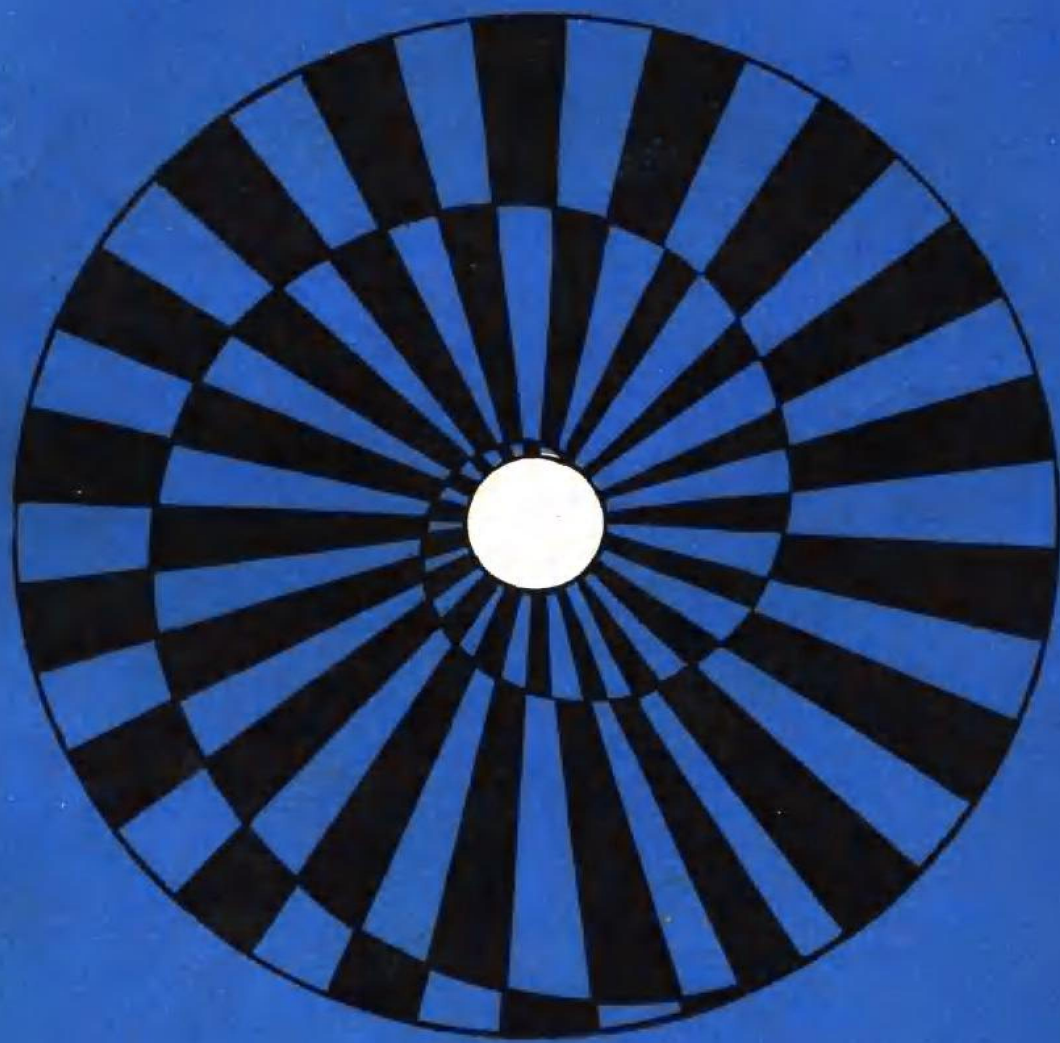


YU BENG
FENGJI

泵与风机

吴达人 主编



西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书叙述离心式和轴流式泵与风机的基本原理、汽蚀现象和运行调节等。此外,还介绍了结构参数对性能的影响和扭曲叶片的绘型方法。

本书按“热能”专业的“泵与风机”大纲编写,适用于作为该专业和其他类似专业的教材。本书还可供泵站和泵生产制造厂的工程技术人员作为参考。

泵 与 风 机

吴达人 主编

责任编辑 胡 刚

*

西安交通大学出版社出版
(西安市咸宁路28号)

西安工业学院印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11.125 插页1 字数: 271 千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数: 1-4700

ISBN7-5395-0155-6/TB·12 定价: 2.35 元

前 言

本书根据热能专业“泵与风机”课程的大纲编写，考虑到某种需要，部分内容作了一些适当的扩充和删节。例如，对泵与风机中的预旋和反向流进行了讨论，加强了汽蚀现象方面的内容，特别是鉴于电厂中输送的是高温的水，所以也讨论了热力学汽蚀准则。

本书尽可能理论联系实际，并对过去一些不太妥当的说法进一步作了说明。此外，鉴于电厂对泵与风机进行改造等方面的需要，用一章介绍了结构参数对性能的影响。编者力图反映目前国内外的一些有关研究成果，并介绍了近年来国际标准通用的比转数和汽蚀比转数的表达式。

在1986年水电部召开的流体力学、泵与风机教材编委会上，已建议由浙大编写一本泵与风机的例题和习题集。考虑到这一情况，同时也限于本书的篇幅，所以例题和习题一律不予编入。

本书第1章由陆逢升编写，虽然我们竭力希望将本书编写得更符合需要和更完善些，但仍难免有不妥和谬误，幸希指正。

吴 达 人

1987年10月

目 录

前 言

1. 概 论	1
1.1 泵与风机在国民经济中的作用	1
1.2 泵与风机的分类	2
1.3 泵与风机的结构和主要部件	8
1.4 电厂用泵与风机	14
1.5 泵与风机的发展趋势	20
1.6 泵与风机的性能参数	21
2. 离心式泵与风机的叶轮理论	24
2.1 速度三角形	24
2.2 基本方程式	27
2.3 离心叶轮叶片型式的分析	29
2.4 有限叶片叶轮中流体的流动	31
2.5 滑移系数	34
2.6 相似理论在泵与风机中的应用	37
2.7 比转数	41
2.8 损失和效率	45
2.9 性能曲线	50
2.10 性能曲线的形状	55
2.11 通用性能曲线和无量纲性能曲线	56
2.12 预旋和反向流	59
3. 泵内的汽蚀现象	63
3.1 定义和分类	63
3.2 汽蚀的机理	66
3.3 汽蚀基本方程式	67
3.4 吸入真空度	71
3.5 汽蚀相似定律及有关准则数	74
3.6 提高泵抗汽蚀性能的措施	81
3.7 输送高温的水和非水液体时的汽蚀	86
4. 离心式泵与风机的结构参数对性能的影响	91
4.1 进口结构参数对性能的影响	91

4.2 出口结构参数对性能的影响	97
4.3 叶轮与机壳的适配	106
4.4 提高泵性能的措施	111
5. 轴流式泵与风机	113
5.1 概 述	113
5.2 机翼理论的一些基本概念	115
5.3 流体在叶轮中的运动	119
5.4 叶栅中翼型上的升力	121
5.5 轴流式叶轮的基本方程式	123
5.6 轴流式泵与风机的效率	125
5.7 轴流泵中的汽蚀	126
5.8 改善轴流泵抗汽蚀性能的措施	128
5.9 轴流式泵与风机的性能曲线	130
6. 泵与风机的运行	132
6.1 管路性能曲线和工作点	132
6.2 不稳定工况和喘振现象	135
6.3 泵与风机的串、并联运行	136
6.4 泵与风机的工况调节	140
6.5 运行中的一些问题	145
6.6 轴向推力及其平衡	147
6.7 泵与风机的选择	152
7. 离心式泵与风机的模化设计和叶轮绘型	156
7.1 离心泵的模化设计	156
7.2 模化设计的注意事项	158
7.3 离心风机的模化设计	160
7.4 轴面投影图的绘制	161
7.5 扭曲叶片的绘制	164
附录 1 泵与风机的型号	170
附录 2 单位换算	171
参考文献	172

