

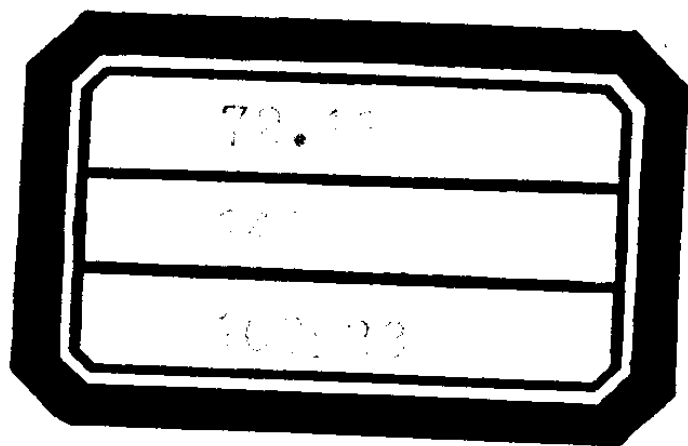
58
电力工业学校教材

泵与风机

山东省电力学校 毛正孝 合编
兰州电力学校 赵友君

China Electric Power Press

中国电力出版社

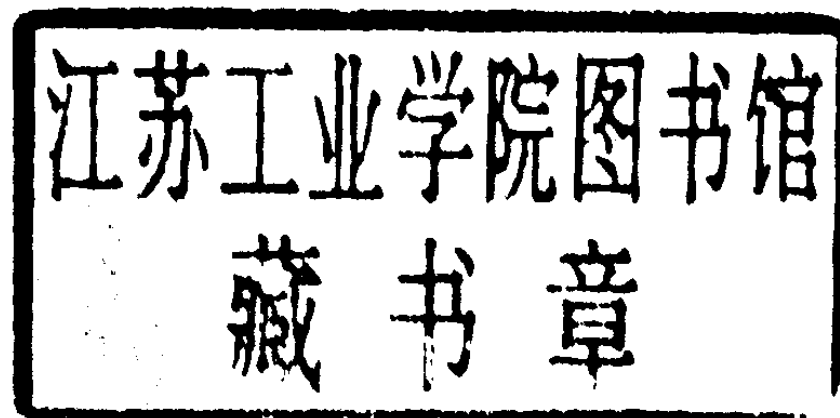


电力工业学校教材

泵 与 风 机

山东省电力学校
兰州电力学校

毛正孝 合编
赵友君



中国电力出版社

3757/14
内 容 提 要

本书主要阐述了叶片式泵与风机的工作原理、分类构造及性能等基本知识和基本理论；较详细地分析了叶片式泵与风机运行工况的稳定性；全面地介绍了火力发电厂泵与风机常用的工况调节方法；并以与典型大、中型机组配用的设备为例，综述了电厂常用泵与风机的作用、特点及其运行的基本知识。

本书系电力工业学校电厂热力设备运行与检修专业的必修课程教材，也是有关专业“泵与风机”课程必备的教学参考书。由于全书内容密切联系实际，编排组合基本模块化，因此本书可以作为火力发电厂有关生产人员岗位培训的教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

泵与风机/毛正孝, 赵友君合编. -北京: 中国电力出版社, 1999.9

电力工业学校教材

ISBN 7-5083-0126-9

I. 泵… II. ①毛… ②赵… III. ①泵-专业学校-教材 ②鼓风机-专业学校-教材 IV. ①TH31-43 ②TH44-43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 43906 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

梨园印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 2 月第一版 2000 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 323 千字 1 插页
印数 0001—4000 册 定价 18.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序

近年来，电力职业技术教育在结构改革过程中，创建了中专和技校融为一体的新型办学模式，形成统一的电力工业学校。与此同时，进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可缺少的信息载体，其改革和建设必然是教学改革的重要组成部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果，推动改革持续深入发展，满足电力工业学校教学工作的急需，并促进教学质量不断提高，从1996年底开始，着手组织力量进行教材改革的研究探索和教材建设的安排部署。中国电力企业联合会教育培训部先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组，组建了电力工业学校教材编审委员会，颁布了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评优暂行办法》等。

我会遵照上级有关教材建设的文件精神，积极组织全国电力工业学校（含中专、技工学校）的广大教师，按部颁电厂热力设备运行与检修专业教学计划（试行）设置的课程，申报并被确定了8门课为重点教材，由部统一组织出版发行。其余20余门一般教材，由教研会组织出版发行。这批教材力求根据职业技术教育的特点和培养应用型人才的教育目标，突出教材的定向性或针对性，以电力行业工作岗位需要的综合职业能力和素质要求，作为界定教材内容的依据，不片面追求学科体系的完整性，而强调贴近生产实际和工作实际，使理论同实践紧密结合，传授知识同培训技能紧密结合，精选教材内容，删繁就简，返璞归真，充实技术性、工艺性、使用性的内容，而且体现先进性和科学性的原则；注重定性分析，阐明物理意义和应用方法，简化某些论证，减少不必要的数学推导；在内容的编排、组合上，一是最大限度地做到模块化，增强教材使用的灵活性，便于不同教学阶段、不同专业采用；二是使理论阐述同实践指导有机结合，便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线，采用以实际训练为轴心的把讲授、实验、实习融于一体的教学方式；适应各校功能延伸的新要求，兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果，仍需再接再厉，继续深化教材改革，推进教材建设。预期经过几年的努力，将会形成一套具有电力职业技术教育特色、以职业能力培养为主线、门类比较齐全、形式比较多样，并能与其它教育相衔接、兼顾职工培训需要的教材体系。

全国电力职业技术教育委员会
动力类专业教学研究会

1998年10月

前 言

《泵与风机》是电力工业学校“电厂热力设备运行与检修”专业的教材。是按照中国电力企业联合会教育培训部 1996 年 11 月颁发的教学计划（试行）和动力类专业教研会组织审定过的教学大纲为依据进行编写的。

遵照电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路,力求贯彻以能力为本位的思想,从专业覆盖岗位所需的综合能力和素质要求界定编写的内容,建立了以叶片式泵与风机部件和总体结构剖面图、性能曲线以及工作点为主线的“点线面型”课程内容新体系。突出了从事泵与风机运行和检修人员所必备的关于分类构造、性能曲线、工作点等基本知识和理论的阐述,并以与典型的大、中型机组配用的常用泵与风机为例,注重了学生识读结构图和说明书、剖析结构特点、学习规程、分析判断运行工况等基本技能的培养。编写中努力做到语言通俗,概念明确,深入浅出,易读易懂。删去了轴流式泵与风机的叶轮公式、环流系数计算经验公式等方面的内容,保留了叶片式泵与风机基本方程式等重点内容的推导,增加了运行工况稳定性的论证,以突出内容体系的主线,有利于学生自学能力的提高和创新意识的开发。在阐述给水泵现场试验、泵与风机并联工作、电机调速及一次风机和排粉风机的作用等内容时,还尝试突破学科界线,少量引入有关知识帮助说明,形成相对完整、比较实用、更加接近电厂生产实际的内容,以利学生专项能力的提高。

全书内容实质是由“常识块”、“结构块”、“性能块”、“工作点块”及“综合块”五个模块组成。每个模块的内容都具有相对的完整性和独立性,并具有一定的可拆性。可供灵活选用,迭加组成不同层次需要的各种泵与风机教材,以适应当前学校教育改革,进行多层次多功能教学的需要。

本书还根据热动教研会的统一要求,做到章首有内容提要,章后有小结,有尽量取材于工程实际的复习思考题和习题,以供教学中抓住重点,讲清难点参考以及对学生预习、复习的指导。

