

CENGAGE  
Learning



© 寿明道 译

# 制冷与空气调节技术

Refrigeration and Air Conditioning Technology  
Fifth Edition

(第五版)

[美] William C. Whitman William M. Johnson John A. Tomczyk 著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

内容简介

# 制冷与空气调节技术

(第五版)

Refrigeration and Air Conditioning Technology  
Fifth Edition

William C. Whitman

[美] William M. Johnson 著

John A. Tomczyk

寿明道 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是采暖、空调与冷冻行业的经典教材。在北美诸国,乃至西方各发达国家,本书先前的多个版本一直是最畅销的专业教材。本书强调的是专业知识与技能的实际应用,而这一点恰恰是我国目前专业教材中最为欠缺的环节。本书具有权威性、知识性与实用性完美结合的特点,其内容涵盖了采暖、空调与冷冻的专业理论、原理、系统构成以及操作、保养和维修的各个方面。在本专业的众多教材中,本书的实用性尤为突出,可谓独树一帜,是其他相关教材与书籍无法比拟的。本书论述严谨,并配以大量的照片和插图,使其文字论述更为直观、深化,内容更加丰满。

本书适合采暖、空调和制冷专业的各级各类院校学生作为教材使用,也适合职业院校、职业培训机构中高级技工、技师培训使用,同时,它也是一本专业技术人员不可多得的常备工具书。

Refrigeration & Air Conditioning Technology, Fifth Edition. William C. Whitman, William M. Johnson, John A. Tomczyk  
Copyright © 2005 by Delmar, a part of Cengage Learning.

Original edition published by Cengage Learning. All Rights reserved.

本书原版由圣智学习出版公司出版。版权所有,盗印必究。

Publishing House of Electronics Industry is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由圣智学习出版公司授权电子工业出版社独家出版发行。此版本仅限在中国大陆(不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2006-6322

## 图书在版编目(CIP)数据

制冷与空气调节技术:第五版/(美)惠特曼(Whitman, W. C.), (美)约翰森(Johnson, W. M.), (美)汤姆齐扎克(Tomczyk, J. A.)著;寿明道译. —北京:电子工业出版社,2016.5

书名原文:Refrigeration and Air Conditioning Technology, Fifth Edition

ISBN 978-7-121-28592-9

I. ①制… II. ①惠… ②约… ③汤… ④寿… III. ①制冷技术 ②空气调节-技术 IV. ①TB66 ②TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 078887 号

策划编辑:谭海平

责任编辑:周宏敏

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:69.75 字数:2790 千字

版 次:2016 年 5 月第 1 版(原著第 5 版)

印 次:2016 年 5 月第 1 次印刷

定 价:158.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,8825888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254552, tan02@phei.com.cn。

# 译者序

这是一本好书,它具有权威性、知识性与实用性的特点。它真正做到了理论与实践、理性与感性、知识与运用的融会贯通。此书在美国和世界各地一版再版,受到本专业各层次读者的高度评价。从本书的第一版至今天的第五版,原作者在近 20 多年的时间里,不断加入了制冷与空气调节方面的最新理论和新的实践案例,使本书的内容日臻完善。

这是一本好书,它汇集了作者数十年的实践经验和众多的实用理论。它通过各种案例将理论知识贯穿于整个教学活动中,包括运用我们人体的各种感觉器官来获得各种操作过程所必需的信息。它可以使我们学到现有专业教材中无法学到的知识和出自作者充满真知灼见、高度提炼的现场经验。

这是一本好书,它不仅是一本好教材,更是一本好工具书。本专业的各级各类学校的学生可以从中获得真正的实用知识和操作经验,成为一名既有理论又娴于技术的专业人员。它可以为本专业的工程技术人员、从业人员和学生,指点迷津,答疑解惑,具有极高的参考价值。

好书不可多得,十年前的一次偶然机会,我看到了本书的第三版,被它的编写手法、内容,特别是实践案例所深深吸引。原版书曾在多家著名中外合资和独资企业对技术人员的培训中作为教材,获得了非常好的教学效果。此次有机会出版中文版,想必能够对本专业各层次的专业人员均有所裨益。

在此,我要特别感谢我的前辈、同事和朋友:付华芬、朱乃进、周辰、周卫华、黄秀菊和傅家昌同志,他们参与了中译本的许多具体工作,在此深表谢意。

由于时间紧,本人才疏学浅,中译本中难免有许多疏漏,甚至谬误之处,恳请读者批评指正。

寿明道  
smd@sohu.com



# 目 录

## 第一篇 制冷技术原理

第1章 热学理论 .....	2	2.13 功率 .....	19
1.1 温度 .....	2	2.14 电功率——瓦特 .....	19
1.2 热的概念 .....	3	本章小结 .....	19
1.3 传导传热 .....	4	复习题 .....	20
1.4 对流传热 .....	5	第3章 制冷与制冷剂 .....	21
1.5 辐射传热 .....	5	3.1 制冷概念的引入 .....	21
1.6 显热 .....	6	3.2 制冷 .....	21
1.7 潜热 .....	6	3.3 确定制冷设备的容量规格 .....	22
1.8 比热 .....	7	3.4 制冷过程 .....	23
1.9 加热设备容量的确定 .....	8	3.5 压力与温度的相互关系 .....	24
1.10 压力 .....	8	3.6 制冷系统的组成 .....	27
1.11 大气压力 .....	9	3.7 蒸发器 .....	28
1.12 压力表 .....	9	3.8 压缩机 .....	29
1.13 华氏温度与摄氏温度的换算 .....	10	3.9 冷凝器 .....	31
1.14 用公制单位标定压力值 .....	11	3.10 制冷剂计量装置 .....	33
本章小结 .....	11	3.11 制冷系统与构件 .....	34
复习题 .....	12	3.12 制冷剂 .....	35
第2章 物质与能 .....	13	3.13 制冷剂必须安全 .....	36
2.1 物质 .....	13	3.14 制冷剂必须能够被检测 .....	36
2.2 质量与重量 .....	13	3.15 制冷剂的沸点温度 .....	37
2.3 密度 .....	14	3.16 泵吸特性 .....	37
2.4 比重 .....	14	3.17 常用制冷剂及其重要特征 .....	37
2.5 比容 .....	14	3.18 制冷剂储液罐色标 .....	37
2.6 气体定律 .....	14	3.19 制冷剂的回收、再循环或再生 .....	38
2.7 能 .....	17	3.20 制冷剂循环的标注 .....	38
2.8 能的交换 .....	17	3.21 标注具有明显温度漂移的混合型制冷剂的 制冷循环 .....	54
2.9 热能 .....	18	本章小结 .....	54
2.10 磁能 .....	18	复习题 .....	55
2.11 能量的购买 .....	18		
2.12 做功能 .....	18		

