

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
面向可持续发展的土建类工程教育丛书
21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

空调冷热源工程

丁云飞 主 编
于 丹 方赵嵩 副主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
面向可持续发展的土建类工程教育丛书
21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

空调冷热源工程

主 编 丁云飞
副主编 于 丹 方赵嵩
参 编 王立鑫 朱赤晖



机械工业出版社

本书阐述了空调冷热源设备的工作原理,介绍了冷热源设备的选择、冷热源系统的设计方法,主要包括:蒸气压缩式制冷循环的基本原理、蒸气压缩式制冷循环的主要部件及冷水机组、蒸气压缩式制冷系统、溴化锂吸收式制冷循环的基本原理及制冷热泵机组、空调冷源系统设计及设备选择、空调蓄冷系统及设计方法、地源热泵系统及空气源热泵、供热锅炉的工作过程及其结构、供热站等。本书旨在使学生通过学习,掌握设计、施工、管理空调冷热源系统的基础知识,为走向工作岗位打下良好的基础。

本书可作为高等院校建筑环境与能源应用工程专业教材,也可供从事暖通空调专业设计、安装、运行管理工作的工程技术人员参考。

本书配有 PPT 电子课件,免费提供给选用本书作为教材的授课教师,需要者请登录机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)注册下载,或根据书末“信息反馈表”索取。

图书在版编目(CIP)数据

空调冷热源工程/丁云飞主编. —北京:机械工业出版社, 2019.9

(面向可持续发展的土建类工程教育丛书)

21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-111-63403-4

I. ①空… II. ①丁… III. ①空气调节器-制冷装置-高等学校-教材②空气调节器-加热设备-高等学校-教材 IV. ①TM925.120.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第172043号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘涛 责任编辑:刘涛 张丹丹

责任校对:樊钟英 封面设计:陈沛

责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2019年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张·555千字

标准书号:ISBN 978-7-111-63403-4

定价:56.00元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

机工教育服务网:www.cmpedu.com

序

建筑环境与设备工程（2012年更名为建筑环境与能源应用工程）专业是教育部在1998年颁布的全国普通高等学校本科专业目录中将原“供热通风与空调工程”专业和“城市燃气供应”专业进行调整、拓宽而组建的新专业。专业的调整不是简单的名称的变化，而是学科科研与技术发展，以及随着经济的发展和人民生活水平的提高，赋予了这个专业新的内涵和新的元素，创造健康、舒适、安全、方便的人居环境是21世纪本专业的重要任务。同时，节约能源、保护环境是这个专业及相关产业可持续发展的基本条件。它们和建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业的学科科研与技术发展总是密切相关，不可忽视。

新专业的组建及其内涵的定位，首先是由社会需求决定的，也是和社会经济状况及科学技术的发展水平相关的。我国的经济持续高速发展和大规模建设需要大批高素质的本专业人才，专业的发展和重新定位必然导致培养目标的调整和整个课程体系的改革。培养“厚基础、宽口径、富有创新能力”，符合注册公用设备工程师执业资格要求，并能与国际接轨的多规格的专业人才是本专业教学改革的目的。

机械工业出版社本着为教学服务，为国家建设事业培养专业技术人才，特别是为培养工程应用型和技术管理型人才做贡献的愿望，积极探索本专业调整和过渡期的教材建设，组织有关院校具有丰富教学经验的教师编写了这套建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业系列教材。

这套系列教材的编写以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则，突出特点是既照顾学科体系的完整，保证学生有坚实的数理科学基础，又重视工程教育，加强工程实践的训练环节，培养学生正确判断和解决工程实际问题的能力，同时注重加强学生综合能力和素质的培养，以满足21世纪我国建设事业对专业人才的要求。

我深信，这套系列教材的出版，将对我国建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业人才的培养产生积极的作用，会为我国建设事业做出一定的贡献。

陈在康

前 言

“空调冷热源工程”是高校建筑环境与能源应用工程专业的主干专业课，在人才培养和课程体系中占有重要地位。本书内容主要根据《高等学校建筑环境与能源应用工程本科指导性专业规范》《高等学校建筑环境与能源应用工程专业评估（认证）标准》《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准：土木类教学质量国家标准（建筑环境与能源应用工程）》所要求的知识点进行编排。本书涉及的相关技术内容均按照国家和行业现行的相关标准、规范和技术规程的要求编写。

空气调节必须有冷热源设备及系统提供冷热量，而制冷装置、热泵机组及锅炉设备是空调系统中必备的人工冷热源。本书阐述了空调冷热源设备的工作原理，介绍了冷热源设备的选择、冷热源系统的设计方法等，旨在使学生通过学习，掌握设计、施工、管理空调冷热源系统的基础知识，并具备初步实践能力，为走向工作岗位打下良好的基础。

本书由广州大学丁云飞任主编，北京建筑大学于丹、广州大学方赵嵩任副主编，广州大学朱赤晖、北京建筑大学王立鑫等参加了编写工作。具体分工如下：绪论、第1章、第2章、第7章、第8章、第9章由丁云飞编写，第3章由于丹编写，第4章由王立鑫编写，第5章由朱赤晖编写，第6章及第10章由方赵嵩编写。全书由丁云飞拟定编写大纲并进行统稿。

本书的编写得到了广州大学及机械工业出版社的大力支持。在本书的编写过程中，参考了许多同行专家学者的教材、专著和论文，并列于书末参考文献中，以便读者在使用本书过程中进一步查阅相关资料，同时对各参考文献的作者表示衷心的感谢。

