



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

制冷与空调技术专业领域

制冷压缩机 (第二版)

■ 朱立 主编 魏龙 副主编

air conditioning

refrigeration



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

制冷与空调技术专业领域

制冷压缩机

Zhileng Yasuoji

第二版

朱 立 主 编
魏 龙 副主编
匡奕珍 主 审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书系统地介绍了活塞(往复)式制冷压缩机、回转式制冷压缩机和离心式制冷压缩机的工作原理、总体结构、主要零部件的结构以及活塞式压缩机、螺杆式压缩机、离心式压缩机拆装实训等。

本书通过大量的图、表进行讲解,简单明了。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院制冷与空调技术专业学生的教材,也可供从事制冷与空调工作的工人与工程技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

制冷压缩机 / 朱立主编. — 2版. — 北京: 高等教育出版社, 2010.11
ISBN 978-7-04-030197-7

I. ①制… II. ①朱… III. ①制冷—压缩机—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TB652

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第177591号

策划编辑 罗德春 责任编辑 李京平 封面设计 于涛 责任绘图 尹莉
版式设计 张岚 责任校对 王效珍 责任印制 张泽业

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landraco.com http://www.landraco.com.cn
印 刷	三河市华润印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2005年7月第1版 2010年11月第2版
印 张	12.75	印 次	2010年11月第1次印刷
字 数	300 000	定 价	19.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30197-00

前 言

随着制冷与空调行业的迅速发展,越来越多的高职高专院校增设了制冷与空调技术专业。为了更好地适应我国高等职业技术教育的发展需要,高等教育出版社组织十多所高职院校的教师编写了这套适合于高职高专制冷与空调技术专业学生选用的系列教材。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,同时也是高等教育出版社规划系列教材。本书在编写时根据制冷与空调技术专业人才培养方案和教学大纲的要求,结合我国制冷和空调行业的发展情况,编入了相关内容,以满足教学改革发展之需。

本书在内容及章节的处理上,与以往同类教材有较大区别,如本书单独增设了一章实训内容,以提高学生的动手能力。

本书教学总学时数为70~80学时,任课教师可根据具体情况酌情取舍。

本书由武汉商业服务学院朱立任主编,南京化工机械学院魏龙任副主编。参加编写的人员有朱立(绪论、第一章、第二章)、魏龙(第三章、第六章)、沈阳建筑大学王子彪(第四章)、江苏经济贸易学院殷雷(第五章)、武汉商业服务学院邱庆龄(第七章)、武汉商业服务学院邹新生(第八章)。

本书承山东商业职业技术学院匡奕珍教授审阅,提出了许多宝贵的修改意见,特予致谢。

由于编者水平有限,书中不足之处,恳望读者指正。

本书配有电子教案,使用本书的教师可拨打010-58581854索取。

编 者

2010年7月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

绪论	1	第四节 螺杆式压缩机总体结构	100
第一章 容积型制冷压缩机的热力学		第五节 螺杆式压缩机装置系统	106
基础	10	第六节 单螺杆压缩机	112
第一节 单级活塞式压缩机的理论		第七节 安全保护装置	118
循环	10	第四章 滚动转子式制冷压缩机	120
第二节 容积型压缩机的实际		第一节 工作原理与工作过程	120
性能	12	第二节 滚动转子式压缩机的	
第三节 内容积比固定的压缩机的		结构及特点	122
附加功损失	12	第三节 发展趋势	125
第四节 压缩机的基本性能参数	14	第四节 输气量调节	127
第二章 活塞式制冷压缩机	18	第五章 涡旋式制冷压缩机	132
第一节 活塞式压缩机概述	18	第一节 工作原理与总体结构	132
第二节 活塞式压缩机的基本结构		第二节 输气量调节	137
和工作过程	20	第六章 离心式制冷压缩机	142
第三节 活塞式压缩机的热力		第一节 离心式制冷压缩机的工作原理	
性能	23	与结构	142
第四节 活塞式压缩机的主要零部件		第二节 空调用离心式制冷装置	153
与结构	35	第三节 离心式制冷机组的特性	
第五节 活塞式压缩机的润滑		曲线及能量调节	158
系统	46	第七章 其他型式的容积型制冷	
第六节 活塞式压缩机的能量调节		压缩机	165
方法	56	第一节 滑片式压缩机	165
第七节 安全保护	60	第二节 旋叶式压缩机	166
第八节 活塞式压缩机的总体		第三节 螺旋叶片式压缩机	168
结构	65	第四节 斜盘式压缩机	172
第九节 活塞式制冷机组	74	第八章 制冷压缩机拆装实训	175
第三章 螺杆式制冷压缩机	82	第一节 活塞式压缩机的拆装	175
第一节 螺杆式压缩机的工作		第二节 螺杆式压缩机的拆装	189
过程	82	第三节 离心式压缩机的拆装	192
第二节 结构及基本参数	84	参考文献	197
第三节 输气量与输气量调节			
机构	94		

绪 论

在日常生产与生活中,人们使用各式各样的机器进行能量(如电能、热能、位能等)的传递或转换,以满足各种不同的需要。在制冷与空调技术中,需要将热量从低于环境介质温度的物体中转移到环境介质中去,具有这种功能的机器称为制冷机。