## 第二篇 安全防护、工具与设备、车间操作

第4章 安全操作常规 .....	58	5.2 专用手工工具 .....	70
4.1 压力容器和管线 .....	58	5.3 配管制作工具 .....	72
4.2 电危险 .....	60	5.4 维修与安装专用设备 .....	75
4.3 加热 .....	64	5.5 制冷剂检漏仪 .....	78
4.4 冷 .....	65	本章小结 .....	85
4.5 机械设备 .....	65	复习题 .....	85
4.6 重物的移动 .....	66	第6章 紧固件 .....	87
4.7 呼吸空间存在制冷剂 .....	66	6.1 圆钉 .....	87
4.8 化学品的使用 .....	68	6.2 卡扣和铆钉 .....	87
本章小结 .....	69	6.3 螺纹紧固件 .....	88
复习题 .....	69	6.4 混凝土用紧固件 .....	90
第5章 工具与设备 .....	70	6.5 其他紧固件 .....	90
5.1 通用手工工具 .....	70	本章小结 .....	92

复习题 .....	93	第9章 制冷剂与润滑油的化学成分及其回收、再循环、再生和改造 .....	135
第7章 制配管 .....	94	9.1 制冷剂与环境 .....	135
7.1 配管的作用与意义 .....	94	9.2 臭氧的消耗 .....	135
7.2 配管的种类与规格 .....	94	9.3 全球变暖 .....	137
7.3 配管的保温 .....	95	9.4 制冷剂的种类 .....	137
7.4 预制的管组件 .....	95	9.5 氯氟烃类制冷剂(CFCs) .....	138
7.5 配管的切割 .....	96	9.6 氢氟氯烃类制冷剂(HCFCs) .....	138
7.6 配管的弯制 .....	96	9.7 氢氟烃类制冷剂(HFCs) .....	139
7.7 低温焊和铜焊操作 .....	96	9.8 碳氢化合物制冷剂 .....	139
7.8 低温焊和铜焊的热源 .....	97	9.9 制冷剂的命名 .....	139
7.9 低温焊工艺 .....	102	9.10 制冷剂混合液 .....	140
7.10 铜焊工艺 .....	103	9.11 普通制冷剂及其相容的润滑油 .....	141
7.11 常用低温焊和铜焊喷头 .....	103	9.12 制冷油及其应用 .....	144
7.12 喇叭口接头的制作 .....	105	9.13 润滑油组别 .....	144
7.13 双层喇叭口的制作 .....	106	9.14 相关法规 .....	145
7.14 胀管工艺 .....	107	9.15 回收、再循环和再生 .....	146
7.15 钢管和熟铁管 .....	107	9.16 回收方法 .....	148
7.16 钢管的连接 .....	108	9.17 回收系统的机械设备 .....	150
7.17 钢管的安装 .....	110	9.18 小型设备的制冷剂回收 .....	155
7.18 塑料管 .....	110	9.19 制冷剂的再生 .....	158
本章小结 .....	111	9.20 未来的制冷剂及相关工具 .....	158
复习题 .....	112	本章小结 .....	159
第8章 系统抽真空 .....	113	复习题 .....	159
8.1 系统的可靠与高效 .....	113	第10章 系统充液 .....	161
8.2 静压测试 .....	113	10.1 制冷系统的充液 .....	161
8.3 泄漏检查的方法 .....	114	10.2 气态制冷剂的充注 .....	161
8.4 泄漏检测头 .....	115	10.3 液态制冷剂的充注 .....	162
8.5 泄漏点的修补 .....	117	10.4 制冷剂的称重 .....	164
8.6 系统抽真空的目的 .....	117	10.5 各种充液装置的使用 .....	165
8.7 抽真空所涉及的相关理论 .....	118	10.6 制冷剂充注线图的使用 .....	166
8.8 真空度的计量 .....	119	10.7 用于热力膨胀阀系统的过冷充液法 .....	169
8.9 制冷剂的回收 .....	122	10.8 近共沸制冷剂混合液的充注 .....	170
8.10 真空泵 .....	122	本章小结 .....	172
8.11 深度真空 .....	122	复习题 .....	173
8.12 重复抽真空 .....	123	第11章 仪器的校准 .....	175
8.13 真空状态下的检漏 .....	124	11.1 校准的目的 .....	175
8.14 真空除湿 .....	125	11.2 校准 .....	175
8.15 抽真空的常规操作 .....	127	11.3 温度检测仪器 .....	175
8.16 采用单向气阀的系统 .....	129	11.4 压力测试仪器 .....	179
8.17 表歧管软管 .....	130	11.5 电气测试仪器 .....	181
8.18 系统阀门 .....	130	11.6 制冷剂检漏装置 .....	182
8.19 干氮气的应用 .....	130	11.7 烟气分析仪器 .....	184
8.20 含有多种污染物系统的清理 .....	131	11.8 一般维护 .....	185
本章小结 .....	133	本章小结 .....	185
复习题 .....	134	复习题 .....	185

### 第三篇 自动化控制基础

第12章 电与电磁学基础 .....	188	12.3 导体 .....	189
12.1 物质的结构 .....	188	12.4 绝缘体 .....	189
12.2 电子的运动 .....	188	12.5 磁场生电 .....	189