本书绪论、第一章、第三章及第四章的风机部分由山东省电力学校毛正孝副教授编写,第二章及第四章的水泵部分由兰州电力学校赵友君高级讲师编写。全书由毛正孝副教授统稿,由江西省电力学校胡启振高级讲师主审。

在编写过程中,曾得到哈尔滨电力学校、武汉电力学校、杭州电力学校、西安电力学校、大连电力工业学校、重庆高级电力技工学校的热情帮助,并得到邹县发电厂、石横发电厂、聊城发电厂、靖远发电厂、平凉发电厂、哈尔滨第三发电厂等有关单位的大力支持,中国电力教育协会职业技术教育委员会动力类专业教研会王宝贵、宋文复、孙昌人、陈兴华等专家领导,也先后对书稿提出了许多宝贵意见和建议,在此谨一并致以衷心的感谢。

限于编者水平,书中的缺点和不足之处难免,恳切希望广大师生和读者批评指正。

编 者

1999 年 8 月

目 录

序

前言

绪论	1
0.1 泵与风机在国民经济建设和火力发电厂中的地位	1
0.2 泵与风机的分类及工作原理	1
0.3 泵与风机的基本性能参数	8
小结	16
思考题	18
习题	18
1 叶片式泵与风机的分类及构造	20
1.1 叶片式泵与风机的分类及型号	20
1.2 离心泵的构造	28
1.3 轴流泵与混流泵的构造	46
1.4 离心式和轴流式风机的构造	51
小结	60
思考题	65
2 叶片式泵与风机的基本理论	65
2.1 叶片式泵与风机的基本方程式	67
2.2 基本方程式分析	72
2.3 叶片型式	74
2.4 泵与风机内的各种损失	77
2.5 泵与风机的性能曲线及其理论绘制	80
2.6 泵与风机性能曲线的试验绘制	84
2.7 泵与风机的相似定理	88
2.8 泵与风机性能曲线的换算	90
2.9 比转数和型式数	97
2.10 汽蚀	101
小结	109
思考题	112
习题	112
3 叶片式泵与风机运行工况的稳定性和工况调节	115
3.1 叶片式泵与风机运行工况的稳定性	115
3.2 泵与风机联合工作的运行工况	122
3.3 叶片式泵与风机运行工况的调节	129
3.4 叶片式泵与风机变速调节的变速方式	136

小结	150
思考题	155
习题	156
4 发电厂常用泵与风机	159
4.1 给水泵	159
4.2 凝结水泵	173
4.3 循环水泵	176
4.4 灰渣泵	181
4.5 锅炉循环泵	182
4.6 火力发电厂常用风机	185
4.7 火力发电厂常用风机的运行	204
小结	215
思考题	221
参考文献	222

绪 论

内容提要 本绪论主要阐明泵与风机的定义，并简要介绍泵与风机在火力发电厂中的作用、地位、分类及其常用的 10 种泵与风机的工作原理。重点讨论 q_v 、 $H(p)$ 、 P 、 η 、 n_s 、 $[H_s]$ 、 $[\Delta h]$ 等泵与风机基本性能参数的意义及有关计算等常识性内容。

0.1 泵与风机在国民经济建设和火力发电厂中的地位

泵与风机是将原动机的机械能转换成流体机械能，以达到输送流体或造成流体循环流动等目的的机械。通常把提高液体机械能的机械称为泵，把提高气体机械能的机械称为风机。

泵与风机是在国民经济各部门中都广泛应用的通用机械。例如：农业中的排涝、灌溉；石油工业中的输油和注水；化学工业中高温、腐蚀性流体的排送；其他工业和人们日常生活中的采暖通风、给水排水等都离不开泵或风机。据统计，在全国的总用电量中，有 30% 左右是泵与风机耗用的，其中泵的耗电约占 21% 左右。由此可见泵与风机在我国经济建设中的地位和作用。

在火力发电厂中，不同类型的泵分别用于输送给水、凝结水、冷却水、疏水、润滑油等液体；各种类型的风机则分别用于输送空气、烟气、煤粉空气混合物等介质。它们与其他热力、电力设备有机地组成火力发电厂的生产系统，共同完成电能生产的任务，成为系统中必不可少的重要辅助设备。例如：现代大型锅炉的给水泵若由于某种原因发生故障而中断给水，则锅炉将会在 1~2min 内烧“干锅”，引发损毁设备和停炉、停机的重大事故。又如：在 1000MW 发电厂中，泵与风机的耗电量约占厂用电的 70%~80%（假定全部由电动机驱动），而厂用电一般约占机组容量的 7%~10%，那么这类电厂中泵与风机消耗的功率为 49~80MW。假如这些泵与风机的效率从 80% 降到 70%，则将多消耗功率 7~11.4 MW。由此可见，泵与风机的安全经济运行是保证整个电厂安全经济运行的关键因素之一。因此，火力发电厂热能动力类专业的生产技术人员，必须掌握泵与风机的有关知识和相应的实践操作技能。

0.2 泵与风机的分类及工作原理

0.2.1 泵与风机的分类

泵与风机的应用广泛、种类繁多，常根据科研、生产等需要从以下几个方面进行分类。按泵与风机所产生的全压的高低分：

低压泵：全压小于 2MPa。

中压泵：全压在 2~6MPa 之间。

高压泵：全压大于 6MPa。

通风机：全压小于 14.709kPa。

鼓风机：全压在 14.709~241.6kPa 之间。

压气机：全压大于 241.6kPa。

其中通风机又可细分为：

低压离心式通风机：全压 $\leq 980.6\text{Pa}$ 。

中压离心式通风机： $980.6\text{Pa} < \text{全压} \leq 2941.8\text{Pa}$ 。

高压离心式通风机： $2941.8\text{Pa} < \text{全压} < 14709\text{Pa}$ 。

低压轴流通风机：全压 $\leq 490.3\text{Pa}$ 。

高压轴流通风机： $490.3\text{Pa} < \text{全压} \leq 4903\text{Pa}$ 。

按泵与风机的工作原理分：

(1) 叶片式泵与风机。依靠装在主轴上的叶轮旋转，由叶轮上的叶片对流体做功来提高流体能量的泵与风机。根据流体在其叶轮内的流动方向和所受力的性质不同又分为：离心式、轴流式及混流式三种形式，如图 0-1、0-2、0-3 所示。

