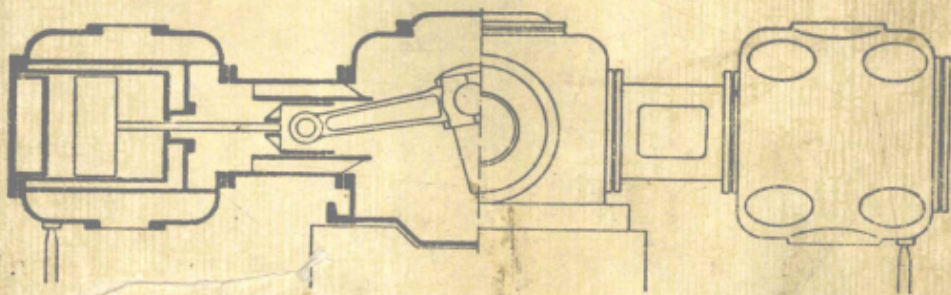


活塞式压缩机

压缩机



西安交通大学

TH457
4

55.11.2
17

活 塞 式 压 缩 机

压 缩 机 教 研 室 編

西 安 交 通 大 学

1 9 7 2

活 塞 式 压 缩 机 定价 3.20 元

编 辑： 西安交通大学动力机械系
压 缩 机 教 研 室

印 刷： 西安交通大学印刷厂

印数：胶版纸本 2000 册 定价： 3.60 元
书写纸本 1500 册 3.20 元
出版日期：1972 年 8 月

前 言

遵循伟大领袖毛主席“教材要彻底改革”的教导，我们深入有关工厂调查研究，政治上接受再教育，业务上进行再学习，以“实践论”、“矛盾论”两篇光辉哲学著作作为武器，努力学习和总结我国工人阶级和工程技术人员的发明创造，试图编写一本符合我国生产实际情况的社会主义理工科大学用的压缩机新教材。

“不破不立。破，就是批判，就是革命。破，就要讲道理，讲道理就是立，破字当头立也就在其中了。”

旧压缩机教材按热力学、动力学的体系来论述压缩机的原理，从理论到理论，令人不得要领。这次编写中，我们根据生产实践中提出的问题，抓主要矛盾，按压缩机的主要性能：排气量、功率、温度、转速等，应用热力学、动力学的基本知识来阐述压缩机的原理，使理论联系实际，主题较为明确。

旧教材在结构零部件设计部分，就事论事，罗列一大堆现象，内容繁琐。我们根据调查研究，在这次编写中，加强了这部分内容和原理部分的联系，并以典型零件的分析来指导一般。

按照“洋为中用”的原则，在编写过程中，我们也吸取了许多对我们有用的外国资料，反映了一些国外压缩机生产的情况，作为我们使用中的借镜。

在这份教材中，比较注意问题的分析，以培养学生分析问题和解决问题的能力。并且力求贯彻“少而精”的原则，故不大量陈述国内外的有关资料。

编写过程中，我们得到了蚌埠空气压缩机厂、上海压缩机厂、无锡压缩机厂、南京压缩机厂以及上海、沈阳、西安、宝鸡等地压缩机厂，通用机械研究所等单位的大力支持。特别是蚌埠空气压缩机厂派出了工人和技术人员和我们组成三结合编写组一起编写。所有这些，对我们完成这项工作都是极其有力的帮助和鼓舞。

但是，由于我们马列主义、毛泽东思想水平不高，业务知识又很缺乏，这份教材中肯定存在不少缺点和错误，我们诚恳地欢迎读者批评指正。

西安交通大学动力机械系压缩机专业

一九七一年十二月

目 录

前 言	
绪 论	1
一 压缩机的用途	1
二 压缩机的种类及其应用范围	2
三 压缩机在我国的发展	12
第一章 热力学基础	15
第一节 理想气体的状态方程和过程方程	15
第二节 压缩机的理论循环	17
第三节 实际气体的影响	18
第四节 $T-s$ 图及 $i-s$ 图的应用	28
第二章 排气量	25
第一节 压缩机的排气量及其影响因素	25
第二节 压力损失对排气量的影响	28
第三节 余隙容积对排气量的影响	28
第四节 进气加热对排气量的影响	31
第五节 泄漏系数	32
第六节 排气量的理论计算公式及其在生产实践中的应用	34
第三章 功率和排气温度	39
第一节 单级压缩机的功率	39
第二节 影响指示功率的因素	42
第三节 单级压缩机的等温指示效率	45
第四节 多级压缩	47
第五节 级数选择与压力比分配	49
第六节 多级压缩机的功率和效率	52
第七节 排气温度	54
第四章 压缩机中作用力的分析	57
第一节 压缩机中的作用力及其分析	57
第二节 惯性力的平衡	65

