



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

泵与风机

张良瑜 谭雪梅 王亚荣 合编



中国电力出版社

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



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

泵与风机

张良瑜 谭雪梅 王亚荣 合编
龙新平 万 骥 主审



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书主要阐述叶片式泵与风机的工作原理、构造、基础理论及运行方面的基本知识。针对火电厂运行岗位对中、高级应用型人才的职业能力和素质的要求,书中重点介绍叶片式泵与风机的性能、运行工况调节、运行特点和常见问题;并以火力发电厂常用泵与风机为例介绍运行方面的基本知识。为加强知识的实用性和针对性,在最后一章从用户角度简要阐述了泵与风机的节能问题。各章选编了适当的例题,并附有思考题和习题。

本书主要作为高职高专电厂集控运行、热力设备运行及热能动力类专业泵与风机课程的教材,亦可作为现场岗位培训和岗前培训教材使用及有关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

泵与风机/张良瑜,谭雪梅,王亚荣合编. —北京:中国电力出版社,2005.8

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-2080-8

I. 泵... II. ①张... ②谭... ③王... III. ①泵—成人教育:高等教育—教材②鼓风机—成人教育:高等教育—教材 IV. ①TH3②TH44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 086153 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.75 印张 246 千字

印数 0001—3000 册 定价 15.00 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

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的,并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织评审,同意列为全国电力高等职业教育规划教材,作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书可以作为学历教育的教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

编者在本书的编写过程中,理论上不刻意追求其完整性,教材内容的选取力求突出针对性和实用性,努力贯彻以必需、够用为度的原则,删繁就简,并尽量反映国内外先进水平。考虑到火电厂集控运行及相近专业的特点和要求,本书的编写力求理论与电厂生产实际相结合,并注意应用知识的说明。为加强实用性和针对性,有利于学生掌握能为生产实际服务的应用性知识,本书在最后一章从用户角度简要阐述了泵与风机的节能问题。教材内容的编排力求结构合理;考虑知识点的模块化,不单独分析轴流式泵与风机;先后顺序尽量按照知识的衔接和学生接受的特点编排。编写中努力做到通俗易懂、概念明确、易教易学。为使学生能掌握所学内容,培养和提高分析解决问题的能力,各章选编了适当的例题、思考题和习题。

本书由武汉电力职业技术学院张良瑜、谭雪梅、保定电力职业技术学院王亚荣合编。第一章、第四章由谭雪梅编写,第二章、第三章由王亚荣编写,第五章、第六章及附录由张良瑜编写。本书由张良瑜统稿,并对全书内容进行修改和增删。

本书由武汉大学龙新平教授和阳逻发电厂万骥高级工程师主审。他们认真审阅稿件并提出了许多宝贵意见,编者深表谢意!在编写过程中,得到了同行们的热情帮助,在此一并致谢。

限于编者水平,书中的缺点和不足之处难免,恳请广大师生和读者不吝赐教。

编 者

2005年5月

目 录

前言

第一章 泵与风机概述	1
第一节 绪论	1
第二节 泵与风机的分类及工作原理	2
第三节 泵与风机的性能参数	7
第四节 泵与风机工作能头的计算	8
思考题	11
习题	11
第二章 泵与风机的构造	13
第一节 离心泵的常用整体结构及其主要部件	13
第二节 径向推力、轴向推力及其平衡方法	22
第三节 离心式风机的构造	27
第四节 轴流式(混流)泵与风机的构造	30
第五节 火力发电厂常用泵与风机的典型结构	34
思考题	41
第三章 泵与风机的叶轮理论	42
第一节 流体在离心式叶轮外缘封闭时的获能分析	42
第二节 流体在叶轮中的运动及速度三角形	43
第三节 叶片式泵与风机的基本方程式	44
第四节 离心式叶轮的叶片型式	49
第五节 轴流式泵与风机的叶轮理论	52
思考题	56
习题	57
第四章 叶片式泵与风机的性能	58
第一节 泵与风机内的损失和效率	58
第二节 叶片式泵与风机的性能及性能曲线	62
第三节 叶片式泵与风机的性能分析	67
第四节 泵与风机的相似定律	70
第五节 比例定律及通用性能曲线	73
第六节 比转数与型式数	75
第七节 无因次性能曲线	79
第八节 泵的汽蚀	82
思考题	90
习题	91
第五章 泵与风机的运行	93
第一节 叶片式泵与风机运行工况的确定	93

第二节 泵与风机的联合运行	96
第三节 泵与风机运行工况的调节	100
第四节 变速调节的变速方式	107
第五节 泵与风机运行中的几个问题	111
第六节 火力发电厂常用泵与风机的运行	115
思考题	130
习题	131
第六章 泵与风机的选型与节能	134
第一节 泵与风机的选型	134
第二节 泵与风机的节能概述	140
第三节 叶轮叶片的切割与加长	146
思考题	149
习题	150
附录 I 泵与风机的型号编制	151
附录 II 4-13.18 型离心式风机空气动力学图	155
参考文献	157

泵与风机概述

第一节 绪 论

一、课程的性质

本课程是热能与动力工程、电厂集控专业及其相近专业的一门重要的专业课程。泵与风机属于通用机械的范畴。

泵与风机是将原动机的机械能转换为被输送流体（液体和气体）的压能和动能的一种动力设备。通常输送液体的机械设备称为泵，而输送气体的机械设备称为风机，但极个别抽送气体的机械设备也称为泵，如液环泵等。泵的主要作用是提高液体能量并输送液体；风机的主要作用是提高气体能量并输送气体。

