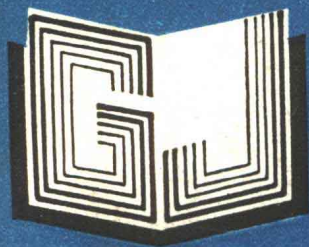


923154



高等学校教材

专科适用

# 泵与风机

上海电力学院 杨诗成  
沈阳电力专科学校 王喜魁 合编



高等学校教材

===== 专 科 适 用 =====

# 泵 与 风 机

上海电力学院 杨诗成  
沈阳电力专科学校 王喜魁 合编

水利电力出版社

### 内 容 提 要

本书主要阐述了离心泵与风机和轴流泵与风机的基本理论和工作原理,较详细地讨论了设备的性能及工况调节,对泵与风机的造型、改造、噪声及其防治亦作了介绍。

本书为三年制大专电厂热能动力、集控运行专业的必修课教材,亦可作为有关专业的教材及工程技术人员的参考书。

### 高 等 学 校 教 材

专 科 适 用

### 泵 与 风 机

上 海 电 力 学 院 杨 诗 成  
沈 阳 电 力 专 科 学 校 王 喜 魁 合 编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 10.5印张 234千字 1插图

1990年10月第一版 1990年10月北京第一次印刷

印数 0001—8100 册

ISBN 7-120-01135-9/TK·183

定价2.20元

## 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

24 89102

# 目 录

## 前 言

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 概述 .....                 | 1   |
| 第一节 泵与风机在国民经济中的地位和作用 .....   | 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 .....                    | 6   |
| 第二章 离心泵与风机的基本原理 .....        | 7   |
| 第一节 离心泵与风机的工作原理 .....        | 7   |
| 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 .....       | 11  |
| 第四节 泵与风机实际扬程计算 .....         | 19  |
| 第五节 离心泵与风机的叶片型式 .....        | 24  |
| 思考题 .....                    | 27  |
| 习题 .....                     | 28  |
| 第三章 离心泵与风机的主要部件与整体结构 .....   | 29  |
| 第一节 离心泵主要部件与整体结构 .....       | 29  |
| 第二节 离心风机主要部件与整体结构 .....      | 47  |
| 思考题 .....                    | 52  |
| 第四章 泵与风机的性能 .....            | 53  |
| 第一节 功率与效率 .....              | 53  |
| 第二节 离心泵与风机的性能曲线 .....        | 61  |
| 第三节 叶轮结构参数对离心泵与风机性能的影响 ..... | 65  |
| 第四节 泵与风机的相似理论 .....          | 68  |
| 第五节 比转速 .....                | 72  |
| 第六节 泵与风机无因次性能曲线 .....        | 79  |
| 第七节 泵的汽蚀现象和提高抗汽蚀性能的措施 .....  | 82  |
| 思考题 .....                    | 101 |
| 习题 .....                     | 101 |
| 第五章 轴流泵与风机 .....             | 104 |
| 第一节 轴流泵与风机的特点 .....          | 104 |
| 第二节 轴流泵与风机的工作原理 .....        | 105 |
| 第三节 轴流泵与风机的主要部件及结构 .....     | 110 |
| 第四节 轴流泵与风机的性能曲线 .....        | 117 |
| 思考题 .....                    | 119 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 习题 .....                      | 120 |
| 第六章 泵与风机的调节与运行 .....          | 121 |
| 第一节 管路性能曲线和泵与风机的工作点 .....     | 121 |
| 第二节 泵与风机的调节 .....             | 123 |
| 第三节 泵或风机的联合工作 .....           | 130 |
| 第四节 泵与风机的运行 .....             | 132 |
| 第五节 泵与风机在非稳定工况下运行 .....       | 135 |
| 第六节 泵与风机的噪声及控制措施 .....        | 138 |
| 思考题 .....                     | 142 |
| 习题 .....                      | 142 |
| 第七章 泵与风机的选型与改进 .....          | 144 |
| 第一节 泵与风机的选型 .....             | 144 |
| 第二节 泵与风机的改进 .....             | 147 |
| 思考题 .....                     | 151 |
| 习题 .....                      | 151 |
| 附录 介绍几种泵和风机的水力模型与空气动力学图 ..... | 153 |
| 参考文献 .....                    | 161 |