随着科学技术的进步,制冷与空调技术也得到了高速发展,制冷机的种类、型式日益增多。特别是“三新”(新技术、新工艺、新材料)的研究、开发和应用,更促使高效节能的新制冷机不断涌现。在制冷机中起心脏作用的制冷压缩机(简称压缩机)的研究和开发更是备受重视,各类效能高、结构紧凑、式样新颖的压缩机进入市场,以适应与各种制冷机配套的需求。目前国内外广泛应用的制冷机分为压缩式制冷机(包括蒸气和空气压缩机两种)、吸收式制冷机和蒸气喷射式制冷机三种类型,其中尤以蒸气压缩式制冷机应用最为普遍。因此,本书主要介绍蒸气压缩式制冷机中的各类制冷压缩机。

制冷压缩机在系统中的作用:为了能连续不断地制冷,需用压缩机将已汽化的低压蒸气从蒸发器中吸出,并对其做功,压缩成为高压的过热蒸气,再排入冷凝器中(提高压力是为了使制冷剂蒸气容易在常温下放出热量而冷凝成液体)。在冷凝器中利用冷却水或空气将高压的过热蒸气冷凝成为液体并带走热量,制冷剂液体又从冷凝器底部排出。如此周而复始,实现连续制冷。

概括地说,这种制冷方法是使制冷剂在低温低压的条件下汽化而吸取周围介质的热量,并在常温高压的条件下冷凝液化而放出热量由冷却水(或空气)带走。欲使制冷剂实现这样的热量转移,必须提供与蒸发温度和液化温度相对应的低压和高压条件,而这一条件正是由压缩机创造的。因此,在蒸气压缩式制冷循环中,必须有压缩机,制冷机才能将低温物体的热量不断地转移给常温介质,从而达到制冷的目的。

一、制冷压缩机的种类与分类

制冷压缩机根据其工作原理可以分为容积型和速度型两大类,见图 0-1。

1. 压缩机的种类

1) 容积型压缩机

用机械的方法使密闭容器的容积变小,使气体压缩而增加其压力的机器,称为容积型压缩机。它有两种结构型式:往复式(简称活塞式)和回转式。

活塞式制冷压缩机是依靠活塞的往复运动来压缩气缸内的气体的,通常是通过曲柄连杆机构把原动机的旋转运动转变为活塞的往复运动。

回转式制冷压缩机内无往复运动件,它是依靠气缸内的转子旋转时产生的容积变化而实现气体的压缩。这种压缩机有多种不同的结构型式,其中应用较广的有螺杆式、滚动转子式以及滑片式三种。

螺杆式制冷压缩机是依靠置于机壳内带有螺旋槽的阴螺杆和阳螺杆的啮合旋转运动,造成

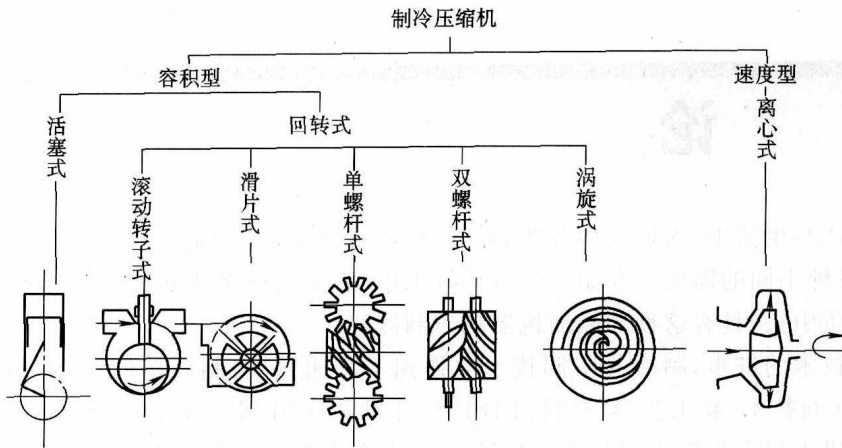


图 0-1 制冷和空调用压缩机的分类及结构示意图

螺旋形齿槽间容积的不断变化,从而实现气体的吸入、压缩及排出。

滚动转子式制冷压缩机的气缸内有偏心配置的旋转活塞,缸壁上装有可滑动的滑片。这样,气缸的月牙形空间被分隔为吸气和压缩排气两部分,当活塞旋转时,这两部分空间容积大小发生周期性的变化,从而完成气体的吸入、压缩和排出。

2) 速度型压缩机

用机械的方法使流动的气体获得很高的流速,然后在扩张的通道内使气体流速减小,使气体的动能转化为压力能,从而达到提高气体压力的目的,这种机器称为速度型压缩机,属于这一类的有离心式制冷压缩机。

这种压缩机工作时,气体在高速旋转的叶轮推动下,不但获得了很高的速度,并且在离心力的作用下,沿着叶轮半径方向被甩出,然后进入截面逐渐扩大的扩压器,在那里气体的速度逐渐下降而压力则随之提高。

2. 压缩机的分类

1) 按工作的蒸发温度范围分类

对于单级制冷压缩机,一般可按其工作蒸发温度的范围分为高温、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。下面列举一种某些著名压缩机产品沿用的大致工作蒸发温度的分类范围。

