

ZHONGGAOYA BIANPINQI
ZAI SHUINI HANGYEZHONG DE YUNYONG



中高压变频器 在水泥行业中的运用

唐英伟 · 主编

中国建材工业出版社

中高压变频器在水泥 行业中的运用

唐英伟 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中高压变频器在水泥行业中的运用 / 唐英伟主编

· 一北京: 中国建材工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-5160-0019-9

I. ①中… II. ①唐… III. ①变频器—应用—水泥工业 IV. ①TQ172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 225032 号

内 容 简 介

本书内容为中高压变频器在水泥行业中的运用, 全书共分为五章, 对中高压变频器的发展历史、工作原理、工艺特点以及变频改造的方案设计等进行了阐述, 并配有改造案例分析, 内容较为全面。

中高压变频器在水泥行业中的运用

唐英伟 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 4.5

字 数: 110 千字

版 次: 2012 年 1 月第 1 版

印 次: 2012 年 1 月第 1 次

定 价: 15.00 元

本社网址: www.jcbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

本书编委会

主 编：唐英伟

副 主 编：姜新宇 石凤桐 高亚斌

参编人员：李丽莉 黄灿辉 刘晓亮

前 言

节约能源是我国的基本国策，国家制定了“节能中长期专项规划”，为落实此规划目标，国家发改委最近启动了十大重点节能工程，节能工程包括节约和替代石油、燃煤工业（窑炉）改造、区域热电联产、余热余压利用、电机系统节能、能量系统优化、建筑节能、绿色照明、政府机构节能以及节能监测和技术服务体系建设工程等。作为耗能大户的水泥行业是国家宏观调控的重点，也是节能的重点行业。在“十一五”期间，国家十大重点节能工程中和水泥行业有关的有：燃煤工业（窑炉）改造、余热余压利用、电机系统节能、能量系统优化等项。通过实施专项规划，水泥单位产品综合能耗要求下降 20%，生产每吨水泥的综合电耗控制在 $100\text{kW}\cdot\text{h}$ 内，如按我国水泥年产 12 亿 t 计算，如达到节能指标，则每年可节约数百万吨标煤，节电两百多亿度，并且可使废气排放量降低，有利于保护环境，同时也降低了企业成本。

电能是各种能源中最为经济实用、清洁方便，且容易传输、控制和转换的能源，电气节能技术推广将有助于显著减少一次能源的消耗和环境污染。

水泥厂电气节能的途径就是要从电网开始，在供、配、用电的各环节上挖掘节电的潜力，其中有：线路和变压器的节能，尽量降低供电系统的损耗；电机系统的节能，采用高效的传动系统，提高电动机系统的效率；大力推广“绿色照明工程”，使用高效节能电光源；低温废气的余热综合利用，实现纯低温余热发电和供热工程；在运行过程中，还要对整个电网实施在运行管理技术上的节能技术。

以一条日产 5000t 新型干法水泥熟料生产线为例，主要用电贯穿石灰石矿山，石灰石皮带运输，一直到水泥散装发运为止的主生产流程，以及空压机、水泵站、水处理、厂前区、机电维修等辅助流程，整条生产线总装机容量约为 38MW，设计计算负荷约 26MW，如功率因数 $\cos\phi$ 以 0.92 计算，视在容量则约 $28\text{MV}\cdot\text{A}$ ，为此水泥工厂一般设置总降压变电站，选用一台容量为 $31.5\text{MV}\cdot\text{A}$ 的主变压器，如双电源进线，则用两台 $16\text{MV}\cdot\text{A}$ 变压器。由于每条水泥熟料生产线接入的电网和工艺状况不同，上述数据和配置只是一个实例。另据综合信息，一座日产 5000t 熟料水泥厂共有电机约 700 台，双向运转电机约为 15 台，阀门数量约为 80 个，其中电动控制阀门为 70 台左右，还有其他用电设备等约 300 台组。由总降压变电站接入的电能，必须经由若干个开关站和马达控制中心组成的供配电系统才能输送到各用电设备。

