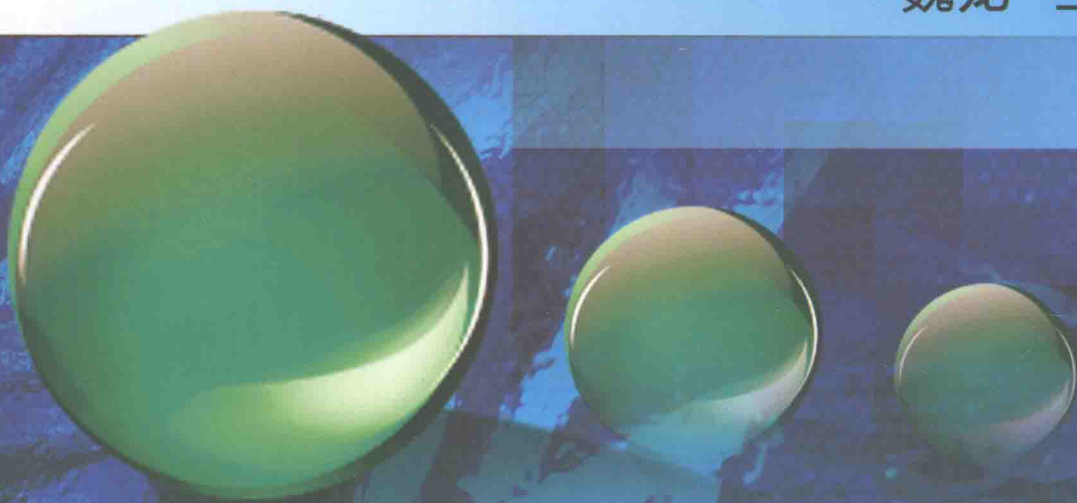


高等职业教育“十二五”规划教材
制冷与空调/制冷与冷藏专业

制冷与空调设备

ZHILENG YU KONGTIAO SHEBEI

魏龙 主编



赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等职业教育“十二五”规划教材
制冷与空调/制冷与冷藏专业

制冷与空调设备

主 编 魏 龙
副主编 田 茹
参 编 常新中 刘 杨
主 审 傅 璞



机械工业出版社

本书针对高等职业技术教育的特点,从实用性出发,将制冷压缩机、制冷设备、空调设备、泵与风机及相关实训的经典内容与最新成果进行了优化组合,是一本课程改革综合化教材。

全书共分7章,内容包括:制冷压缩机、制冷系统热交换设备、节流机构与辅助设备、制冷机组、空气调节设备、空气调节机组、冷媒水和冷却水系统设备。本书适用学时为60~80(含实训),少学时教学可根据需要删去部分内容。

本书可作为高等职业技术学院制冷与空调、制冷与冷藏、供热通风与空调工程等专业教材,以及相关行业岗位培训教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调设备/魏龙主编. —北京:机械工业出版社,2012.2
高等职业教育“十二五”规划教材. 制冷与空调、制冷与冷藏专业
ISBN 978-7-111-37199-1

I. ①制… II. ①魏… III. ①制冷装置—高等职业教育—教材
②空气调节设备—高等职业教育—教材 IV. ①TB65

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第011386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:张双国 责任编辑:张双国 程足芬

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀芝

封面设计:马精明 责任印制:李妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2012年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·435千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37199-1

定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着社会的不断进步，国民经济的快速发展，人民生活水平的不断提高，制冷与空调技术显示出越来越重要的作用，已广泛应用于工业、农业、商业、国防、医药卫生、建筑工程、生物工程、宇宙开发及人民生活等各个领域。

我国制冷与空调行业的发展有两个显著特点：一是社会需求持续增长；二是新技术、新设备的应用和更新不断加快。这意味着今后需要大量的掌握新技术、新设备的高级技能型、应用型制冷与空调专业的人才。

作为高等教育的重要组成部分，高等职业技术教育旨在培养在生产、建设、管理、服务第一线工作的高素质技能型人才，其显著特征是具有应用多种知识和技能解决现场实际问题的能力，即技术应用能力。为实现这一宏观培养目标，专业课程设置需要做出相应的调整，课程内容的优化、组合和重构也势在必行。

打破传统课程结构的封闭性，进行课程门类相对集中的综合化是目前高职教学改革的重要手段之一。通过综合，减少了课程间的重复内容，避免了知识的相互割裂和脱节，突出了专业能力的培养，促进了理论与实践、基础与专业之间的紧密结合，有利于学生综合能力的培养。

近几年，许多高职院校的制冷与冷藏（空调）技术、供热通风与空调工程专业在分析人才知识、能力和素质结构，构建教学内容和课程体系时，不约而同地将“制冷压缩机”、“制冷设备”、“空调设备”、“泵与风机”整合为“制冷与空调设备”一门课程，但与之相配套的教材建设还相对滞后。

本书是将制冷与空调设备的经典内容及最新成果，按照知识、能力、素质的内在联系和人的认识规律，按照教学的科学性、自然适应性、可接受性和循序渐进性等教育教学规律优化组合而成。

在编写方面，本书力求体现以下特点：

1) 编写目标明确，不刻意强调知识的系统性、理论性和完整性，而是根据高等职业教育制冷与空调专业学生就业的岗位工作特点，以能力培养为根本出发点，内容的选取和编排既满足专业理论的需要又突出基本技能的训练，文字表达上力求简单易懂。

2) 淡化理论和公式推导，强调从基本概念、基本结构入手，突出对制冷与空调设备的工作原理、结构特点的理解和应用。教材内容深浅适中，符合高等职业教育的教学规律和特点，可教性和可学性较强。

3) 理论阐述简明扼要，突出基本理论、基本概念、基本结构和基本方法，侧重于基础知识、基本理论在实际应用中的分析讨论，所举实例与工程实际结合较好，有利于启发学生分析和解决工程实际问题的思路、方法，培养相应的能力。