二、泵与风机在国民经济建设和火电厂中的地位

泵与风机在国民经济的各部门应用十分广泛。例如：农业中的排涝、灌溉；石油工业中的输油和注水；化学工业中的高温、腐蚀性流体的排送；航空航天中的卫星上天、火箭升空和超音速飞机的翱翔蓝天；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与风机。统计表明，在全国的总用电量中，30%以上是泵与风机耗用的。由此可见，泵与风机在我国国民经济建设中占有重要的地位。

在火力发电厂中，泵与风机是实现动力循环的重要组成部分，是重要的辅机之一。其安全、经济运行对电厂的安全经济发电起着重要作用。图 1-1 是热力发电厂的系统简图，由图可看出，向锅炉送水的有给水泵；向汽轮机凝汽器输送冷却水的有循环水泵；排送凝汽器

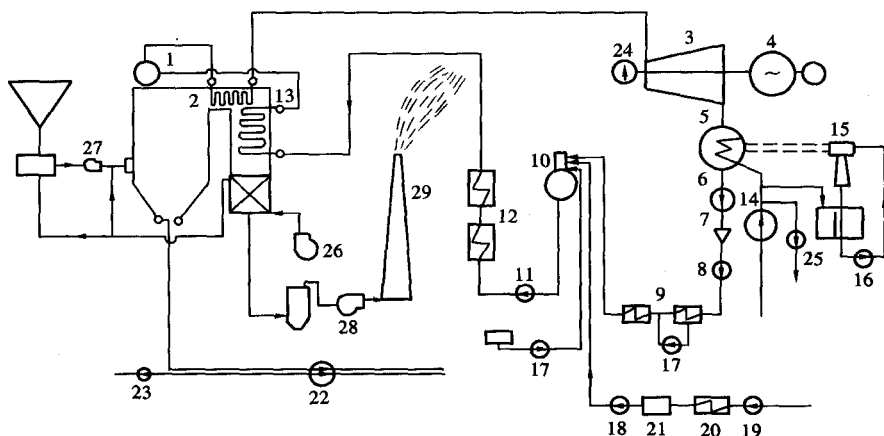


图 1-1 热力发电厂系统简图

- 1—锅炉汽包；2—过热器；3—汽轮机；4—发电机；5—凝汽器；6—凝结水泵；7—除盐装置；8—升压泵；9—低压加热器；10—除氧器；11—给水泵；12—高压加热器；13—省煤器；14—循环水泵；15—射水抽气器；16—射水泵；17—疏水泵；18—补给水泵；19—生水预热器；20—生水预热器；21—化学水处理设备；22—渣浆泵；23—灰渣泵；24—油泵；25—工业水泵；26—送风机；27—排粉风机；28—引风机；29—烟囱

中凝结水的有凝结水泵；排送热力系统中各处疏水的有疏水泵；为了补充管路系统的汽水损失，又设有补给水泵；排除锅炉燃烧后灰渣的设有灰渣泵和冲灰水泵；另外，还有供给汽轮机各轴承润滑油的润滑油泵；供各水泵、风机轴承冷却用水的工业水泵等。

此外，炉膛燃烧需要煤粉和空气，设有排粉风机、送风机；为排除锅炉燃烧后的烟气，设有引风机。

由上述系统中所使用的泵与风机不难看出，用泵输送的介质有给水、凝结水、冷却水、润滑油、水与灰渣的混合物等；用风机输送的介质有空气、烟气、煤粉和空气的混合物等。虽然都是泵与风机，但各有不同的工作条件和要求，如给水泵需要输送压力为几个兆帕甚至几十个兆帕、温度可高达 200°C 以上的高温给水，循环水泵则要输送每小时高达几万吨的大流量冷却水，引风机要输送 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 的高温烟气，灰渣泵、排粉风机则要输送含有固体颗粒的流体。因此，需要满足各种工作条件和要求而具有不同结构形式的多种泵与风机。

在发电厂的生产过程中，由于泵与风机发生故障而引起停机、停炉，导致发不出电的例子很多，并由此造成巨大的经济损失。实践证明，提高泵与风机的安全可靠性能尤为重要。特别是如今，机组向大容量、单元制方向发展，对泵与风机的安全可靠性能与对主机具有等同的要求。如有两台循环水泵的汽轮机，其中一台发生故障，汽轮发电机就要降低出力。又如现代的大型锅炉，容量大，汽包的水容积相对较小，如果锅炉给水泵发生故障而中断给水，则汽包在极短的时间内“干锅”迫使停机，甚至停炉。由此表明，泵与风机的安全经济运行是与电厂的安全经济运行密切相关的。

