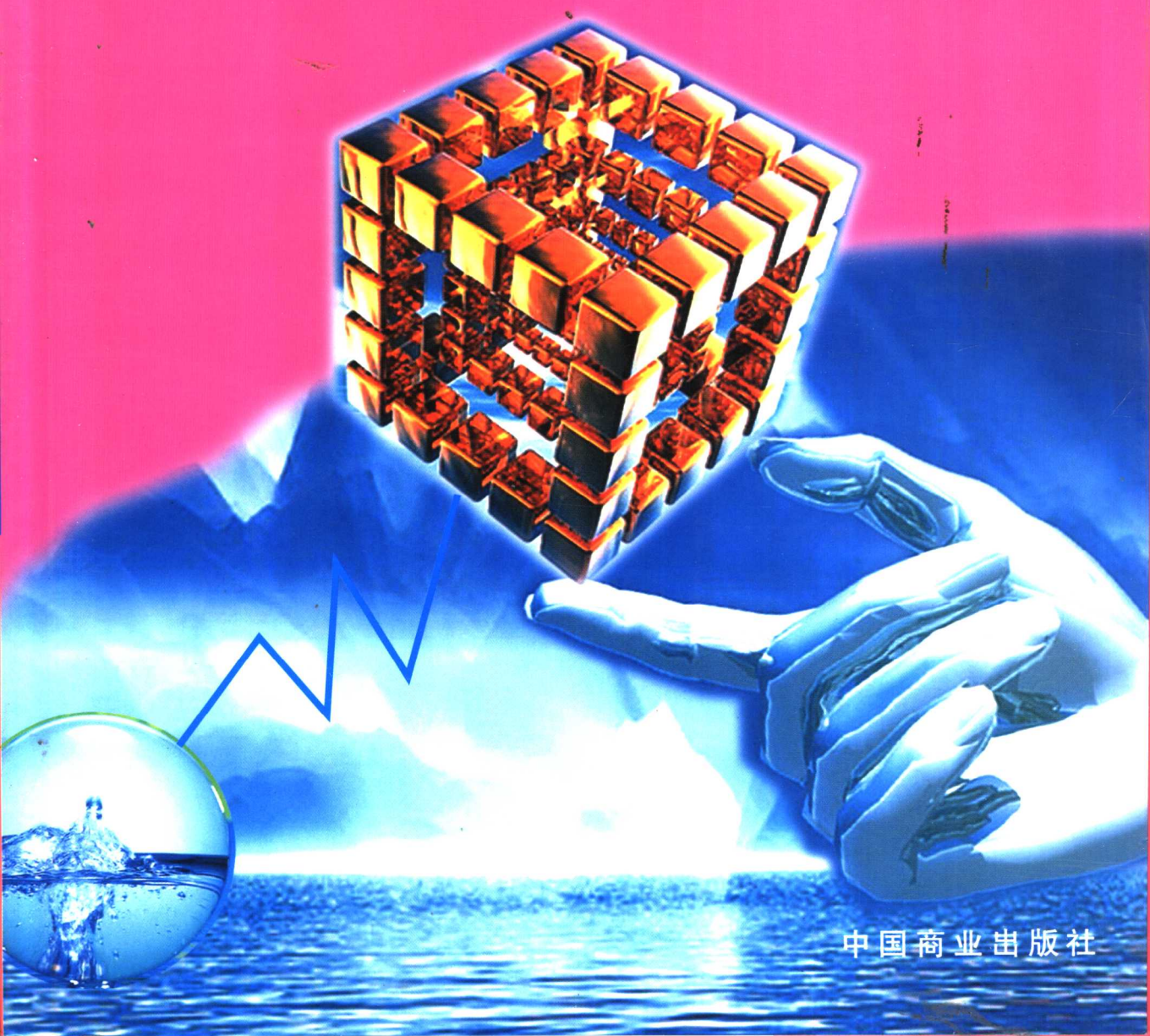


高等职业技术教育教材

制冷压缩机

主编 匡奕珍



中国商业出版社

高等职业技术教育教材

制 冷 压 缩 机

主 编 匡 奕 珍

中 国 商 业 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

制冷压缩机/匡奕珍主编. —北京:中国商业出版社,2001.7
ISBN 7-5044-4227-5

I. 制… II. 匡… III. 制冷-压缩机-高等学校:技术
学校-教材 IV. TB652

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 043159 号

责任编辑:刘树林

中国商业出版社出版发行
(100053 北京广安门内报国寺1号)
新华书店总店北京发行所经销
北京市东华印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开 14.5印张 337千字
2001年7月第1版 2001年7月第1次印刷
定价:22.00元

* * * *

(如有印装质量问题可更换)