4) 在强调实用性、典型性的同时，充分重视内容的先进性。尽可能地反映与制冷空调设备关联的新标准、新技术、新设备、新工艺、新方法的应用和发展。

IV 制冷与空调设备

5) 加强实训。在充分考虑实训条件要求的情况下,在主要章节安排了相关的实训内容,以锻炼学生的实际动手操作能力。

6) 每章之前有学习导引,每章之后有思考与练习题,且配有多媒体课件,以使学习者对各部分内容有一个整体的把握,同时也有利于学生的自主学习和教师教学。

本书由魏龙任主编,田茹任副主编。具体的编写分工为:魏龙编写绪论、第1章、第3章、第4章;田茹编写第2章;刘杨编写第5章;常新中编写第6章、第7章。

傅璞主审了本书,提出了许多宝贵的修改意见。房桂芳做了大量的文字和插图的处理工作。在本书编写过程中,得到了戴路玲、张国东、冯飞、蒋李斌、刘其和、曾焕平、李强、黄建、滕文锐等的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

限于编者的经验和水平,书中难免存在不妥之处,恳请广大师生和同行批评指正,以使本书在教学实践中日臻完善。

编 者

目 录

| | |
|------------------------|-----|
| 前言 | |
| 绪论 | 1 |
| 第1章 制冷压缩机 | 6 |
| 1.1 制冷压缩机的分类、应用范围及名义工况 | 7 |
| 1.2 活塞式制冷压缩机 | 11 |
| 1.3 螺杆式制冷压缩机 | 56 |
| 1.4 其他类型的制冷压缩机 | 75 |
| 实训1 活塞式制冷压缩机的拆装 | 95 |
| 实训2 螺杆式制冷压缩机的拆装 | 101 |
| 思考与练习 | 104 |
| 第2章 制冷系统热交换设备 | 106 |
| 2.1 蒸发器 | 107 |
| 2.2 冷凝器 | 120 |
| 2.3 蒸发器—冷凝器组和冷凝蒸发器 | 134 |
| 2.4 其他热交换设备 | 136 |
| 实训3 热交换设备的结构认识与清洗 | 140 |
| 思考与练习 | 142 |
| 第3章 节流机构与辅助设备 | 143 |
| 3.1 节流机构 | 144 |
| 3.2 制冷系统辅助设备 | 151 |
| 思考与练习 | 171 |
| 第4章 制冷机组 | 172 |
| 4.1 活塞式制冷机组 | 172 |
| 4.2 螺杆式制冷机组 | 176 |
| 4.3 离心式冷水机组 | 180 |
| 4.4 涡旋式冷水机组 | 182 |
| 思考与练习 | 182 |
| 第5章 空气调节设备 | 183 |
| 5.1 空气加热与冷却设备 | 183 |
| 5.2 空气加湿与除湿设备 | 190 |
| 5.3 空气净化设备 | 199 |
| 5.4 空气调节通风设备 | 210 |
| 5.5 空调系统能量回收装置 | 223 |
| 实训4 空气调节设备的结构认识 | 227 |
| 思考与练习 | 228 |
| 第6章 空气调节机组 | 229 |
| 6.1 组合式空调机组 | 229 |
| 6.2 整体式空调机组 | 234 |
| 6.3 风机盘管机组 | 239 |
| 6.4 诱导式空调机组 | 245 |
| 实训5 空气调节机组的结构认识 | 247 |
| 思考与练习 | 247 |
| 第7章 冷媒水和冷却水系统设备 | 248 |
| 7.1 冷媒水和冷却水系统 | 248 |
| 7.2 离心式水泵 | 251 |
| 7.3 冷却塔 | 264 |
| 7.4 其他设备 | 266 |
| 实训6 单级悬臂式离心泵的拆装 | 272 |
| 思考与练习 | 274 |
| 参考文献 | 276 |

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。根据使用要求的不同，制冷与空调技术分为制冷和空调两大领域。所谓制冷，是指从低于环境温度的空间或物体中吸取热量并将其转移给周围环境的过程。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机器和设备称为制冷机。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。所谓空调，是指使房间或封闭空间的空气温度、湿度、洁净度和气流速度等参数达到给定要求。制冷领域的主要任务是实现某一空间的温度和湿度目标以及生产对工艺介质的温度要求；空调领域的主要任务是以室内人员或工艺过程为对象，着眼于制造使人感到舒适的室内气候环境以及制造符合工艺过程所要求的生产环境。

制冷与空调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方面之一。随着社会的不断进步，国民经济的快速发展，人民生活水平的不断提高，制冷与空调技术显示出越来越重要的作用，已广泛应用于工业、农业、商业、国防、医药卫生、建筑工程、生物工程、宇宙开发及人民生活等各个领域。

美国机械工程师学会将空调制冷技术列为 20 世纪 20 项最重大工程技术成就之一（位列第 10 位）。

1. “制冷与空调设备”课程的性质、任务和内容

“制冷与空调设备”课程是制冷与空调专业的一门重要专业课。它担负着培养学生具有制冷与空调设备使用、选型和技术改造的能力，要求学生能掌握常用制冷与空调设备的工作原理、性能、整体结构、适用范围、特点及选型等方面的技术，并为后续课程的学习储备必要的知识，也为今后从事实际工作打下良好的基础。

制冷与空调行业使用的设备种类繁多，且各自具有不同的性能和特点。本课程主要介绍常用的制冷与空调设备，包括：制冷压缩机、制冷系统热交换设备、节流机构与辅助设备、空气调节设备、空气调节机组、冷媒水和冷却水系统设备。

2. 常用的制冷与空调设备

人工制冷方法中，在普通制冷温度范围内（120K 以上），利用液体汽化来实现的人工制冷（称为蒸气制冷）方法使用得最广泛。其制冷机有蒸气压缩式制冷机、吸收式制冷机、蒸气喷射式制冷机，前一种制冷机消耗机械能，后两种制冷机消耗热能。本课程主要介绍蒸气压缩式制冷机和一般空气调节过程中使用的设备。

（1）制冷压缩机 制冷压缩机是制冷系统的一个组成部分，当制冷剂气体流过此压缩机时，压力提高，容积缩小。制冷压缩机是蒸气压缩式制冷循环的动力，它由原动机（如电动机）拖动而工作，它除了及时抽出蒸发器内的蒸气，维持低温低压外，还通过压缩作用提高制冷剂蒸气的压力和温度，创造将制冷剂蒸气的热量向外界环境介质转移的条件，即将低温低压制冷剂蒸气压缩至高温高压状态，以便能用常温的空气或水作冷却介质来冷凝制