第二节 泵与风机的分类及工作原理

一、泵与风机的分类

(一) 按工作原理分类

泵可以分为叶片式泵、容积式泵及其他类型的泵。叶片式泵又可以分为离心泵、轴流泵及混流泵等；容积式泵可以分为往复泵和回转泵；其他类型的泵有喷射泵、水击泵及真空泵等。

风机可以分为叶片式风机和容积式风机。叶片式风机可以分为离心风机和轴流风机；容积式风机可以分为往复风机和回转风机。

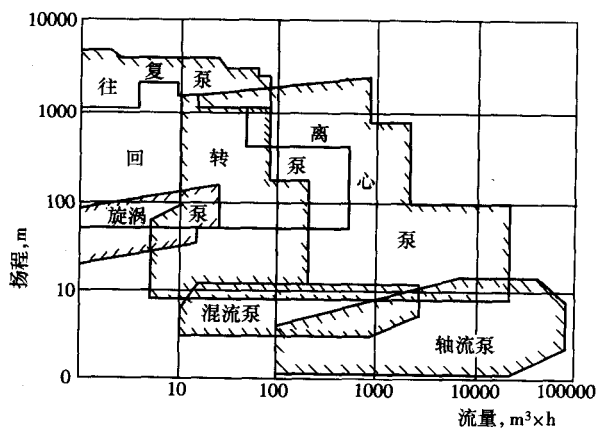


图 1-2 各种泵的使用范围

(二) 按产生的压强分类

按产生的压强可以将泵分为低压泵： $p < 2\text{MPa}$ ；中压泵： $2\text{MPa} < p < 6\text{MPa}$ ；高压泵： $p > 6\text{MPa}$ 。

按产生的压强可以将风机分为通风机： $p < 15\text{kPa}$ ；鼓风机： $15\text{kPa} < p < 340\text{kPa}$ ；压气机： $p > 6\text{MPa}$ 。通风机可以分为离心通风机和轴流通风机。离心通风机又可以分为低压离心通风机： $p < 1\text{kPa}$ ；中压离心通风机： $1\text{kPa} < p < 3\text{kPa}$ ；高压离心通风机： $3\text{kPa} < p < 15\text{kPa}$ 。轴流通风机又可以分为低压轴流通风机： $p < 0.5\text{kPa}$ 。

和高压轴流通风机： $0.5\text{kPa} < p < 5\text{kPa}$ 。

各种泵的使用范围如图 1-2 所示。由图可以看出，离心泵所占的区域最大，流量在 $5 \sim 20000\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程在 $8 \sim 2800\text{m}$ 的范围内。各种风机的使用范围如图 1-3 所示。

图 1-2、图 1-3 可供选择泵与风机时参考。

在火力发电厂中常按泵与风机在生产中的作用不同可分为：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。

二、泵与风机的工作原理

根据工作原理的不同，按分类对叶片式泵与风机的工作原理、容积式泵与风机的工作原理和喷射泵的工作原理介绍如下，本课程将对离心式泵与风机着重介绍。

(一) 叶片式泵与风机的工作原理

叶片式泵与风机是依靠装在主轴上叶轮的旋转运动，通过叶轮的叶片对流体做功来提高流体能量，从而实现输送流体的。根据流体在其叶轮内的流动方向和叶片对流体做功的原理不同，叶片式泵与风机可分为离心式、轴流式和混流式等多种形式。

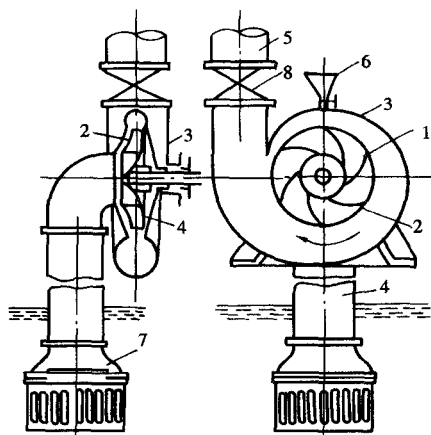


图 1-4 离心泵工作简图

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

1. 离心式泵与风机的工作原理

图 1-4 为离心式泵的工作简图。在泵壳内充满液体的情况下，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液体做功，迫使它们旋转。旋转的液体将在惯性离心力的作用下，从中心向叶轮边缘流去，其压强和流速不断增高，最后以很高的速度流出叶轮进入泵壳内，此时开启出口阀门，液体将由压出室排出，这个过程称为压出过程；同时，由于叶轮中心液体流向边缘，在叶轮中心形成了低压区，当它具有足够低的压强或具有足够的真空，使得叶轮中心处液体的总能头低于吸水池液面处的液体总能头时，液体将在这两个总能头差的作用下，经过吸水管进入叶轮，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，形成了离心泵的连续工作。

如图 1-5 所示，离心式风机的工作原理与离心式泵一样，它是在离心力作用下使气体获得能量。

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，特别是可以满足不同需要的各种压强及流量的泵与风机，所以应用极为广泛。在火力发