本书可作为高校建筑环境与能源应用工程专业的教材，也可供从事该专业设计、安装、管理工作的工程技术人员参考。

编者

目 录

序

前言

绪论	1	1.6 制冷剂	27
0.1 能源与空气调节	1	1.6.1 制冷剂的种类与命名	27
0.1.1 我国的能源现状	1	1.6.2 制冷剂的性质	28
0.1.2 空气调节	1	1.6.3 制冷剂的替代	34
0.2 空调冷热源	2	思考题与习题	37
0.2.1 人工制冷的的方法	2	第2章 蒸气压缩式制冷循环的主要部件及冷水机组	40
0.2.2 锅炉的工作过程	3	2.1 制冷压缩机	40
0.3 空调冷热源的发展与应用	4	2.1.1 往复式压缩机	41
0.3.1 制冷技术的应用及发展	4	2.1.2 螺杆式压缩机	50
0.3.2 供热热源技术的应用和发展	6	2.1.3 离心式压缩机	58
0.4 本书的内容与学习任务	7	2.1.4 滚动转子式压缩机	63
第1章 蒸气压缩式制冷循环的基本原理	8	2.1.5 涡旋式压缩机	65
1.1 理想制冷循环	8	2.2 冷凝器	66
1.1.1 逆卡诺循环	8	2.2.1 冷凝器的种类及特点	66
1.1.2 湿蒸气区的逆卡诺循环	9	2.2.2 冷凝器的选择计算	71
1.2 蒸气压缩式制冷的理论循环	10	2.3 蒸发器	74
1.2.1 蒸气压缩式制冷的饱和循环	10	2.3.1 蒸发器的种类	74
1.2.2 蒸气压缩式制冷的的基本系统	11	2.3.2 蒸发器的选择计算	79
1.2.3 饱和循环与逆卡诺循环比较	12	2.3.3 载冷剂	82
1.3 蒸气压缩式制冷理论循环的热力计算	13	2.4 节流机构	84
1.3.1 制冷剂的热力参数	13	2.4.1 手动膨胀阀	84
1.3.2 蒸气压缩式制冷的热力计算	15	2.4.2 浮球膨胀阀	85
1.3.3 制冷量与制冷系数	17	2.4.3 热力膨胀阀	85
1.3.4 节流前过冷对制冷循环的影响	17	2.4.4 热电膨胀阀和电子脉冲式膨胀阀	88
1.3.5 吸气过热对制冷循环的影响	19	2.4.5 毛细管	90
1.3.6 回热循环	20	2.5 蒸气压缩式冷水机组	92
1.4 蒸气压缩式制冷的实际循环	21	2.5.1 蒸气压缩式冷水机组的型式	92
1.5 双级压缩与复叠式制冷	23	2.5.2 蒸气压缩式冷水机组的性能系数	94
1.5.1 双级压缩制冷循环	24	思考题与习题	97
1.5.2 复叠式制冷循环	26		

第3章 蒸气压缩式制冷系统	98	思考题与习题	147
3.1 制冷系统的典型流程	98	第5章 冷源系统设计	148
3.2 制冷系统的辅助设备	100	5.1 冷源方案的选择	148
3.3 制冷剂管路管径的确定	108	5.1.1 概述	148
3.4 制冷系统自动控制与运行调节	112	5.1.2 空调冷源选择的基本要求	148
3.4.1 制冷系统的自动阀门	113	5.2 冷水机组的选择	149
3.4.2 制冷系统的控制器	116	5.3 冷冻水系统及循环水泵的选择	152
3.4.3 蒸发器的自动调节	118	5.3.1 冷冻水系统的形式	152
3.4.4 压缩机的自动调节	120	5.3.2 冷冻水系统设计	156
3.4.5 制冷系统的自动安全保护	122	5.3.3 循环水泵的选择	159
3.5 冷库制冷系统	123	5.3.4 其他辅助设备的选择	161
3.5.1 冷库概述	123	5.4 冷却水系统及设备的选择	162
3.5.2 冷库制冷系统	124	5.4.1 冷却水系统的布置形式	162
思考题与习题	126	5.4.2 冷却塔的选择及布置	163
第4章 溴化锂吸收式机组	127	5.4.3 冷却水泵的选择	165
4.1 溴化锂吸收式制冷的基本原理	127	5.5 凝结水系统	165
4.1.1 吸收式制冷的工作过程	127	5.5.1 凝结水管设置原则	165
4.1.2 溴化锂水溶液的特性及热力 状态图	128	5.5.2 凝结水管管径	166
4.1.3 溴化锂吸收式制冷机的 工作原理	130	5.6 管路系统的隔热措施	166
4.2 溴化锂吸收式制冷机的热力计算	133	5.6.1 绝热材料及性能	166
4.2.1 热力计算过程	133	5.6.2 绝热层厚度的确定	167
4.2.2 制冷循环工作参数的确定	134	5.7 冷源综合制冷性能系数	170
4.3 双效溴化锂吸收式制冷机	135	思考题与习题	171
4.3.1 蒸气型双效溴化锂吸收式 制冷机	136	第6章 蓄冷系统	172
4.3.2 直燃型双效溴化锂吸收式冷 热水机组	137	6.1 概述	172
4.4 溴化锂吸收式制冷机的型式与结构	139	6.1.1 蓄冷空调技术的原理	172
4.4.1 溴化锂吸收式制冷机的主要 型式	139	6.1.2 蓄冷设计模式与控制策略	172
4.4.2 溴化锂吸收式制冷机的主要部件与 附属设备	140	6.1.3 蓄冷空调技术的发展与应用	174
4.5 溴化锂吸收式制冷机的性能调节	142	6.2 水蓄冷空调系统	174
4.5.1 外界条件变化对机组性能的 影响	142	6.2.1 水蓄冷空调系统的特点	174
4.5.2 部分负荷时的能量调节	142	6.2.2 水蓄冷空调系统的形式	175
4.5.3 溴化锂吸收式冷水机组性能参数 限值	144	6.2.3 水蓄冷槽的类型及其特点	176
4.6 溴化锂吸收式热泵	145	6.2.4 水蓄冷空调系统设计	178
4.6.1 第一类吸收式热泵	145	6.3 冰蓄冷空调系统	180
4.6.2 第二类吸收式热泵	146	6.3.1 蓄冰技术	181
		6.3.2 冰蓄冷空调系统的循环流程	184
		6.3.3 冰蓄冷空调系统设计	185
		思考题与习题	188
		第7章 热泵	189
		7.1 热泵的工作原理及热源	189
		7.1.1 热泵的工作原理	189
		7.1.2 热泵的热源	190
		7.2 地源热泵系统的组成及类别	190