# 第一章 概 述

## 第一节 泵与风机在国民经济中的地位 and 作用

泵与风机是一种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，需要泵作为输送液体的动力设备。

在人们的日常生活中，需要水泵向人们供应生活用水。冬季采暖系统的热热水循环，卫生设备的热水供应，亦需要热水泵不间断地工作。

在石油、化工部门，使用大量的多种类型的泵，用作输送油类的原料及成品，输送各种有腐蚀性的化工原料及成品。长距离的输油管路需要许多泵日以继夜地运转。

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。

还有，造纸厂输送纸浆，城市里排除积水，输送污水等亦都离不开泵。

输送各种气体的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、会议室等的通风降温……都得到了广泛地应用。

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。然而给水泵、凝结水泵与循环水泵则是火力发电厂中的主要水泵；送风机、引风机是火力发电厂中的重要

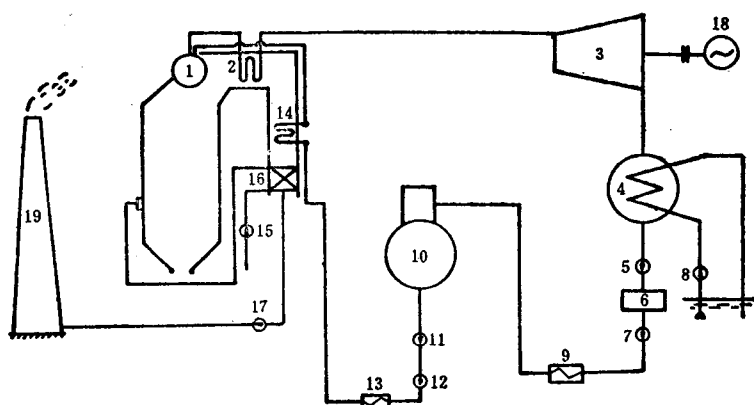


图 1-1 火力发电厂生产过程示意

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

辅助设备, 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。锅炉产生的水蒸汽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。前者常用  $Q$  表示单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ , 后者常用  $Q_m$  表示, 单位为  $\text{kg}/\text{s}$ 。

### 二、扬程(全压)

单位重量( $N$ )的液体在泵内所获得的能量称为扬程, 常用  $H$  表示, 单位为  $\text{m}$  或  $\text{Pa}$ 。

单位体积的气体在风机内所获得的能量称为全压或风压, 以  $p$  表示, 单位为  $\text{Pa}$ 。

### 三、功率

泵与风机的功率是指原动机传递给泵与风机转轴上的功率, 即是它们的输入功率, 又称轴功率, 以  $P$  表示, 单位为  $\text{kW}$ 。随着火力发电厂单元机组容量的增大, 泵与风机的容量亦相应增大。我国 300MW 汽轮发电机组配置两台半容量总功率为 1.1 万  $\text{kW}$  的给水泵。600MW 引进汽轮发电机组配置两台半容量总功率为 1.32 万  $\text{kW}$  的给水泵, 其效率为 82.5%。

### 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  $\text{r}/\text{min}$ 。

泵与风机的转速越高, 则它们所输送的流量与扬程(全压)亦越大。转速的增高可使叶轮级数减少, 泵轴缩短, 这样长而细的轴就可以转变成为短而粗的轴。短而粗的泵轴, 增强了它运转时的抗干扰性。同时泵轴缩短还可使轴的静挠度减小, 增加了运转的安全性。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, 而且亦能改善热冲击性。叶轮级数减少与直径减小, 能使泵的重量、体积大为降低。目前国外已普遍使用高转速的锅炉给水泵, 国内的锅