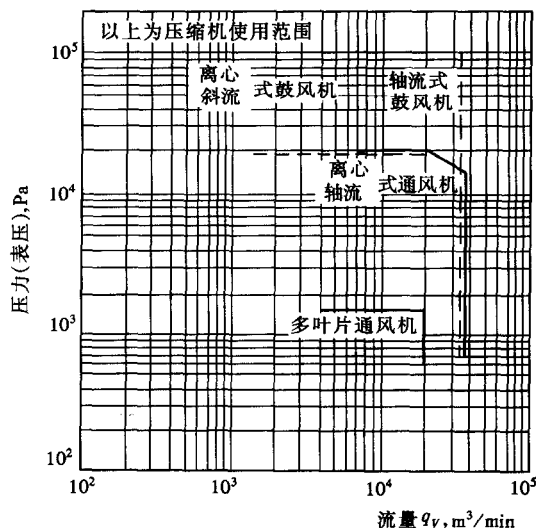


图 1-3 各种风机的使用范围

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、引风机等也大多采用离心式风机。

2. 轴流式泵与风机的工作原理

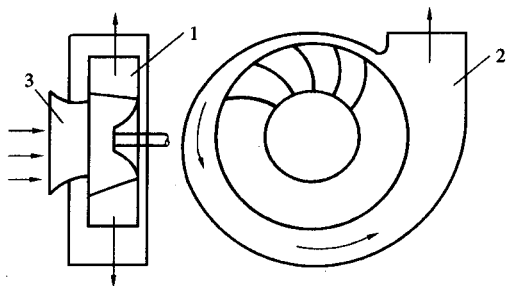


图 1-5 离心风机工作简图

1—叶轮；2—机壳；3—集流器（入口管）

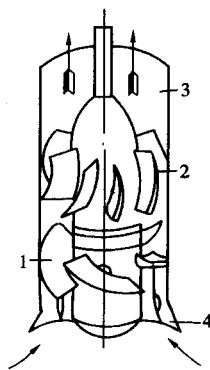


图 1-6 轴流泵工作简图

1—叶轮；2—导流器；
3—泵壳；4—喇叭管

图 1-6 为轴流泵结构示意图,当原动机驱动浸在流体中的叶轮旋转时,叶轮内流体就相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,经过导叶等部件进入压出管道,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、低压头的场所,电厂中常用做循环水泵及送、引风机。

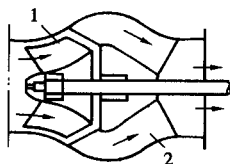


图 1-7 混流式泵
工作示意图

1—叶轮；2—导叶

3. 混流式泵与风机的工作原理

如图 1-7 为混流式泵的结构示意图。混流式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的,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,故混流式泵与风机的工作原理是离心式泵与风机与轴流式泵与风机工作原理的综合,故其工作特性也介于离心式和轴流式之间。

混流泵的流量较离心泵大,压头较轴流泵高,在火力发电厂的开式循环水系统中,常用做循环水泵。

(二) 容积式泵与风机的工作原理

容积式泵与风机是依靠工作室容积的周期性变化来输送流体的。由于工作室内部工作部件的运动不同,它们又有往复式和回转式之分,其工作原理也有不同。

1. 往复式泵与风机的工作原理

往复式泵与风机是依靠工作部件的往复运动间歇改变工作室内的容积来输送流体的。

往复式泵又分为活塞泵、柱塞泵和隔膜泵三种,如图 1-8 所示。它们分别由活塞、柱塞和隔膜在泵内作周期性的往复运动,改变液体所占据的容积,实现对液体做功,同时周期性地吸入和压出液体。下面以活塞泵为例,说明往复式泵的工作原理。当活塞 1 在泵缸内自最左位置向右移动时,工作室 4 的容积逐渐增大,工作室内的压力降低,吸水池中液体在压

力差作用下顶开吸水阀 6，液体进入工作室填补活塞右移让出的空间，直至活塞移到最右位置为止，完成往复式泵的吸入过程；然后活塞开始向左方移动，工作室中液体在活塞挤压下，获得能量，压力升高，并压紧吸水阀 6，顶开压水阀 7，液体由压出管路输出，这个过程为压出过程。当活塞不断地做上述往复运动时，往复泵的吸入、压出过程就连续不断地交替进行。由于往复泵在每个工作周期（活塞往复一次）内排出的液体量是不变的，故又称为定排量泵。

往复式泵与风机的输出流量和能头不稳定，且造价较高。在火力发电厂中仅用于高能头、小流量的场合，如锅炉加药的活塞泵、输送灰浆的柱塞泵，向一般动力源和气动控制仪表供汽的空气压缩机等。

2. 回转式泵与风机的工作原理

回转式泵与风机是依靠工作部件的旋转运动，使工作室容积周期性变化来输送流体的。它们又可分为齿轮泵和螺杆泵、水环式真空泵和罗茨风机等。

(1) 齿轮泵和螺杆泵。齿轮泵的工作原理如图 1-9 所示。它的一对啮合齿轮中，主动齿轮由原动机带动旋转，从动齿轮与主动齿轮通过啮合而转动。当两齿逐渐分开时，工作空间的容积逐渐增大，形成部分真空而吸取液体进入吸入腔。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压出腔而排入压出管。当主动轮不断被带动旋转时，泵便能不断吸入和压出液体。

螺杆泵的工作原理和齿轮泵相似，它依靠螺杆相互啮合空间的容积变化来输送液体。当螺杆旋转时，螺纹相互啮合，液体如螺母一样不能随着螺杆旋转，而只能沿螺杆轴向移动，从而将液体自进口排向出口。

