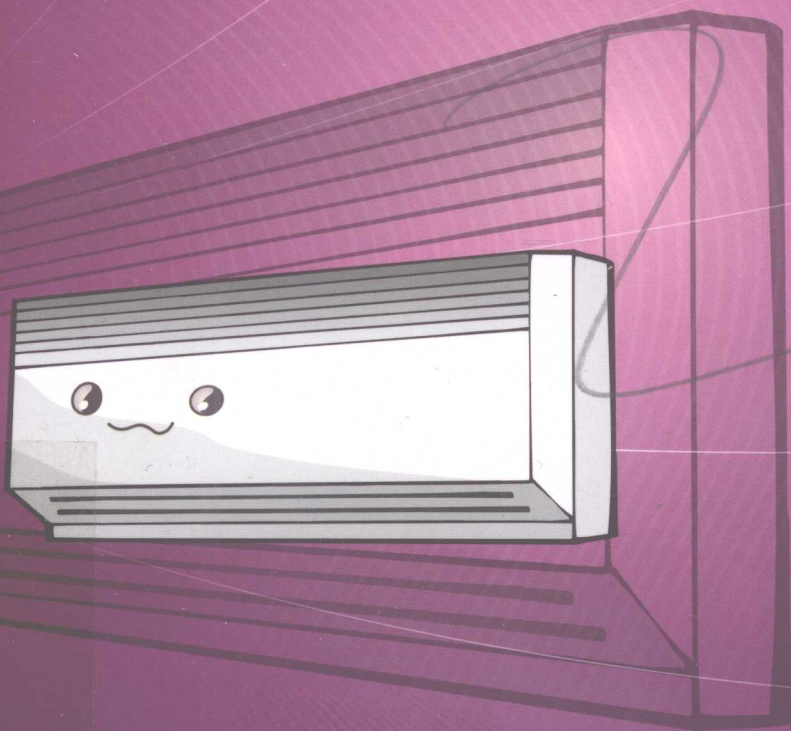




21st CENTURY  
实用规划教材

21世纪全国应用型人才培  
养规划教材 工程技术系列

# 制冷与空调技术



◆ 沈雅钧 编



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

TB657/9

2008

# 21 世纪全国应用型人才培养规划教材 · 工程技术系列

一、前言  
二、第一章 绪论  
三、第二章 空气调节系统的组成  
四、第三章 空气调节系统的负荷计算  
五、第四章 空气调节系统的送风系统  
六、第五章 空气调节系统的回风系统  
七、第六章 空气调节系统的能量平衡  
八、第七章 空气调节系统的自动控制  
九、第八章 空气调节系统的节能技术  
十、第九章 空气调节系统的噪声控制  
十一、第十章 空气调节系统的运行管理  
十二、参考文献  
十三、附录  
十四、索引

## 制冷与空调技术

沈雅钧 编

主编：沈雅钧

责任编辑：沈雅钧

责任编辑：沈雅钧

书号：ISBN 978-7-301-13178-7/TH · 0081

出版：北京理工大学出版社

地址：北京市海淀区成府路 202 号 100871

网址：<http://www.bupt.cn> <http://www.bupg.com>

电话：编辑部 6272012 发行部 6272012 编辑室 6272007 出版部 6272493

电子邮箱：[bupg@163.com](mailto:bupg@163.com)

印刷

发行

编辑

室



北京理工大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

电子邮箱：[rlf@bupg.bnu.edu.cn](mailto:rlf@bupg.bnu.edu.cn)

未经许可，不得转载  
侵权必究，违者必究

## 内 容 简 介

本书按照基础理论知识、主要设备、基本操作、常见故障等顺序,阐述了制冷空调领域所涉及的基本理论、主要设备的结构与工作原理、基本操作技能、常见故障及排除方法,特别对本领域所涉及的一些常用操作进行了较详细的介绍,考虑到实用的需要,对常见家用设备(电冰箱与空调器)分列两章专门进行讲述。全书共6章:第1章制冷空调基础知识;第2章制冷空调系统的主要设备及工作原理;第3章家用电冰箱的原理与结构;第4章房间空调器;第5章基本操作及相关工具;第6章系统常见故障及排除。

本书从工程技术实训教学实际出发,内容安排与实际生产过程结合,着眼于技能操作,力求具有针对性、实用性。本书可作为高等院校工程类专业的实训教材,还可作为职业教学的培训教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调技术/沈雅钧编. —北京:北京大学出版社, 2008.6

(21世纪全国应用型人才培养规划教材·工程技术系列)

ISBN 978-7-301-13178-7

I. 制… II. 沈… III. ①制冷技术—教材 ②空气调节设备—教材 IV. TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 185785 号

书 名: 制冷与空调技术

著作责任者: 沈雅钧 编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-13178-7/TH·0081

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 山东省高唐印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16开本 13.5印张 309千字

2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

定 价: 28.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 丛书序言

随着我国制造业的快速发展，“中国制造”正在迅速崛起，2007年我国制造业在世界制造业产值中占据10%以上，在总量上成为仅次于美国和日本，成为世界第三大制造国。中国已经成为一个名副其实的“世界工厂”，越来越成为世界制造加工业的中心。“中国制造”的迅速崛起，使我国的高等教育面临着巨大的机遇和挑战。一方面，由于制造业的高速发展，使得工程技术人才紧缺；另一方面，目前高等学校的教育同企业的要求相差甚远，教学内容同企业的实际需求脱节。即使对口专业毕业的学生，也需要经过几年时间的实际工作锻炼，才能适应本专业的工作。因此，改革传统的教学内容迫在眉睫。工程类专业教学改革的重中之重就是改革传统的实践教学模式，即通过加强工程技能的训练，学习工艺知识，锻炼工程技能，提高工程素质，激发创新意识和培养创新能力，适应社会需求。