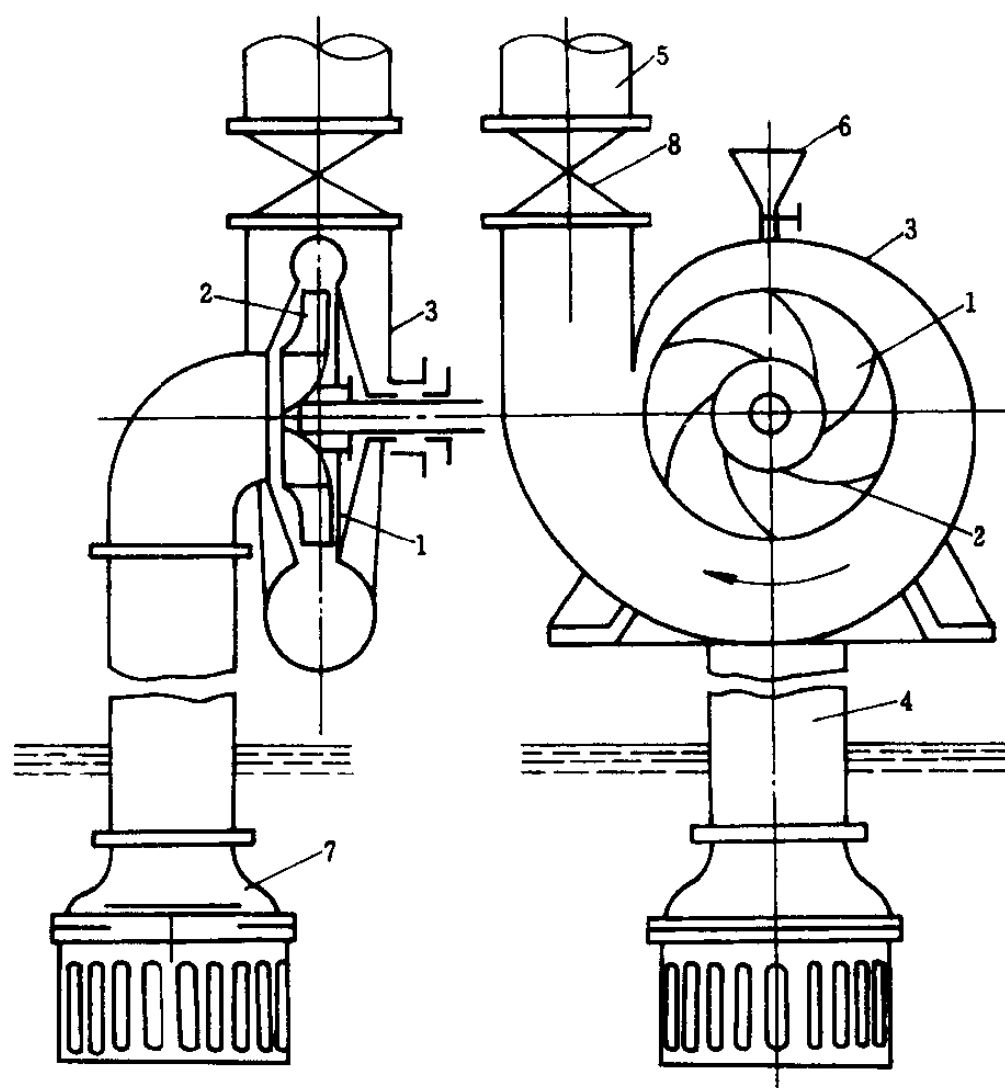


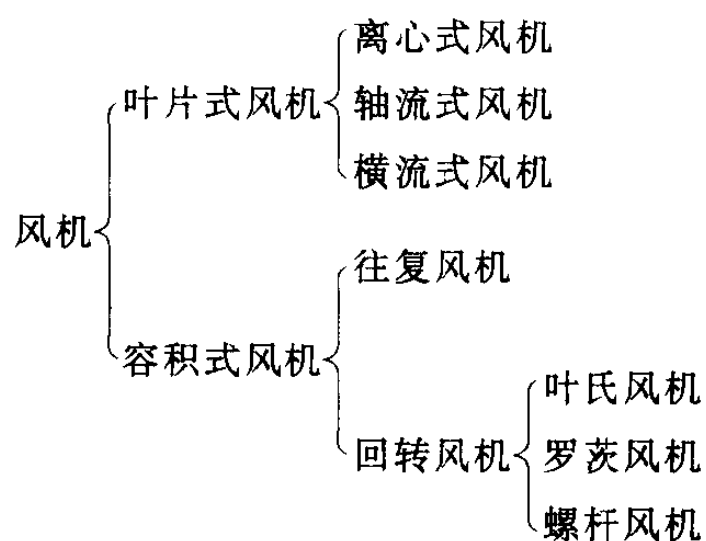
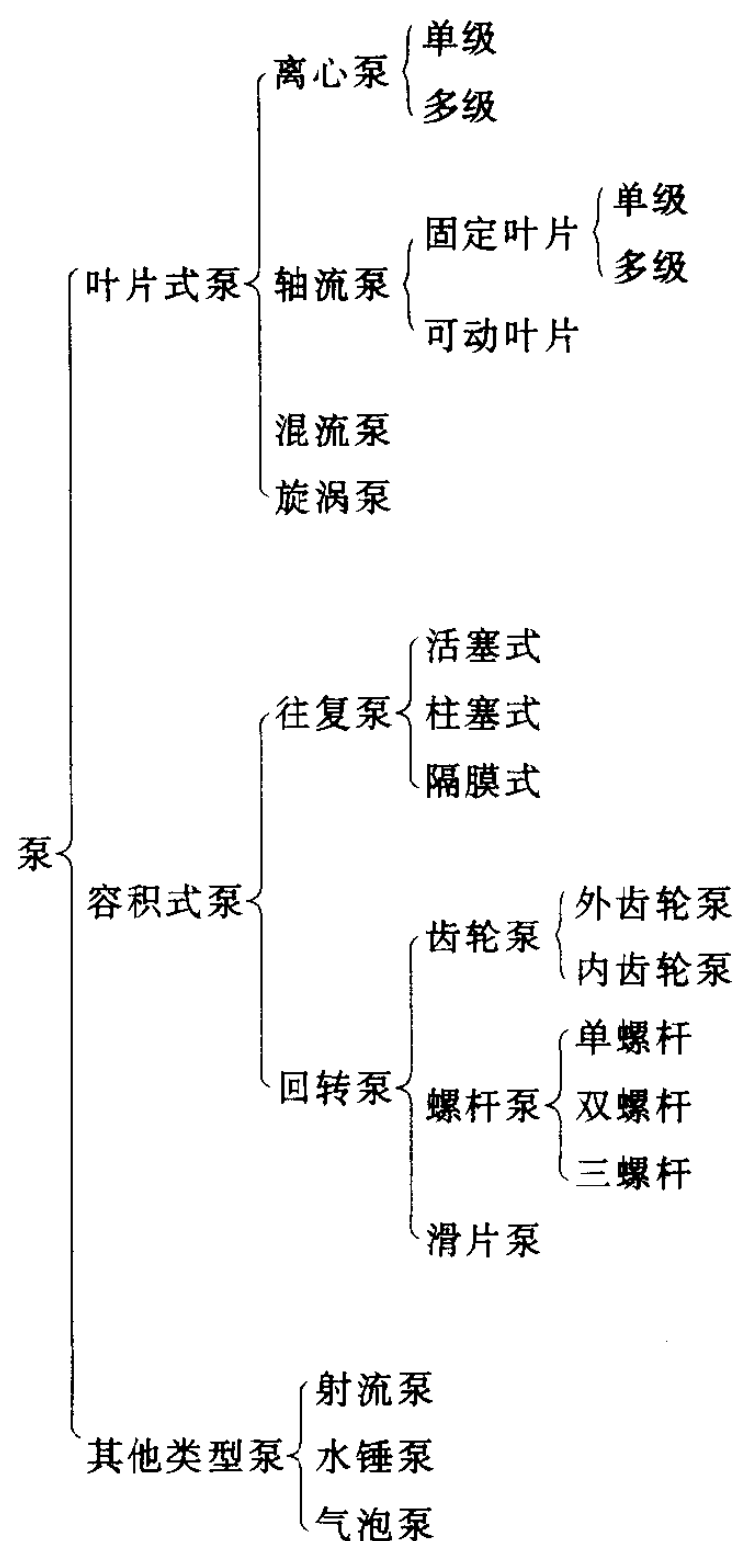
图 0-1 离心泵工作简图