炉给水泵转速已达6000r/min左右。

### 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 $\eta$ 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。

### 六、汽蚀余量

泵的汽蚀余量是指单位重量（N）的液体从泵吸入口流至叶轮压力最低处的压力降落量，又称必需汽蚀余量，以 $\Delta h_s$ 表示。国外称此为净正吸入水头，记为[NPSH]。汽蚀余量是表示泵汽蚀性能的一个重要参数。

## 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分：

低压泵：压力在2MPa以下。

中压泵：压力为2～6 MPa。

高压泵：压力在6 MPa以上。

风机如按工作时产生的压力大小分：

通风机：风机产生的全压 $p < 14709\text{Pa}$ 时，称为通风机。

鼓风机：风机产生的全压在14709～196120Pa时，称为鼓风机。

压缩机：风机产生的全压 $p > 196120\text{Pa}$ 时，称为压缩机。

通风机按工作时产生的压力大小分：

低压离心通风机：通风机的全压 $p \leq 980.6\text{Pa}$ 。

中压离心通风机：通风机的全压 $p > 980.6\text{Pa}$ ，但 $p \leq 2941.8\text{Pa}$ 。

高压离心通风机：通风机的全压 $p > 2941.8\text{Pa}$ ，但 $p < 14709\text{Pa}$ 。

低压轴流通风机：通风机的全压 $p \leq 490.3\text{Pa}$ 。

高压轴流通风机：通风机的全压 $p > 490.3\text{Pa}$ ，但 $p < 4903\text{Pa}$ 。

泵与风机如按工作原理分：

### 一、叶片式

叶片式泵与叶片式风机都有叶轮。同时叶片式又有离心式、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，并利用旋转叶轮产生离心力来输送，或提高其扬程。图1-2为单级单吸离心泵，图1-3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，并借旋转叶轮产生升力来输送，或提高其扬程。轴流泵或轴流风机所输送的流体流量比离心式大，但扬程（全压）要比离心式低。图1-4为双级轴流风机。

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。

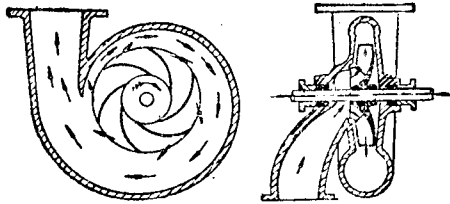


图 1-2 单级单吸离心泵

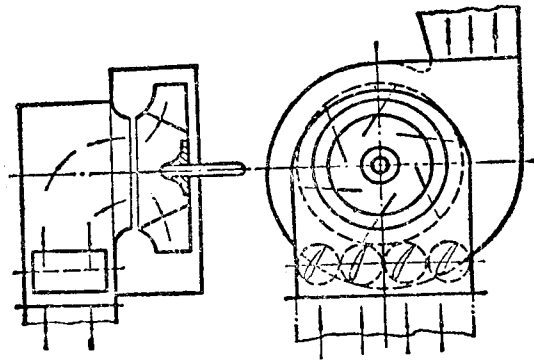


图 1-3 离心风机

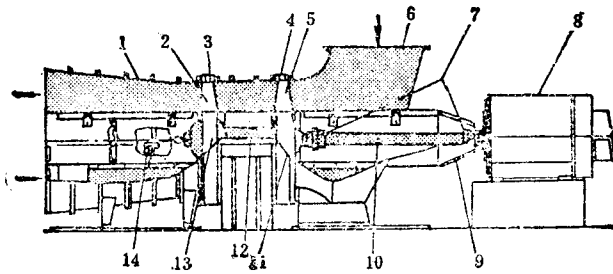


图 1-4 双级轴流风机

1—扩压器；2、5—叶片；3、4—叶轮的外壳；6—进气箱；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

