

# 制冷空调原理及应用

第二版

主 编 韩宝琦  
李树林

机械工业出版社

本书是第二版,是在第一版系统地介绍制冷空调原理,制冷系统各设备的结构与特点,各设备及空调系统与自动控制系统的选择计算、安装、调试、运行管理、故障分析与排除等基础上,对部分章节作了适当的增删和改写,增加了制冷剂替代、热泵循环、溴化锂和氨-水吸收式制冷机、空调冷负荷概算指标、风机盘管及中央空调集散控制等内容,使本书更加实用。

本书可供从事制冷与空调工作的专业技术人员参考,也可作为高等院校有关专业师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

制冷空调原理及应用/韩宝琦,李树林主编. —2版.

—北京:机械工业出版社,2002.8

ISBN 7-111-04400-2

I. 制… II. ①韩…②李… III. 制冷-空气调节器

IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 050279 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:蒋有彩 版式设计:冉晓华 责任校对:张莉娟

封面设计:姚毅 责任印制:闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年9月第2版·第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·36.5印张·1插页·913千字

10 101—14 100册

定价:57.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

## 第二版前言

本书 1995 年初版，1998 年第三次印刷，后因纸型不能重印而停版。不少读者写信给出版社要求购买本书，因此出版社希望我们能够修订再版。考虑到近年来制冷空调技术发展迅速，为了更好地反映国内外的最新成就，以更实用的内容提供给广大读者，我们对初版的部分章节作了适当的增删和改写，增加了一些新的内容。例如增加了制冷剂替代、空调冷负荷概算指标、气调贮藏与气调库、模块式冷水机组、热泵循环、溴化锂和氨-水吸收式制冷机、风机盘管及中央空调集散控制等内容，并对一些物理量名称和符号按标准作了改动。

参加本书修订的是西安交通大学韩宝琦（第 1、2、3、4、5、6、16 章），西安建筑科技大学李树林（第 7、8、13、14、15 章及 17.3、17.5、18.5 节），长安大学王天富（第 9、10、11、12 章），西安二六二厂孟宪斌（第 17、18 章大部分），中国建筑西北设计院陶慰祖（第 19、20、21 章），西安建筑科技大学张子慧（第 22、23 章）。由韩宝琦和李树林任主编。

本书在修订过程中得到了西安制冷学会有关同志的支持和帮助，在此表示衷心感谢。

编者  
2002 年 7 月

# 第一版前言

随着国民经济的发展和人民生活水平的不断提高,制冷与空调技术得到了广泛的应用。为了适应制冷空调技术的日益发展,由西安制冷学会组织编写了这本《制冷空调原理及应用》一书,供从事制冷空调的有关人员及有关专业院校师生参考。

本书由西安交通大学韩宝琦和西安建筑科技大学李树林任主编。编写工作分工如下:第一、二、三、四、五、六、十六章韩宝琦(西安交通大学);第七、八、十三、十四、十五章李树林(西安建筑科技大学);第九、十、十二章王天富(西北建筑工程学院);第十一章李俊明(西北建筑工程学院);第十七、十八章孟宪斌(西安二六二厂);第十九、二十章史美耀(中国建筑西北设计院);第二十一章陶慰祖(中国建筑西北设计院);第二十二、二十三章张子慧(西安建筑科技大学)。

本书在编写过程中得到江苏双良集团公司、西安燕达空调制冷工程公司、山东淄博空调设备实业股份有限公司、广州天河科立制冷设备实业总公司、江苏靖江宏达暖通器材厂、山东省高密市散热器空调器厂、国内贸易部洛阳制冷机械厂、西安市户县轻化电线厂、北京实佳制冷设备有限公司、广东省佛山市华南空调制冷实业有限公司、西安四联空调自动化工程公司、浙江省余姚捷丰空调设备有限公司、西安制冷学会制冷空调技术开发部、西北大学制冷空调开发公司、西安怡和环境工程公司、烟台冰轮股份有限公司、广东省吉荣空调设备公司的支持和帮助,在此一并致谢。

本书由西安建筑科技大学杨磊教授主审。在编写过程中得到了西安制冷学会有关同志的支持和帮助,在此谨致谢意。由于编写人员的水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳切欢迎读者批评指正。

