

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



BENG YU FENGJI

泵与风机

(第三版)

上海电力学院 杨诗成
沈阳工程学院 王喜魁



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



BENG YU FENGJI

泵与风机

(第三版)

上海电力学院 杨诗成
沈阳工程学院 王喜魁
浙江大学 叶 衡 主 审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。本书主要阐述了离心泵与风机和轴流泵与风机的工作原理和基本理论,较详细地分析了设备的性能、工况调节、汽蚀工况及泵与风机运行中的问题,对泵与风机的选型、改造、磨损、噪声及其防治亦作了介绍。

本书为四年制本科热能动力专业、三年制大专电厂热能动力、集控运行专业的必修课教材,亦可作为相关专业的教材及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

泵与风机/杨诗成,王喜魁编.—3版.—北京:中国电力出版社,2007.1

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-4977-0

I. 泵... II. ①杨... ②王... III. ①泵—高等学校—教材②鼓风机—高等学校—教材 IV. ①TH3②TH44

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第136019号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

1990年10月第一版

2007年1月第三版 2007年1月北京第十次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.75印张 331千字

印数 38651—43650册 定价 22.00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)

前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教育急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

本次教材的修订,在保留第二版教材特点基础上,对原有部分内容作了补充、修改及删减。使教材既有必要的理论基础,又能更好地面向工程实际,面向先进科学技术。

本书第一章至第四章和第六章中的第三节、第四节、第八节、第九节及书后的附录由上海电力学院杨诗成编写。第五章、第七章及第六章中的第一节、第二节、第五节、第六节及第七节由沈阳工程学院王喜魁编写。

本书第三版的修订,由上海电力学院杨诗成完成。

感谢本书主审浙江大学机械与能源工程学院叶衡教授认真审阅。

感谢提供资料的上海吴泾热电厂高级工程师成福龙、华东电力设计院高级工程师陈子安热情帮助。

书中如有不妥之处敬请读者指正。

编者

2006年10月

第三版前言

《泵与风机》教材出版至今已有十三余年了。原教材适用于电力高等专科学校教学需要。现今,根据中国电力教育协会“十五”规划教材文件要求,对原《泵与风机》教材进行修订,使之既能适用于普通高等院校本科教学所需,亦能满足高等专科学校的教学所用。所以,本次根据高校热能动力专业教学大纲要求,追踪国内外先进科技发展动态,结合这些年教材使用情况,进行修订。

修订后的教材内容注重理论与工程实践的结合,并反映当今泵与风机科技新成果、新水平、新知识。结合专业的特点,修订后的教材着重分析泵与风机的基本理论、运行特点、使用中常见的问题及改进措施。同时,在教材内容的深度和广度上,进行了加深、拓宽。需要指出的是,若本教材用于高等专科学校教学时,则应该对书中部分内容作删节。如基本方程式修正的数学推导及其他部分内容的数学推导、输送高温水时的汽蚀、液力偶合器、泵与风机噪声、泵与风机的磨损等。

本书第一章至第四章和第六章中的第三节、第七节、第八节以及书后的附录由上海电力学院杨诗成编写;第五章、第七章及第六章中第一节、第二节、第四节、第五节、第六节由沈阳工程学院王喜魁编写。全书由杨诗成统稿,并对全书进行修改、补充。

在修订本书的资料搜集过程中,上海吴泾热电厂高级工程师成福龙、华东电力设计院高级工程师陈子安等竭诚帮助、全力配合,编者在此深深地表示感谢!

本书由浙江大学机械与能源工程学院叶衡教授主审。叶老师认真审阅并提了不少宝贵意见,编者在此亦深表谢意!