7.2.1 地源热泵系统的组成及工作 原理	190	8.4.5 辅助受热面	250
7.2.2 地源热泵系统的分类	191	8.5 烟风系统	252
7.2.3 地源热泵系统的特点	191	8.5.1 锅炉通风	252
7.3 土壤源热泵系统	192	8.5.2 烟气净化	255
7.3.1 土壤源热泵系统的分类及特点	192	8.6 汽水系统	257
7.3.2 土壤换热器	193	8.6.1 水循环的原理	257
7.4 地下水源热泵系统	200	8.6.2 汽水分离	258
7.4.1 地下水源热泵系统的分类及 特点	200	8.6.3 锅炉水处理	258
7.4.2 闭式环路地下水系统	201	8.7 辅助设备	263
7.4.3 开式地下水系统	206	8.7.1 运煤系统	263
7.5 地表水源热泵系统	208	8.7.2 除渣系统	264
7.5.1 地表水源热泵系统的分类及 特点	208	8.8 锅炉常用附件	265
7.5.2 开式地表水源热泵系统	210	8.9 供热锅炉节能	267
7.5.3 闭式地表水源热泵系统	212	8.9.1 锅炉能效	267
7.5.4 特殊地表水源热泵	213	8.9.2 锅炉节能运行	267
7.6 空气源热泵	215	思考题与习题	269
7.6.1 空气源热泵的特点	215	第9章 供热锅炉房与供热站	270
7.6.2 空气源热泵冷热水机组	216	9.1 供热锅炉房的设计	270
7.6.3 空气源热泵多联机	217	9.1.1 锅炉型号及台数的选择	270
7.6.4 四通换向阀	221	9.1.2 燃煤锅炉房	271
7.6.5 蒸发器的除霜方法	222	9.1.3 燃油及燃气锅炉房	273
思考题与习题	224	9.2 集中供热站	281
第8章 供热锅炉	225	9.2.1 民用热力站	282
8.1 概述	225	9.2.2 板式换热器	284
8.1.1 锅炉房设备的组成	225	9.2.3 热力站的自动控制	285
8.1.2 锅炉的工作过程	226	思考题与习题	288
8.1.3 锅炉的分类	227	第10章 冷热电三联供系统	289
8.1.4 锅炉基本特性的表示方法	228	10.1 概述	289
8.2 锅炉燃料	232	10.2 集中式冷热电联供技术	291
8.2.1 燃料的成分及分析基准	232	10.2.1 集中式冷热电联供系统的 形式	291
8.2.2 燃料的种类及特性	234	10.2.2 集中式冷热电联供系统的冷热媒 及冷热量调节	294
8.3 锅炉热平衡与燃烧计算	239	10.2.3 集中式冷热电联供的输配 系统	295
8.3.1 锅炉热平衡	239	10.3 建筑分布式冷热电联供技术	296
8.3.2 锅炉热效率	240	10.3.1 分布式发电技术	297
8.3.3 燃烧计算	243	10.3.2 热回收技术	298
8.4 常用燃烧设备	246	思考题与习题	300
8.4.1 链条炉	246	附录	301
8.4.2 循环流化床炉	247	附录 A R22 饱和状态下的热力性质	301
8.4.3 燃油、燃气锅炉	248	附录 B R717 饱和状态下的热力性质	303
8.4.4 水煤浆锅炉	249	附录 C R134a 饱和状态下的热力性质	306

附录 D	R22 过热蒸气的热力性质	308	附录 I	R134a 的 $p-h$ 图	319
附录 E	R717 过热蒸气的热力性质	311	附录 J	R22 的 $p-h$ 图	320
附录 F	R134a 的过热性质	314	附录 K	LiBr-H ₂ O 溶液的 $h-\xi$ 图 (1)	321
附录 G	乙二醇水溶液的热物性值	316	附录 L	LiBr-H ₂ O 溶液的 $h-\xi$ 图 (2)	322
附录 H	R717 (NH ₃) 的 $p-h$ 图	318	参考文献		323