高温制冷压缩机	-10 ~ 0 °C
中温制冷压缩机	-15 ~ 0 °C
低温制冷压缩机	-40 ~ -15 °C

2) 按密封结构型式分类

制冷系统中的制冷剂是不容许泄漏的,这意味着系统中凡与制冷剂接触的部件都应对外界是密封的。根据制冷压缩机所采取的防泄漏方式和结构,可有三种不同的基本压缩机型式。

(1) 开启式压缩机 图 0-2 是活塞式的开启式压缩机结构图。压缩机的曲轴 3 的功率输入

端伸出压缩机机体之外,再通过传动装置与原动机相连接。在伸出部位要用轴封装置 8 防止轴段和机体间的泄漏。利用这种轴封装置的隔离作用使原动机独立于制冷剂系统之外的压缩机型式称为开启式压缩机(通常,这种压缩机的制冷量较大)。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。

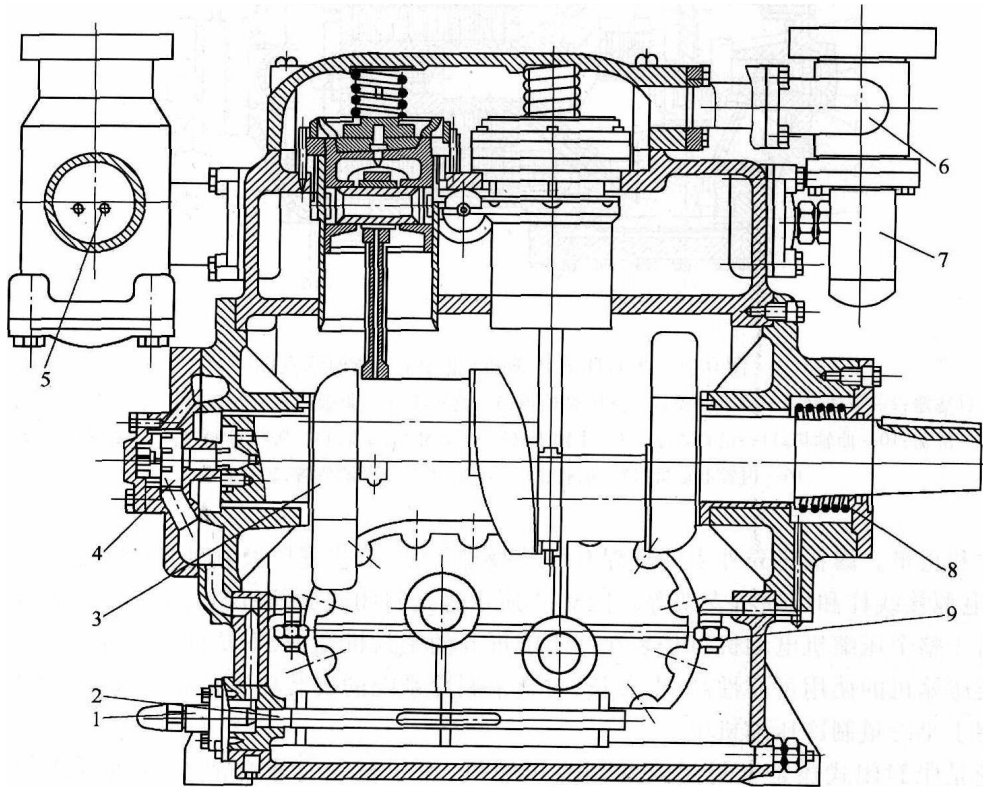


图 0-2 开启式压缩机(活塞式)结构示意图

1—加油三通阀;2—过滤器;3—曲轴;4—液泵;5—吸气滤网;6—排气集管;7—安全阀;8—轴封装置;9—供油管

(2) 半封闭式压缩机 采用封闭式的结构把电动机和压缩机连成一个整体,装在同一机体内共用一根主轴,因而可以取消开启压缩机中的轴封装置,避免了由此产生或多或少泄漏的可能性。图 0-3 是半封闭式压缩机(以活塞式为例)的结构示意图。从图中可见,电动机室 11 内充有制冷剂和润滑油,这种与制冷剂和润滑油相接触的电动机称为内置电动机,其所用材料必须与制冷剂和润滑油相容共处。半封闭式压缩机的另一个特点是其机体上的各种端盖都是用垫片和螺栓拧牢压紧来防止泄漏,因而压缩机内零部件易于拆卸、修理、更换。半封闭式压缩机的制冷量一般居中等水平。

(3) 全封闭式压缩机 全封闭式压缩机也像半封闭式一样,把电动机和压缩机连成一个整体,共用一根主轴,它与半封闭式的差异在于,连接在一起的压缩机和电动机组安装在一个密闭的薄壁机壳中,机壳由两部分焊接而成,这样既取消了轴封装置,又大大减轻和缩小了整个压缩