第五章 动力计算	80
第一节 指示图.....	80
第二节 惯性力曲线.....	83
第三节 摩擦力曲线.....	86
第四节 列的活塞力图.....	87
第五节 切向力图和法向力图.....	88
第六节 飞轮矩的确定.....	91
第六章 转速	94
第一节 转速对压缩机尺寸和重量的影响.....	95
第二节 转速对气阀工作的影响.....	97
第三节 转速对往复惯性力的影响.....	98
第四节 转速对磨损及机械效率的影响.....	99
第五节 转速的选择.....	101
第六节 行程及气缸直径的确定.....	104
第七章 压缩机型式和结构方案	105
第一节 压缩机型式的选择.....	105
第二节 列数的选择和级在列中的配置.....	110
第三节 原动机的选择.....	116
第八章 气缸	118
第一节 气缸结构.....	118
第二节 气阀在气缸上的配置.....	125
第三节 气缸套.....	128
第四节 气缸材料.....	131
第五节 气缸壁厚的确定及强度验算.....	132
第九章 活塞	136
第一节 活塞结构.....	136
第二节 主要尺寸的确定及强度验算.....	144
第十章 活塞环与填函	151
第一节 滑动密封原理.....	151
第二节 活塞环.....	152
第三节 填函.....	161
第四节 自润滑材料.....	167
第五节 其他形式的密封.....	169

第十一章 气阀	172
第一节 气阀结构.....	172
第二节 气阀运动分析.....	184
第三节 气阀材料及工艺要求.....	192
第四节 气阀的计算.....	193
第十二章 曲轴	208
第一节 曲轴的结构设计.....	208
第二节 曲轴材料.....	209
第三节 曲轴主要尺寸的确定.....	211
第四节 曲轴的强度验算.....	212
第十三章 连杆	219
第一节 连杆结构.....	219
第二节 连杆材料.....	224
第三节 连杆的强度验算.....	224
第四节 连杆螺栓.....	229
第五节 连杆轴瓦.....	232
第十四章 十字头	236
第一节 十字头结构.....	236
第二节 十字头的材料及主要尺寸的确定.....	240
第十五章 机体	242
第一节 概述.....	242
第二节 对动式压缩的机体.....	244
第三节 角度式和立式压缩机的机体.....	246
第十六章 润滑	248
第一节 润滑目的及对润滑油的要求.....	248
第二节 气缸的润滑.....	249
第三节 运动机构的润滑.....	255
第十七章 冷却	269
第一节 冷却器结构.....	269
第二节 冷却器的热力计算.....	279
第三节 压缩机的冷却系统.....	294

第十八章 气体管路和管系设备	300
第一节 气体管路.....	300
第二节 缓冲容器.....	302
第三节 空气滤清器.....	305
第四节 液气分离器.....	307
第五节 安全阀.....	310
第十九章 排气量调节和变工况	318
第一节 排气量调节.....	318
第二节 工况改变后的压力.....	333
第三节 工况改变后的压力覆算.....	336
第二十章 压缩机示例	342
第一节 压缩机结构实例.....	342
第二节 热力计算和动力计算实例.....	366
附 录	395
参考资料.....	416

绪 论

一 压缩机的用途

压缩机是一种压缩气体提高气体压力或输送气体的机器，在社会主义建设的许多部门中应用极广。在采矿业、冶金业、机械制造业、土木工程、石油化学工业、制冷与气体分离工程以及国防工业中，压缩机是必不可少的关键设备之一。此外，医疗、纺织、食品、农业、交通等部门对压缩机的需求也与日俱增。

压缩机因其用途广泛而被称为“通用机械”。

压缩气体的使用性质有各种不同的特点，但可以分为下列几种：

1 压缩空气作为动力 压缩空气供驱动各种风动机械、风动工具，压缩机的排气压力为7~8公斤/厘米²；用于控制仪表及自动化装置，压力约为6公斤/厘米²；车辆制动、门窗启闭，压力为2~4公斤/厘米²；制药业、酿造业中的搅拌，压力约为4公斤/厘米²；喷气织机中纬纱吹送压力为1~2公斤/厘米²；中、大型柴油机的启动，压力为25~60公斤/厘米²；油井的压裂，压力约为150公斤/厘米²；“二次法采油”，压力约为50公斤/厘米²；高压爆破采煤压力约为800公斤/厘米²；国防工业中某些武器的发射、潜水艇的浮沉、鱼雷的射出及驱动以及沉船打捞等等，都以不同压力的压缩空气为其动力。

2 压缩气体用于制冷和气体分离 气体经压缩、冷却、膨胀而液化，用于人工制冷（冷冻、冷藏及空气调节等），如氨或氟里昂压缩机，其压缩压力多为8~12公斤/厘米²，这一类压缩机通常称为“制冷机”或“冰机”。另外，液化的气体若为混合气时，可在分离装置中将各组份分别地分离出来，得到合格纯度的各种气体。如空气液化分离后，能得到纯氧、纯氮和纯的氦、氖、氩、氙、氡等稀有气体。用于空气分离装置的压缩压力，低压流程为5~6公斤/厘米²；中压流程为15~25公斤/厘米²；高压流程为150~220公斤/厘米²。

近年来，石油化学工业发展很迅速，其原料气——石油裂解气的分离，是先经压缩，然后采用不同的冷却温度，将各组份分别地分离出来的。所用压缩机压力多为18~42公斤/厘米²。

3 压缩气体用于合成及聚合 在化学工业中，气体压缩至高压，常有利于合成及聚合。例如氮与氢合成氨、氢与二氧化碳合成甲醇、二氧化碳与氨合成尿素等。前两种合成时可有三种压力：低压合成的压力为150~220公斤/厘米²；中压合成——300~450公斤/厘米²；高压合成——800~1000公斤/厘米²。尿素合成时，二氧化碳的压力为200公斤/厘米²。又如，化学工业中，聚乙烯工业近年来发展很快，所用聚合压力范围很广，例如高压聚乙烯的压力达1500~3200公斤/厘米²。

