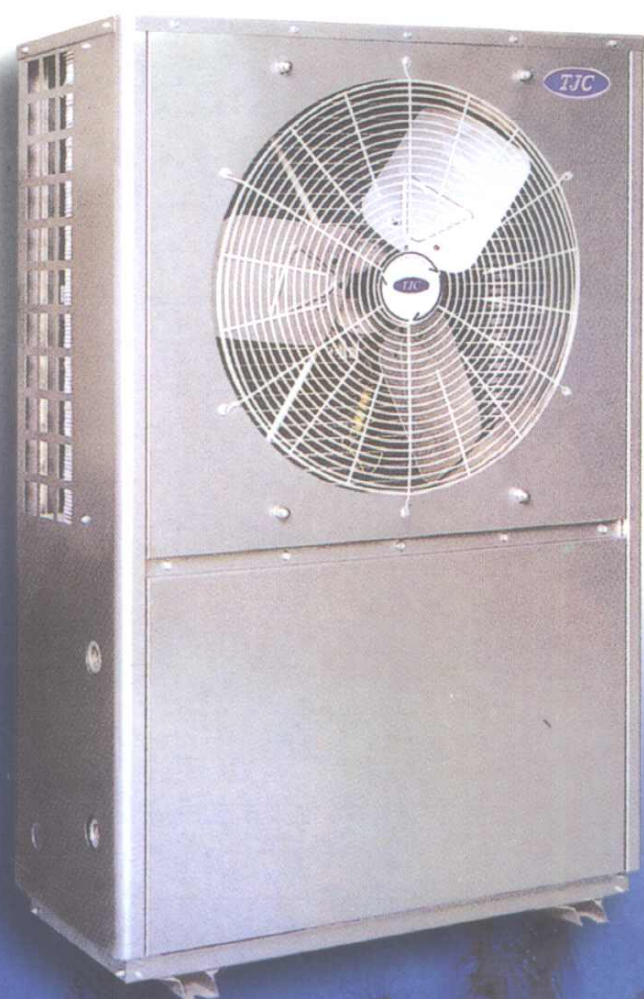




空调机原理 与维修实例

宋垚臻 主编



- 户式中央空调机
- 商用柜式空调机
- 分体式空调器
- 窗式空调器
- 除湿机

661

7B657.2
588

空调机原理与维修实例

主 编	宋 珪 臻	
副主编	吕 金 虎	
编 委	卓 献 荣	王 健 敏
	马 国 远	辛 军 哲

广东科技出版社
·广 州·

内 容 简 介

本书介绍了家用及商用空调机维修所必须的入门知识和基本操作,对家用分体空调器、窗式空调器、商用柜式空调机、户式中央空调机和冷冻除湿机的组成、分类、工作原理及其控制电路原理进行了详细介绍,并对上述各种家用及商用空调机的维修给出了大量的故障分析方法和维修实例。内容深入浅出,注重应用。本书不仅可供空调维修及销售的广大技术人员、工人学习和应用,也可作为各类专业院校空调维修课的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

空调机原理与维修实例/宋垚臻主编. —广州: 广东科技出版社, 2001.9
ISBN 7-5359-2813-7

I. 空… II. 宋… III. 空气调节器 - 维修
IV. TM925.127

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 030004 号

出版发行: 广东科技出版社
(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)
E - mail: gdlkjzbb@21cn.com
http: //www. gdstp. com. cn
出 版 人: 黄达全
经 销: 广东新华发行集团
排 版: 广东科电有限公司
印 刷: 广东省肇庆新华印刷有限公司
(广东省肇庆市星湖大道 邮码: 526060)
规 格: 787mm × 1 092mm 1/16 印张 14 字数 340 千
版 次: 2001 年 9 月第 1 版
2002 年 6 月第 2 次印刷
印 数: 6 001 ~ 9 000 册
定 价: 26.80 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

前 言

近 20 多年来,随着我国国民经济的不断发展和人民生活水平的不断提高,制冷空调装置的应用在社会各个方面得到不断普及,尤其是家用空调器在近 10 年内更是得到迅猛发展,对制冷空调技术人员的需求越来越多,各种不同类型的制冷空调技术培训班也应运而生,这一切都表明制冷空调技术在我国有着广阔的应用和发展前景。

目前市面上对商用柜式空调机、除湿机和户式中央空调机作详细介绍的书很少,而户式中央空调机、商用柜式空调机和除湿机的应用越来越多,维修操作人员迫切需要有关这类空调机的书籍。为满足社会的需要,编者结合多年的教学和实践经验编写了本书,以期对各类专业院校的师生和从事空调运行维修和销售的广大工程技术人员有所帮助。

本书第一章介绍了家用及商用空调机维修所需的基础知识,内容深入浅出,简明扼要,适宜初学者阅读;第二章介绍了家用及商用空调机维修所必备的维修工具及其操作方法,图文并茂,一目了然;第三章和第四章分别介绍了家用分体式空调器和窗式空调器的组成、分类、工作原理以及各种控制电路的组成和原理,详细介绍了家用分体式空调器和窗式空调器的故障分析思路和常见故障的分析方法,并给出了市面上常见的、不同型号的空调器维修实例,举一反三,实用性强;第五章介绍了不同种类商用柜式空调机的组成及工作原理,从制冷系统和电控系统两方面分析了不同型号的商用柜式空调机的常见故障和排除方法,内容广泛,有代表性;第六章介绍了近年来市面上新添的户式中央空调机的组成原理、安装及操作维修实例,内容新颖;第七章介绍了不同种类的家用户用(工业用)冷冻除湿机的组成及工作原理,给出了多种情况下除湿机的维修实例。