2 制冷与空调设备

冷剂蒸气。制冷压缩机是制冷装置中最主要的设备，通常称为主机或“心脏”。

常用的制冷压缩机有活塞式、螺杆式、离心式、滚动活塞式、涡旋式等。

(2) 制冷系统热交换设备 热交换设备是实现两种（或两种以上）温度不同的流体间相互传热的设备，又称换热器。制冷系统中的制冷剂就是在热交换设备中实现吸收热量和放出热量的。因此，热交换设备在制冷系统中起着重要的作用，传热效果的好坏直接影响制冷机的性能。

制冷系统中的热交换设备包括冷凝器、蒸发器和一些其他换热器，如回热器、过冷器及中间冷却器等。

(3) 节流机构 节流机构与制冷压缩机、冷凝器、蒸发器并称为蒸气压缩机式制冷系统的四大基本部件。它是用来使制冷剂液体由冷凝压力节流降压至蒸发压力的热力设备，并同时起控制进入蒸发器制冷剂流量的作用，以适应制冷负荷的变化。

常用的节流机构有毛细管、热力膨胀阀、电子膨胀阀、手动节流阀、浮球调节阀和节流孔板等。

(4) 制冷系统辅助设备 对蒸气压缩式制冷系统，除了必要的四大基本部件外，通常还需要设置一些辅助性的设备，对制冷剂进行储存、分离与净化；对润滑油进行分离与收集，从而改善系统的运行条件，提高系统运行的安全性和经济性。由于它们不是制冷系统必需的部件，因此通常称为制冷系统辅助设备。

制冷系统常用的辅助设备有润滑油的分离与收集设备、制冷剂的储存及分离设备、制冷剂的净化设备和安全设备。

(5) 空气调节设备 对于空调系统来说，一个空气调节的全过程是由空气处理过程及送入房间的空气状态变化过程组成的。为了实现这些过程就要采用不同的空气调节设备。

常用的空气调节设备有空气加热与冷却设备、空气加湿与除湿设备、空气净化设备和空气调节通风设备。

(6) 空气调节机组 空气调节机组主要用于集中式和半集中式空调系统中，它是将多种空气调节设备组合在一起的空调设备，可以对空气进行加热、冷却、加湿、除湿等多种处理。

目前，集中式空调系统中常用的空气调节机组有组合式空调机组和整体式空调机组，半集中式空调系统中常用的空气调节机组有风机盘管机组和诱导器机组。

(7) 冷媒水和冷却水系统设备 在制冷与空调系统中，常常通过水作为载冷剂或冷却剂来实现热量的传递，因此水系统是制冷与空调系统一个重要的组成部分。

常用的冷媒水和冷却水系统设备有离心式水泵、冷却塔、集水器、分水器、膨胀水箱、放气装置及其他管路附件。

3. 制冷与空调设备的发展概况

人类最早的制冷方法是利用自然界存在的冷物质如冰、深井水等进行制冷。我国早在周朝就有了用冰的历史，到了秦、汉朝，冰的使用就更进了一步，到了唐朝已开始生产冰镇饮料并已有冰商。

利用天然冷源严格说还不是人工制冷，现代人工制冷技术是从19世纪中叶开始发展起来的。

1834年，在伦敦工作的美国人波尔金斯（Perkins）成功试制了第一台用乙醚为制冷剂、闭式循环的手摇式压缩制冷机，并正式申请了专利。这台机器可看做是蒸气压缩式制冷机的雏形。

空气制冷机的发明比蒸气压缩式制冷机稍晚。1844年，美国人高里（Gorrie）发明了空气循环式制冷机，并于1851年获得美国专利。这台制冷机是世界上第一台制冷和空调用的

空气制冷机。1862年,英国人基尔发明了封闭循环的空气制冷机,并获英国专利。

1859年,法国人卡列(Carre)制成了第一台氨吸收式制冷机,并申请了原理专利。

1910年左右,马利斯·莱兰克(Maurice Lehlanç)在巴黎发明了蒸气喷射式制冷机。

在各种形式的制冷机中,蒸气压缩式制冷机发展得较快。从1872年美国波义耳(Boyle)发明了氨压缩机,1874年德国人林德(Linde)制造第一台氨制冷机后,蒸气压缩式制冷机在工业上获得了较普遍的使用。之后,作为蒸气压缩式制冷机的核心部件——制冷压缩机有了较大的发展。

1922年,由美国人开利(Carrier)设计、以四氯化碳为制冷剂的离心式制冷机组,在美国开利建筑公司和德国一家制造公司的通力合作下试制成功;稍后,由瑞士勃朗-波弗利公司生产了世界上第一台氨离心式制冷机。1934年,美国开利公司制造出以R11为制冷剂的新型空调用离心式制冷机。1938年日本清凉公司开始制造以R113为制冷剂的封闭型离心式制冷压缩机。20世纪70年代,美国特兰公司制造了R113空调离心式冷水机组。

1926年,美国通用电气公司研制成功第一台全封闭活塞式制冷压缩机。

20世纪30年代,美国Vilter公司生产出了滚动活塞式制冷压缩机。1965年在日本,滚动活塞式制冷压缩机开始用于家用空调器。到20世纪70年代以后,滚动活塞式制冷压缩机用于中型冷藏与空调方面已日趋成熟。20世纪80年代滚动活塞式制冷压缩机迅速进入家用电冰箱所代表的小型低温应用领域,进而向单元式空调机所代表的大型领域发展。日本于1980年将装有卧式滚动活塞式制冷压缩机的电冰箱投入市场,而美国通用电气公司于1985年开始生产冰箱用滚动活塞式制冷压缩机。20世纪80年代中期,双缸滚动活塞式制冷压缩机作为单元空调用制冷压缩机已开始部分付诸实际应用。