《工程技术系列》教材就是根据现代工程技术实训的需求编写的。本系列教材包括《电工工艺与船舶电气系统》、《电子综合实训》、《船机设备维修技术》、《制冷与空调技术》、《计算机组装与维护》5本书。

本系列教材主要体现两个方面的要求：

- (1) 覆盖面较宽，以满足更多工程类专业的需要。
- (2) 考虑了生产实际的需要，并突出了海洋工程类人才培养的特色。

在教材内容选取上，以较多篇幅论述工程技术的基本知识和实践技能，也适当介绍了新技术的应用。在教材的试用阶段，广泛征求了学生的意见。试用阶段表明该系列教材特色比较明显，在实训中学生积极性较高。所以教材的出版将有助于提高学生工程技能训练的兴趣，提高实际工程技能水平，对学生的就业将会起到积极作用。

本系列教材的主要特点是：

- (1) 本系列教材反映浙江省新世纪高等教育教学改革研究项目(创建高校工程技术实训中心的研究与实践)和浙江省省属高校专项资金项目(工程技术实训中心建设)的研究成果。
- (2) 本系列教材的编写，贯彻了工程技术实训的教育教学目标；学习工程技术的工艺知识，增强工程实践能力，培养创新精神，提高综合素质。
- (3) 本系列教材结合海洋工程类的特点，强调实用性和实践性，广泛适用于各工程技术类专业。

本系列教材由浙江海洋学院刘国平教授主编，由大连海事大学王贤惠教授主审。其中，《电工工艺与船舶电气系统》由刘国平编写，《电子综合实训》由单海校编写，《船机设备维修技术》由史晓敏编写，《制冷与空调技术》由沈雅钧编写，《计算机组装与维护》由杨永华编写。

在编写此套教材的过程中，得到了浙江海洋学院有关领导、专家的大力支持和热情帮助，北京大学出版社有关专家也对教材提出了修改意见，在此一并表示诚挚的谢意。

刘国平

2008.1

# 前 言

随着制冷和空调技术在各个部门的应用日益广泛,除本领域外,其他工程技术领域与制冷和空调技术的关系也越来越密切。因此,制冷和空调的实际操作技能既是制冷空调、暖通等相关领域的工程技术人员必须掌握的专业技能,也是工科类相关专业,特别是建筑环境与设备工程专业的一个实践性环节,一般在专业培养方案中既具有相对的独立性,又与相关基础课和后续专业课程有着密切的联系。

编写本教材的目的是,为工科类学生,特别是建筑环境与设备工程专业学生的工程实训环节提供一本制冷空调方面的适用的教材,使学生在学习了相关专业基础课与专业课程后,能够按照教材内容进行系统的工程技能训练,通过训练进一步掌握制冷空调领域的一些基本操作技能,并以此培养学生的工程观点、增强学生的实际动手能力;同时,本教材也可作为制冷空调领域的普通技术人员的技术培训和工作参考之用。

本教材结合我国制冷空调行业的实际需要及社会对人才培养的要求而编写。编写时,编者参考了大量制冷空调方面的相关教材与著作,并根据现行的国家标准及国家有关的最新规章、政策文件,结合编者多年教学工作的经验,对教材的内容作了精心的选择及编排。本教材在内容选取方面充分考虑了相关知识的系统性和合理性,教材内容以实际操作为主,也对热力学、传热学及流体力学等相关基础理论知识作了必要的介绍,使教材具有针对性、实用性和选择性,实际使用时可根据前修课程的学习情况作适当删节。各章内容在编写时注重理论联系实际,同时配有一定量的思考题。本教材的建议学时为30~40学时,实际使用时可根据前修课程的学习情况确定。

本教材共分6章:第1章制冷空调基础知识;第2章制冷空调系统的主要设备及工作原理;第3章家用电冰箱的原理与结构;第4章房间空调器;第5章基本操作及相关工具;第6章系统常见故障及排除。

全书主要由浙江海洋学院沈雅钧副教授编写,崔肖洁、张艳、刘春化参与了教材部分内容的编写。本书在编写过程中还得到了本校洪兴龙老师的帮助,并提出了许多宝贵的意见。编者在此一并向他们致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,望读者不吝指正。

