁通过辐射和对流向环境传热,逐渐冷却到环境温度。它是自发的传热降温,属于自然冷却,而不是制冷。制冷是从物体或流体中取出热量,并将热量排放到环境介质中去,以产生低于环境温度的过程。

2. 制冷机

在机械制冷中所需的机器和设备的总和称为制冷机。

3. 工质

在制冷机中使用的工作介质称为制冷工质,即制冷剂。制冷剂在制冷机中循环流动,同时与外界发生能量交换,即不断地从被冷却对象中吸取热量,向环境排放热量。制冷剂一系列状态变化的过程综合为制冷循环。为了实现制冷循环,必须消耗能量。所消耗能量的形式可以是机械能、电能、热能、太阳能或其他可能的形式。

1.1.2 人工制冷及其基本方法

人工制冷是指用人工方法将被冷却系统（空间）不断吸收的热量排至环境介质，从而使被冷却系统达到比环境介质更低的温度，并在需要的时间内维持所需低温的一门技术。根据所能实现的温度，一般将人工制冷技术分为制冷、低温及超低温技术。一般称能实现从低于环境温度至 119.8K 温度范围的技术为制冷技术；能实现从 4.23 ~ 119.8K 温度范围的技术为低温技术；能实现从 4.23K 至接近绝对零度范围的技术为超低温技术。

在制冷领域，一般将应用于空调制冷、食品冷加工和贮藏、工艺性制冷等领域的制冷技术称为普通制冷（简称为普冷）；将应用于气体分离、液化等领域的制冷技术称为深度制冷（简称为深冷）。普冷与深冷一般并不按严格的温度标准来区分，而是根据制冷原理、制冷工质及制冷装置的种类以及实际工程应用的特点大致划分。本书所述的电冰箱、空调器属于普冷范畴。人工制冷的的方法很多，大致可分为物理方法和化学方法两大类。到目前为止，绝大多数人工制冷方法属于物理方法，应用较广泛的人工制冷方法有相变制冷、液体汽化制冷、气体膨胀制冷、半导体制冷、涡流管制冷、固体吸附制冷和磁制冷等。

1. 相变制冷

相变制冷即利用物质相变的吸热效应实现制冷。如冰融化时要吸取 80kcal/kg 的溶解热；氨在 1 标准大气压下汽化时要吸取 327kcal/kg 的汽化潜热；干冰在 1 标准大气压下升华要吸取 137kcal/kg 的热量，其升华温度为 -78.9℃。目前干冰制冷常被用在人工降雨和医疗领域。

2. 液体汽化制冷

液体汽化制冷是利用液体汽化时的吸热效应而实现制冷的。在一定压力下液体汽化时，需要吸收热量，该热量称为液体的汽化潜热。液体所吸收的热量来自被冷却对象，使被冷却对象温度降低，或者使它维持低于环境温度的某一温度。为了使上述过程得以连续进行，必须不断地将蒸气从容器（蒸发器）中抽走，再不断地将液体补充进去。由此可见，液体汽化制冷循环由液体工质低压下汽化、工质气体升压、高压气体液化、高压液体降压这 4 个基本过程组成。

液体汽化制冷是目前生产实际中广泛应用的制冷方法，这种制冷常称为蒸气制冷。它有蒸汽压缩式制冷（消耗机械能）、吸收式制冷（消耗热能）、蒸汽喷射式制冷（消耗热能）和吸附式制冷等几种类型。

3. 气体膨胀制冷

这是利用气体通过节流阀或膨胀机绝热膨胀时，对外输出膨胀功，同时使温度降低，以此来达到制冷目的的。与液体汽化式制冷相比，气体膨胀制冷是一种没有相变的制冷方式，所采用的工质主要是空气。此外，根据不同的使用目的，工质也可以是 CO₂、O₂、N₂、He 或其他理想气体。