编者

1994年1月

# 目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

绪论 ..... 1

第 1 章 热力学基础 ..... 3

1.1 工质的热力状态参数 ..... 3

1.2 热量与比热容 ..... 4

1.3 基本热力过程及状态方程 ..... 5

1.4 热力学基本定律在制冷技术中的  
应用 ..... 6

1.4.1 热力学第一定律及稳定流动  
能量方程 ..... 6

1.4.2 热力学第二定律 ..... 7

1.5 具有恒温热源的理想制冷循环——  
逆卡诺循环 ..... 8

1.5.1 无温差传热的逆卡诺循环 ..... 8

1.5.2 有温差传热的逆卡诺循环 ..... 8

1.6 具有变温热源的理想制冷循环——  
劳伦兹循环 ..... 10

1.7 溶液的基本性质 ..... 11

1.8 溶解与结晶、吸收与解析 ..... 12

1.9 稳定流动下溶液的混合与节流 ..... 12

第 2 章 蒸气压缩式制冷循环 ..... 14

2.1 单级蒸气压缩式制冷的工作  
原理 ..... 14

2.2 单级蒸气压缩式制冷理论循环的  
性能指标及其计算 ..... 14

2.2.1 单级蒸气压缩式制冷理论循环  
在压-焓图上的表示 ..... 14

2.2.2 单级蒸气压缩式制冷理论循环  
的性能指标及其计算 ..... 17

2.3 单级蒸气压缩式制冷实际循环 ..... 19

2.3.1 液体过冷循环 ..... 19

2.3.2 蒸气过热及回热循环 ..... 20

2.3.3 换热及压力损失对循环性能的  
影响 ..... 23

2.4 单级蒸气压缩式制冷循环的热力  
计算 ..... 25

2.5 两级压缩及复叠式制冷循环 ..... 29

2.5.1 两级压缩制冷循环 ..... 29

2.5.2 双级压缩制冷机的热力  
计算 ..... 34

2.5.3 复叠式制冷机循环 ..... 39

2.6 热泵循环 ..... 41

第 3 章 制冷剂与载冷剂 ..... 44

3.1 对制冷剂的要求及制冷剂的  
分类 ..... 44

3.1.1 对制冷剂的要求和选用  
原则 ..... 44

3.1.2 制冷剂的种类及分类 ..... 45

3.1.3 制冷剂的编号表示方法 ..... 45

3.2 常用制冷剂的性质 ..... 46

3.2.1 氨 (R717) ..... 46

3.2.2 氟利昂 ..... 47

3.2.3 碳氢化合物 ..... 49

3.3 混合制冷剂 ..... 50

3.3.1 共沸混合制冷剂 ..... 50

3.3.2 非共沸混合制冷剂 ..... 51

3.4 CFC、HCFC 的限用、禁用与  
替代 ..... 51

3.4.1 问题的提出 ..... 51

3.4.2 CFC<sub>s</sub>、HCFC<sub>s</sub> 的限用与  
禁用 ..... 52

3.4.3 替代制冷剂的研究动向 ..... 54

3.5 载冷剂 ..... 57

3.5.1 对载冷剂的要求 ..... 57

3.5.2 常用的载冷剂 ..... 57

<b>第 4 章 其它制冷方式</b> .....	61	6.3.1 工作原理 .....	127
4.1 吸收式制冷 .....	61	6.3.2 总体结构 .....	127
4.1.1 氨-水吸收式制冷机 .....	62	6.4 涡旋式制冷压缩机 .....	128
4.1.2 溴化锂吸收式制冷机 .....	64	6.4.1 结构及工作原理 .....	128
4.1.3 吸收式热泵 .....	72	6.4.2 特点 .....	130
4.2 蒸汽喷射式制冷 .....	74	6.5 离心式制冷压缩机 .....	130
4.3 吸附式制冷 .....	75	6.5.1 工作原理与结构 .....	130
4.4 热电制冷 .....	76	6.5.2 特性及制冷量的调节 .....	133
4.5 气体制冷机 .....	78	6.5.3 特点 .....	134
4.6 涡流管制冷 .....	80	<b>第 7 章 制冷换热设备</b> .....	135
<b>第 5 章 活塞式制冷压缩机</b> .....	82	7.1 概述 .....	135
5.1 概述 .....	82	7.2 冷凝器的种类、构造和工作	
5.2 活塞式制冷压缩机的热力性能 .....	84	原理 .....	136
5.2.1 活塞式制冷压缩机工作		7.2.1 水冷式冷凝器 .....	137
过程 .....	84	7.2.2 空气冷却式冷凝器 .....	140
5.2.2 活塞式制冷压缩机的性能 .....	85	7.2.3 蒸发式冷凝器 .....	142
5.3 活塞式制冷压缩机的结构 .....	95	7.3 冷凝器的传热分析 .....	145
5.3.1 总体结构 .....	95	7.3.1 影响制冷剂侧蒸气凝结放热的	
5.3.2 零部件结构 .....	99	因素 .....	145
5.4 制冷压缩机的输气量调节 .....	108	7.3.2 影响冷却介质侧放热的	
5.4.1 压缩机的间歇运行 .....	109	因素 .....	146
5.4.2 顶开吸气阀片调节输气量 .....	109	7.4 冷凝器的选择计算 .....	147
5.4.3 利用多台压缩机的台数		7.4.1 水冷式冷凝器的选择计算 .....	147
调节 .....	109	7.4.2 空气冷却式冷凝器的选择	
5.5 制冷压缩机的润滑系统 .....	109	计算 .....	150
5.5.1 润滑的作用 .....	109	7.4.3 蒸发式冷凝器的选择计算 .....	151
5.5.2 润滑方式及润滑系统 .....	109	7.5 蒸发器的种类、构造和工作	
5.5.3 润滑设备 .....	111	原理 .....	153
5.5.4 对润滑油的性能要求及冷冻油		7.5.1 卧式壳管式蒸发器 .....	153
规格 .....	113	7.5.2 干式壳管式蒸发器 .....	156
<b>第 6 章 其它型式的制冷压缩机</b> .....	115	7.5.3 水箱式蒸发器 .....	156
6.1 螺杆式制冷压缩机 .....	115	7.5.4 板片式蒸发器 .....	158
6.1.1 构造与工作原理 .....	115	7.5.5 冷却空气的蒸发器 .....	159
6.1.2 输气量调节 .....	118	7.6 蒸发器的传热分析 .....	164
6.1.3 特点 .....	119	7.7 蒸发器的选择计算 .....	166
6.2 滚动活塞式制冷压缩机 .....	123	7.7.1 冷却液体载冷剂的蒸发器选择	
6.2.1 工作原理 .....	123	计算 .....	166
6.2.2 结构与特点 .....	124	7.7.2 冷却空气的蒸发器选择	
6.3 斜盘式制冷压缩机 .....	127	计算 .....	167
		7.8 其它换热设备 .....	169
		7.8.1 气液换热器 .....	170
		7.8.2 中间冷却器 .....	171