编 者  
2008年2月

# 目 录

1.1	热力学基础	1	1.6.4	风机盘管系统	36
1.1.1	状态参数与基本状态参数	1	1.6.5	空调机组	39
1.1.2	热能、热量与功	4		思考题	40
1.1.3	物质的状态变化及状态参数坐标图	6	<b>第2章 制冷空调系统的主要设备及工作原理</b>		41
1.1.4	热力学基本定律	9	2.1	制冷系统的主要设备	41
1.1.5	湿空气及焓-含湿量图	10	2.1.1	制冷压缩机	41
1.2	传热学基础	12	2.1.2	冷凝器	62
1.2.1	热传导	12	2.1.3	节流设备	65
1.2.2	热对流	13	2.1.4	蒸发器	68
1.2.3	热辐射	13	2.2	制冷系统的主要辅助设备	69
1.2.4	传热过程、传热方程与传热系数	14	2.2.1	储液器	70
1.3	流体力学基础	17	2.2.2	油分离器	70
1.3.1	流体的特性与理想流体的概念	17	2.2.3	干燥过滤器	71
1.3.2	稳定流动与一元流动	18	2.2.4	冷却塔	72
1.3.3	流动的类型及判别	18	2.2.5	液位指示器	73
1.3.4	流体流动的基本方程	18	2.2.6	其他自动调节元器件	74
1.4	制冷原理及制冷循环	20	2.3	空调系统的主要设备	75
1.4.1	理想热机循环	20	2.3.1	喷水室	75
1.4.2	理想制冷循环	21	2.3.2	表冷器	78
1.4.3	蒸汽压缩制冷循环	22	2.3.3	其他热湿处理设备	80
1.4.4	吸收式制冷原理	23	2.3.4	风机盘管	85
1.5	制冷剂、载冷剂和润滑油	24	2.3.5	风机	87
1.5.1	制冷剂	24	2.3.6	空气滤尘器	88
1.5.2	载冷剂	28	2.3.7	消声器	89
1.5.3	润滑油	30		思考题	90
1.6	空气调节系统	31	<b>第3章 家用电冰箱的原理与结构</b>		92
1.6.1	空调系统的分类	31	3.1	电冰箱的分类	92
1.6.2	直流式空调系统	33	3.1.1	按电冰箱的使用功能分类	92
1.6.3	一次回风系统	35	3.1.2	按电冰箱的结构形式分类	92
			3.1.3	按电冰箱的制冷方式分类	93
			3.1.4	按电冰箱的箱门形式分类	93



3.1.5 按电冰箱冷冻室温度等级 分类 .....	94	5.2 制冷系统的抽真空 .....	139
3.1.6 按电冰箱冷冻室的冷却方式 分类 .....	94	5.2.1 用系统中的压缩机抽真空时 的注意事项 .....	140
3.2 电冰箱的型号表示 .....	94	5.2.2 抽真空的操作步骤 .....	140
3.3 电冰箱的基本结构 .....	95	5.3 制冷系统的检漏 .....	141
3.3.1 箱体 .....	96	5.3.1 概述 .....	141
3.3.2 制冷系统 .....	98	5.3.2 常用检漏方法 .....	142
3.3.3 电气系统 .....	102	5.4 制冷剂的充注和取出 .....	145
3.3.4 附件 .....	110	5.4.1 制冷剂的充注和充注量 控制 .....	145
3.4 电冰箱的典型电路 .....	111	5.4.2 制冷剂的取出 .....	148
思考题 .....	114	5.4.3 制冷剂的添加 .....	150
<b>第 4 章 房间空调器</b> .....	<b>115</b>	5.5 零部件的清洗与干燥 .....	151
4.1 空调器的分类及型号表示 .....	115	5.5.1 管道及部件的清洗 .....	151
4.1.1 空调器的分类 .....	115	5.5.2 零部件的干燥 .....	153
4.1.2 空调器的型号表示 .....	117	5.6 管件的加工 .....	153
4.2 空调器的使用条件 .....	118	5.6.1 管道材料 .....	154
4.2.1 环境温度 .....	118	5.6.2 缩管与胀管 .....	155
4.2.2 电源 .....	119	5.6.3 管子的焊接 .....	156
4.3 空调设备的热湿负荷 .....	119	5.6.4 冷挤铜管 .....	158
4.4 空调器的工作原理及基本结构 .....	120	5.6.5 管材的弯曲 .....	159
4.4.1 窗式空调器 .....	120	5.7 注油与换油 .....	160
4.4.2 分体式空调器 .....	122	5.7.1 润滑油的充注 .....	160
4.4.3 多室内机系统 .....	126	5.7.2 润滑油的排放 .....	162
4.5 空调器的循环方式 .....	127	5.8 系统除霜 .....	163
4.5.1 理论制冷循环 .....	127	5.8.1 常用除霜方法 .....	163
4.5.2 热泵循环 .....	129	5.8.2 热气冲霜的步骤 .....	164
4.5.3 变频空调器循环 .....	130	5.9 制冷系统放空气操作 .....	166
4.6 空调器的简易安装 .....	131	5.9.1 氨系统放空气 .....	166
4.6.1 窗式空调器的安装 .....	131	5.9.2 氟利昂系统放空气 .....	166
4.6.2 分体式空调器的安装 .....	133	5.9.3 房间空调器的放空气操作 .....	167
思考题 .....	136	5.10 小型设备的更换 .....	168
<b>第 5 章 基本操作及相关工具</b> .....	<b>137</b>	5.10.1 更换过滤干燥器 .....	168
5.1 制冷系统的吹污与试漏 .....	137	5.10.2 更换冷凝器 .....	169
5.1.1 制冷系统的吹污 .....	137	5.10.3 更换热交换器或蒸发器- 热交换器组合件 .....	169
5.1.2 制冷系统的试漏 .....	137	思考题 .....	170



<b>第 6 章 系统常见故障及排除</b> .....	171	6.2.2 制冷系统的常见故障及 排除 .....	178
6.1 检查故障的方法和系统正常运行的 标志 .....	171	6.2.3 封闭式压缩机制冷系统的 故障检查方法.....	187
6.1.1 检查故障的方法 .....	171	6.2.4 家用电冰箱常见故障及 排除 .....	188
6.1.2 系统正常运行的标志 .....	172	6.2.5 空调系统的常见故障及排除.....	193
6.2 常见故障及排除方法 .....	175	思考题 .....	204
6.2.1 制冷压缩机的常见故障及 排除 .....	175	<b>参考文献</b> .....	205