4 压缩气体用于油的加氢精制 石油工业中，用人工方法把氢加热加压后与油反应，能使碳氢化合物的重组份裂化成碳氢化合物的轻组份，如重油的轻化、润滑油加氢精制等。氢气压缩机的压力有70~90公斤/厘米²；150公斤/厘米²；320公斤/厘米²三种。

5 气体输送 用于管道输送气体的压缩机，视管道长短而决定其压力。远程煤气时，

压力可达 30 公斤/厘米²。用于气体装瓶的压缩机，则视气体的性质而定：一般氧气装瓶压力为 150 公斤/厘米²；乙炔气的性质极不稳定，装瓶压力为 25 公斤/厘米²，且由丙酮加以吸附；有些临界温度较高的容易液化的气体，可先压缩，加以冷却使其液化而装瓶。如氯气装瓶压力为 10~15 公斤/厘米²，二氧化碳装瓶压力为 50~60 公斤/厘米²。

二 压缩机的种类及其应用范围

压缩机的种类及其应用范围

压缩气体使它具有所需的压力，目前在工业上大都采用机械的方法来完成。按照压缩气体的方式的不同，将压缩机划分为两大类，即容积式压缩机及速度式压缩机。我们按照“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性”来分别讨论。

容积式压缩机 这一类压缩机中，气体压力的提高是由于压缩机中气体的体积被缩小，使单位体积内气体分子的密度增加而形成。容积式压缩机有两种主要结构形式，即往复式活塞式和迴转活塞式。简称“活塞式压缩机”和“迴转式压缩机”。

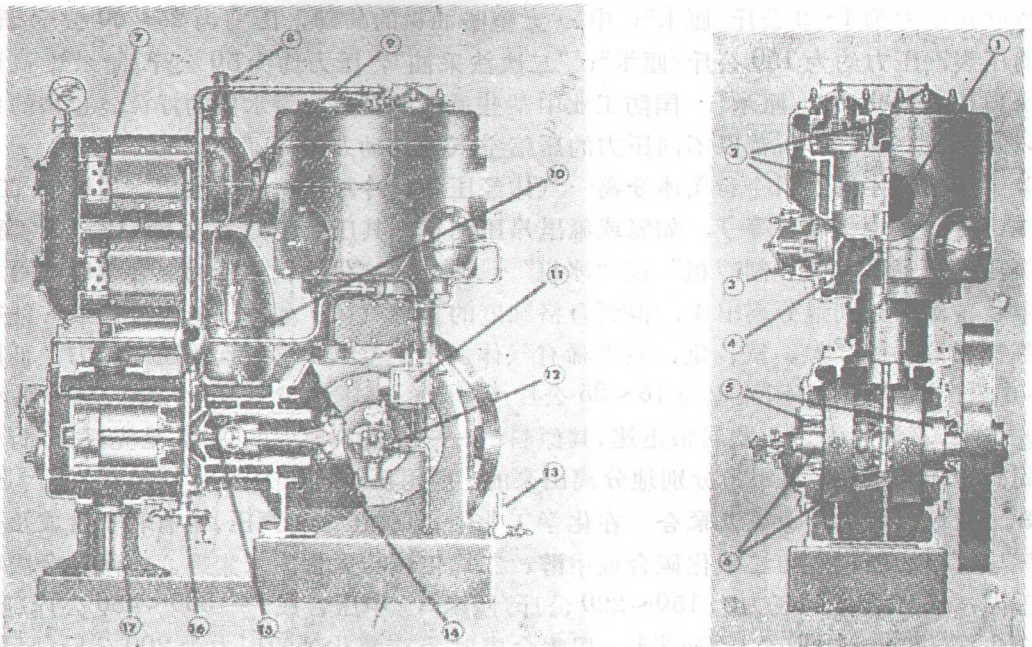


图 1 具有曲柄连杆机构的活塞式压缩机

- 2—气缸冷却水容积 3—进气阀 4—填函 6—曲轴 7—中间冷却器
11—注油器 12—齿轮泵 14—连杆

活塞式压缩机中实现活塞的往复运动，主要是应用曲柄连杆机构（如图 1 所示），把原动机的旋转运动变成活塞的往复运动。这种结构形式在目前应用最广。但是，事物是在不断地发展和前进着。现在出现一种“斜盘机构”活塞式压缩机（如图 2 所示），原动机的旋转