1—叶轮；2—叶片；3—泵壳；4—吸入管；5—压出管；6—引水漏斗；7—底阀；8—阀门

(2) 容积式泵与风机。利用工作室容积周期性的变化来输送流体的泵与风机。如往复式、回转式泵与风机。

(3) 其他类型的泵与风机。无法归入叶片式或容积式的各类泵与风机。如射流泵、水锤泵等。

上述各种类型的泵与风机还可以按结构形式的不同进一步细分如下：



另外，在火力发电厂中常常按泵与风机在生产系统中的作用不同而分为：给水泵、凝结水泵、循环水泵、疏水泵、灰渣泵、送风机、引风机、排粉风机等。

0.2.2 泵与风机的工作原理

(一) 离心式泵与风机的工作原理

如离心式泵或风机内分别充满了液体或气体时，只要原动机带动它们的叶轮旋转，则叶轮中的叶片就对其中的流体做功，迫使它们旋转。旋转的流体将在惯性离心力作用下，从中心向叶轮边缘流去，其压力不断增高，最后以很高的速度流出叶轮进入泵壳内，若此时开启出口阀门，流体将由压出管排出，这个过程称为压出过程。这是流体在泵与风机中唯

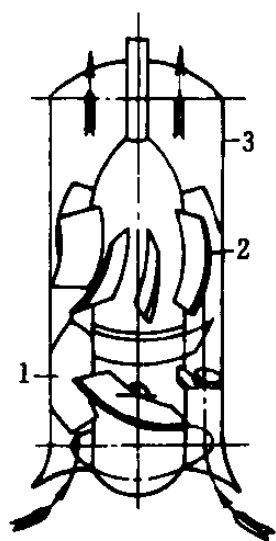


图 0-2 轴流泵简图

1—叶轮；2—导流器；3—泵壳

一能获得能量的过程。与此同时，由于叶轮中心的流体流向边缘，在叶轮中心形成了低压区，当它具有足够低的压力或具有足够的真空时，流体将在吸水池液面压力（一般是大气压）作用下，经过吸入管进入叶轮，这个过程称为吸入过程。叶轮不断旋转，流体就会不断地被压出和吸入，形成了泵与风机的连续工作。图 0-1 表示离心泵的工作简图。

离心式泵与风机和其他形式相比，具有效率高、性能可靠、流量均匀、易于调节等优点，特别是可以制成各种压力及流量的泵与风机以满足不同的需要，所以应用最为广泛。在火力发电厂中，给水泵、凝结水泵、以及大多数闭式循环水系统的循环水泵等都采用离心泵；送风机、引风机等也大多用离心式风机。本课程将着重介绍离心式泵与风机。

（二）轴流式泵与风机的工作原理

如图 0-2 所示，当原动机驱动浸在流体中的叶轮旋转时，轮内流体就相对叶片作绕流运动，根据升力定理和牛顿第三定律可知，绕流流体会对叶片作用一个升力，而叶片也会同时给流体一个与升力大小相等方向相反的反作用力，称为推力，这个叶片推力对流体做功，使流体的能量增加，并沿轴向流出叶轮，经过导叶等，进入压出管路。与此同时，叶轮进口处的流体被吸入。只要叶轮不断地旋转，流体就会源源不断地被压出和吸入，形成轴流式泵与风机的连续工作。

轴流式泵与风机适用于大流量、低压头的情况。它们具有结构紧凑，外形尺寸小，重量轻等特点。动叶可调式轴流风机还具有变工况性能好，工作范围大等优点，因而其应用范围正随电站单机容量的增加而扩大，大多用作大型电站的送引风机。

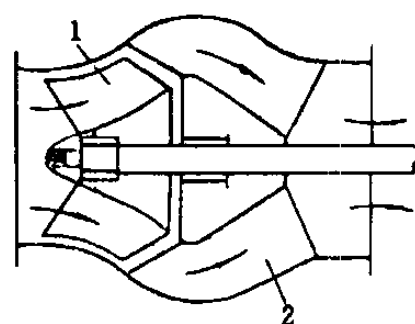


图 0-3 混流式泵简图

1—叶轮；2—导叶

（三）混流式泵与风机的工作原理

如图 0-3 所示为混流式泵简图，这种泵与风机因流体是沿介于轴向与径向之间的圆锥面方向流出叶轮，工作原理又是部分利用叶型升力、部分利用惯性离心力的作用，故称为混流式泵与风机。其流量较大、压头较高，是一种介于轴流式与离心式之间的叶片式泵与风机。在火力

发电厂的开式循环水系统中，常用作循环水泵。

（四）往复泵的工作原理

往复泵属于容积式泵，包括活塞泵和柱塞泵。常用于输送流量较小、压力较高的各种介质，例如低黏度、高黏度、腐蚀性、易燃、易爆等各种液体。特别是当流量小于 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，排出压力大于 $98.06 \times 10^4\text{N}/\text{m}^2$ 时，更能显示出较高的效率和良好的运行特性。在火力发电厂中，锅炉加药泵常采用活塞泵，灰浆泵也越来越多的采用柱塞泵。

如图 0-4 所示，活塞泵利用活塞在活塞缸 2 内自最左位置向右移动时，工作室的容积逐渐增大，

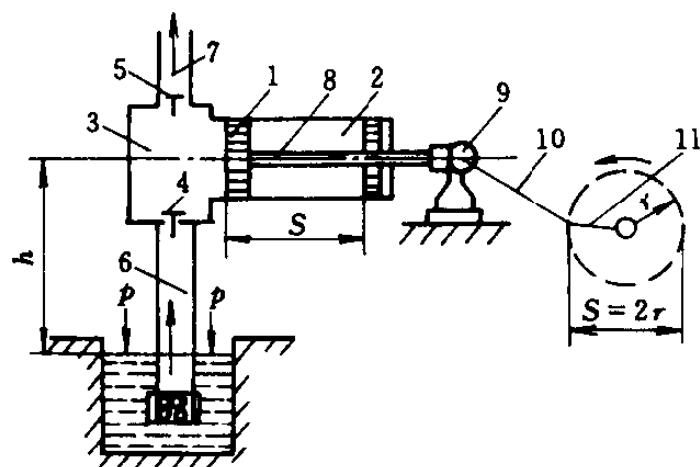


图 0-4 活塞泵工作原理示意图

1—活塞；2—活塞缸；3—工作室；4—进水活阀；5—排水活阀；6—进水管；7—压水管；8—活塞杆；9—十字接头；10—连杆；11—皮带轮

室内压力逐渐降低，上方的压水阀关闭，下方的流体在外界与泵室内的压差作用下，顶开进水阀进入工作室填补活塞让出的空间，直至活塞移至最右位置为止，这个过程称为泵的吸入过程。然后，在曲柄连杆机构的作用下，活塞开始自右向左移动，使工作室内的流体受压，接受了原动机通过活塞而传递的机械能，压力急剧增高。在这一压力作用下，进水阀关闭，排水阀打开，高压流体便排至出水管，这个过程称为压水过程。活塞不断地左右往复运动，泵的进水、排水过程就连续不断地交替进行，形成了活塞泵连续工作。

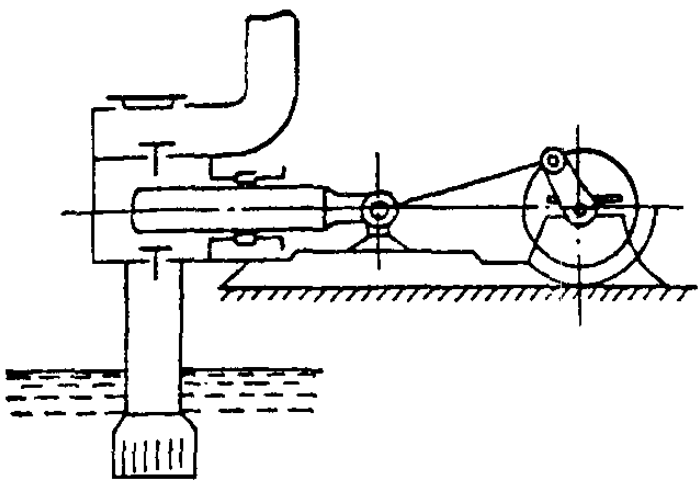


图 0-5 柱塞式往复泵示意图

图 0-5 为柱塞式往复泵的结构示意图。其工作原理和活塞泵完全相同。所不同的是活塞由盘状改为柱状，以增大强度防止高压（如 10^7N/m^2 以上）时被破坏。所以，高压的往复泵都是柱状活塞的，称为柱塞泵。