# 第 1 章 制冷空调基础知识

一个完整的制冷或空调系统，是由一系列设备、管道、控制元件等按照一定的顺序连接而成的，其中的设备大多是热工设备，其工作原理都以热工理论及流体力学理论为基础，系统的设计和计算也离不开热工理论及流体力学的基础知识，各类热工设备的性能、流体的流动特性等均会在很大程度上影响到系统的工作特性与工作效果。因此，要学好制冷空调技术，必须具有一定的热力学、传热学及液体力学等方面的基础知识。

## 1.1 热力学基础

本节主要介绍在制冷空调领域中经常用到的热力学的概念、物质的状态变化及常用状态参数坐标图及热力学第一定律与热力学第二定律。

### 1.1.1 状态参数与基本状态参数

热力学的研究对象称为热力学系统(简称热力系)。热力系的宏观状况需用一系列参数进行描述，这些用来描述系统状态特性的物理量称为状态参数。在所有状态参数中，压力  $p$ 、比容  $v$ 、温度  $T$  是可以直接测量的，又具有直观的物理意义，在工程实际中也用得最为广泛，因而称之为基本状态参数。

#### 1. 温度

微观上，温度是气体内部分子不规则热运动激烈程度的量度。宏观上，温度则是物体冷热程度的标志。当两个冷热不同的物体相互接触时，一个物体放出热量，温度降低，另一个物体吸收热量，温度升高，从而实现热量由热物体向冷物体的转移。

表示温度的标尺称为温标，常用的温标有热力学温标与摄氏温标。热力学温标又称开尔文温标(Kelvin)或绝对温标，摄氏温标也称热力学摄氏温标(Celsius)。两种温标的符号、单位、基准点及分度情况见表 1-1。

表 1-1 热力学温标与摄氏温标

温 标	符 号	单 位	基 准 点	分 度
热力学温标	$T$	K	纯水的“三相点”， 定义为 273.16K	在绝对零度与基准点间线性分度
摄氏温标	$t$	$^{\circ}\text{C}$	冰的熔点，定义为 $0^{\circ}\text{C}$ ； 水的沸点，定义为 $100^{\circ}\text{C}$	在冰的熔点与水的沸点间线性分度

在热力计算中，最常用的是热力学温标。

两种温标可进行相互换算，其换算关系如下：

$$t_c = T_K - 273.15, \text{ 即 } t_c = T_K - T_0 \quad (1-1)$$

$$\text{或 } T_K = t_c + 273.15, \text{ 即 } T_K = t_c + T_0 \quad (1-2)$$

式中， $t_c$  为摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_K$  为热力学温度， $\text{K}$ ；

$T_0$  为常数，其值为 273.15。在工程计算中，可近似地取  $T_0 = 273$ 。

## 2. 压力

### 1) 压力的定义

在工程上，把垂直作用于器壁单位面积上的力称为绝对压力，简称压力，在物理学上则称为压强。

用公式表示为

$$p = \frac{F}{A} (\text{N/m}^2) \quad (1-3)$$

微观上：由气体分子运动论，对于理想气体，有

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} nBT \quad (1-4)$$

式中， $p$  为绝对压力， $\text{Pa}$ ；

$F$  为垂直作用力， $\text{N}$ ；

$A$  为作用面积， $\text{m}^2$ 。

### 2) 绝对压力、表压力、真空度与环境压力

绝对压力、表压力、真空度与环境压力是在压力测量中所涉及的几个不同的压力名称，各量的含义如下。

绝对压力，指气体的真实压力，反映气体的热力状态，用符号  $p$  表示。

相对压力或表压力，指在压力测量过程中压力表上所指示的读数，用符号  $p_g$  表示。

真空度或真空值，指在系统压力低于环境压力的情况下压力表的读数，为表压  $p_g$  的负值，用符号  $H$  表示。真空度的大小反映的是系统压力低于环境压力的数值。

环境压力，指测量压力时所处环境的压力，用符号  $B$  表示。在多数情况下，环境压力即为大气压力(由地球周围的大气层所产生的压力)。

上述各压力间的关系如图 1.1 及图 1.2 所示。

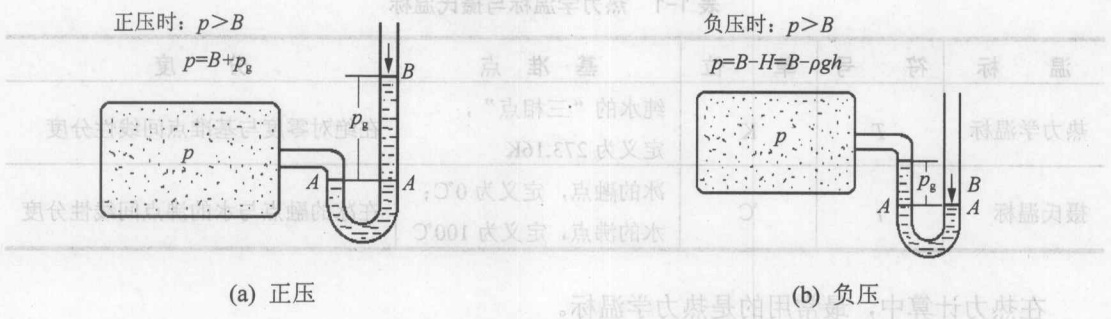


图 1.1 不同压力间的关系

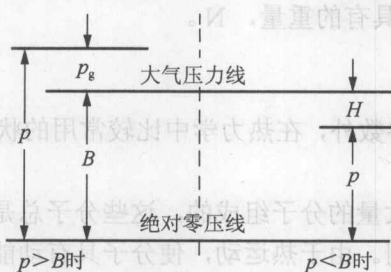


图 1.2 不同压力间的关系

### 3) 压力的单位

在工程计算中, 压力有不同的单位。几种比较常用的单位如下。

(1) 在法定计量单位中, 压力的单位为帕斯卡( $\text{N}/\text{m}^2$ ), 简称帕, 符号为 Pa。由于单位 Pa 较小, 在实际中常用 MPa (兆帕)、hPa (百帕)(气象中常用)作单位。并有:  $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ ,  $1\text{hPa} = 10^2\text{Pa}$ 。