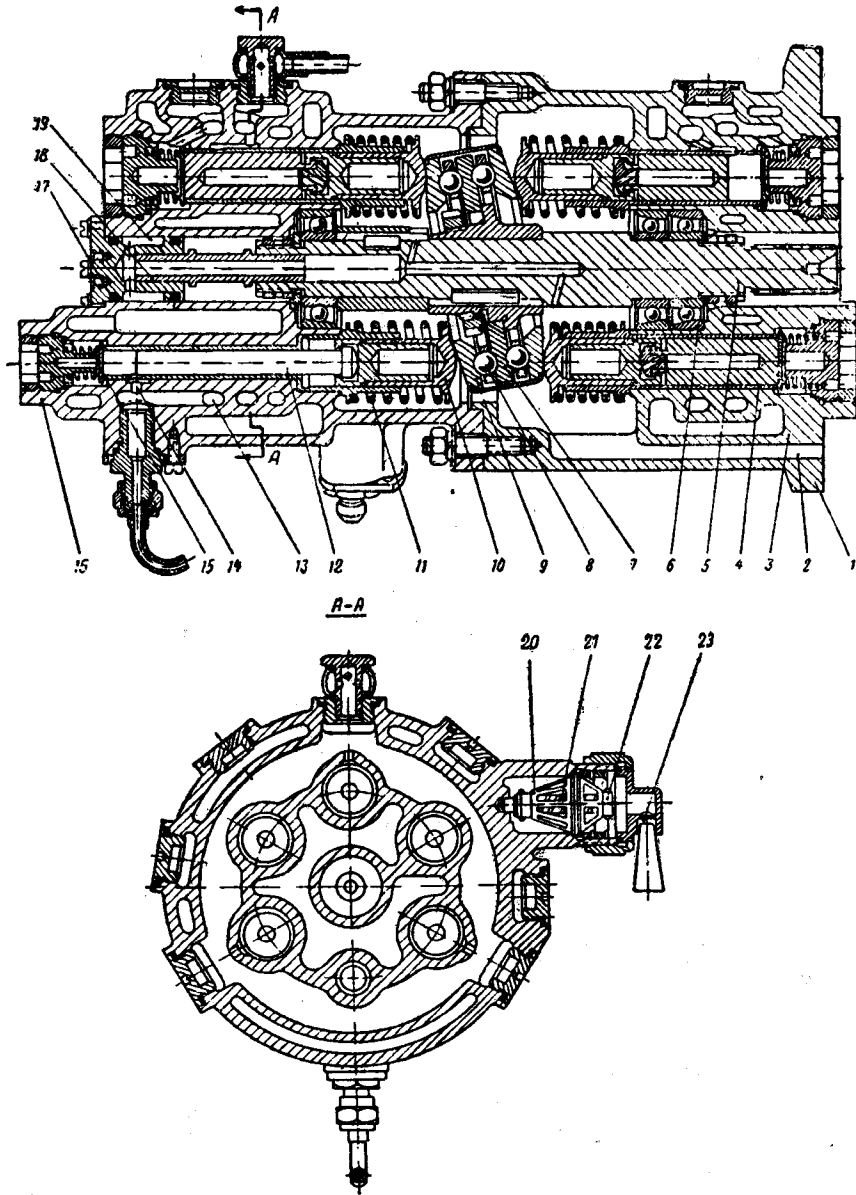


图 2 具有斜盘机构的十缸四级活塞式压缩机 $n=2000$ 转/分

- 1—连接法兰 2—溢油槽 3和16—前后机身 4—气缸套 5—传动轴 6—径向止推轴承
 7—斜盘 8—球面止推轴承 9—滚动轴承座圈 10—十字头 11—十字头弹簧 12—柱塞
 13—气体通道 14—配气孔 15—菌形阀 17—油腔密封 18—游动套筒 19—油腔
 20—温度调节器的节气阀 21—温度调节器的双金属弹簧 22—固定支座 23—冷却水出口

运动通过一个转动的斜盘，转化为活塞的往复运动。这种结构在大型压缩机中使用，尚须克服许多困难，但在小型中使用，则因结构紧凑、重量轻、而有其一定的长处。此外，在自由活塞式压缩机中，压缩机的活塞和内燃机的活塞直接相连（见图3）。内燃机工作时，其活塞直接推动压缩机的活塞，因此不需要曲柄连杆或斜盘之类来传递动力。这种压缩机较紧凑，但运转不易稳定，制造水平和运转管理水平都要求较高，故目前使用尚不普遍。