限于编者水平,书中如有谬误、不妥之处,敬请读者不吝指正。

编者

2003年11月

第一版前言

本书是根据1988年11月沈阳“高等工业专科学校电厂热能动力教材编写会议”的决定编写的,用作30学时“泵与风机”课程的教材,可供电厂热能动力及集控运行专业使用。

本书主要阐述离心泵与风机、轴流泵与风机的基本理论和工作原理,对设备的性能及工况调节亦作了较详细的分析。

在编写本书的过程中,考虑到火力发电厂已普遍使用轴流泵与风机,所以这一内容在书中独立成一章;教材内容的选取尽量反映国内、外先进水平;文字叙述力求确切、条理清晰。

本书第一章至第四章和第六章第六节及附录由上海电力学院杨诗成编写;第五章至第七章由沈阳电力专科学校王喜魁编写。全书由杨诗成统稿。

本书由上海交通大学二系杨惠宗副教授主审,在此表示感谢。

限于编者水平,不妥、错误之处恳请读者指正。

编者

1989年6月

目 录

前言

第二版前言

第一版前言

第一章 概述	1
第一节 泵与风机在国民经济中的地位与作用	1
第二节 泵与风机的主要参数	2
第三节 泵与风机的分类	3
思考题	7
第二章 离心泵与风机的基本理论	8
第一节 离心泵与风机的工作原理	8
第二节 流体在叶轮中的运动——速度三角形	9
第三节 离心泵与风机的基本方程式	13
第四节 离心泵与风机基本方程式之修正	15
第五节 泵与风机实际扬程、全压计算	23
第六节 离心泵与风机的叶片型式	28
思考题	31
习题	31
第三章 离心泵与风机的主要部件与整体结构	33
第一节 离心泵主要部件	33
第二节 离心泵整体结构	46
第三节 离心风机主要部件	52
第四节 离心风机整体结构	55
思考题	56
第四章 泵与风机的性能	57
第一节 功率与效率	57
第二节 离心泵与风机的性能曲线	64
第三节 叶轮结构参数对离心泵与风机性能的影响	69
第四节 泵与风机的相似定律	73
第五节 比转速	79
第六节 泵与风机无因次性能曲线	86
第七节 泵内汽蚀	90
第八节 吸上真空高度	94
第九节 汽蚀余量	95

第十节 汽蚀相似定律和汽蚀比转速	102
第十一节 输送高温水时的汽蚀	108
第十二节 提高泵抗汽蚀性能措施	111
思考题	116
习题	117
第五章 轴流泵与风机	119
第一节 轴流泵与风机的特点	119
第二节 轴流泵与风机叶轮基本理论	120
第三节 沿叶高方向气流参数的变化	125
第四节 轴流泵与风机的基本方程式	128
第五节 轴流泵与风机的结构型式	129
第六节 轴流泵与风机的主要部件和结构	131
第七节 轴流泵与风机的性能	137
第八节 轴流泵与风机结构参数对性能的影响	138
思考题	142
习题	142
第六章 泵与风机的调节与运行	143
第一节 管路性能曲线和泵与风机的工作点	143
第二节 泵与风机的调节	144
第三节 变频调速	153
第四节 液力偶合器	154
第五节 泵与风机的联合运行	167
第六节 泵与风机的启动、运行和维护	171
第七节 泵与风机的不稳定工况	175
第八节 泵与风机的磨损	178
第九节 泵与风机的噪声及控制措施	182
思考题	188
习题	188
第七章 泵与风机的选型与改进	190
第一节 泵与风机的选型	190
第二节 泵与风机的切割与加长	195
思考题	199
习题	199
附录 I 常用泵与风机型号	200
附录 II 介绍几种泵和风机的水力模型与空气动力学图	203
参考文献	210

第一章 概 述

第一节 泵与风机在国民经济中的地位与作用

泵与风机是一种流体机械。它是将原动机的机械能转变为输送流体、给予流体能量的机械。它是国民经济各部门必不可少的机械设备,得到了广泛的应用。

在人们的日常生活中,需要水泵向人们供应生活用水。冬季采暖系统的热水循环、卫生设施的热水供应,也需要热水泵不间断地工作。城市下水道的排水、输送污水等亦都离不开泵。

在农业生产中,农田的灌溉与排涝,从江河湖泊中取水的抽水站,将长江水引入北方的“南水北调”工程,均需要泵作为输送水的动力设备。

在工业生产中,泵亦起着十分重要的作用。冶金工业的钢铁厂用泵输送冷却水;矿山的坑道用泵排除矿内的积水;水力采煤、采矿及水力输送需要泵提供压力水;石油、化工部门,使用大量的多种类型的泵输送原料及成品,向地层注水,输送有腐蚀性的化工原料及成品;长距离的输油管道需要许多油泵日以继夜地运转;造纸厂的泵输送纸浆,……。

航空航天工程需要泵输送润滑油、冷却水、推进剂;航海工程需要输油泵、润滑油泵及输水泵等。

输送气体的各种风机在矿山坑道的通风,冶炼厂的输送空气,工厂车间、居民住房、影剧院、会议室、宾馆等的通风、降温,……,都得到了广泛的应用。

在火力发电厂中,需要许多泵与风机同时配合主机工作,才能使整个机组正常运转,生产电能。这些泵与风机有离心式、轴流式、混流式及容积式等各种型式。泵与风机输送的流体有凝结水、冷却水、润滑油、酸碱类等液体;空气、烟气等气体。给水泵、凝结水泵与循环水泵是火力发电厂中的主要水泵,而送风机、引风机则是火力发电厂中的重要辅助设备,它们对于火力发电厂的安全、经济生产起着重要的作用。泵与风机在火力发电厂的热力系统中,宛如人体内的“心脏”一样,促使工质不断地在循环系统中工作。图1-1为火力发电厂生产过程简图。锅炉产生的水蒸气经过过热器过热成过热蒸汽,然后进入汽轮机推动叶轮带动发电机发出电能,向用户输送。在汽轮机内作了功的废汽排入凝汽器,由循环水泵供给的冷却水把它冷却成