20世纪40年代,瑞典SRM公司首先将螺杆式压缩机实用化。20世纪60年代初,以氨为制冷剂的喷油开启螺杆式制冷压缩机开始被用于制冷行业。20世纪70年代中期,荷兰Grasso-SeaCon BV公司成功地把单螺杆式压缩机研制成型号为MS10的制冷压缩机后,很快在中小型制冷空调和热泵装置上得到应用。20世纪70年代末至20世纪80年代初,日本三菱公司相继推出了几种汽车空调用螺杆式制冷压缩机。1983年,日本大金公司率先生产了半封闭单螺杆喷油式制冷压缩机。此后,日本三菱公司生产出了喷制冷剂单螺杆制冷压缩机。20世纪90年代,三菱公司开发出了大冷量半封闭单螺杆式制冷压缩机。

1972年,由美国ADL公司研制出的远洋海轮超导氨气涡旋压缩机,标志着涡旋式压缩机进入实用化,而空调用涡旋式制冷压缩机于1981年在日本商品化,1985年在美国商品化。进入20世纪90年代,涡旋式制冷压缩机的系列化产品相继问世。日本松下电器公司生产出用于家用空调的小型全封闭涡旋式制冷压缩机,东芝公司推出了列车空调用涡旋式制冷压缩机。美国开利公司则在冷水机组上并联使用涡旋式制冷压缩机,以提高整机制冷量。1999年,美国谷轮(Copeland)公司推出了数码涡旋式制冷压缩机,使空调器不必使用昂贵的变频控制器就能实现制冷量在10%~100%范围内的无级调节。最近,美国谷轮公司开发出了喷气增焓涡旋式制冷压缩机,用以解决空调器在寒冷地区冬季制热时制热量不足、效率低下、排气温度过高等问题。

随着制冷机的不断发展,制冷剂的种类也逐渐增多,从早期的空气、二氧化碳、乙醚到氯甲烷、二氧化硫、氨等。1929年,美国通用电气公司米杰里(Midgley)发现了氟利昂制冷剂R12,使得压缩式制冷机发展得更快。20世纪50年代,压缩式制冷机开始使用共沸混合

4 制冷与空调设备

制冷剂, 20 世纪 60 年代开始应用非共沸混合制冷剂。直至 20 世纪 80 年代, 淘汰消耗臭氧层物质 CFC 问题正式被公认以前, 以各种卤代烃为主的制冷剂的发展已达到相当完善的地步。

19 世纪后半叶, 纺织工业的迅速发展使空调技术面临着巨大的挑战, 解决纺织厂车间内的温度、湿度、气流速度和洁净度问题成了当务之急。当时, 工程师克勒默 (Cramer) 负责设计和安装了美国南部三分之一纺织厂的空调系统, 申请了 60 项专利。空调系统中, 已开始采用集中处理空气的喷水室, 装置了净化空气的过滤设备等。空气调节的英文名称 (Air Conditioning) 就是他在 1906 年正式定名的。

享有“空气调节之父”美誉的美国人开利于 1901 年创建了第一所暖通空调实验室, 提出了若干实践验证理论的计算方程式。1902 年, 他设计和安装了彩色印刷厂的全年性空气调节系统。后来, 他又将喷嘴和挡水板设置到喷水室内, 改善了温、湿度控制的效果, 使全年性空调系统能够满意地应用于 200 种以上不同类型的工厂。1911 年 12 月, 开利对空气调节的研究出现了新的飞越, 他得出了空气干球温度、湿球温度和露点温度的关系, 以及空气显热、潜热和焓值之间关系的计算公式, 绘制了湿空气的焓湿图。这也是空气调节发展史上的一个重要里程碑。

20 世纪后半叶, 制冷和空调产业获得了前所未有的高速发展。制冷已成为全球保证食物保藏供应的基本手段, 而空调则是当今社会达到工作及生活环境舒适要求的必要手段。从工业生产方面看对制冷工艺的依赖程度也越来越大, 如电子工业和化学工业必须利用它来实现计算机芯片的制造和各种化工合成物的生产。

当然也应清楚地看到, 在制冷和空调产业高速发展的同时, 随之带来的问题也是不能回避的现实, 主要问题有三个: ① 如何实现 CFC 和 HCFC 的替代, 以免大气臭氧层继续遭受破坏; ② 如何进一步提高设备和系统的效率以减少能源消耗; ③ 企业在全世界竞争的白热化中如何脱颖而出。

针对以上问题, 各企业纷纷加大产品的研发力度, 采用新技术、新材料、新工艺、新工质, 使制冷与空调设备在制造工艺、可靠性、舒适性和噪声控制等方面都取得了令人瞩目的进展。随着新技术、新材料、新工艺的研究和应用, 高效、节能的新设备不断出现。特别在热交换设备和空气净化设备方面, 研制和开发新产品活动一直十分频繁。过去在热交换设备中主要运用间壁式换热器, 其中以管式换热器用得最为广泛。为了强化传热、提高单位面积换热量, 使换热器的结构紧凑, 各种新型的翅化式热交换管已广泛地用于制冷与空调装置的各种换热器中, 例如采用绕金属丝的翅化管、36 翅的低螺纹管、超热流 C 管和各種热管式换热器等, 有效地增大了传热面积、提高了传热系数、节省了金属耗材、减少了设备体积。在空气净化设备中, 人们对空气质量的要求越来越高, 空气过滤器和空气发生器的应用日益广泛。计算机技术的发展, 也推动了制冷与空调技术的蓬勃发展, 尤其是在动态仿真优化、辅助设计、辅助测试、自动控制、集成制造和生产工艺管理等方面计算机技术的应用。此外, 家用电冰箱和空调器等家用电器的绿色化、智能化、网络化、信息化等, 都预示着制冷与空调技术更加美好的未来。

我国制冷工业起步较晚, 在 1949 年前基本上没有制造制冷机的能力。1949 年, 全国冷库总容量只有 35000t, 相当于现有一个城市的拥有容量。空调技术的应用起步并不太迟, 1931 年, 上海纺织厂安装了带喷水室的空气调节系统, 其冷源为深井水。随后在一些电影院和银行也实现了空气调节, 几座高层建筑物先后设置了全空气式的空调系统。