编审委员会名单

主任：匡奕珍

副主任：张萍 朱立 崔建宁

委员：邹汉贞 谢一风 李丰桐 李军

叶学群 姜献忠 邢振禧 邹新生

吕美进 韦伯琳 伊佩奇 周秋淑

李建华 涂河 林巧婷

编 审 说 明

为适应我国高等职业技术教育的发展,根据《制冷与空调》专业教学计划和教学大纲的要求,结合我国制冷和空调行业的发展情况,我们组织全国有关职业技术学院的部分专业教师编写了《制冷压缩机》一书。本书是高等职业技术教育必用教材,也可供职工大学、电视大学和高等专科学校使用,或作为本科院校的参考教材。

本书由匡奕珍主编,陆靓燕、殷雷任副主编。具体编写分工如下:山东商业职业技术学院匡奕珍(绪论,第二、五、六、七、十章);江苏商业学校殷雷(第三章);武汉商业服务学院陆靓燕(第四、九章);阜新市财贸学校马平(第一、五章);武汉商业服务学院刘佳霓(第八章)。

本教材承武汉商业服务学院朱立副教授主审,并在整个编定过程中给予编者全面指导,在此谨致谢意。

在本书编写过程中,有关设计、施工、管理单位和兄弟院校的专家、教师们提出了很多宝贵意见,提供了不少资料,在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中如有疏漏之处,敬请广大读者不吝赐教,以便于修改,使之日臻完善。

制冷与空调专业教材编审委员会
2001年2月

目 录

绪 论	(1)
第一章 活塞式制冷压缩机概述	(6)
第一节 活塞式制冷压缩机的基本结构	(6)
第二节 活塞式制冷压缩机的分类及型号表示方法	(8)
第二章 活塞式制冷压缩机的热力过程	(14)
第一节 单级活塞式制冷压缩机的工作过程	(14)
第二节 活塞式制冷压缩机的实际工作过程与输汽系数	(17)
第三节 活塞式制冷压缩机的制冷量、功率和效率	(28)
第四节 活塞式制冷压缩机的性能曲线及工况	(36)
第五节 活塞式制冷压缩机的排汽温度	(42)
第三章 活塞式制冷压缩机的主要零部件和润滑及能量调节装置	(44)
第一节 机体组	(44)
第二节 汽缸套	(47)
第三节 汽阀组件	(49)
第四节 活塞组件	(53)
第五节 连杆	(60)
第六节 曲轴	(65)
第七节 皮带轮、联轴器	(67)
第八节 轴封	(68)
第九节 润滑系统	(70)
第十节 能量调节装置	(81)
第十一节 安全器件	(88)
第十二节 整机装配	(89)
第四章 活塞式制冷压缩机的总体结构与机组	(92)
第一节 单级开启式制冷压缩机	(92)
第二节 开启式单机双级制冷压缩机	(98)
第三节 半封闭式制冷压缩机	(105)
第四节 全封闭式制冷压缩机	(108)
第五节 活塞式制冷机组	(111)
第六节 改型 100、125 系列制冷压缩机	(126)
第五章 活塞式制冷压缩机的受力分析和动力平衡	(128)
第一节 曲柄连杆机构的运动方程	(128)

第二节	曲柄连杆机构的惯性力·····	(130)
第三节	活塞式制冷压缩机的受力分析·····	(133)
第四节	活塞式制冷压缩机的动力平衡·····	(136)
第六章	活塞式制冷压缩机的性能测试·····	(143)
第一节	出厂试验·····	(143)
第二节	制冷量测试·····	(144)
第七章	螺杆式制冷压缩机·····	(152)
第一节	螺杆式制冷压缩机的基本结构和工作过程·····	(152)
第二节	螺杆式制冷压缩机的输汽量·····	(156)
第三节	螺杆压缩机的制冷量、功率和效率·····	(158)
第四节	螺杆压缩机的能量调节·····	(162)
第五节	螺杆式压缩机转子型线·····	(168)
第六节	螺杆压缩机的重要结构参数·····	(171)
第七节	螺杆式制冷压缩机的主要零部件及总体结构·····	(173)
第八节	螺杆式制冷压缩机组·····	(180)
第九节	具有内容积比可调装置的螺杆压缩机·····	(187)
第八章	刮片式及滑片式制冷压缩机·····	(189)
第一节	刮片式制冷压缩机的基本工作原理和工作过程·····	(189)
第二节	刮片式制冷压缩机的输汽量、功率和效率·····	(192)
第三节	刮片式制冷压缩机的结构及特点·····	(193)
第四节	滑片式制冷压缩机·····	(198)
第九章	离心式制冷压缩机·····	(200)
第一节	离心式制冷压缩机的工作原理与基本结构·····	(200)
第二节	空调用离心式制冷装置·····	(211)
第三节	离心式制冷压缩机的特性曲线及能量调节·····	(214)
第十章	其它型式制冷压缩机·····	(220)
附录	书中主要符号意义及单位·····	(224)

