

空调器原理 与安装维修技术

● 郑兆志 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

空调器原理与安装维修技术 / 郑兆志编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.2
ISBN 978-7-115-16293-9

I. 空... II. 郑... III. ①空气调节器—理论②空气调节器—安装③空气调节器—维修 IV. TM925.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 075422 号

内 容 提 要

本书将空调器理论知识、工程实践和维修技能训练融为一体, 对家用空调器和户式中央空调器进行了全面的介绍, 内容包括空调器制冷原理、空调器结构组成及工作原理、空调器主要零部件, 还介绍了空调器安装维修使用的工具、设备和材料, 空调器的安装维修技术及规范, 并详细地讲解了空调器制冷、送风和电气控制三大系统的维修技能以及空调器使用中的维护保养知识。

本书既可作为空调制造业、安装施工单位和维修服务部门从业人员的工程指导书, 同时也可作为高职高专院校制冷、空调和暖通专业的推荐教材。

空调器原理与安装维修技术

- ◆ 编 著 郑兆志
责任编辑 张 鹏
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
人民邮电出版社河北印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23.75
字数: 590 千字 2008 年 2 月第 1 版
印数: 1—5 000 册 2008 年 2 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16293-9/TN

定价: 40.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

前 言

空调器作为改善环境舒适度的设备已经广泛应用于家庭、企业等各个领域，其保有量和需求量巨大。随着制冷技术的发展，空调器的种类也在不断增加，除了传统的家用空调器外，各种类型的户式中央空调器也在迅速发展。空调器设备的工程设计、施工、安装、维修和保养等已经形成庞大的产业，需要大批具备空调器理论、工程技术和实践技能的从业人员。本书正是为了满足这种需要而编写的，旨在为高职高专院校制冷、空调、暖通专业以及空调器服务行业培养技术应用型人才。本书的编写具有以下几方面的特点。

- 系统性

本书首先从制冷与空调开始介绍相关的理论知识，在此基础上介绍各种空调器的结构组成，并对空调的零部件进行细致介绍。在读者熟悉和掌握了空调工作原理和结构后，又介绍了空调安装维修工具和安装维修基本操作规程，并对空调器的制冷、送风和电气控制三大系统的维修技术进行了系统全面的讲解，最后介绍了空调的使用与保养知识。

- 全面性

书中内容涉及目前市场上的各类空调器，包括小型家用空调器的窗机、分体机、柜机和户式中央空调器的多联机、水管机、风管机，书中逐一介绍了它们的结构、安装和维修等技术知识。

- 工程应用性

本书的内容结合空调器工程施工和维修保养等实际操作过程进行编写，以高职院校工学结合培养模式为出发点，并考虑从业人员的实际作业需要，将理论知识通俗化，重点介绍应用技术、操作程序和通用技能。

- 实践性

本书许多内容来源于实践经验的总结，并结合工程应用需要给出大量操作和维修的典型实例，还通过一些典型的实训操作单元加强学习的实践性。

- 易读性

本书采用循序渐进的编写方式，配以大量的图形，并且选材来自制冷企业，将理论知识融入工程应用和实例之中，容易理解、掌握和应用。

- 融合性

本书将制冷与空调理论、工程应用技术、操作与制作程序、安装与维修方法、案例与实例、综合应用与分析、典型操作与训练等有机地融合，使学习的效率、质量得以提高，具备更好的实用性效果。

本书主要由高级工程师郑兆志编写，书中的第4章、第6章、第8章及附录由黎绵昌老师编写。建议本书与《制冷装置电气控制系统原理与检修》一书配套使用。

由于我们水平有限，书中错漏之处在所难免，欢迎广大同行和读者批评指正，联系方式：zzz201@163.com。

编著者

目 录

第 1 章 空调器制冷原理	1
第 1 节 制冷工程基础知识	1
一、热力学基础	1
二、传热学基础	13
三、流体力学基础	15
第 2 节 空调器制冷原理	16
一、单级蒸气压缩式理论制冷循环	16
二、制冷原理	17
三、制冷与制热循环	21
第 3 节 制冷剂	22
一、制冷剂概述	22
二、常用氟利昂制冷剂的特性	23
三、替代 R12 的新型环保制冷剂	25
四、替代 R22 的新型环保制冷剂	29
五、常用制冷剂辨认方法	33
六、制冷剂的储存使用	33
七、制冷剂的分装方法	33
第 4 节 制冷剂 R12、R22 的压-焓、温-熵图构成及其应用	34
一、制冷剂 R12、R22 的压-焓图和温-熵图构成	34
二、制冷剂液体过冷和吸气过热的压-焓图、温-熵图	35
三、单级蒸气压缩式空调器实际循环	36
四、压-焓图的应用	36
第 5 节 湿空气的焓-湿图及应用	39
一、湿空气焓-湿图的组成	39
二、焓-湿图的应用	39
三、空气的处理过程	42
第 6 节 家用空调器的运行状态	43
第 7 节 空调器常用工程计算	45
一、能效比、性能系数	45
二、由进、出水的温度测算制冷量	45
三、由送风和回风的温度计算制冷量	45
第 2 章 空调器结构特点	48
第 1 节 空调器分类及代号编写方法	48
一、家用空调器分类及型号命名规则	48