参加本书编写的人员有宋珪臻博士(第一章、第五章、第七章第一节)、吕金虎副教授(第二章)、卓献荣工程师(第三章)、王健敏工程师(第四章)、马国远博士(第六章)和辛军哲高级工程师(第七章第二节),李金成助教为本书的插图做了不少工作。

编写过程中,编者参考了书中所列参考书目的有关内容,在此谨向作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

编 者
2001 年 3 月

目 录

第一章 空调维修入门	(1)
第一节 热工基础	(1)
一、基本状态参数	(1)
二、热力学第一定律	(2)
三、热力学第二定律	(4)
四、物质的集态	(4)
五、压焓图	(6)
六、热量传递过程	(7)
七、湿空气及其焓湿图	(9)
第二节 家用和商用空调机用制冷剂、载冷剂与冷冻机油	(12)
一、制冷剂	(12)
二、载冷剂	(13)
三、冷冻机油	(14)
第三节 蒸气压缩式制冷原理	(15)
一、单级蒸气压缩式制冷系统组成及作用	(15)
二、制冷循环原理	(16)
三、热泵原理	(17)
第四节 小型制冷压缩机	(18)
一、小型制冷压缩机的种类	(18)
二、往复活塞式制冷压缩机	(18)
三、滚动活塞式制冷压缩机	(21)
四、涡旋式制冷压缩机	(23)
第五节 蒸发器、冷凝器与节流元件	(25)
一、蒸发器	(25)
二、冷凝器	(28)
三、节流元件	(30)
第六节 家用和商用空调机的辅助器件	(35)
一、干燥过滤器	(35)
二、视液镜	(36)
三、电磁阀	(36)
四、四通换向阀	(37)
五、温控器	(38)
六、压缩机电机起动器件	(39)
七、高低压控制器	(41)
八、油压差控制器	(42)

九、油加热器	(43)
复习题	(43)
第二章 空调维修的操作技能	(45)
第一节 检修工具及仪表	(45)
一、割管器	(45)
二、弯管器	(45)
三、扩管器	(45)
四、快速接头	(47)
五、三通阀	(47)
六、复式修理阀	(47)
七、封口钳	(48)
八、卤素检漏仪和卤素检漏灯	(49)
九、万用表	(50)
十、钳形表	(50)
十一、真空泵	(51)
第二节 焊接操作	(52)
一、焊条与焊剂	(52)
二、钎焊焊接的工艺要求	(53)
三、焊接的操作方法	(54)
四、焊接的注意事项	(55)
第三节 管道连接	(55)
一、常用管材与规格	(55)
二、管子的连接	(56)
三、毛细管的焊接	(58)
四、热力膨胀阀的焊接	(59)
五、吸排气管道连接的特殊要求	(59)
第四节 吹除与清洗除污	(60)
一、制冷系统的吹除清污法	(60)
二、制冷设备的清洗除污法	(60)
第五节 制冷系统的检漏	(61)
一、压力检漏	(61)
二、真空试漏	(62)
三、充制冷剂试漏	(62)
第六节 制冷系统的抽真空	(62)
一、低压侧抽真空	(62)
二、二次抽真空	(63)
三、复式排空气法	(63)
四、高低压双侧抽真空	(63)
第七节 充注制冷剂	(64)
一、定量充注法	(64)

二、称重充注法	(65)
三、压力观察充注法	(65)
第八节 添加冷冻机油	(66)
复习题	(67)
第三章 家用分体式空调器	(69)
第一节 家用分体式空调器的分类、结构及功能	(69)
一、家用分体式空调器分类	(69)
二、家用分体式空调器制冷系统组成及原理	(70)
三、家用分体式空调器结构	(71)
第二节 家用分体式空调器电控系统组成及分析	(81)
一、普通挂壁式空调器微电脑电控系统组成及分析	(82)
二、变频式空调器电控系统组成及分析	(91)
三、柜式、吊顶式、嵌入式空调器电控系统组成及分析	(93)
四、格力 KF-25GW (32GW) 电控系统分析	(96)
五、美的 KFR-36GW/Y 空调器电控系统分析	(98)
六、三菱 PSH-5G 柜式空调器电控系统分析	(103)
七、海尔 KFR-50LW/(BP)变频式空调器电控系统分析	(108)
第三节 分体式空调器常见故障分析及维修	(113)
一、故障检修思路	(113)
二、变频式空调器电控系统维修思路	(114)
三、家用柜式空调器故障排除指南	(114)
四、分体挂壁式空调器用遥控器开不了机, 但用应急开关能正常开机	(115)
五、分体挂壁式空调器用遥控器开不了机, 用应急开关也开不了机	(115)
六、分体挂壁式空调器刚开机一会儿就停机	(116)
七、分体挂壁式空调器运转指示灯亮但压缩机不运转	(116)
八、分体热泵型挂壁式空调器无论制冷制热时室内风扇电机都不转	(117)
九、分体热泵型挂壁式空调器制冷或制热效果差	(117)
十、分体单冷型挂壁式空调器室外机开停频繁	(118)
十一、遥控发射器(遥控器)不能发射信息	(118)
第四节 分体式家用空调器故障分析及维修实例	(119)
一、华菱 KF-25 GW 空调器用遥控器开机后无任何反应	(119)
二、华宝 KF-35 GW 空调器用遥控器开机电源很快跳闸	(119)
三、格力 KF-25 GW 空调器室内机组开机后不久风口吹白雾	(120)
四、美的 KF-36 GW/Y 新空调器每次开机大约 20 分钟就自动停机	(120)
五、华宝 KF-25 GW 空调器移机后不但制冷效果差且室外噪声很大	(120)
六、科龙 KFR-25 GW 室内外机组都运转但不制冷	(121)
七、华宝 KFR-22X2 一拖二空调器故障	(121)
八、海尔 KFR-28 GW/BPA 变频式空调器用遥控器开机一会儿就停机	(122)
九、华宝 RFD-12LW 柜式空调器故障	(122)
十、三菱嵌入式空调器故障	(122)