150公
有这些
压力

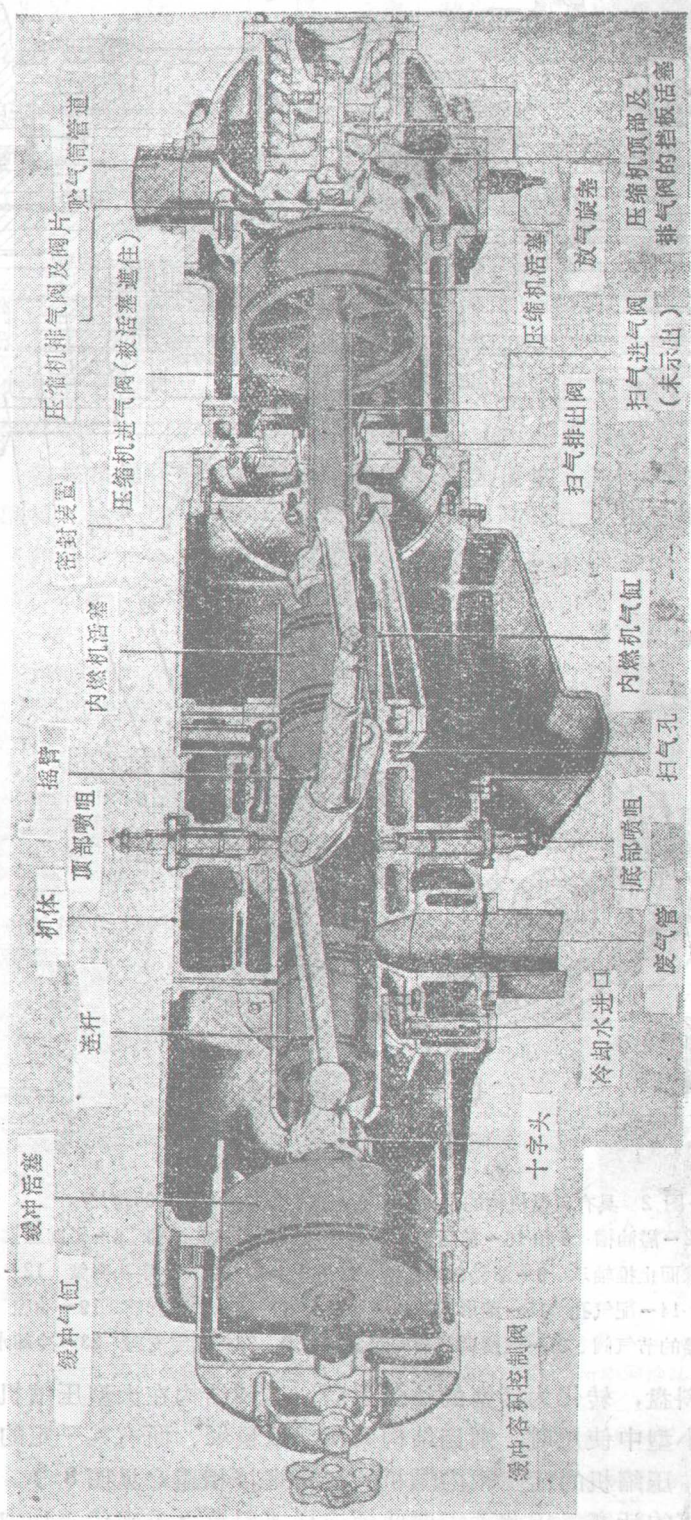


图 3 自由活塞式压缩机

形高，由用对中
站，表黄，板寸
，扣扣江房船内
器具的扣伸友。

迴转式压缩机，其气缸内有一个或两个转子，转子旋转时产生容积变化而实现气体的压缩。这种压缩机也有很多型式，应用较广的主要是滑片式（图4）和螺杆式（图5）两种。

滑片式压缩机的气缸是圆筒形的，上面开有进排气孔口，缸内有一个偏心安置的转子，转子上开有若干径向滑槽，内置滑片。当转子旋转时，滑片在离心力的作用下紧压在气缸的内壁上，并将气体自进气口输至排气口。