二、其他类型空调器分类及型号命名规则·····	49
第2节 整体式空调器结构·····	52
一、概述·····	52
二、窗式空调器·····	53
三、移动式空调器·····	60
第3节 分体式空调器结构·····	60
一、概述·····	60
二、分体壁挂式空调器·····	61
三、分体落地式空调器·····	64
第4节 户式中央空调器结构·····	72
一、户式中央空调器特点·····	73
二、多联式中央空调器·····	73
三、风管式中央空调器·····	74
四、水管式中央空调器·····	76
第3章 空调器主要零部件·····	79
第1节 制冷系统零部件介绍·····	79
一、压缩机·····	79
二、节流机构·····	82
三、冷凝器·····	87
四、蒸发器·····	90
五、冷却塔·····	95
六、风机盘管·····	96
七、制冷管路系统其他附件·····	98
八、户式中央空调器常用零部件·····	108
第2节 空气循环系统零部件介绍·····	109
一、风扇·····	110
二、过滤网·····	111
三、导风叶片·····	112
四、其他部件·····	112
第3节 电气控制系统元器件简介·····	112
第4章 空调器维修工具、设备及材料·····	114
第1节 常用仪器、仪表的使用·····	114
一、万用表·····	114
二、钳形电流表·····	116
三、兆欧表·····	117
四、温度计·····	118
五、电子卤素检漏仪·····	119
六、压力表·····	119

七、风速测试仪	120
八、转速测试仪	120
第2节 维修设备及工具	121
一、专用设备	121
二、常用工具	126
第3节 维修材料	132
一、载冷剂	132
二、冷冻机油	133
三、气体材料	134
四、焊料、焊剂	135
五、干燥剂	137
六、管材	137
七、保温材料	138
第5章 空调器安装维修基本操作规程	140
第1节 管道加工基本操作	140
一、切管、割管	140
二、扩喇叭口	141
三、弯管	142
四、涨管	143
五、钳扁管制作	145
第2节 焊接技术及焊接操作	146
一、概述	146
二、软钎焊操作方法及注意事项	147
三、硬钎焊	147
四、手弧电焊	152
第3节 制冷系统干燥、抽真空及检漏	155
一、概述	155
二、制冷系统干燥操作	156
三、制冷系统抽真空操作	157
四、制冷系统检漏	160
第4节 充注制冷剂及确定充注量	161
一、充注制冷剂操作	162
二、制冷剂充注量的确定	163
三、制冷剂的补充	164
第5节 室内机排空操作	165
一、抽真空排空	165
二、使用制冷剂(R22)钢瓶排空	166
三、利用室外机本身的制冷剂排空	168
第6节 制冷剂的回收	169

一、制冷剂回收至室外机	169
二、使用回收机回收制冷剂	170
第 7 节 制冷系统的清洗、吹污及充注冷冻机油	170
一、空调器制冷系统清洗	170
二、制冷系统的吹污	171
三、压缩机充注冷冻机油	172
第 8 节 电工基本操作	173
一、安全用电	173
二、空调器导线的配线	174
第 6 章 空调器安装技术	177
第 1 节 分体式空调器的安装	177
一、安装位置的选择	177
二、安装工具、配件及材料的准备	178
三、室内机挂墙板的定位及室外机支撑架的固定	178
四、打室内、外机穿墙孔	181
五、室内机接管及连线	182
六、室内机安装	184
七、室外机安装	185
八、室外机连管、连线	185
九、排空与检漏	186
十、试机	186
第 2 节 窗式空调器安装	188
一、安装要求	188
二、安装步骤	188
第 3 节 多联机式中央空调器的安装	191
一、安装前期准备工作	191
二、安装过程应遵循的原则	191
三、安装工程实施的先后次序	192
四、安装操作	193
五、常见安装问题及影响	209
第 4 节 风管式中央空调器的安装	210
一、风管材料及风管的制作与安装	210
二、室内机安装	215
三、室外机安装	216
四、制冷系统配管及保温措施	217
五、电气装置安装	218
六、冷凝水排放管道安装	219
七、铜管安装操作	220
八、消声静压箱制作及安装	221

