

高等学校教材
中国矿业大学教材建设工程资助教材

流体机械

陈更林 杨春敏 主编

Liuti Jixie

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等学校教材

中国矿业大学教材建设工程资助教材

流 体 机 械

陈更林 杨春敏 主编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书采用模块化结构,分为两篇,第一篇是流体机械基础,是通用模块,介绍了流体机械的定义及分类、泵、风机、压缩机的性能参数、工作原理、结构、基本理论、运行、调节、流体输配管网及系统选型设计等,主要内容有概述、叶片式泵与风机的基本理论、相似理论在泵与风机中的应用、泵的空化与空蚀、泵与风机的运行与调节、容积式空气压缩机、其他形式的流体机械、流体机械的性能试验、流体输配管网及系统选型设计方法等。第二篇是火电厂流体机械,是专用模块,主要内容有火电厂常用泵与风机的结构与性能、火电厂泵与风机选型设计、火电厂泵与风机的运行分析与常见故障。

各章均有丰富的思考题与习题,附录了常用泵和风机、空气压缩机的技术参数,并配有教学光盘。

本书可作为能源与动力工程、机械工程及自动化、安全工程、环境工程专业的本科教材,也可作为化工、船舶、水利水电等专业教学参考书,还可供成人教育(本科)使用,以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

流体机械 / 陈更林, 杨春敏主编. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2014. 7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2399 - 9

I. ①流… II. ①陈… ②杨… III. ①流体机械
IV. ①TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 155329 号

书 名 流体机械

主 编 陈更林 杨春敏

责任编辑 褚建萍

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 19 字数 474 千字

版次印次 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

定 价 29.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

在高等院校中许多专业均开设有“流体机械”类课程,主要学习泵、通风机、压缩机的基本理论、运行、调节、维护、选型设计等有关知识。通过学习,使读者既具备较全面、系统的流体机械知识,又具备本专业专门的流体机械知识,能够理论联系实际地解决工程实际问题,并为今后进一步专门从事流体机械的研究、设计等奠定较好的基础。

流体机械类教材品种繁多,各有特色。本教材精选教学内容,合理谋篇布局,能够满足能源动力工程、机械工程及自动化、建筑环境与设备等专业需要,教学时数为32~48学时。

本教材的编写原则和主要特色如下:

通用性和针对性相结合的原则——改革了当前教材的知识结构体系,采用了模块化结构,由流体机械基础一级模块和火电厂流体机械一级模块组成,一级模块又由若干二级模块组成,以此类推,直至基本模块。流体机械基础一级模块不依赖于任何专业或行业背景,体现了通用性,火电厂流体机械一级模块主要适用于能源动力类专业,体现了针对性。

全局性和局部性相结合的原则——改革了当前教材从设备的角度介绍流体机械的内容,而是从流体输配系统这一全局的角度介绍流体机械的内容。

经典性和先进性相结合的原则——努力反映学科行业新知识、新技术、新成果,内容与时俱进,更加贴近当前需求,比当前同类教材增加的内容有:容积式空气压缩机、其他形式的流体机械、流体输配系统、火电厂流体机械经济运行。

本教材结构体系新颖,采用了模块化结构,两个一级模块分别集中介绍了流体机械的基本概念和理论以及火电厂流体机械的专门知识。比当前教材层次更清楚、逻辑性更强、灵活性更大、适应性更强。

本教材中概述性内容有所加强,使读者能够获得更广泛的流体机械及工程的信息。措辞严谨,名词术语、各物理量的符号均执行相应的国家标准。

本教材由中国矿业大学陈更林、杨春敏、李嘉薇、李德玉、王利军、黄丛亮及烟台市教育局孙盛军编写,陈更林、杨春敏担任主编,李嘉薇、李德玉担任副主编。在编写过程中,编写人员互审了教材内容,并参阅了有关书籍,在此对这些书籍的作者表示感谢。由于编者水平有限,书中有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014年5月20日