目 录

第一章 水泥厂风机、水泵调速节能运行的技术经济分析	1
一、电动机介绍	1
二、风机与泵的介绍	3
三、泵与风机的运行工况点	10
四、风机（泵）的节能计算	11
五、调速节能原理说明	16
六、各种调速方式的理论分析	18
第二章 中高压变频器的分类和比较	27
一、中高压变频器需解决的问题	27
二、主电路结构分析	28
三、中高压变频器的构成、质量与可靠性	32
第三章 水泥厂各种中高压电机的节能改造方案	35
一、水泥行业生产现状与特点	35
二、水泥行业中高压电机设计选型原则	35
三、现有水泥生产线高压电机控制方案	35
四、高压变频应用于高压电动机调速的方案设计	37
第四章 中高压变频调速系统的性能测试及节能效益的评估	39
一、一般性检验	39
二、功能性检查	40
第五章 改造案例分析	45
一、ZINVERT 高压变频在三狮水泥新型干法线高温风机上的应用	45
二、山西新绛水泥窑尾高温风机变频节能总结	48
三、ZINVERT 系列高压变频调速系统在浙江金圆控股集团变频应用介绍	50
四、华润（平南）水泥磨循环风机变频节能总结	52
五、ZINVERT 系列高压变频调速系统在煤山众胜水泥风机变频改造节能总结	55
六、ZINVERT 高压变频调速系统在浙江科华集团水泥生产线风机变频改造	57
七、ZINVERT 系列高压变频调速系统在水泥旋窑高温风机的应用	59
八、中利达集团中开源水泥有限公司水泥磨循环风机变频改造	62
九、长沙印山台水泥厂 2500t 水泥生产线高温风机变频改造节能应用	63

第一章 水泥厂风机、水泵调速节能运行的技术经济分析

一、电动机介绍

1. 一般工业用电动机的分类

按电能种类分为：直流电动机和交流电动机。交流电动机按照转速与电网电源频率之间关系分类可分为：同步电动机与异步电动机。

交流异步电动机按照转子结构分为：鼠笼式异步电动机、绕线式异步电动机。

2. 最常见的交流异步电动机的组成及工作原理

电动机主要由两部分组成：固定部分称为定子，旋转部分称为转子。另外还有端盖、风扇、罩壳、机座、接线盒等。

定子的作用是用来产生磁场和作电动机的机械支撑。电动机的定子由定子铁芯、定子绕组和机座三部分组成。定子绕组镶嵌在定子铁芯中，通过电流时产生感应电动势，实现电能量转换。机座的作用主要是固定和支撑定子铁芯。电动机运行时，因内部损耗而发生的热量通过铁芯传给机座，再由机座表面散发到周围空气中。为了增加散热面积，一般电动机在机座外表面设计为散热片状。

电动机的转子由转子铁芯、转子绕组和转轴组成。转子铁芯也是作为电动机磁路的一部分。转子绕组的作用是感应电动势，通过电流而产生电磁转矩。转轴是支撑转子的重量，传递转矩，输出机械功率的主要部件。

电动机的工作原理是建立在电磁感应定律、全电流定律、电路定律和电磁力定律等基础上的。当磁极沿顺时针方向旋转，磁极的磁力线切割转子导条，导条中就产生感应电动势。电动势的方向由右手定则来确定。因为运动是相对的，假如磁极不动，转子导条沿逆时针方向旋转，则导条中同样也能产生出感应电动势。在电动势的作用下，闭合的导条中就产生电流。该电流与旋转磁极的磁场相互作用，而使转子导条受到电磁力 F 的作用，电磁力的方向可用左手定则确定。由电磁力进而产生电磁转矩，转子就转动起来。