九、送、回风口选用及安装	222
十、系统调试	223
第 5 节 水管式中央空调器的安装	226
一、水系统管路安装	226
二、风机盘管的典型安装	229
三、管材、管道的防腐与保温	230
四、水泵箱安装	231
五、主机组安装	232
六、排水管安装	232
七、水泵的安装	232
八、冷却塔的安裝	234
第 7 章 空调器检修技术	236
第 1 节 空调器常用检修方法	236
一、概述	236
二、常用的检修方法	238
第 2 节 制冷系统故障分析与检修	240
一、检修基本技能	240
二、节流装置检修	243
三、热泵型空调器四通阀的检修方法	251
四、压缩机故障检修	253
五、其他部件常见故障分析	256
六、制冷系统典型故障分析	257
七、制冷系统故障检修实例	260
第 3 节 通风系统故障分析与检修	267
一、检修基本技能	267
二、常见故障分析	267
三、常见典型故障检修	269
第 4 节 电气控制系统故障分析与检修	270
一、检修基本技能	270
二、电气元件检修举例	271
三、电路控制原理综合分析与检修	274
四、电气控制系统故障检修实例	298
第 5 节 故障自诊断功能的应用	303
一、故障自诊断功能应用概述	303
二、应用故障自诊断代码功能指导维修举例	305
第 6 节 户式中央空调故障分析与检修	309
一、多联机空调系统常见故障分析与排除	309
二、风管式空调系统常见故障分析及排除	316
三、水管户式中央空调系统常见故障分析与排除	322

第8章 空调器的使用、维护及保养	330
第1节 家用空调器的选用	330
一、空气中的热、湿负荷	330
二、空调设备冷热负荷的选择依据	330
三、家用空调器选择要点	332
四、家用空调器的挑选方法	334
五、选购家用空调器时应注意的技术指标	335
第2节 户式中央空调器的选用	336
一、户式中央空调器选择要点	336
二、各种户式中央空调系统的比较	337
三、选购户式中央空调器应注意的问题	338
第3节 空调器的使用常识	340
一、空调器的基本功能	340
二、空调器的使用要点	340
三、空调器使用注意事项	341
第4节 空调器的保养与维护	342
一、滤尘网（器）及外壳保养与维护	342
二、家用空调器冷凝器和蒸发器（简称两器）保养与维护	343
三、多联机式中央空调器保养与维护	344
四、风管式中央空调器保养与维护	345
五、水管式中央空调器保养与维护	345
第5节 常见故障的自行排除	348
附录1 空调器安装与维修技能实训单元	350
附录2 制冷常用单位换算表	360
附录3 空气焓-湿图	362
附录4 常用制冷剂压-焓图	363

第1章 空调器制冷原理

制冷的方式有很多,如半导体制冷、吸附式制冷、蒸汽喷射式制冷、蒸汽吸收式制冷,还有最近出现的新的制冷技术,如磁制冷、热声制冷等。本章讨论的空调器的制冷原理是指蒸汽压缩式制冷技术。

本章介绍制冷技术涉及到的工程热力学、传热学和流体力学基础知识,以及制冷剂和空气热物理性质及其应用。

家用空调器的运行状态参数是设计、检测和维修中的基准,也是本章讨论的重要内容。常见的工程计算也将加以介绍。

第1节 制冷工程基础知识

一、热力学基础

1. 基本定义

(1) 温度

温度是物体冷热程度的度量,从微观的角度看,温度是物质分子热运动平均动能的度量,它是确定物质状态的基本参数之一。

温度采用仪表测量。为了使温度的测量准确一致,需要有衡量温度高低的尺度,简称为温标。温标的规定是:选取某种物质的两个恒定温度点,在这两个基准点之间分成若干等份,称为度。由于物质的不同和温度数等份的不同,所以有几种温标。目前国际上通用的温度除热力学温度及摄氏温度外,还有华氏温度。

摄氏温度是最常用的一种温度单位,它是在一个标准大气压下(760mmHg 即 $1013 \times 10^5 \text{Pa}$),把纯水的冰点定为 0°C ,沸点定为 100°C ,中间分成 100 等份,以符号 $^\circ\text{C}$ 表示,每一等份即为 1°C ,常用符号 t 表示其读数。华氏温度是在一个标准大气压下,把纯水冰点定为 32°C ,沸点定为 212°C ,中间分成 180 等份,以符号 $^\circ\text{F}$ 表示,每一等份称为 1 华氏度 (1°F),常用 t_1 代表其读数。用摄氏温度或华氏温度表示的温度,都称为相对温度。

热力学温度又称绝对温度或开氏温度,国际单位制中即采用这一物理量的单位。它以摄氏温度为根据,通过计算推导出物质内分子热运动完全停止时的温度为零度(即 -273.15°C),这样定出的温度为绝对温度,并以符号 K 表示其单位,物理量符号为 T 。绝对温度的每 1 度 (1K) 都与摄氏温度的 1°C 在数值上完全相等。实用上取绝对零度为 -273°C 已足够精确。