4. 半导体制冷

半导体制冷又称为热电制冷或温差电制冷。半导体制冷的依据是帕尔贴（Peltire）效应，即在两种不同金属组成的闭合电路中接上一个直流电源时，一个接合点变冷，另一个接合点变热。但是纯金属的帕尔贴效应很弱，且热量通过导线对冷热端有相互干扰，而用两种半导体（N 型和 P 型）组成的直流闭合电路，则有明显的帕尔贴效应，且冷热端无相互干

扰。半导体制冷就是利用半导体的温差电效应来实现制冷的。目前半导体制冷只用在小型制冷器中，如电子计算机恒温冷却、精密测量仪器的冷源及精密机床的油箱冷却器等，都是温差电制冷。半导体制冷原理与实际制冷装置（热电堆）分别如图 1-1a 和 b 所示。

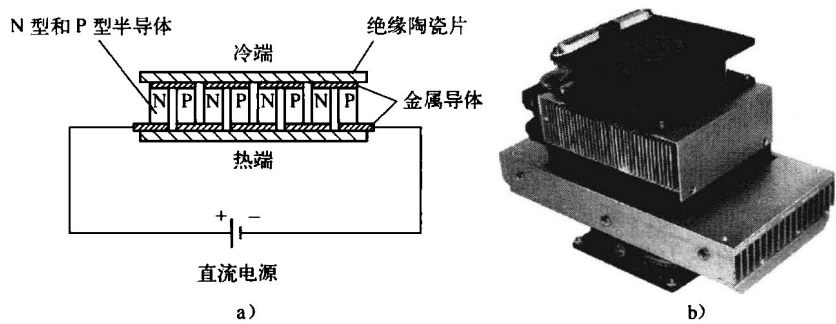


图 1-1 半导体制冷原理与实际制冷装置
a) 半导体制冷原理 b) 实际制冷装置

5. 涡流管制冷

涡流管制冷是由法国人兰克（Ranque）首先提出的。他在 1933 年发明一种装置，可以使压缩气体产生涡流，并将气流分成冷、热两部分。该装置称为涡流管，又叫兰克管。这种制冷方法称为涡流管制冷。涡流管装置由喷嘴、涡流室、孔板、管子和控制阀组成。涡流室将管子分为冷端、热端两部分。喷嘴沿涡流室切向布置，孔板在涡流室与冷端管子之间，热端管子出口处装控制阀，管外为大气。经过压缩并冷却到常温的气体进入喷嘴，在喷嘴中膨胀并加速到音速，从切线方向射入涡流室，形成自由涡流。自由涡流的旋转角速度离中心越近就越大。由于角速度不同，在环形气流的层与层之间产生摩擦，使内层气体失去能量，所以从孔板流出时具有较低的温度；外层气体吸收能量，动能增加，又因为与管壁摩擦，将部分动能变成热能，所以使得从控制阀流出的气体具有较高的温度。由此可见，涡流管可以同时获得冷、热两种效应。用控制阀控制热端管子中气体的压力，从而控制冷、热两股气流的流量及温度。实验表明，当高压气体为常温时，冷气流的温度可达 $-50 \sim -10^{\circ}\text{C}$ ，热端温度可达 $100 \sim 130^{\circ}\text{C}$ 。

涡流管制冷的主要缺点是，效率太低，气流噪声大。但它结构简单、维护方便、启动快，使用灵活，因而常用在有高压气源或易于低价获得高压气体的场合。

综上所述，制冷的方法有很多，都有各自的优点和局限性。但在普通制冷温度范围，液体汽化制冷占据压倒性的地位。

1.1.3 制冷技术的研究内容

- 1) 研究获得低温的方法和有关的机理以及与此相应的制冷循环，并对制冷循环进行热力学的分析和计算。
- 2) 研究制冷剂的性质，从而为制冷机提供性能满意的工作介质。机械制冷要通过制冷剂热力状态的变化才能实现。因此，制冷剂的热物理性质是进行循环分析和计算的基础数据。此外，为了使制冷剂能实际应用，还必须掌握它们的一般物理化学性质。
- 3) 研究实现制冷循环所必需的各种机械和技术设备，包括它们的工作原理、性能分