复习题	(123)
第四章 窗式空调器	(125)
第一节 窗式空调器的分类、原理及结构	(125)
一、窗式空调器的分类	(125)
二、窗式空调器的型号	(127)
三、窗式空调器的性能指标	(128)
四、窗式空调器的结构和原理	(129)
第二节 窗式空调器的电气系统	(137)
一、窗式空调器电气系统原理分析	(137)
二、常见窗式空调器电路	(139)
第三节 窗式空调器常见故障分析	(142)
一、检修思路	(142)
二、窗式空调器不启动	(144)
三、窗式空调器风扇运转但压缩机不运转	(145)
四、空调器运转但出风不冷或冷气不足	(145)
五、空调器的风扇不运转	(146)
六、热泵型空调器无论主控开关置于制冷还是制热状态，风口送出的总是热风 或总是冷风	(146)
七、窗式热泵型空调器风机与压缩机均能运转但无热风	(147)
八、热泵型空调器既无冷气又无热气吹出，出风温度为常温	(148)
九、电热型空调器不能制热	(148)
十、电热型空调器制热量不足	(148)
十一、空调器不能连续运转，启动频繁	(149)
十二、空调房间的温度很低但压缩机仍运转不停	(149)
十三、空调器运转时噪声大	(150)
十四、空调器接通电源就烧断保险丝	(151)
十五、空调器间歇制冷	(151)
十六、空调器过载保护继电器经常跳开而导致开停频繁	(151)
十七、当手触到空调器的金属外壳时感到手麻或有电击的感觉	(152)
十八、热泵辅助电热型空调器制热量不够	(152)
十九、热泵型空调器不能化霜	(152)
二十、热泵型空调器化霜运转不能停止	(153)
第四节 窗式空调器维修实例	(153)
一、日立 RA-2148H 空调器风机低速挡启动困难	(153)
二、三菱 PWH-13AS-H1 空调器制冷、制热均失效	(154)
三、华凌 KC-33 空调器不制冷	(154)
四、东芝 KC-30R 空调器不能制冷	(154)
五、华宝 KCR-31/B4 空调器不能制热	(154)
六、美的 KC-25/EY 窗式空调器冷量不足	(155)
七、TCL KC-20/2 空调器风扇不运转	(155)

八、海尔 KC-25 窗式空调器不制冷	(155)
九、春兰 KCD-31A 空调器运转时有噪声	(156)
十、春兰 RC-20A 窗式空调器长期运转不停机	(156)
十一、海尔 KC-35/F 空调器有冷凝水流向室内	(156)
十二、华凌 KC-25C 空调器制冷时没有冷凝水流出, 运行噪声大	(156)
十三、华宝 KC-15/A4 空调器启动和停机时噪声大	(157)
十四、美的 KCD-32/E1 空调器空气循环不良	(157)
复习题	(157)
第五章 商用柜式空调机	(159)
第一节 商用柜式空调机的分类、原理及组成	(159)
一、商用柜式空调机的分类及命名	(159)
二、风冷式普通柜式空调机	(160)
三、水冷式普通柜式空调机	(162)
四、风冷式恒温恒湿柜式空调机	(164)
五、水冷式恒温恒湿柜式空调机	(164)
六、计算机房专用柜式空调机	(166)
第二节 商用柜式空调机故障分析及维修实例	(169)
一、风冷式冷风型普通柜式空调机不启动	(169)
二、风冷式冷风型普通柜式空调机启动不久后又停机	(171)
三、风冷式冷风型普通柜式空调机出风温度不冷	(172)
四、风冷式电加热冷热风型普通柜式空调机不启动	(173)
五、风冷式电加热冷热风型普通柜式空调机出风温度不热	(174)
六、水冷式冷风型普通柜式空调机不启动	(175)
七、水冷式冷风型普通柜式空调机压缩机一启动就停机	(177)
八、恒温恒湿柜式空调机启动频繁	(177)
九、计算机房专用柜式空调机加湿器不工作	(180)
复习题	(181)
第六章 户式中央空调机组	(182)
第一节 户式中央空调系统	(182)
一、住宅小型中央空调系统的组成、分类及特点	(182)
二、户式中央空调机组的型式和性能	(184)
三、户式中央空调机组的制冷系统	(186)
四、户式中央空调机组的主要配件及特点	(189)
五、户式中央空调系统的末端设备	(191)
六、户式中央空调系统的安装与调试	(191)
七、操作与管理	(195)
第二节 户式中央空调系统的故障分析及维修实例	(196)
一、压缩机不启动	(196)
二、压缩机开/停频繁	(196)
三、压缩机噪声大	(196)