1. 概 论

1.1 泵与风机在国民经济中的作用

泵与风机都是把机械能转化成流经其内部流体的压力能和动能的流体机械，流体介质为液体时一般称为泵，流体介质为气体时则叫做风机。泵与风机均属于通用机械范畴，它们使用范围很广，国民经济各个部门几乎都有它们的应用。如农田灌溉和排涝；矿山坑道排水和通风；水力采煤的动力；冶金工业中冶炼炉的鼓风及气体输送；石油化工中的流程加工；城市排水和供水；建筑物里的通风与空调，以及轮船飞机上的动力设备系统等都少不了泵与风机。在热力发电厂里，泵与风机更担负着连续输送工作介质的重要功能，如锅炉给水所需的给水泵；炉内空气供应及烟气排散所需的送风机与引风机；汽轮机后部冷凝器的冷凝泵和循环冷却水系统的循环泵；排除各处积水的疏水泵和补给管道系统汽水损失的补给水泵；还有给汽轮机轴承提供润滑油的油泵等等。这就要求能满足各种工作要求的不同形式的泵与风机。在核电站里，还需要配备从反应堆里取出热量的冷却剂循环泵；为保证核电站安全运行，还要用到当反应堆万一发生事故时所需的高压注入泵和堆心喷淋泵等。

在电厂里，若泵或风机发生故障，常会影响主机主炉的正常工作，例如主油泵油压不稳定，会直接造成主机的剧烈振动；循环水泵发生故障，电厂就要降低出力；至于核电站里若发生泵或风机方面的事故，更会使核电站的安全生产受到严重影响，甚至不得不关闭反应堆。因此，电厂热能动力专业人员，特别要重视掌握泵与风机的原理、结构和运行性能，以保证安全生产。图 1.1 为电厂中泵与风机的应用示意图。

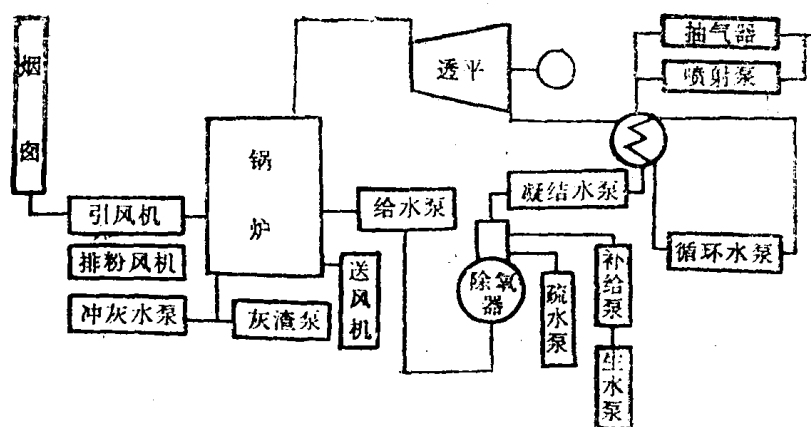


图 1.1 电厂中泵与风机的应用示意图

泵与风机所消耗的电量几乎要占各国发电量的 $\frac{1}{5}$ ，随着近年来空调机应用日渐增多，上述比例还在逐渐上升。在热力发电厂里，泵与风机要消耗掉全部厂用电的 $70\sim 80\%$ ，

而厂用电一般要占电厂发电量的8%左右,因此电厂里的泵与风机耗电量的绝对数量是很大的。可见,提高泵与风机的效率,合理使用设备,实现节能,也同样是不可忽视的重要方面。

建国前,国内泵和风机制造业只有很微薄的基础,分散在一些大城市中,大部分泵与风机依赖进口。建国后,泵和风机制造工业发展得较快,头一个五年计划期间,就有一些专业厂开始大量生产泵与风机,60年代初已形成全国性的制造行业网。到60年代末,在国务院科学规划委员会机械组水泵专业小组的安排指导下,行业内部分工协作进行产品更新设计、定型与标准化等工作,并采取措施提高产品质量,大大推动了国内泵与风机产品设计制造技术的发展与提高。目前我国泵与风机工业在常规品种方面已完全能满足国民经济各部门需要,有些产品已达到或接近国际上的先进水平,个别品种甚至超过国外设计水平。

1.2 泵与风机的分类

泵与风机的种类很多,通常可根据工作原理及其结构形式加以分类,泵与风机在原理和结构上相差甚大的有两大类,加上还有一些无法归入这两大类的泵与风机品种,所以一般都认为可分成以下三大类:

(1) 叶轮式:又称叶片式或透平式,这类泵与风机均借助装在转轴上的叶轮的作用,对流体做功提高其能量。按结构形式不同,还可分成离心式、轴流式、混流式和旋涡式等四种基本形式;

(2) 定排量式:又称容积式,这类泵与风机通过工作室的容积周期性变化实现对流体做功提高其能量。按工作方式不同,还可分成往复式和回转式两类,它们的共同特点是每个工作周期内排出的流体容量是不变的,所以叫做定排量式泵与风机。根据结构形式不同,往复式又可分成活塞式、柱塞式和隔膜式三种形式。回转式泵与风机尚可分为齿轮式、螺杆式、滑片式和转子式四种形式。

(3) 其它类型:凡无法归入前面两大类的泵与风机,都归并在这一类中,这类泵与风机主要是利用能量较高的流体来输送能量较低的流体,例如喷射泵、水锤泵和射流式抽气器等。

上述各主要类型中还有一些更细小的分类,可参见表1.1。

另外,泵与风机也常按其形成的流体压强加以分类,一般均可分成低压、中压和高压三个档次。对于泵而言,常将压力在2 MPa至6 MPa间的泵称为中压泵,小于2 MPa的称低压泵,高于6 MPa的称高压泵,但也没有绝对的界限。风机方面,则将10~15 kPa至290~340 kPa间的风机称为鼓风机(中压),小于10~15 kPa的称通风机(低压),高于290~340 kPa的称压气机(高压)。由于通风机的应用最多,所以还将风压在1~3 kPa间的通风机称中压通风机,小于1 kPa的风机叫低压通风机,而把高于3 kPa(低于15 kPa)的风机称高压通风机。