7.8.3	过冷器	172	确定	218	
7.8.4	冷凝蒸发器	172	10.3.1	夏季送风状态及送风量	218
<b>第8章 节流机构与辅助设备</b>		174	10.3.2	冬季送风状态及送风量	219
8.1	节流机构	174	10.4	空调送风中的新风量	221
8.1.1	手动节流阀	174	<b>第11章 空气处理设备</b>		223
8.1.2	浮球节流阀	175	11.1	集中式空调系统空气处理设备的类型	223
8.1.3	热力膨胀阀	176	11.2	喷水室	224
8.1.4	热电膨胀阀	181	11.2.1	普通喷水室的构造和种类	224
8.1.5	毛细管	182	11.2.2	双级和高速喷水室	226
8.2	辅助设备	183	11.2.3	喷水室中空气与水热、湿交换的基本概念	227
8.2.1	润滑油的分离及收集设备	183	11.2.4	喷水室的热工性能	228
8.2.2	制冷剂的贮存及分离设备	187	11.2.5	普通单级喷水室的计算	230
8.2.3	制冷剂的净化设备	189	11.2.6	填料式喷水室和喷淋盘管	232
8.2.4	安全设备	192	11.3	表面式换热器	233
8.2.5	其它辅助设备	194	11.3.1	表面式换热器的构造	233
<b>第9章 湿空气的性质和焓湿图</b>		197	11.3.2	表面式换热器的工作特性	234
9.1	湿空气的组成及状态参数	197	11.3.3	表面式换热器的选择计算	234
9.1.1	湿空气的组成	197	11.4	空气热湿处理的其它方法及设备	242
9.1.2	状态参数	197	11.4.1	电加热器	242
9.2	湿空气的焓湿图及其应用	200	11.4.2	空气加湿处理及设备	242
9.2.1	$h-d$ 图的构成	200	11.4.3	空气的减湿处理	245
9.2.2	$h-d$ 图的应用	201	11.5	空气净化处理及设备	248
9.2.3	几种典型的空气状态变化过程	207	11.5.1	空气净化的目的和净化的标准	248
<b>第10章 空调房间热、湿负荷与送风量的确定</b>		211	11.5.2	空气过滤器的滤尘机理	249
10.1	室内外空气计算参数的确定	211	11.5.3	过滤器的特性	249
10.1.1	室内空气计算参数	211	11.5.4	常用过滤器的种类和构造	250
10.1.2	室外空气计算参数	212	11.5.5	过滤器净化能力的计算	252
10.2	空调房间热、湿负荷的计算	212	11.5.6	除臭和离子化	252
10.2.1	室外热源形成的负荷	212	<b>第12章 空气调节系统</b>		254
10.2.2	室内热源形成的负荷	214	12.1	空调系统的分类	254
10.2.3	室内湿源的湿负荷	216	12.2	集中式空调系统	254
10.2.4	计算空调房间冷负荷时应注意的问题	217	12.2.1	一次回风式空调系统	256
10.2.5	夏季空调冷负荷概算指标	218	12.2.2	二次回风式空调系统	267
10.3	空调房间送风量和送风状态的确定	218	12.2.3	一次回风式和二次回风式的应用条件	270
			12.2.4	空调系统的分区处理	272

12.2.5 集中式空调系统的空气处理 机组 .....	274	系统 .....	315
12.3 风机盘管空调系统 .....	278	13.3.6 冷库制冷系统的融霜 .....	317
12.3.1 风机盘管机组的构造、类型和 特点 .....	278	13.3.7 冷库技术的发展 .....	319
12.3.2 风机盘管系统新风供给方式和 供水形式 .....	279	13.4 运输式冷藏装置 .....	323
12.3.3 风机盘管机组的室温控制 .....	281	13.4.1 铁路冷藏车 .....	323
12.3.4 风机盘管空调系统的空气处理 过程 .....	281	13.4.2 冷藏汽车 .....	324
12.4 全空气空调系统的全年运行 调节 .....	282	13.4.3 冷藏船 .....	325
12.4.1 新风状态变化时的运行 调节 .....	282	<b>第 14 章 制冰装置和试验用制冷 装置 .....</b>	<b>327</b>
12.4.2 室内热湿负荷变化时的 运行调节 .....	285	14.1 制冰装置 .....	327
12.5 空调系统的气流组织 .....	286	14.1.1 冰的物理性质及用途 .....	327
12.5.1 侧面送风 .....	286	14.1.2 制冰原理 .....	328
12.5.2 散流器送风 .....	287	14.1.3 几种制冰装置 .....	330
12.5.3 孔板送风 .....	288	14.2 试验用制冷装置 .....	333
12.5.4 喷口送风 .....	288	14.2.1 试验装置的用途和种类 .....	333
12.5.5 条缝送风 .....	289	14.2.2 试验装置的特点和结构 .....	335
12.6 空调系统的消声与减振 .....	290	14.2.3 试验装置的冷却方式及制冷 系统 .....	337
12.6.1 空调系统的噪声源 .....	290	14.2.4 试验装置的加热及真空 系统 .....	342
12.6.2 噪声评价标准 .....	291	<b>第 15 章 空调用制冷装置及冷 冻站 .....</b>	<b>344</b>
12.6.3 降低噪声的措施 .....	291	15.1 空气调节装置 .....	344
12.6.4 空调设备的减振 .....	294	15.1.1 空调器 .....	344
<b>第 13 章 冷藏用制冷装置 .....</b>	<b>295</b>	15.1.2 恒温恒湿空调器 .....	348
13.1 食品的冷藏保鲜原理及冷负荷的 计算 .....	295	15.1.3 特殊用途的空调器和空气 除湿机 .....	350
13.1.1 食品的冷藏原理及冷藏装置的 发展 .....	295	15.2 空调用冷水机组 .....	352
13.1.2 冷藏装置冷负荷的计算 .....	297	15.2.1 活塞式冷水机组 .....	353
13.2 冰箱 .....	302	15.2.2 螺杆式冷水机组 .....	355
13.2.1 冰箱的种类 .....	302	15.2.3 离心式冷水机组 .....	356
13.2.2 冰箱的结构 .....	303	15.2.4 溴化锂吸收式冷水机组 .....	359
13.3 冷藏库 .....	308	15.2.5 模块式冷水机组 .....	361
13.3.1 冷藏库的种类及其组成 .....	308	15.3 空调用冷冻站 .....	362
13.3.2 冷藏库的建筑特点 .....	309	15.3.1 制冷系统 .....	362
13.3.3 冷库容量的确定 .....	311	15.3.2 冷却水系统及循环水冷却 设备 .....	364
13.3.4 冷库的冷却方式 .....	313	15.3.3 冷水系统 .....	370
13.3.5 冷库的制冷系统及机房 系统 .....	315	15.4 制冷管道直径的确定及管道与设备 的隔热 .....	373