析、结构设计，以及制冷装置的流程组织、系统配套设计。此外，还有热绝缘问题，制冷装置的自动化问题等。

1.2 热力学基础知识

1.2.1 热力状态参数

在电冰箱、空调器中多采用物理方法制冷。物理方法制冷是应用物质的物理变化来实现的，人们把这些物质叫做制冷剂或制冷工质。制冷剂在制冷系统中不断地进行各种状态变化，即处于各种不同的热力状态。用来描述制冷剂热力状态的各种物理量称为热力工作参数，简称状态参数。状态参数有温度 (T)、压力 (P)、质量 (m)、密度 (ρ)、焓 (H)、熵 (S)、内能 (U)、质量体积 (v)、比热容 (C) 等。

1. 温度

温度是表征物体冷、热程度的物理量，是物体冷热程度的量度。所有的气体、液体、固体都含有热。热度的数量表示叫做温度。为了使温度的测量一致，需要有衡量温度的标尺（称为温标）规定测量温度的基点和单位。目前，在日常生活和制冷技术中常用的是热力学温标 T (K) 和摄氏温标 ($^{\circ}\text{C}$) 两种。

1) 热力学温标 T 。热力学温标又称为开尔文温标或绝对温标，单位是 K。它规定将纯净的水在一个标准大气压下的冰点定为 273.16K，沸点为 373.16K，其间分 100 等份，每一等份为开氏 1 度，记做 1K。在热力学中规定，当物体内部分子的运动终止时，其热力学温度为 0 度，即 $T=0\text{K}$ 。

2) 摄氏温标 t 。摄氏温标又称为国际温标，单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。它是以纯净水在一个标准大气压下的冰点为 0 度，沸点为 100 度，其间分 100 等份，每一等份为摄氏 1 度，记做 1°C 。摄氏温标制为十进制，简单易算。相应的温度计为摄氏温度计。按照国际规定，当温度在零以上时，温度数值前面加 “+” 号（可省略）；当温度在零以下时，温度数值前面加 “-”（不可省略）。

两种温标制之间的换算关系如下：

$$T = (273 + t) (\text{K}) \quad t = (T - 273) (^{\circ}\text{C})$$

测量温度的温度计的种类很多，在制冷工程中常用的温度计有玻璃温度计、热电偶式温度计、电接点式温度计、电阻式温度计和半导体式温度计等。

2. 压力

压力是指单位面积上所受到的垂直作用力，物理学中称为压强 (P)，在热力工程上称为压力。压力单位是帕 [斯卡] (Pa)，在工程应用时，帕的值太小，而是以它的 10^6 倍作为常用单位，称为“兆帕”，用 “MPa” 表示。 $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

1) 真空度。真空是指某一空间单位体积中气体分子数目减少到其压力低于标准大气压的气体状态。完全没有物质的“绝对真空”是不存在的。

真空度是表示真空程度的物理量。如果在一个封闭的容器上接一只压力表，当表针指 0Pa 时，就说明容器内的压力恰好等于当时当地的大气压力。如果压力表指在 -0.1MPa 时，就说明该容器内已处于真空状态。

如果压力表指 -0.02MPa ，就说明容积内的气压（或液压）为 0.08MPa ，比外界大气压低 0.02MPa ，这 -0.02MPa 就叫真空度。因此，容积内压力比外界大气压低的程度称为真空度。

2) 绝对压力。以绝对零压力线（绝对真空）为测量基点测得的压力即为绝对压力。用符号 P_a 表示。

3) 表压力（相对压力）。以一个大气压为测量基点测得的压力即为表压力。也就是压力表所指示的压力值，用符号 P_q 表示。

如果以 B 表示当地大气压力，那么 P_a 、 P_q 与 B 有下列关系：

$$P_a = P_q + B$$

绝对压力、表压力与真空度三者之间的关系如图 1-2 所示。

3. 热量和比热容

1) 热。热是物质热能的表达形式，可以表示物质吸热或放热的多少，用 Q 表示，单位为焦 [耳]，用 J 表示。但因焦这个单位在工程应用中太小，故常以 10^3 倍的焦作为单位，即千焦，符号为 kJ。