(2) 在工程单位制中, 压力的单位为  $\text{kgf}/\text{m}^2$ 。实用中常用 at (工程大气压)作为压力单位, 并有:  $1\text{at} = 1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 10^4\text{kgf}/\text{m}^2$ 。

(3) 在压力不高时常用“液柱高”来测量压差。常用的测压液体有: 水( $\text{mmH}_2\text{O}$ )与汞( $\text{mmHg}$ )。

(4) 在物理学上, 常用物理大气压(即标准大气压)作为压力单位, 符号为 atm。它是指在地球纬度  $45^\circ$  的海平面上的常年平均大气压力, 其值为:  $1\text{atm} = 760\text{mmHg}$ 。

各压力单位间的主要换算关系如下。

$$1\text{at} = 10\text{mmH}_2\text{O} = 10^4\text{kgf}/\text{m}^2 = 0.09806\text{MPa} = 9.806 \times 10^4\text{Pa} = 735.6\text{mmHg}$$

$$1\text{MPa} = 10.1972\text{at} = 7500.6\text{mmHg}$$

$$1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 0.101325\text{MPa} = 1.00323\text{at}$$

在空调中, 习惯上常用“ $\text{kgf}/\text{m}^2$ ”或“ $\text{mmHg}$ ”作为压力单位。

在物理学中, 把压力  $p = 1\text{atm}$ 、温度  $t = 0^\circ\text{C}$  的状态称为标准状态。

### 3. 比容

比容  $v$ 、密度  $\rho$  和重度  $\gamma$  这 3 个物理量均是描述物质分子聚集疏密程度的物理量, 在工程热力学中, 最常用的是比容  $v$ 。各量的定义及表达式见表 1-2。

表 1-2 比容、密度、重度

物理量	比容 $v$ ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	密度 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	重度 $\gamma$ ( $\text{N}/\text{m}^3$ )
定义	单位质量工质所占有的容积	单位容积工质所具有的质量	单位容积工质所具有的重量
表达式	$v = V/m$	$\rho = m/V$	$\gamma = G/V$
相互关系	$\rho v = 1, \gamma = \rho g$		

其中,  $V$  为  $m\text{kg}$  物质所占有的总容积,  $\text{m}^3$ ;

$m$  为  $V\text{m}^3$  容积物质所具有的总质量,  $\text{kg}$ ;



$G$  为  $m$  kg 物质所具有的重量,  $N$ 。

#### 4. 内能、焓与熵

除了上述 3 个基本状态参数外, 在热力学中比较常用的状态参数还有: 热力学能(亦称内能)、焓与熵。

内能: 一切物体都是由大量的分子组成的, 这些分子总是在不停地进行无规则的热运动, 分子间还有力的相互作用。由于热运动, 使分子具有动能; 由于分子间的作用力, 使分子具有位能。将储存于热力系内部的总能量称为热力系的内能, 也称热力学能, 用符号  $U$  表示, 单位为  $J$ ; 单位质量工质的内能称为比内能, 符号为  $u$ , 单位  $J/kg$ 。在工程热力学范围内, 内能包括分子动能与分子位能两部分, 其数值与温度  $T$  和比容  $v$  有关。即

$$U = f(T, v), \text{ 或 } U = f(T, p) \quad (1-5)$$

对于理想气体, 内能只是温度的函数。即

$$U = f(T) \quad (1-6)$$

焓: 将组合量  $U + pV$  定义为新的物理量, 称为焓, 用符号  $H$  表示, 即

$$H = U + pV \quad (2)$$

焓的单位为  $J$ ; 单位质量工质的焓称为比焓, 符号为  $h$ , 即

$$h = u + pv \quad (3)$$

单位为  $J/kg$ 。

熵: 熵亦是一个状态参数, 可表征工质与外界热交换的程度, 用符号  $S$  表示, 单位为  $J/K$ ; 单位质量工质的熵称为比熵, 比熵用符号  $s$  表示, 单位为  $J/(kg \cdot K)$ 。

在工程热力学中, 熵是以改变量的形式定义的, 将系统在可逆过程中与外界交换的热量除以热交换时的绝对温度所得的商定义为系统的熵增, 即

$$ds = \left(\frac{\delta q}{T}\right)_{re} \text{ 或 } \Delta s = \int_1^2 ds = \int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T}\right)_{re} \quad (1-7)$$