四、机组制冷效果差	(197)
五、水泵不运转或水泵发出尖叫声	(197)
六、压缩机高压保护开关频繁动作	(198)
七、冷凝风扇停止运转	(198)
八、压缩机运转但机组不制冷	(198)
九、两台不同型号机组不当并联运行引起的故障	(199)
十、排气管与四通阀选择和装配不当引起的排气管破裂	(199)
十一、测量空气侧换热器管壁温度的热电阻失灵引起的故障	(199)
十二、机组选择不当造成的样板房空调效果差	(200)
十三、水泵卡死引起板式蒸发器冻裂的故障	(200)
复习题	(200)
第七章 除湿机	(202)
第一节 冷冻除湿机的工作原理、分类及组成	(202)
一、冷冻除湿机的工作原理	(202)
二、冷冻除湿机的分类	(203)
三、冷冻除湿机的组成	(203)
第二节 冷冻除湿机的故障分析及维修实例	(207)
一、由于电源原因造成除湿机不能正常启动工作	(207)
二、由于控制系统原因造成压缩机不启动而风机运转正常	(207)
三、由于控制系统原因造成不除湿	(208)
四、由于风路系统故障造成压缩机频繁启动	(209)
五、由于系统堵塞造成除湿机不除湿	(210)
六、由于系统泄漏造成除湿机不除湿	(210)
七、由于压缩机故障造成除湿量不足	(211)
八、由于使用环境恶劣造成除湿量不足	(212)
复习题	(212)
参考文献	(213)

第一章 空调维修入门

第一节 热 工 基 础

一、基本状态参数

压力、温度、密度、比体积是描述物质所处状态的基本物理量，它们又称为基本状态参数。

1. 压力

物体表面所受到的垂直作用力称为压力；单位面积上的压力称为压强，常用符号 p 表示。在工程中，习惯上把压强叫做压力。如蒸发压力，实际上指的是蒸发器内壁面单位面积上所受到的制冷剂气体的压力。在国际单位制中，压力的单位为牛顿每平方米，用符号 N/m^2 表示； 1N/m^2 也称为 1 帕斯卡，帕斯卡用符号 Pa 表示，简称帕。由于帕斯卡表示的压力量值很小，所以压力通常用千帕斯卡或兆帕斯卡为单位，分别用符号 kPa 和 MPa 表示，简称千帕和兆帕。 Pa 、 kPa 和 MPa 之间的关系为：

$$1\text{kPa} = 1\,000\text{Pa}$$

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

大气压力指的是地球表面上受到的大气层的压力，它是随地理位置和气候条件变化而变化的。在纬度 45° 的海面上大气年平均压力称为标准大气压，用符号 atm 表示。

$$1\text{atm} = 1.01 \times 10^5\text{Pa} \approx 0.1\text{MPa}$$

为了测量和计算的需要，人们还常用绝对压力、表压力及真空度来表示压力的大小。所谓绝对压力，是指容器中的气体对于容器内壁的实际压力，用符号 $P_{\text{绝}}$ 表示；表压力是指压力表测量出的压力，其值等于绝对压力与当地大气压力之差，用符号 $P_{\text{表}}$ 表示。为计算方便，当地大气压可近似取为 0.1MPa ，即：

$$P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - 0.1\text{MPa}$$

当容器中气体的绝对压力低于大气压力时，表压力为负值，我们说容器中的气体处于真空状态。此时容器中气体的绝对压力称为真空压力；容器中气体的绝对压力小于当地大气压力的数值称为真空度。图 1-1 表示了绝对压力、大气压力、表压力、真空压力、真空度之间的关系。

2. 温度

温度表示物质冷热的程度。从分子运动的角度看，它是物质分子热运动激烈程度的量度，物质分子运动的速度越大，物质的温度越高；物质分子运动的速度越小，物质的温度则越低。表示温度大小的标度称为温标。国际上通用的有摄氏温标和开氏温标。