螺杆式压缩机的气缸成“8”字形，内置两个转子——阳螺杆和阴螺杆。当转子旋转时，转子凹槽与气缸内壁所构成的容积不断变化，从而实现气体的吸入、压缩及排出。

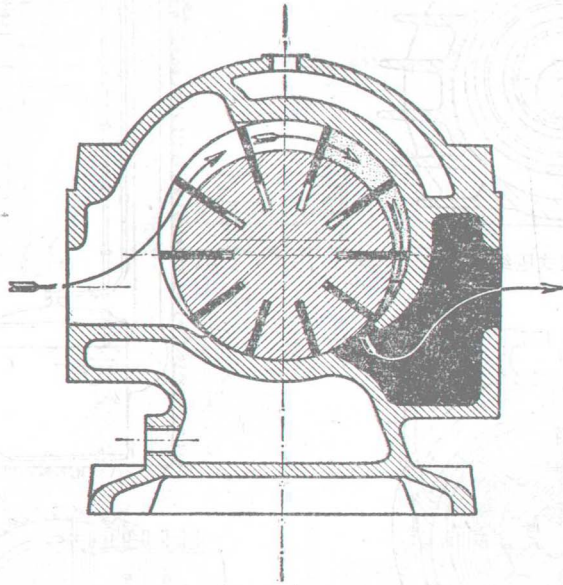


图4 滑片式压缩机

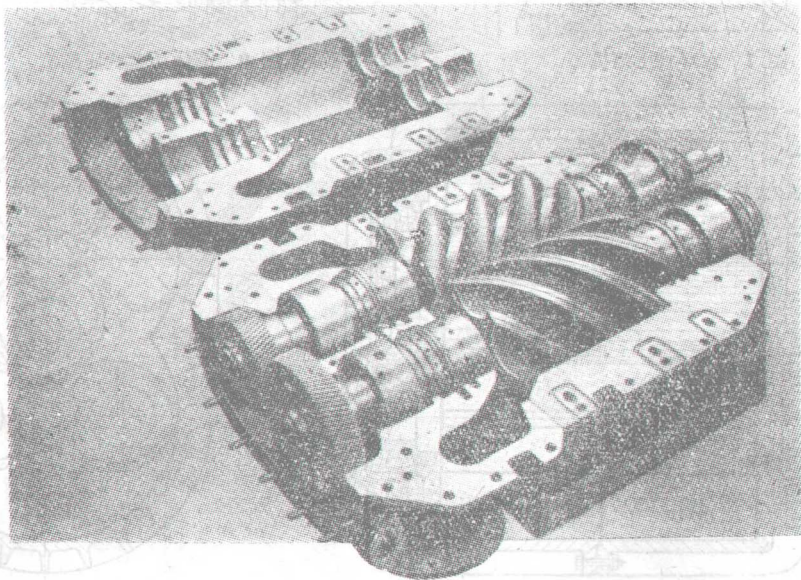


图5 螺杆式压缩机

迴转式压缩机除上述两种之外，还有旋迴式（图6）、水环式（图7）及叶式（即罗茨式，见图8）等。

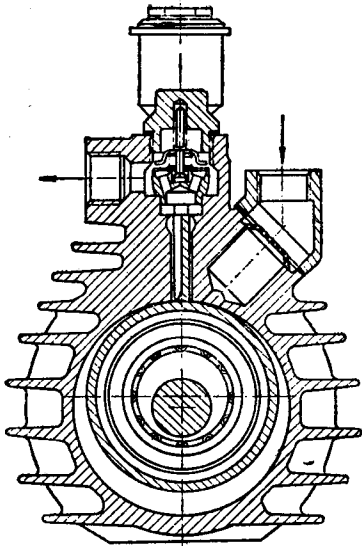


图6 旋迴式压缩机

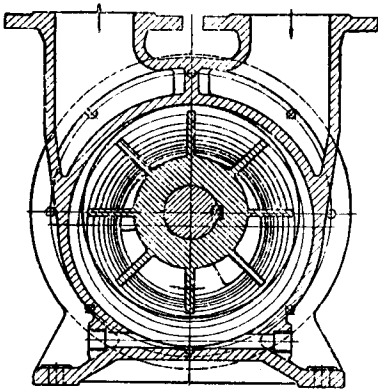
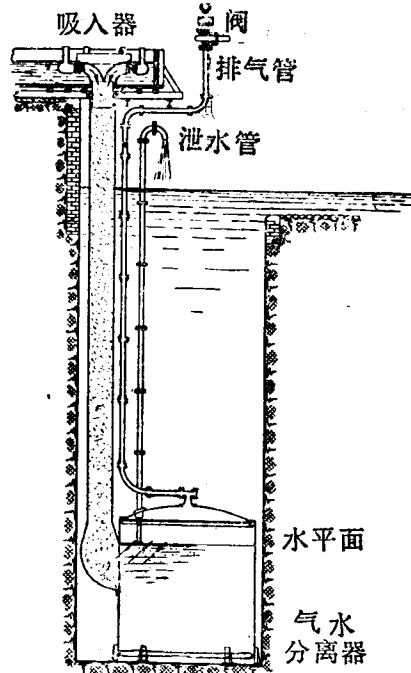


图7 水环式压缩机

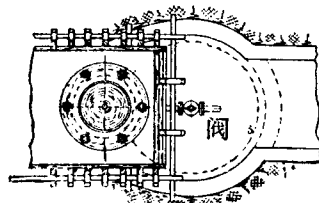


图9 液体活塞式压缩机

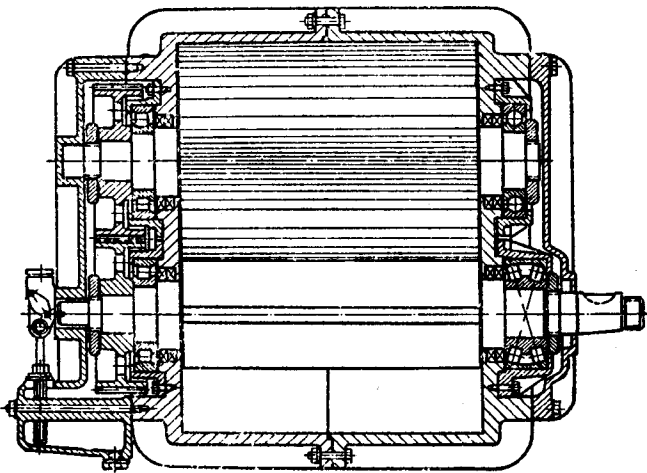
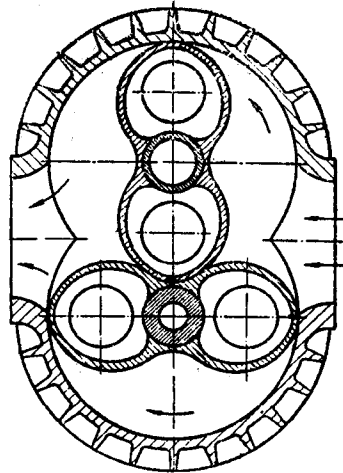