（五）齿轮泵的工作原理

齿轮泵属于容积式的回转泵，它与活塞泵的不同在于自身没有进、出水阀门，它的流量要比活塞泵更为均匀，其工作原理如图 0-6 所示。它的一对啮合齿轮，主动齿轮由原动机带动旋转，从动齿轮与主动齿轮相啮合而转动。当两齿逐渐分开，工作空间的容积逐渐增大，形成部分真空，吸取液体进吸入腔。腔内液体由齿槽携带沿泵体内壁运动进入压出腔，并通过两齿的啮合将齿槽内液体挤压到腔内，再排入压出管。当主动轮不断被带动旋转时，泵便能不断吸入和压出液体。

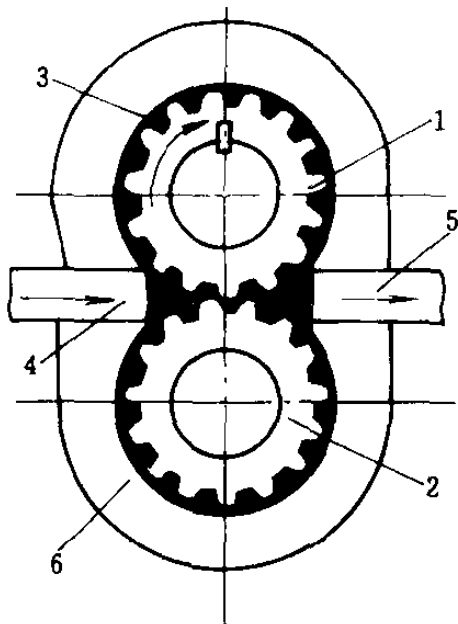


图 0-6 齿轮泵示意图

1—主动齿轮；2—从动齿轮；
3—工作室；4—入口管；5—
出口管；6—泵壳

齿轮泵结构简单，轻便紧凑，工作可靠，适用于输送扬程较高而流量较小的润滑液。在火力发电厂中，常作为小型汽轮机的主油泵，以及电动给水泵、锅炉送引风机的润滑油泵。

（六）螺杆泵的工作原理

螺杆泵也属于容积式回转泵。它与齿轮泵的相似之处是利用类似齿廓的螺纹之间相互分开和啮合来吸入和压出液体。不同的是螺杆泵用两根或两根以上的螺杆，而不是用一对齿轮来工作。其工作原理如图 0-7 所示，当主动螺杆在原动机带动下旋转时，靠近吸入室一端的啮合螺纹将定期打开，使容积增大，压力降低，液体流进吸入室，充满打开的螺纹槽内，并随着螺纹的啮合在推挤作用下沿轴向移动，这种移动与螺母沿旋转螺杆作轴向移动相似，一直挤压至压出室而排出。

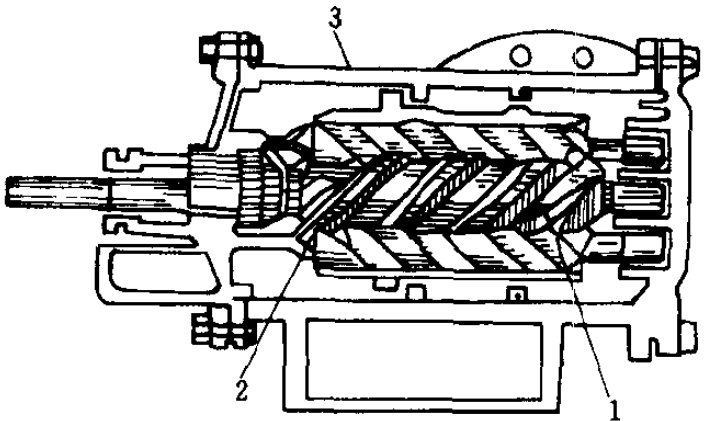


图 0-7 螺杆泵示意图

1—主动螺杆；2—从动螺杆；3—泵壳

螺杆泵比齿轮泵的效率更高，可达 70%~80%，流量更均匀，不仅出口压力达到很高，且流量的适用

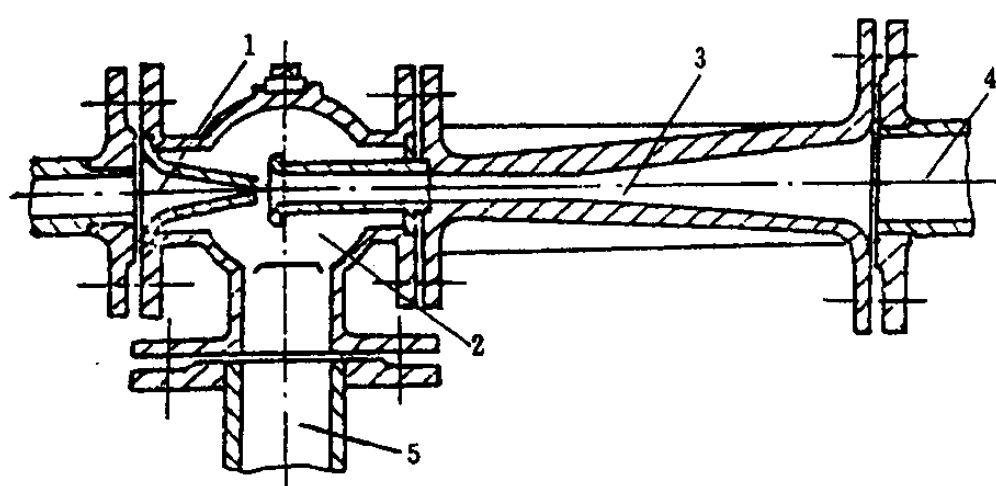


图 0-8 喷射泵构造简图

1—喷嘴；2—混合室；3—扩压器；4—排出管；5—吸入管

范围也较广，同时可以实现与高速原动机直连，工作时噪声低，是一种较现代化的流体输送机械。在火力发电厂中，它可用来输送润滑油和燃油，也可作为中小型汽轮机的主油泵。

（七）喷射泵的工作原理

喷射泵是一种没有任何运动部件，完全依靠能量较高的工作流体来输送流体的泵。它的构造如图 0-8 所示。其工作原理是高压工作流体经压力

力管路引入喷射泵的喷嘴后，降压升速以高速喷出，从而携带走喷嘴附近的流体，使混合室内形成真空。该真空将被输送流体吸入混合室，在喷嘴附近被工作流体携带混合接受能量后，进入扩压器升压，然后经排出管排出。工作流体不断地喷射，便能不断地输送其他流体。

喷射泵的工作流体可以是高压蒸汽，也可以是高压水，分别称为蒸汽喷射泵和液体喷射泵。被输送的流体可以是水、油或空气。在火力发电厂中，被用作输送炉渣的高压水力喷射器、凝汽设备中的抽气器以及为主油泵供油的注油器等。

（八）水环式真空泵的工作原理

水环式真空泵主要用于抽吸空气，一般真空度可高达 85%，特别适合于大型水泵（如循环水泵等）启动时抽真空引水之用。

它的结构如图 0-9 所示。其工作原理是星状叶轮偏心地装置在圆筒形的工作室内。当叶轮在原动机的带动下旋转时，原先灌满工作室的水被叶轮甩至工作室内壁，形成一个水环，水环内圈上部与轮毂相切，下部形成一个月牙形的气室。右半个气室顺着叶轮旋转方向，使两叶片之间的空间容积逐渐增大，压力降低，因此将气体从吸气口吸入；左半个气室顺着叶轮旋转方向，使两叶片之间的空间容积又逐渐减小，增加空间吸入气体的压力，使其从排气口排出。叶轮每旋转一周，月牙形气室使两叶片之间的空间容积周期性改变一次，从