摄氏温标用摄氏度 ($^\circ\text{C}$) 表示；在一个标准大气压下，以纯水的冰点为 0°C ，沸点为

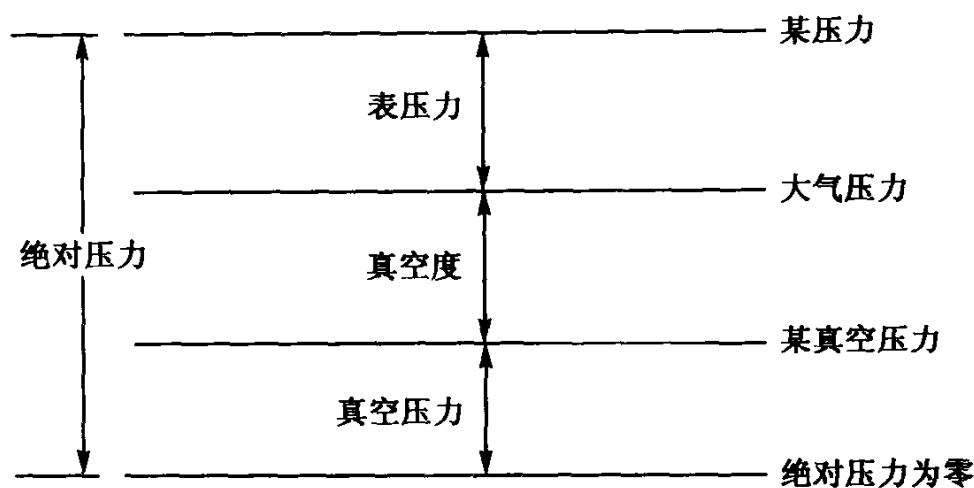


图 1-1 绝对压力、大气压力、表压力、真空压力、真空度之间的关系

100℃，把其间分为 100 等分，每一等分为摄氏 1℃；按此分割制成的温度计称为摄氏温度计。

开氏温标又称热力学温标或绝对温标，其单位用 K 表示。在一个标准大气压下，以纯水的冰点为 273.15 度，沸点为 373.15 度，把其间分为 100 等分，每一等分为开氏 1K；按此分割制成的温度计称为开氏温度计。

若用 t 表示摄氏温度，用 T 表示开氏温度（绝对温度），则它们之间的关系为：

$$T = t + 273.15 \text{ (K)}$$

3. 密度

密度也称为体积质量，表示单位体积物质质量的多少，用符号 ρ 表示，单位名称为千克每立方米，单位符号为 kg/m^3 。

4. 比体积

比体积是密度的倒数，表示单位物质质量的体积是多少，用符号 v 表示，单位名称为立方米每千克，单位符号为 m^3/kg 。物质的体积常用符号 V 表示，单位符号为 m^3 。

二、热力学第一定律

热力学是研究能量相互转换的一门科学。热力学第一定律有许多种表达方式。常见的表达方式是：在一个封闭的或者是完全绝热的系统中，能量不可能消失，而只能从一种形式转化成另一种形式。由此可见，热力学第一定律是能量守恒定律在热力学中的具体应用。它说明在热力学变化中，各种能量可以相互转换，但不能被创造，也不能被消灭。

1. 热能

热能是物质能量的一种形式，是组成物质的分子和原子等作杂乱热运动而具有的能量。热能可以随物质运动由其他形式的能量（如机械能、电能等）转换而来。

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。热量可以自动地由高温物体传到低温物体，也可以在外力的作用下由低温物体传到高温物体。空调器就是在电能的带动下（压缩机消耗电能）把房间内的热（室内低温空气）传到房间外的（室外高温空气）。热量常用符号 Q 表示，国际单位为焦耳和千焦耳，单位符号分别为 J 和 kJ。

每千克质量的物质温度变化 1℃ 时所吸收或放出的热量，成为该物质的比热。压力不变时的比热称为定压比热，用符号 c_p 表示；容积不变时的比热称为定容比热，用符号 c_v 表示。 c_p 和 c_v 的大小与温度有关。比热的单位为 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 或 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

2. 热力系统

在热力学研究中，研究者所指定的具体研究对象称为热力系统，简称系统。和系统发生相互作用（能量交换或质量交换）的周围环境称为外界，或称为环境。系统与外界的分界面称为边界。若系统与外界没有质量交换，则该系统称为闭口系统。与外界有质量交换的系统，则称为开口系统。与外界没有热量交换的系统，则称为绝热系统。

3. 工质

在热力设备中，热能与机械能的转换或热能的转移，都要借助于某种能携带热能的工作物质的状态变化来实现，这种工作物质称为工质。在制冷空调工程中，常把工质叫做制冷剂。

4. 内能

根据分子运动论的基本观点，组成物质的大量分子总是永远不停地无规则运动着，分子间还存在着作用力。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。物体内动能与势能的总和，称为物体的内能。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（如空调器中的制冷剂）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。当施加外力对气体压缩时，气体从外界得到一定的压缩功；由热力学第一定律可知，这部分压缩功所具有的能量不会自行消失，一定会储存在气体的内部转变为气体的内能。

内能是一个状态参数，即它的大小与物质所处的状态有关，物质所处的每一状态都对应着一定的内能。但它不能直接测量。内能通常用 U 表示，单位为 J；每千克物质的内能用 u 表示，单位为 J/kg。由于内能无法测出，实际中只采用其相对变化值。一般假定 0℃ 状态下的气体的内能为 0。

5. 功

热力系统中的工质与外界之间存在压力差时，工质与外界之间会产生能量传递，这种能量称之为功。

在工质与外界间的压力差作用下，工质的容积发生变化（膨胀或压缩）时，工质对外界所做的功（膨胀功）或外界对工质所做的功（压缩功），统称为容积功。

当工质流入或流出系统界面时，它必须推开其前方的工质，以腾出空间让它前进，这时流入或流出系统的工质就要对其前方的流体做功，这种功称为流动功。根据热力学的推导，每千克工质所具有的流动功是其压力 p 和比容 v 的乘积，即 pv ，单位为 J/kg。