12.6	直流电	190	14.9	压力传感装置	232
12.7	交流电	190	14.10	压力传感器	236
12.8	电的计量单位	190	14.11	高压控制器	237
12.9	电路	190	14.12	低压控制器	238
12.10	电气检测	190	14.13	润滑油压力安全控制器	238
12.11	欧姆定律	192	14.14	空气压力控制器	240
12.12	串联电路的特性	193	14.15	气体压力开关	241
12.13	并联电路的特性	193	14.16	不含开关的流体流量控制装置	241
12.14	电功率	194	14.17	水压调节器	241
12.15	磁	194	14.18	燃气压力调节器	242
12.16	电感	195	14.19	机械式控制器	243
12.17	变压器	195	14.20	机电式控制器	243
12.18	电容	196	14.21	机械式控制器的维护	243
12.19	全电阻	197	14.22	机电式控制器的维护	243
12.20	电气测量仪器	197	14.23	报修电话	244
12.21	正弦波	201	本章小结	246	
12.22	导线规格	203	复习题	246	
12.23	电路保护装置	203	第15章 基本控制电路的排故	248	
12.24	半导体器件	205	15.1	排故的基本概念	248
本章小结	210		15.2	简单电路的排故	249
复习题	210		15.3	复杂电路的排故	249
第13章 自动化控制元件	212		15.4	温控器的排故	252
13.1	自动化控制元件的类型	212	15.5	低压电路的电流检测	254
13.2	温控装置	212	15.6	低压电路的电压检测	254
13.3	双金属片温控器	213	15.7	开关及负载的排故	255
13.4	流体膨胀型控制器	215	15.8	接线图和原理图	258
13.5	热电偶	218	15.9	报修电话	258
13.6	电子感温器件	218	本章小结	264	
本章小结	220		复习题	264	
复习题	220		第16章 全自动控制装置	265	
第14章 自动化控制装置及其应用	222		16.1	控制器的应用	265
14.1	控制器件的识别	222	16.2	控制系统的类型	265
14.2	温度控制器	222	16.3	气动控制器	266
14.3	低压室内温度控制装置	223	16.4	控制器空气的过滤与干燥	267
14.4	高压(线电压)室内温度控制装置	226	16.5	控制器组件	268
14.5	固体温度的检测	229	16.6	直接式数字控制器	273
14.6	流体温度的检测	231	16.7	住宅用电子控制器	274
14.7	气流温度的检测	232	本章小结	277	
14.8	有关感温装置的事项	232	复习题	278	

## 第四篇 电动机

第17章 电动机的类型	280	17.10	离心开关	285	
17.1	电动机的用途	280	17.11	电子继电器	286
17.2	电动机的构成	280	17.12	电容器启动电动机	286
17.3	电动机与磁	280	17.13	电容器启动、电容器运行的电动机	286
17.4	电动机转速的确定	281	17.14	永久分相电容式电动机	286
17.5	启动绕组	282	17.15	罩极式电动机	287
17.6	电动机的启动与运行特性	282	17.16	三相电动机	288
17.7	电源	282	17.17	单相封闭式电动机	289
17.8	单相开启式电动机	284	17.18	电压式继电器	290
17.9	分相电动机	284	17.19	电流继电器	291

17.20	正温度系数启动器	292	19.6	电动机保护	319
17.21	双速压缩机电动机	293	19.7	内置式电动机保护装置	321
17.22	专用电动机	293	19.8	外置式电动机保护装置	321
17.23	三相电动机压缩机	293	19.9	全国电气规程标准	321
17.24	变速电动机	294	19.10	温度传感装置	322
17.25	直流电转换器(整流器)	297	19.11	电磁式过载保护装置	322
17.26	反相器	298	19.12	电动机的重新启动	322
17.27	电子整流电动机	299	本章小结	323	
17.28	电动机的冷却	300	复习题	323	
本章小结		300	第20章 电动机的排故	324	
复习题		301	20.1	电动机的排故	324
第18章 电动机的应用		303	20.2	电动机的机械故障	324
18.1	电动机的应用	303	20.3	传动装置的拆卸	324
18.2	电源	303	20.4	传动带的张紧	325
18.3	电动机的工作条件	307	20.5	皮带轮的校直	326
18.4	绝缘类型或等级	307	20.6	电动机的电气故障	326
18.5	轴承类型	308	20.7	绕组开路	327
18.6	电动机的安装	310	20.8	电动机绕组的短路	327
18.7	电动机的传动	312	20.9	绕组与地线(电动机机座)的断路	328
本章小结		315	20.10	单相电动机的启动故障	329
复习题		315	20.11	电容器的检测	330
第19章 电动机的控制		316	20.12	电容器的识别	330
19.1	电动机控制装置	316	20.13	连接线与接线柱	332
19.2	工作负荷电流和堵转电流	316	20.14	封闭式电动机的排故	332
19.3	继电器	316	20.15	报修电话	332
19.4	接触器	317	本章小结	334	
19.5	电动机启动器	318	复习题	334	

## 第五篇 商用制冷

第21章 蒸发器与制冷系统	338	第22章 冷凝器	353
21.1	制冷	22.1	冷凝器
21.2	制冷设备的温度范围	22.2	水冷式冷凝器
21.3	蒸发器	22.3	套管式冷凝器
21.4	蒸发与冷凝	22.4	矿物质的沉淀
21.5	蒸发器与蒸发温度	22.5	可清洗型冷凝器
21.6	水分的排除	22.6	壳-盘管式冷凝器
21.7	蒸发器的热交换特征	22.7	壳管式冷凝器
21.8	蒸发器的种类	22.8	非循环水冷却系统
21.9	蒸发器的评估	22.9	非循环水冷凝系统中制冷剂与水的 温度关系
21.10	蒸发器中的潜热	22.10	循环水系统
21.11	满液式蒸发器	22.11	冷却塔
21.12	干式蒸发器的性能	22.12	自然对流型冷却塔
21.13	蒸发器的过热度	22.13	强制(诱导)对流型冷却塔
21.14	热降温(蒸发器上出现短时 大负荷)	22.14	蒸发型冷凝器
21.15	蒸发器中的压降	22.15	风冷式冷凝器
21.16	液体冷却的蒸发器(冷水机)	22.16	高效冷凝器
21.17	低温装置的蒸发器	22.17	冷凝器与低温环境状态
21.18	蒸发器的除霜与融冰	22.18	排气压力的控制
本章小结	352	22.19	冷凝器过热热量的利用
复习题	352	22.20	热的回收
		22.21	排气压力的浮置