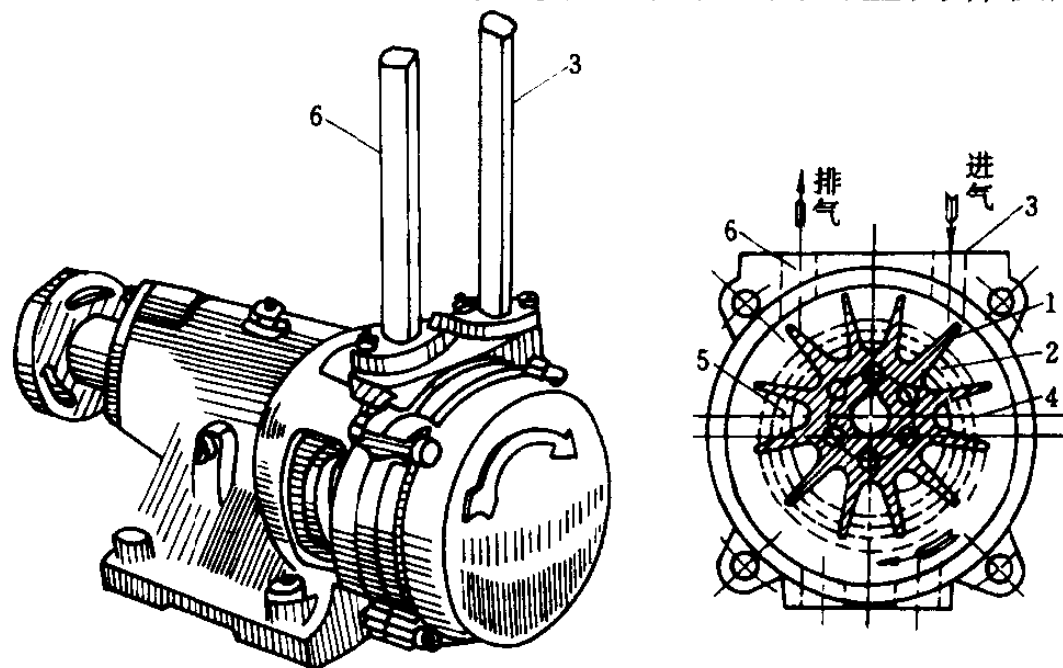


图 0-9 水环式真空泵结构示意图

1—叶轮；2—水环；3—进气管；4—吸气口；5—排气口；6—排气管

而连续地完成一个吸气和一个排气过程。叶轮不断地旋转，便能连续地抽排气体。

(九) 罗茨风机的工作原理

罗茨风机也是一种容积式回转风机，如图 0-10 所示，它由两个外形是渐开线的“8”字形转子组成。转子被装在轴末端的一对齿轮带动而作同步反向旋转。其工作原理与齿轮泵相似，是依靠两个“8”字形转子的打开和啮合来间歇改变工作室容积的大小，从而吸入和挤出气体的。只要转子在转动，总有一定体积的气体被吸入和挤出，因此其出口压力可随出风管阻力的

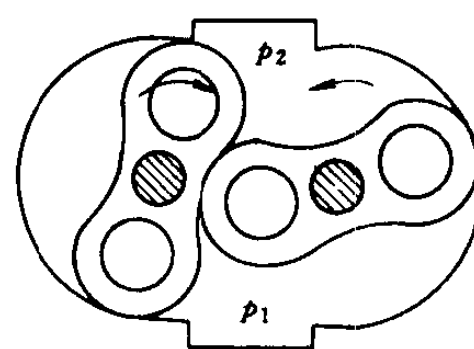


图 0-10 罗茨风机结构示意图

增大而增大。使用时，应在它的出口安装带安全阀的储气罐，以保证其出口压力稳定和防止超压。由于它重量轻，价格便宜，使用方便，所以虽然运行中磨损严重，噪声大，却仍用作火力发电厂气力除灰的送风设备。

(十) 空气压缩机的工作原理

如图 0-11 所示为常见的 L 型两级两缸双作用水冷活塞式空气压缩机的构造示意图。其工作原理与往复泵相同，只是被提高能量的流体为气体。当电动机驱动皮带轮旋转后，会通过连杆，十字头和活塞杆使一、二级气缸内活塞均作往复运动。第一级气缸是低压缸，第二级为高压缸。活塞都是双作用的，在往复运动中，它们的两侧将轮番

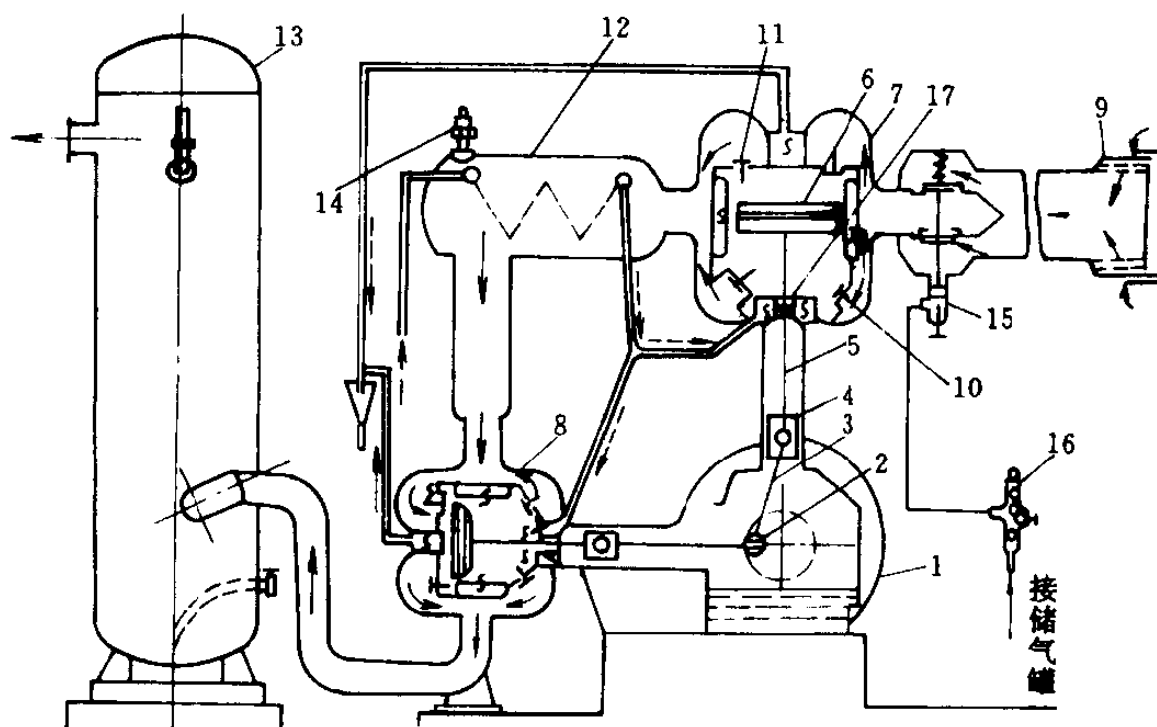


图 0-11 L 型空气压缩机的构造示意图

- 1—皮带轮；2—曲轴；3—连杆；4—十字头；5—活塞杆；6—活塞；7—第一级气缸；
8—第二级气缸；9—过滤器；10—吸入阀；11—压出阀；12—中间冷却器；13—储气
罐；14—安全阀；15—减荷阀；16—压力调节器；17—填料箱