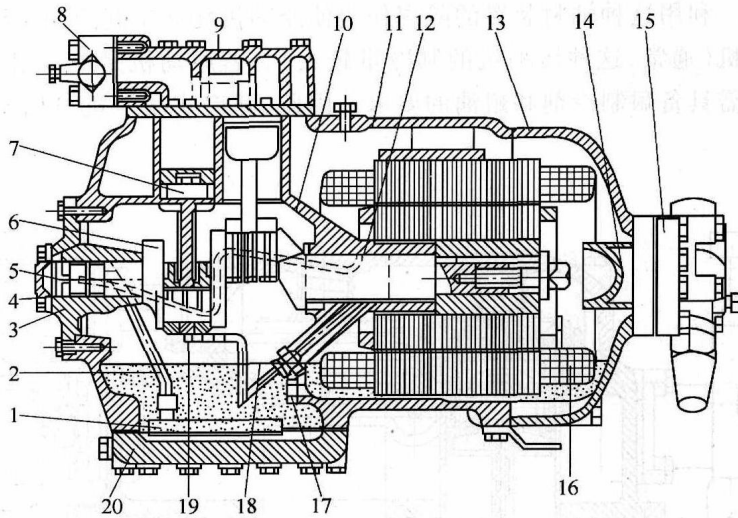


图 0-3 半封闭式压缩机(活塞式)结构示意图

- 1—过滤器;2—吸油管;3—轴承端盖;4—液压泵轴承;5—液压泵;6—曲轴;7—活塞连杆组;8—排气截止阀;
 9—气缸盖;10—曲轴箱;11—电动机室;12—主轴承;13—电动机室端盖;14—吸气过滤器;15—吸气截止阀;
 16—内置电动机;17—油孔;18—油面;19—油压调节阀;20—底盖

机的尺寸和重量。露在机壳外表的只焊有一些吸排气管、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。图 0-4 所示为全封闭式压缩机(以活塞式为例)的结构剖视图。由于整个压缩机电动机组是装在一不能拆开的密封机壳中,不易打开进行内部修理,因而要求这类压缩机的使用可靠性高、寿命长,对整个制冷系统的安装要求也高。这种全封闭结构型式一般用于小冷量制冷压缩机中。

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,也该看到,基于 CFC_s 和 HCFC_s 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应用。

二、制冷压缩机的当前发展概况

20 世纪后半叶,制冷和空调产业获得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,而随之带来的问题也是不能回避的现实。在制冷空调工业面前,现在所遇到的有三个主要问题。首当其冲的是如何实现 CFC_s 和 HCFC_s 的替代,以免大气臭氧层继续遭受破坏。第二个是要进一步提高设备和系统的效率以降低由于能源消耗带来的日趋严重的地球变暖现象。第三个是企业在全球竞争的白热化中如何脱颖而出。

针对上面的问题,各企业纷纷加大产品的研发力度,采用新材料、新工艺、新工质,使制冷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。