22.22 冷凝器的评估 .....	369	第 25 章 制冷系统专用构件 .....	415
本章小结 .....	369	25.1 系统的 4 个基本构件 .....	415
复习题 .....	369	25.2 机械式控制器 .....	415
<b>第 23 章 压缩机</b> .....	<b>370</b>	25.3 双温控制器 .....	415
23.1 压缩机的功能与作用 .....	370	25.4 蒸发器的压力控制 .....	416
23.2 压缩机的类型 .....	371	25.5 多台蒸发器的配置 .....	417
23.3 往复式压缩机的构件 .....	376	25.6 电动式蒸发器调压阀 .....	417
23.4 皮带传动机构的性能 .....	383	25.7 吸气压力调节阀 .....	418
23.5 直接驱动式压缩机的特点 .....	384	25.8 吸气压力调节阀的调整 .....	419
23.6 往复式压缩机的效率 .....	385	25.9 泄压阀 .....	419
23.7 盘状阀结构 .....	385	25.10 低温环境控制器 .....	420
23.8 压缩机汽缸内的液态制冷剂 .....	385	25.11 风机间断运行的排气压力控制器 .....	421
23.9 系统维护与压缩机的效率 .....	387	25.12 控制排气压力的风机转速控制 装置 .....	422
本章小结 .....	389	25.13 控制排气压力的风量控制装置 .....	422
复习题 .....	389	25.14 控制排气压力的冷凝器溢流方式 .....	422
<b>第 24 章 膨胀器件</b> .....	<b>391</b>	25.15 电磁阀 .....	422
24.1 膨胀装置 .....	391	25.16 压力开关 .....	424
24.2 热力膨胀阀 .....	392	25.17 低压开关 .....	425
24.3 热力膨胀阀的组成件 .....	393	25.18 低压控制器用做温控器 .....	425
24.4 阀体 .....	393	25.19 自动排空系统 .....	426
24.5 膜片 .....	394	25.20 高压控制器 .....	428
24.6 阀针与阀座 .....	395	25.21 低温环境风机控制器 .....	428
24.7 弹簧 .....	396	25.22 油压安全控制器 .....	429
24.8 感温包和传导管 .....	397	25.23 除霜运行 .....	432
24.9 感温包充液类型 .....	397	25.24 中温制冷设备的除霜 .....	433
24.10 液体充注型感温包 .....	397	25.25 随机或停机除霜 .....	433
24.11 交叉液体充注型感温包 .....	398	25.26 定时除霜 .....	433
24.12 蒸气充注型感温包 .....	399	25.27 低温蒸发器的除霜方式 .....	433
24.13 交叉蒸气充注型感温包 .....	400	25.28 采用内热除霜(热蒸气除霜) .....	433
24.14 带有内平衡管的热力膨胀阀工作 过程 .....	400	25.29 外热型除霜 .....	434
24.15 带有外平衡管的热力膨胀阀 .....	401	25.30 除霜终止和风机延时控制器 .....	435
24.16 热力膨胀阀对负荷变化的反应 .....	402	25.31 制冷系统的辅助装置 .....	436
24.17 热力膨胀阀的选配 .....	403	25.32 储液器 .....	436
24.18 设有平衡口的热力膨胀阀 .....	403	25.33 储液器上的主阀 .....	436
24.19 双端口热力膨胀阀 .....	404	25.34 过滤干燥器 .....	437
24.20 限压型热力膨胀阀 .....	405	25.35 制冷剂单向阀 .....	438
24.21 热力膨胀阀的维护 .....	405	25.36 制冷剂视镜 .....	438
24.22 膨胀阀传感元件的安装 .....	405	25.37 液态制冷剂分流器 .....	438
24.23 固态电路控制的膨胀阀 .....	405	25.38 热交换器 .....	439
24.24 采用步进电动机的膨胀阀 .....	407	25.39 吸气管储液器 .....	440
24.25 算法规则与比例积分微分控制器 .....	408	25.40 吸气管过滤干燥器 .....	442
24.26 自动膨胀阀 .....	409	25.41 吸气管检修阀 .....	442
24.27 自动膨胀阀对温度变化的反应 .....	410	25.42 排气管检修阀 .....	443
24.28 热力膨胀阀和自动膨胀阀的配套 装置 .....	410	25.43 制冷管线检修阀 .....	443
24.29 毛细管计量装置 .....	410	25.44 膜片阀 .....	443
24.30 毛细管系统的制冷剂充注量 .....	412	25.45 球阀 .....	444
本章小结 .....	414	25.46 油分离器 .....	444
复习题 .....	414	25.47 减震管 .....	446
		25.48 临时测压接口 .....	446

25.49 曲轴箱的加热 .....	447	27.9 报修电话 .....	515
本章小结 .....	448	本章小结 .....	517
复习题 .....	449	复习题 .....	519
<b>第26章 制冷系统的应用</b> .....	450	<b>第28章 专用冷藏冷冻装置</b> .....	520
26.1 制冷设备的选定 .....	450	28.1 专用冷藏冷冻装置 .....	520
26.2 大型销售型冷柜 .....	450	28.2 运输工具的制冷 .....	520
26.3 自带独立冷凝器的陈列柜 .....	451	28.3 卡车冷藏系统 .....	520
26.4 单机式冷凝机组 .....	453	28.4 火车冷藏系统 .....	526
26.5 多蒸发器与单一压缩机制冷装置 .....	453	28.5 超低温冷冻 .....	527
26.6 并联式压缩机系统 .....	456	28.6 复叠式系统 .....	529
26.7 二次流体制冷系统 .....	460	28.7 速冻方法 .....	529
26.8 液管增压系统 .....	461	28.8 船舶冷藏系统 .....	530
26.9 单元式独立制冷系统 .....	462	28.9 航空货运 .....	534
26.10 蒸发器温度控制器 .....	463	本章小结 .....	534
26.11 多蒸发器系统内管线的连接 .....	463	复习题 .....	535
26.12 制冷装置的温度控制 .....	463	<b>第29章 商用制冷设备的排故与常规工况</b> .....	536
26.13 蒸发器与销售 .....	465	29.1 排故的准备工作 .....	536
26.14 卧式陈列冷柜 .....	465	29.2 高温制冷装置的排故 .....	537
26.15 冷冻货架 .....	466	29.3 中温制冷装置的排故 .....	539
26.16 封闭型卧式冷冻装置 .....	466	29.4 低温制冷装置的排故 .....	540
26.17 陈列柜的结露控制 .....	467	29.5 常规风冷式冷凝器的运行工况 .....	540
26.18 商店内环境状态的控制 .....	467	29.6 风冷式机组正确排压值的计算 .....	541
26.19 进入型制冷设备 .....	468	29.7 风冷式机组的常规运行工况 .....	541
26.20 可拆卸型冷冻库 .....	468	29.8 采用一次性冷却水的冷凝器系统 常规运行工况 .....	541
26.21 进入型冷库的库门 .....	469	29.9 循环水系统的常规运行工况 .....	542
26.22 进入型冷库中蒸发器的安装位置 .....	469	29.10 6种常见故障 .....	544
26.23 冷凝水的排除 .....	469	29.11 制冷剂充注量不足 .....	545
26.24 制冷管线 .....	470	29.12 制冷剂充注过量 .....	546
26.25 进入型冷库的整体式制冷设备 .....	471	29.13 蒸发器效率低下 .....	547
26.26 自动售货机的制冷装置 .....	471	29.14 冷凝器效率低下 .....	548
26.27 饮水水器 .....	475	29.15 制冷剂的流动受阻 .....	550
26.28 冷冻式空气干燥器 .....	477	29.16 压缩机效率低下 .....	552
本章小结 .....	478	29.17 压缩机真空测试 .....	552
复习题 .....	479	29.18 压缩机封闭运行测试(在工作台上 的测试) .....	553
<b>第27章 商用制冰机</b> .....	481	29.19 压缩机封闭运行的现场测试 .....	554
27.1 整体式制冰设备 .....	481	29.20 系统内压缩机的运行测试 .....	555
27.2 片冰的制作 .....	482	29.21 报修电话 .....	557
27.3 块冰的制作 .....	489	本章小结 .....	571
27.4 微处理器 .....	502	复习题 .....	571
27.5 圆柱形冰块的制作 .....	507	商用制冷设备的故障诊断表 .....	572
27.6 水质与冰块质量 .....	507		
27.7 整体式制冰机的安放位置 .....	511		
27.8 制冰机的排故 .....	512		