目 录

第一篇 流体机械基础

第一章 概述	3
第一节 流体机械的定义与分类	3
第二节 流体机械在工程中的应用	7
第三节 叶片式泵与风机的工作原理	9
第四节 叶片式泵与风机的性能参数	9
第五节 泵与风机的主要过流部件与密封装置	11
思考题与习题	19
本章测评题	19
第二章 叶片式泵与风机的基本理论	20
第一节 离心式泵与风机的基本理论	20
第二节 轴流式泵与风机的基本理论	35
第三节 过流部件的工作原理	44
思考题与习题	48
本章测评题	49
第三章 相似理论在泵与风机中的应用	50
第一节 相似条件	50
第二节 相似定律	51
第三节 相似定律的特例	52
第四节 比转速与无因次性能参数	54
思考题与习题	57
本章测评题	58
第四章 泵的空化与空蚀	59
第一节 空化与空蚀的机理及影响	59
第二节 泵的空化参数与安装高度	63
第三节 空化相似定律及热力学影响	68
第四节 提高泵抗空化与空蚀性能的措施	70
思考题与习题	70
本章测评题	71

第五章 泵与风机的运行与调节	72
第一节 管路特性	72
第二节 泵与风机的启动与停止	74
第三节 工况点及其确定方法	75
第四节 泵与风机的联合运行	77
第五节 泵与风机的调节	80
第六节 失速与喘振	92
第七节 轴向力与径向力	94
思考题与习题	100
本章测评题	101
第六章 容积式空气压缩机	103
第一节 空压机主要性能参数	103
第二节 往复活塞式空压机的工作理论	105
第三节 螺杆式空压机的工作理论	115
第四节 往复活塞式空气压缩机结构与调节	126
第五节 螺杆式压缩机的结构与调节	132
思考题与习题	140
本章测评题	141
第七章 其他形式的流体机械	142
第一节 罗茨鼓风机	142
第二节 横流式通风机	145
第三节 液环泵与射流泵	146
第四节 往复式活塞泵	148
第五节 旋涡泵	150
第六节 液力耦合器	152
第八章 流体机械的性能试验	156
第一节 泵与风机试验分类	156
第二节 水泵的性能试验	157
第三节 泵的空化试验	161
第四节 通风机的性能试验	162
第五节 容积式空压机流量测量	166
思考题与习题	170
本章测评题	170
第九章 流体输配管网及系统选型设计方法	171
第一节 流体输配管网的组成及分类	171
第二节 流体输配管网水力计算	174
第三节 管道强度计算	183
第四节 管材及附件	186

第五节 流体输配系统选型设计方法	190
思考题与习题	195

第二篇 火电厂流体机械

第十章 火电厂常用流体机械	199
第一节 火电厂的常用泵	199
第二节 火电厂的常用风机	219
思考题与习题	229
第十一章 火电厂泵与风机选型设计	230
第一节 火电厂泵的选型设计	230
第二节 火电厂风机的选型	234
思考题与习题	237
第十二章 火电厂泵与风机的运行分析与常见故障	238
第一节 火电厂泵与风机的运行方式及其经济性分析	238
第二节 火电厂泵与风机的节能优化	255
第三节 火电厂泵与风机的故障诊断及处理	267
思考题与习题	274
附录一 泵的型号编制	275
附录二 风机的型号编制	277
附录三 泵系列型谱及风机性能曲线	280
附录四 常用空气压缩机技术参数	287
附录五 管路符号、规格与性能	288
参考文献	295

第一篇

流体机械基础

第一章 绪 论

第一节 流体机械的定义与分类

一、流体机械的定义

流体机械是指在流体的能量和机械所做机械功之间进行能量转换的机械总称,如水泵、风机、压缩机、水轮机、汽轮机等都属于流体机械。本书将重点介绍水泵、风机和空气压缩机等流体机械。