图8 叶式（罗茨式）压缩机



除活塞式和迴转式压缩机外，液体活塞式压缩机和膜式压缩机（见图9和图10）也应属于容积式压缩机这一大类。

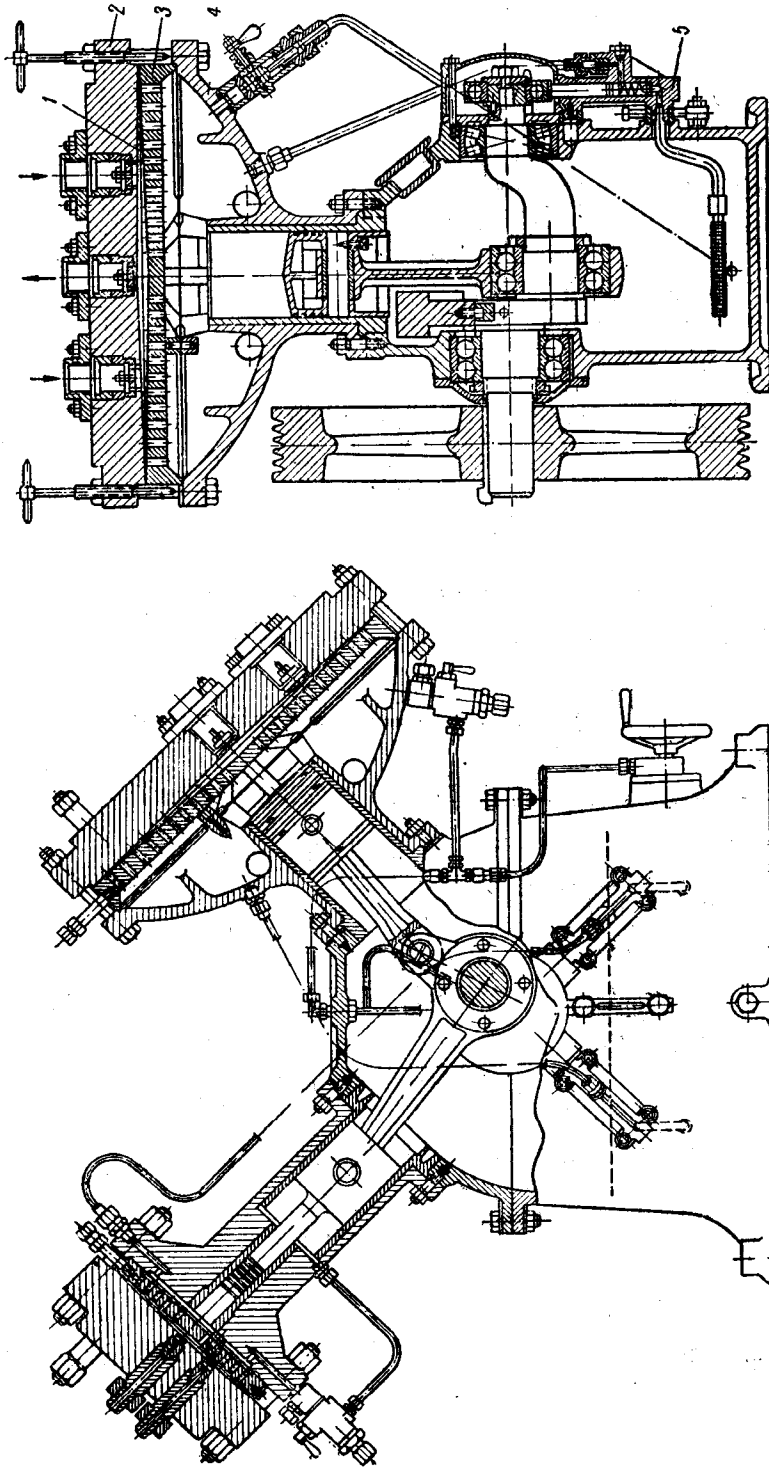


图 10 膜式压缩机

5—供油泵

4—单通阀

3—油板

2—气板

1—膜片

速度式压缩机 速度式压缩机中，气体的压力是由气体分子的速度转化而来。即先使气体分子得到一个很高的速度，然后又让它停滞下来，使动能转化为位能，即使速度转化为压力。速度式压缩机也有两种结构形式：离心式压缩机和轴流式压缩机。

离心式压缩机（如图 11 所示）的主轴带动叶轮旋转时，气体自轴向进入，并以很高的速度被离心力甩出叶轮，进入具有扩压作用的固定的导叶中，在这里将速度降低而压力提高。接着又被第二级吸入，通过第二级进一步提高压力。如此类推，一直达到额定压力。