## 第六篇 空气调节(采暖与增湿)

<b>第30章 电制热</b> .....	576	30.5 暖风机 .....	577
30.1 概述 .....	576	30.6 电热锅炉 .....	577
30.2 移动式电热装置 .....	576	30.7 集中式强制通风电炉 .....	577
30.3 辐射加热板 .....	577	30.8 强制通风电炉的自动控制装置 .....	579
30.4 踢脚板电热板 .....	577	30.9 低压温控器 .....	579

30.10	多级控制	580	32.4	燃油燃烧前的预处理	661
30.11	电原理图	580	32.5	燃烧产生的副产品	661
30.12	强制通风电路控制电路	580	32.6	喷射式油燃烧器	662
30.13	风机电动机电路	582	32.7	燃油炉的电路图	669
30.14	电热炉的控制接触器	585	32.8	烟道安全控制开关	671
30.15	电热炉的空气流量	585	32.9	铜传感器安全控制装置	673
30.16	报修电话	587	32.10	供油系统	674
本章小结		589	32.11	燃烧室	676
复习题		589	32.12	热交换器	677
电热设备的故障诊断表		590	32.13	冷凝式燃油炉	677
<b>第31章 燃气制热</b>		591	32.14	维修方法	678
31.1	燃气强制热风炉	592	32.15	燃烧效率	681
31.2	燃气炉的种类	592	32.16	报修电话	686
31.3	燃气	594	本章小结		688
31.4	燃气的燃烧过程	596	复习题		688
31.5	燃气调压阀	598	燃油采暖设备的故障诊断表		689
31.6	燃气阀	599	<b>第33章 暖水供热</b>		690
31.7	电磁阀	599	33.1	暖水供热	690
31.8	膜片阀	600	33.2	锅炉	691
31.9	热动控制阀	600	33.3	限温控制装置	691
31.10	组合式全自动燃气阀	601	33.4	水调节阀	692
31.11	歧管	605	33.5	卸压阀	693
31.12	喷头	605	33.6	空气垫水箱(膨胀水箱)	693
31.13	燃烧器	605	33.7	区域控制阀	693
31.14	热交换器	606	33.8	离心泵	693
31.15	风机开关	608	33.9	翅片管落地机组	697
31.16	限温开关	610	33.10	平衡阀	699
31.17	引火器	611	33.11	流向控制阀	699
31.18	持续引火系统的安全装置	612	33.12	横向和垂直(下流)强排风单元式 供热器	700
31.19	点火系统	614	33.13	暖水管系统	700
31.20	火焰检测	616	33.14	无水箱式家用热水器	702
31.21	高效燃气炉	619	33.15	报修电话	703
31.22	电子点火控制器和燃气炉集成 控制器	623	本章小结		705
31.23	二级燃气炉	629	复习题		705
31.24	燃气炉的调整	630	<b>第34章 室内空气质量</b>		706
31.25	排风	630	34.1	室内空气质量	706
31.26	燃气管的连接	633	34.2	室内空气污染源	706
31.27	燃气炉电路图和排故流程图	635	34.3	室内空气污染状态的控制	708
31.28	引火安全探测装置——热电偶 的排故	635	34.4	常规污染物	708
31.29	电火花点火(间歇式引火)系统的 排故	645	34.5	污染源的检测与消除	711
31.30	燃烧效率	649	34.6	通风	712
31.31	报修电话	651	34.7	空气净化	713
本章小结		654	34.8	风管的清理	715
复习题		656	34.9	空气增湿	716
<b>第32章 燃油制热</b>		658	34.10	增湿器容量的确定	719
32.1	强制排风燃油暖风炉	658	34.11	安装	720
32.2	强制排风燃油炉的外在特征	658	34.12	操作、排故和预防性维护	720
32.3	燃油	659	本章小结		721
			复习题		721
			过滤与增湿系统的故障诊断表		722