二、流体机械的分类

流体机械可以按照能量传递方向、流体与机械的相互作用、工作介质等方式进行分类。

(一) 按能量传递方向分类

根据能量传递的方向不同,可以将流体机械分为原动机和工作机。原动机将流体的能量转换为机械能用于驱动其他的机械设备,例如水轮机、汽轮机、燃气轮机、风力机、各种液压马达和各种气动工具等。工作机则将机械能转换为流体的能量,以便将流体输送到高处或有更高压力的空间或克服管路阻力将流体输送到远处,例如各种泵、风机和压缩机等。

(二) 按流体与机械的相互作用分类

按照流体与机械相互作用的特点,流体机械可分为容积式、叶片式及其他形式。

容积式流体机械中,通过运动部件和静止部件或者两个运动部件之间的容积的周期性变化进行能量交换。流体与机械之间的相互作用力为静压力,根据运动方式不同,可分为往复式和回转式两类,如图 1-1 和图 1-2 所示。

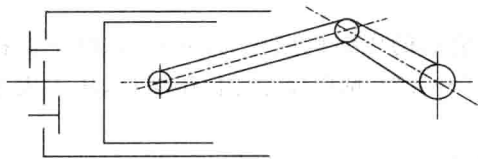


图 1-1 往复式流体机械

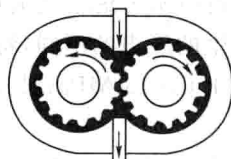


图 1-2 回转式流体机械

叶片式流体机械中,流体对叶片做连续绕流,叶片改变了流体的运动状态,运动的流体与转动的叶片之间产生作用力和反作用力,实现流体与机械的能量转换。

根据流体的运动方向,叶片式流体机械还可进一步分成径流式(离心式)、斜流式、轴流式,如图 1-3~图 1-5 所示。

根据流体在叶轮内的压力与速度的变化,叶片式流体机械又可进一步分成反击式和冲击式两类。在反击式流体机械的叶轮中,流体的压力和速度都发生变化,流体与叶片交换的

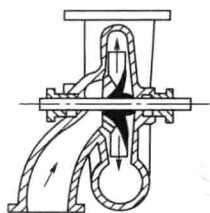


图 1-3 径流式流体机械

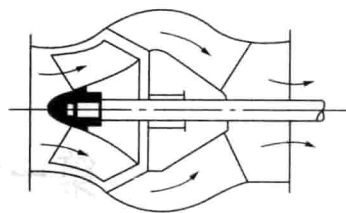


图 1-4 斜流式流体机械

能量中既有压力能(势能)也有速度能(动能);在冲击式流体机械的叶轮中,流体的压力是不变的,流体与叶片交换的能量中只有速度能(动能)。

另外,在一些流体机械中,其能量主要是在两种具有不同能量的流体之间进行传递的。如图 1-6 所示射流泵是利用高压流体(液体或气体)与低压流体(液体或气体)在喷射口处开始混合,通过动量交换使压力与速度趋于相同,以达到输送低压流体目的的。属于这一类的流体机械还有水锤泵等。

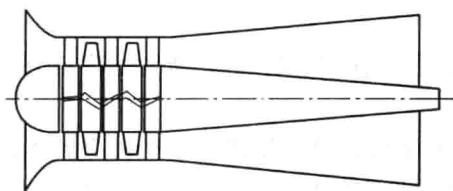


图 1-5 轴流式流体机械

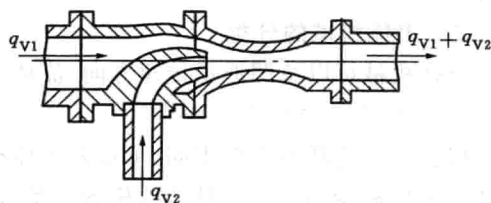


图 1-6 射流泵

(三) 按工作介质分类

按照工作介质,流体机械可分为水力机械和热力机械两类。以液体为工作介质的称为水力机械,以气体为工作介质的称为热力机械。一般地,可认为液体不可压缩,气体可压缩。当可压缩介质的体积发生变化时,必然伴随着功的传递及介质内能的变化。但当压力变化极大时(例如在水锤过程中),必须考虑液体的可压缩性。而当压力变化很小的时候(例如在通风机中),也可以不考虑空气的可压缩性。