6. 焓

焓是热力系统的一个导出的状态参数，常用符号 h 或 H 表示， h 代表每千克工质的焓，也叫比焓； H 代表 m 千克工质的焓。焓定义为内能与流动功之和，即：

$$h = u + pv$$

或

$$H = mh = U + pV$$

根据焓的定义，可见焓是工质所具有的一种能量。同内能一样，焓值也不能直接测量，只能采用其相对值。

对于理想气体，焓和内能一样，是温度的函数，即理想气体的焓只与温度有关。

三、热力学第二定律

1. 热力学第二定律的实质

热力学第二定律是人们从长期实践中总结出来的自然规律，也有多种表述，其实质如下：

①在自然条件下，热量不能自发地从低温物体转移到高温物体。也就是说，欲使热量从低温物体转移到高温物体，必定要消耗外界做功，而这些功又转换成热量。

②各种形式的能很容易转换成热能，要使热能全部而且连续地转换为功是不可能的，因为热量转换为功时，必定伴随着热量损失。也就是说，热功转换必定存在能量损失。

空调器在夏季制冷时，是将房间内（低温物体）的热量转移到房间外（高温物体），根据以上表述，实现这种转换是要消耗能量的，因此空调器要消耗电能。

2. 熵

与焓一样，熵也是一个导出的状态参数，它表示工质状态发生变化时，工质与外界进行热交换的程度。常用符号 s 或 S 表示， s 代表每千克工质的熵，也叫比熵，单位为 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ； S 代表 $m\text{kg}$ 工质的熵，单位为 J/K 。与焓一样，熵的绝对值也无法测定。在热力计算中，只需知道工质状态发生变化时熵的变化情况，即采用其相对值。

若 1kg 工质在等温加热过程中，从外界吸收热量为 q ，加热时的温度（绝对温度）为 T ，加热前后的熵分别为 s_1 和 s_2 ，对于理想过程，根据熵的定义，可得到

$$s_2 - s_1 = q/T$$

或

$$q = T(s_2 - s_1)$$

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， $q < 0$ 表示工质对外界放出热量；当 $s_2 = s_1$ 时， $q = 0$ ，表示工质与外界无热量交换，即绝热过程，此时熵不发生变化。所以，绝热过程也即等熵过程。

四、物质的集态

1. 三种集态及其转化

自然界中的任何物质都能够呈现出 3 种不同的集态（也称为相），即固态、液态和气态。在不同的条件下，物质以不同的状态出现。物质的 3 种状态可以相互转化，见图 1-2。

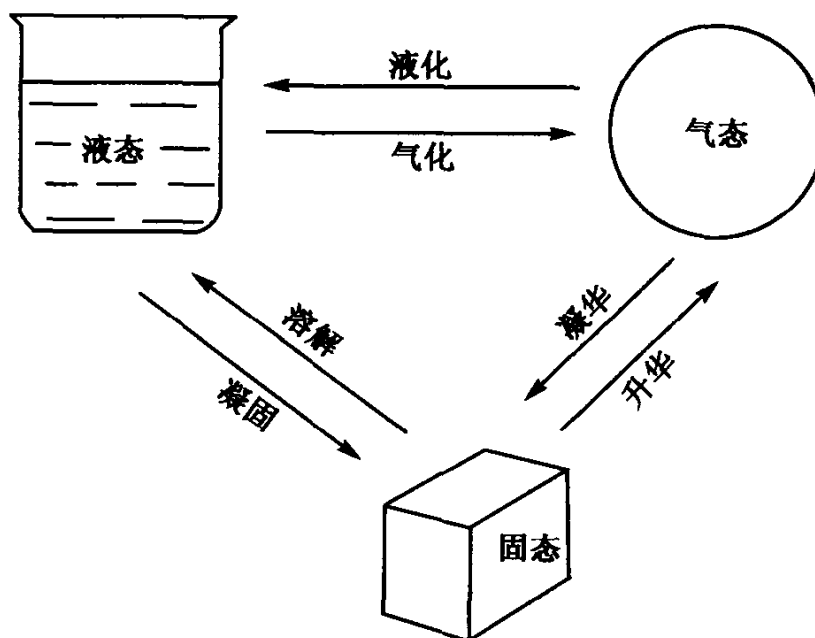


图 1-2 物质的状态变化

气体变成液体的过程称为冷凝（或液化）；液体变为固体的过程称为凝固；固体变为液体的过程称为溶解；液体变为气体的过程称为气化；固体直接变为气体的过程称为升华。

气化有蒸发和沸腾两种方式。蒸发在任何温度下都能进行，它是仅在液体表面发生的气化现象。沸腾是在液体表面和内部同时发生的剧烈的气化现象。在一定的压力下，液体必须达到一定的温度才能沸腾，这一温度称为液体在这一压力下的沸点。在制冷空调技术中使用的“蒸发”一词，实际上是蒸发和沸腾两种气化现象的统称。

物质在集态变化过程中，总是伴随着吸热和放热现象，这种形式的热量统称为潜热，如溶解潜热、凝固潜热、气化潜热、液化潜热、升华热和固化热。在制冷系统中，研究物质在低温和高温条件下的状态变化很有意义。例如在冷凝器中，制冷剂在高温和高压条件下放热而液化；而在蒸发器中，制冷剂在低温和低压条件下吸热而气化。因此，利用制冷剂的状态变化，可以实现制冷目的。