表 1.1 泵与风机按工作原理和结构形式的分类

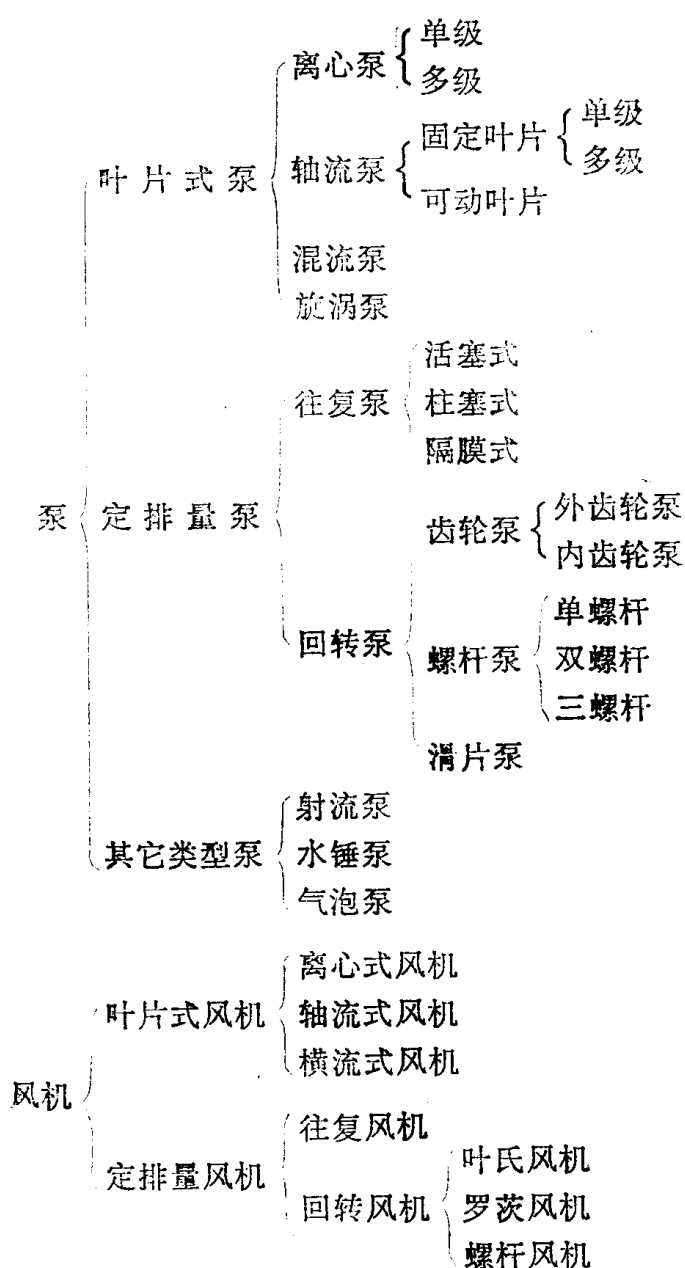


表 1.1 中所列几种主要泵与风机的工作原理和结构特点分别简述于后。

1.2.1 离心式泵与风机

离心式泵与风机的工作原理是利用叶轮高速旋转，其上的叶片对流体沿着它的运动方向作功，从而使流体的压力能和动能均有所增加。流体离开叶轮后，循着导叶式蜗壳的引导流至出口。由于叶轮不断旋转，使流体在出口处具有较高的能量，得以连续不断地向前方流去，达到输送流体的目的。在离心泵与风机的工作原理方面应当认识到，叶片对流体作功主要是沿圆周切线方向作功使流体增加能量，因为叶片是沿圆周方向运动的。这在不少专著和教材里都有欠妥的阐述，值得初学者加以注意。

离心泵的典型结构见图 1.2，叶轮 1 位于蜗壳形的压水室 2 里。叶轮旋转时，其内的流体获得了机械能，在惯性作用下挤入压水室，然后从扩散管 4 排出。旋转流体的离心作用和流走必然造成叶轮中心处产生空缺，于是流体便经由吸入室 3 补充入内。当这部分流体进入

叶轮后，也同样会获得能量并因惯性作用而流至出口，于是又产生新的空缺，流体便连续不断

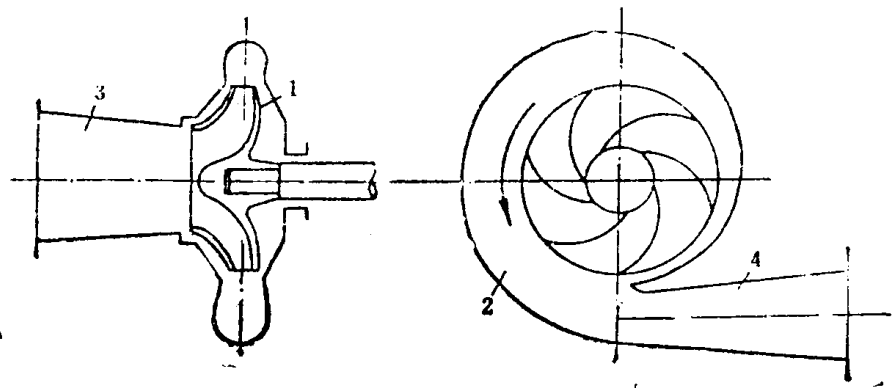


图 1.2 离心泵示意图
1—叶轮 2—压水室 3—吸入室 4—扩散管

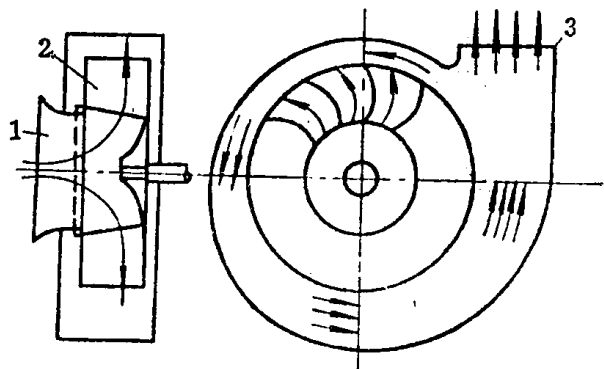


图 1.3 离心通风机示意图
1—集流器 2—叶轮 3—机壳

地补充和排出。离心风机的结构示于图1.3，其流动与作功过程与离心泵类似。

1.2.2 轴流式泵与风机

轴流式泵与风机的工作原理同样是利用高速转动叶轮上的叶片对流体沿着圆周方向上作功，提高流体的压力能和动能。所不同的是在轴流式泵与风机内，流体的流动方向主要沿转轴平行的方向，而在离心泵与风机里，流体的流动方向主要与叶轮轴向垂直。

轴流泵的典型结构如图 1.4 所示，当安装在泵体 3 中的叶轮 8 旋转时，其上的叶片对流经其间的流体作功，流体在流过叶道时获得能量，然后由导流叶片引至出口，进口处出现的空缺便由前方流体补充。轴流式风机的结构也与此类似，参见图 1.5。轴流式泵与风机一般用于低压大流量的场合，这时，如果采用离心式泵与风机，

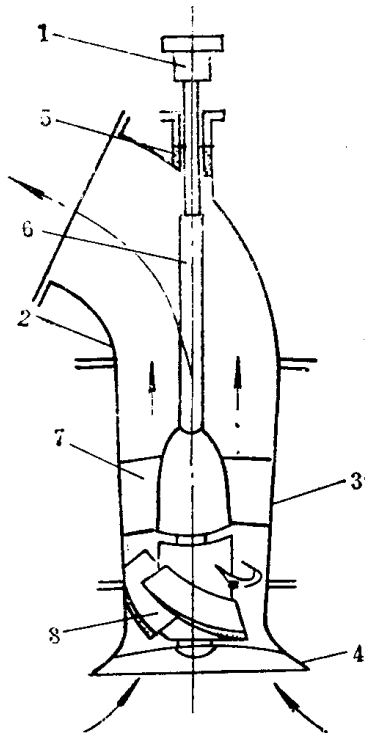


图 1.4 立式轴流泵结构
1—联轴节 2—出口管 3—泵体 4—进口管
5—轴承 6—泵轴 7—导叶装置 8—叶轮

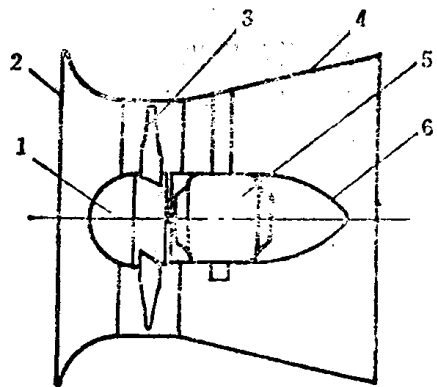
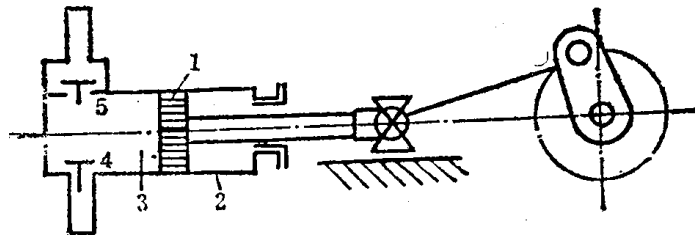