表 0-1 表示了目前各类压缩机的大致应用范围及其制冷量大小。

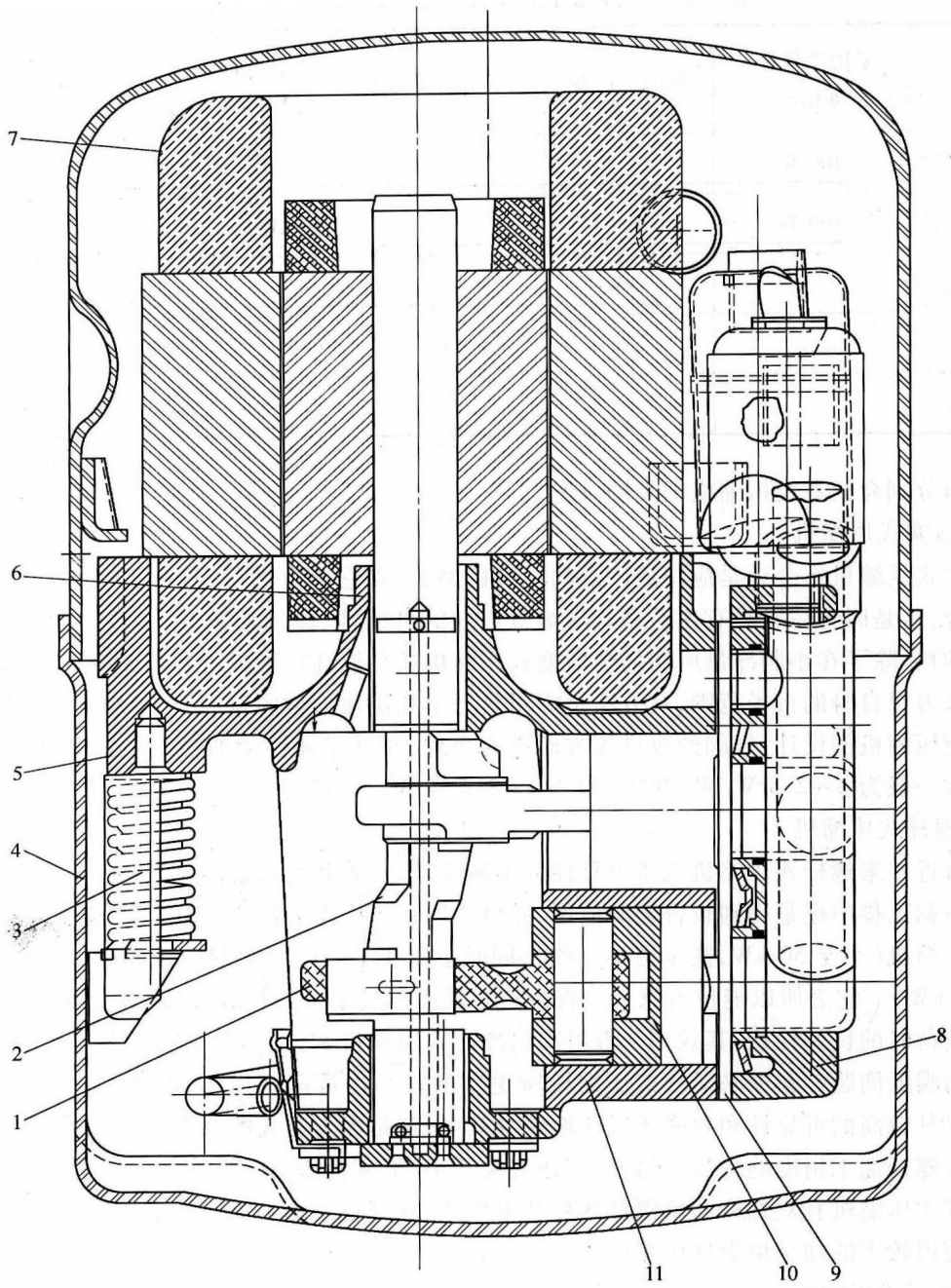


图 0-4 全封闭式压缩机(活塞式)的结构剖视图

1—连杆;2—偏心轴;3—内部支承弹簧;4—机壳;5—电动机座;6—主轴承座;7—内置电动机;8—气缸盖;
9—阀板;10—活塞;11—气缸体

表 0-1 各类压缩机的大致应用范围及其制冷量大小

用途 压缩机 型式	家用冷藏箱、 冻结箱	房间空调器	汽车空调设备	住宅用空调器 和热泵	商用制冷和 空调设备	大型空调设备
活塞式	100 W				200 kW	
滚动转子式	100 W			10 kW		
涡旋式		5 kW			70 kW	
螺杆式					150 kW	1 400 kW
离心式						350 kW 及以上

下面分别介绍各类压缩机的发展概况。

1. 活塞式压缩机

活塞式压缩机迄今还是应用最广泛的一种机型,尽管它的市场份额已被其他型式压缩机占去一部分,这是因为后者具有比活塞式压缩机更好的可靠性、输气系数、压力稳定性等性能。因此可以预料,除了在小制冷量应用场合活塞式压缩机还会继续扩展其占有的市场外,它必须采用新技术来力保自身的市场范围,其方法是应用热力学和流体力学的新成果,采取计算机辅助设计的手段使压缩机的设计、气阀的改进等方面更为合理,对其整体性能的预测更加精确。目前,其性能系数一般为 2~2.5 W/W(制冷)和 2.9~3.4 W/W(空调)。

2. 螺杆式压缩机

随着近年来螺杆式压缩机工作可靠性的不断改进,尽管其价格较高,但在中等制冷量范围内的制冷空调工程中还是得到较普遍的应用,并可望取得更广泛的推广;它已开始取代一些较大的活塞式压缩机(小至 50 kW,甚至更小一些),同时也取代了一些中等制冷量的离心式压缩机(大至 1 500 kW)。它之所以能挤入原来一直由离心式压缩机主宰的领域(350~1 500 kW),是由于其部分负荷时的良好性能,其效率一般可高出离心式压缩机 8%~10%,并且没有离心式压缩机所特有的喘振问题。在原来活塞式压缩机所主宰的较小冷量范围内(750 kW 以下),螺杆式压缩机是因其较高的可靠性和效率才成功地跻身其中,这是因为其装配零部件少、螺杆型线的最新发展以及螺杆加工精度的提高。另外,它还有尺寸小、重量轻和易于维护等优点。

螺杆式压缩机有双螺杆和单螺杆两种基本型式,在我国双螺杆压缩机应用得较为广泛。但在欧洲使用较多的却是单螺杆压缩机。

3. 转子式压缩机

转子式压缩机如今广泛应用于家用电冰箱和空调器中,它从结构上看主要是因为不需用吸气阀而显得可靠性更高。同样的原因亦使它适用于变速运行,在家用空调器中其变速比可达 10:1(从 10~15 Hz 到 100~150 Hz)。机器的零部件少、尺寸紧凑、重量轻也是它的明显优点。但是也有其受限制的一面,即这种压缩机一旦在其轴承、主轴、滚轮或滑片处出现磨损的杂质,就会致使机器性能迅速恶化。单缸的转子式压缩机在很低转速时的转速不均匀度会增大。因而开发了双缸机来克服这个缺点。

转子式压缩机的研究集中在降低能耗、采用替代工质(如 HFC-134a)、采用新的润滑油、电动机变速控制和降低噪声等方面。其性能系数可达 2.9 W/W(制冷)和 3.4 W/W(制热)。