有时物质吸收热量或放出热量时，物质的集态不发生变化，这时物质吸收或放出的热量称为显热。如干空气从 10°C 被加热到 25°C 时所吸收的热量就是显热。

2. 饱和状态

如图 1-3 所示，密闭容器中的液体吸热气化时，液面上方蒸气分子的密度将逐渐增大。当蒸气分子的密度达到一定程度时，单位时间内因气化而逸出液面的分子数将与因蒸气分子作无规则热运动而回到液体中的分子数相等，这时液体与气体的质量都将不再发生变化。这种气液两种集态达到动平衡的状态，称为饱和状态。处于饱和状态的蒸气，称为饱和蒸气；处于饱和状态的液体，称为饱和液体；未达到饱和状态的液体，称为未饱和液体。在同一饱和状态下，饱和蒸气的压力与饱和液体的压力是相等的。饱和蒸气或饱和液体的压力，称为饱和压力。用 p_s 表示。

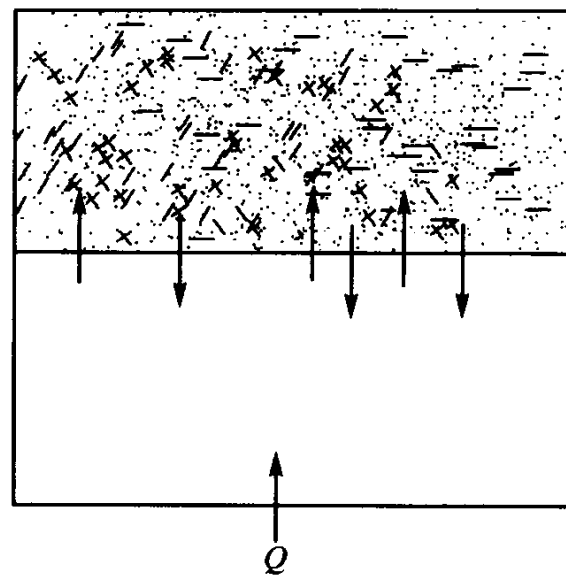


图 1-3 饱和状态

在同一饱和状态下，饱和蒸气的温度与饱和液体的温度也是相等的。饱和蒸气或饱和液体的温度，称为饱和温度。用 T_s 表示。

工质的饱和压力和饱和温度是一一对应的，即一定的饱和压力对应着一定的饱和温度；反之，一定的饱和温度也对应着一定的饱和压力。并且，饱和温度随饱和压力的升高而升高；饱和压力也随饱和温度的升高而增大。

液态工质只能在其压力相对应的饱和温度下才能沸腾气化；气态工质也只能在其压力相对应的饱和温度下才能冷凝液化。

3. 过热蒸气

蒸气在某压力下的温度高于该压力所对应的饱和温度时，这种蒸气就称为过热蒸气。过热蒸气所处的状态称为过热状态。过热蒸气的温度与相同压力下饱和蒸气的温度的差值，称为过热度。

4. 过冷液体

液体在某压力下的温度低于该压力所对应的饱和温度时，这种液体就称为过冷液体。过冷液体所处的状态称为过冷状态。相同压力下饱和液体的温度与过冷液体的温度的差值，称为过冷度。

5. 湿蒸气及其干度

在制冷系统的蒸发器和冷凝器内进行的气液集态变化过程中，制冷剂的饱和液体和饱和蒸气是同时存在的，这种饱和液体与饱和蒸气的混合物称为湿蒸气。完全不含饱和液体的饱和蒸气称为干饱和蒸气，简称为干蒸气。

湿蒸气中，饱和蒸气的质量与湿蒸气质量的比值，称为湿蒸气的干度，常用 x 表示。若用 m_l 和 m_g 分别表示湿蒸气中饱和液体和饱和蒸气的质量，则湿蒸气的干度

$$x = \frac{m_g}{m_g + m_l} \times 100\%$$

显然， $0 \leq x \leq 1$ ；当 $x = 0$ 时，说明不含饱和蒸气，为饱和液体；当 $x = 1$ 时，说明不含饱和液体，为干饱和蒸气。

五、压焓图

制冷剂的热力性能参数常用压焓图表示。如图 1-4 所示，压焓图以焓 (h) 为横坐标，以压力 (p) 为纵坐标绘制而成。图上用不同的线簇将工质在不同状态下的温度、比容、熵及蒸气的干度同时表示出来。为了能在较小的图面上更清晰地容纳较多的信息，压力纵坐标采用其对数值分度，即用 $\lg p$ 分度。所以压焓图又称 $\lg p-h$ 图。