绪 论

热量能自发地从高于环境介质温度的物体中传递到环境介质中,而绝不能自发地从环境介质中传递到高于环境介质温度的物体中去。这就是说,若想使某种物体(或介质)获得低于环境介质的温度,就需要消耗其它能量,通过适当的方法和完成这一方法的机器设备,把某种物体(或介质)的温度人为地降到低于环境介质的温度,这一方法就是制冷技术,而这种能将热量从低于环境介质温度的物体(或介质)中转移到环境介质中去的机器设备,则称为制冷机。

无论是在人们的日常生活中;或是在工业、农业、建筑、交通、医药卫生、文化、体育事业、国防、科技等各个方面,制冷技术都得到了广泛的应用。总之,制冷技术的应用是很广泛的,它随着国民经济的发展,科学技术的进步,人民生活水平的不断提高,将展现出更加广阔的远景。

科学技术的进步和市场激烈的竞争,有力地促进了制冷技术的高速发展。由于加大了对制冷机的研究开发力度,不但使其种类、型式日益增多,而且使高效节能的新型制冷机不断涌现。在制冷机中起心脏作用的制冷压缩机(以后均简称压缩机)的研究和开发更是备受重视,各式各样的效能高、结构紧凑、式样新颖的压缩机进入市场,以适应各种制冷机配套的需求。目前国内外广泛应用的制冷机为:压缩式制冷机(包括蒸汽和空气压缩机两种)、吸收式制冷机和蒸汽喷射式制冷机三种类型,其中尤以前者应用最为普遍。因此,本教材在介绍各种制冷压缩机时,将对活塞式制冷压缩机进行重点研究。

一、制冷循环和制冷压缩机在制冷循环中的作用

1. 制冷循环及其工作原理

图 0-1 为蒸汽压缩式制冷循环的工作原理图。这种制冷机主要由压缩机、冷凝器、节流阀(膨胀阀)及蒸发器四部分组成。它们之间用管道联接成为一个封闭系统。其工作过程是:高压的制冷剂液体从冷凝器底部流出,经节流阀节流后,压力和温度都大为下降,然后低温低压的制冷剂液体进入蒸发器,从冷室吸取热量汽化,而使冷室的温度降低,以达到制冷的目的。

在制冷机中,状态循环变化而实现制冷的工作物质,称为制冷剂。蒸汽压缩式制冷机中常用的制冷剂有氨和各种氟利昂,如 $R12$, $R22$ 和 $R502$ 等。

制冷剂经过一系列的状态变化(压力、比容、温度及相的变化),回到初始状态的过程,称为热力循环,简称循环。不断地进行这一循环,就可以不断地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,完成制冷的过程。

2. 制冷压缩机在制冷循环中的作用

为了能连续不断地制冷,需用压缩机将已汽化了的低压蒸汽从蒸发器中吸出,并对其做功,压缩成为高压的过热蒸汽,再排入冷凝器中(提高压力是为了使制冷剂蒸汽容易在

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汽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。