3. 电动机工作特性

异步电动机的工作特性是指电动机在额定频率和额定电压工作时，电动机的转差率、转矩电流、效率、功率因数等物理量随输出功率变化的关系曲线。

举例如图 1-1 所示：

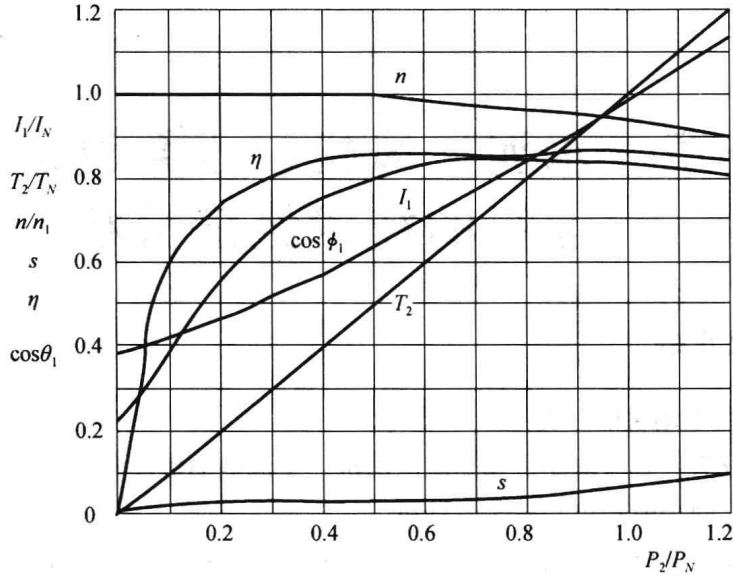


图 1-1 电动机工作特性关系曲线

(1) 转速 (n)、转差率 (s) 特性

转速的变换范围很小，从空载到满载，转速略有下降。随着负载功率的增加，转子电流增大，故转差率随输出功率增大而增大。

(2) 输出转矩 (T_2) 特性

在转速变化不大的情况下，异步电动机的输出转矩随输出功率增大而增大，近似成正比的转矩曲线为一个上翘的曲线（近似直线）。

(3) 电流 (I) 特性

空载时电流很小，随着负载电流增大，电机的输入电流增大。

(4) 效率 (η) 特性

其中铜耗随着负载的变化而变化（与负载电流的平方成正比）；

铁耗和机械损耗近似不变；

效率曲线有最大值，可变损耗等于不变损耗时，电机达到最大效率。

异步电动机额定效率一般在 74% ~ 94% 之间；最大效率发生在 0.7 ~ 1.0 倍额定功率处。

(5) 功率因数 (\cos) 特性

空载时，定子电流基本上用来产生主磁通，有功功率很小，功率因数也很低；随着负载电流增大，输入电流中的有功分量也增大，功率因数逐渐升高；在额定功率附近，功率因数达到最大值。如果负载继续增大，则导致转子漏电抗增大（漏电抗与频率成正比）；从而引起功率因数下降。

4. 三相电动机输出功率 (P) 计算

$$P = 1.732 \times U \times I \times \eta \times \cos \phi$$

U : 输入电压; I : 输入电流; η : 效率; $\cos \phi$: 功率因数。

5. 异步电动机转速计算公式

$$n = 60f(1 - s)/p$$

n : 电动机转速; f : 电网频率; S : 异步电机转差率; p : 电动机极对数。

6. 电动机损耗构成

$$\text{电机损耗} = \text{铁耗} + \text{铜耗} + \text{机械损耗} + \text{杂散损耗}$$

7. 电能质量对电机损耗的影响

1) 电网频率影响: 电网频率下降, 总损耗增加;

2) 电压变动对损耗影响: 运行电压下降铁耗按电压平方成正比减少, 铜耗对于恒转矩负载与电压平方成反比上升, 对于风机水泵负载, 铜耗下降, 杂散损耗下降。

3) 谐波对损耗影响: 杂散损耗剧增。

4) 三相电压不平衡: 电机总损耗增加, 资料表明, 有 3.5% 不平衡电压加载于电动机上, 会使得总损耗增加 20%, 效率下降 3% ~ 4%。

8. 电动机主要运行参数

1) 效率: $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$

P_1 : 电动机有功输入功率; P_2 : 电动机有功输出功率。

2) 功率因数 $\cos \phi = \frac{P_1}{S}$

3) 负荷率 $\beta = \frac{P_2}{P_N} \times 100\%$

P_N : 电动机额定功率; P_2 : 电动机实际有功输出功率。

二、风机与泵的介绍

1. 泵与风机的基本性能参数

泵与风机的基本性能参数主要有: 流量 Q 、能头 (扬程 H 或全压 p)、轴功率 P_{sh} 、有效功率 P_e 、效率 η 和转速 n 等。

(1) 流量:

泵与风机在单位时间内所输送的流量, 通常用体积流量 Q 表示, 单位为 m^3/s , m^3/h 。

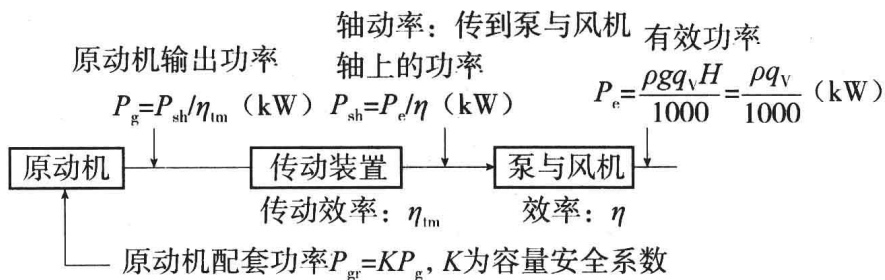
(2) 压力 (能头、压头):

单位重力或单位体积流体通过泵或风机所获得的机械能:

对于水泵: 通常用扬程 H 表示, 单位为 m ;