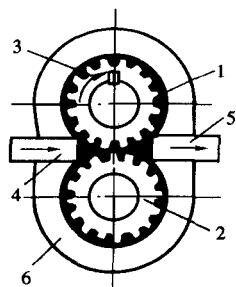


图 1-9 齿轮泵工作示意图

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

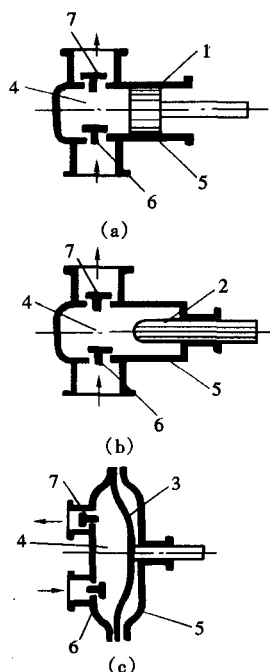


图 1-8 往复式泵示意图

(a) 活塞泵；(b) 柱塞泵；(c) 隔膜泵
1—活塞；2—柱塞；3—隔膜；4—工作室；5—泵缸；6—吸水阀；7—压水阀

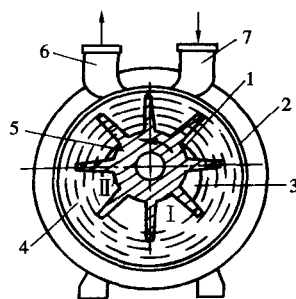


图 1-10 水环式真空泵工作示意图

1—叶轮；2—泵壳；3—吸气口；4—水环；5—排气管；6—排气管；7—吸气管

齿轮泵和螺杆泵也都属于定排量泵，它们在火力发电厂中主要用于输送油，如小型汽轮机的主油泵、电动给水泵以及锅炉送引风机的润滑油泵等。

(2) 水环式真空泵。水环式真空泵的结构如图 1-10 所示。其工作原理是星状叶轮偏心地装在圆筒型工作室里，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的内壁，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Ⅰ中，顺着叶轮的旋转方向，两叶片之间的空间容积逐渐增大，压力降低，并将气体从吸气口吸入；左半个气室Ⅱ中，顺着叶轮的旋转方向，两叶片之间的空间容积逐渐减小，压力增加，并将气体从排气口排出。叶轮每旋转一周，月牙形气室就使两叶片之间的空间容积周期性改变一次，从而连续地完成一个吸气和排气过程。叶轮不断地旋转，便能连续地抽排气体。

水环式真空泵主要用于抽吸空气，一般真空度可高达 95%，特别适合于大型水泵启动时抽真空引水。火电厂中 300MW 机组凝汽器抽真空。

(3) 罗茨风机。如图 1-11 所示，罗茨风机是依靠安装在机壳中两根平行轴上的两个“∞”字形的转子对气体的作用而实现气体输送的。图 1-11 中 (a) ~ (e) 的 5 个分图形象地表示出转子转动时气体的吸入和压出过程。

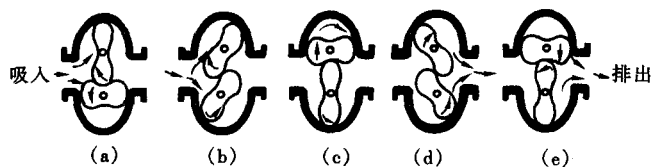


图 1-11 罗茨风机工作原理示意图

罗茨风机常用于火力发电厂气力除灰系统中的送风设备。

(三) 其他型式泵与风机的工作原理

工作原理不同于叶片式或容积式的泵与风机统称为其他型式泵与风机。图 1-12 所示的射流泵

就是一种没有任何运动部件，它是依靠高能的工作流体通过能量转换来抽吸低能流体而实现输送流体的泵与风机。

射流泵的工作原理是高压工作流体经管路由喷管 1 高速喷出，并把喷管外附近的流体带走，使混合室处于高度真空，形成低能流体的吸入条件，高、低能流体混合后通过扩压管排出，完成了流体的输送。当工作流体为水时，称为射水抽气器或水喷射泵；当工作流体为蒸汽时，又称为蒸汽抽气器或蒸汽喷射泵。

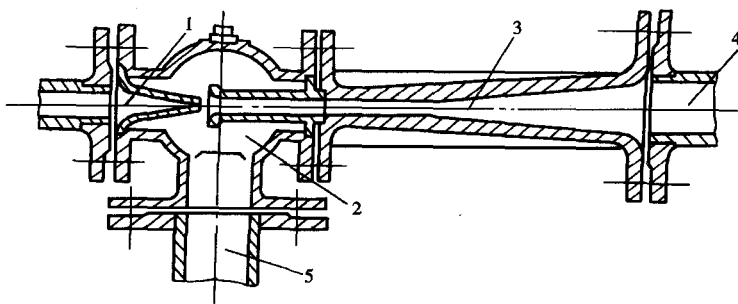


图 1-12 射流泵工作原理示意图

1—喷管；2—混合室；3—扩压管；4—排出管；5—吸入管

在火力发电厂中，常用于凝汽器的抽汽装置、循环水泵的启动抽真空装置以及主油泵供油的注油器等。

第三节 泵与风机的性能参数

泵与风机的工作可用一些量来描述, 这些量既反映了各种泵与风机的工作能力、结构特点、运行的经济性和安全性, 又能说明运行中不同的工作状态, 因此, 称它们为泵与风机的性能参数。性能参数包括流量、能头、功率、效率、转数, 水泵还有允许吸上真空高度、允许汽蚀余量等。

一、流量

流量是指单位时间内泵与风机输送流体的数量。可分为体积流量 q_v 和质量流量 q_m , 体积流量 q_v 的单位为 m^3/s 、 m^3/h 、 L/s , 质量流量 q_m 的单位为 kg/s 、 t/h 。体积流量与质量流量之间的关系为