新中国成立后, 我国的制冷与空调行业得到了飞速发展。20 世纪 50 年代, 我国主要仿制

苏、美活塞式制冷压缩机, 20 世纪 60 年代开始自行设计和制造高速多缸活塞式制冷压缩机, 1958 年试制成功 1163kW 的离心式制冷压缩机, 1971 年试制成功螺杆式制冷压缩机。在 20 世纪 50 年代, 组合式空调机组已应用于纺织工业, 1966 年我国研制成功了第一台风机盘管机组。经过几十年的努力, 目前国内形成了有一定基础的科研、教学、设计、生产体系; 在制冷机方面, 具有制造活塞式、螺杆式、离心式、滚动活塞式、涡旋式等蒸气压缩式制冷机以及蒸气喷射式、吸收式等制冷机的能力; 在空调系统方面, 能独立设计、制造和装配多种空调系统, 如高精度的恒温恒湿洁净室、地下除湿、人工气候室以及大型公共建筑和高层建筑的空调系统等。

20 世纪 90 年代初期, 我国制冷空调行业各类生产企业只有 217 家, 工业年产值 65 亿元人民币; 1999 年, 全行业有一定规模的企业有近 600 家, 工业年产值 487.9 亿元人民币; 2005 年, 全行业(包括家用、工商用等)的年产值已接近 2300 亿元人民币, 出口额在 50 亿美元以上, 已发展成为世界第二大制冷空调设备的消费市场和第一大生产国。截至 2008 年年底, 全行业规模以上生产企业约为 1000 多家, 全行业(包括空调器和冰箱生产企业)工业总产值约为 3070 亿元人民币, 出口产值约为 750 亿元人民币。2009 年, 我国制冷空调全行业的工业总产值约为 3250 亿元人民币。2010 年, 我国制冷空调全行业全年实现了较高的增长幅度, 工业总产值约为 4200 亿元人民币。据相关资料分析, 在经历了一段较长时间的高速增长后, 在未来的几年内, 我国许多制冷与空调企业面临着新一轮的经营体制转变和产品结构调整等问题, 因此行业的年增长率会较过去的高峰时期有所回落, 但仍会保持在 15% 左右(仍将高于全国工业增长平均速度)。经过必要的调整之后, 中国的制冷空调行业必将迎来新的发展机遇, 向着世界制冷空调制造业的强国迈进。

4. “制冷与空调设备”课程的学习要求和方法

“制冷与空调设备”是一门理论性和实践性均非常强的课程, 学习的基本要求如下:

- 1) 掌握活塞式制冷压缩机、螺杆式制冷压缩机的基本结构、工作原理、热力性能、主要零部件的作用及结构特点; 掌握其他制冷压缩机的基本结构和工作原理, 了解其他制冷压缩机的主要结构形式和特点。
- 2) 掌握主要热交换设备的种类、传热特性、工作原理、结构特点及适应范围。
- 3) 掌握常用节流机构的工作原理、基本结构、性能特点及适应范围。
- 4) 了解制冷系统辅助设备的作用、工作原理、结构特点及适应范围。
- 5) 掌握空调系统主要设备和机组的工作原理、结构特点、性能和适应范围。
- 6) 掌握离心泵的基本结构、工作原理及工作性能, 了解冷媒水和冷却水系统其他设备的作用、工作原理及结构特点。
- 7) 能看懂制冷与空调设备的结构图。
- 8) 会查阅有关制冷与空调设备的标准、图表、规范手册、产品说明书等资料。
- 9) 具有根据使用要求选用制冷与空调设备的初步能力。
- 10) 了解制冷与空调设备的现状和发展趋势。

为了学好本课程, 建议按以下方法进行学习:

- 1) 切实掌握有关课程的相关知识。本课程教学与“工程制图”、“热工与流体力学基础”、“制冷原理”、“机械基础”等课程密切相关。
- 2) 必须理论联系实际进行学习。本课程理论内容较多, 实践性强, 应结合实训内容, 通过动手拆装设备、到生产企业参观及观看录像等手段, 达到事半功倍的效果。

第1章 制冷压缩机

学习导引

制冷压缩机即制冷剂压缩机，是决定蒸气压缩式制冷（热泵）系统能力大小的关键部件，对系统的运行性能、噪声、振动、维护和使用寿命等有着直接的影响。

制冷压缩机在系统中的作用在于：抽吸来自蒸发器的制冷剂蒸气，并提高其温度和压力后，将它排至冷凝器。在冷凝器中，高压过热制冷剂蒸气在冷凝温度下放热冷凝。而后通过节流元件，降压后的气液混物流向蒸发器，在那里制冷剂液体在蒸发温度下吸热沸腾，变为蒸气后进入压缩机，从而实现了制冷系统中制冷剂的不断循环流动。由此可见，制冷压缩机相当于系统中的“心脏”。

1. 学习要求

本章的重点是活塞式制冷压缩机与螺杆式制冷压缩机的基本结构、热力性能、主要零部件的作用与结构特点及其他制冷压缩机的基本结构和工作原理。通过本章的学习应达到以下要求：

- 1) 了解制冷压缩机的分类、应用范围及名义工况。
- 2) 掌握活塞式制冷压缩机的基本结构、工作原理与分类；了解我国活塞式制冷压缩机的形式及基本参数。
- 3) 了解活塞式制冷压缩机实际工作循环与理论工作循环的差别；能正确计算活塞式制冷压缩机的输气量、制冷量、功率和效率；能正确分析影响输气量、容积效率及排气温度的主要因素。
- 4) 了解活塞式制冷压缩机的运行特性曲线及运行界限，会使用运行特性曲线图。
- 5) 掌握活塞式制冷压缩机主要零部件的作用及结构特点；了解活塞式制冷压缩机的典型产品及特性。
- 6) 掌握螺杆式制冷压缩机的基本结构、工作原理及特点；了解螺杆式制冷压缩机的内容积比及附加功损失。
- 7) 能正确计算螺杆式制冷压缩机的输气量、功率和效率；能正确分析影响容积效率的主要因素。
- 8) 了解螺杆式制冷压缩机的运行特性曲线，会使用运行特性曲线图。
- 9) 掌握螺杆式制冷压缩机主要零部件的作用及结构特点；了解螺杆式制冷压缩机的典型产品及特性。
- 10) 掌握单螺杆式制冷压缩机的基本结构和工作原理；了解单螺杆式制冷压缩机的结构参数；了解单螺杆式制冷压缩机能量和内容积比的调节原理与结构；了解单螺杆式制冷压缩机的典型产品及特性。
- 11) 掌握离心式、滚动活塞式及涡旋式制冷压缩机的基本结构和工作原理。
- 12) 了解离心式制冷压缩机的分类、主要零部件及应用范围；了解滚动活塞式制冷压缩机和涡旋式制冷压缩机的主要结构形式和特点。