完成吸入和压出空气的作用。这种空压机工作流程如图中实线箭头所示，外界空气经过滤器、减负荷阀由吸入阀进入低压缸。在缸内被压缩后排入中间冷却器，再由吸入阀进入高压缸再次提高风压后，送入储气罐以供使用。由于在压缩空气的过程中要产生大量热量，为保证空压机正常运转并提高效率，还设有水冷却系统，冷却水的流动方向如图中虚线所示。图中标有 S 处表示与冷却水相连通的地方。为确保安全，还配有调节装置。当储气罐中压力超过规定值时，压缩空气会顶开与罐相通的压力调节器阀芯进入减荷阀，推动阀中活塞，

截断空气进入低压缸的通道，使空压机空转而不排气。直到罐内压力降低后，减荷阀复位，空压机运行恢复正常。

空气压缩机在火力发电厂中除作一般动力外，还供气动控制仪表用气。

0.3 泵与风机的基本性能参数

泵与风机的工作可用一些物理量来表述，这些量既能反映不同形式泵与风机的工作能力、结构特点、运行经济性和安全性，又能说明运行中泵与风机不同的工作状态。因此，称它们为泵与风机的性能参数，包括流量、扬程（或全风压）、功率、效率、转速、比转速、允许吸上真空高度、允许汽蚀余量等。在泵与风机的铭牌上，一般都标有这些参数的具体数值，以说明泵与风机在最佳或额定工作状态时的性能，现将它们介绍如下。

0.3.1 流量

流量是指单位时间内泵与风机输送流体的数量，有体积流量和质量流量之分。体积流量用 q_v 表示，常用单位为 m^3/s 、 m^3/h 、 l/s ；质量流量用 q_m 表示，常用单位为 kg/s 、 t/h 。体积流量与质量流量间的关系为

$$q_m = \rho q_v \quad (0-1)$$

式中 ρ ——输送流体的密度， kg/m^3 。

测定流量的方法很多，电厂常用的有以下两种：

(1) 节流式流量计测定法。节流式流量计主要由节流件和显示仪表差压计组成。将节流件（如图 0-12 所示的孔板或喷嘴和文丘里管）装在需要测量流量的管路上，如图 0-13 所示。当流体通过时，由于节流作用，在节流件前后会造成压差，该压差随流量变化，可用液柱式差压计来测量，并可以用下式计算出流量

$$q_v = \alpha \beta A_2 \sqrt{2\Delta p / \rho_1} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (0-2)$$

式中 α ——节流装置工作状态下的流量系数；

β ——流体流过节流装置时的膨胀系数；

A_2 ——节流件开孔最小处的截面积， m^2 ；

ρ_1 ——节流装置上游取压口处的流体密度， kg/m^3 ；

Δp ——节流装置上、下游取压口输出压力之差， N/m^2 。

该压差也可用如图 0-13 中所示的弹性式差压计来测量。这种差压计的标尺一般都根据式 (0-2) 建立的流量与压差间的数量关系进行流量分度，盘面可直接显示流量的数值。

(2) 笛形管式流量测定法。笛形管是一根象笛子似的开有一排测压小孔的钢管，只是小孔沿一个方向均匀分布或按等环面法分布，如图 0-14 所示。将它垂直插入被测管道内，并与差压计高压

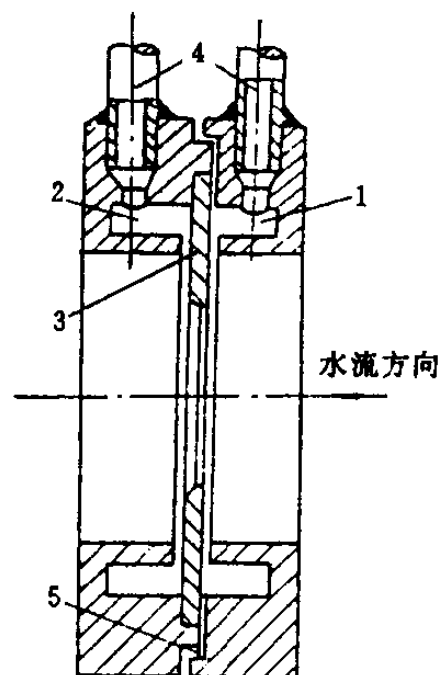


图 0-12 节流件

1—均压室体（甲）；2—均压室体（乙）；3—孔板；4—接头；5—垫

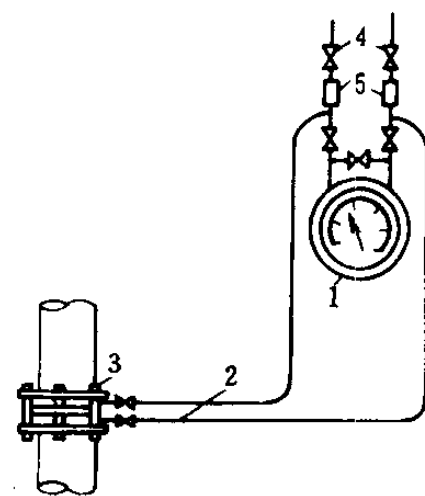


图 0-13 节流式流量计

1—差压计；2—信号管；
3—节流件；4—冲洗阀；
5—气体收集器

端相连接,当流体通过时,笛形管内可获取自动取平均值的总压。另外,在同一断面的管壁上开设一个静压孔,并与差压计低压端相接,以获取静压。差压计测量出总压与静压的差值 Δp 后可用下式计算出流量

$$q_v = \varphi A \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (0-3)$$

式中 φ ——流速修正系数;

A ——被测管道断面面积, m^2 ;

ρ ——被测流体的密度, kg/m^3 。

用笛形管测流量,装置简单,方法简便,常用于大口径泵或风机的流量测定。

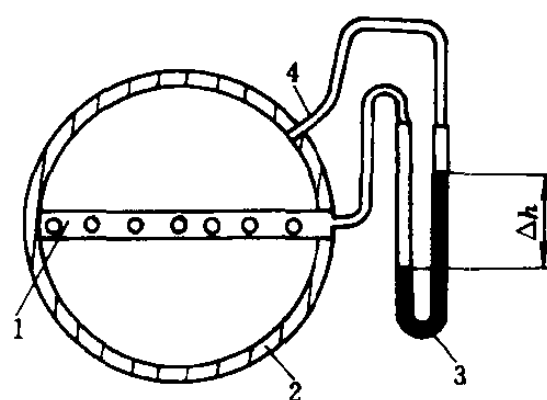


图 0-14 用笛形管测流量
1—笛形管; 2—圆管; 3—差压计;
4—短管

0.3.2 扬程 (全风压)

扬程是指流体通过泵或风机后获得的总能头,也就是用被送流体柱高度表示的单位重量流体通过泵或风机后所获得的机械能,用 H 表示,单位为 m 流体柱,常简写为 m 。工程上,泵习惯用扬程作参数。如图 0-15 所示,以泵轴中心线所在的水平面为基准面,设泵进口和出口处分别为断面 1-1 与 2-2,则扬程的数学表达式可写为

$$H = E_2 - E_1 \quad (0-4)$$

式中 E_2 ——泵出口断面 2-2 处液体的总能头, m 。

E_1 ——泵进口断面 1-1 处液体的总能头, m 。

由流体力学知,液体总能头由压力能头 ($p/\rho g$)、速度能头 ($v^2/2g$) 和位置能头 (z) 三部分组成,故

$$E_2 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

$$E_1 = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1$$

式中 p_2 、 p_1 ——泵 2、1 断面中心处的液体压力, N/m^2 ;

v_2 、 v_1 ——泵 2、1 断面上液体的平均流速, m/s ;

z_2 、 z_1 ——泵 2、1 断面中心到基准面的距离, m ;