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

式中 ρ ——输送流体的密度, kg/m^3 。

泵与风机的流量可通过装设在其工作管路上的流量计测定。测量的方法较多, 电厂常用孔板或喷管流量计和笛形管式流量计测定法。

二、能头

泵提供的能量通常用能头表示, 称为扬程, 系指单位重量液体通过泵后的能量增加值, 用符号 H 表示, 单位为 $\text{N}\cdot\text{m}/\text{N}$ 或 m 流体柱。若流体在泵进口断面 1-1 处的总比能为 e_1 、出口断面 2-2 处的总比能为 e_2 , 则扬程为

$$H = e_2 - e_1 \quad (1-2)$$

风机提供的能量通常用压头表示, 称为全压, 系指单位体积气体通过风机后的能量增加值, 用符号 p 表示, 单位为 Pa 。风机的全压与扬程之间的关系为

$$p = \rho g H \quad (1-3)$$

三、功率

泵与风机的功率可分为有效功率、轴功率。

有效功率是指单位时间内通过泵或风机的流体所获得的功, 即泵与风机的输出功率, 用 P_e 表示, 单位为 kW 。

$$\text{对泵} \quad P_e = \frac{\rho g q_v H}{1000} \quad (1-4)$$

$$\text{对风机} \quad P_e = \frac{q_v p}{1000} \quad (1-5)$$

轴功率即原动机传到泵与风机轴上的功率, 又称输入功率, 用 P 表示, 单位为 kW 。轴功率通常由电测法确定, 即用功率表测出原动机输入功率 P'_g , 则

$$P = P_g \eta_d = P'_g \eta_g \eta_d \quad (1-6)$$

式中 P_g 、 η_g ——原动机输出功率及原动机效率;

η_d ——传动装置效率, 挠性联轴器传动的 $\eta_d = 1$, 三角皮带传动的 $\eta_d = 0.95$ 。

有效功率、轴功率和原动机输出、输入功率之间的关系是 $P_e < P \leq P_g < P'_g$, 各种功率之间的关系可用图 1-13 表示。

此外还有原动机配用功率, 系指选配原动机的最小输出功率, 用 P_0 表示, 单位为 kW 。

$$P_0 = K \frac{P}{\eta_d} \quad (1-7)$$

式中 K ——原动机的容量安全系数, 其值随轴功率的增大而减小, 一般为 1.05~1.4。

四、效率

效率是泵与风机总效率的简称, 指泵与风机输出功率与输入功率之比的百分数, 反映泵与风机在传递能量过程中轴功率有效利用的程度, 用符号 η 表示, 即

$$\eta = \frac{P_e}{P} \times 100\% \quad (1-8)$$

五、转速

转速是指泵与风机叶轮每分钟的转数, 用 n 表示, 单位为 r/min 。它是影响泵与风机性能的一个重要因素, 当转速变化时, 泵或风机的流量、扬程 (全压)、功率等都要发生变化。

允许吸上真空高度和允许汽蚀余量等将在以后有关章节中介绍。

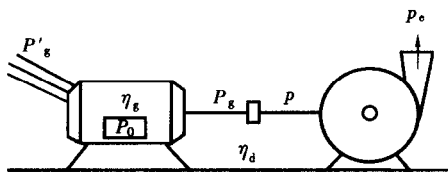


图 1-13 各种功率之间的关系

第四节 泵与风机工作能头的计算

泵或风机是在一定的客观环境中工作的, 通常将包括泵 (风机)、管路及其附件和吸、压容器在内的输送系统称为泵 (风机) 装置, 如图 1-14 所示。

泵 (风机) 装置中除泵 (风机) 之外的管路及其附件和吸、压容器所组成的系统称为装置管路系统, 简称管路系统。

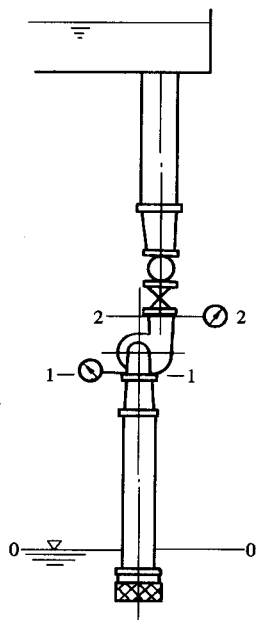


图 1-14 泵运行时扬程的确定

管路系统是泵与风机正常运行的客观环境, 下面以图 1-14 所示的泵装置为例, 说明泵工作扬程的计算。

一、运行时泵与风机提供能头的计算

泵运行时, 液体在其进口断面 1-1 处与出口断面 2-2 处的总比能分别为

$$e_1 = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 \quad e_2 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

由公式 (1-2) 可得泵运行时提供的扬程

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (1-9)$$

式中 p_1, p_2 ——泵进出口断面中心处液体的压强, Pa;

v_1, v_2 ——泵进、出口断面处液体的平均速度, m/s;

Z_2, Z_1 ——泵出口、进口断面中心至基准面 (转轴线) 的位置高度, m。

公式 (1-9) 为确定泵运行时提供扬程的一般计算式, 实际计算还需根据泵吸入口状态、测量仪表、仪表安装位置和高度等具体情况而定。计算扬程的关键是确定泵出、入口处流体的压强。该处流体的压强可通过表计进行测量, 如图 1-15 所示。

(1) 当泵入口液体的压强大于大气压强时, 有

$$p_2 = p_a + p_{2g} + \rho g h_2$$

$$p_1 = p_a + p_{1g} + \rho g h_1$$

此时, 式 (1-9) 可表达为

$$H = \frac{p_{2g} - p_{1g}}{\rho g} + h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (1-9a)$$

(2) 当泵入口压强小于大气压强时, 有

$$p_2 = p_a + p_{2g} + \rho g h_2$$

$$p_1 = p_a - p_m + \rho g h_1$$

此时, 式 (1-2) 可表达为

$$H = \frac{p_{2g} + p_m}{\rho g} + h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (1-9b)$$