图 1.5 整流较好的轴流式通风机的一般构造
1—前整流罩 2—集流器 3—叶片 4—扩散筒
5—电动机 6—后整流罩

机器尺寸会过分地大，而采用轴流式泵与风机就可减小机器自身的体积。电厂中的循环水泵和引风机均可用轴流式泵与风机。

1.2.3 活塞泵

活塞泵是定排量式泵中的传统品种，它利用活塞在泵缸内作往复运动，从而将低压液体吸入，排出高压流体。图 1.6 是活塞泵的示意图，当活塞 1 在泵缸 2 内自最左位置向右移动



1.6 活塞泵示意图

1—活塞 2—泵缸 3—工作室 4—吸水阀 5—压水阀

时，工作室 3 的容积逐渐扩大，室内压力降低，下方的流体顶开吸水阀 4，流体进入工作室填补因活塞右移所留下的空缺，直到活塞移至最右位置为止，这过程为泵的吸入过程。然后在曲柄连杆机构作用下，活塞开始向左方移动，工作室中的流体在活塞挤压下接受了机械能，高压的流体将吸水阀 4 关闭，同时打开压水阀 5，流体便经过 5 排至出水管，这个过程称为压水过程。活塞泵适用于要求流量小而压力高的场合，电厂里常作为加压泵。

1.2.4 齿轮泵

齿轮泵也是一种定排量泵，它与活塞泵的不同在于没有进出水阀门，同时它的流量要比活塞泵更为均匀，构造也远比往复运动的泵简单得多。齿轮泵型式很多，如外齿轮泵、内齿轮泵、三齿轮泵等。图 1.7 为典型的外齿轮泵，图中一个齿轮是主动轮，固定于传动轴上，另一个与它啮合的齿轮则固定在另一根自由轴上。流体自进口经过齿轮间隙沿对称的壁面流

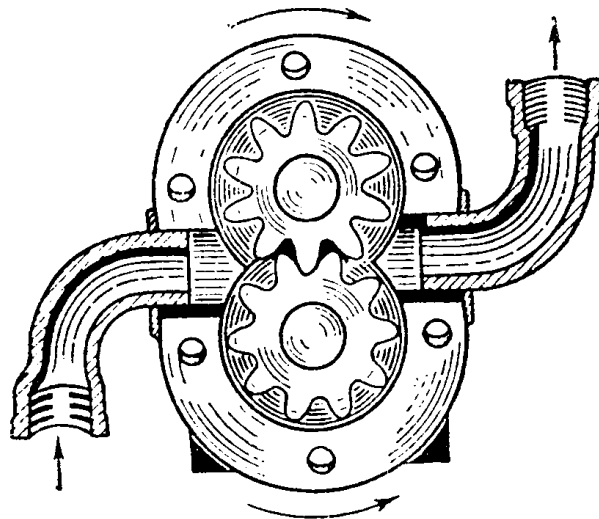


图 1.7 外齿轮泵

向出口，中间则由于齿轮的啮合而得以密封，使流体无法自出口逆向流回进口。齿轮泵结构轻便紧凑，制造简单，工作可靠，所以常在润滑系统中广泛应用，一般都具有输送流量小和输出压力高的特点。

1.2.5 螺杆泵与风机

螺杆泵与风机是利用相互啮合的螺杆来吸入与排出流体的回转式泵与风机。图 1.8 示出了典型的结构。它的工作原理也是利用相互啮合的螺纹把流体从进口压至出口。螺杆泵比齿轮泵的效率更高，流量更均匀，不仅出口压力达到很高，而且流量也可适应较广泛的应用范

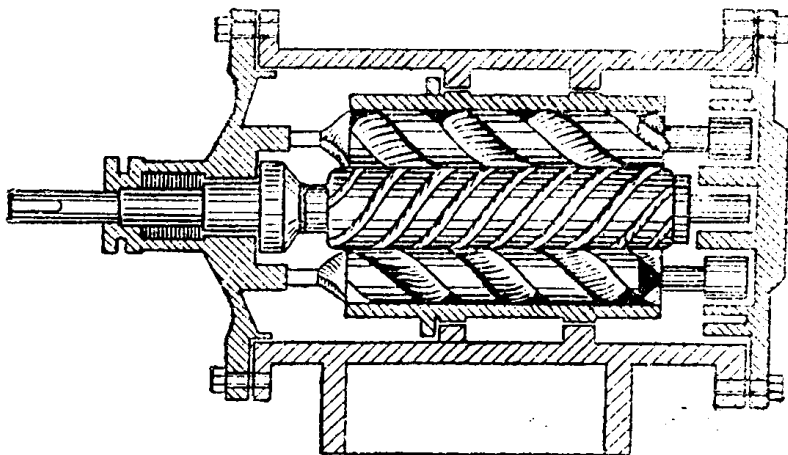


图 1.8 螺杆泵

围。同时，螺杆泵与风机可实现与高速原动机直接联接，因而其自身尺寸与重量均可较小。所以螺杆泵与风机也是一种较现代化的输送流体的机械。

1.2.6 滑片泵

滑片泵也是定排量泵中的一种，一般用作输送润滑油。泵内有多片滑片，用来限制油液的运动并通过它的作用对油液做功。图 1.9 为一台内滑片泵的结构，当泵壳里的转子循箭头方向转动时，嵌入转子中的滑片在离心力作用下顺序滑向泵壳内壁，由于转子与泵壳的偏心结构，使油液自进口压向出口。图 1.10 为一台外滑片泵的结构，这种泵里的滑片在转子以外，它依靠出口的高压与偏心转子紧密接触，以阻隔油液的返流。滑片泵也可与高速原动机直接联接，同时有结构轻便尺寸小的特点。

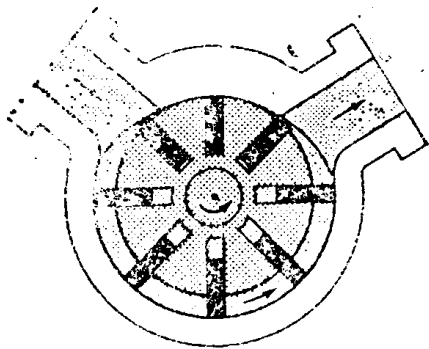


图 1.9 内滑片泵

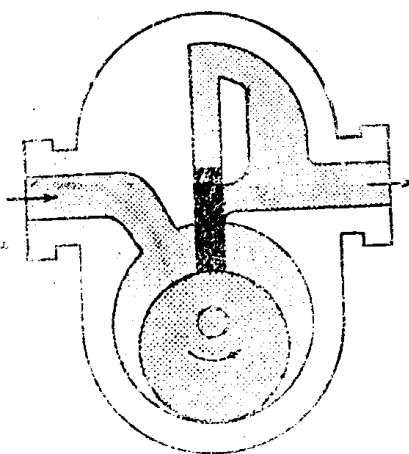


图 1.10 外滑片泵

1.2.7 喷射泵

喷射泵同离心泵、轴流泵和往复泵都不一样，这种泵是完全利用工作流体的能量使被输送的流体增加能量，以达到输送流体的目的。所以在喷射泵中没有任何运动部件，这是它不

同于其它各种泵的一大特点。

电厂里常应用喷射泵来冲刷炉灰，含灰的水由排灰泵送至沉灰池。此外也可利用喷射泵来使冷凝器产生真空。

图 1.11 为喷射泵的示意图，图中可看到喷射泵的三个基本部分：喷嘴 6、扩散室 2 和吸入室 5。工作流体经过喷嘴后以很大的速度进入扩散室，由于高速射流的周围压力很低，使喷嘴附近产生真空，被抽送流体便被吸进吸入室，经混合后随同工作流体一起进入扩散室，然后由出口排出。