绝对温度 T ,摄氏温度 t 和华氏温度 t_1 之间的换算关系是

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

$$t_1 = \frac{9}{5}t + 32 \quad (\text{F})$$

$$t = \frac{5}{9}(t_1 - 32) \quad (^\circ\text{C})$$

【例 1-1】 摄氏 20℃，相当于多少绝对温度及华氏温度？

解 $T = t + 273.15 = 20 + 273.15 = 293.15(\text{K})$

$$t_1 = \frac{9}{5}t + 32 = \frac{9}{5} \times 20 + 32 = 68 \quad (\text{F})$$

用以测量温度的仪表称为温度计。在制冷中常用的温度计有玻璃棒温度计、压力式温度计、半导体温度计和热电偶温度计。温度测量常用玻璃棒温度计，内充水银或乙醇等液体。它是根据液体的热胀冷缩的性质制成的。由于受不同液体的冰点和沸点的限制，不同的温度范围要选用不同液体的玻璃棒温度计。例如，一般水银温度计用于-30~300℃的测温范围，乙醇温度计用于-100~75℃等，可根据使用范围选用不同量程的温度计。另外，由于玻璃棒温度计测温精度不同，每一刻度所代表的温度单位不同，例如，有代表 1℃，有代表 0.2℃等，故对一定长度的温度计所测温度范围也就不同，使用时应根据需要选择。

(2) 压力

在工程上，单位面积上所受的垂直作用力称为压力，而在普通物理学中称为压强，它常用 p 表示。由分子物理学可知，气体的压力是由于大量气体分子在无规则运动中对容器壁进行频繁撞击而产生的，压力也是确定物质状态的基本参数之一。

在工程上，压力用压力表来测量，其单位为千克/平方厘米 (kgf/cm^2)。工程大气压（简称气压）用 at 或帕 (Pa)、巴 (bar) 表示；在容器压力较小时，又往往用毫米水柱 (mmH_2O) 或毫米汞柱 (mmHg) 来表示。当压力相等时，相对密度小的液体液柱高，相对密度大的液体液柱低，实际使用时可根据压力大小选择表示方法。由于水比汞的相对密度小，故很小压力时用毫米水柱表示。

压力单位换算关系是：

$$1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 1\text{at} = 10^4\text{mmH}_2\text{O} = 735.6\text{mmHg} = 9.80665 \times 10^4\text{Pa}$$

$$1\text{bar} = 10^5\text{Pa} = 0.1\text{MPa}(\text{兆帕}) = 1.02\text{kgf}/\text{cm}^2 = 14.5\text{Psi}$$

值得注意的是，压力的单位工程上过去常用 kgf/cm^2 或 at ，而在国家法定计量单位中力的单位是 N （牛顿），面积的单位为 m^2 ，故压力的单位是 N/m^2 ，也称为 Pa 。由于 Pa 的单位太小，实际使用中常取其 10^6Pa （兆帕）在气压表上进行刻度。国家标准规定一律要采用法定计量单位。

目前，在某些进口的电冰箱、压力表或仪器仪表上，仍采用英制压力单位：磅/平方英寸 (Psi 或 lb/in^2)，此时的换算关系为

$$1\text{Pa} = 1.450 \times 10^{-4}\text{Psi}$$

$$1\text{Psi} = 0.68948 \times 10^4\text{Pa}$$

此外，大气也有压力。包围在地球表面一层很厚的大气层的质量对地球所造成的压力，称为大气压力，简称大气压，用 B 表示。大气压的大小随地理位置、海拔高度及气候条件的不同而改变。根据测定，实际大气压与工程大气压很接近，因此，在制冷工程上常将大气压的单位用 kgf/cm^2 表示。

标准大气压又称物理大气压（用 B 表示），是指在地球纬度 45°、气温为 0℃时，空气

对海平面的常年平均压力，其值为 760mmHg 或等于 1.033at。

物质作用在容器内的压力，在实际应用中两种不同的表示方法。一种是直接指明物质施于容器壁上压力大小的实际数值，称为绝对压力；另一种是用压力表测量这一压力时在压力表上的读数，称为表压力。当绝对压力高出当时当地的大气压时，则

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + B$$

当容器内物质的绝对压力比当时当地的大气压力还低时，表压力是一个负值，称为真空度，则

$$p_{\text{绝}} = B - p_{\text{真}}$$

在实际中，常用真空压力表来测量真空度。由于此时压力较小，故单位常用 mmHg 或 mm H₂O。

由上可知，绝对压力的数值一般不能简单地直接测量出来，故实际工程中常用表压力。但要注意的是，在进行制冷工程的计算及查阅图表时，必须采用绝对压力，因此，由压力表所测得的读数必须经过换算。