式中 p_{2g} , p_{1g} ——出口及进口压力表读数, Pa;

p_m ——入口真空表读数, Pa;

h_1 , h_2 ——表的零点 (表面中心) 到叶轮中心线的垂直距离, 当表计位于中心线下方时取负值, m。

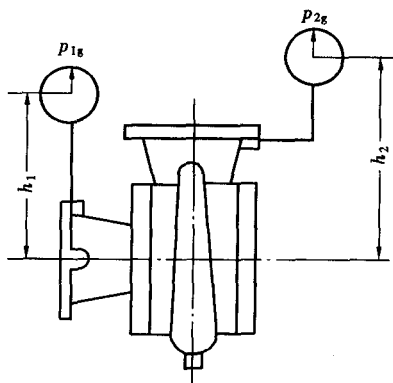


图 1-15 用表计测量泵进出口处液体压强

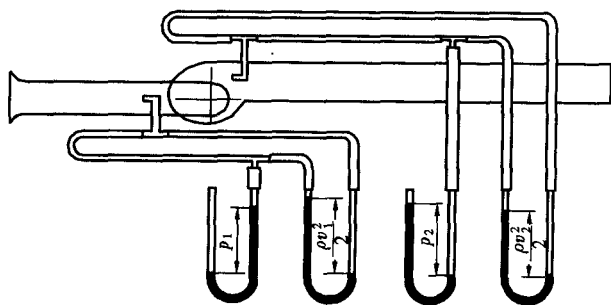


图 1-16 风机运行时全压的确定 (皮托管)

【例 1-1】 某台单吸单级离心式水泵, 在吸水口测得流量为 60L/s , 泵入口真空计指示真空高度为 $4\text{mH}_2\text{O}$, 吸入口直径 25cm ; 泵本身向外泄漏流量约为吸入口流量的 2% ; 泵出口压力表读数为 294kPa , 泵出口直径为 0.2m ; 压力表安装位置比真空计高 0.3m , 求泵的扬程。

解 $qv = 60\text{L/s} = 0.06\text{m}^3/\text{s}$

$$v_2 = \frac{0.06 \times (1 - 0.02) \times 4}{3.14 \times (0.2)^2} = 1.87 \text{ (m/s)}$$

$$v_1 = \frac{0.06 \times 4}{3.14 \times (0.25)^2} = 1.23 \text{ (m/s)}$$

$$H = \frac{p_{2g} + p_m}{\rho g} + h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{294}{9.807} + 4 + 0.3 + \frac{(1.87)^2 - (1.23)^2}{2 \times 9.807} = 34.4 \text{ (m} \cdot \text{N/N)}$$

风机运行时的全风压, 根据 $p = \rho g H$ 来确定, 只是计算式中忽略了 $(Z_2 - Z_1)$ 项, 用动、静压来表示, 其计算公式为

$$p = p_g + p_m + \frac{\rho (v_2^2 - v_1^2)}{2} \quad (1-10)$$

等式右边各项, 一般情况下都用如图 1-16 所示的皮托管测量求得。

二、管路系统中流体流动所需能头的计算

流体从吸入容器通过管路流至压出容器所需的能头是由泵或风机提供的, 它们之间体现能量的供求关系, 其大小相等。因此, 根据流体在管路系统中流动所需能量是计算泵与风机

能头的另一途径。在选择泵与风机时,就是用此方法根据设计方案来确定泵与风机的扬程或全压的。

以图 1-17 所示的情况为例,说明泵扬程的另一种计算方法。

根据能量方程式,以 $O-O$ 为基准面,列出 A 断面与 B 断面的能量方程,并整理得到

$$H_c = \frac{p_B - p_A}{\rho g} + (Z_B - Z_A) + h_{w2} + h_{w1}$$

$$H_c = H_p + H_Z + h_w$$

$$H_p = \frac{p_B - p_A}{\rho g}$$

式中 H_c ——流体流动所需要的扬程, $\text{N}\cdot\text{m}/\text{N}$;

H_p ——单位重量液体提高的压力能, $\text{N}\cdot\text{m}/\text{N}$;

H_Z —— $Z_B - Z_A$, 单位重量液体提高的位能, $\text{N}\cdot\text{m}/\text{N}$;

h_w —— $h_{w2} + h_{w1}$, 吸入管道和压出管道的阻力损失, $\text{N}\cdot\text{m}/\text{N}$ 。

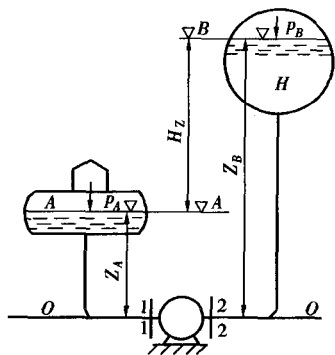


图 1-17 泵扬程的确定

式 (1-11) 表明: 在已知管路系统的情况下, 扬程主要由管路系统终端和始端液体的压力能头之差和位置能头之差以及吸、压水管路的总阻力损失这三部分的总和来确定, 不涉及具体的泵与风机。因此, 上式是一个普遍适用的扬程计算公式。在选择泵与风机时, 可直接用于计算所需的扬程。