对于风机: 通常用全压 p 表示, 单位为 Pa 。

(3) 功率和效率:

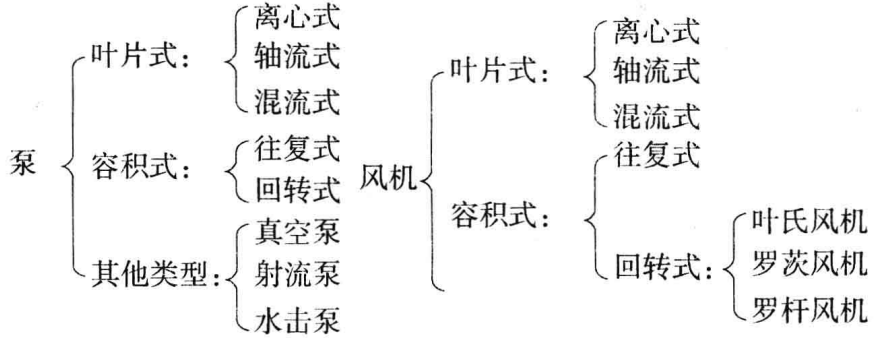


(4) 转速：泵与风机轴每分钟的转数，通常用 n 表示，单位为 r/min （即 rpm ）。

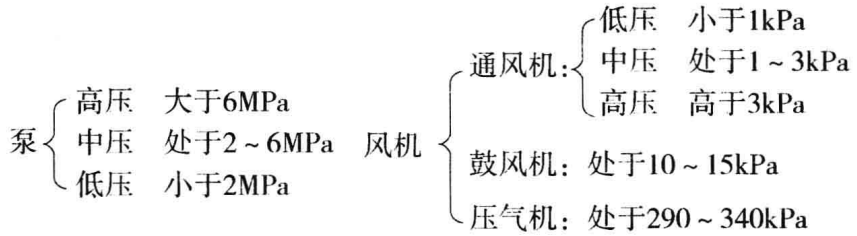
2. 泵与风机的分类及工作原理

1) 泵与风机的分类

按工作原理分：



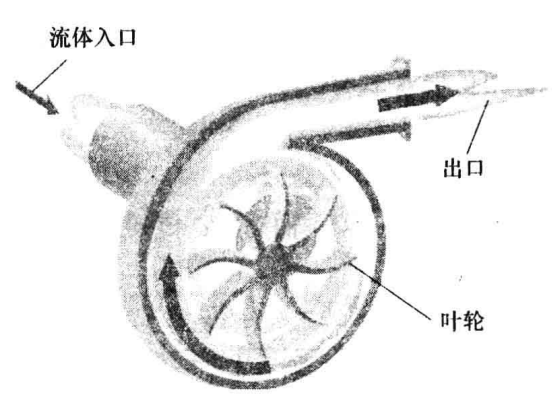
按压力分：

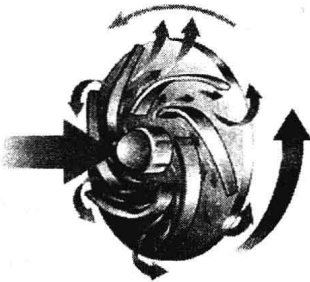
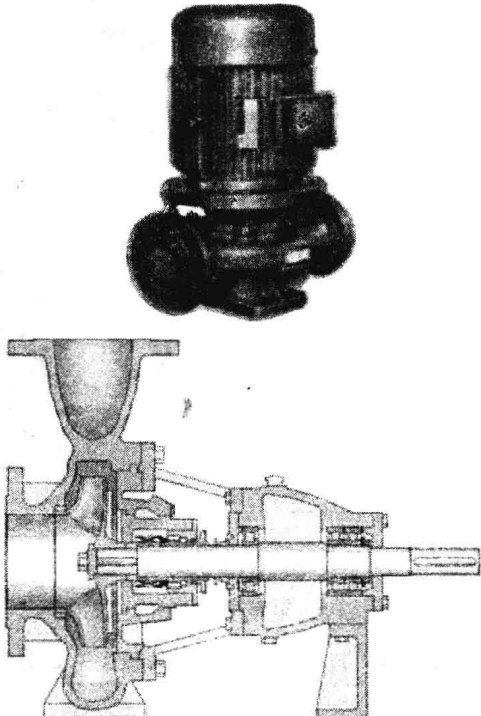