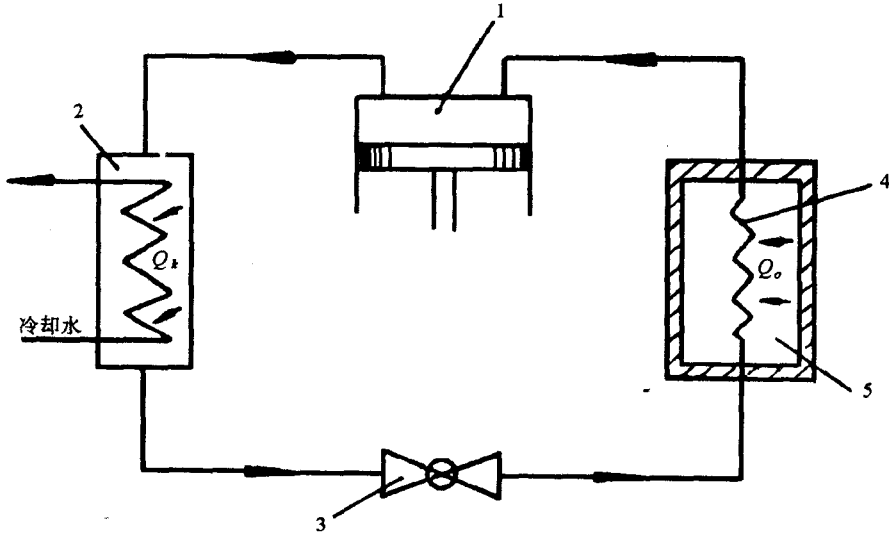


图 0-1 蒸汽压缩式制冷循环原理图

1- 制冷压缩机; 2- 冷凝器; 3- 节流阀; 4- 蒸发器; 5- 冷室

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冷凝温度相对应的低压和高压条件,而这一条件正是由压缩机所创造的。所以,在蒸汽压缩式制冷循环中,只有有了压缩机,制冷机才能将低温物体的热量不断地转移到常温环境介质中,从而达到制冷的目的。

二、制冷压缩机的分类

前已说明压缩机是制冷机的主机或心脏部位,制冷机是通过它消耗电能给制冷循环提供动力的。压缩机的种类很多,根据其工作原理,可以分为容积型和速度型两大类。见图 0-2。

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(简称回转式)。

活塞式制冷压缩机,是依靠活塞的往复运动来压缩汽缸内的气体的,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,它是依靠汽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形式,其中应用较广的有螺杆式、刮片式以及滑片式三种。

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,造成螺旋形齿槽间容积的不断变化,从而实现汽体的吸入、压缩及排出。

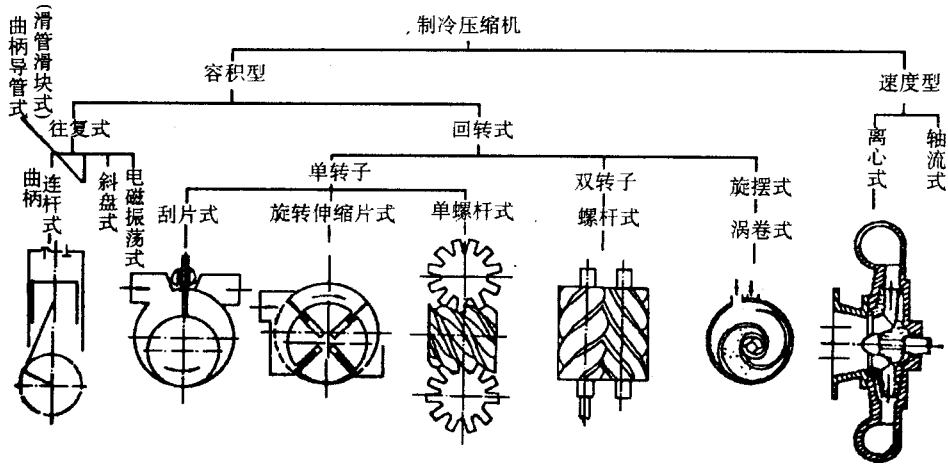


图 0-2 制冷压缩机的分类

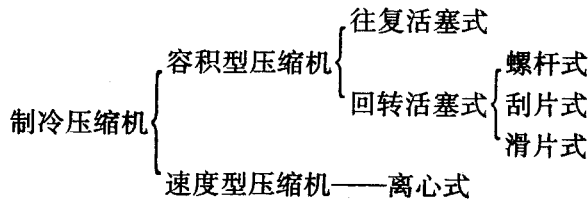
刮片式制冷压缩机的汽缸内有偏心配置的旋转活塞,缸壁上装有可滑动的刮片。这样,汽缸的月牙形空间被分隔为吸汽和压缩排汽两个部分,当活塞旋转时,这两部分空间容积大小发生周期性的变化,从而完成汽体的吸入、压缩和排出。

2. 速度型压缩机

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

这种压缩机工作时,汽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,在那里汽体的速度逐渐下降而压力则随之提高。

综上所述,制冷压缩机的分类可概括如下:



此外,还有如斜盘式等结构型式的压缩机,由于应用较少故不予详细介绍。

三、各种制冷压缩机的制冷范围和其它特点

由于制冷机的应用几乎遍及各个领域及家庭生活中,为便于设计人员和制造商在各种不同情况下选用合适的配套制冷压缩机,现将各种类型的制冷压缩机的主要特点列于

表 0-1 中,以供参考。

表 0-1 制冷压缩机的种类及主要特点

制冷机种类		常用制冷剂	适用温度 (°C)	单机制冷量 (kw)	主要用途	
压缩机 制冷机	往复式 活 塞 式	NH ₃ R12** R22 R332* R13** (目前还在积极 开发节能的非共沸 混合制冷剂)	-120 以上 (包括单级、 双级、复叠)	全封闭 0.50~50	家用、商用冰箱、空调	
				半封闭 0.8~80	商用、办公用冷藏、空调	
				小型单双缸 0.3~6 大型多缸 500 以下 (蒸发温度 -23°C)	商用冷藏、汽车空调食品 工业及其它工业冷冻空调	
				对称平衡 400~1700	石油、化工用冷却设备	
	螺杆式	同往复式	-80 以上	20~200	食品及其它工业冷冻空调	
	回转式 (滚转、旋片)	同往复式 (R13 不用)	-30 以上	大型 16~600 小型 0.08~16	食品及其它工业冷冻、 空调家用冰箱、空调	
	涡卷式	R12R22** R322.	0 以上 (空调)	1~10	汽车及家用等小空调 (冷冻用的尚在开发)	
	离心式	R11**、R12**、NH ₃ C ₂ H ₆ 、CH ₄	-160 以上	160~30000	石化、纺织等工艺 冷却、大型空调	
	气体 压 缩 式	空气式	空 气	-150 以上	5~1000	航空、仪表等低温试验 及空调
		气体回热式	H ₂ 、He	-150 以下	0.0005~24	液氮、液氦设备,超导技 术中的超低温设备
吸收式 制 冷 机	氨水吸收式	NH ₃ -H ₂ O	-65 以上	10~7000	化工工艺冷却	
	溴化锂吸收式	LiBr-H ₂ O	0 以上	12~7000	大型空调或工艺用冷水	
	扩散吸收式	NH ₃ -H ₂ O-H ₂ 或 He	-20	0.01~0.02	家用、医用冰箱	
蒸汽喷射式		H ₂ O	0 以上	30~3000	大型空调或工艺用冷水	
半导体式			-120 以上	0.01~30 0.01 以下效率高于其 它式	医用、仪用小型制冷设 备、舰艇空调	
其它式		已经实用的有涡流管式,绝热去磁式,太阳能吸附式等,研制中尚未大量商品化的有磁学,声学家用小冰箱等。				

注:

- 1.带*符号的制冷剂,因破坏大气臭氧层,今后争取少用或不用。现正开发 R_{134a}等替代制冷剂。
- 2.确定制冷量工况,大部没标出,一般冻结物单级冷藏按蒸发温度 -23°C,空调按 +5°C,其它按各自适用温度。

选用时,要注意到不同的压缩机各有其不同的特点,做到经济合理。同类压缩机经过设计和制造方面的重大改进,可以显著提高其单位耗电量的制冷量(即 COP 值),并提高其可靠性和延长其使用寿命。即使完全相同的压缩机,由于安装、操作、维修及管理水平的不同,其运行费用、可靠性、使用寿命及经济效益都会有很大的差异,而我们的任务正是要尽量把所有这些方面的工作搞得更好,以期取得更好经济效益和社会效益。

第一章 活塞式制冷压缩机概述

第一节 活塞式制冷压缩机的基本结构

往复式制冷压缩机虽有曲柄连杆式、曲柄导管式、斜盘式和电磁震动式等多种传动机构的机型,但以前者的生产和使用历史较长,而且是目前国内外应用最为广泛的一种机型。所以,它是我们研究制冷压缩机的重点。

一、活塞式制冷压缩机的基本结构

各种活塞式制冷压缩机的制冷量、外形、制冷剂、用途等不尽相同,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、吸排气组件、汽缸套组件等。图 1-1 即为一台立式两缸活塞曲柄连杆式制冷压缩机的结构轴侧图。

从图 1-1 可见,压缩机汽缸可变工作容积的基本构成和工作原理如下:圆筒形的汽缸、顶部设置的吸、排气阀与活塞共同构成可变工作容积;连杆的大头与曲轴连接,小头通过活塞销与活塞连接,当曲轴在原动机的驱动下旋转时,通过曲柄、连杆、活塞销的传动,使活塞在汽缸中作往复直线运动,其行程为曲轴偏心距 γ 的 2 倍;而吸、排气阀的阀片分别被汽阀弹簧压在缸体上部的内、外阀座上,靠阀片上下两侧汽体的压力差自动开启,控制着工质蒸汽进、出汽缸的通道。

曲轴每旋转一周,活塞往复运行一次,可变工作容积中将完成一个包括汽体的吸入、压缩和排出过程在内的工作循环(注意:这里所说的工作循环与制冷循环的概念不同)。它可将一定数量的工质蒸汽由压缩机的吸汽腔输往排汽腔,而且使输入的低温低压的工质压缩后变成高温高压的工质进入冷凝器。