对风机而言, 因为所输送的气体密度较小, $\rho g H_Z$ 与其他几项相比, 一般可以忽略不计。风机吸入的周围环境压力与压出气体的周围环境压力则相差不多, 即 $H_p = 0$, 风机全风压为

$$p = \rho g H \approx \rho g (h_{w1} + h_{w2}) = p_{w1} + p_{w2} \quad (1-12)$$

式中 p ——选择风机时的全压, Pa ;

p_{w1} 、 p_{w2} ——吸入、压出风道的压力损失, Pa 。

【例 1-2】 如图 1-16 所示的江边泵房, 离心泵自江中抽水后打入生活水塔, 然后由生活水塔向厂生活区供水。已知 $\nabla_1 = 3\text{m}$, $\nabla_2 = 5\text{m}$, $\nabla_3 = 35\text{m}$; 水泵流量 $q_V = 8\text{L/s}$; 吸水管长度 $L_1 = 10\text{m}$, 管径 $d_1 = 100\text{mm}$, 沿程阻力系数 $\lambda_1 = 0.02$; 压水管道长度 $L_2 = 60\text{m}$, 管径 $d_2 = 80\text{mm}$, 沿程阻力系数 $\lambda_2 = 0.025$; 局部阻力系数 $\xi_1 = 8$, $\xi_2 = 2$, 其余局部阻力忽略不计。试计算泵的扬程。

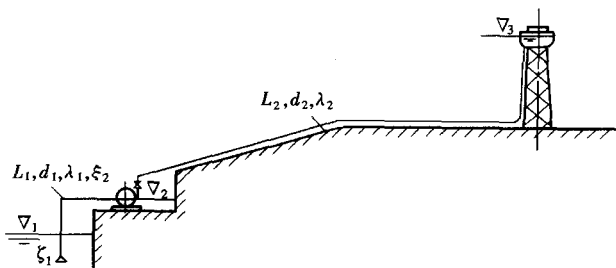


图 1-18 江边水泵房

解 吸水管中水的流速

$$v_1 = \frac{4q_V}{\pi d_1^2} = \frac{4 \times 8 \times 10^{-3}}{\pi \times 0.1^2} = 1 \quad (\text{m/s})$$

压水管中水的流速

$$v_2 = \frac{4q_V}{\pi d_2^2} = \frac{4 \times 8 \times 10^{-3}}{\pi \times 0.08^2} = 1.6 \quad (\text{m/s})$$

泵的扬程

$$\begin{aligned} H &= H_P + H_Z + h_{w1} + h_{w2} = 0 + (\nabla_2 - \nabla_1) + \left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \xi_1 \right) \frac{v_1^2}{2g} + \left(\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \xi_2 \right) \frac{v_2^2}{2g} \\ &= 0 + (35 - 3) + \left(0.02 \times \frac{10}{0.1} + 8 \right) \frac{1^2}{2 \times 9.8} + \left(0.025 \times \frac{60}{0.08} + 2 \right) \frac{1.6^2}{2 \times 9.8} \\ &= 35.2 \quad (\text{N} \cdot \text{m/N}) \end{aligned}$$

【例 1-3】 有一离心式通风机，全压 $p = 2000 \text{Pa}$ 、流量 $q_V = 47100 \text{m}^3/\text{h}$ ，现用联轴器直联传动，试计算风机的有效功率、轴功率及应选配多大的电动机。风机总效率 $\eta = 0.76$ 。

解

$$P_e = \frac{pq_V}{1000} = \frac{2000 \times \frac{47100}{3600}}{1000} = 26.16 \quad (\text{kW})$$

$$P = \frac{P_e}{\eta} = \frac{26.16}{0.76} = 34.42 \quad (\text{kW})$$

取电动机容量富裕系数 $K = 1.15$ ，传动装置效率 $\eta_m = 0.98$ ，则

$$P'_g = K \frac{P}{\eta_m} = 1.15 \times \frac{34.42}{0.98} = 40.39 \quad (\text{kW})$$

思 考 题

- 1-1 什么是泵与风机？何谓泵？何谓风机？
- 1-2 泵分为哪几种类型？
- 1-3 风机分为哪几种类型？
- 1-4 简述离心式泵与风机的工作原理。
- 1-5 简述轴流式泵与风机的工作原理。
- 1-6 简述混流式泵与风机的工作原理。
- 1-7 简述往复式泵与风机的工作原理。
- 1-8 简述往复式齿轮泵的工作原理。
- 1-9 泵与风机各有哪些基本性能参数？
- 1-10 公式 (1-9) 与公式 (1-11) 的物理含意有何区别？它们有何联系？

习 题

1-1 设一水泵流量 $q_V = 1.025 \text{m}^3/\text{s}$ ，排水管表压 $p_2 = 3.2 \text{MPa}$ ，吸水管真空表压力 $p_1 = 39.2 \text{kPa}$ ，排水管表压比吸水管真空表压力位置高 0.5m ，吸水管和排水管直径分别为 100cm 和 60cm ，求泵的扬程和有效功率（取 $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$ ）。

1-2 有一送风机，其全压 $p = 2.0 \text{kPa}$ 时，产生的风量为 $q_V = 45 \text{m}^3/\text{min}$ ，该风机的效率为 67% ，求其轴功率。

1-3 把温度 50°C 的水提高到 30m 的地方，问需要泵的扬程 H 是多少？设吸水池水面的表压力为 $4.905 \times 10^4 \text{Pa}$ ，全部流动损失水头为 5m ，水的密度 $\rho = 988.4 \text{kg/m}^3$ 。