## 第七篇 空气调节(供冷)

<b>第 35 章 舒适与湿空气的物理性质</b> .....	724	37.4 风机 .....	761
35.1 舒适 .....	724	37.5 系统压力 .....	761
35.2 食物能量与人体 .....	724	37.6 风管系统的风速检测仪器 .....	763
35.3 人体体温 .....	724	37.7 风机的类型 .....	763
35.4 舒适图 .....	725	37.8 风机的驱动方式 .....	764
35.5 湿空气学 .....	727	37.9 送风管系统 .....	766
35.6 空气中的水分 .....	727	37.10 静压箱系统 .....	766
35.7 空气中的过热气体 .....	727	37.11 加长式静压箱系统 .....	766
35.8 湿度 .....	729	37.12 降压式静压箱系统 .....	767
35.9 干球温度和湿球温度 .....	730	37.13 周边环路系统 .....	768
35.10 露点温度 .....	730	37.14 风管系统的相关标准 .....	768
35.11 焓湿图 .....	731	37.15 风管材料 .....	768
35.12 在焓湿图上标定空气的状态位置 .....	731	37.16 镀锌钢板风管 .....	768
35.13 总热量 .....	735	37.17 玻璃纤维风管 .....	770
本章小结 .....	740	37.18 螺旋金属风管 .....	772
复习题 .....	741	37.19 柔性风管 .....	772
<b>第 36 章 空调冷源</b> .....	743	37.20 风管系统的组合 .....	772
36.1 制冷 .....	743	37.21 风管内的空气流动 .....	773
36.2 建筑物的得热 .....	743	37.22 平衡风门 .....	774
36.3 蒸发式冷却 .....	744	37.23 风管的保温 .....	775
36.4 制冷式空调 .....	744	37.24 处理后的空气与室内空气的混合 .....	775
36.5 蒸发器 .....	745	37.25 回风管系统 .....	775
36.6 蒸发器的作用 .....	747	37.26 风管规格的确定 .....	777
36.7 设计工况 .....	747	37.27 空气的流量平衡检测 .....	779
36.8 蒸发器的应用 .....	747	37.28 气流流动阻力线图 .....	781
36.9 压缩机 .....	747	37.29 实用排故方法 .....	787
36.10 往复式压缩机 .....	747	37.30 家用风管系统的常见故障 .....	788
36.11 压缩机的转速(RPM) .....	749	37.31 商用风管系统 .....	790
36.12 压缩机与电动机的冷却 .....	749	本章小结 .....	791
36.13 压缩机的固定 .....	750	复习题 .....	791
36.14 全封闭压缩机的重新安装 .....	750	<b>第 38 章 空调设备的安装</b> .....	793
36.15 回转式压缩机 .....	751	38.1 空调设备安装的基本概念 .....	793
36.16 涡旋式压缩机 .....	752	38.2 正方形与长方形风管 .....	793
36.17 冷凝器 .....	753	38.3 金属圆形风管系统 .....	794
36.18 侧排风冷凝机组 .....	753	38.4 金属风管的保温 .....	794
36.19 顶端排风冷凝器 .....	753	38.5 风管板系统 .....	796
36.20 冷凝器盘管的机构形式 .....	753	38.6 柔性风管 .....	796
36.21 高效冷凝器 .....	754	38.7 电气安装 .....	797
36.22 冷凝器的箱体结构 .....	754	38.8 制冷系统的安装 .....	798
36.23 膨胀器件 .....	755	38.9 分体式空调器的安装 .....	802
36.24 空气侧构件 .....	755	38.10 分体式系统的冷凝机组 .....	804
36.25 安装方法 .....	755	38.11 制冷剂连接管的安装 .....	807
本章小结 .....	757	38.12 设备的启动 .....	810
复习题 .....	758	本章小结 .....	811
<b>第 37 章 气流组织与平衡</b> .....	759	复习题 .....	812
37.1 空调设备 .....	759	<b>第 39 章 空调系统的控制</b> .....	813
37.2 正确的空气量 .....	759	39.1 空调设备控制器 .....	813
37.3 强制通风系统 .....	760	39.2 原动机——压缩机与风机 .....	813



39.3	低压控制器	814	40.13	在正常参数条件下启动空调设备	833
39.4	家用中央空调的兴起	814	40.14	电动机参数无法获知的情况下如何寻找参照点	833
39.5	设备结构的经济性	814	40.15	压缩机运行电流的确定	833
39.6	老型号风冷式系统的运行控制器	815	40.16	压缩机在满负荷电流状态下运行	834
39.7	老型号风冷式系统的安全控制器	816	40.17	高电压、压缩机及其电流值	834
39.8	新式空调设备的运行控制器	817	40.18	双速压缩机及其电流值	834
39.9	新式空调设备的安全控制器	818	本章小结	834	
39.10	控制器组件的运行	820	复习题	835	
39.11	电子控制器与空调设备	820	第41章 空调系统的排除	836	
本章小结	822	41.1	空调机组的排除	836	
复习题	822	41.2	机械故障的排除	836	
第40章 常规运行工况	823	41.3	表歧管的使用	837	
40.1	机械运行状态	823	41.4	连接压力表时的注意事项	838
40.2	相对湿度与蒸发器负荷	823	41.5	低压侧压力表读数	838
40.3	负荷变化时系统各构件间的相互关系	823	41.6	高压侧压力表读数	839
40.4	蒸发器的运行工况	824	41.7	温度读数	840
40.5	蒸发器负荷量较大而冷凝器温度较低的情况	825	41.8	现场充注制冷剂的方法	843
40.6	空调设备的等级	826	41.9	电气故障的排除	846
40.7	随机文件	827	41.10	压缩机过载故障	848
40.8	如何在不熟悉的设备上确定一个参考点	828	41.11	压缩机的电气检测	848
40.9	高效空调设备的计量装置	828	41.12	电路保护装置——熔断器和断路器故障的排除	850
40.10	设备的额定效率	832	14.13	报修电话	852
40.11	电气线路的常规运行状态	832	本章小结	856	
40.12	机组与电源的正确配置	833	复习题	856	
			供冷空调系统的故障诊断表	857	

## 第八篇 全天候空调系统

第42章 采用电、燃气和燃油制热的电驱动空调系统	860	43.3	四通阀	871	
42.1	全年舒适性空调系统	860	43.4	热泵的种类	873
42.2	空调调节的5个处理过程	860	43.5	太阳能热泵	874
42.3	空调装置的增设	860	43.6	空气-空气热泵	874
42.4	现有风管的保温	861	43.7	制冷剂管线的辨认	875
42.5	对现有风管系统的评估	862	43.8	计量装置	875
42.6	供冷与供热的空气量	864	43.9	热力膨胀阀	875
42.7	供冷与供热时的控制电路	864	43.10	毛细管	876
42.8	两个低压电源	865	43.11	计量装置的组合	876
42.9	两低压变压器的定相	865	43.12	电子膨胀阀	877
42.10	加装风机继电器	865	43.13	固定孔板计量装置	877
42.11	新型全天候系统	866	43.14	液管辅助装置	878
42.12	全天候分体式系统	867	43.15	空气-空气热泵的应用	878
42.13	全天候整体式(独立式)系统	867	43.16	辅助热源	878
42.14	全天候系统的电路	867	43.17	平衡点	879
42.15	全天候系统的维修	868	43.18	效能系数	879
本章小结	869	43.19	分体式空气-空气热泵	880	
复习题	869	43.20	室内机组	880	
第43章 空气热源热泵	870	43.21	处理后空气的温度	881	
43.1	逆循环制冷	870	43.22	室外机组的安装	881
43.2	热泵的冬季热源	871	43.23	整体式空气-空气热泵	883
		43.24	空气-空气热泵的控制器	883	