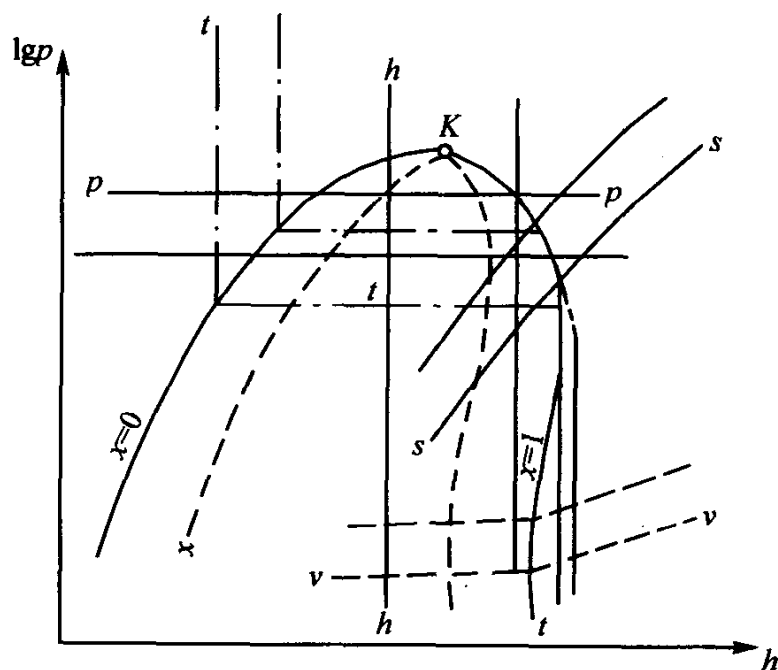


图 1-4 制冷剂的压焓图

在制冷剂的压焓图上，有一个临界点 K ，通过该点左边有一条干度 $x = 0$ 的曲线，称为饱和液体线；右边有一条干度 $x = 1$ 的曲线，称为饱和蒸气线。饱和液体线和饱和蒸气线把 $\lg p-h$ 图分成 3 个区：饱和液体线左侧为过冷液体区，表示该区域的液体处于过冷状态；饱和蒸气线的右边为过热蒸气区，表示该区域的气体处于过热状态；饱和液体线和饱和蒸气线之间称为两相区，表示该区域内制冷剂处于气液两相状态。

在压焓图上，还有下列等参数线：

- 1) 等压线 是一簇水平线，用 $p-p$ 表示。
- 2) 等温线 是一簇折线，在液体区为近似竖直线；在两相区为水平线（与等压线平行）；在过热区为稍微向右下方弯曲的倾斜线。用 $t-t$ 表示
- 3) 等焓线 是一簇垂直线，用 $h-h$ 表示。

4) 等熵线 是从左到右向上弯曲的倾斜线, 用 $s-s$ 表示。

5) 等比容线 也是从左到右向上弯曲的倾斜线, 但比等熵线平坦, 并且在两相区和过热蒸气区的斜率有突变; 在饱和蒸气线上有折弯。用 $v-v$ 表示。

6) 等干度线 是在两相区内, 与饱和液体线和饱和蒸气线形状相似的一簇曲线, 用 x 表示。

对于一种确定的制冷剂, 只要知道上述 6 个参数中的任意 2 个参数, 就能在图上确定其状态点, 从而可以查出其余几个参数。但在两相区内, 等温线与等压线平行, 温度和压力只能算作一个参数。在饱和液体线和饱和蒸气线上只需知道一个参数。

六、热量传递过程

热力学第二定律阐述了传热的方向, 但没有涉及传热形式和具体过程。传热的基本形式有 3 种, 即导热、对流和辐射。任何热量传递过程都是这三种传热基本形式的组合。

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到物体的另一部分; 或者温度不同的物体接触时, 热量从温度高的物体传递到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发生, 而且是固体中唯一能发生的传热现象。将铁棍的一端放在火上加热, 另一端握在手中, 过一段时间, 手会感到热, 这就是导热的典型实例。

导热有稳定导热和不稳定导热两种。前者在导热过程中物体各点温度不随时间而变化, 后者随时间而变化。空调装置中的导热过程大都属于稳定导热过程。

如图 1-5 所示, 设单层平壁厚度方向两侧面的温度分别为 t_1 和 t_2 , 且 $t_1 > t_2$, 都不随时间变化。实验表明, 单位时间内通过平壁的热流量 Q 与温差 $(t_1 - t_2)$ 及垂直热流方向的平壁面积 A 成正比, 与壁厚 δ 成反比。即

$$Q = \lambda \frac{A (t_1 - t_2)}{\delta}$$

式中: 比例系数 λ 称为材料的导热系数或热导率, 单位为 $W/(m \cdot K)$; Q 的单位为 W , A 的单位为 m^2 , δ 的单位为 m 。

单层平壁中单位面积的热流量为

$$q = Q/A = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} = \frac{t_1 - t_2}{\delta/\lambda} = \frac{\Delta t}{r_\lambda}$$

式中 $r_\lambda = \delta/\lambda$ ($m^2 \cdot K/W$) 称为单位面积的导热热阻。

可见, 导热热阻与材料的导热系数成反比。导热系数的大小表明了物质材料的导热能力。例如金属铝的导热系数在温度 $20^\circ C$ 时为 $236 W/(m \cdot K)$ 。而聚氯乙烯泡沫塑料的导热系数在温度 $30^\circ C$ 时为 $0.041 \sim 0.048 W/(m \cdot K)$ 。通常我们称导热系数小的材料为绝热材料, 也称保温材料或隔热材料。在空调装置中, 用导热系数大的材料制造换热器, 用导热系数小的材料制作隔热体。

2. 对流换热

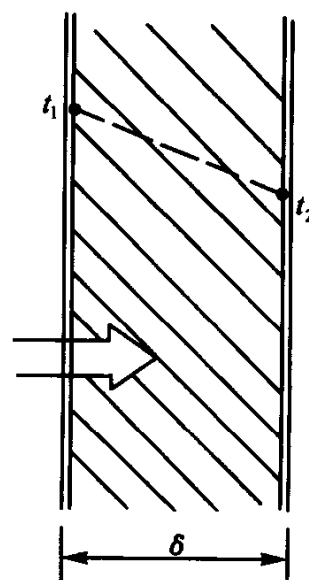


图 1-5 单层平壁的导热