(2) 工作原理

1) 离心式泵与风机的工作原理，见表 1-1。

表 1-1 离心式泵与风机的工作原理

工作原理	<p>叶轮高速旋转时产生的离心力使流体获得能量，即流体通过叶轮后，压能和动能都得到提高，从而能够被输送到高处或远处。叶轮装在一个螺旋形的外壳内，当叶轮旋转时，流体轴向流入，然后转 90° 进入叶轮流道并径向流出。叶轮连续旋转，在叶轮入口处不断形成真空，从而使流体连续不断地被泵吸入和排出。</p>
图样表现	

<p>图样表现</p>	
<p>总体结构</p>	

2) 轴流式泵与风机的工作原理, 见表 1-2。

表 1-2 轴流式泵与风机工作原理

<p>工作原理</p>	<p>旋转叶片的挤压推进力使流体获得能量, 升高其压能和动能, 叶轮安装在圆筒形 (风机为圆锥形) 泵壳内, 当叶轮旋转时, 流体轴向流入, 在叶片叶道内获得能量后, 沿轴向流出。轴流式泵与风机适用于大流量、低压力系统, 制冷系统中常用作循环水泵及送引风机。</p>
<p>图样表现</p>	

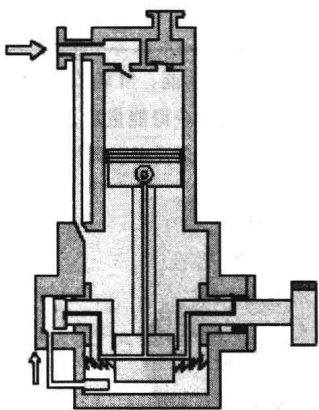
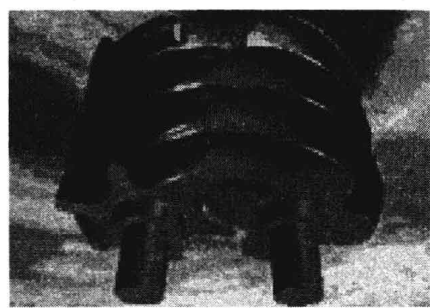
3) 混流式（斜流式）泵与风机的工作特点，见表 1-3。

表 1-3 混流式（斜流式）泵与风机的工作特点

<p>工作特点</p>	<p>和离心式泵与风机相比，混流式泵与风机流量较大、能头较低；但和轴流式泵与风机相比，混流式（斜流式）泵与风机流量较小、能头较高。从性能上看，它是介于离心式和轴流式之间的一种泵与风机。而其叶轮形状和工作原理也都具有两者的特点。</p>	
<p>图样表现</p>		

4) 容积式（又称定排量式）泵与风机的工作原理，见表 1-4。

表 1-4 容积式（又称定排量式）泵与风机的工作原理

分类	往复式	回转式
<p>基本原理</p>	<p>借活塞在汽缸内的往复作用使缸内容积反复变化，以吸入和排出流体</p>	<p>机壳内的转子或转动部件旋转时，转子与机壳之间的工作容积发生变化，借以吸入和排出流体</p>
<p>图样表现</p>		
<p>产品例证</p>	<p>活塞泵</p>	<p>齿轮泵，螺杆泵</p>