4. 涡旋式压缩机

数控加工工艺的发展使涡旋式压缩机得以制成并进入市场。随着这种加工工艺生产率的提高,这类压缩机的价格更具有竞争力。尽管涡旋式压缩机需要有一平动传动机构而使其结构有所复杂化,但它却具有许多潜在的技术优势:机器中没有吸气阀,也可以不带排气阀,从而提高了其可靠性,转速变化范围可增大;动力平衡性较好,轴的扭矩较均匀,压力波动小以及较小的振动和噪声。进一步看其性能特点,涡旋式压缩机的输气系数在给定吸气条件下几乎与工况的压力比无关,这是因为它没有如活塞式压缩机的余隙容积损失的缘故。这种特性使它在制冷、空调和热泵应用场合中比活塞式更具有优势。

在制冷应用中,涡旋式压缩机可以用较小的压缩机工作容积在很低的蒸发温度和较高的压力比下提供足够的制冷剂流量,这样,压缩机用同一电动机可在更宽广的工况下高效工作。同理,在热泵应用中,在环境气温低及压力比高的情况下,压缩机具有较高的供热能力。在空调应用中,亦会在宽广的环境气温下,减轻电动机的负荷,提高了系统的总效率。

同转子式压缩机一样,相同制冷量的涡旋式压缩机的尺寸比活塞式压缩机的小。采用了柔性传动机构后可使其忍受液体压缩和杂质侵入的能力有所加强,不会导致性能明显变坏或失效。轴承和其他部件的磨损对压缩机的性能影响很小,工作可靠性提高。

涡旋式压缩机的发展方向是扩大其制冷量范围,特别是做成小制冷量的机型,提高效率,使用替代工质和降低制造成本等方面。

5. 离心式压缩机

离心式压缩机目前在大制冷量范围内(大于 1 500 kW)仍保持优势,这是由于在大制冷量范围内它具有无可比拟的系统总效率。离心式压缩机的运动零件少而简单,且其制造精度比螺杆式压缩机的要求低得多,制造费用相对低且可靠。此外,大型离心式压缩机如应用在工作压力变化范围狭小的场合中,可以避开由喘振所带来的问题。但由于今后总合部分负荷值(integrated part load value)将越来越被重视,从而要求离心式压缩机要在较宽广的应用工况中工作效率高。这对下一代离心式压缩机是一个挑战,要求它不仅在满负荷时的效率保持较高水平,而且要兼顾部分负荷时的效率要求。

受到螺杆式压缩机和吸收式制冷机的挑战,相对而言离心式压缩机的发展近年来有所缓慢。

离心式压缩机自 1993 年就开始根据 CFC_s替代的需要进行重新设计,以使其热力和气动力性能得到更好的改善。目前在美国和日本已有很多离心式压缩机用 HCFC—123 替代原来的 CFC—11。但 HCFC 的使用终究不是长久之计,因而已有很多离心式压缩机的工质替代转向从 HCFC—22 置换为 HFC—134a,其制冷量范围为 90 ~ 1 250 kW。

三、环境保护对压缩机提出的要求

随着工业的发展而产生的对地球的污染越来越严重,环境保护已成为全球关注的焦点,而防止大气臭氧层的破坏和全球气候变暖,更引起世界各国的普遍重视,并使国际上政府间达成共识,签署了有关协议。

而在制冷与空调领域中 CFC_s和 HCFC_s对大气臭氧层的破坏以及能源消耗造成的全球变暖,

都是压缩机在设计时应高度重视的问题。

众所周知,制冷剂的选用是影响压缩机设计的诸多因素中应予高度重视的一个。

为了开发使用替代制冷剂的新压缩机,设计者首先遇到两个问题:一是压缩机必须把其工作容积的尺寸重新划定,以适应不同流量压力的要求;二是压缩机中与制冷剂接触的各种材料之间的相容性(如合成橡胶和润滑油)必须给予解决。

曾有五十余种物质用做制冷剂。第二次世界大战以后,除了在大冷量范围内还用氨以外,几乎所有制冷空调领域中的制冷剂都被卤代烃 CFC_s 和 HCFC_s 所主宰,1974 年蒙特利尔协议书中所规定的 CFC_s 替代已在工业化国家中实现,而 HCFC_s 的替代计划将在 2020 年完成;而对发展中国家,则将分别在 2010 年和 2040 年实现。但某些发达国家则准备提前实现。图 0-5 所示为欧洲原来常用的 CFC—11、CFC—12、HCFC—22 和 R502 的应用领域及其可能采用的替代剂(箭头横线之下)。