绪 论

0.1 能源与空气调节

0.1.1 我国的能源现状

随着我国经济的持续快速发展,能源消耗量急剧增加,不仅能源供需严重失衡,而且不可再生能源资源的过度消耗也将影响人类生存的自然环境。

据国家统计局公布的数据显示,我国2016年全年能源消耗总量为43.6亿吨标准煤(tce),比2012年增长8.4%,仅2015年全年用电量达58020亿kW·h,比2012年增长16.6%。近年来我国城镇化高速发展带动了建筑业持续发展。截至2015年我国建筑面积总量约573亿m²,建筑运行总商品能耗为8.64亿tce,约占全国能源消耗总量的20%,全年总碳排放量达22.2亿吨CO₂。随着人民生活水平的提高,对室内环境的热舒适要求也越来越高。在建筑运行能耗中,空调系统能耗超过50%。此外,随着产业升级,在食品药品生产和加工、大规模集成电路及锂电池生产等工业领域,对厂房热湿环境有严格的要求,工业厂房的空调系统能耗占比越来越高。

为空调系统空气处理过程提供冷量和热量的系统分别称为冷源和热源,它们消耗了大量能源,因此,空调冷热源工程的主要任务不仅在于设计合理的冷热量供应系统,提供空气处理过程所需要的冷量和热量,而且要满足系统高效运行的要求,提高能源利用效率,达到节约能源的目的。

0.1.2 空气调节

空气调节指对某一房间或空间内的温度、湿度、空气流动速度、洁净度进行调节与控制,并提供足够的新鲜空气。空气调节简称为空调。

在夏季,一个房间可能获得以下热量和湿量:

- 1) 透过玻璃窗进入的太阳辐射热量。
- 2) 由于室内外温差通过建筑围护结构传入的热量。
- 3) 人员的散热量与散湿量。
- 4) 灯光散热量。
- 5) 设备散热量和散湿量。

空调的任务就是从房间内移出这些多余的热量和湿量(通常称为冷负荷和湿负荷),从而维持室内一定的温度和湿度,以满足人们工作、生活及工业生产的需求。

具体地说,可以利用一种温度较低的介质来吸收这些多余的热量和除去空气中的湿量。例如,将温度较低的地下水(深井水)或由冰融化得到的低温水供入空调设备的空气冷却器中,以带走房间内的热量和湿量。这种自然界中存在的低温物质(深井水或天然冰)称为“天然冷源”。但天然冷源的使用受地理、气候、环境等条件的限制,因此,必须采用人工制冷的方法得

到一种低温介质。“人工制冷”就是借助一种专门装置，消耗一定量的外界能量，使热量从温度较低的被冷却物体或空间转移到温度较高的周围环境中去，这种专门装置称为制冷装置或制冷机。

在冬季，一个房间会失去热量，包括围护结构传热耗热量、冷风渗透耗热量及冷风侵入耗热量，有时会有太阳辐射进入室内，使室内得到一定的热量。房间的失热量与得热量之差即为房间的热负荷。要维持房间在一个合适的温度（如 20°C ），创造适宜的生活条件或工作条件，必须给房间供暖，就是用人工方法向室内供给热量，保持一定的室内温度。把给房间提供热量的装置称为热源，根据热源热量转换的来源不同，常见的热源有锅炉、热泵等。

0.2 空调冷热源

0.2.1 人工制冷的方法

制冷的方法很多，可分为物理方法和化学方法，绝大多数的方法是物理方法。目前广泛应用的制冷方法有以下几种。

1. 相变制冷

物质有固态、液态和气态三种状态。物质状态的改变称为相变。相变过程中，由于物质分子重新排列和分子运动速度的改变，就要吸热或放热，这种热量称为相变潜热。利用物质相变过程要吸热这一现象可以实现制冷的目的。

(1) 熔解 固体物质在一定温度下转变为液体称为熔解。1kg 固体物质在一定温度下熔解所吸收的热量称为熔解热。冰融化时的熔解热为 334.9kJ/kg 。冰的熔解温度为 0°C ，低于环境温度，可用来制冷。如图 0-1 所示，在一小室内放一盛冰的容器，如外界温度为 20°C ，则冰融化吸热而把小室冷却，并维持小室一定的低的温度，如 10°C 。

(2) 汽化 液体转变为蒸气称为汽化。汽化过程有蒸发和沸腾两种。蒸发是液体表面的汽化过程，任何一种液体裸露在空气中时，液体表面分子中动能较大的分子克服表面张力的作用而飞逸到自由空间中去，这种汽化过程称为蒸发。蒸发可以在任何温度下发生，即使在温度低于该压力的饱和温度下也可以发生蒸发现象。当液体温度等于饱和温度时，不仅在液体表面，而且在液体内部都发生汽化，这种汽化过程称为沸腾。这时的温度称为该压力下的沸点。沸腾是液体强烈的汽化过程。液体汽化要吸热，1kg 液体汽化所吸收的热量称汽化潜热，简称为汽化热。例如，氨在 1 标准大气压下的汽化热为 1370kJ/kg ，这时的沸点为 -33.4°C 。这种在低温下的汽化吸热效应可用来制冷。图 0-2 所示为利用液体汽化实现制冷的简单装置。在小室内放一通大气的