通过工作室容积周期性变化而实现输送流体的泵与风机。根据机械运动方式的不同还可分为往复式和回转式。

5) 其他类型的泵与风机工作原理。

无法归入前面两大类的泵与风机。这类泵与风机主要特点是利用具有较高能量的工作流体来输送能量较低的流体。例如，液环泵、射流泵等。

①往复泵的工作原理，见表 1-5。

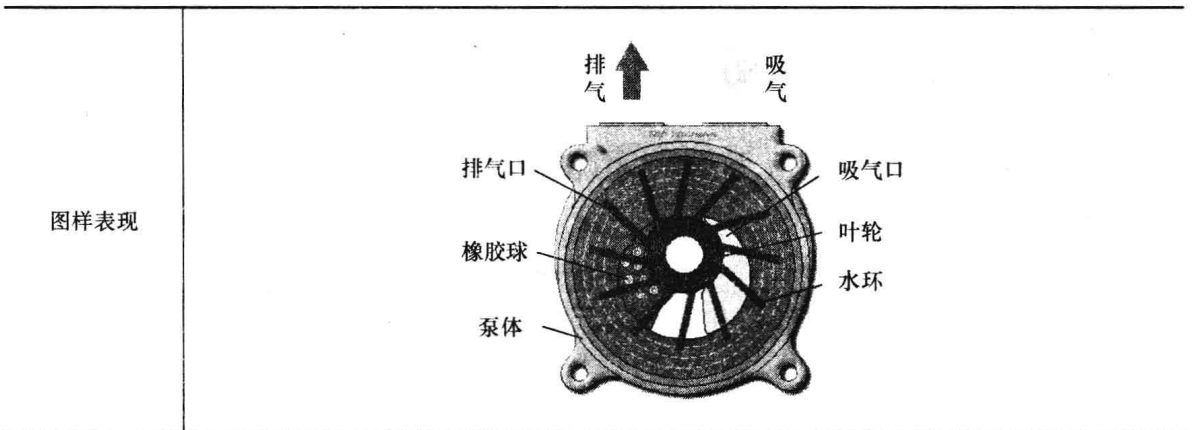
表 1-5 往复泵的工作原理

工作原理	利用偏心轴的转动通过连杆装置带动活塞的运动，将轴的圆周转动转化为活塞的往复运动。活塞不断往复运动，泵的吸水与压水过程就连续不断地交替进行。
图样表现	
特殊结构示例	

②水环式真空泵的工作原理，见表 1-6。

表 1-6 水环式真空泵的工作原理

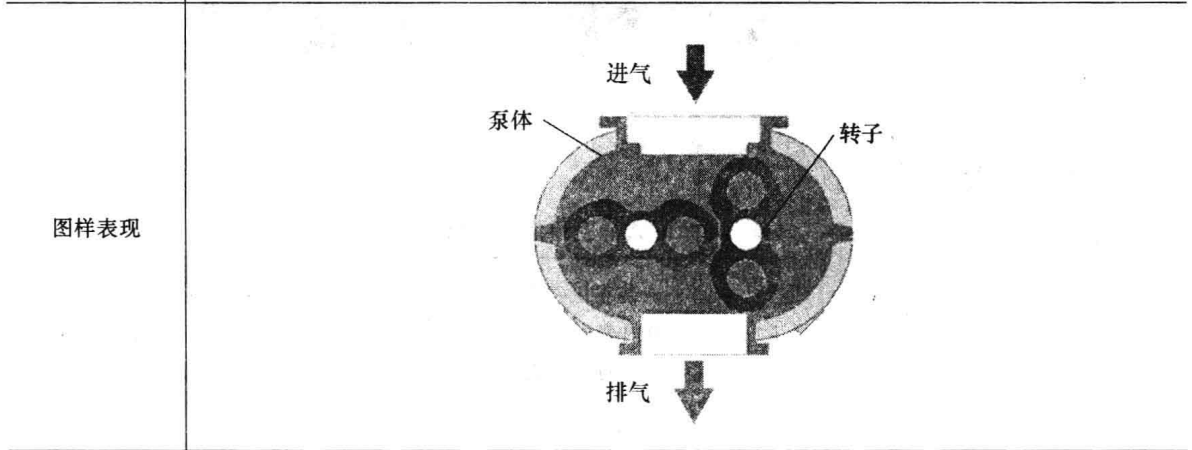
工作原理	水环式真空泵叶片的叶轮偏心心地装在圆柱形泵壳内。泵内注入一定量的水。叶轮旋转时，将水甩至泵壳形成一个水环，环的内表面与叶轮轮毂相切。由于泵壳与叶轮不同心，右半轮毂与水环间的进气空间逐渐扩大，从而形成真空，使气体经进气管进入泵内进气空间。随后气体进入左半部，由于毂环之间容积被逐渐压缩而增高了压强，于是气体经排气空间及排气管被排至泵外。
------	---



③罗茨真空泵的工作原理，见表 1-7。

表 1-7 罗茨真空泵的工作原理

工作原理	<p>罗茨泵的工作原理与罗茨鼓风机相似。由于转子的不断旋转，被抽气体从进气口吸入到转子与泵壳之间的空间内，再经排气口排出。由于吸气后空间是全封闭状态，所以，在泵腔内气体没有压缩和膨胀。但当转子顶部转过排气口边缘，空间与排气侧相通时，由于排气侧气体压强较高，则有一部分气体返冲到空间中去，使气体压强突然增高。当转子继续转动时，气体排出泵外。一般来说，罗茨泵具有以下特点：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 在较宽的压强范围内有较大的抽速； • 启动快，能立即工作； • 对被抽气体中含有的灰尘和水蒸气不敏感； • 转子不必润滑，泵腔内无油； • 振动小，转子动平衡条件较好，没有排气阀； • 驱动功率小，机械摩擦损失小； • 结构紧凑，占地面积小； • 运转维护费用低。 <p>因此，罗茨泵在冶金、石油化工、造纸、食品、电子工业部门得到广泛的应用。</p>
------	---