根据所产生的压力的不同,将用于可压缩介质输送的压缩机械分为:通风机(以下简称风机),压力低于 0.015 MPa;鼓风机,压力在 0.015~0.35 MPa 范围内;压缩机,压力大于 0.35 MPa。

在本书中主要研究泵、风机、压缩机,所以下面进一步对它们进行分类。

三、叶片式泵与风机的分类

(一) 泵的分类

按工作时产生的扬程大小分类,泵分为低压泵(2 MPa 以下)、中压泵(2~6 MPa)、高压泵(6 MPa 以上)。

按叶轮个数分类,泵分为单级泵和多级泵,如图 1-7、图 1-8 所示。

按吸入方式分类,泵分为单吸泵和双吸泵,如图 1-7、图 1-9 所示。

按泵体拆开方式分类,泵分为分段式和中开式,如图 1-8、图 1-9 所示。

按泵轴安装位置分类,泵分为卧式和立式,如图 1-8、图 1-10 所示。

按用途分类,泵分为清水泵、污水泵、冷水泵、热水泵、农业用泵、矿用水泵、电厂用水泵、化工用泵等。

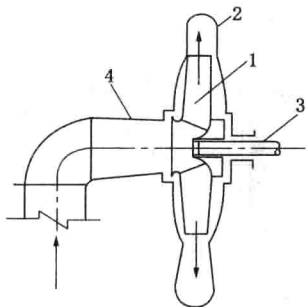


图 1-7 单级、单吸离心式水泵

1——叶轮;2——蜗壳;
3——主轴;4——吸水短管

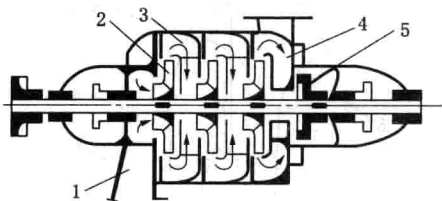


图 1-8 单吸多级卧式分段式水泵

1——吸水短管;2——叶轮;3——导叶;
4——压水室;5——平衡盘

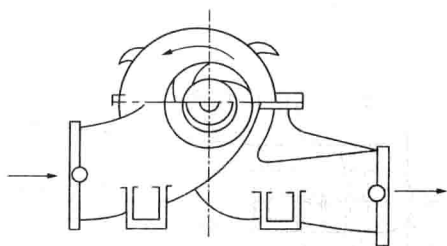


图 1-9 单级双吸水泵

1——叶轮;2——蜗壳;3——吸水室;4——主轴;5——密封

(二) 风机的分类

按气体的流动方向分类,风机分为径流式风机(离心式风机)、斜流式风机、轴流式风机。

按在大气压为 101.3 kPa、气温为 20 °C 的标准状态下,通风机工作时产生的压力大小分类,风机分为低压离心通风机($p < 1$ kPa)、中压离心通风机(全压 $p = 1 \sim 3$ kPa)、高压离心通风机(全压 $p = 3 \sim 15$ kPa)、低压轴流通风机(全压 $p < 500$ Pa)、高压轴流通风机(全压 $500 \text{ Pa} < p < 15 \text{ kPa}$)。

按吸入口数目分类,风机分为单吸风机和双吸风机,如图 1-11、图 1-12 所示。

按叶轮数目分类,风机分为单级风机和多级风机,如图 1-11、图 1-13 所示。

按用途分类,风机分为冷却风机、一般通风换气用风机、防腐风机、船用风机、矿井风机、引风机、煤粉风机、高温风机等。

四、容积式压缩机分类

按结构特征分类,容积式压缩机分为往复式、回转式,回转式又有多种形式,见图 1-14。

按排气压力分类,容积式压缩机分为低压压缩机,排气压力为 0.2~1.0 MPa;中压压缩机,排气压力为 1.0~10 MPa;高压压缩机,排气压力为 10~100 MPa。