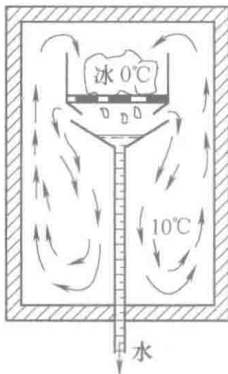


图 0-1 利用冰的熔解制冷

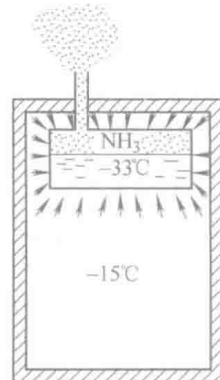


图 0-2 利用液体汽化制冷

容器，内盛沸点较低的液体（如氨液）。由于容器是通大气的，氨液在大气压下的饱和温度（即沸点）约为 -33°C ，则温度较高的室内空气的热量传入容器内温度较低的氨液，使氨液汽化成蒸气，氨蒸气通过排气管排出小室外，而同时把小室冷却下来。汽化过程中压力保持不变，温度也保持不变，是一个等压等温的过程。

(3) 升华 当压力低于三相点压力时，固体物质直接转化为气态的现象称为升华。升华要吸热， 1kg 固体物质在一定压力下升华所吸收的热量称为升华潜热，简称为升华热。如干冰（固体 CO_2 ）在1标准大气压下的升华热为 573.6kJ/kg 。升华吸热效应也可用来制冷。

2. 气体绝热膨胀制冷

一定状态的气体通过节流阀或膨胀机绝热膨胀，温度降低，从而达到制冷的目的。气体绝热节流可以通过节流阀来实现。当气体经过节流阀时，流速大，时间短，来不及与外界进行热交换，可以近似地看作绝热过程。气体在绝热节流前后焓值不变。对于理想气体，焓值只是温度的函数，所以理想气体节流前后的温度是不变的。而实际气体，焓值是压力和温度的函数，所以实际气体绝热节流后的温度将发生变化，这一现象称为焦耳-汤姆逊效应。气体节流后温度降低还是升高与气体初始状态有关。大多数气体（如空气、氧、氮、二氧化碳等）在常温下节流后的温度都降低，可以用来制冷。其工作原理如图0-3所示。

3. 温差电制冷（半导体制冷）

1834年珀尔贴发现了如下现象：在两种金属组成的闭合电路中接上一个直流电源，则在一个接合点变冷（吸热），在另一个接合点变热（放热），这种现象称珀尔贴效应。这个效应是温差电制冷方法的基础。但是纯金属的珀尔贴效应很弱，而且还有热量从热接合点导到冷接合点的干扰，因而当时一直未被应用。直到近代半导体的发现才使温差电制冷成为现实，因此目前温差电制冷称为半导体制冷。半导体分两类：电子型（N型）和空穴（P型）。用这两种半导体组成闭合电路（见图0-4），并接直流电源，这时就有明显的珀尔贴效应。系统中的铜起导电作用。系统中只需很小的直流电压，每一对半导体只需零点几伏，而所获得的制冷量也很小。因此，实际的制冷器都由若干半导体组合件串联而成，所有的热接合点在一侧，所有的冷接合点在另一侧，即一侧放热，另一侧吸热制冷。目前半导体制冷用在小型制冷器中。

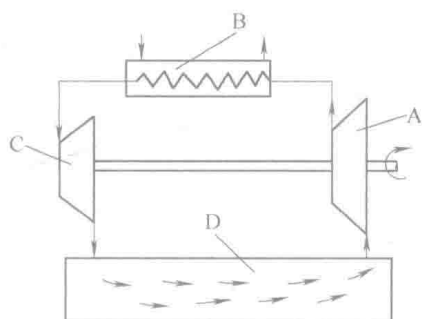


图 0-3 气体绝热膨胀制冷

A—压缩机 B—冷却器 C—膨胀机 D—冷室

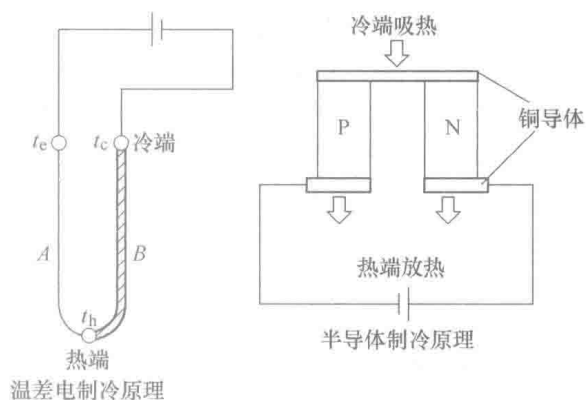


图 0-4 半导体制冷

0.2.2 锅炉的工作过程

锅炉是利用燃料或其他能源的热能，把工质加热到一定参数的换热设备。

锅炉是供热之源。锅炉及锅炉房设备的任务,在于安全、可靠、经济有效地将燃料的化学能转化为热能,进而将热能传递给水,以产生热水或蒸汽。把用于动力、发电方面的锅炉,称为动力锅炉;把用于工业及供暖方面的锅炉,称为供热锅炉,通常称为工业锅炉。

锅炉的工作包括三个过程,燃料的燃烧过程、烟气向水的传热过程 and 水的吸热、汽化、过热过程。其中任何一个过程进行得正常与否,都会影响锅炉运行的安全性和经济性。

1. 燃料的燃烧过程

燃料燃烧所需的空气由鼓风机通过风道送入炉膛,与燃料混合燃烧,燃烧后形成的灰渣通过除渣装置排出,产生的高温烟气进入炉内传热过程。

2. 烟气向水的传热过程

炉膛的四周墙面上布置有水冷壁。高温烟气与水冷壁进行强烈的辐射换热,将热量传递给管内工质。烟气经炉膛出口冲刷蒸汽过热器、省煤器及空气预热器,与管内工质进行对流换热。