喷射泵的工作流体可以是水、蒸汽或空气，被输送流体可以是水或空气。电厂中常利用蒸汽抽送空气或水，这时又称为引射器。喷射泵的效率较低，一般为15%至30%左右。

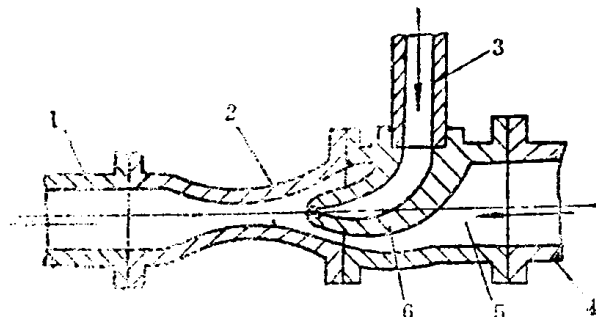


图 1.11 喷射泵

1—排出管 2—扩散室 3—管子 4—吸入管
5—吸入室 6—喷嘴

上述各种泵与风机分别有自己的优点和缺点，因此也就有各自的使用范围，各种泵与风机的适用范围可参见图 1.12 和图 1.13。图中可看出离心泵和往复泵的适用范围较广，但对

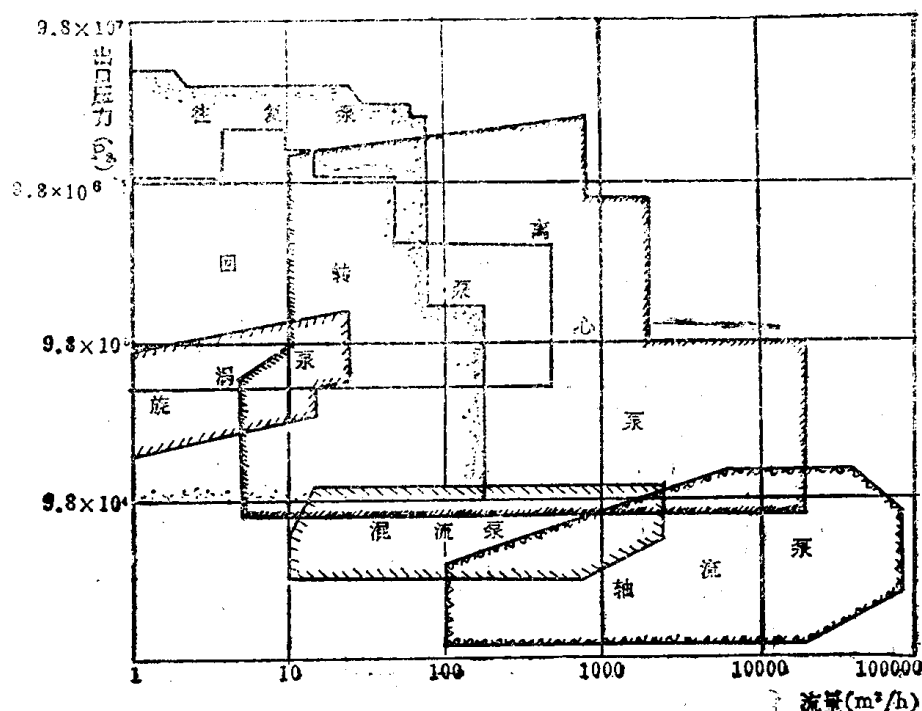


图 1.12 各种泵的适用范围

于电厂热能专业而言，用得最多的是叶片式泵与风机，且以离心式和轴流式最多，这是因为离心式和轴流式泵与风机具有转速高、结构紧凑、流量大、输送流量均匀、设计工况下效率高等优点。特别在大流量要求下，轴流泵更有它突出的优点，往复泵与风机虽然有出口压力高的特点，但与叶片式泵与风机相比，有结构复杂笨重、流量不均匀、转速低、不能与原动

机直接联接等缺点，所以在电厂里使用很少。本书主要介绍离心式和轴流式泵与风机的原理、结构及使用等方面的知识。

1.3 泵与风机的结构 和主要部件

叶片式泵与风机主要有离心泵、轴流泵和混流泵以及离心风机和轴流风机。在电厂里常用到给水泵、冷凝泵、循环水泵、核电站用泵和引风机、送风机等，下面将对这些泵与风机的结构特点逐一进行介绍。