15.4.1	制冷管径的选择 .....	373	排除 .....	409	
15.4.2	管道与设备的隔热 .....	377			
<b>第 16 章</b>	<b>制冷装置的安装、运行及工况分析 .....</b>	<b>382</b>	<b>第 18 章</b>	<b>制冷装置的定期检修 .....</b>	<b>411</b>
16.1	制冷装置的安装 .....	382	18.1	活塞式制冷压缩机的拆卸和清洗 .....	411
16.1.1	压缩式制冷装置的安装 .....	382	18.1.1	活塞式制冷压缩机的定期检修 .....	411
16.1.2	溴化锂吸收式制冷机组的安装 .....	386	18.1.2	压缩机拆卸的基本要求及方法 .....	412
16.2	压缩机的试运行及气密性试验 .....	387	18.2	活塞式制冷压缩机拆卸后的测量 .....	413
16.2.1	压缩机的试运行 .....	387	18.2.1	对测量的要求 .....	413
16.2.2	系统吹污与气密性试验 .....	388	18.2.2	测量与记录 .....	413
16.2.3	制冷剂的充注与取出 .....	390	18.3	活塞式制冷压缩机零部件的检修与调整 .....	415
16.3	制冷装置的操作与工况分析 .....	391	18.3.1	维修工具及材料 .....	415
16.3.1	压缩式制冷装置的操作 .....	392	18.3.2	滑动轴承的检修 .....	416
16.3.2	压缩式制冷装置工况分析与调整 .....	394	18.3.3	轴封的检修 .....	416
16.3.3	溴化锂吸收式制冷机组的调试及开、停机操作 .....	397	18.3.4	阀板组的检修 .....	418
<b>第 17 章</b>	<b>制冷系统常见故障的分析和排除 .....</b>	<b>399</b>	18.3.5	润滑系统的检修 .....	420
17.1	制冷系统正常运行的条件及标志 .....	399	18.3.6	机体的检修 .....	420
17.1.1	制冷系统正常运行的条件 .....	399	18.3.7	卸载装置的检修 .....	420
17.1.2	各组成设备的性能良好及正常运行的标志 .....	400	18.3.8	气缸套划痕拉毛的修理 .....	421
17.2	活塞式制冷压缩机的故障分析和排除 .....	401	18.3.9	活塞的检修 .....	421
17.3	离心式和螺杆式制冷压缩机的故障分析及排除 .....	404	18.3.10	联轴器的修理 .....	421
17.3.1	离心式制冷压缩机的故障分析和排除 .....	404	18.3.11	活塞式制冷压缩机的装配与调整 .....	421
17.3.2	螺杆式制冷压缩机的故障分析和排除 .....	405	18.4	辅助设备及阀件的检修 .....	425
17.4	制冷系统运行中常见故障的分析和排除 .....	406	18.4.1	换热器与其它辅助设备的检修 .....	425
17.4.1	系统运行中的故障分析和排除 .....	406	18.4.2	油分离器的检修 .....	426
17.4.2	全封闭式制冷机的故障检查 .....	408	18.4.3	管路及阀件的检修 .....	426
17.5	溴化锂吸收式制冷机组的故障分析和排除 .....	409	18.4.4	氨泵的检修 .....	428
			18.5	溴化锂吸收式制冷机组的保养与检修 .....	428
			18.5.1	短期停机的保养 .....	428
			18.5.2	长期停机的保养 .....	428
			18.5.3	定期检查和检修 .....	429
			<b>第 19 章</b>	<b>空调机组与空调器的安装 .....</b>	<b>431</b>
			19.1	空调机组的安装 .....	431