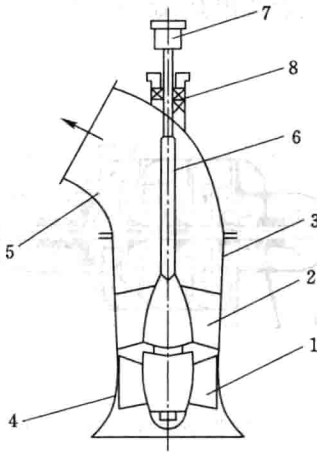


图 1-10 单级轴流式水泵

1——叶轮;2——导叶;3——外壳;4——进水口;
5——弯管;6——主轴;7——联轴器;8——密封

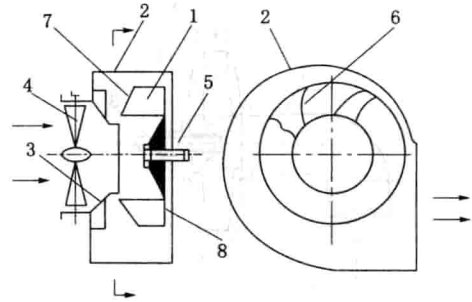


图 1-11 单级单吸离心式风机

1——叶轮;2——蜗壳;3——集流器;4——前导器;
5——主轴;6——叶片;7——前盘;8——后盘

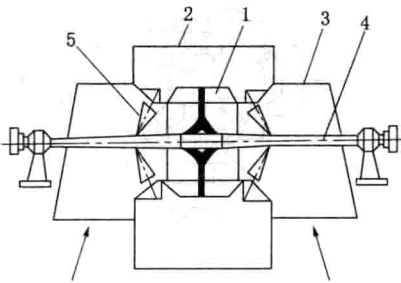


图 1-12 单级双吸离心式风机

1——叶轮;2——蜗壳;3——进风箱;
4——主轴;5——前导器

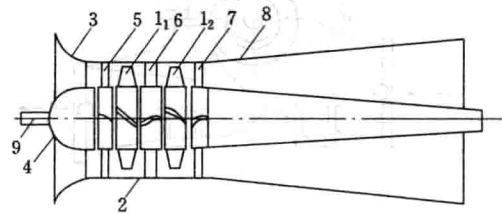


图 1-13 两级轴流式风机

1₁——叶轮一;1₂——叶轮二;2——外壳;
3——集流器;4——疏流罩;5——前导叶;6——中导叶;
7——后导叶;8——扩散器;9——主轴

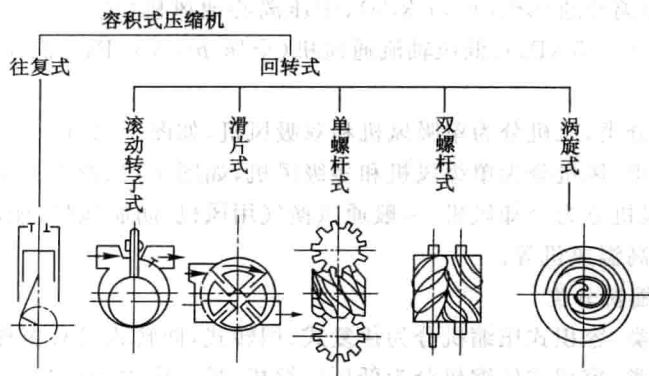


图 1-14 不同结构特征的容积式压缩机

按压缩级数分类,容积式压缩机分为单级、双级、多级。

按冷却方式分类,容积式压缩机分为风冷、水冷。

按容积流量大小分类,容积式压缩机分为微型压缩机, $q_v < 1 \text{ m}^3/\text{min}$; 小型压缩机, $q_v = 1 \sim 10 \text{ m}^3/\text{min}$; 中型压缩机, $q_v = 10 \sim 100 \text{ m}^3/\text{min}$; 大型压缩机, $q_v > 100 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