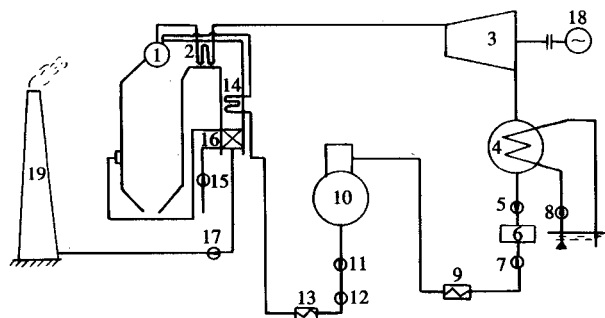


图 1-1 火力发电厂生产过程示意图

- 1—汽包; 2—过热器; 3—汽轮机; 4—凝汽器;
5—凝结水泵; 6—除盐设备; 7—凝结水升压泵; 8—循环水泵;
9—低压加热器; 10—除氧器; 11—前置泵; 12—给水泵;
13—高压加热器; 14—省煤器; 15—送风机; 16—空气预热器;
17—引风机; 18—发电机; 19—烟囱

凝结水。凝结水由凝结水泵、凝结水升压泵送入除氧器。除了氧的水再由前置泵、给水泵经省煤器送入锅炉重新加热。

锅炉内燃料燃烧时,需有送风机送入新鲜空气,燃烧后的烟气由引风机抽出送往烟囱,排至大气。要完成示意图 1-1 的生产过程,这些泵与风机应该无故障不间断地输送流体。否则任意一台泵或风机的事故,都将使电厂的生产中断,造成无法弥补的损失。

据统计目前国内泵与风机的耗电量,约占全国用电量的 28%~30%。由此可见,泵与风机在国民经济中的应用是多么的广泛。所以,提高泵与风机的技术指标,节约能耗,对加速四化建设具有重要意义。

第二节 泵与风机的主要参数

泵与风机的主要参数有流量、扬程(全压)、功率、转速及效率等。泵的主要参数还有汽蚀余量。

一、流量

单位时间内泵或风机在出口截面所输送的流体量称为流量。这个量常用的有体积流量与质量流量两种。体积流量用符号 q_v 表示,单位为 m^3/s 、 m^3/min 、 m^3/h 。质量流量用符号 q_m 表示,单位为 kg/s 、 kg/min 、 kg/h 。

二、扬程或全压

单位重量的液体在泵内所获得的能量亦即泵出口与进口截面能量差,称为扬程。扬程用符号 H 表示,其单位为 $\text{N} \cdot \text{m}/\text{N} = \text{m}$,习惯上称为米液柱高。

单位体积的气体在风机内所获得的能量亦即风机出口高于进口截面的能量,称为全压,以符号 p 表示,单位为 Pa 。

三、功率

泵与风机的功率是指原动机传递给泵或风机轴上的功率,即它们的输入功率,又称轴功率,以 P 表示,单位为 kW 。随着火力发电厂单元机组容量的增大,泵与风机的功率亦相应增加。

四、转速

泵与风机轴每分钟的转数称为转速,以 n 表示,单位为 r/min 。

泵与风机的流量、扬程、全压与转速有关。泵与风机的转速越高,则它们所输送的流量、扬程(全压)亦越大。锅炉给水泵与转速高低的关系尤为密切。转速增高可使叶轮级数减少,泵轴长度缩短,这样长而细的轴就可以转变成短而粗的轴。短而粗的泵轴增加了它运转时的抗干扰性。同时泵轴缩短还可降低轴的静挠度,增加运转时的安全性(如某 10 级叶轮给水泵转子静挠度达 0.75mm ,可是叶轮入口处的动、静径向间隙仅有 0.15mm ;英国 660MW 单元机组给水泵转速为 $7500\text{r}/\text{min}$,两级叶轮,静挠度只有 $0.05 \sim 0.075\text{mm}$)。还有,短而粗的泵轴可提高泵转子的临界转速,而给水泵的运转转速始终低于转子在水中第一临界转速的 20%左右,是刚性轴。

此外,泵转速的增加还可以使叶轮的直径相对地减小,泵体直径因此缩小,泵壳厚度亦可减薄,这样不但泵壳紧固处的应力能改善,而且还能改善热冲击性。叶轮直径降低与叶轮级数减少,能使泵的重量、体积大为降低。例如 550MW 机组的给水泵若采用 $3000\text{r}/\text{min}$ 转速,重约 431.2kN (工程单位制 44t);而 660MW 机组的给水泵采用 $7500\text{r}/\text{min}$ 转速,重量

只有 102.9kN (工程单位制 10.5t), 单级扬程可达 1000m 以上。虽然目前国内、外已普遍使用高转速的锅炉给水泵, 但因为高转速受到材料强度、泵汽蚀、泵效率等因素的制约, 所以国内锅炉给水泵的转速大多采用 5000~6000r/min。