19.1.1	组合式空调机组的安装和运行 维护 .....	431	防火 .....	467
19.1.2	整体式空调机组的安装、使用及 维护管理 .....	433	20.4.2	高层民用建筑的防火和 防排烟 .....
19.2	空调器的安装 .....	434		469
19.2.1	立柜式空调器的安装 .....	434	<b>第 21 章</b>	<b>空调系统的测定和调整</b> .....
19.2.2	窗式空调器的安装 .....	435	21.1	测试常用仪表 .....
19.2.3	分体式空调器的安装 .....	436	21.1.1	测温仪表 .....
19.2.4	空调器的常见故障及排除 .....	438	21.1.2	测湿仪表 .....
19.3	风机盘管机组的安装 .....	439	21.1.3	测风速仪表 .....
19.3.1	风机盘管的供水系统 .....	439	21.1.4	测压仪表 .....
19.3.2	风机盘管机组的控制和 调节 .....	440	21.2	风管内风量与风压的测定 .....
19.3.3	风机盘管机组的安装、使用与 维修 .....	440	21.2.1	测定截面位置的选择 .....
19.3.4	风机盘管机组常见故障及 排除 .....	441	21.2.2	测点位置和数目 .....
			21.2.3	风管内平均动压与平均 风速 .....
<b>第 20 章</b>	<b>水泵、通风机与通风管道的 安装</b> .....	443	21.2.4	风管流量 .....
20.1	水泵 .....	443	21.3	送风口和回风口风量测定 .....
20.1.1	离心水泵和管道泵 .....	443	21.3.1	送风口风量测定 .....
20.1.2	水泵的性能特性 .....	445	21.3.2	回风口风量测定 .....
20.1.3	水泵的安装 .....	448	21.4	通风机性能的测定 .....
20.1.4	水泵的故障排除及其保养 .....	449	21.5	空气加热器和表冷器性能测定 .....
20.2	通风机 .....	450	21.5.1	空气加热器性质测定 .....
20.2.1	空调系统用的离心和轴流 通风机 .....	451	21.5.2	表冷器性能测定 .....
20.2.2	通风机的选择 .....	453	21.6	空调系统的运行与调整 .....
20.2.3	通风机的安装和维护 .....	455	21.6.1	系统风量调整的基本原理 .....
20.2.4	通风机的运行和调节 .....	457	21.6.2	风量调整的几种方法 .....
20.2.5	通风机常见故障及排除 方法 .....	458		
20.3	通风管道和配件 .....	459	<b>第 22 章</b>	<b>制冷与空调常用的自动控制 设备</b> .....
20.3.1	通风管道的材质与选用 范围 .....	459	22.1	概述 .....
20.3.2	风道的制作 .....	460	22.2	温度测量与模拟控制器 .....
20.3.3	各类风口和阀门 .....	463	22.2.1	压力式温度传感器与 控制器 .....
20.3.4	风道测定孔和检查孔 .....	465	22.2.2	双金属片温度传感器与 控制器 .....
20.3.5	风道系统的防腐与保温 .....	466	22.2.3	热电阻温度传感器与控 制器 .....
20.4	通风空调系统的防火 .....	467	22.3	压力、压差传感器与模拟 控制器 .....
20.4.1	工业和低层民用建筑的		22.3.1	压力和压差传感器 .....
			22.3.2	压力和压差控制器 .....
			22.4	湿度传感器与模拟控制器 .....

22.4.1	氯化锂电阻湿度传感器与变送器	494	性质	530
22.4.2	电容湿度传感器与变送器	495	附表 2 NH <sub>3</sub> 饱和液体及蒸气的热力性质	531
22.5	执行器	496	附表 3 R12 饱和液体及蒸气的热力性质	533
22.5.1	电磁阀	496	附表 4 R22 饱和液体及蒸气的热力性质	536
22.5.2	主阀	497	附表 5 R134a 饱和状态下的热力性质	538
22.5.3	恒压阀	497	附表 6 R142b 饱和液体及蒸气的热力性质	539
22.5.4	电动调节阀及电动调节风门	499	附表 7 R600a 饱和液体及蒸气的热力性质	540
22.5.5	调功器与电流阀	500	附表 8 氯化钙水溶液的热物理性质	542
<b>第 23 章</b>	<b>制冷空调自动控制</b>	<b>501</b>	附表 9 氯化钠水溶液的热物理性质	543
23.1	蒸发器的控制	502	附表 10 乙二醇水溶液的热物理性质	544
23.1.1	热力膨胀阀供液调节	502	附表 11 湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓	546
23.1.2	库温调节	502	附表 12 民用建筑空调室内空气计算温度	548
23.1.3	蒸发压力的控制	503	附表 13 我国主要城市空调室外空气计算参数	548
23.2	制冷压缩机的安全保护控制	505	附表 14 外墙(中等热容)冷负荷计算温度 $t_{if}$	549
23.2.1	压力保护控制	505	附表 15 屋顶(中等热容)冷负荷计算温度 $t_{if}$	550
23.2.2	断水保护控制	506	附表 16 冷负荷计算温度 $t_{if}$ 的修正值 $t_d$	550
23.2.3	电动机保护控制	506	附表 17 夏季通过单层 3mm 厚普通玻璃进入室内太阳辐射热	551
23.3	空调系统模拟仪表自动控制系统	506	附表 18 玻璃性质、厚度和层数不同时的修正系数 $C_s$	553
23.3.1	风机盘管自动控制系统	506	附表 19 窗内侧有遮阳设施时的修正系数 $C_n$	553
23.3.2	新风机组自动控制系统	506	附表 20 不同温度时成年男子散热量和散湿量	553
23.3.3	空调机组自动控制系统	509	附表 21 某些公共建筑空调冷负荷概算指标	554
23.4	中央空调的集散控制系统	509	附表 22 民用建筑最小新风量	554
23.4.1	概述	509	附表 23 喷水室换热效率实验公式的系数和指数	555
23.4.2	空调机组 DDC 控制系统	511	附表 24 部分空气加热器的传热系数和阻力计算公式	556
23.4.3	空调冷站 DDC 控制系统	512		
23.4.4	制冷空调集散控制系统	514		
23.5	制冷空调自动控制系统的调试	515		
23.5.1	自动控制系统调试的准备	515		
23.5.2	系统调试的内容及方法	518		
23.5.3	调节器参数的工程整定	524		
23.6	制冷空调自动控制系统的故障与维修	524		
23.6.1	冷库制冷自动控制系统的故障与维修	525		
23.6.2	中央空调自控系统的故障与维修	527		
<b>附录</b>		<b>530</b>		
附表 1	饱和水及饱和水蒸气的热力性质			