43.25 融冰运行 .....	889	第44章 地热热源热泵 .....	911
43.26 室内风机电动机控制器 .....	892	44.1 逆循环制冷 .....	911
43.27 辅助热源 .....	892	44.2 地热热泵的分类 .....	911
43.28 空气-空气热泵的维护 .....	893	43.3 开式环路系统 .....	911
43.29 电气系统的排故 .....	893	44.4 水质 .....	913
43.30 机械故障的排除 .....	894	44.5 闭式环路系统 .....	914
43.31 四通阀的排故 .....	895	44.6 地下环管的布置形式与流体的 流动 .....	915
43.32 压缩机的排故 .....	895	44.7 系统材料和热交换流体 .....	918
43.33 制冷剂充注量的检测 .....	896	44.8 地热井和水源 .....	919
43.34 热泵的特殊应用 .....	897	44.9 系统排故 .....	921
43.35 采用涡旋式压缩机的热泵 .....	899	44.10 无水、直接接触土型、闭式环路的地热 热泵系统 .....	923
43.36 带有可变速电动机的热泵 .....	900	44.11 报修电话 .....	926
43.37 报修电话 .....	902	本章小结 .....	928
本章小结 .....	908	复习题 .....	928
复习题 .....	909		
热泵供热运行时的故障诊断表 .....	909		

## 第九篇 家用制冷与空调装置

第45章 家用冷柜 .....	932	本章小结 .....	975
45.1 制冷 .....	932	复习题 .....	976
45.2 蒸发器 .....	933	第46章 家用冰柜 .....	977
45.3 自然对流蒸发器 .....	934	46.1 家用冰柜 .....	977
45.4 蒸发器的除霜 .....	936	46.2 冰柜箱体 .....	978
45.5 压缩机 .....	936	46.3 箱体内胆 .....	979
45.6 冷凝器 .....	938	46.4 蒸发器 .....	982
45.7 融霜冷凝水自动除霜 .....	939	46.5 压缩机 .....	982
45.8 压缩机油冷却器 .....	940	46.6 冷凝器 .....	983
45.9 计量装置 .....	941	46.7 计量装置 .....	985
45.10 家用冷柜的箱体 .....	942	46.8 蒸发器的常规运行工况 .....	985
45.11 电气线路与控制器 .....	946	46.9 冷凝器的常规运行工况 .....	986
45.12 压缩机控制器 .....	947	46.10 压缩机的常规运行工况 .....	987
45.13 压缩机的启动电路 .....	948	46.11 控制器 .....	988
45.14 除霜运行 .....	949	46.12 冰柜的维修 .....	989
45.15 防露加热器 .....	949	46.13 冰柜的移动 .....	990
45.16 照明灯 .....	950	46.14 食品的临时存放 .....	992
45.17 冷柜风机电动机 .....	951	46.15 报修电话 .....	993
45.18 制冰器的运行 .....	951	本章小结 .....	997
45.19 冷柜的维修 .....	952	复习题 .....	998
45.20 箱体故障 .....	952	第47章 室内空调机 .....	1000
45.21 压力表的连接 .....	953	47.1 采用室内机组实现空调与供热 .....	1000
45.22 制冷剂不足 .....	955	47.2 室内空气调节、供冷 .....	1001
45.23 制冷剂充注过量 .....	957	47.3 系统的供冷运行 .....	1002
45.24 制冷剂泄漏 .....	958	47.4 系统的供热运行 .....	1006
45.25 蒸发器泄漏 .....	958	47.5 室内空调机的安装 .....	1006
45.26 冷凝器泄漏 .....	959	47.6 单冷式室内机组控制器 .....	1012
45.27 制冷剂管线的泄漏 .....	960	47.7 冷热型室内机组控制器 .....	1014
45.28 压缩机的更新 .....	960	47.8 室内空调机的维护与维修 .....	1014
45.29 系统抽真空 .....	963	47.9 报修电话 .....	1020
45.30 毛细管的维修 .....	965	本章小结 .....	1023
45.31 压缩机的容量测定 .....	966	复习题 .....	1024
45.32 报修电话 .....	968		