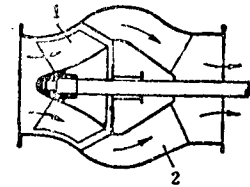


图 1-5 导叶式混流泵

1—叶片；2—导叶

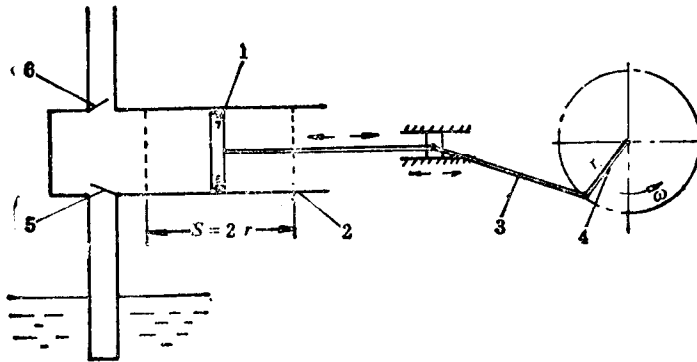


图 1-6 活塞泵

1—活塞；2—泵缸；3—连杆；4—曲柄；5—吸水阀；6—出水阀

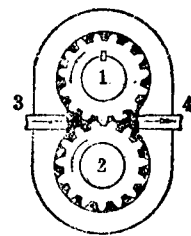


图 1-7 齿轮泵

1—主动齿轮；2—从动齿轮；3—吸入管；4—压出管

图1-5为导叶式混流泵。

## 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。高压液体冲开出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。

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。旋转的齿轮将从吸入管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1-8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，达到减小气体容积增高压力的目的。

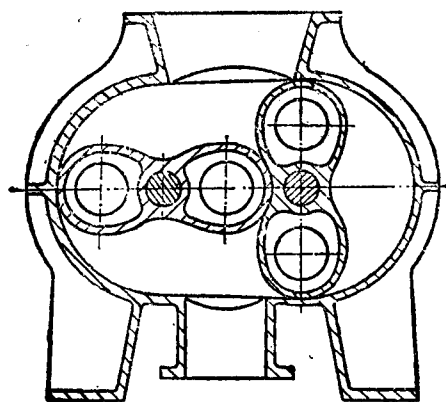


图 1-8 罗茨鼓风机

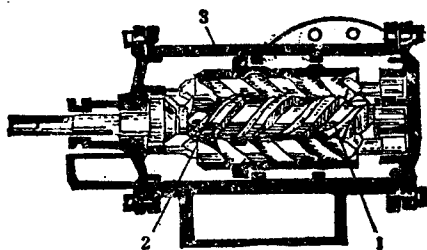


图 1-9 三螺杆泵

1—主动螺杆；2—从动螺杆；3—泵壳

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。

### 三、其它

除了叶片式及容积式泵与风机外，还有喷射泵及水环式真空泵等。

图1-10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，提高离心泵入口的液体压力。

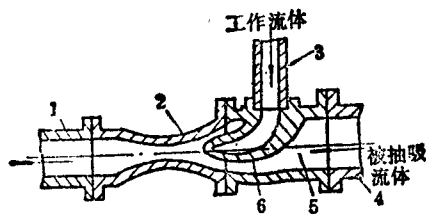


图 1-10 喷射泵

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

### 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。

## 第二章 离心泵与风机的基本原理

### 第一节 离心泵与风机的工作原理

离心泵与风机的叶轮旋转时带动流体一起旋转，流体产生离心力并获得能量。

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 $\omega$ 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。