④旋片式真空泵的工作原理，见表 1-8。

表 1-8 旋片式真空泵的工作原理

<p>工作原理</p>	<p>旋片式真空泵（简称旋片泵）是一种油封式机械真空泵。其工作压强范围为：$101325 \sim 1.33 \times 10^{-2}$ (Pa) 属于低真空泵。它可以单独使用，也可以作为其他高真空泵或超高真空泵的前级泵。它已广泛地应用于冶金、机械、军工、电子、化工、轻工、石油及医药等生产和科研部门。</p> <p>旋片泵主要由泵体、转子、旋片、端盖、弹簧等组成。在旋片泵的腔内偏心地安装一个转子，转子外圆与泵腔内表面相切（二者有很小的间隙），转子槽内装有带弹簧的二个旋片。旋转时，靠离心力和弹簧的张力使旋片顶端与泵腔的内壁保持接触，转子旋转带动旋片沿泵腔内壁滑动。</p> <p>两个旋片把转子、泵腔和两个端盖所围成的月牙形空间分隔成 A、B、C 三部分。当转子按箭头方向旋转时，与吸气口相通的空间 A 的容积是逐渐增大的，正处于吸气过程。而与排气口相通的空间 C 的容积是逐渐缩小的，正处于排气过程。居中的空间 B 的容积也是逐渐减小的，正处于压缩过程。由于空间 A 的容积逐渐增大（即膨胀），气体压强降低，泵的人口处外部气体压强大于空间 A 内的压强，因此将气体吸入。当空间 A 与吸气口隔绝时，即转至空间 B 的位置，气体开始被压缩，容积逐渐缩小，最后与排气口相通。当被压缩气体超过排气压强时，排气阀被压缩气体推开，气体穿过油箱内的油层排至大气中。由泵的不断运转，达到连续抽气的目的。如果排出的气体通过气道而转入另一级（低真空级），由低真空级抽走，再经低真空级压缩后排至大气中，即组成了双级泵。这时总的压缩比由两级来负担，因而提高了极限真空度。</p>
<p>图样表现</p>	

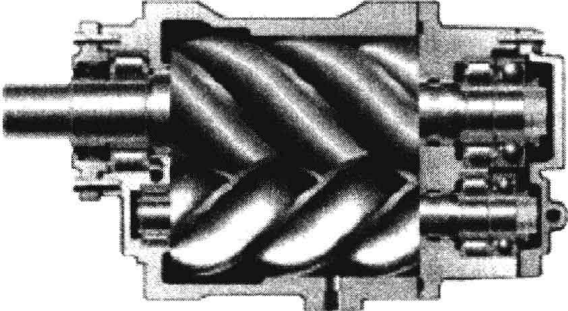
⑤ 齿轮泵的工作原理，见表 1-9。

表 1-9 齿轮泵的工作原理

<p>工作原理</p>	<p>齿轮泵具有一对互相啮合的齿轮，如图所示，齿轮主动轮固定在主动轴上，轴的一端伸出壳外由原动机驱动，另一个齿轮从动轮装在另一个轴上，齿轮旋转时，液体沿吸油管进入到吸入空间，沿上下壳壁被两个齿轮分别挤压到排出空间汇合（齿与齿啮合前），然后进入压油管排出。</p>
<p>图样表现</p>	

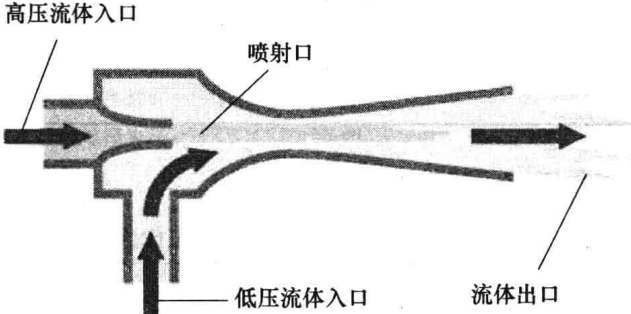
⑥ 螺杆泵的工作原理，见表 1-10。

表 1-10 螺杆泵的工作原理

<p>工作原理</p>	<p>螺杆泵是一种利用螺杆相互啮合来吸入和排出液体的回转式泵。螺杆泵的转子由主动螺杆（可以是一根，也可有两根或三根）和从动螺杆组成。主动螺杆与从动螺杆做相反方向转动，螺纹相互啮合，流体从吸入口进入，被螺旋轴向前推进增压至排出口。此泵适用于高压、小流量。制冷系统中常用作输送轴承润滑油及调速器用油的油泵。</p>
<p>图样表现</p>	