制冷系统内各部分的压力通常是用弹簧管气压表来测量的。在制冷机修理中，最常见的是同时能测量表压与真空度的联程气压表，其量程在真空度范围内用 mmHg 刻度，在高于大气压时用 MPa 刻度。

【例 1-2】 已知表压为 2.6kgf/cm²，问绝对压力是多少 kgf/cm²？

解 $p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + 1 = 2.6 + 1 = 3.6(\text{kgf/cm}^2)$

【例 1-3】 如果绝对压力为 0.45kgf/cm²，其真空度为多少 mmHg？

解 $p_{\text{真}} = (1 - p_{\text{绝}}) \times 760 = (1 - 0.45) \times 760 = 418(\text{mmHg})$

(3) 比容

1kg 物质所占据的体积，称为某物质的比容，用 v 表示，其单位是米³/千克 (m³/kg)。比容是表示物质分子之间密集程度的物理量，它也是确定物质状态的基本参数之一。

设有 $G(\text{kg})$ 的物质占据的体积为 $V(\text{m}^3)$ ，其比容为

$$v = \frac{V}{G}$$

工程上还常用到比容的倒数——密度，即单位容积中所容纳的物质质量，用符号 ρ 表示，单位为：千克/米³ (kg/m³)。即

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{G}{V}$$

(4) 热能

热是物质能量的一种形式，热能是物质分子热运动强度的度量，而热量是物质热能转移时的度量。改变物体的温度，即改变分子热运动的激烈程度。当水被加热变成水蒸气，或者水蒸气被冷却后变成水，此过程中会吸热或放热，故热能的转移通过吸热或放热而体现出来。因此，热量也是表示物体吸热或放热多少的量度。热量用符号 Q 或 q 表示，国家法定计量单位为焦耳 (J) 或千焦耳 (kJ)，1J 是指 1N 重的物体升高 1m 所需要的能量。另外，常用的单位有卡 (cal) 或千卡 (kcal，又叫大卡)，1kcal 指 1kg 的纯水温度升高或降低 1℃ 所吸收或放出的热量。欧美采用英热单位 (BTU) 制，1BTU 指 1 磅水升高或降低 1°F 所需热量。

在热能转移过程中，热平衡概念是十分重要的，即，温度高的物体放出的热量总和，在

单位时间内应等于温度低的物体吸收热量的总和，称为热交换定理或热平衡。这是能量守恒定律在热能转换过程中的具体体现。

(5) 比热容

单位质量的物质，温度每变化 1℃（或 1K）所吸收或放出的热量，称为该物质的比热容（以下简称比热），它是物体的物理参数，以符号 c 表示，其单位是 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，而工程中常用单位是 $\text{kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

比热最为常用，可用于固体、液体或气体。由于固体和液体的容积基本上是不可压缩的，因而质量一定，容积也为定值。但气体却不然，同样质量的气体，在不同的温度和压力下具有不同的容积，所以气体的量必须采用质量和容积两种单位。所以气体除比热外，还常采用容积比热即单位容积物质的比热，它常以符号 c' 表示，其单位是 $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ，而工程上单位是 $\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

由于气体在吸热或放热过程中，其容积、压力可以是变化的，因此当它的温度变化 1℃ 时，吸热或放热量也有很大的变化。在制冷工程中常常是压力和容积两个参数中仅一个在变化。因此，根据气体经历过程和温度范围不同，可分为：比定压热容、比定容热容、真实比热和平均比热。

气体在压力不变或容积不变的过程中的比热，分别称为比定压热容 c_p 和比定容热容 c_v 。

气体在定压加热时，吸收的热量一方面使气体本身温度升高，另一方面还要克服外力而膨胀作功，所以单位质量的气体升高 1℃ 要比定容加热吸收的热量多，因而 $c_p > c_v$ 。

气体的比定压热容和比定容热容之比，称为比热比，也称绝热压缩指数，用 κ 表示，即

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

κ 是标志气体因为压缩而使温度有较大上升和压缩功量大小的一个重要参数。

对固体和液体来说，因当其温度变化时容积变化很小，故往往不区分比定压热容与比定容热容。

不同物质的比热不同，而不同气体的比热比也不同，如表 1-1 和表 1-2 所示。

由实践可知，压力和比容对气体的比热影响不大，往往可忽略不计，而温度对气体的比热影响显著。这样相对于每一温度下的比热就称为真实比热。因此，气体由温度 t_1 升高到 t_2 所需热量可由下式计算：

$$\int_{t_1}^{t_2} c \times dt = \bar{c}_{t_1}^{t_2} \times (t_2 - t_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