ρ ——被送液体的密度, kg/m^3 。

因此,泵的扬程又可写为

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) \quad (0-5)$$

全风压是指单位体积的流体通过泵或风机后所获得的机械能,用 p 表示,可简称为全

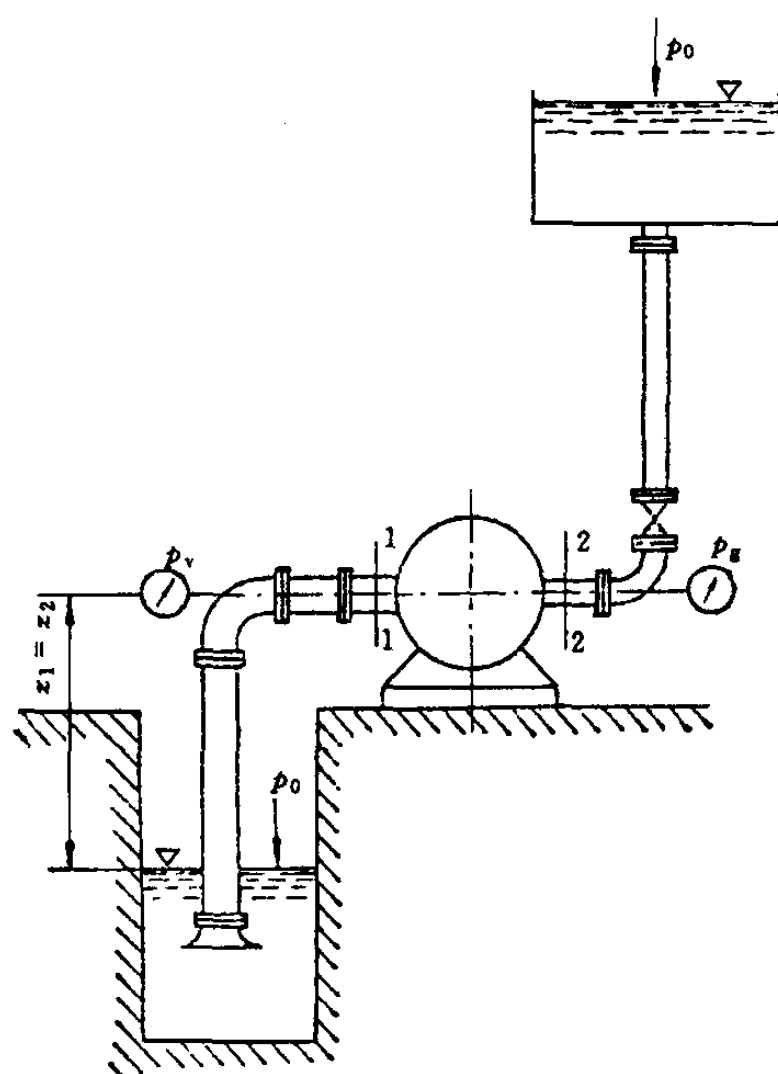


图 0-15 扬程的确定

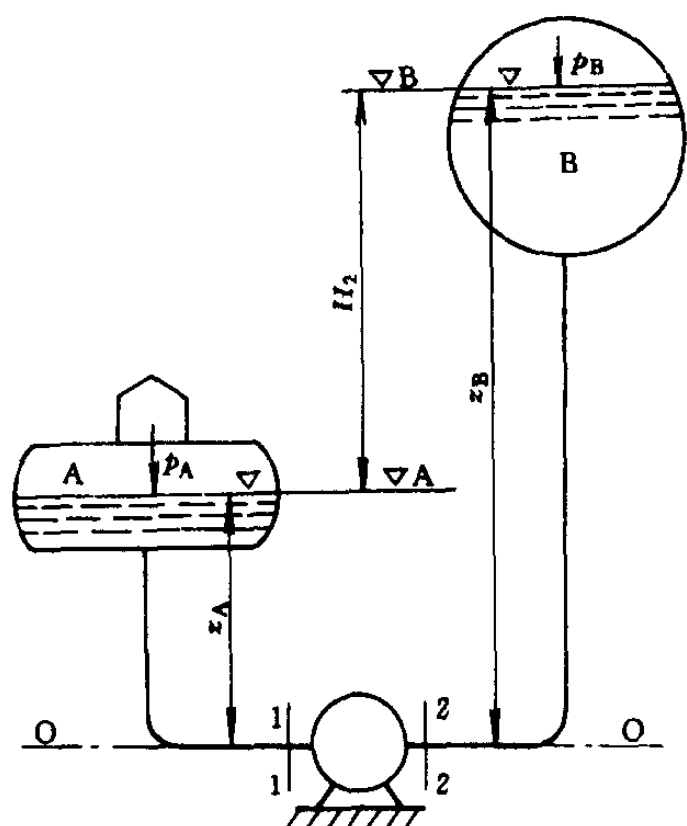


图 0-16 泵必须具有的扬程确定

压，其单位为 Pa 或 mmH₂O (1mmH₂O=9.807Pa=1kgf/m²)。习惯上，风机用全风压作参数。

由于 ρg 表示单位体积流体所具有的重量，所以全风压与扬程之间的关系可用下式表示

$$p = \rho g H \quad \text{N/m}^2 \quad (0-6)$$

泵与风机的扬程或全风压可根据实际情况选用公式 (0-4)、公式 (0-5) 或公式 (0-6) 来确定。

【例 0-1】 如图 0-16 所示的给水管路系统中，已知除氧器给水箱水面的位置高度为 z_A ，压力为 p_A ，速度为 v_A ；锅炉汽包内液面的位置高度为 z_B ，压力为 p_B ，速度为 v_B ，设额定工况下吸、压水管道的阻力损失分别为 h_{w1} 和 h_{w2} ，试写出该工况下，给水泵须具有的扬程的数学表达式。

解 列断面 A-A 与泵进口断面 1-1 的能量方

程式为

$$E_A = E_1 + h_{w1} \quad (0-7)$$

因此

$$E_1 = E_A - h_{w1} = \frac{p_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A - h_{w1}$$

列泵出口 2-2 与断面 B-B 的能量方程式为

$$\begin{aligned} E_2 &= E_B + h_{w2} \\ &= \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + h_{w2} \end{aligned} \quad (0-8)$$

将式 (0-7) 及式 (0-8) 代入式 (0-4)，且考虑 $v_A \approx 0$ 、 $v_B \approx 0$

则

$$\begin{aligned} H &= \frac{p_B - p_A}{\rho g} + (z_B - z_A) + h_{w2} + h_{w1} \\ &= H_p + H_z + h_w \end{aligned} \quad (0-9)$$

公式 (0-9) 就是管道系统要求水泵在指定工况下必须具有的扬程数学表达式。它表明在已知管道系统的情况下，扬程主要用管道系统终端和始端液体的压力能头之差、位置能头之差以及吸、压水管道的总阻力损失这三大部分的总和来确定，不涉及具体的泵与风机。因此，公式 (0-9) 是一个普遍适用的计算公式。在选择泵与风机时，可直接用于扬程或全风压的确定。

对风机而言，因为所输送的气体密度较小， $\rho g H_z$ 与其他几项比较起来，可以忽略不计。而且电厂中绝大多数烟风管道系统始末两端的压力接近大气压力，即 $H_p \approx 0$ ，故风机全风压的数学表达式可写为

$$p = \rho g H \approx \rho g (h_{w1} + h_{w2}) = p_{w1} + p_{w2} \quad (0-10)$$

式中 p_{w1} ——吸入风道的压力损失，Pa；

p_{w2} ——压出风道的压力损失，Pa。