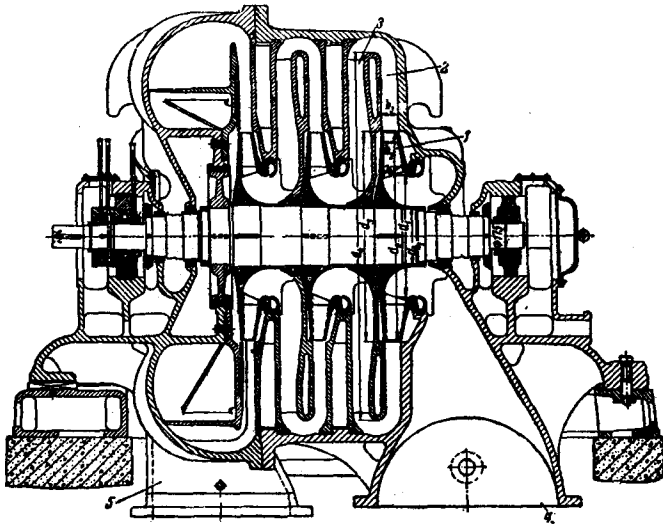


图 11 离心式压缩机

轴流式压缩机（如图 12 所示）的叶轮旋转时，气体被轴向吸入，经过叶轮获得速度，再轴向地排入固定的导叶进行扩压而提高气体压力。然后进入第二级、第三级……。

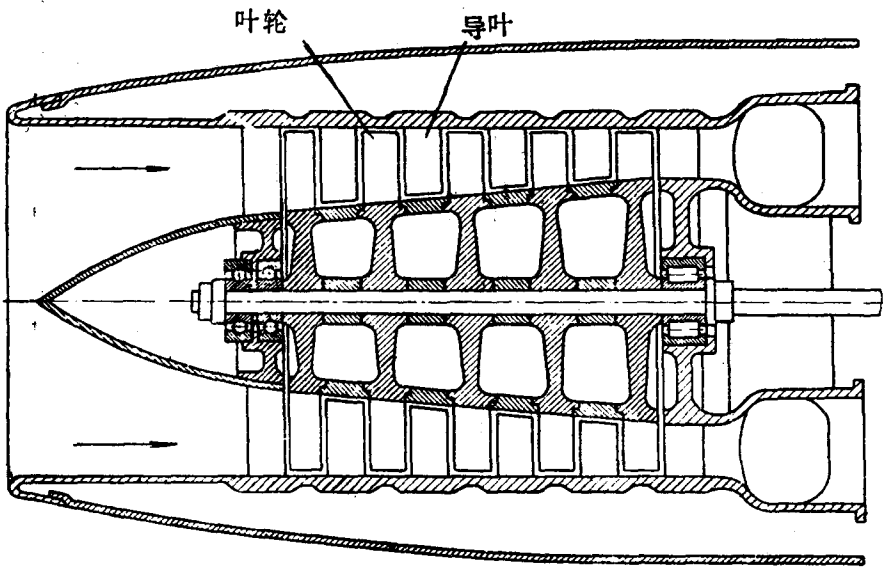


图 12 轴流式压缩机

除离心式和轴流式两种之外，还有一种喷射泵（见图 13），也可认为是速度式压缩机的一种。不过喷射泵没有叶轮，它是靠一股具有压力的气体经喷咀喷出时获得高的速度，把喷咀周围的气体也带着前进，使其获得速度并经扩压管最后达到提高压力的目的。

速度式压缩机的结构简单而紧凑，运动件只是一个具有叶片的转子，运行时气流无脉动，振动小。

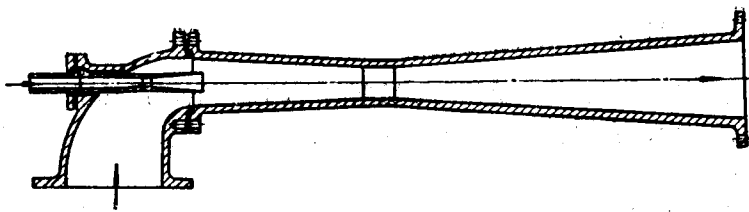


图 13 喷射泵

与速度式相比较，容积式压缩机的特点是这样的：

- 优点
- 1) 背压稳定, 压力范围十分广泛, 在各种流量时最高压力能达 3200 公斤/厘米²(工业上), 甚至 7000 公斤/厘米²(实验室中)
 - 2) 单机能适应(500 米³/分以下的)任意流量
 - 3) 热效率较高
 - 4) 在一般压力范围内, 对材料的要求低, 多用普通的钢铁材料
- 缺点
- 1) 转数不高, 单机排气量大于 500 米³/分时, 机器显得大而重, 电机尺寸也相应较大
 - 2) 结构复杂, 易损件多, 维修量大
 - 3) 运转时有振动
 - 4) 输气不连续, 气体压力有脉动

在这些相对的优缺点中, 第一个优点是它独特的长处。速度式压缩机无法在这一点上与它相比。一般, 活塞式压缩机最宜用于高压力, 中、小流量的情况。

速度式压缩机虽然运转欠稳定, 热效率较低, 但由于结构简单紧凑, 振动小, 易损件少而维修量小很受用户欢迎。近年来, 通过种种努力, 其最高压力已能达到 400 公斤/厘米²; 单机最小流量已降到 10 米³/分。但最高压力和最小流量则不能同时达到。若用汽轮机直接驱动时, 其经济性也较高。一般, 速度式压缩机宜用于低、中压力, 大流量的情况下。其单机最大流量已达 7000 米³/分。

迴转式压缩机的结构也较简单, 维修方便, 但其密封较困难, 效率较低。它的排气量为 0.5~500 米³/分, 目前最高压力可达 45 公斤/厘米²。在低压、中小流量范围内, 迴转式压缩机很有发展前途。

在我国飞速发展的社会主义建设事业中, 使用压缩机的场合多种多样, 对排气量和压力的要求各不相同。因此, 上述的各种压缩机, 不可能用某一种压缩机完全代替另一种压缩机, 而是在不同场合下发扬各自的优点, 在社会主义建设的各部门中充分发挥作用。

图 14 示各类压缩机目前所能达到的排气压力和排气量范围。

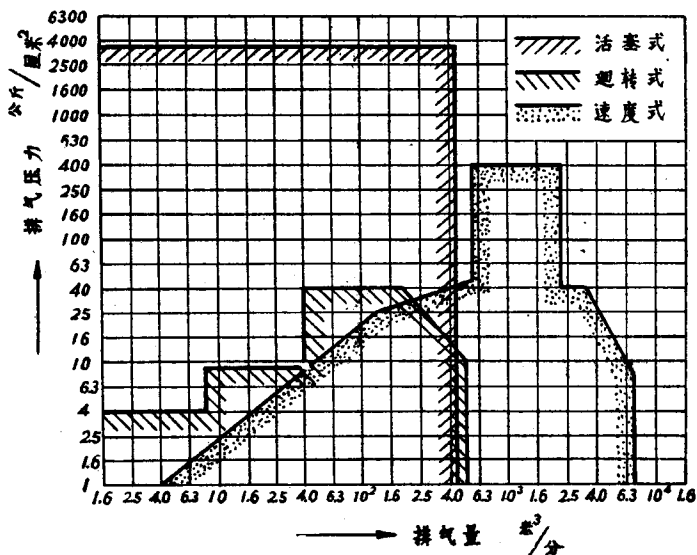


图 14 各类压缩机的应用范围