式中， $\bar{c}$ 称为该气体在 t_1 和 t_2 温度范围内的平均比热，简写成 c 。

表 1-1 一些物质的比热

物质	比热 J/ (kg · K)	物质	比热 J/ (kg · K)	物质	比热 J/ (kg · K)	物质	比热 J/ (kg · K)
锌	394	铁	481	软木	2052	甘油	2428
铝	921	铅	130	木材	2512	挥发油	2931
金	130	硫磺	754	木炭	837	石油	2093
银	234	玻璃	839	大理石	879	机械油	1675
铜	394	焦炭	837	乙醚	2261	盐酸	2512
锡	234	冰	2093	酒精	2426	硫酸	1424

表 1-2

一些气体的比热与比热比

名称	比定压热容 c_p kJ/(kg·K)	比定容热容 c_v kJ/(kg·K)	比热比 $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$	名 称	比定压热容 c_p kJ/(kg·K)	比定容热容 c_v kJ/(kg·K)	比热比 $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$
空气	0.9944	0.7076	1.40	过热蒸汽	2.0536	1.4486	1.41
氧气	0.9106	0.6490	1.40	二氧化碳	0.9085	0.6427	1.41
氮气	1.0207	0.7231	1.41	氨	2.1269	1.2573	1.69
氢气	14.2728	10.0994	1.41	二氧化硫	0.6502	0.5217	1.25
氦气	0.5234	0.3123	1.68	硫化氢	1.0593	0.8039	1.32

(6) 功和功率

功是克服外力移动物体时需要消耗的能量。功也是一种能量，其常用符号是 W ，单位为焦耳 (J)。它与牛顿·米 ($N \cdot m$) 或瓦·秒 ($W \cdot s$) 的换算关系是：

$$1J=1N \cdot m=1W \cdot s$$

压缩机压缩制冷剂时，必须推动活塞才能克服作用于活塞上的气体力，因此压缩制冷剂就必须消耗功。

单位时间内消耗的功叫做功率，用 P 表示。单位为瓦特 (W) 或焦耳/秒 (J/s)。家用空调器用英制马力 (hp)，即匹来表示，其换算关系是：

$$1hp=745.7W$$

2. 物质的集态和集态变化

(1) 物质的集态

世界上的物质都是由分子组成的。由于分子运动能量不同，分子间距离也不同，因而物质以固态、气态和液态三种聚集状态存在于自然界中。气体的分子具有较大的动能，并处于不规则的运动状态，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，相对来说是不可压缩的。但是液体的分子可以相互移位，因此，液体的外形还可以随容器而改变。但分子间引力和斥力较大，分子运动的自由度受限。

固态物质的分子一般都呈有规律地排列，分子间不能作相对运动，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。

(2) 集态变化

物质的某一种集态依赖一定的外部条件存在，即在一定的温度和压力条件下存在，也可在一定的外部条件下互相转化。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为相变。物质在相变时吸收或放出的能量并不改变物质的温度，只改变分子间的聚集状态。因此，相变过程是一个等温过程。相变中由于物质内部分子要重新排列，因此需要消耗功，即需要吸收或放出热量，这种热量称为相变潜热。相变有以下几种。

固体变成液体称熔化，1kg 这种物质熔化所需要的热量称为熔化热。当物质从液体转变为固体时，也放出同样的热。

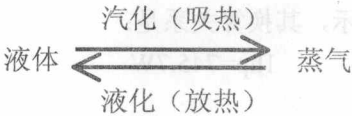
物质被加热而直接由固态转变为气态，这种现象称为升华。液体转化为气体称为汽化，它包括两个过程，即蒸发和沸腾。蒸发是指在任何温度下，液体（以水为例）表面分子汽化成蒸汽分子的过程。蒸发在任何压力、任何温度下都可能发生，而且只是局限在液体表面。

沸腾是在一定温度和压力下产生的，蒸汽不仅由液体表面产生，而且大部分来自液体内部，即在液体内部形成许多蒸汽小泡，并迅速上升突破液体表面转化为气体。例如，在一个大气压下，水在 100℃时就沸腾；在 47.07kPa (0.48kgf/cm²) 绝对压力下，水在 80℃时就沸腾。液体沸腾时所维持的不变温度称为沸点，或称为在某一压力下的饱和温度，而与饱和温度相对应的某一压力称为该温度下的饱和压力。沸腾是在一定压力下产生的，只有达到与此压力相对应的一定温度时沸腾才能进行，也就是说沸腾在饱和蒸汽压力等于外部压力的情况下才能发生。在上述例子中，可以说，水在一个大气压下的饱和温度为 100℃或水在 100℃时的饱和压力为一个大气压。