附表 25	部分水冷式表面冷却器的传热系数和阻力试验公式 .....	557	附图 4	R134a 的 $p-h$ 图 .....	567
附表 26	水冷式表面冷却器的 $\epsilon_3$ 值 .....	558	附图 5	R142b 的 $p-h$ 图 .....	568
附表 27	SRZ 型空气加热器技术数据 .....	558	附图 6	R600a 的 $p-h$ 图 .....	569
附表 28	JW 型表面冷却器技术数据 .....	559	附图 7	水冷式表面冷却器的 $\epsilon_1$ 值的线算图 .....	570
附表 29	室内噪声允许值 .....	559	附图 8	湿空气的焓湿图之一 (大气压力 101325Pa) .....	插页
附表 30	制冷设备检修图例及记录格式 .....	560	附图 9	湿空气的焓湿图之二 (大气压力 99325Pa) .....	插页
附图 1	$\text{NH}_3$ 的 $p-h$ 图 .....	564	参考文献	.....	571
附图 2	R12 的 $p-h$ 图 .....	565			
附图 3	R22 的 $p-h$ 图 .....	566			

# 绪 论

制冷与空气调节(简称空调)技术是由于社会生产和人民生活的需要而产生和发展的,它的发展又促使了社会生产和科学技术的进步。制冷与空气调节技术是两个密切相关的学科,空气调节是制冷技术的重要应用之一。

制冷与冷却是两个不同的概念。冷却可以自发地进行,但高温物体的温度不可能降低到低于环境介质(空气或水)的温度。所谓制冷,就是把某一物体或空间(包括空间内的物体)的温度,降低到低于环境介质的温度,并保持这一低温状态的过程。为了达到这一目的,就应不断地将该物体或空间的热量,以及由外界传入的热量,转移到外界环境中去。这是一个非自发的过程,需要消耗外界能量进行补偿。为实现这一过程所需要的设备,称为制冷机。制冷机中使用的工作介质称为制冷剂,制冷剂在制冷机中循环流动。

空气调节顾名思义是对空气的参数进行调节。空气调节技术就是使室内空气的温度、湿度、流动速度、清洁度等参数,维持在一定范围内的技术,以满足生产工艺或人们对舒适环境的需求。

制取冷量的方法很多,归纳为利用天然冷源和人工制冷两大类。利用天然冷源(如冬天贮冰、深井水)可达到获取低温的目的,但它受到季节、地区、贮存条件等限制,一般也只能制取 $0^{\circ}\text{C}$ 以上的低温,远不能满足生产和科研的需要。

人工制冷的的方法主要有相变制冷、气体膨胀制冷、热电制冷等。相变制冷是利用物质由液相变为气相时的吸热效应来获取冷量的。例如,在标准大气压下, $1\text{kg}$ 液氨气化时可吸收 $1371\text{kJ}$ 的热量,且气化温度低至 $-33.4^{\circ}\text{C}$ 。如果将压力降为 $0.87\text{kPa}$ ,水在 $5^{\circ}\text{C}$ 下即可沸腾,吸收 $2489\text{kJ/kg}$ 的热量。由此可见,只要选择合适的物质,创造合适的气化条件,就可获得不同的低温并吸收不同的热量。

气体膨胀制冷是将高压气体作绝热膨胀,使它的压力、温度下降,利用降温后的气体来吸取被冷却物体的热量,从而达到制冷的目的。

热电制冷又称温差电制冷或半导体制冷,它是建立在珀尔帖效应的原理上的。如果把两种不同材料的一端彼此连接起来,另一端接上直流电源,则一端将会产生吸热(制冷)效应,另一端产生放热效应。

目前,在制冷与空气调节技术中,相变制冷方法占绝对优势。根据补偿过程的不同,它又可分为蒸气压缩式、吸收式、蒸汽喷射式、吸附式四种制冷方式,其中又以蒸气压缩式应用最为普遍。因此,本书将重点介绍蒸气压缩式制冷的原理及其设备。

制冷技术最早应用于食品的保存和空气调节。时至今日,它的应用早已渗透到国民经济的各个部门及人民的日常生活之中,主要有以下几个方面:

- 1) 食品的冷加工、冷藏及冷藏运输,以减少生产和分配过程中的食品损耗,保证食品的质量。

- 2) 空气调节。它有工艺性和舒适性两大类型。工艺性空调是为了满足生产、科研等工艺过程对空气参数的要求,以保证产品的质量和生产过程的顺利进行。舒适性空调是向人们提

供一个适宜的工作或生活环境，有利于提高工作效率和保障人的身心健康。

3) 工业生产。在某些生产工艺过程中，需在低温条件下进行，才能保证正常的生产和产品质量。如合成氨的生产过程，合成塑料、合成纤维、合成橡胶的生产过程，石油脱蜡，利用低温实现过盈配合等。

4) 产品性能试验。在低温条件下使用的金属材料、仪器、仪表、电子装置，以及在高寒地区使用的汽车、武器弹药等，均应在地面进行产品的低温性能试验，以检查它们在低温条件下能否正常工作，能否达到规定的性能指标。