五、效率

泵与风机输入功率不可能全部传给被输送的流体, 其中必有一部分能量损失。被输送的流体实际所得到的功率比原动机传递至泵与风机轴端的功率要小, 它们的比值称为泵或风机的效率, 以符号 η 表示。泵与风机的效率越高, 则流体从泵或风机中得到的能量有效部分就越大, 经济性就越高。

我国引进 600MW 火力发电厂超临界汽轮发电机组, 配置两台半容量总功率为 $19.89 \times 10^3 \text{ kW}$ 的汽动给水泵, 扬程为 3338m 水柱, 转速为 5315r/min, 效率 84.6%。

六、汽蚀余量

泵的汽蚀余量是指单位重量的液体从泵吸入口流至叶轮进口压力最低处的压力降落量, 又称必需汽蚀余量 (国外称此为净正吸入水头), 记为 $NPSH_r$ 。汽蚀余量是表示泵抗汽蚀性能好坏的一个重要参数。

第三节 泵与风机的分类

泵与风机由于应用广泛, 所以种类繁多。泵如按工作时产生的压力大小可分为:

低压泵: 压力在 2MPa 以下。

中压泵: 压力为 2~6MPa。

高压泵: 压力在 6MPa 以上。

风机如按工作时产生的压力大小可分为:

通风机: 风机产生的全压 $p < 15 \text{ kPa}$ 。

鼓风机: 风机产生的全压在 15~340kPa。

压缩机: 风机产生的全压 $p > 340 \text{ kPa}$ 。

通风机按工作时产生的压力大小可分为 (在大气压为 101.3kPa, 气温为 20℃ 的标准状态下):

低压离心通风机: 通风机的全压 $p < 1 \text{ kPa}$ 。

中压离心通风机: 通风机的全压 $p = 1 \sim 3 \text{ kPa}$ 。

高压离心通风机: 通风机的全压 $p = 3 \sim 15 \text{ kPa}$ 。

低压轴流通风机: 通风机的全压 $p \leq 500 \text{ Pa}$ 。

高压轴流通风机: 通风机的全压 $p > 500 \text{ Pa}$, 但 $p < 15 \text{ kPa}$ 。

一、叶片式

叶片式泵与风机都有叶轮, 叶轮上均布置有叶片。叶片式泵与风机又有离心式、轴流式及混流式之分。

离心式: 流体轴向进入叶轮后, 主要沿径向流动, 高速旋转的叶轮对流体做功, 提高流体的压力能与动能。图 1-2 所示为单级单吸离心泵, 图 1-3 所示为离心风机。一般而言, 离心泵与离心风机使用最广泛。

轴流式: 流体轴向进入叶轮后, 近似地在圆柱形表面上沿轴线方向流动, 并借旋转叶轮

上的叶片产生升力来输送,同时提高其能量。轴流泵或轴流风机所输送流体的流量比离心式大,但扬程(全压)要比离心式低。图1-4所示为双级轴流风机。

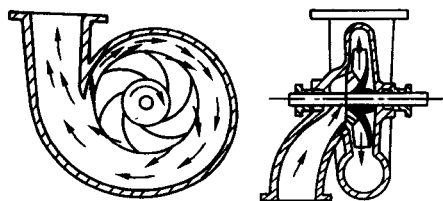


图1-2 单级单吸离心泵

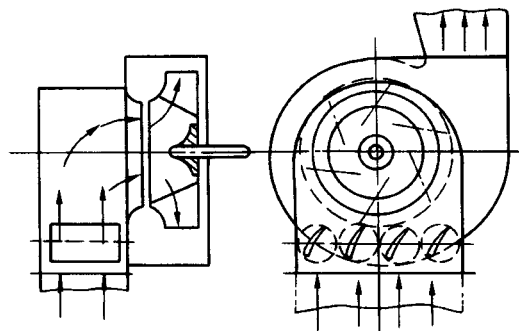


图1-3 离心风机

轴流泵大多用作火力发电厂的循环水泵,南水北调用泵;轴流风机大多用作大容量火力发电机组锅炉送、引风机。总之,轴流式适宜用于需要流量大、扬程(全压)低的情况。

混流式:流体进入叶轮后,流动的方向处于轴流式和离心式之间,近似沿锥面流动。混流泵与风机的性能亦介于离心式与轴流式之间,其流量大于离心式但小于轴流式;扬程(全压)大于轴流式而小于离心式。