两个特例: 等温过程,  $\Delta s = \frac{q}{T}$ ; 绝热过程,  $\Delta s = 0$  或  $ds = 0$ 。

### 1.1.2 热能、热量与功

#### 1. 热能与热量

##### 1) 热能

热能是由于存在温差而传递的能量, 热量则是物质热能传递的一种度量。

##### 2) 热量的计算

热量的常用计算方法有下述两种。

##### (1) 利用比热计算。

这是物理学中所介绍的方法, 计算公式为

$$\delta Q = mcdT \quad (1-8)$$

$$Q_{1-2} = \int_{T_1}^{T_2} mcdT \quad (1-9)$$

##### (2) 利用熵的概念计算。

这是热力学中的计算方法, 计算公式为



$$\delta Q = Tds \quad (1-10)$$

$$Q_{1-2} = \int_{s_1}^{s_2} Tds \quad (1-11)$$

### 3) 热量的符号及正负规定

热量用符号  $Q$  表示, 单位质量工质所传递的热量用  $q$  表示。同时规定: 系统从外界吸热,  $Q$  为正值; 系统向外界放热,  $Q$  为负值。

## 2. 功和功率

在力学中, 把使用外力移动物体时所消耗的能量称为功。在单位时间内所消耗的功称为功率。

### 1) 功的一般定义

功的一般定义为: 功=力×距离。用公式表示即为

$$\delta W = Fdx \quad (1-12)$$

$$W_{1-2} = \int_{x_1}^{x_2} Fdx \quad (1-13)$$

式中,  $F$  为广义力;  $dx$  为广义位移。

### 2) 气体的膨胀功和压缩功

膨胀功和压缩功也称容积变化功, 计算公式为

$$\delta W = pdv \quad (1-14)$$

$$W_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} pdv \quad (1-15)$$

式中,  $p$  为气体压力, 即广义力;  $dv$  为比容变化, 即广义位移。

上述两式为计算容积变化功的一般公式, 适用于任意有容积变化的系统, 而与此容积的空间几何形状无关。前提条件是已知  $p = f(v)$  关系及初、终态状态参数。

### 3) 功的符号及正负号规定

功用符号  $W$  表示, 单位质量工质所做的功称为比功, 用符号  $w$  表示。

同时规定: 系统对外界做功,  $W$  为正值; 外界对系统做功,  $W$  为负值。

## 3. 热和功的单位

热和功都是能量, 因而具有能量的单位。具体情况如下。

SI 制中: 功和热的单位相同, 均为 J(或 kJ); 单位质量工质所传递的热量  $q$  及比功  $w$  的单位均为 J/kg(或 kJ/kg)。

工程单位制中: 功的单位仍为 J(或 kJ), 而热量的单位为 cal 或 kcal。

功与热的其他单位还有: kgf·m, kW·h, Ps·h 等。

各单位间的主要换算关系如下。

$$1\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.806\text{J} \quad 1\text{cal} = 4.1868\text{J}$$

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 102 \times 3600 = 367200\text{kgf} \cdot \text{m} = 860\text{kcal} = 3600\text{kJ}$$

$$1\text{Ps} \cdot \text{h} = 75 \times 3600 = 270000\text{kgf} \cdot \text{m} = 632\text{kcal} = 2646\text{kJ}$$

在法定计量单位中, 功率的单位为瓦特(W),  $1\text{W} = 1\text{J/s}$ 。



1.1.3 物质的状态变化及状态参数坐标图

1. 物质的状态变化与相间的转变

物质是具有质量和占空间容积的物体，它可以固态、液态和气态 3 种状态中的任何一种存在于自然界中，在外界条件的影响下，其状态将发生变化。对于纯物质，当其所处的条件发生变化时，还可发生固态、液态、气态等相态的变化。固—液—气三相间的相互转化关系如图 1.3 所示。

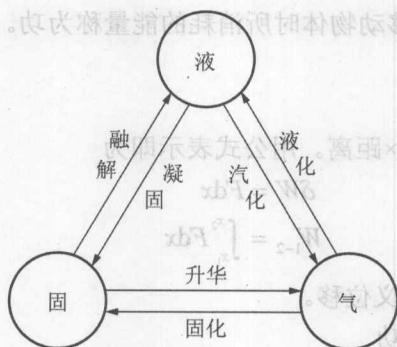


图 1.3 物质的相间的转变

物质在相变过程中，总是伴随着吸热或放热现象。这种形式的热量统称为潜热。如融解(潜)热、凝固(潜)热、升华(潜)热、固化(潜)热、液化(潜)热和汽化(潜)热。

在制冷空调领域，最有意义的是物质的汽化过程与液化过程。对应的潜热则为液化(潜)热和汽化(潜)热。

物质从气态变成液态的过程称为冷凝或液化，在此过程中物质放出液化潜热。物质从液态变成气态的过程称为汽化，过程中物质吸收汽化潜热。

汽化又可分为蒸发与沸腾两种形式。

沸腾：在一定的温度(沸点)下，液体内部和表面同时发生的剧烈的汽化过程称为沸腾。沸腾时，液体内部会形成许多小气泡并上升至液面，迅速汽化并吸收周围介质的热量。

蒸发：在任何温度下，液体外露表面的汽化过程称为蒸发。蒸发在日常生活中随处可见，如湿衣服晒在阳光下会干燥，放在敞开容器中的水量会减少，放在杯子中的酒精很快会蒸发干等。

在制冷系统中，利用液态制冷剂在低温低压条件下吸热汽化，即可实现制冷目的。在制冷系统中的蒸发器内，制冷剂不断吸收周围空气或水的热量，由液体变成气体，其间所发生的过程实际上即为沸腾过程。在制冷技术中，习惯上把制冷剂液体在蒸发器中的沸腾过程称为蒸发，这也是把相应的换热设备称为蒸发器的原因。