1.3.1 离心泵

图 1.14 是典型的离心泵示意图，离心泵的主要部分为叶轮 1 和泵壳

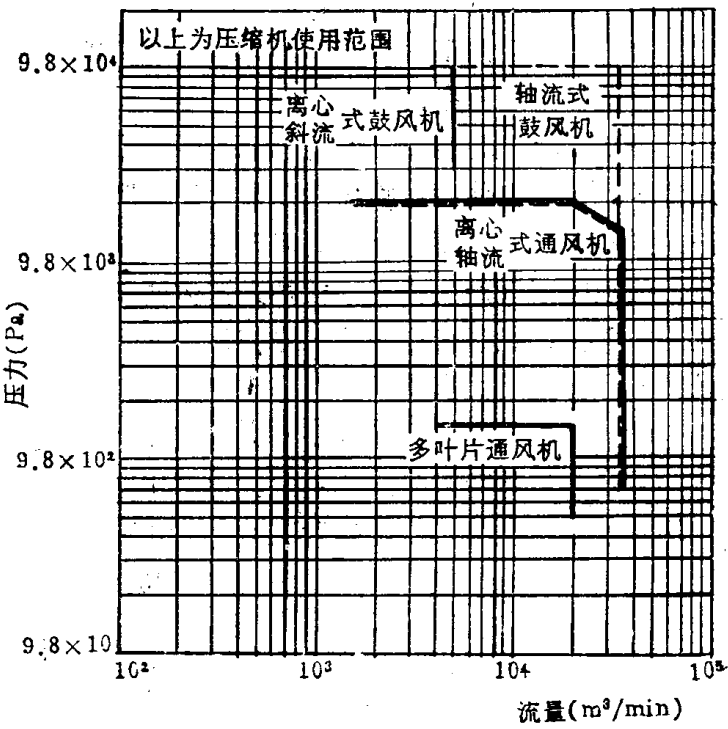


图 1.13 各种风机的适用范围

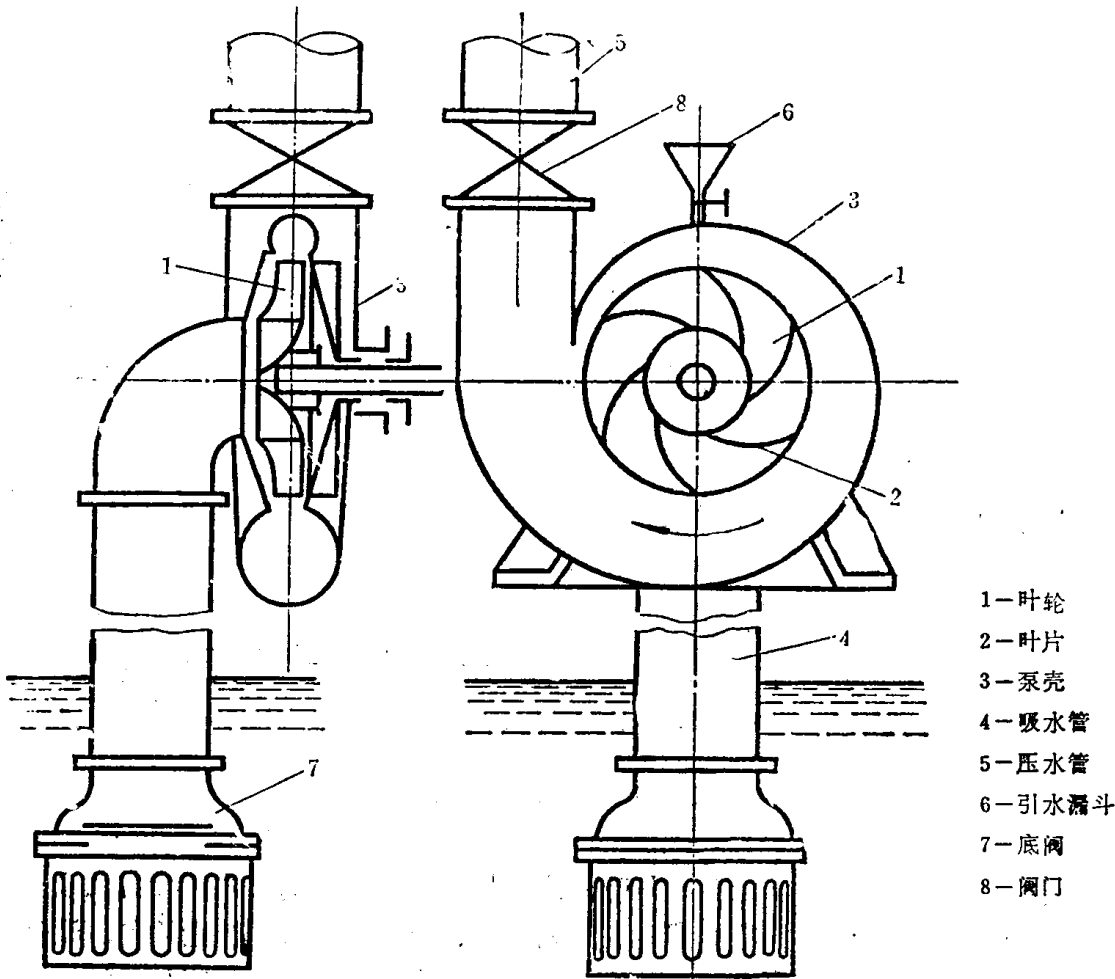


图 1.14 离心泵的典型结构

3. 为了保证泵的正常工 作，还须配备一些密封件，进出水管和轴承架等。离心泵虽有某些结构上的变化，但其工作原理和作用大同小异，主要零件的形状也都相近，下面分别介绍它的主要部件。

1.3.1.1 叶轮

叶轮又称工作轮，原动机输入的机械能传输给流体的过程完全都在叶轮内得以完成。叶轮由前盖板，后盖板，叶片和轮毂所组成。叶片在前后盖板之间形成流体的流道，流体由叶轮中心进入叶轮，自轮缘排出。

叶轮可做成如图 1.15 所示几种不同型式，有闭式、开式和半开式三类。图 1.15a 为单吸的闭式叶轮，叶轮前后均有盖板，是最常用的一种型式；b 为双吸的闭式叶轮，也是应用广泛的型式，它具有增大流量、改善汽蚀性能和平衡轴向推力的优点；c 为半开式叶轮，它只有一侧有盖板；d 为开式叶轮，两侧都没有盖板。

1.3.1.2 进 水 室

离心泵进水管接头同叶轮进口前的空间称作进 水室，又称吸入室。其作用是以最小的水力损失引导液体平稳地进入叶轮流道，并使液体在叶片进口端有较为合适的流速分布。

进水室常采用三种形式：图 1.16 为锥形吸入室。它有结构简单、制造方便、流速分布均匀等特点。锥形管的锥度为 7° 至 8° 。图 1.17 为环形吸

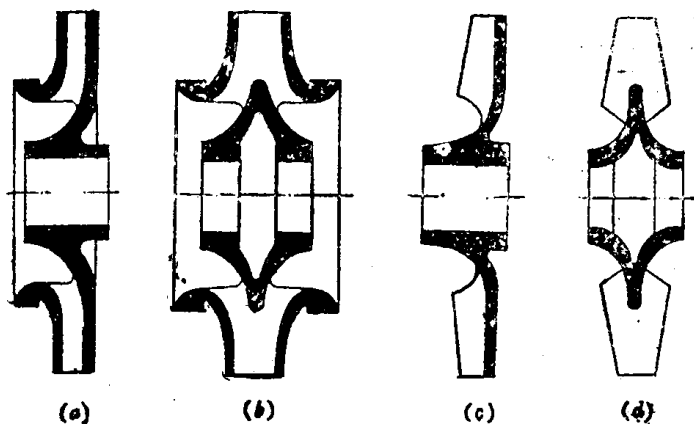


图 1.15 不同型式的叶轮

a) 及 b) 闭式叶轮 c) 半开式叶轮 d) 开式叶轮

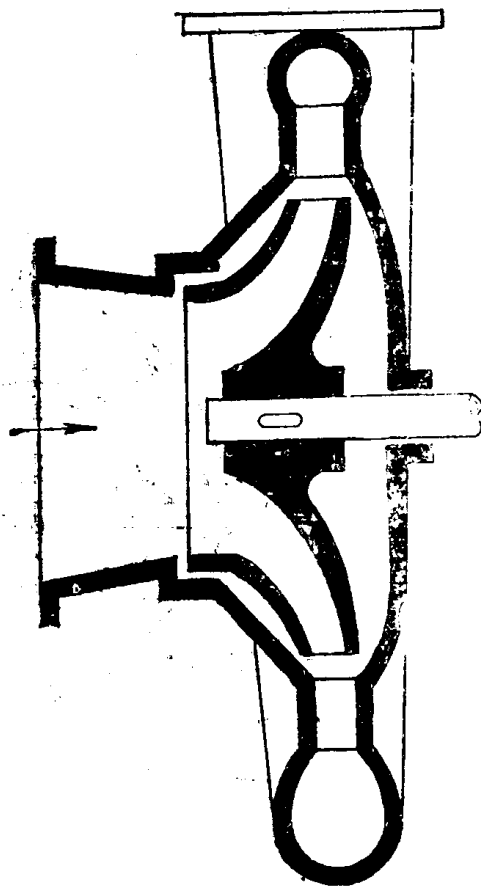


图 1.16 锥形吸入室

入室，其优点是结构简单、轴向尺寸小，但水力损失较大，流速分布也不太均匀。图 1.18 为半螺旋形吸入室，这种结构型式水力损失最小，叶道进口流速也较均匀，但因进水有预旋而会降低泵的扬程。

1.3.1.3 压水室

压水室指叶轮出口处与出水管接头之间的那部分空间，其作用是以最小的水力损失收集液流后将它们送到出水管中去。图 1.14 中的 3 为最常见的螺旋形压水室，又称涡壳。它的结构简单、制造方便、效率高。但当泵在非设计工况下运行时，会产生不平衡的径向力。有