制冷系统的制冷量也是热的形式，因此符号及单位与热一样，常用 Q_0 表示，专用于制冷量。

2) 比热容。单位质量的某种物质温度升高或降低 1 摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$) 时所吸收或放出的热，叫做这种物质的比热容，常用 C 表示，单位为千焦 [耳] 每千克开 [尔文] ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)。

3) 热方程。热方程是用来计算一定质量的物资，在温度变化过程中所吸收或放出热量的数学表达式，其形式为：

$$Q = Cm\Delta t$$

式中 Q ——吸收或放出的热量 (kJ)；

C ——物质比热容 ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)；

m ——物质质量 (kg)；

Δt ——温度升高或降低的幅度值 (K)。

4. 内能

内能 U 是制冷系统内部能量的总称。制冷系统内动能取决于物质分子的质量和它的平均速度。物质分子运动增加，动能增加；运动减弱，动能减少。摩擦、冲击、压力、日光辐射、通电、化学作用或燃烧等原因都能引起动能的增加。内势能则取决于分子之间的平均距离和吸引力。当物质接受外来能量膨胀或改变形态（如液态变为气态）时，所接受的外来能量使分子间距离变大，即转变为物质的内势能。在热力学中，内能是分子热运动动能和分子势能的总和。

5. 焓与熵

焓是热力学中表示物质系统能量的一个状态参数，表示工质所含的全部热能，常用符号 H 表示。数值上等于系统的内能 U 加上压强 P 和体积 V 的乘积，即 $H = U + PV$ ，其单位为 J 或 kJ。焓的变化是系统在等压可逆过程中所吸收的热量的度量，1 千克工质的焓称为比焓，

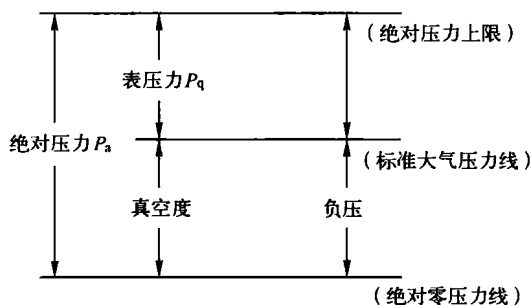


图 1-2 绝对压力、表压力与真空度三者之间的关系

用符号 h 表示，单位为 J/kg 或 kJ/kg ，则比焓为 $h = u + pv$ 。因为焓是由状态参数 u 、 p 、 v 组成的综合量，对工质的某一确定状态， u 、 p 、 v 均有确定的数值。因而 $u + pv$ 的数值也就完全确定。因此，焓是一个取决于工质状态的状态参数。

熵是表示物质系统状态的一个物理量，它表示该状态可能出现的程度。用符号 S 表示。在热力学中，是用以说明热力学过程不可逆性的一个比较抽象的物理量。熵是热力系统内微观粒子无序度的一个量度，熵的变化可以判断热力过程是否为可逆过程。

1.2.2 热力学基本定律与常用术语

1. 热力学第一定律

热力学第一定律是能量守恒定律，即当一定量的热消失时必然产生一定量的功；消耗一定量的功必然出现与之相对应的一定量的热。热和功之间的转换用下式表示：

$$Q = AL$$

式中 Q ——消耗的热量 (J 或 kJ)；

L ——得到的功 ($\text{kg} \cdot \text{m}$)；

A ——功热当量 ($\text{KJ/kg} \cdot \text{m}$)。

因为热量和功的计量单位不同，所以式中引入一个功热当量 A ，其值约为 $1/427 \times 4.1868 \text{ kJ/kg} \cdot \text{m}$ 。