冷凝与汽化是两个相反的过程，在一定的压力下，蒸汽的冷凝温度与液体的沸点相同，汽化(潜)热与液化(潜)热的数值相等。随着压力的升高，同一工质的汽化潜热将减小。

相变过程具有下述特点：在一定压力下，过程中物质的温度保持不变，反之亦然。此时的温度和压力分别称为饱和温度与饱和压力，亦即饱和温度与饱和压力间存在如下——对应的关系

$$T_s = f(p_s) \text{ 或 } p_s = f(T_s) \quad (1-16)$$



## 2. 饱和、过冷、过热与临界状态

**饱和温度与饱和压力：**装在密闭容器中的液体从液面飞出的分子不可能扩散到其他地方去，只能积聚在液体上方的那个空间里做无规则的运动。其中一部分气体分子碰撞液面时又回到液体中来，一部分新的分子又从液面上飞到气体空间。当两者达到平衡时，空间里的气体比容不再变化，液体和它的蒸汽处于动态平衡状态，此时，蒸汽中的分子数不再增加，这种状态称为饱和状态。在此状态下的蒸汽称为饱和蒸汽，饱和蒸汽的温度称为饱和温度，饱和蒸汽的压力称为饱和压力。

**过冷与过热：**在饱和压力的条件下，继续对饱和蒸汽加热，使其温度高于对应的饱和温度，这种状态称为过热，此时的蒸汽称为过热蒸汽。在饱和压力不变的条件下，对饱和液体继续冷却，使其温度达到饱和温度以下，称为过冷，此时的液体称为过冷液体。

**临界温度和临界压力：**各种物质，当压力升高时，其饱和蒸汽的比容将减小，而饱和液体的比容则稍有增加。随着压力的不断升高，两者的差别不断减小，蒸汽的比容逐渐接近于液体的比容。将两者达到相等时的状态称为临界状态，对应于临界状态点的温度称为临界温度，压力称为临界压力，比容称为临界比容。每一种物质，其临界点参数都是固定不变的，是一组反映物质性质的重要参数。

## 3. 状态参数坐标图

在工程热力学中，常利用两个独立状态参数组成二维平面坐标图，称之为状态参数坐标图。在状态参数坐标图中，一个“点”可表示一个平衡状态，一条“线”可表示一个准平衡过程。

常用的状态参数坐标图有  $T-s$  图、 $p-v$ 、 $p-h$  图等。

### 1) $T-s$ 图与示热图( $T-s$ 图)

以温度  $T$  为纵坐标，比熵  $s$  为横坐标可组成  $T-s$  图；以温度  $T$  为纵坐标、总熵  $S$  为横坐标组成的坐标图则称为示热图。

在  $T-s$  图中，过程线下面的“面积”还可表示过程中单位质量工质与外界的热量交换；在示热图中，过程线下面的“面积”则可表示过程中工质与外界交换的总热量，如图 1.4 所示。

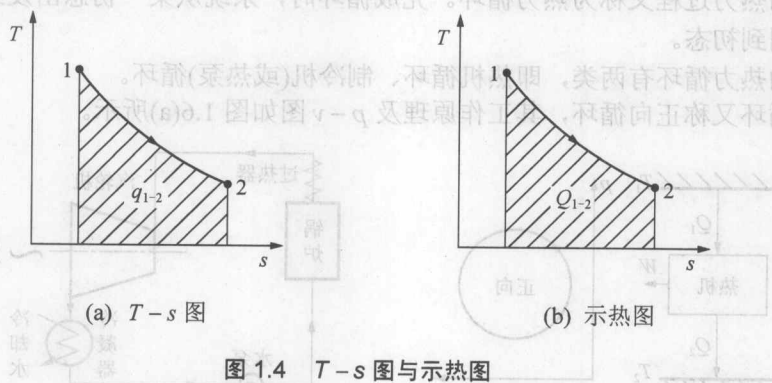


图 1.4  $T-s$  图与示热图

因此，在热力工程中常利用  $T-s$  图来计算工质与外界交换热量的大小，也可根据工质在  $T-s$  图中的过程曲线的方向，来定性判别工质与外界的热交换情况。

(1) 过程从左向右进行， $\Delta s > 0$ ，工质吸收热量。

- (2) 过程从右向左进行,  $\Delta s < 0$ , 工质放出热量。
- (3) 过程从上到下或从下到上进行,  $\Delta s = 0$ , 表示工质经历的是绝热过程。

2) 压容图( $p-v$ 图)与示功图( $p-V$ 图)

以压力  $p$  为纵坐标、比容  $v$  为横坐标可组成  $p-v$  图; 以压力  $p$  为纵坐标、总容积  $V$  为横坐标组成的坐标图则称为示功图。在  $p-v$  图中, 过程线下面的“面积”还可表示过程中单位质量工质与外界的功量交换; 在示功图中, 过程线下面的“面积”则可表示过程中工质与外界交换的总功量, 如图 1.5 所示。