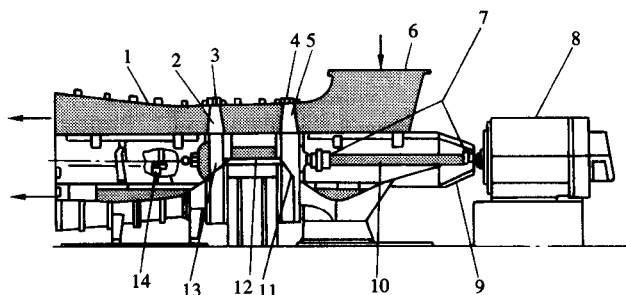


图1-4 双级轴流风机

- 1—扩压器; 2, 5—叶片; 3, 4—叶轮的外壳; 6—进气管;
7—联轴器; 8—电动机; 9—联轴器护罩; 10—中间轴;
11, 13—轮毂; 12—主轴承; 14—动叶调节机构

按照动叶片的调节方式,混流泵与风机可分为动叶不可调节、动叶半调节及动叶全调节等三种形式。动叶不可调混流泵的动叶片与轮毂铸成一体或固定联接;动叶半调节的则在需要改变工况时,停泵拆出定位销转动动叶片角度;动叶全调节的混流泵通过液压或机械调节机构,在不停泵的情况下调节动叶片的角。图1-5所示为动叶半调节混流泵。目前,大容量火力发电厂的循环水泵往往用混流泵取代轴

流泵。

二、容积式

容积式泵与容积式风机可分为往复式和回转式。

往复式泵或往复式风机主要有活塞式、柱塞式等类型。现以活塞泵为例说明其工作原理。图1-6所示的活塞泵主要由泵缸和活塞组成。活塞由曲柄、连杆带动,将原动机的回转运动转变为在泵缸内的往复运动。当活塞向右移动,泵缸内容积增大,压力降低,吸水阀打开,液体被吸入泵缸内,这就是吸液过程。活塞向左移动,泵缸内的液体受到挤压,压力升高,吸水阀被关闭,高压液体冲开水阀而排向压力管路。活塞式泵或压气机输送的流量较小,且不够均匀,但压力较高。往复式泵可以用作计量泵、汽轮机顶轴油泵;往复式风机可以制作空气压缩机等。

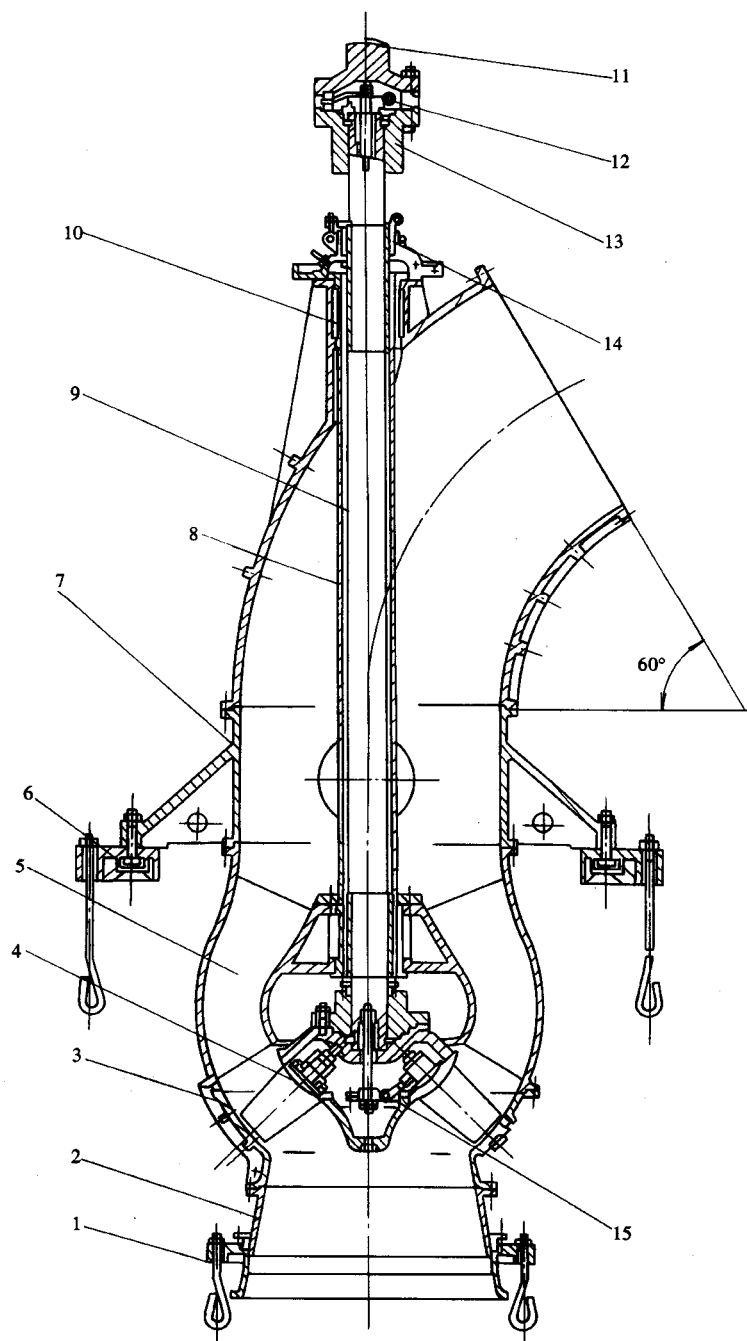


图 1-5 混流泵

- 1—底座；2—套管；3—动叶外壳；4—叶轮；5—导叶；6—座板；7—泵座；
8—套管；9—泵轴；10—橡胶轴承；11—中间轴；12—动叶调节机构；
13—联轴器；14—填料函；15—调节杆