按用途分类,容积式压缩机分为动力用空气压缩机、制冷压缩机、工艺压缩机。

第二节 流体机械在工程中的应用

流体机械在国民经济的各部门和社会生活各领域都得到了广泛的应用,而且技术越发展,流体机械的应用也就越广泛、作用越大。可以说,几乎没有哪一个工业领域没有流体机械。现代电力工业中,绝大部分发电量是由叶片式流体机械(汽轮机和在水轮机)承担的,其中汽轮机约占 3/4,水轮机约占 1/4。总用电量中,约 1/3 是用于驱动风机、压缩机和水泵的。而且,随着技术的不断发展,各种应用场合对流体机械的性能和可靠性的要求也越来越高。

一、电力工业

目前的电力生产有三种主要方式:火力发电(火电)、水力发电和核能发电,在这三种发电方式中,流体机械都起着重要的作用。火力发电厂系统中的泵与风机如图 1-15 所示。

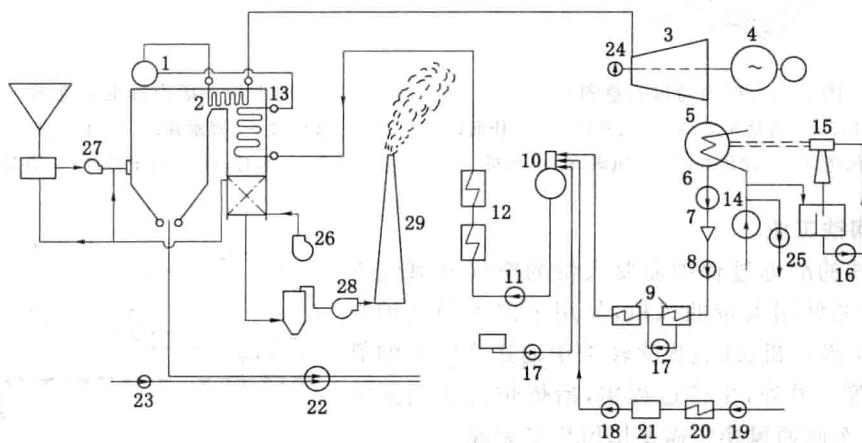


图 1-15 热力发电厂系统中的泵与风机

- 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;
20——生水预热器;21——化学水处理设备;22——灰渣泵;23——冲灰水泵;24——油泵;
25——工业水泵;26——送风机;27——排粉风机;28——引风机;29——烟囱

在火电站和核电站中,除用做主机的汽轮机外,还有许多泵和风机。在火电站的蒸汽动力装置中包括锅炉给水泵、凝结水泵、循环水泵、送风机和引风机等,在燃气动力装置中则要用到空气压缩机等。随着发电机组的大型化,电站用泵也在向大型和高参数方向发展。目前最大的锅炉给水泵的功率已达 49.3 MW,扬程达 3 000 m。

在核电站中,除了二次蒸汽回路中需要与火电站基本相同的泵以外,一次回路中的主循

环泵是一次系统中唯一的回转机械,它工作在高温高压的环境下,是核电站的关键设备之一。此外,核电站的安全系统、容积控制系统、废料处理系统中也都要使用多种类型的泵。

二、煤炭开采工业

在矿井生产中,需要风机不断地向井下输送新鲜空气,并将井下有毒有害气体稀释排出(图 1-16);井下坑道的积水要用泵排到地面(图 1-17);水力采煤、采矿及水力输送需要泵提供压力水(图 1-18)。在矿山生产中,除电能外,压缩空气是比较重要的动力源之一。目前矿山使用着各种风动机具,如凿岩机、风镐、锚喷机及气锤等,都是利用空气压缩机产生的压缩空气来驱动机器做功的。