3. 水的吸热、汽化、过热过程

锅炉工作时,经过水处理的锅炉给水由给水泵加压,先经过省煤器而得到预热,然后进入锅筒。一部分锅水经下降管、下集箱进入水冷壁中吸热,形成汽水混合物,进入锅筒;另一部分锅水经对流管束吸热后形成汽水混合物进入锅筒。

借助上锅筒内装设的汽水分离装置,分离出的饱和蒸汽进入蒸汽过热器,成为过热蒸汽,提供给用热单位使用。

0.3 空调冷热源的发展与应用

0.3.1 制冷技术的应用及发展

1. 制冷技术的应用

最初制冷主要用于防暑降温和食品的贮藏。但是,随着社会的进步和科学技术的发展,制冷技术在各个领域都得到广泛的应用,主要应用在以下几个方面。

(1) 空调的冷源 空调广泛地应用于工业生产及生活服务设施中。在工业领域,如光学仪器、仪表、精密计量、量具、精密机床、半导体、纺织、合成纤维、印刷、电影胶片洗印等生产车间,大型生产过程的控制室,各种计算机房等都要求对环境的温度、湿度、洁净度进行不同程度的控制;大会堂、影剧院、体育馆、图书馆、宾馆和饭店、展览馆等公共建筑和汽车、飞机、火车等交通工具都需要有舒适性的空调系统;住宅需要舒适性空调(常采用家用空调器);又如一些高温车间、炎热地区的生产车间需要防暑降温;地下铁路、地下商业街和仓库等的地下建筑和构筑物也都需要空调。因此,随着人们生活水平的提高和社会经济的不断发展,空调将在更大范围内发挥它的作用,随之,制冷技术的应用也将日益扩大和发展。

(2) 食品工业 食品工业的发展与制冷技术有着密切的关系。目前,制冷技术广泛地用于食品工业中一些易腐食品,如鱼、肉、蛋、果品、蔬菜等的加工、贮藏和运输,都需要在低温条件下进行,以保证食品的质量和减少干缩损耗。现代化的食品工业,从食品的生产、贮运到销售,已经形成完整的冷链。所采用的制冷装置包括冷库、冷藏汽车、冷藏船、冷藏列车、冷藏柜、冰箱等。其他如冷饮品、饮料等工业也都需要制冷装置。

(3) 机械、电子工业 机械工业中,应用冷处理方法可以改善钢的性能,使产品硬度增加、寿命延长。例如,合金钢经淬火后有残留奥氏体,如果在 $-70\sim-90^{\circ}\text{C}$ 的低温下对它处理,奥氏体就变成马氏体,从而提高了钢的硬度及强度。经冷处理的刃具,其使用寿命可延长 $30\%\sim 50\%$ 。

电子工业中,许多电子元器件需要在低温或恒温环境中工作,以提高其性能,减少元件发热和环境温度的影响。例如,电子计算机储能器、多路通信、雷达、卫星地面站等电子设备需要在低温下工作。

(4) 医疗卫生方面 一些医疗手术,如心脏、肿瘤、白内障的切除等,皮肤和眼球的移植手术及低温麻醉等,都需要制冷技术。医药工业中利用真空冷冻干燥法冻干生物制品及药品。一些药物、疫苗及血浆等都需要在低温下贮藏。

(5) 科学研究方面 一些科学研究机构,如材料研究所、物理研究所、化学研究所等都需要人工制冷,以满足科学研究和试验的需要。

(6) 土木工程方面 在建造堤坝、码头、隧道,挖掘矿井时,如遇到含水的泥沙,可以在施工地段的周围造成冻土围墙,以防止水分渗入,增加护壁的力度,保障工程安全施工。混凝土固化时会释放反应热,为了避免发生热膨胀和产生应力,应把这些热量除去:在大型工程(如水坝)中,可以用制冷的办法预先将沙、砾石、水和水泥等在混合前冷却,或在混凝土内埋入冷却水管使之冷却。

(7) 现代农业方面 现代农业中,浸种、育苗、微生物除虫、良种的低温贮存、冻干法保存种子、低温贮粮等都要求运用制冷技术。

(8) 体育运行方面 现代的冰上运动包括冰球、速滑、花样滑冰、冰上舞蹈等,这些冰上运动对冰场的质量、环境提出了更高的要求。因此,人工冰场在各国得到了迅速的发展。人工冰场的出现对普及冰上运动、延长冰上运动时间和扩大冰上运动的地域,以及提高冰上运动的水平都起着积极的作用。

总之,制冷技术的应用是非常广泛的,随着科学技术的进步,社会经济的发展,人类生活水平的不断提高,制冷技术在国民经济中的应用将展示出更加宽广的前景。

2. 制冷技术的发展

中国人很早就知道利用天然冰进行食品的冷藏和防暑降温,在《诗经》和《周礼》中就有了“凌人”和“凌阴”的记载。“凌”就是冰,这说明在奴隶社会的周朝,已有专门管理冰的人员和贮藏冰的房屋。1986年在陕西省姚家岗秦雍城遗址,发掘出可以贮藏 190m^3 冰块的地下冰室。这说明早在春秋时期,秦国就很重视食物冷藏和防暑降温方面的设施建设。我国劳动人民在采集、贮运和使用天然冰方面积累了丰富的经验。