二、活塞式制冷压缩机的有关几何名称

下面利用图 1-2 介绍压缩机的有关几何名称。

1. 外止点(上止点):活塞在汽缸中作反复运动时,离曲轴旋转中心最远的位置。如图 1-2(a)所示。

2. 内止点(下止点):活塞在汽缸中作反复运动时,离曲轴旋转中心最近的位置。如图 1-2(b)所示。

3. 活塞行程:外止点与内止点之间的距离,通常用 S 表示,等于曲柄半径 R 的两倍,即 $S = 2R$,单位为米(或毫米)。

4. 汽缸直径。即汽缸的内径,通常用 D 表示,单位为米(或毫米)。我国中小型活塞式单级制冷压缩机的汽缸直径已系列化分为五档,即 50、70、100、125 和 170(毫米)。

5. 汽缸工作容积:汽缸在外止点与内止点之间的工作室容积,即活塞移动一个行程所

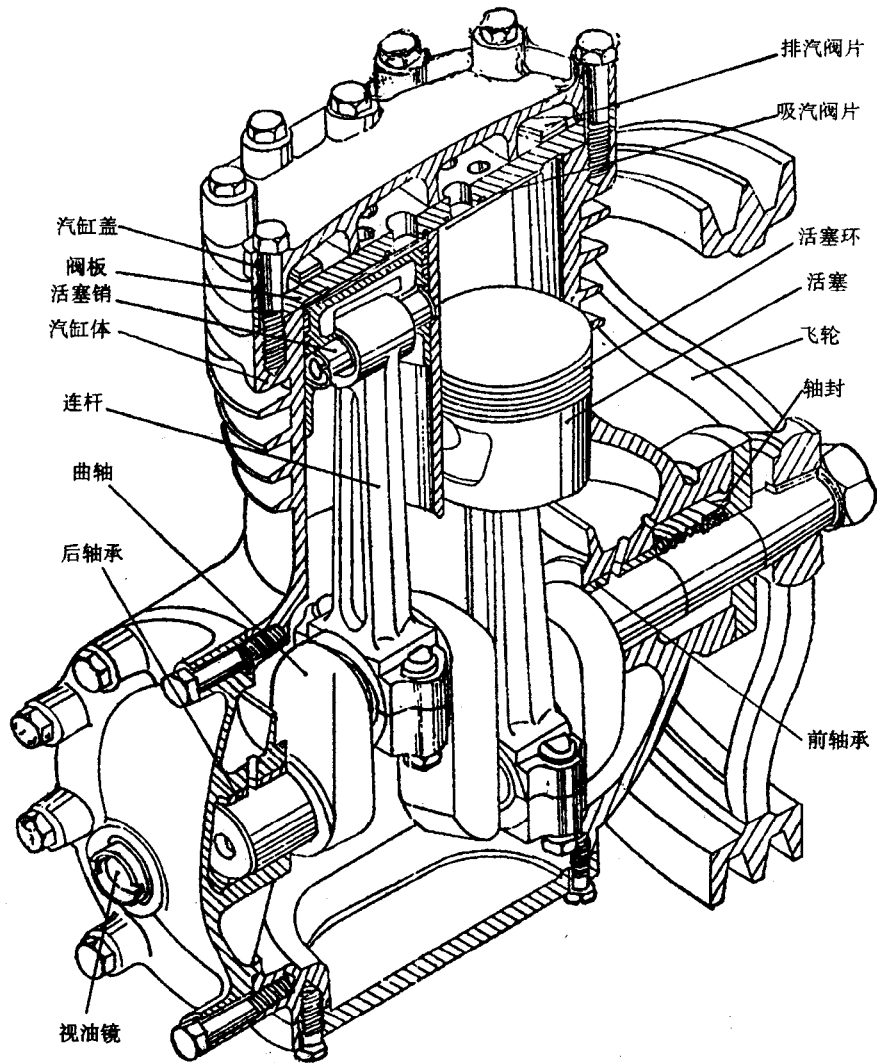


图 1-1 立式两缸活塞式制冷压缩机

扫过的汽缸容积,用 V_p 表示,显然有: $V_p = \frac{\pi}{4} D^2 S \text{ m}^3$

式中 D ——汽缸直径(m);

S ——活塞直径(m)。

6. 余隙容积: 活塞位于外止点时, 活塞顶面与汽缸端面之间的容积, 汽阀通道(与汽缸一直相通的)及第一道活塞环以上的环形容积的总和(图 1-2(a)), 以 V_c 表示。造成余隙容积的主要原因是: ①考虑到当运动机构受热膨胀时, 不致使活塞顶面碰撞汽阀端面而导致机件的损毁; ②加工及装配误差所造成; ③阀门结构及活塞结构所造成(例如排汽阀)。