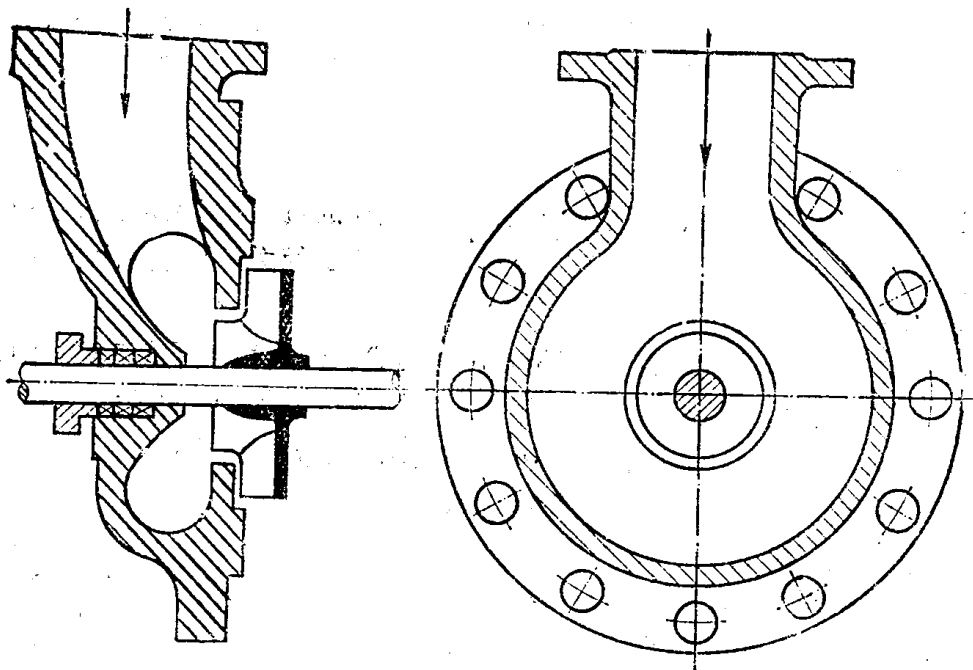


图 1.17 环形吸入室

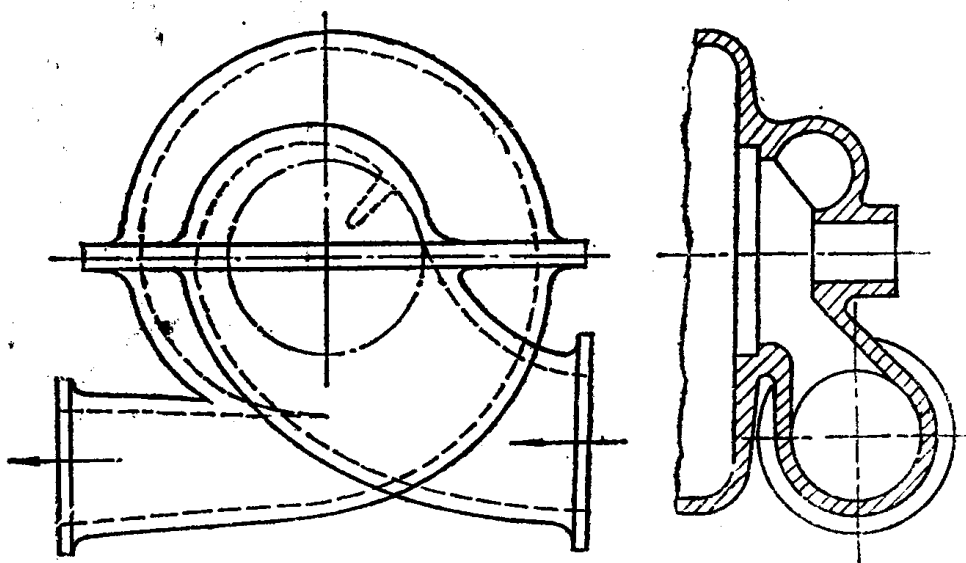


图 1.18 半螺旋形吸入室

时也采用环状压水室，它适用于输送含杂质的情况，例如电厂中的灰渣泵等。由于环状压水室中的流体流动不均匀，所以将使泵的水力效率有所下降。

1.3.1.4 密封环

密封环又叫口环。由于叶轮出口的流体压强较高，而叶轮进口处压强又很低，泵体内的流体有一小部分将流向叶轮的进口。装在泵壳上与叶轮进口外圈构成很小间隙的密封环就起到了防止泵壳与叶轮之间流体回流的作用。密封环有多种结构形式，如图 2.24 所示。口环易磨损，可以定期更换，一般口环间隙为 $0.1 \sim 0.5$ 毫米。

1.3.1.5 轴封装置

离心泵的转轴总要穿过固定的泵体伸出，运动部件与静止部件间必然有一定的间隙，为

了不让高压流体大量泄漏出来,就必须采用轴封装置来防止泄漏。

泵上可采用的轴封装置常见的有填料函密封,机械密封和浮环密封三类。图 1.19 所示为电厂用泵最常采用的填料函密封结构,它由填料 3、水封环 2 以及压盖 1 等组成。通过压盖使填料和轴之间保持很小的间隙来达到密封目的。在真空进室端,为防止外界空气窜入泵内造成进水中断,可通过水封环引入洁净的水,以便在轴的周围形成水环进行密封。同时,可调整压盖的松紧来控制泄漏量,太紧会造成摩擦过大而烧坏填料或轴套,太松则会加大泄漏。为了冷却以及不使摩擦过大,一般要求调整到每 1~2 秒漏一滴左右。图 1.20 所示为机械密封结构,又称端面密封,主要由动环 2、静环 1、动环座 3、弹簧 6、弹簧座 4、密封圈 7、密封防转销 8 及固定螺钉 5 组成。它是依靠静环与动环的端面摩擦来实现密封的。机械比填料函密封的密封性能好,其泄漏少,寿命长,功率消耗也小,但机械密封加工复杂,精度高,成本贵,安装技术要求也高。图 1.21 为浮环密封,它由浮动环、支承环(又称浮动套)、支承弹簧等组成。这种密封借助浮动环端面、浮动套端面在流体压力和弹簧力作用下,使流体实现径向密封。密封液体只能在轴向沿浮动环与轴间的狭窄间隙流动,而轴向密封则是借