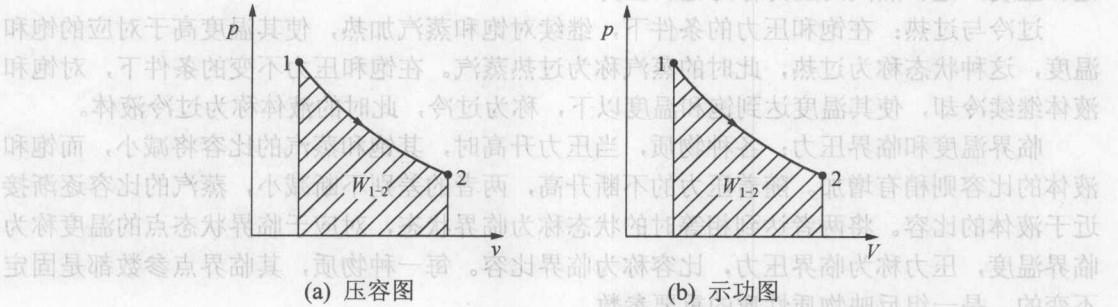


图 1.5 压容图与示功图

在热力工程中, 可用  $p-v$  图来计算工质与外界交换功量的大小, 也可根据工质在  $p-v$  图中的过程曲线的方向, 来定性判别工质与外界的功量交换情况。

- (1) 过程从左向右进行,  $\Delta v > 0$ , 工质膨胀, 对外输出膨胀功。
- (2) 过程从右向左进行,  $\Delta v < 0$ , 工质被压缩, 外界对工质做功, 即工质消耗功量。
- (3) 过程从上到下或从下到上进行,  $\Delta v = 0$ , 表示工质经历的是定容过程, 与外界无容积功的交换。

4. 热力过程与热力循环

热力系处于一定状态时, 其各个状态参数均具有确定的数值。当受到外界影响时(做功、传热等), 其状态将发生变化。系统热力状态连续变化的过程称为热力过程。

封闭的热力过程又称为热力循环。完成循环时, 系统从某一初态出发经历一系列状态变化后又回到初态。

常见的热力循环有两类, 即热机循环、制冷机(或热泵)循环。

热机循环又称正向循环, 其工作原理及  $p-v$  图如图 1.6(a)所示。

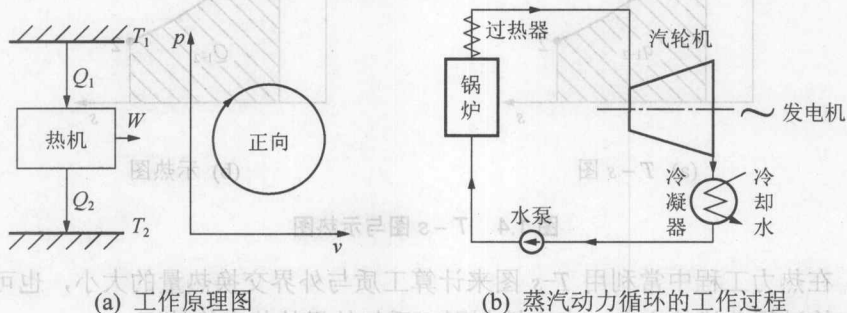


图 1.6 热机循环



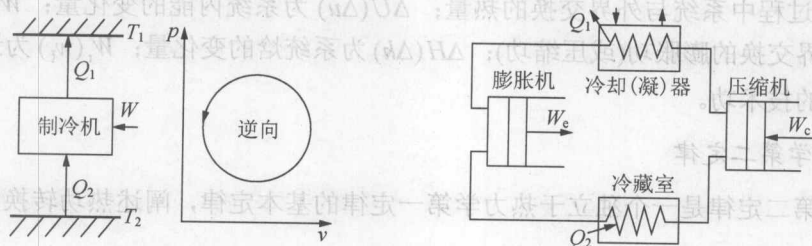


实施热机循环的目的是实现热功转换,即从高温热源吸热 $Q_1$ ,对外做功 $W$ ,同时向低温热源放热 $Q_2$ 。图1.6(b)所示是典型的热机循环——蒸汽动力循环的工作过程。

在蒸汽动力循环中,锅炉以燃烧燃料为代价将低温水加热成蒸汽,产生的高温高压蒸汽进入汽轮机,在汽轮机中膨胀做功;做功后的低压蒸汽(称乏汽)进入凝汽器,并被冷却水冷却,凝结成饱和水后用水泵送回锅炉循环使用。

制冷机(或热泵)循环又称逆向循环,其工作原理及 $p-v$ 图如图1.7(a)所示。

实施制冷机(或热泵)循环的目的是以消耗外界机械功 $W$ 为代价,把热量 $Q_2$ 从低温热源取出,连同 $W$ 一起排向高温热源。图1.7(b)所示是循环的工作过程。



(a) 工作原理图

(b) 循环过程

图 1.7 制冷机(或热泵)循环

### 5. 热效率与制冷系数

对于前述热机循环,为了表示循环工作性能的好坏,引进循环热效率的概念。热效率用符号 $\eta_t$ 表示,其定义式为

$$\eta_t = \frac{W}{Q_1} \quad (1-17)$$

同理,对于制冷循环,则用制冷系数表示其工作性能。制冷系数用符号 $\varepsilon$ 表示,其定义式为

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W} \quad (1-18)$$

上面两式中, $Q_1$ 为热机循环从热源吸取的热量; $Q_2$ 为制冷循环从冷室吸取的热量(即制取的冷量); $W$ 为热机循环输出的功量或制冷循环消耗的功量。

#### 1.1.4 热力学基本定律

工程热力学是研究热能的有效、合理利用和转换规律的学科,即其研究对象是热能与机械能之间相互转换的规律,因而在生产技术领域中的应用十分广泛。热力学理论的基础则是几个热力学基本定律,特别是热力学第一定律与热力学第二定律。

##### 1. 热力学第一定律

热力学第一定律是阐述能量相互转换与守恒关系的基本定律,反映过程中各种能量在数量上的相互关系。具体可表达为:在任何发生能量转换的热力过程中,转换前后能量的总量维持恒定。