回转式泵与回转式风机主要有齿轮泵、罗茨鼓风机及螺杆泵与压气机等类型。

图 1-7 所示为齿轮泵。齿轮泵具有一对相互啮合的齿轮，主动齿轮 1 旋转时，带动从动齿轮 2 一起旋转。旋转的齿轮将从吸水管 3 进入的液体挤压至压出管 4 排出。齿轮泵一般用于输送粘性较大的液体。

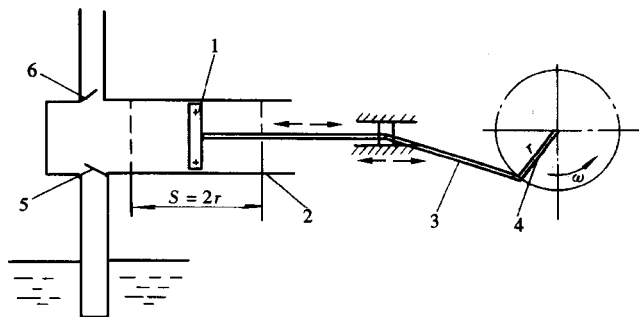


图 1-6 活塞泵

1—活塞；2—泵缸；3—连杆；
4—曲柄；5—吸水阀；6—出水阀

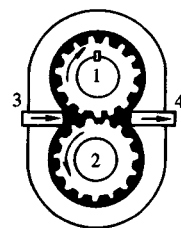


图 1-7 齿轮泵

1—主动齿轮；2—从动齿轮；
3—吸水管；4—压出管

图 1-8 所示为罗茨鼓风机。它是依靠两个两叶或三叶的转子作相反方向的旋转，达到传递能量于气体并增高其压力的目的。

图 1-9 所示为三螺杆泵。螺杆泵的作用原理与齿轮泵相近，它是一种利用螺杆互相啮合来吸入和排出液体的回转式泵。它由一根主动螺杆、两根从动螺杆与泵壳组装在一起，形成一个个密封腔。当主动螺杆旋转时，两个从动螺杆作相反方向的旋转，这些密封腔就轴向移动，从而把液体由吸入口压向排出口。螺杆泵的作用原理可以形象地比喻成：螺杆为一螺钉，充满在螺旋槽内的液体为一螺母。当螺钉转动而不轴向移动时，螺母就轴向移动。所以螺杆转动时，液体就不断地从吸入口压向排出口。螺杆泵转速比较高，无需阀门，流量连续均匀，吸入能力强，效率较高，特别适用于输送粘性较高的介质和含固体颗粒的液体。

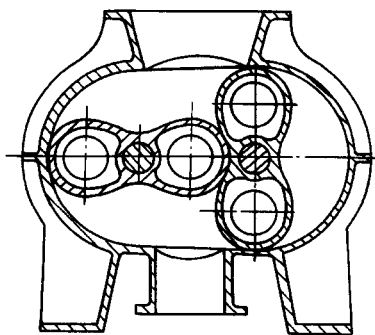


图 1-8 罗茨鼓风机

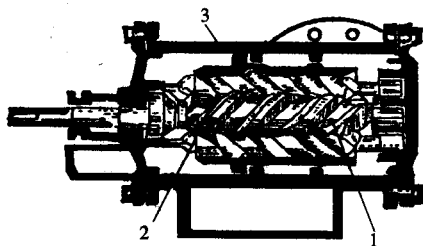


图 1-9 螺杆泵

1—主动螺杆；2—从动螺杆；3—泵壳

水环式真空泵，是将工作介质水的动能转换成压力能，用于压缩被输送的气体，从而达到抽送气体的目的。图 1-10 所示水环式真空泵，它有一个圆柱形的泵壳 3，转子 1 偏心地安装在缸内。在泵缸的适当位置开有进气口 4 和排气口 6，进气口和排气口开设在叶轮的侧面，实行轴向进气和排气。泵启动前，向泵缸内注入适量的水，偏心安装的叶轮旋转后，泵