- 13) 能看懂制冷压缩机的结构图。
- 14) 会查阅制冷压缩机的相关资料、图表、标准、规范、手册等，具有一定的运算能力。
- 15) 具有根据使用要求选用制冷压缩机的初步能力。
- 16) 能够正确拆装活塞式制冷压缩机和螺杆式制冷压缩机。

2. 本章难点

1) 活塞式制冷压缩机热力性能的相关参数计算理论性较强，掌握起来有一定难度，应结合例题与习题加强练习。

2) 活塞式、螺杆式及离心式制冷压缩机的结构复杂，零部件较多，仅通过看结构简图而掌握其总体结构有一定难度，应结合拆装实训，通过拆装观察制冷压缩机的具体实物帮助理解。

1.1 制冷压缩机的分类、应用范围及名义工况

1.1.1 制冷压缩机的分类

制冷压缩机的分类方法很多，主要有以下几种。

1. 按工作原理分类

制冷压缩机按工作原理可分为容积型和速度型两类。

(1) 容积型压缩机 在容积型压缩机中，一定体积的气体先被吸入气缸里，继而在气缸中其体积被强制压缩，气体压力升高，当达到一定压力时气体便被强制地从气缸排出。可见，容积型压缩机的吸、排气过程是间歇进行，其流动并非连续稳定的。

容积型压缩机按其压缩部件的运动特点可分为两种形式：往复活塞式（简称活塞式）和回转式。而后者又可根据其压缩机的结构特点分为滚动活塞式（又称滚动转子式）、滑片式、螺杆式（包括双螺杆式、单螺杆式）、涡旋式等。

(2) 速度型压缩机 在速度型压缩机中，气体压力的升高是由气体的速度转化而来的，即先使气体获得一定的速度，然后将气体的动能转化为压力能。可见，速度型压缩机中的压缩过程可以连续地进行，其流动是稳定的。制冷装置中应用的速度型压缩机主要是离心式制冷压缩机。

图 1-1 所示为制冷压缩机的分类和结构示意图。

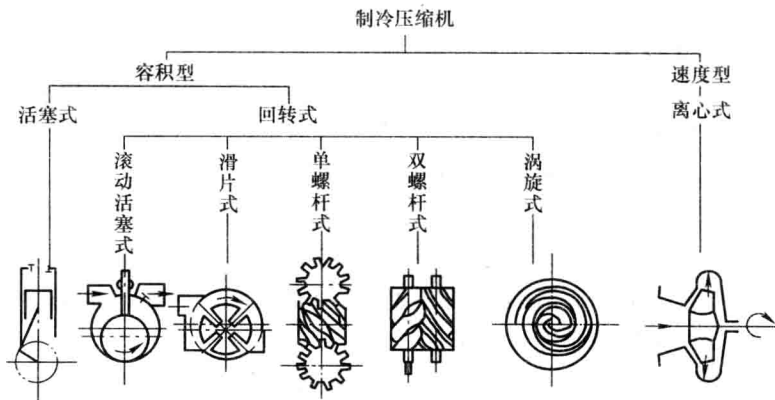


图 1-1 制冷压缩机的分类和结构示意图

2. 按使用的制冷剂种类分类

根据制冷剂种类的不同, 制冷压缩机可分为有机制冷剂压缩机和无机制冷剂压缩机两大类。有机制冷剂有氟利昂和碳氢化合物, 常用的有机制冷剂有 R22、R404A、R134a、R407C、R410A、R600a、R290 等; 常用的无机制冷剂有 R717 (氨)、R744 (二氧化碳) 等。不同制冷剂对压缩机材料和结构的要求不同。氨对铜有腐蚀性, 氨压缩机中不允许使用铜质零件 (磷青铜除外); 设计和制造氟利昂制冷压缩机时, 必须充分考虑氟利昂制冷剂渗透性强, 对有机物质有溶胀作用的特点; 二氧化碳压缩机用于跨临界的制冷循环, 因此排气压力高达 11MPa, 是传统制冷压缩机的 5~10 倍, 故对压缩机的密封性和可靠性等提出了高要求; 由于碳氢化合物易燃、易爆, 因而碳氢化合物制冷压缩机的安全性有严格的要求。

3. 按使用的蒸发温度范围分类

对于单级制冷压缩机, 一般可按其使用的蒸发温度范围分为高温、中温和低温压缩机三种, 但在具体蒸发温度区域的划分上并不统一。使用的蒸发温度范围与制冷压缩机的种类、规格和使用的制冷剂有关。例如, 国家标准 GB/T 10079—2001《活塞式单级制冷压缩机》规定的压缩机使用范围见表 1-1 和表 1-2。该标准适用于有机制冷剂 (R22、R134a、R404A、R407C、R410A 等) 和无机制冷剂 (R717), 气缸直径不大于 250mm 的单级活塞式全封闭、半封闭、开启式制冷压缩机。但该标准不适用于以下产品中的压缩机: 家用冷藏箱和家用冻结箱; 运输用及特殊用途制冷空调设备。

表 1-1 有机制冷剂压缩机使用范围

| 类 型 | 吸入压力饱和温度/°C | 排出压力饱和温度/°C | | 压 力 比 |
|-----|-------------|-------------|---------|-------|
| | | 高冷凝压力 | 低冷凝压力 | |
| 高温 | -15 ~ -12.5 | 25 ~ 60 | 25 ~ 50 | ≤6 |
| 中温 | -25 ~ 0 | 25 ~ 55 | 25 ~ 50 | ≤16 |
| 低温 | -40 ~ -12.5 | 25 ~ 50 | 25 ~ 45 | ≤18 |