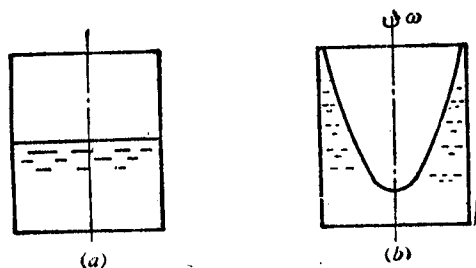


图 2-1 离心泵工作原理

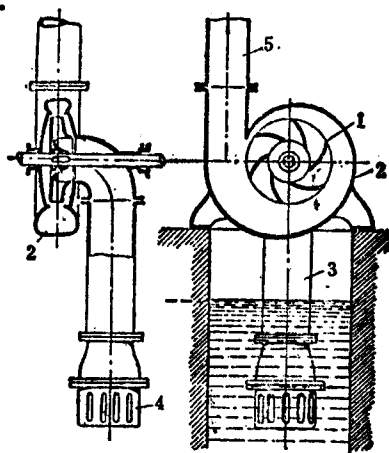


图 2-2 离心式水泵

1—叶轮；2—泵壳；3—吸水管路；4—滤网；5—压力管路

以上就是离心泵与风机的工作原理。所不同的是，泵与风机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，叶轮内流体产生离心力，被压出与吸入。图2-2所示离心式水泵，叶轮1旋转后，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。叶轮内的液体，获得了叶轮给予的能量，向压力管路流去。

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。其质量  $dm$  为

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

式中  $\rho$  ——流体的密度， $\text{kg/m}^3$ 。

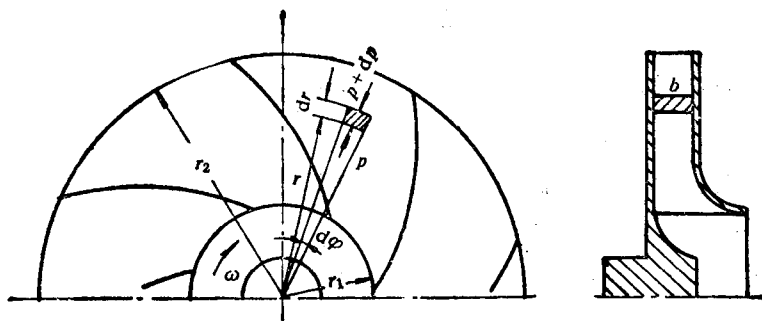


图 2-3 离心式叶轮

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

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

离心力  $dF$  所作用的面积为

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

作用在微团外缘表面单位面积上的离心力  $df$  为

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

单位面积上的离心力  $df$ ，其值恰好与径向压力差  $dp$  相等，即

$$dp = \rho r \omega^2 dr$$

倘若流体是不可压缩的，则叶轮外径与内径处的压力差为

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

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} (u_2^2 - u_1^2) \quad (2-1)$$

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的压力差与叶轮旋转角速度  $\omega$  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

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

图2-4所示为叶轮内流体的运动。流体在叶轮内的复合运动用速度三角形来表示。图2-5为叶轮流道进口与出口处的速度三角形。下角标“1”表示叶轮叶片进口处的流体速度，下角标“2”表示叶轮出口处的流体速度。绝对速度 $v$ 与圆周速度 $u$ 间的夹角用 $\alpha$ 表示，相对速度 $w$ 与圆周速度反方向的夹角用 $\beta$ 表示。绝对速度在圆周方向上的分量，称为圆周分速 $v_u$ 。绝对速度在轴面（经过泵与风机的轴心线所作的平面）上的投影，称为轴面速度 $v_m$ 。