现代制冷技术作为一门科学,是19世纪中期和后期发展起来的。1834年,美国人波尔金斯(Perkins)试制成功了第一台以乙醚为制冷剂的蒸气压缩式制冷机。1844年高里(Gorrie)在美国费城用封闭循环的空气制冷机建立了一座空调站。1859年法国人卡列(Carre)制成了氨水吸收式制冷机。1875年卡列和林德(Linde)用氨作为制冷剂,制成了氨蒸气压缩式制冷机,从此蒸气压缩式制冷机一直占据统治地位。1910年左右,马利斯·莱兰克(Maurice Lehlan)在巴黎发明了蒸气喷射式制冷机,由于它的热力系数较小,且容量一般较大,所以应用不很广泛。

进入20世纪以后,制冷技术有了更大的发展。随着制冷机械的发展,制冷剂的种类也不断增多。1930年以后,氟利昂制冷剂的出现和大量应用,曾使压缩式制冷技术及其应用范围得到极大的发展。由于氟利昂具有良好的热力性质,使制冷技术的发展进入了一个新的阶段。1974年以后,人类发现氟利昂簇中的氯氟碳化物(简称CFC)严重地破坏臭氧层,危害人类的健康和破坏地球上的生态环境,是公害物质。因此减少和禁止CFC的生产和使用,已成为国际社会共同面临的紧迫任务,研究和寻求CFC制冷剂的替代物,以及面对由于更换制冷剂所涉及的一系列工作,也成为急需解决的问题。近年来,世界各国都投入了大量的人力和财力,对一些有可能成为CFC的替代物及其配套技术进行了大量的试验研究,并开始使用混合溶液作为制冷剂,

使蒸汽压缩式制冷的发展有了重大的技术突破。与此同时,其他制冷方式和制冷机的研究工作进一步加快,特别是吸收式制冷机已经有了更大的发展。而且面对世界性的能源危机和环境污染,对制冷机的发展提出了更高的节能和环保要求。

受微电子、计算机、新型原材料和其他相关工业领域技术进步的渗透和促进,制冷技术取得了突破性的发展。从制冷的温度范围来说,可以获得从稍低于环境温度直到接近于绝对零度的低温。单机组的制冷量从几十瓦到几万千瓦。制冷机的种类和型式也在不断增加,制冷系统的流程、主机、辅机、制冷剂及自动控制都在不断地发展。计算机在制冷机的设计、制造、测试、控制及生产管理等方面的广泛应用,为更好地实现设计的优化及制冷系统调节控制的自动化,为取得最佳的技术经济效益和环境效益,提供有利的条件和可靠的保障。

由于我国长期处于封建社会,束缚了生产力的发展和技术的进步,现代的制冷技术一直没有得到发展。直到1949年,我国还没有能制造制冷设备的工厂,只在沿海几个大城市有几家进行配套安装空调工程的洋行和修理冰箱的小作坊,制冷设备均为国外引进。全国仅有少数冷库,总库容量不到3万吨。我国的制冷机制造工业起源于20世纪50年代末期,是在几个安装、修理厂的基础上发展起来的。从开始仿制生产活塞式制冷机,到自行设计和制造,并制定了有关的系列标准,以后又陆续发展了其他类型的制冷机。目前已有活塞式、螺杆式、离心式、涡旋式、吸收式、热电式及蒸气喷射式等类型的制冷装置,许多产品的质量和性能已接近和达到世界先进水平。

0.3.2 供热热源技术的应用和发展

我国在远古时期,就有钻木取火的传说,西安半坡村挖掘出土的新石器时代仰韶时期的房屋中,就发现有长方形灶炕,屋顶有小孔用以排烟,还有双连灶形的火炕。在《今古图书集成》中记载,夏、商、周时期就有供暖火炉。从出土的古墓中表明,汉代就有带炉算的炉灶和带烟道的局部供暖设备。火地是我国宫殿中常用的供暖方式,至今在北京故宫和颐和园中还完整地保存着。这些利用烟气供暖的方式,如火炉、火墙和火炕等,在我国北方农村还被广泛地使用着。

蒸汽机发明以后,促进了锅炉制造业的发展。19世纪初期,在欧洲开始出现了以蒸汽或热水作为热媒的集中式供暖系统。集中供暖方式始于1877年,当时在美国纽约建成了第一个区域锅炉房,向附近14家用户供暖。

20世纪初期,一些工业发达国家开始利用发电厂汽轮机的排汽,供给生产和生活用热,其后逐渐成为现代化的热电厂。在20世纪,特别是第二次世界大战以后,城镇集中供暖得到较迅速的发展。其主要原因是集中供暖(特别是热电联产)明显地具有节约能源、改善环境和提高人民生活水平以及保证生产用热要求的优点。

利用地热能源供暖已有近百年的历史。世界上最早利用地热供暖的有意大利和新西兰等国家。冰岛首都雷克雅维克市的地热供暖系统规模很大,据1980年资料记载,全市约98.5%(约10万人)已使用地热供暖和热水供应。地热水温度一般为80~120℃。此外,在匈牙利、日本、美国、苏联等许多国家都有地热水供暖系统。在我国,天津、北京等地也相继出现了地热供暖,目前已有20多个省市和自治区开展了地热能的勘探和开发利用,地热能供暖也有了一定的发展前景。

原子核的裂变和聚变可以释放巨大的能量。核应用于热电联产始于1965年。目前世界上已建成的核电站超过300座。例如,瑞典首都斯德哥尔摩市附近的沃加斯塔核热电厂,用背压汽轮机组排出的蒸汽加热高温水,为距厂约4.5km远的沃加斯塔地区15000户、4万人口的住宅区供暖。低温核反应堆供暖利用铀的裂变产生热能,通过低温热能交换装置,输送给用热单位。这种