表 1-2 无机制冷剂压缩机使用范围

| 类 型 | 吸入压力饱和温度/°C | 排出压力饱和温度/°C | 压 力 比 |
|------|-------------|-------------|-------|
| 中、低温 | -30 ~ 5 | 25 ~ 45 | ≤8 |

4. 按密封结构形式分类

为了防止制冷工质向外泄漏或外界空气渗入制冷系统内, 制冷压缩机有着相应的密封结构。从采用的密封结构来分, 制冷压缩机可分为开启式和封闭式两大类, 而封闭式又可分为半封闭式和全封闭式。这三种压缩机的结构如图 1-2 所示。

(1) 开启式压缩机 开启式压缩机的曲轴功率输入端伸出机体之外, 通过传动装置 (联轴器或带轮) 与原动机相连接。压缩机曲轴外伸端设置有轴封装置, 以防泄漏。若原动机是电动机, 因它与制冷剂和润滑油不接触而无需具备耐制冷剂和耐油的要求。因此, 开启式压缩机可用于以氨为工质的制冷系统中。

(2) 封闭式压缩机 封闭式压缩机采用封闭式的结构, 把电动机和压缩机连成一个整体, 装在同一机壳内共用一根主轴, 因而可以取消开启式压缩机中的轴封装置, 避免了由此产生泄漏的可能性。半封闭式压缩机与全封闭式压缩机的区别是前者的机壳是可拆式法兰联

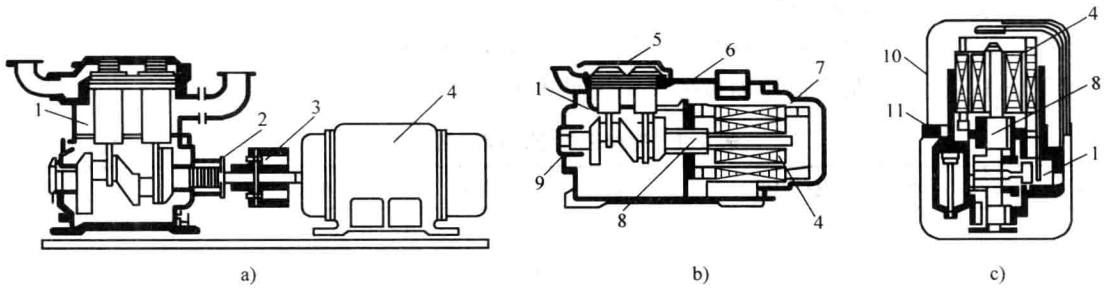


图 1-2 制冷压缩机的密封结构形式

a) 开启式 b) 半封闭式 c) 全封闭式

1—压缩机 2—轴封 3—联轴器 4—电动机 5、7、9—可拆卸的密封盖板
6—机体 8—曲轴 10—焊封的罩壳 11—弹性支撑

接，以便维修时拆卸；后者的机壳分为两部分，压缩机与电动机装入后，壳体两部分用焊接法焊死。全封闭式压缩机露在机壳外表的只有一些吸、排气管，工艺管以及其他（如喷液管）必要的管道、输入电源接线柱和压缩机支架等。

无论是半封闭式还是全封闭式的制冷压缩机，由于氨含有水分时会腐蚀铜，因而都不能用于以氨为工质的制冷系统中。但是，基于 CFC 和 HCFC 的替代和扩大天然制冷剂氨的使用的需要，采用能与氨制冷剂隔离的屏蔽式电动机的半封闭式压缩机已研制成功并获得运用。

1.1.2 制冷压缩机的应用范围

制冷压缩机的结构、尺寸不同则工作原理不同，其制冷能力也不同。不同情况下应选用合适的配套的制冷压缩机。表 1-3 给出了目前各类制冷压缩机的大致应用范围及其制冷量大小。

表 1-3 各类制冷压缩机的大致应用范围及其制冷量大小

| 用途形式 | 家用冷藏箱 冻结箱 | 房间空调器 | 汽车空调 | 住宅用空调器 和热泵 | 商用制冷 和空调 | 大型空调 |
|-------|--------------|-------|------|---------------|-------------|------------|
| 活塞式 | ←100W | | | | 200kW→ | |
| 滚动活塞式 | ←100W | | | 10kW→ | | |
| 涡旋式 | | ←5kW | | | 70kW→ | |
| 螺杆式 | | | | | ←150kW | 2000kW→ |
| 离心式 | | | | | | ←350kW 及以上 |

1.1.3 名义工况

制冷压缩机的性能参数（如制冷量、轴功率、性能系数）均与工况有关。为了比较、选用和设计，有必要规定统一的工况。通常，在名义工况下进行比较。名义工况是用来标明制冷压缩机工作能力的温度条件，即铭牌制冷量和轴功率的工况。不同类别制冷压缩机有不同的名义工况。下面列出了活塞式单级制冷压缩机、螺杆式制冷压缩机、全封闭涡旋式制冷压缩机的名义工况。

10 制冷与空调设备

1. 活塞式单级制冷压缩机

国家标准 GB/T 10079—2001《活塞式单级制冷压缩机》规定的有机制冷剂压缩机名义工况见表 1-4，无机制冷剂压缩机名义工况见表 1-5。

表 1-4 有机制冷剂压缩机名义工况 (单位:℃)

| 类 型 | 吸入压力饱和温度 | 排出压力饱和温度 | 吸入温度 | 环境温度 |
|-----|----------|-------------------|------|------|
| 高温 | 7.2 | 55.4 ^① | 18.3 | 35 |
| | 7.2 | 48.9 ^② | 18.3 | 35 |
| 中温 | -6.7 | 48.9 | 18.3 | 35 |
| 低温 | -31.7 | 40.6 | 18.3 | 35 |