该定律说明了热能和机械能在数量上的相互转化关系，但没有指出能量转化的方向和必备条件。

2. 热力学第二定律

如果两个温度不同的物体相接触，那么热量总是从高温物体传向低温物体，而不能逆向进行。机械能可以通过摩擦变为热能，而热能却不能通过摩擦转变为机械能。前一过程是自发进行的不需要任何条件，而后一过程却不能自发进行，要使它成为可能，必须具备一定的补充条件，即消耗一定的外界功。

热力学第二定律说明，热量能自动地从高温物体向低温物体传递，而不能自动地从低温物体向高温物体传递。要使热量从低温物体向高温物体传递，必须借助外功，即消耗一定的机械能。例如，在制冷工程中，为了冷藏或冷冻食品，必须从低温物体（被冷冻对象）中吸热，再把热能转移给高温物体（周围介质——水或空气），这需在制冷机上消耗一定的机械能才能实现。

3. 显热、潜热

1) 物质三态及状态变化。物质具有质量和占有空间。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。物质的三态变化示意图如图 1-3 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，将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。

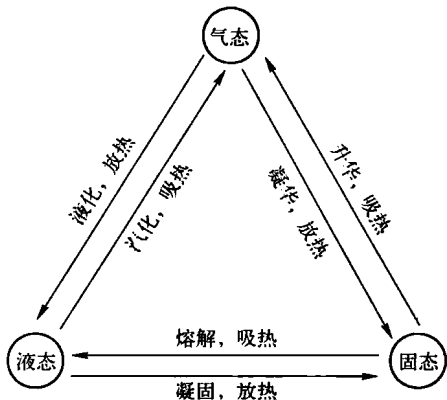


图 1-3 物质的三态变化示意图

人们可利用制冷剂在蒸发器中汽化吸热，而在冷凝器中放热冷凝，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在冷凝器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，以达到制冷的目的。

2) 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出物体的温度变化。

如果把一杯开水（100℃）放在空气中冷却，它就会不断地放出热量，温度也会不断地下降，但其形态仍然是水，这种放热称为显热放热。同样，把一杯水放入电冰箱中，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。

3) 潜热。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，但可通过试验计算出来，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，直至固体的冰完全融化成水之前；这时单位质量的冰所吸收的热量称为熔解潜热。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。当 100℃ 的水因沸腾而汽化时，所吸收的热量称为蒸发潜热，也称为汽化潜热；相反，当 100℃ 的蒸气变成 100℃ 的水时，所放出的热量称为液化潜热。

4. 汽化和液化

1) 汽化。在日常生活中可以看到，把水泼在地面上，不久地面又慢慢恢复干燥。这是因为水变成水蒸气跑到空气里去的缘故。通常把这种过程称为蒸发。把一盆水放在炉子上烧，加热后的水温不断升高，与此同时，从水的表面不断有水蒸气逸出，这也是蒸发过程；但当水被加热到 100℃ 时，情况就发生显著变化，这时水不断地翻滚，并从水里产生大量的气泡，这种现象称为沸腾。在沸腾过程中，尽管炉子还是继续加热，容器中水的温度却始终保持在 100℃ 不变。蒸发与沸腾都是由液体变成蒸气的过程，称为汽化过程，但两者之间有明显的区别。一般来说，蒸发是在任何压力和温度下都在进行，只是局限在表面的液体转为蒸气，而沸腾是在一定压力下只有达到与此压力相对应的一定温度时才能进行的，且从液体内部大量地产生蒸汽。例如，在一个大气压下，水温达到 100℃ 时才会沸腾；而在 47.07kPa 绝对压力下，水温 80℃ 时即可沸腾。