7. 相对余隙容积: 余隙容积与汽缸工作容积之比, 以 C 表示, 即

$$C = \frac{V_c}{V_p} \times 100\%$$

式中 V_c ——余隙容积；
 V_p ——汽缸工作容积。

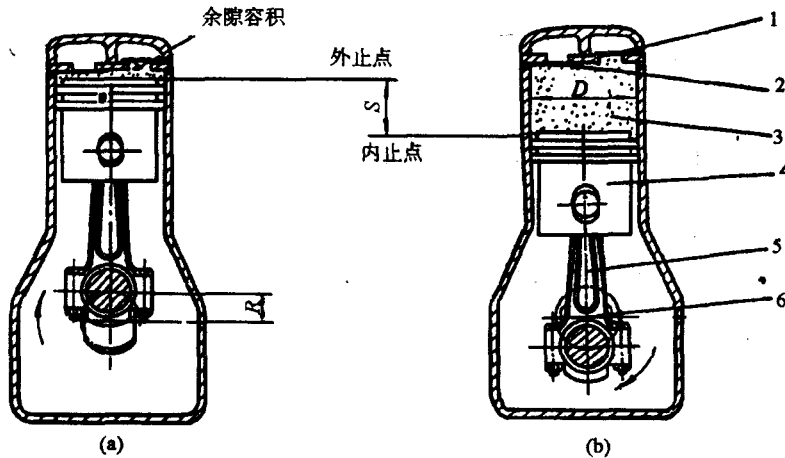


图 1-2 活塞式制冷压缩机的有关几何名称

1-排汽阀； 2-吸汽阀； 3-汽缸； 4-活塞； 5-连杆； 6-曲轴旋转中心

三、活塞式制冷压机的优缺点

1. 活塞式制冷压缩机的优点

- (1)能适应较广的工况范围和制冷量的要求；
- (2)热效率较高,单位电耗相对较少；
- (3)对材料无很高的要求,多用普通钢材和铸铁,零件的加工工艺相对来说比较简单,因而造价较低廉；
- (4)技术较成熟,生产操作方面经验丰富。

2. 活塞式制冷压缩机的缺点

- (1)因受到活塞往复运动惯性力的影响,转速受到限制,不能过高,因此单机输汽量大时,机器显得很笨重；
- (2)结构复杂,易损件多,维修工作量大；
- (3)因受到各种力、力矩的作用,运转时有振动；
- (4)排汽不连续,导致汽压有波动。

第二节 活塞式制冷压缩机的分类及型号表示方法

一、分类

往复式活塞式制冷压缩机的机型种类很多,我们可以依据各方面的特点予以分类。

1. 按制冷量的大小分类

按压缩机制冷量的大小可分为大型、中型、小型和微型四种。

一般认为其划分标准为：

大于 580KW——大型；

等于或小于 580KW 而大于或等于 58KW——中型；

小于 58KW 而大于或等于 5.8KW——小型；

小于 5.8KW——微型。

我国的高速多缸新系列产品均属于中小型压缩机的范围。大型的有 8AS25 型，其标准制冷量为 1160KW。

大型制冷压缩机多用于石油化工流程和大型空调；中型制冷压缩机则广泛应用于冷库、冷藏运输以及一般工业和民用事业的制冷和空调装置；而小型制冷压缩机则多用于商业零售、公共饮食、科研、卫生和一般工业企业的小型制冷和空调。

2. 按压缩机的汽缸数分类

按压缩机的汽缸数可分为单缸、双缸和多缸压缩机三种类型，多缸又有 3、4、6、8 几种形式，改变汽缸数目可以获得不同的制冷量。国产系列压缩机中汽缸的数目均未超过 8 个，国外也有采用 9、10、12、16 等缸数的机型。