注：表中工况制冷剂液体的过冷度为 0℃。

① 为高冷凝压力工况。

② 为低冷凝压力工况。

表 1-5 无机制冷剂压缩机名义工况 (单位:℃)

| 类 型 | 吸入压力饱和温度 | 排出压力饱和温度 | 吸入温度 | 制冷剂液体温度 | 环境温度 |
|-----|----------|----------|------|---------|------|
| 中低温 | -15 | 30 | -10 | 25 | 32 |

2. 螺杆式制冷压缩机

国家标准 GB/T 19410—2008《螺杆式制冷压缩机》规定的的名义工况见表 1-6。

表 1-6 螺杆式制冷压缩机及机组名义工况 (单位:℃)

| 类 型 | 吸气饱和 (蒸发) 温度 | 排气饱和 (冷凝) 温度 | 吸气温度 ^② | 吸气过热度 ^② | 过冷度 |
|------------|--------------|--------------|-------------------|---------------------|-----|
| 高温 (高冷凝压力) | 5 | 50 | 20 | — | 0 |
| 高温 (低冷凝压力) | | 40 | | | |
| 中温 (高冷凝压力) | -10 | 45 | — | 10 或 5 ^① | |
| 中温 (低冷凝压力) | | 40 | | | |
| 低温 | -35 | | | | |

① 用于 R717。

② 吸气温度适用于高温名义工况，吸气过热度适用于中温、低温名义工况。

表 1-6 适用的制冷剂为 R717、R22、R134a、R404A、R407C、R410A 和 R507A。采用其他制冷剂 (如 R290、R1270 等) 的压缩机及压缩机组可参照执行。

3. 全封闭涡旋式制冷压缩机

国家标准 GB/T 18429—2001《全封闭涡旋式制冷压缩机》规定的的名义工况见表 1-7。

表 1-7 全封闭涡旋式制冷压缩机名义工况 (单位:℃)

| 类 型 | 吸气饱和 (蒸发) 温度 | 排气饱和 (冷凝) 温度 | 吸气温度 | 液体温度 | 环境温度 |
|-----|--------------|--------------|------|------|------|
| 高温 | 7.2 | 54.4 | 18.3 | 46.1 | 35 |
| 中温 | -6.7 | 48.9 | 4.4 | 48.9 | 35 |
| 低温 | -31.7 | 40.6 | 4.4 | 40.6 | 35 |

全封闭涡旋式制冷压缩机使用范围如下：

- (1) 高温型 蒸发温度为 $-23.3 \sim 12.5^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度为 $27 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ，压力比 ≤ 6.0 。
- (2) 中温型 蒸发温度为 $-23.3 \sim 0^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度为 $27 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 低温型 蒸发温度为 $-40 \sim -12.5^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度为 $27 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 活塞式制冷压缩机

1.2.1 活塞式制冷压缩机的基本结构、工作原理与特点

活塞式制冷压缩机的生产和使用历史较长，是目前应用最广的一种制冷压缩机。它是靠由气缸、气阀和在气缸中作往复运动的活塞所构成的可变工作容积，来完成制冷剂气体的吸入、压缩和排出过程的。

1. 基本结构

活塞式制冷压缩机虽然种类繁多，结构复杂，但其基本结构和组成的主要零部件都大体相同，包括机体、曲轴、连杆组件、活塞组件、气缸及吸、排气阀等。

活塞式制冷压缩机的基本结构如图 1-3 所示。圆筒形的气缸，顶部设置着吸、排气阀，与活塞共同构成可变工作容积。连杆的大头与曲轴的曲柄销连接，小头通过活塞销与活塞连接。当曲轴在原动机驱动下旋转时，通过曲柄销、连杆、活塞销的传动，活塞即在气缸中作往复直线运动。吸、排气阀的阀片被气阀弹簧压在阀座上，靠阀片两侧气体的压力差自动开启，控制着制冷剂气体进、出气缸的通道。

活塞式制冷压缩机的气缸布置形式有卧式、直立式和角度式三种类型，如图 1-4 所示。卧式制冷压缩机的气缸轴线呈水平布置，其管道布置和内部结构的拆装维修比较方便，多属大型低速压缩机。直立式制冷压缩机的气缸轴线与水平面垂直，用符号 Z 表示。这类压缩机占地面积小，活塞重力不作用在气缸壁面上，因而气缸和活塞的磨损较小；机体主要承受垂直的拉压载荷，受力情况较好，因而形状可以简单些，基础尺寸也可以小些。但大型直立式制冷压缩机的高度大，必须设置操作平台，安装、拆卸和维护管理均不方便，因而极少采用此种布置方式；即使是中小型压缩机，除单、双缸外，也很少采用直立式的。角度式制冷压缩机的气缸轴线在垂直于曲轴轴线的平面内具有一定的夹角。其排列形式有 V 形、W 形、Y 形、S 形（扇形）、X 形等。角度式制冷压缩机具有结构紧凑、质量小、动力平衡性好、便于拆装和维修等优点，因而在现代中、小型高速多缸压缩机中得到广泛应用。

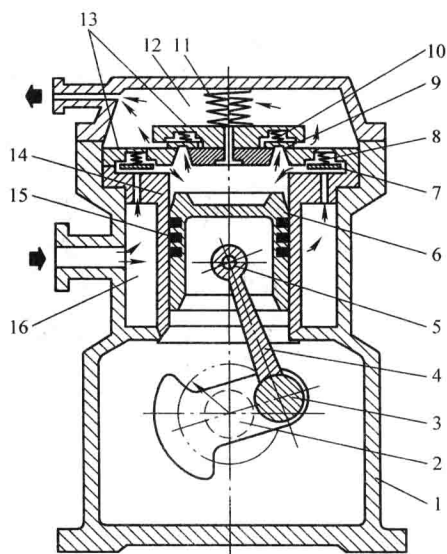


图 1-3 活塞式制冷压缩机的基本结构

- 1—机体 2—曲轴 3—曲柄销 4—连杆 5—活塞销
- 6—活塞 7—吸气阀片 8—吸气阀弹簧 9—排气阀片
- 10—排气阀弹簧 11—安全弹簧 12—排气腔
- 13—气阀 14—气缸 15—活塞环 16—吸气腔