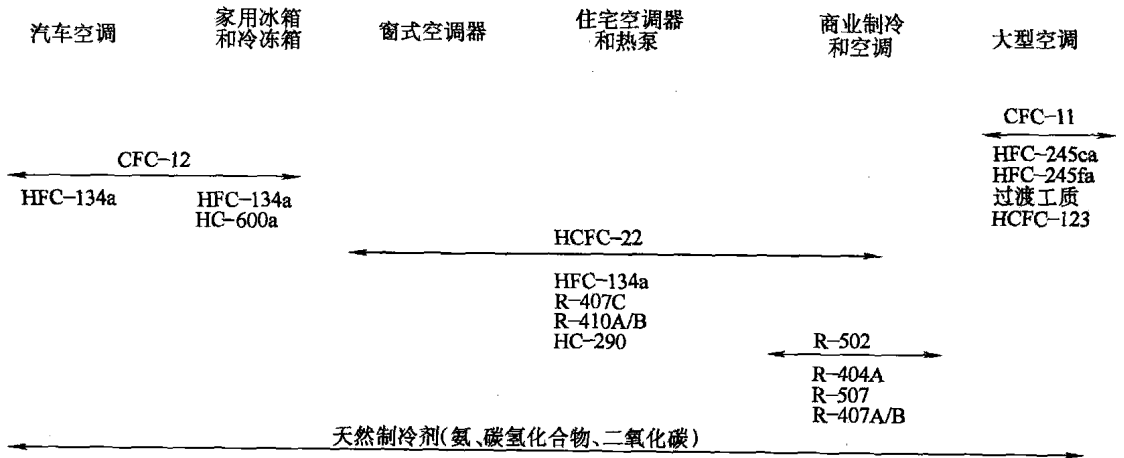


图 0-5 CFC_s 和 HCFC_s 及其可能替代制冷剂的应用领域

CFC—11 是一种低压制冷剂,主要用于离心式冷水机组中,其过渡替代剂为 HCFC—123。另外 HFC—245ca 或 HFC—245fa 也属于低压制冷剂,但具有可燃性,故而对其减燃方法和毒性尚待研究,而且它的使用不及 CFC—11 和 HCFC—123 效率高。因而,许多企业已改用 HFC—134a 于离心式冷水机组中。

CFC—12 由于应用面广和在汽车空调中的泄漏问题,因而是首先考虑要替代的对象。在家用电冰箱和汽车空调中可用 HFC—134a 来替代。用于中温和高温范围时,HFC—134a 具有和 CFC—12 相近的制冷量和效率。但在低于 -23 ℃ 的工况下,则因其制冷量和效率都比 CFC—12 低而失去吸引力。虽然 HFC—134a 的臭氧消耗潜能 ODP 值为零,但其全球变暖潜能 GWP 值高达 1 300(以 CO₂ 的 GWP 值为基准的比较值),从长远考虑,这也会影响其发展使用。

HCFC—22 已广泛用于商业制冷及商业和住宅空调及热泵中,其 ODP 值远小于 CFC—11 和 CFC—12 的,仅为 0.055。但其 GWP 值却相当高,约为 1 700。因此 HCFC—22 在欧洲一些国家(如德国)正在被迅速淘汰。已经有好几种混合制冷剂作为 HCFC—22 的替代物。美国制冷协会在其制冷剂替代物的评估计划(AREP)中推荐了 4 种:HFC—134a、R407C、R410A 和 R410B。

其中 HFC—134a 比之其他三种的制冷量和压力都较小,用它作制冷剂需要对系统作较大的重新设计,故由它来替代 HCFC—22 的可能性似乎最小,但用在较大的冷水机组中的可能性还是存在的。非共沸工质 R407C 很可能是一种对现有器器的“可用”(drop in)替代剂,因它与 HCFC—22 最相近,替代后对系统的设备只需做最小的改动,且采用酸类润滑油来取代矿物油,还应注意适应工质的较大温度滑移(可达 5~7℃)。近共沸工质 R410A 和 R410B 是两种相同的 HFCS 的混合物,不同的仅是混合比例而已。R410A 适用于分体式小型空调器,但其蒸发压力约为 HCFC—22 的 1.5 倍,因此,用这种工质的系统需要全部重新设计,故仅用于新的制冷空调系统中。经过优化设计的这种系统可使其效率提高 5%。

R502 曾广泛用于低温的制冷系统里。AREP 推荐了两种可能的替代物:R404A 和 R507。R404A 具有与 R502 相近的制冷量和效率,但在采用时还需对系统的部件作较多的试验,特别是压缩机。R507 的混合组分中有一种成分起着阻燃的作用,它与 R502 的性能相似,在美国还在继续进行毒性试验;可是在欧洲,它已被应用于超市冷冻设备中。

在自然界中大量存在着“天然制冷剂”,例如氨、碳氢化合物、二氧化碳等。氨的应用已有百余年的历史,至今还有许多国家用在大型工业制冷、食品冷冻冷藏中,但其易燃、易爆、有毒和具有强烈的刺激味等限制了它的应用范围。

碳氢化合物具有十分好的热力性质和传热特性,它和所有机械材料和油类完全相容。实际上这种工质早就在石油化学工业的大型制冷系统中使用。影响这类制冷剂大量推广的阻力来自它的可燃性。在欧洲,这种制冷剂已开始进入家用制冷设备的市场,如德国已在产品中有 90% 的覆盖率。我国电冰箱行业亦已有使用异丁烷 R600a 的产品。

可燃性制冷剂的应用范围和前景是一个十分重要的问题,它的解决尚需有国际上比较统一的认识,因为这影响制冷空调设备的国际贸易。做到这一步要视更多的试验研究结果和各国对此问题所采取的政策,看来还需要相当的时间方见端倪。

由于传统的适用于 CFC—12 等 CFC_s 工质的矿物油和合成油与新工质 R134a 等 HFC_s 的相溶性差,人们遂研究开发出新型的极性润滑油,该润滑油的基体有的是多元酯 POE(称为酯类油),有的是聚乙二醇 PAG(称为乙二醇油),它们与 HFC_s 新工质有良好的相溶性,这样才能避免在换热器中聚集润滑油以及保证油能顺利回流到压缩机中去。

思考题

1. 压缩机根据其工作原理分为几类?
2. 各类压缩机的适用范围是什么?
3. 环境保护对压缩机提出的要求是什么?