5) 建筑业。利用制冷可实现冻土法开采土方，以及拌和混凝土时带走水泥固化反应热，保证施工安全和避免因固化热而产生的内应力和裂缝等缺陷。

6) 医药生产及医疗卫生。医药工业中利用真空冷冻干燥法冻干生物制品及药品；低温下保存血浆、疫苗和进行手术治疗。

此外，农牧业、轻工业、文化体育事业、微电子技术、卫星通信、激光、红外技术等科学领域中，均需应用制冷技术。

制冷技术是从 19 世纪中叶开始发展起来的。早在 1834 年，美国人波尔金斯试制成功了第一台以乙醚为工质、闭式循环的蒸汽压缩式制冷机。1844 年，美国医生高里建立了第一座空调室。1875 年，林德提出了氨蒸汽压缩式制冷机。1918 年，美国工程师考布兰发明了世界上第一台家用电冰箱。1930 年，密其莱首次发现了氟利昂，给制冷技术带来了新的变革，使氟利昂制冷机得到飞速发展。但近年来，由于发现部分氟利昂工质（CFCs）对大气臭氧层有严重破坏作用，对人类赖以生存的环境造成严重威胁，因此提出了禁用 CFCs。开发研究新的无污染工质，已成为国内外的前沿研究课题。可以预见，它将进一步促进制冷技术的发展。

早在三千多年前，我国人民就已开始利用天然冷源，即在冬季采集、贮藏天然冰，出现了冰窑、冰房供夏季使用。到了唐朝，已开始生产冰镇饮料。解放后，我国的制冷事业也得到了相应的发展，制冷机制造工业从无到有，从仿制到自行设计，进而先后制订了各种型式的制冷机系列。目前，国内已拥有遍布全国的制冷机与空调机生产企业。通过引进、吸收、消化国外先进技术，在产品品种和部分产品的技术方面已接近国际先进水平，基本上满足了国内市场需求，有的产品已打入国际市场。但与世界上发达国家相比，仍存在着较大差距，需要不断努力，把我国的制冷与空调事业推向一个新的水平。

# 第 1 章 热力学基础

## 1.1 工质的热力状态参数

在热力工程中，决定物质状态的物理量称为物质的热力状态参数。基本的热力状态参数有温度、压力和比体积。

### 1. 温度

温度是衡量物体冷热的尺度。从微观上看，温度标志着物质分子热运动的激烈程度，温度升高，分子运动速度加快；温度降低，分子运动速度减慢。在法定计量单位中，采用热力学温度，并允许摄氏温度同时使用。

热力学温度符号是  $T$ ，单位符号是 K（开尔文）。热力学温度单位开尔文是水的三相点热力学温度的  $1/273.16$ 。

工程上常用摄氏温度。摄氏温度符号是  $t$ ，单位符号是  $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏度是开尔文用于表示摄氏温度值的一个专门名称。欧美国家常用华氏温度。华氏温度符号是  $\theta$ ，单位符号是  $^{\circ}\text{F}$ 。三种温度之间的关系如下：

表示温度差和温度间隔时  $1^{\circ}\text{C}=1\text{K} \quad 1^{\circ}\text{F}=\frac{5}{9}\text{K}$

表示温度数值时  $\frac{t}{^{\circ}\text{C}}=\frac{T}{\text{K}}-273.15 \quad \frac{T}{\text{K}}=\frac{5}{9}\left(\frac{\theta}{^{\circ}\text{F}}+459.67\right)$

$$\frac{t}{^{\circ}\text{C}}=\frac{5}{9}\left(\frac{\theta}{^{\circ}\text{F}}-32\right)$$

**【例 1-1】** 摄氏温度  $37^{\circ}\text{C}$  相当于多少热力学温度和华氏温度？

解  $T/\text{K}=37+273.15=310.15$

$$\theta/^{\circ}\text{F}=\frac{9}{5}\times 37+32=98.6$$

温度用温度计测量。常用温度计有水银温度计、液体（如酒精）温度计、电阻温度计、热电偶温度计等。使用时可根据温度范围、要求精度来选择不同量级及不同类型的温度计。

### 2. 压力

压力是力除以面积，物理量符号用  $p$  表示，单位符号为 Pa（帕）， $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ 。由于 Pa 的单位很小，故工程上又常以 kPa（千帕）、MPa（兆帕）表示。它们之间的关系为

$$1\text{MPa}=10^3\text{kPa}=10^6\text{Pa}$$

以前工程单位制中，常以  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ （工程大气压）、mmHg（毫米汞柱）、mmH<sub>2</sub>O（毫米水柱）等单位表示。它们之间的换算关系如下：

$$\begin{aligned} 1\text{kgf}/\text{cm}^2 &= 735.6\text{mmHg}=10^4\text{mmH}_2\text{O}=9.81\times 10^4\text{Pa} \\ &= 98\text{kPa}=0.098\text{MPa} \end{aligned}$$

包围在地球表面一层很厚的大气层，对地球表面所造成的压力称为大气压力，简称大气压，

物理量符号用  $p_a$  表示。大气压的大小随所处地理位置、海拔高度及气候条件的不同而改变。

压力常用压力表、真空表、液柱高度等来测量。

物质作用在容器壁面上的压力有两种不同的表示方法：一种是直接指明物质施于容器壁面上压力的大小，称为绝对压力；另一种是用压力表测量时，压力表上的读数，称为表压力。图 1-1 所示是用液柱的高度来表示容器中压力的相对值。