空调器中的制冷剂与水具有同样性质，制冷剂在蒸发器中不断吸收蒸发器周围的热量，由液体变为蒸汽。这时，制冷剂在蒸发器中所进行的是沸腾过程而不是蒸发过程。当蒸发器中压力一定时，其中的制冷剂液体将在与之对应的饱和温度下进行沸腾吸热。

单位质量的液体在一定的温度和压力下，完全转化为饱和蒸汽所需的热量称为汽化潜热（蒸发潜热或蒸发热），单位是 kJ/kg 或 kcal/kg。

在制冷工程中，实际的沸腾过程往往被称为蒸发过程，与汽化过程相反的气液相变过程是液化，即



以水为例，液化指蒸汽受到冷却或冷却与压缩同时进行，放出热量，由气体变成液体的过程。液化包括冷却和冷凝（凝结）两个过程。饱和蒸汽完全转变成饱和液体的过程称为冷凝（或凝结），即当蒸汽在一定压力下冷却到一定温度时，它就会由蒸汽状态转变为液体状态（凝结），如图 1-1 所示。在日常生活中，凝结的例子很多，如冬天房间玻璃窗上的水珠，就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。冷凝过程中的冷凝温度就是冷凝时的蒸汽压力所对应的饱和温度。

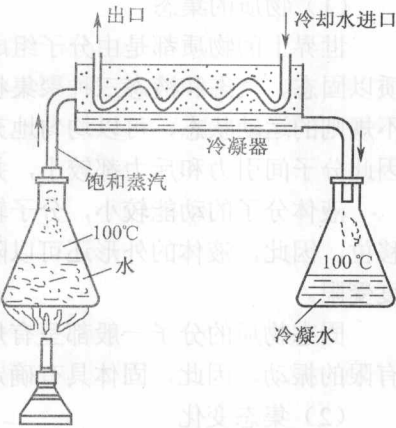


图 1-1 汽化与凝结

在空调器中，制冷剂在冷凝器中的变化过程是一个冷却和凝结过程。从压缩机排出的制冷剂蒸汽进入冷凝器后被空气先冷却成饱和蒸汽，然后凝结成制冷剂饱和液体，再进一步冷却成过冷液体。凝结时蒸汽的凝结温度即是所处压力下的饱和温度。1kg 蒸汽冷凝成液体所需移走的热量称为冷凝热。

(3) 显热和潜热

显热是指物体被加热或冷却时只有温度变化而无相变（或形态变化）时所得或放出的热量。

潜热指物体相变而温度不变时吸收或放出的热量。潜热具体可分为熔化热、升华热、蒸发热和冷凝热等。

水的加热过程，实际是水的吸热过程。在一个大气压下，把 1kg 的水由 20℃加热到 100℃时，水温上升 80℃，水吸收热量为 344.9kJ，在这一加热过程中水吸收热量为显热。如果继

续加热水，水温不再继续上升，并保持 100℃不变，但却出现沸腾汽化现象，水由液态变成气态（水蒸气），直至完全变成水蒸气，在这一加热过程中水吸收热量即为潜热，1kg 水由液态变为气态的潜热量是 2257kJ。

一般潜热比显热大很多，表 1-3 列出了一些液体的汽化潜热及沸点。空调器正是利用制冷剂的蒸发潜热，从周围物体吸收大量的热量，达到制冷的目的。

表 1-3 一些液体的汽化潜热及沸点（标准大气压下）

液体名称	汽化潜热 (kJ/kg)	沸点 (℃)	液体名称	汽化潜热 (kJ/kg)	沸点 (℃)
水	2257	100	R12 ^①	167.1	-29.8
酒精	854	78	R22 ^①	231.1	-40.8
氨	1369	-33.4			

注：R12、R22 是不同制冷剂的缩写。

(4) 饱和、过热和过冷状态

在一定温度下，若密闭的容器内蒸汽和液体二者处于平衡状态，蒸汽密度不再改变，这种状态称为饱和状态。处于饱和状态下的蒸汽和液体，分别被称为饱和蒸汽和饱和液体。其中，饱和蒸汽的压力称为饱和压力，饱和液体的温度则称为饱和温度。在空调器中，将冷凝器中的饱和温度称为冷凝温度，饱和压力称为冷凝压力；将蒸发器中的饱和温度称为蒸发温度，饱和压力称为蒸发压力。饱和温度和饱和压力之间存在着一定的对应关系，这种一一对应的关系可以通过对不同物质进行大量的科学实验来求得。表 1-4 列出了几种制冷剂的饱和压力和饱和温度。