2) 液化。液化与汽化过程恰恰相反，当蒸汽在一定压力下冷却到一定温度时，就会由蒸汽状态转为液体状态，这种冷却过程称为液化过程或凝结过程。例如，在日常生活中，把盛有热水的锅盖揭开，锅盖上就有许多水珠滴下来，这是汽化了的水蒸气遇到冷的锅盖重新凝结的表现；又如当冬天室外温度很低时，房间的玻璃上就有凝结的水珠，这是因为室内空气中的水蒸气遇到较冷的玻璃窗后凝结成水的缘故。

5. 饱和温度与饱和压力

1) 饱和温度。当液体沸腾时所维持不变的温度称为沸点，又称为在某一压力下的饱和温度。

2) 饱和压力。与饱和温度相对应的某一压力称为该温度下的饱和压力。以水为例，其在一个大气压下的饱和温度为 100℃，则水在 100℃ 时的饱和压力为一个大气压。

饱和温度与饱和压力之间存在着一定的对应关系。例如，在海平面，水到 100℃ 才沸

腾；而在高原地带，水不到 100℃ 就沸腾。一般来说，压力升高，对应的饱和温度也升高；温度升高，对应的饱和压力也增大。

在工程实践中，制冷剂的主要特点是沸点低，这样才能利用制冷剂在低温下汽化吸热的特点得到低温。

6. 过热和过冷

1) 过热。在制冷技术中，过热是针对制冷剂蒸汽而言的。过热是指在一定压力下，制冷剂蒸汽的实际温度高于该压力下相对应的饱和温度的现象。同样，当温度一定时，压力低于该温度下相对应的饱和压力的蒸汽也是过热。例如，制冷剂 R12，当蒸发温度为 -15℃ 时，对应的饱和压力应为 182.7kPa。若温度不变，压力低于 182.7kPa，则此蒸汽为过热蒸汽；若压力不变，温度高于 -15℃，则也称为过热蒸汽。

过热蒸汽的温度与饱和温度之差称为过热度。如果一个大气压力下的过热水蒸气温度为 105℃，其过热度则为 $105^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$ 。

2) 过冷。在制冷技术中，过冷是针对制冷剂液体而言的。过冷是指在某一定压力下，制冷剂液体的温度低于该压力下相对应的饱和温度的现象。例如，当制冷剂 R12 的饱和温度为 30℃ 时，对应的饱和压力为 743.442kPa。如果将压力为 743.442kPa 的 R12 制冷液体冷却到 25℃，那么这时的制冷剂液体称为过冷液体。过冷液体比饱和液体温度低的值称为过冷度。例如，压力在 743.442kPa 下的制冷剂 R12 液体的温度为 25℃ 时的过冷度为 $30^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$ 。

7. 临界温度与临界压力

气体的液化与温度和压力有关。增大压力和降低温度都可以使未饱和蒸汽变为饱和蒸汽，进而液化。气体的压力越小，其液化的温度越低。随着压力的增加，气体的液化温度也随之升高。当温度升高超过某一数值时，即使再增大压力也不能使气体液化，这一温度叫做临界温度。在这一温度下，使气体液化的最低压力叫做临界压力。低于临界点温度的气体称为蒸汽。制冷剂蒸汽只有在将温度降到了临界点以下时，才具备液化条件。表 1-1 列出了几种制冷剂的临界温度和临界压力。

表 1-1 几种制冷剂的临界温度和临界压力

制冷剂名称	R12	R22	R134a	R600a
临界温度/℃	112.04	96.14	101.1	134.71
临界压力/MPa	4.133	4.974	4.01	3.64

对临界温度和临界压力的研究，在制冷技术中有着特别重要的意义。比如，对于制冷剂的一般要求中就有临界温度高、临界压力低、易于液化一项。

8. 系统和环境

选取的研究对象称为系统，系统外周围的物质称为环境。几种常见的系统分别为敞开系统（在系统与环境之间既有能量交换，又有物质交换）、封闭系统（在系统与环境之间虽有能量交换，但没有物质交换）和隔离系统（在系统与环境之间既无能量交换，又无物质交换）。