叶轮进、出口处的圆周分速，

$$v_{1u} = v_1 \cos \alpha_1 \quad (2-4)$$

$$v_{2u} = v_2 \cos \alpha_2 \quad (2-5)$$

叶轮进、出口处的轴面速度，

$$v_{1m} = v_1 \sin \alpha_1 \quad (2-6)$$

$$v_{2m} = v_2 \sin \alpha_2 \quad (2-7)$$

绘制速度三角形，只需知道三个条件即可作出。

### 1. 圆周速度

叶轮内任意点的圆周速度方向与所在点的圆周相切，其值由下式计算，

$$u = \frac{\pi D n}{60} \quad \text{m/s} \quad (2-8)$$

式中  $n$ ——轴的转速，r/min，

$D$ ——所求点的直径，m。

### 2. 轴面速度

根据连续性方程，轴面速度为

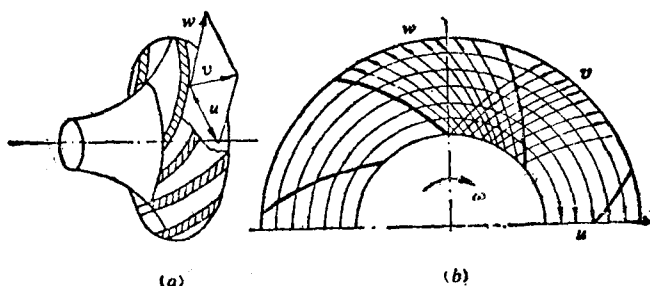


图 2-4 叶轮内流体的运动  
(a)流面；(b)流线

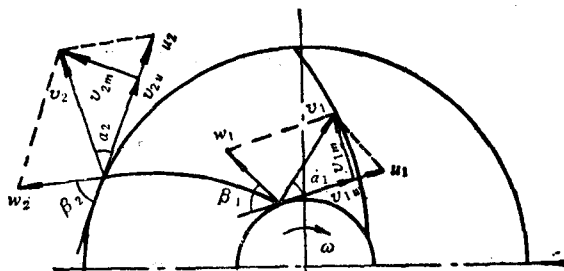


图 2-5 速度三角形

$$v_m = \frac{Q_r}{A} \quad \text{m/s} \quad (2-9)$$

式中  $Q_r$ ——流体经过叶轮的流量，它等于泵或风机实际输送的流量加上流体在泵或风机中的泄漏量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$A$ ——与轴面速度垂直的过流断面面积， $\text{m}^2$ 。

过流断面是一个回转曲面。这个曲面与所有在此曲面上的流体轴面速度相垂直。对于低比转速的叶轮可以近似认为，它是以流道内切圆的直径  $b$  为母线，绕轴心线回转一周所形成的曲面，如图2-6所示。

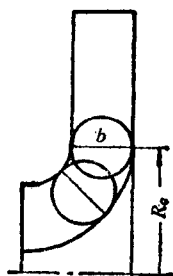


图 2-6 过流断面

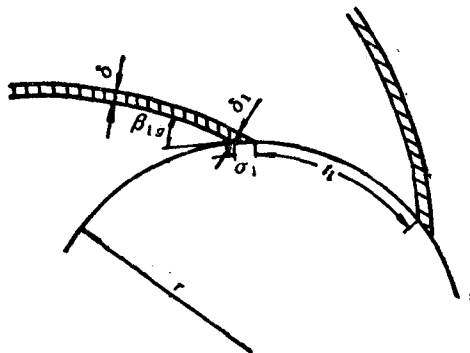


图 2-7 排挤系数

$$A = 2\pi R_e b - Z\sigma b \quad \text{m}^2 \quad (2-10)$$

式中  $R_e$ ——流道内切圆圆心距轴心线的距离， $\text{m}$ ；

$b$ ——流道内切圆的直径， $\text{m}$ ；

$Z$ ——叶片数；

$\sigma$ ——叶片在圆周方向上的厚度， $\text{m}$ 。

由图2-7知

$$\sigma = \delta / \sin \beta_s \quad (2-11)$$

式中  $\delta$ ——叶片厚度， $\text{m}$ ；

$\beta_s$ ——叶片的几何角。

在叶轮出口与进口处，叶片在圆周方向上的厚度分别为

$$\sigma_1 = \delta_1 / \sin \beta_{1s} \quad (2-12)$$

$$\sigma_2 = \delta_2 / \sin \beta_{2s}$$

式中  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ ——叶轮进、出口处叶片的厚度， $\text{m}$ ；

$\beta_{1s}$ 、 $\beta_{2s}$ ——叶片在叶轮进、出口处的几何角。

由式(2-10)得

$$A = 2\pi R_e b \left( 1 - \frac{Z\sigma}{2\pi R_e} \right) = 2\pi R_e b \psi \quad (2-13)$$