表 1-4 几种制冷剂的饱和压力和饱和温度

饱和温度 (℃)	饱和压力 (kPa)		
	氨	R12	R22
-40	71.59	14.17	104.95
-20	190.15	150.93	244.83
0	430.17	308.61	447.59
20	887.01	567.29	909.93
40	1556.7	960.65	1533.5

可见，在相同的温度下，各种液体有不同的饱和压力；而在不同温度下，某种液体的饱和压力也不同。饱和温度越高，饱和压力越大；同样饱和压力越大，饱和温度也越高。这是由于处于饱和状态的液体温度升高，使气体分子运动加剧，空间气态分子的浓度增加，从而使蒸汽压力也提高，直到液气两相转变速率相等，达到该温度下新的饱和状态。总之，一定的饱和温度总是对应一定的饱和压力。此外，蒸发温度就是该蒸发压力下的沸点。

在空调器的蒸发器和冷凝器中，当已知其蒸发温度和冷凝温度时，便可根据一一对应关系查得其饱和压力的数值。例如：一台空调器所使用的制冷剂是 R22，若冷凝温度为 40℃，可从表 1-4 中查出其对应饱和压力为 1533.5kPa；对蒸发器也同样，若取蒸发温度为-20℃，其饱和压力为 244.83kPa。

对于不同的液体，在同一压力下，它们的沸点即饱和温度也是不同的。例如：在一个大气压下，水的沸点为 100℃，R12 的沸点为-29.8℃，氨的沸点为-33.4℃，R22 的沸点为-40.8℃。

作为制冷剂的主要特征之一，就是其沸点要低，这样才能利用制冷剂液体在低温下汽化

吸热来得到低温制冷。从另一方面看，不同制冷剂在相同温度下，其对应的饱和压力也是不相同的。因此，从制冷机各部件的结构强度和防止泄漏方面考虑，要求制冷剂在规定的工作温度范围内，其饱和压力不要过高或过低。

对蒸汽来说，当压力一定，而温度高于该压力下相对应的饱和温度时，这种现象称过热，该蒸汽称为过热蒸汽；同样，当蒸汽的温度一定，而蒸汽的压力低于该温度下相对应的饱和压力时，该蒸汽也是过热蒸汽。在同样压力下，过热蒸汽的温度与该压力对应的饱和温度的差值称为过热度。对液体来说，当压力一定，而温度低于该压力相应的饱和温度的现象称为过冷，其液体称为过冷液体。在同样压力下，过冷液体的温度与饱和温度的差值称为过冷度。

在空调器中，过冷液体是比冷凝温度低的液体，过热蒸汽是比蒸发温度高的气体。饱和状态下蒸汽和液体的共存体称湿蒸汽，湿蒸汽的状态取决于蒸汽所处的压力、温度及干燥程度。单位质量的湿蒸汽中所含的饱和蒸汽的质量称为干度，用 x 表示，则

$$x = \frac{\text{湿蒸汽中蒸汽量}}{\text{湿蒸汽总量}}$$

(5) 临界状态

在饱和状态中，液态和气态两相能够共存。而当饱和温度继续升高，到达某一温度时，物质的液相和气相的区别就会完全消失。这时液相不再存在，此时对应的状态点为临界点，临界点对应的压力和温度分别称为临界压力和临界温度。每一种气体都有一个临界点。表 1-5 示出了几种制冷剂的临界温度和临界压力。

表 1-5 几种制冷剂的临界温度和临界压力

制冷剂种类	R12	R22	R502	氨
临界温度 (°C)	112.04	96.13	91.1	132.5
临界压力 (bar)	41.96	50.84	42.1	112.77

值得注意的是，当气体超过其临界温度时，无论怎样压缩都不会使其液化，因此实际应用中冷凝温度一定要低于临界温度。只要低于临界压力和临界温度，各种气体在一定的温度和压力下都可以液化，温度越高，液化所需要的压力也就越高。

3. 气体状态方程式

由实践中得知物质在制冷机中的工作状态可通过压力 p 、温度 T 和比容 v 来表明。这些参数一经确定，物质实际所处的热力状态就确定了。

同样由实践结果还发现， p 、 v 和 T 这三个热力学参数，只有两个是彼此独立的，用公式表示为

$$F(p, T, v) = 0$$

此式称为气体状态方程式。函数 F 的具体形式由物质的种类而定。上式指明，在每一状态下， p 、 T 、 v 相互间有着一定的内在联系。

(1) 理想气体状态方程式

理想气体是指分子本身不占容积，分子间互相没有作用力的气体。这是一种假设，在工程实际中，常将气体看作理想气体处理。

对于理想气体， p 、 v 、 T 之间的关系是

$$pv = RT$$

式中， R 为气体常数，它仅取决于气体本身的性质，与气体状态无关。本式是理想气体状态方程式，是 $F(p, T, v) = 0$ 的最简单形式。