第一章 容积型制冷压缩机的热力学基础

容积型压缩机是蒸气压缩式制冷机中应用领域最广泛、使用数量最多的压缩机,它们的功率可以从几十瓦到几千千瓦的宽广范围。尽管容积型压缩机的结构型式众多,但究其热力学基础还有许多部分是相同的,因此首先在本章中将对此作必要的阐述。

容积型压缩机中,活塞式压缩机是最常用的一种,其压缩理论最易于理解,对活塞式压缩机基础理论的剖析大多数都适用于其他容积型回转式压缩机,因此,以它作为典型来讨论其理论循环。

第一节 单级活塞式压缩机的理论循环

单级活塞式压缩机的理论循环是在以下假设情况下实现的:

(1) 压缩机没有余隙容积,即压缩机的理论输气量与气缸容积相等,也就是说曲轴旋转一周吸入的气体容积等于气缸的工作容积。

(2) 吸气与排气过程中没有压力损失。

(3) 吸气与排气过程中无热量传递,即气体与机件之间不发生热交换。

(4) 无漏气损失,机体内高低压气体之间不发生窜漏。

(5) 无摩擦损失,即运动部件在工作中没有摩擦,因而不消耗摩擦功。

实际上,符合上述理想工作过程条件的压缩机是无法实现的。但它便于分析研究压缩机的工作原理,还可以作为比较实际工作过程完善程度的标准。

由以上条件可以看出,理想工作过程不存在任何容积和能量损失,因而对于给定的压缩机来说,其输气量为最大,耗功量为最小。

一、活塞式压缩机的理论输气量

从图 1-1 可知,每一循环从一个直径为 D 、活塞行程为 s 的气缸中排出的气体容积,如余隙容积为零,即排气行程结束时的气缸中容积为零,则按压缩机进口处吸气状态(p_1 、 T_1)计算,等于活塞移动一个行程所扫过的气缸工作容积,计算公式为

$$V_p = \frac{\pi}{4} D^2 s \quad (1-1)$$

式中 V_p ——活塞移动一个行程所扫过的气缸工作容积, m^3 ;

D ——气缸直径, m ;

s ——活塞行程, m 。

压缩机的输气量有容积输气量和质量输气量之分。理论容积输气量 q_v (或称理论排气量)

是指压缩机按理论循环工作时,在单位时间内所能供给的按进口处吸气状态换算的气体容积。

$$q_{v1} = 60inV_p = 47.12insD^2 \quad (1-2)$$

式中 q_{v1} ——理论容积输气量, m^3/h ;

i ——压缩机的气缸数;

n ——压缩机的转速, r/min 。

于是,压缩机的理论质量输气量为

$$q_{m1} = \frac{q_{v1}}{v_1} \quad (1-3)$$

式中 q_{m1} ——理论质量输气量, kg/h ;

v_1 ——进气口处吸气状态下气体的比体积, m^3/kg 。

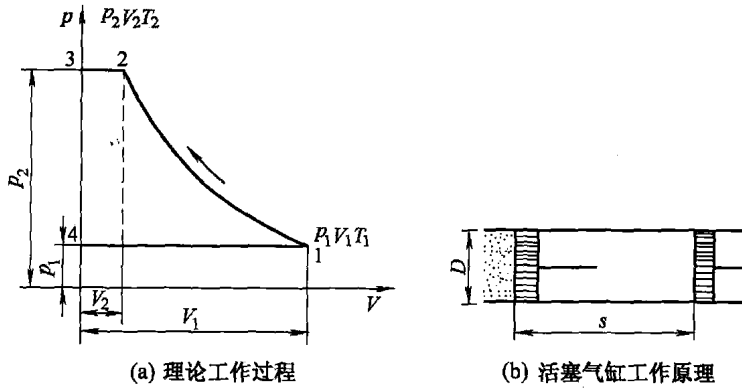


图 1-1 单级活塞式压缩机的理论循环

二、压缩机消耗的理论功率

压缩机一个气缸完成一个理论循环所消耗的理论功 W_t 可从 $p-V$ 示功图的面积(4—1—2—3—4 所围成的面积)求得,令活塞对气体所作的功为正值,则

$$W_t = \int_1^2 V dp \quad (1-4)$$

式中 W_t ——一个气缸完成一个理论循环所消耗的理论功, J 。

在蒸气压缩式制冷循环中,制冷剂蒸气在压缩机内的工作过程比较接近于绝热过程。因此,可用压缩机的绝热理论耗功作为判断制冷压缩机的热力性能的比较标准。由热工理论可知,压缩机绝热压缩 $1 kg$ 制冷剂蒸气所消耗的功即为单位绝热理论功 W_{is} ,其计算公式为

$$W_{is} = h_2 - h_1 \quad (1-5)$$

式中 W_{is} ——单位绝热理论功, J ;

h_2 ——排气状态时气体的比焓, J/kg ;

h_1 ——吸气状态时气体的比焓, J/kg 。

于是,压缩机所消耗的理论功率为

$$P_{is} = \frac{inW_{is}}{60 \times 1000} \quad (1-6)$$