图 1-1a 表示容器中的气体压力（绝对压力） $p$  比外界大气压力  $p_a$  大了  $h_1$  的液柱高度，高出的部分压力称为表压力，用  $p_g$  表示，它们之间的关系为

$$p = p_a + p_g \quad (1-1)$$

图 1-1b 表示容器中的气体压力  $p$  比外界大气压力  $p_a$  低了  $h_2$  的液柱高度，这段高度称为真空度，用  $p_v$  表示，它们之间的关系是

$$p + p_v = p_a \quad (1-2)$$

表压力  $p_g$  和真空度  $p_v$  都是相对值，只有绝对压力  $p$  才是真正说明工质状态的热力参数值。绝对压力、表压力、真空度和大气压力之间的关系如图 1-2 所示。

绝对压力的数值不能简单地直接测量出来，工程实际中常用压力表测得其表压力，而工程计算及查阅有关图表时，又必须采用绝对压力值，因此由压力表测得的读数必须换算成绝对压力。

**【例 1-2】** 已知表压力为 0.26MPa，问其绝对压力是多少？

解  $p = p_a + p_g = (0.26 + 0.1)\text{MPa} = 0.36\text{MPa}$

### 3. 比体积和密度

比体积的物理量符号是  $v$ ，单位符号是  $\text{m}^3/\text{kg}$ 。比体积是体积  $V$  除以质量  $m$ ，即

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-3)$$

密度的物理量符号是  $\rho$ ，单位符号  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。密度是质量  $m$  除以体积  $V$ ，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-4)$$

比体积与密度是互为倒数。

## 1.2 热量与比热容

### 1. 热量

热量是能量的一种形式。它是表示物体吸热或放热多少的物理量。热量的物理量符号为

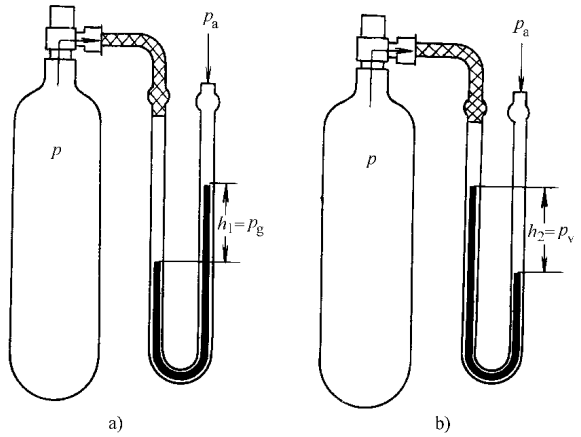


图 1-1 用液柱高度表示容器中压力值

a)  $p > p_a$  b)  $p < p_a$

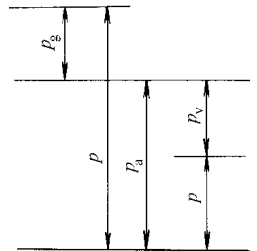


图 1-2 绝对压力、表压力、真空度之间的关系

$Q$ ，单位符号为 J (焦耳)。热力学中规定，当物体吸热时热量取正号，放热时取负号。

米制的热量单位符号为 cal (卡)，英制单位符号为 Btu (英热单位)。它们与法定计量单位 J 的关系为

$$1\text{cal}=4.1868\text{J} \quad 1\text{Btu}=1055\text{J}$$

## 2. 比热容

单位质量的物质，温度每升高或降低 1K 所需加入或放出的热量，称为该物质的比热容。比热容的物理量符号是  $c$ ，单位符号为  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

气体在加热或冷却过程中，如果保持压力不变，则其比热容称为比定压热容，物理量符号用  $c_p$  表示；如果保持容积不变，则称为比定容热容，物理量符号用  $c_v$  表示。

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做功，所以单位质量的气体温度升高 1K 时，要比定容加热吸收的热量多，即  $c_p > c_v$ 。

对于理想气体，等熵指数  $\kappa$  为比定压热容与比定容热容之比即

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (1-5)$$

某物体的质量为  $m$ ，比定压热容为  $c_p$ ，温度从  $t_1$  升高到  $t_2$  时，该物体吸收热量为

$$Q = mc_p(t_2 - t_1) \quad (1-6)$$

## 1.3 基本热力过程及状态方程

制冷是依靠制冷剂的状态变化来实现的。制冷剂的每一状态取决于基本热力状态参数，即取决于压力、热力学温度和比体积。这三个基本参数是相互关联的，具有一定的关系式，称之为状态方程式。

工程上多用  $p$ - $v$  图来表示工质  $p$ 、 $T$  (或  $t$ )、 $v$  参数之间的关系。下面依据气体工质的  $p$ - $v$  图来讨论几个典型的热力过程，并导出理想气体状态方程式。

### 1. 等容过程

一定量的气体，如果在容积不变 (即  $v = \text{常数}$ ) 的情况下加热，压力与温度都将发生变化，它们之间的关系符合下列关系式：

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1-7)$$

即等容过程中，气体的压力与热力学温度成正比。这一过程在  $p$ - $v$  图上可用直线  $A-1$  表示 (图 1-3)。如果气体被冷却，向外放热，则过程线用  $A-2$  表示。

### 2. 等压过程

一定量的气体，如果在压力保持不变的情况下对其加热，气体的  $v$  与  $T$  符合下列关系式：

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1-8)$$

即等压过程中，气体的比体积和热力学温度成正比。这一过程在图 1-3 中用直线  $A-3$  表示。如果气体向外放热，则过程线用  $A-4$  表示。

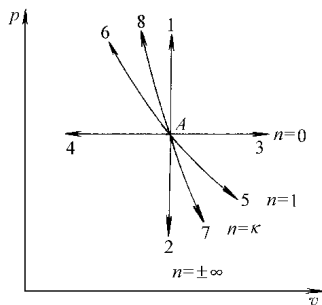


图 1-3 气体在  $p$ - $v$  图上各热力过程的表示