3. 按汽缸布置方式分类

按压缩机的汽缸布置方式可分为卧式、立式和角度式压缩机(如图 1-3 所示)。

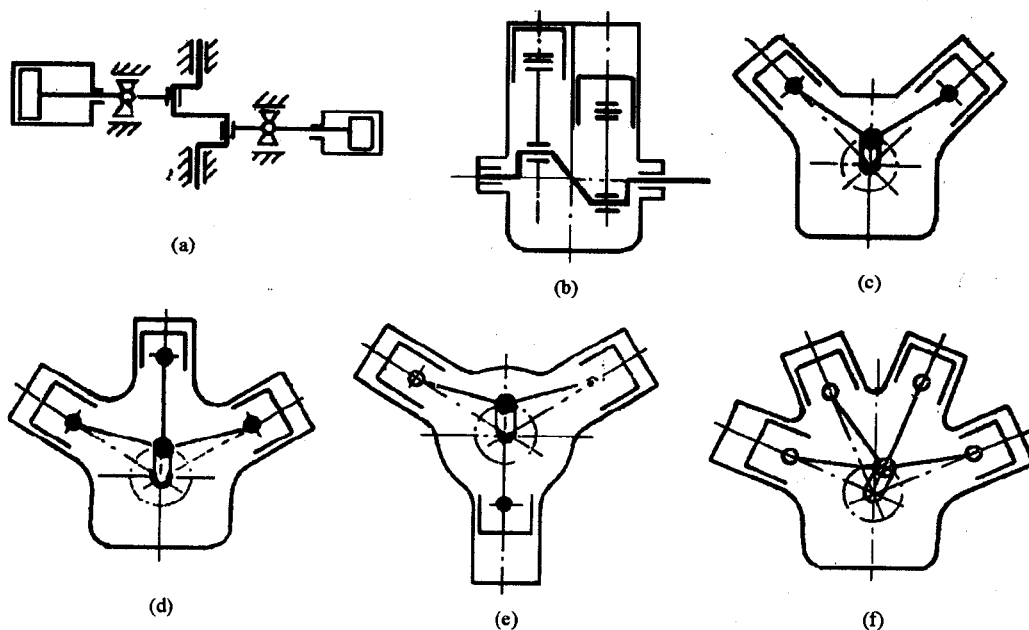


图 1-3 汽缸的不同布置方式

(a)卧式； (b)立式； (c)角度式 V 型； (d)角度式 W 型； (e)角度式 Y 型； (f)角度式 S 型

(1)卧式压缩机的汽缸作水平布置。这类压缩机的管道布置和曲轴、连杆的装拆都比较方便,便于安装、维护和日常管理。大型低速压缩机多属此种布置方式。

(2)立式压缩机的汽缸为垂直布置。这类压缩机占地面积小,活塞重力不作用在汽缸壁面上,因而汽缸和活塞的磨损小;机体所承受的载荷主要是垂直的拉压应力,受力情况较好,因而形状可以简单些,基础尺寸也可以小些。但大型立式压缩机的高度大,必须设置操作平台,安装、拆卸和维护管理都不甚方便,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,也很少采用立式的。

(3)角度式压缩机的汽缸轴线在垂直于曲轴轴线的平面内具有一定角度。其排列形式有V型、W型、Y型(星形)、S型(扇形)等。它具有结构紧凑、重量轻,动力平衡好等优点,因而在现代中、小型高速多缸压缩机中得到广泛的应用。

4. 按压缩级数分类

按压缩机的压缩级数可分为单级和双级压缩机。

(1)单级压缩机是指工质蒸汽由蒸发器(低压)到冷凝器(高压)在机体内只经过一次压缩。

(2)双级压缩机是指工质蒸汽由蒸发器(低压)到冷凝器(高压)在机体内要经过两次压缩。双级压缩机又有配组双级和单机单级之分。所谓配组双级,其高、低压级分别由两名单级压缩机组成,所以其结构与单级压缩机相同,而单机双级压缩机的高、低压级均设置在同一台压缩机内。

5. 按密封方式分类

为了防止制冷工质向外泄漏或外界空气渗入系统内,制冷压缩机有着相应的密封结构。从采用的密封结构方式来看,制冷压缩机可分为开启式和封闭式两类。而封闭式又可分为半封闭式和全封闭式。

(1)开启式压缩机(如图4-1所示),其曲轴功率输入端伸出机体之外,通过传动装置与原动机相连。曲轴伸出机体处用轴封加以密封。由于轴封装置不能实现完全的密封,所以机体内工质的泄漏和外界空气的渗入是不可能完全避免的。

(2)半封闭式压缩机(如图4-9所示)和全封闭式压缩机(如图4-11所示)两者在密封形式上的区别是:前者机体的密封面以法兰连接,靠垫片或垫圈密封,以便维修时拆卸;而后的机壳分为两部分,压缩机与电动机装入后,壳体两部分用焊接法焊封。

6. 按使用的制冷剂分类

按制冷机使用的制冷剂的不同,可分为氨压缩机、氟利昂压缩机和使用其它制冷剂(如二氧化碳、乙稀等)的压缩机。目前使用最为广泛的制冷剂为氨、氟利昂12和氟利昂22,而一些制冷技术水平较高的国家已开始推广使用性能良好的新型氟利昂502等。

为了减少压缩机的机型品种,提高零部件的通用程度,便于用户自行选择和更换制冷剂,新型活塞式压缩机在设计上一般都考虑了多种制冷剂通用的问题。我国规定的活塞式制冷压缩机系列产品中,开启式压缩机多设计为三种制冷剂通用型,即在结构上和材料上考虑了氨、氟利昂12和氟利昂22三种制冷剂的不同要求,只需更换和调整少数零件如