内的水贴着泵缸的表面形成一个运动着的圆环（水环），水环的上部内表面与轮毂相切。水环内表面与叶轮的轮毂之间形成一个月牙形空间。叶轮旋转的前半周，叶片中的水从叶轮获得能量，由叶片端部甩出，达到叶轮出口处的圆周速度 u_2 ，具有足够的动能。此时，转子上相邻叶片与水环间所形成的空间逐渐增大，产生真空，气体经进气口进入。后半周水重新进入叶轮，速度下降，动能转换成压力能，用于气体的压缩。此时，转子上同样相邻叶片与水环间所形成的空间逐渐缩小，被压缩的气体由排出口输出。所以，叶轮的圆周速度 u_2 ，代表了叶轮传递给水环的能量。

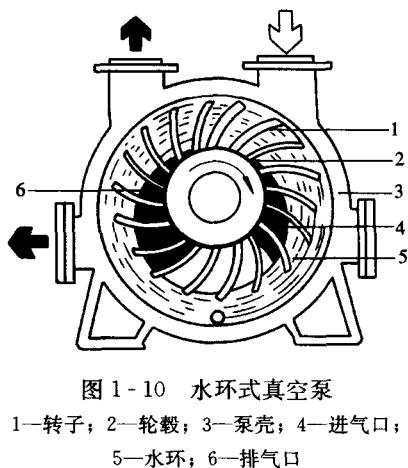


图 1-10 水环式真空泵

1—转子；2—轮毂；3—泵壳；4—进气口；
5—水环；6—排气口

水环式真空泵排出的气体中含有水分，因此必须经过气、水分离器将气、水分离，然后将气体排出。水环式真空泵用于需要抽气、排气的场合，如泵的抽气引水、火力发电厂汽轮机凝汽器的抽气维持真空等。

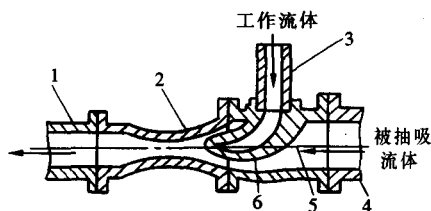


图 1-11 喷射泵

1—排出管；2—扩散室；3—通工作流体管道；
4—吸入管；5—吸入室；6—喷嘴

三、其他

除了叶片式及容积式泵与风机外，还有喷射泵及水锤泵等。

图 1-11 所示为喷射泵。工作流体进入喷嘴，流体在喷嘴中将部分压力能转化成动能，使工作流体以很高的速度从喷嘴射出，进入扩散室。由于高速射流携带周围的流体一起前进，于是在高速射流的周围形成真空，被抽吸的流体沿着吸入管路进入高速射流的周围，高速射流又将它携带送入压力管路，如此周而复始，不断将流体吸入与排出。喷射泵的工作流体可以是蒸汽，也可以是水。喷射泵效率较低，若喷射泵吸入室出口截面积与喷嘴出口截面积之比在 3~5 的范围内，则可以提高喷射泵的效率。

喷射泵在火力发电厂中，用以抽吸凝汽器内的空气，也有用于向离心泵吸入口输送液体，提高离心泵的吸入性能。

思 考 题

- 1-1 试述泵与风机在火力发电厂中的作用。
- 1-2 泵与风机的主要参数有哪些？转速与效率的高、低对泵及风机的影响如何？
- 1-3 泵与风机主要的类型有哪些？
- 1-4 试述活塞式、齿轮式、螺杆式及喷射泵的作用原理。
- 1-5 试述水环式真空泵的作用原理。

第二章 离心泵与风机的基本理论

第一节 离心泵与风机的工作原理

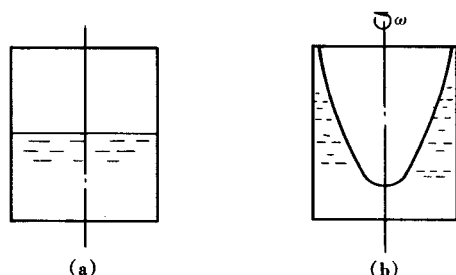


图 2-1 离心泵工作原理

观察一盛有液体的容器，在静止状态时，液面为一水平面，如图 2-1 (a) 所示。若驱使该容器以角速度 ω 旋转，则液面为一旋转抛物面，如图 2-1 (b) 所示。倘若旋转角速度加大，那么旋转抛物面中心和周围的液体位差亦加大。旋转角速度增大至一定值时，器壁旁的液体就会从容器内甩出。

如果将容器封闭，在近壁处接一小管子，液体会从小管子里向外界流出。容器内液体流出后，容器内产生真空，若通过容器底部中心处引一管子接入大气作用的水池，那么在大气压力作用下的液体会源源不断地被吸入容器内。