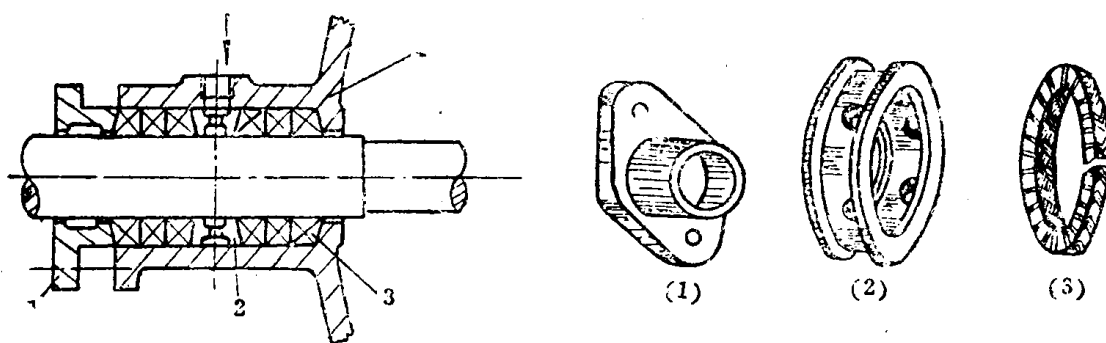


图 1.19 填料函密封

1—填料压盖 2—水封环 3—填料 4—填料函

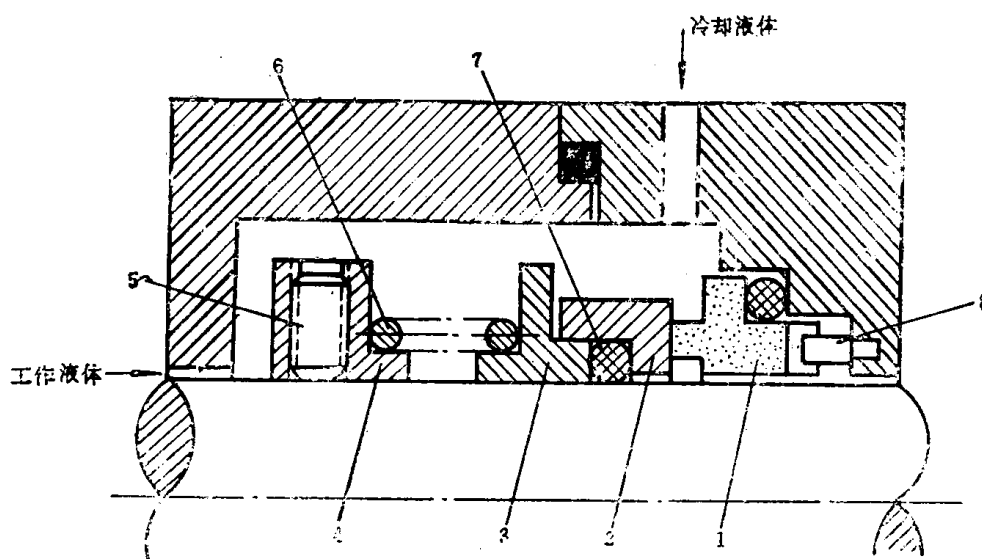


图 1.20 机械密封

1—静环 2—动环 3—动环座 4—弹簧座 5—固定螺钉 6—弹簧 7—密封圈 8—防转销

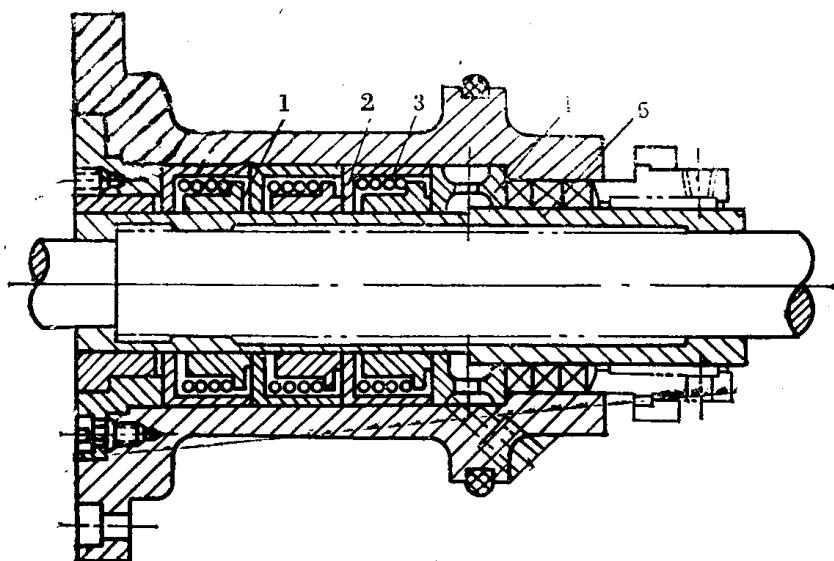


图 1.21 浮环密封

1—浮动环 2—浮动套 3—支承弹簧 4—泄压环 5—轴套

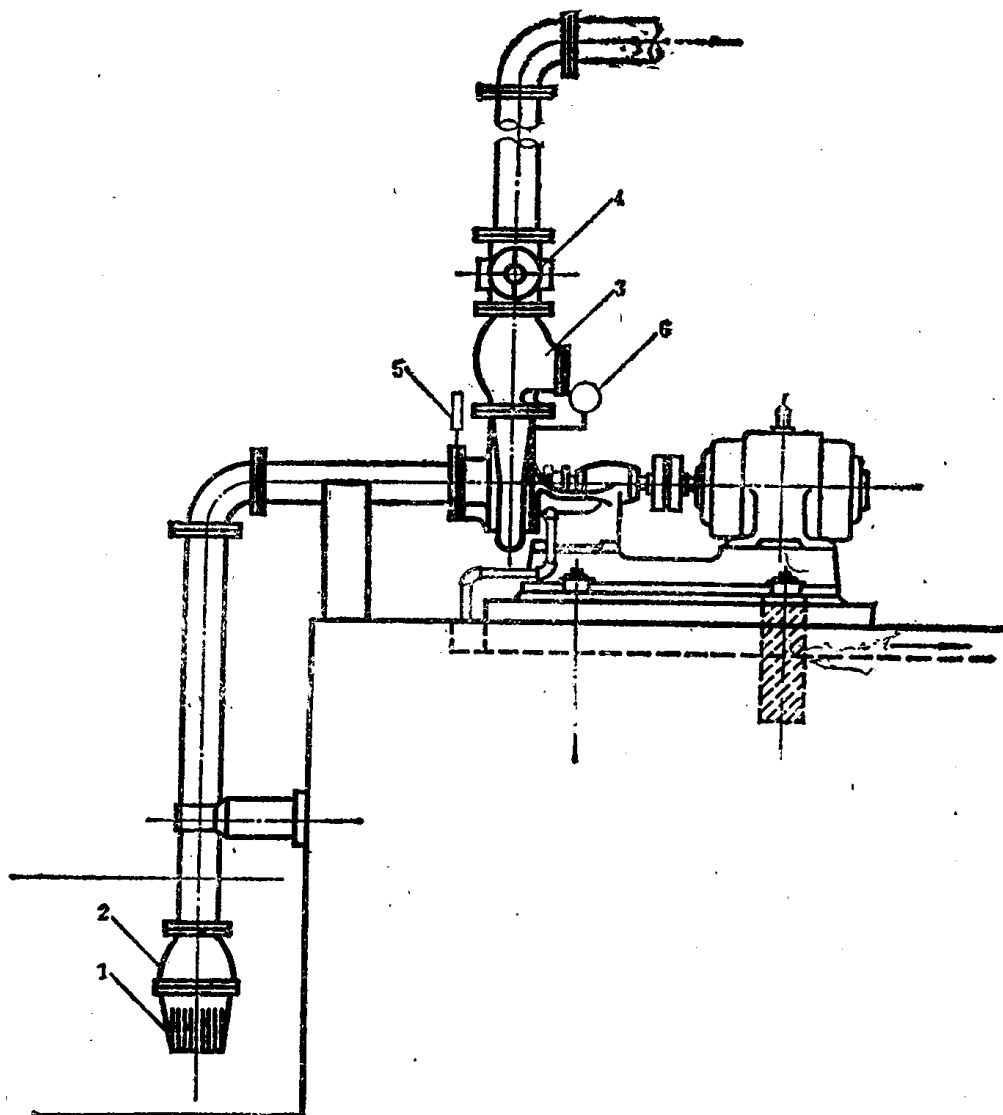


图 1.22 离心泵管道附件

1—进水滤网 2—底阀 3—止回阀 4—闸阀 5—真空计 6—压力计