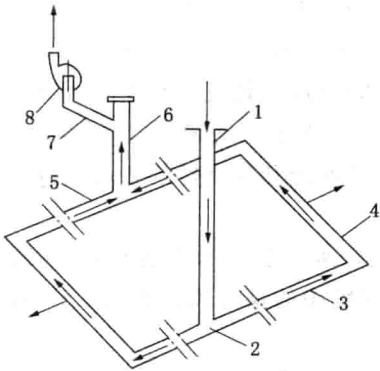


图 1-16 矿山通风示意图

1——进风井;2——井底车场;3——大巷;4——工作面;
5——回风巷;6——出风井;7——风硐;8——风机

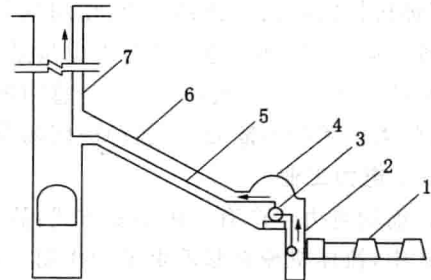


图 1-17 矿山排水示意图

1——水仓;2——吸水井;3——水泵;4——泵房;
5——水管;6——管子道;7——井筒

三、钢铁工业

在钢铁的冶炼过程中需要大量的空气和氧气支持燃烧,需要使用大量的风机,如用于向大型高炉中送风的高炉鼓风机、纯氧顶吹转炉中输送高压氧的氧气压缩机等。另外,生产过程中,冶炼炉需要用泵输送冷却水,车间通风换气需要用风机来完成。

四、水利工程

我国的人均水资源占有量只有世界平均水平的1/4,而且地域分布极不均匀,因此水利工程对我国来说尤为重要。水利工程不管是灌溉、排涝还是供水,都需要相应容量的泵。据统计,我国排灌机械的配套功率,在20世纪80年代已达57 000 MW。

五、化学工业

在化工流程中,参与反应的原料、中间产品经常是液体或气体,即便是固体物料,也经常以溶液或熔液的形态参与化学反应,所以输送各种流体的泵和压缩机被称为化工厂的“心脏”。现代化工装置日益大型化,对泵和压缩机的要求也越来越高。化工流程用泵和压缩机经常需要输送特殊的介质,例如高温或低温、高压、易燃、易爆、

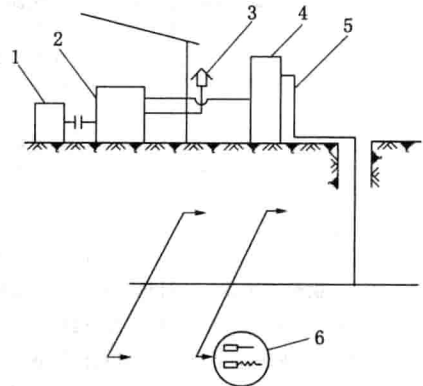


图 1-18 矿山压气示意图

1——电动机;2——空压机;3——进气口;
4——储气罐;5——管道;6——风动工具

剧毒、易结晶、易汽化或分解的介质等,对泵和压缩机的设计、制造提出了特殊的要求。

六、石油工业

在石油和天然气的钻探、开采、运输和加工过程中,泵和压缩机都是重要的设备,其中包括一些为适应特殊使用要求而开发的高技术产品。如油田注水泵用于向油层中注水,可以提高油层压力,实现原油自喷;在海洋油田,注气压缩机用不能直接利用的油田伴生气代替水,注入油层以提高压力。