## 第十篇 冷水空调系统

<b>第 48 章 高、低压压缩式冷水和吸收式冷水系统</b> .....	1026	48.47 相位颠倒 .....	1061
48.1 冷水机组 .....	1026	本章小结 .....	1062
48.2 压缩循环冷水机组 .....	1027	复习题 .....	1062
48.3 采用往复式压缩机的冷水机组 .....	1027	<b>第 49 章 冷却塔和水泵</b> .....	1064
48.4 汽缸卸荷和变频驱动 .....	1028	49.1 冷却塔的作用 .....	1064
48.5 采用涡旋式压缩机的冷水机组 .....	1029	49.2 冷却塔的种类型 .....	1065
48.6 采用螺杆式压缩机的冷水机组 .....	1030	49.3 防火 .....	1068
48.7 采用离心式压缩机的冷水机组 (高压) .....	1030	49.4 填充材料 .....	1068
48.8 高压冷水机组蒸发器 .....	1034	49.5 流动模式 .....	1068
48.9 直接膨胀型蒸发器 .....	1034	49.6 冷却塔的制作材料 .....	1069
48.10 满溢式蒸发器冷水机组 .....	1035	49.7 风机部分 .....	1069
48.11 高压冷水机组的冷凝器 .....	1038	49.8 冷却塔的检修门 .....	1069
48.12 水冷式冷凝器 .....	1038	49.9 冷却塔的集水槽 .....	1070
48.13 冷凝器的过冷 .....	1038	49.10 补充水 .....	1070
48.14 风冷式冷凝器 .....	1039	49.11 排污及排污管 .....	1071
48.15 过冷管路 .....	1040	49.12 冷却塔的水流量平衡 .....	1071
48.16 高压冷水机组的计量装置 .....	1040	49.13 水泵 .....	1072
48.17 热力膨胀阀 .....	1041	本章小结 .....	1077
48.18 孔板 .....	1041	复习题 .....	1078
48.19 浮球式计量装置 .....	1041	<b>第 50 章 冷水空调系统的操作、维护与排故</b> .....	1079
48.20 电子膨胀阀 .....	1042	50.1 冷水机组的启动 .....	1079
48.21 低压冷水机组 .....	1042	50.2 采用涡旋式压缩机的冷水机组的 启动 .....	1081
48.22 压缩机 .....	1043	50.3 采用往复式压缩机的冷水机组的 启动 .....	1082
48.23 低压冷水机组的冷凝器 .....	1045	50.4 采用螺杆式压缩机的冷水机组的 启动 .....	1083
48.24 低压冷水机组的计量装置 .....	1045	50.5 采用离心式压缩机的冷水机组的 启动 .....	1083
48.25 不凝气体排除装置 .....	1045	50.6 采用涡旋式和往复式压缩机的 冷水机组的操作 .....	1084
48.26 吸收式空调冷水机组 .....	1046	50.7 采用变容量压缩机的大型冷水机组 的操作 .....	1085
48.27 溶液的浓度 .....	1050	50.8 采用离心式压缩机的冷水机组的 操作 .....	1085
48.28 吸收式制冷系统中的溶液 .....	1051	50.9 风冷式冷水机组的日常维护 .....	1085
48.29 吸收式制冷系统的循环泵 .....	1051	50.10 水冷式冷水机组的日常维护 .....	1086
48.30 容量控制 .....	1051	50.11 吸收式冷水机组的启动 .....	1088
48.31 溶液的结晶 .....	1052	50.12 吸收式冷水机组的操作与维护 .....	1088
48.32 排气系统 .....	1053	50.13 各种冷水机组的一般维护 .....	1089
48.33 吸收式系统的热交换器 .....	1053	50.14 低压冷水机组 .....	1090
48.34 直燃型系统 .....	1054	50.15 低压冷水机组的制冷剂回收 .....	1090
48.35 压缩循环冷水机组的电动机及驱动 装置 .....	1055	50.16 高压冷水机组 .....	1091
48.36 部分绕组启动法 .....	1056	50.17 报修电话 .....	1092
48.37 自耦变压器启动法 .....	1057	本章小结 .....	1095
48.38 星形-三角形启动法 .....	1058	复习题 .....	1096
48.39 电子启动器 .....	1059	<b>附录 A 温度换算表</b> .....	1097
48.40 电动机的保护 .....	1059	<b>附录 B 电气符号图</b> .....	1099
48.41 负荷限制装置 .....	1059		
48.42 机电型电动机过载保护装置 .....	1060		
48.43 电子固态电路过载保护装置 .....	1060		
48.44 防反启动控制器 .....	1060		
48.45 缺相保护 .....	1061		
48.46 电压失衡 .....	1061		





# 第1章 热学理论

## 教学目标

学习完本章内容之后,读者应当能够:

1. 解释温度的概念。
2. 在华氏与摄氏温度之间进行换算。
3. 叙述热力学零度时分子的运动。
4. 定义英制热单位(Btu)。
5. 论述不同温度物质间的热流动。
6. 解释热传导、热对流与辐射传热。
7. 论述显热、潜热和比热。
8. 说出海平面大气压力,并解释不同海拔高度大气压力变化的原因。
9. 描述两种气压计。
10. 解释压力测量中绝对压力(psig)和表压力(psia)的概念。

## 1.1 温度

温度可以视为热程度的一种表述,也称热强度。热的程度与热强度不应与热的量或热含量混淆。热也可以视为分子运动的一种能量形式,因此,温度的起点亦即分子运动的起点。

绝大多数人都熟知水的冰点,为 32 华氏度(32°F, 0°C),水的沸点为 212 华氏度(212°F, 100°C),见图 1.1。这些温度点在用于温度计量的仪器——温度计上都能显示出来。

早期的温度计为玻璃管式温度计,其工作原理是当球中物质受热时,其体积膨胀并在管中上升,见图 1.2。现在的温度计仍普遍沿用水银和酒精制作。

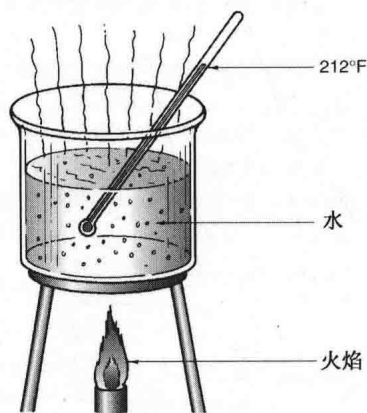


图 1.1 由于受热时水分子运动速度加快,容器中水的温度上升,当水的温度达212°F时,即出现沸腾

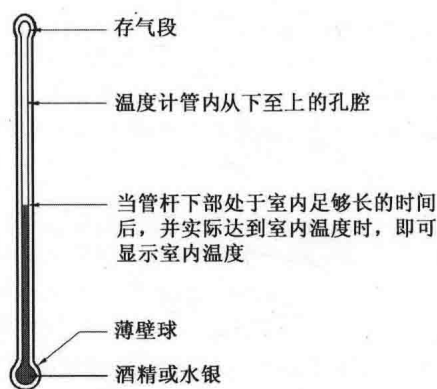


图 1.2 玻璃管温度计

我们必须对水在 212°F 沸腾的表述予以严格定义,即纯水在标准大气压下 212°F 时沸腾。标准大气压是指:气压计读数为 29.92 in. Hg(760 毫米水柱, 14.696 psia)的海平面。这一完整的表述涉及地球大气压力与沸点的相互关系以及本节后半部分关于压力讨论的细节。由于这些标准条件在以后章节中还将用于实际应用,因此在标准条件下,水的沸点为 212°F (100°C) 的表述十分重要。

纯水的冰点为 32°F (0°C),很明显,温度可以低于 32°F,而问题是:它还可以低多少?

热学理论认为:分子在 -460°F 时停止运动。由于分子的运动不可能停止,因此这是一种理论上的概念。分子运动完全停止时的温度表述为热力学零度,经计算为 -460°F。事实上,科学家已经距离实质性达到热力学零度仅差几度之遥。图 1.3 是在温度计刻度上表示的几种热的程度(包括分子运动)。

美国以及世界上少数几个采用英制的国家仍采用华氏温标,而在其他许多国家则使用国际单位制(SI)或公制中采用的摄氏温标。