式中  $\psi$ ——排挤系数， $\psi = (2\pi R_e - Z\sigma) / (2\pi R_e)$ 。

排挤系数是叶片厚度对流道过流断面的排挤程度。



### 3. 相对速度的方向或 $\beta$ 角

有了  $u$ 、 $v_m$  及  $\beta$  后, 就可按一定比例绘制速度三角形。

【例 2-1】离心式水泵叶轮进口宽度  $b_1=3.2\text{cm}$ , 出口宽度  $b_2=1.7\text{cm}$ , 叶轮叶片进口直径  $D_1=17\text{cm}$ , 叶轮出口直径  $D_2=38\text{cm}$ , 叶片进口几何角 (安装角)  $\beta_{1s}=18^\circ$ , 叶片出口几何角  $\beta_{2s}=22.5^\circ$ 。倘若液体径向流入叶轮, 在泵转速  $n=1450\text{r/min}$  时, 液体在流道中的流动与叶片弯曲方向一致, 试绘制叶轮进、出口速度三角形, 并求叶轮中通过的流量  $Q_T$  (不计叶片厚度)。

解 叶轮叶片进、出口的圆周速度为

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{\pi \times 0.17 \times 1450}{60} = 12.9 (\text{m/s})$$

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{\pi \times 0.38 \times 1450}{60} = 28.9 (\text{m/s})$$

根据进口圆周速度  $u_1$  及液体在叶片进口的流入角  $\beta_1$  (因为流入角  $\beta_1$  等于叶片进口几何角为  $18^\circ$ ) , 作叶片进口速度三角形。取比例尺为  $1\text{cm}$  长度相当于  $2.6\text{m/s}$  的速度, 得进口速度三角形如图 2-8(a) 所示。由进口速度三角形得

$$v_1 = v_{1m} = u_1 \tan \beta_{1s} = 12.9 \times 0.3249 = 4.19 (\text{m/s})$$

$$Q_T = \pi D_1 b_1 v_{1m} = \pi \times 0.17 \times 0.032 \times 4.19 = 0.072 (\text{m}^3/\text{s})$$

出口速度三角形中的轴面速度  $v_{2m}$  为

$$v_{2m} = \frac{Q_T}{\pi D_2 b_2} = \frac{0.072}{\pi \times 0.38 \times 0.017} = 3.55 (\text{m/s})$$

根据  $v_{2m}$ 、 $\beta_{2s}$  及  $u_2$  绘制出口速度三角形, 如图 2-8(b) 所示。

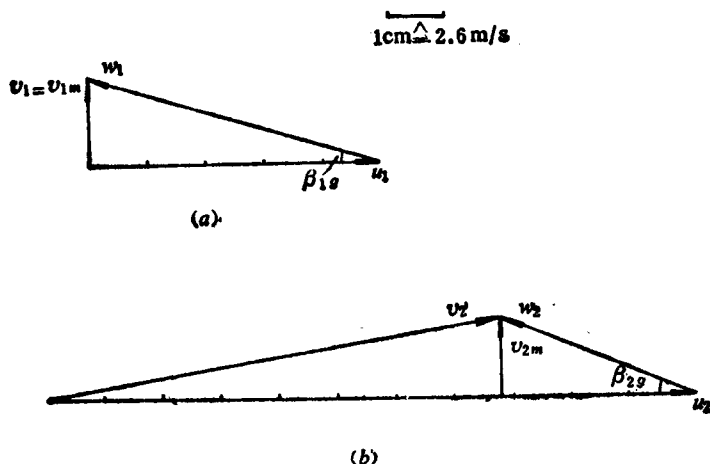


图 2-8 (例 2-1)

### 第三节 离心泵与风机的基本方程式

流体进入叶轮后, 通过叶片流道流出叶轮。流体在叶轮内的流动过程中, 旋转的叶片