七、其他领域

在任何工程领域都不可缺少流体机械。在动力工程中,水轮机、汽轮机和燃气轮机等广义流体机械是现代最重要的动力装置;在制冷工程中,压缩机和膨胀机可以实现制冷介质物理状态的转变;在环境工程中,水泵和风机是采暖、通风、空调、污水处理、空气净化中必不可少的;在船舶工业中,螺旋桨是船舶的推进装置,直接泵推技术也得到了很大的发展;在轻工和食品工业中,各种不同类型的泵可实现各种浆料和固液混合物的输送;在航空航天工业中,泵是实现飞机、火箭控制系统液压和气动装置正常工作的关键设备,也是关键物料的输送设备等。可以说,凡是需要有气态和液态物质流动的地方,都需要有泵、风机和压缩机等流体机械。

第三节 叶片式泵与风机的工作原理

叶片式泵与风机工作时流体与叶片相互作用,完成能量转换过程,实现了流体的输送。

一、离心式泵与风机工作原理

如图 1-11 所示,前导器的作用是控制流体的运动方向,流体经前导器进入风机,流经集流器后流体获得加速,进入叶轮与叶片相互作用,获得能量后流出叶轮,进入蜗壳,在蜗壳中减速,有一部分动能转换成压力能,流出风机。

二、轴流式泵与风机工作原理

如图 1-13 所示,流体轴向流经疏流罩和集流器,前导叶的作用是控制流体的流动方向,经前导叶进入叶轮一,与叶片相互作用获得能量;中导叶的作用是将一部分动能转换成压力能,并控制流体的流动方向,使流体轴向流动;叶轮二和后导叶的作用与叶轮一和中导叶的作用相同,流体经后导叶进入扩散器,流体的速度降低,一部分动能转换成压力能,最后流出风机。

三、斜流式泵与风机工作原理

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。斜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。

第四节 叶片式泵与风机的性能参数

叶片式泵与风机的主要性能参数有流量、扬程与压力、轴功率、转速、效率及空化(气蚀)余量等。

一、流量

单位时间内通过泵与风机出口流体的数量,即泵与风机所输送的流体数量称为流量。用体积表示的称为体积流量,用质量表示的称为质量流量。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、扬程与压力

单位重量的液体流经泵时所获得的总机械能称为扬程。扬程用符号 H 表示,单位为 m 。

压力有全压和静压之分,单位体积的气体流经风机时所获得的总机械能称为全压,以符号 p 表示,单位为 Pa 。风机出口单位体积气体的动能为风机的动压,风机的全压与动压之差称为静压,以符号 p_{st} 表示,单位为 Pa 。全压和静压常常笼统地称为压力,在实际工作中应注意区分。

三、轴功率

原动机传递给泵或风机轴上的功率,称轴功率,以 P 表示,单位为 kW 。

泵或风机传递给所输送流体的功率,称有效功率,即输出功率,以 P_e 表示,单位为 kW 。

$$\text{泵} \quad P_e = \frac{\rho g H q_v}{1\,000} \quad (1-1a)$$

$$\text{风机} \quad P_e = \frac{p q_v}{1\,000} \quad (1-1b)$$

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 。

泵与风机的转速越高,则它们所输送的流量、扬程(压力)亦越大。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。短而粗的泵轴可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。

此外,泵转速的增加还可以使叶轮的直径相对减小,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。虽然目前国内外已普遍使用高转速的水泵,但因为高转速受到材料强度、泵空化、泵效率等因素的制约,所以国内水泵的最高转速一般为 $5\,000 \sim 6\,000 \text{ r}/\text{min}$ 。

五、效率

泵与风机的效率是指泵与风机对能量的有效利用程度,所以定义效率是有效功率与轴功率之比,以符号 η 表示。

泵的效率是

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{\rho g H q_v}{1\,000 P} \quad (1-2a)$$

风机的效率是

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{p q_v}{1\,000 P} \quad (1-2b)$$

$$\eta_{st} = \frac{P_{est}}{P} = \frac{p_{st} q_v}{1\,000 P} \quad (1-2c)$$

η 和 η_{st} 分别称为风机的全压效率和静压效率。全压效率和静压效率常常笼统地称为效