供暖方式与燃烧煤或油的锅炉供暖相比较,具有无污染、成本低、投资少等优点。我国第一座5MW低温核反应堆供暖系统由清华大学核能技术研究所主持研制,1986年3月动工,1989年5月建成。

此外,大型的工业企业,如钢铁、化工联合工业企业等,最大限度地利用生产工艺用热设备的余热装置,已成为生产工艺流程中不可缺少的组成部分。工业余热利用是节约能源的一个重要途径。

近年来,热泵作为一种高效热源装置得到了广泛应用,它可以充分利用低品位热能。19世纪早期法国科学家萨迪·卡诺(Sadi Carnot)在1824年首次以论文提出“卡诺循环”理论,1852年英国科学家开尔文(L. Kelvin)提出冷冻装置可以用于加热,将逆卡诺循环用于加热的热泵设想。他第一个提出了一个正式的热泵系统,当时称为“热量倍增器”。之后许多科学家和工程师对热泵进行了大量研究,持续80年之久。1912年瑞士的苏黎世成功安装一套以河水作为低位热源的热泵设备用于供暖,这是世界上第一套热泵系统。热泵工业在20世纪40年代到50年代早期得到迅速发展,家用热泵和工业建筑用的热泵开始进入市场,热泵进入了早期发展阶段。20世纪70年代以来,热泵工业进入了黄金时期,世界各国对热泵的研究工作都十分重视,诸如国际能源机构和欧洲共同体,都制定了大型热泵发展计划,热泵新技术层出不穷,热泵的用途也在不断地开拓,广泛应用于空调和工业领域,在能源的节约和环境保护方面起了重大的作用。21世纪,随着“能源危机”的出现,燃油价格忽升,经过改进发展成熟的热泵以其高效回收低温环境热能、节能环保的特点,重新登上历史舞台,成为当前最有价值的新能源科技。

0.4 本书的内容与学习任务

空调必须有冷热源设备及系统提供冷量及热量,而制冷(热泵)装置及锅炉设备是空调中常用的人工冷热源。本书主要讲述了冷热源系统的基本原理及设备组成,介绍了空调冷热源设备的选择、系统设计方法。通过本门课程的学习,学生应具有空调冷热源工程的设计、施工、运行管理的基础知识和初步能力,为走向工作岗位打下良好的基础。

第 1 章

蒸气压缩式制冷循环的基本原理

1.1 理想制冷循环

1.1.1 逆卡诺循环

由工程热力学原理可知，逆卡诺循环是由两个等温过程和两个绝热过程交替进行的逆向循环。逆卡诺循环在 $T-s$ 图上的表示如图 1-1 所示。

逆卡诺循环实际上是一个理想制冷系统的工作循环，图 1-2 是逆卡诺循环制冷机的原理图。制冷机由绝热压缩机、等温压缩机、绝热膨胀机和等温膨胀机所组成。四个设备用管道连接，制冷剂在这四个设备中依次循环，完成四个工作过程，以图 1-1 为例进行说明。

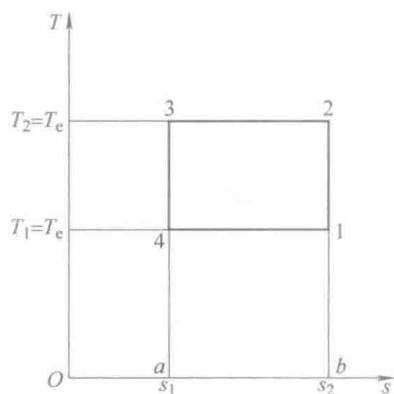


图 1-1 逆卡诺循环在 $T-s$ 图上的表示

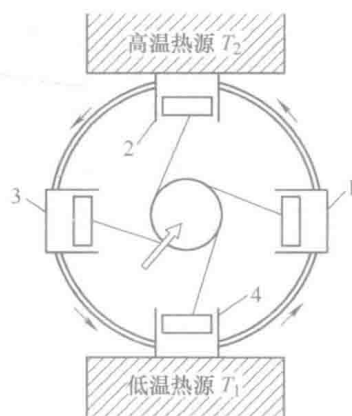


图 1-2 逆卡诺循环制冷机

1—绝热压缩机 2—等温压缩机 3—绝热膨胀机 4—等温膨胀机

绝热压缩过程 1-2: 在绝热压缩机中完成，制冷剂的温度由 T_1 升高到 T_2 ，与外界无热量交换，但外界对制冷剂做功。

等温压缩过程 2-3: 在等温压缩机中完成，制冷剂向高温热源放出热量 Q_2 ，外界对制冷剂做功。

绝热膨胀过程 3-4: 在绝热膨胀机中完成，制冷剂温度由 T_3 降到 T_4 ，膨胀时对外做功，但与外界无热量交换。

等温膨胀过程 4-1: 在等温膨胀机中完成，膨胀时对外做功，同时从低温热源中吸取热量 Q_1 。

制冷剂经历 1-2-3-4-1 过程后恢复到初始状态，完成一个工作循环，系统从低温热源吸收了热量 Q_1 （系统的制冷量），向高温热源放出了热量 Q_2 ，同时外界对系统做功 W （循环过程消耗的功为四个过程功量的代数和）。在 $T-s$ 图（示热图）上，过程线下的投影面积即为该过程所放出或吸收的热量，则面积 41ba4 为过程 4-1 每 kg 制冷剂所吸收的热量，面积 23ab2 为过程 2-3 每