以上就是离心泵工作原理。所不同的是，泵的外壳容器是静止不动的，而外壳内的叶轮由原动机带动作高速旋转，流体在高速旋转的叶轮内，藉叶片的作用获得能量，被甩出叶轮，叶轮内形成真空。同时，外界的流体沿叶轮中心流入叶轮。如此周而复始不断地循环工作。图 2-2 所示离心式水泵，叶轮 1 旋转后叶片对水流做功，将液体抛入泵壳 2 内，泵壳 2 汇集液体送入压力管路 5 内。液体流出泵后，叶轮内产生真空，水池的水在大气压力作用下通过滤网 4、吸水管路 3 而进入叶轮内获得能量。

上述分析，完全适用于离心风机。

离心泵启动前，应该将液体充满泵内的叶轮，否则泵启动后无法向外界供给液体。如启动前不向泵内灌满液体，则叶轮只能带动空气旋转。而空气的质量约是液体（水）质量的千分之一，它所形成的真空不足以吸入比它重 700 多倍的液体（水）。

图 2-3 所示为离心泵与风机的叶轮。封闭叶轮的进、出口流道，并且流体在流道内不流动，在叶轮流道内任意半径 r 处，取一宽为 b ，厚为 dr 的流体微团（质点）。其质量 dm 为

$$dm = \rho b r dr d\varphi$$

式中 ρ ——流体的密度， kg/m^3 。

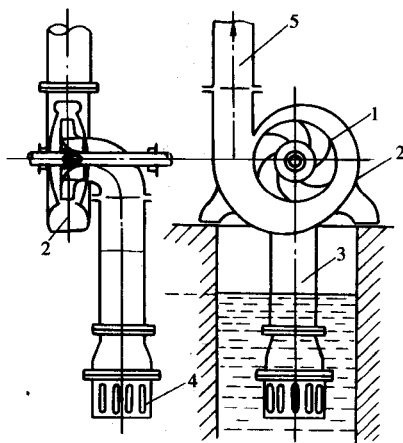


图 2-2 离心式水泵

- 1—叶轮；2—泵壳；3—吸水管路；
4—滤网；5—压力管路

叶轮旋转时, 流体微团在径向受到的表面压力 p 及 $p+dp$, 如图 2-3 所示。而质量为 dm 的流体, 随叶轮以 ω 旋转时产生的离心力为 dF , 其值为

$$dF = r^2 b \omega^2 \rho d\varphi dr$$

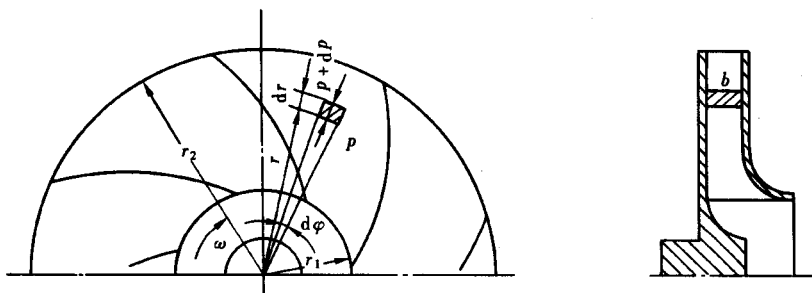


图 2-3 离心式叶轮

离心力 dF 所作用的面积为

$$dA = (r+dr) b d\varphi \approx r b d\varphi$$

作用在微团外缘表面单位面积上的离心力 df 为

$$df \approx dF/dA = r\omega^2 dr$$

单位面积上的离心力 df , 其值恰好与径向压力差 dp 相等, 即

$$dp = r\omega^2 dr \quad (2-1)$$

倘若流体是不可压缩的, 则叶轮外径与内径处的压力差为

$$\int_{p_1}^{p_2} dp = \int_{r_1}^{r_2} r\omega^2 dr = \rho\omega^2 (r_2^2 - r_1^2)/2 = \frac{\rho}{2} (u_2^2 - u_1^2)$$

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} (u_2^2 - u_1^2)$$

则

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} \quad (2-2)$$

式中 u_1 ——叶轮叶片进口处的圆周速度;

u_2 ——叶轮叶片出口处的圆周速度。

式 (2-2) 说明了在叶轮旋转而流体在流道内不流动, 且流体不可压缩时, 叶轮出口与进口处流体压力差与叶轮旋转角速度 ω 的平方成正比, 与叶轮内、外直径有关。若叶轮的外径增大, 叶轮的內径不变, 则流体出口与进口压力差亦增大。

第二节 流体在叶轮中的运动——速度三角形

流体在叶轮中的运动是一个复合运动。叶轮带着流体一起作旋转运动, 称为牵连运动, 其速度用 $\vec{u}$ 表示。流体沿叶轮流道的运动, 称为相对运动, 其速度以 $\vec{w}$ 表示。叶轮中的流体相对于地面的运动称为绝对运动, 其速度以 $\vec{v}$ 表示。那么, 流体的绝对速度应该为

$$\vec{v} = \vec{u} + \vec{w} \quad (2-3)$$