⑦喷射泵的工作原理，见表 1-11。

表 1-11 喷射泵的工作原理

<p>工作原理</p>	<p>将高压的工作流体由压力管送入工作喷嘴，经喷嘴后压能变成高速动能，将喷嘴外围的液体（或气体）带走。此时因喷嘴出口形成高速使扩散室的喉部吸入室造成真空，从而使被抽吸流体不断进入与工作流体混合，然后通过扩散室将压力稍升高输送出去。由于工作流体连续喷射，吸入室继续保持真空，于是得以不断地抽吸和排出流体。工作流体可以为高压蒸汽，也可为高压水，前者称为蒸汽喷射泵，后者称为射水抽气器。这种泵在制冷系统中较为少见。</p>
<p>图样表现</p>	

上述类型的泵与风机中，用途最广泛的是叶片式泵与风机。这是因为，与其他类型相比，叶片式泵与风机具有效率高、性能可靠、容易调节等优点，特别是可以制成各种能头及流量的泵与风机以满足不同的需求。

三、泵与风机的运行工况点

泵与风机性能曲线直观地表征了其性能，常用的有 $Q-H$ 、 $Q-\eta$ 、 $Q-P$ 几种，管网特征曲线是管路系统能头与通过管路中流体流量的关系曲线。

对于泵： $H = H_{st} + kQ^2$ ，其中， H_{st} 称为管路系统的静能头（也称静扬程、静压力）。供水系统的静扬程 H_{st} ，即供水母管的最小压力（水泵在静扬程下消耗的功率称为空载功率：在流量为零时，水泵所消耗的最大功率）。十分明显的是，静扬程越高，空载功率所占的比

例越大，调速范围越小，调节转速的节能效果就越差。静扬程可由水泵进水口和出水口的落差形成，也可由管网阻力曲线形成，也可由用户要求的供水压力来决定。（如锅炉给水泵，必须大于汽包压力才能进水。）当然也可由水泵并列运行的大扬程的水泵的出口压力造成。

图 1-2 为离心泵的运行曲线。 $(H-Q)_{n_1}$ 是泵在额定转速 n_1 时的性能曲线，与管网阻力曲线 R_1 的交点 A 为额定工况点。额定流量、扬程、效率分别为 Q_1 、 H_1 和 η_A 。节流调节是关小阀门减小流量，使管网阻力由 R_1 变为 R_2 ，交 $(H-Q)_{n_1}$ 曲线于 B 点，流量和扬程分别为 Q_2 、 H_2 ，泵的效率变为 η_B 。如采用调速调节使转速由 n_1 降为 n_2 ，此时泵的性能曲线变为 $(H-Q)_{n_2}$ ， C 点为新的运行工况点，流量和扬程分别为 Q_2 、 H_3 。此时泵的效率曲线变为 η_{n_2} ，泵的额定效率不变，即 $\eta_C = \eta_A$ 。按图 1-2 定出各点参数关系，即可算出调速调节时节流调节的节能量。

假定额定工况点 A 的流量 Q_1 与扬程 H_1 均为 100%， $Q_2 = 0.5Q_1$ ， $H_2 = 1.2H_1$ ， $\eta_C = \eta_A$ ， $\eta_B = 0.8\eta_A$ ，由于 $Q \propto n$ ， $H \propto n^2$ ，故 $n_2 = 0.5n_1$ ， $H_3 = 0.25H_1$ 。

其中：

$$P_H = H_1 Q_1 / \eta_A$$

$$P_J = H_2 Q_2 / \eta_B = 1.2H_1 \cdot 0.5Q_1 / 0.8\eta_A = 0.75P_H$$

$$P_T = H_3 Q_2 / \eta_C = 0.25H_1 \cdot 0.5Q_1 / \eta_A = 0.125P_H$$

式中 P_H ——泵额定功率；

P_J ——节流调节时泵消耗功率；

P_T ——调速调节时泵消耗功率。

可见，在流量降为 1/2 时，调速调节比节流调节在泵轴上节省额定功率 62.5% ($P_J - P_T = 0.625P_H$)。若折算到电机输入功率尚需添加调速装置的功率损耗。此时液力调速装置损耗为 $0.125P_H$ ，即液力调速比节流调节节省额定功率 50%。上述条件不同，则节能率有所差异。在火（热）电厂条件下，由于调节幅度较小，通常节电率在 20% 左右。

对于风机： $p = kQ^2$ ，即，管路系统的静能头为零。如图 1-3 所示。

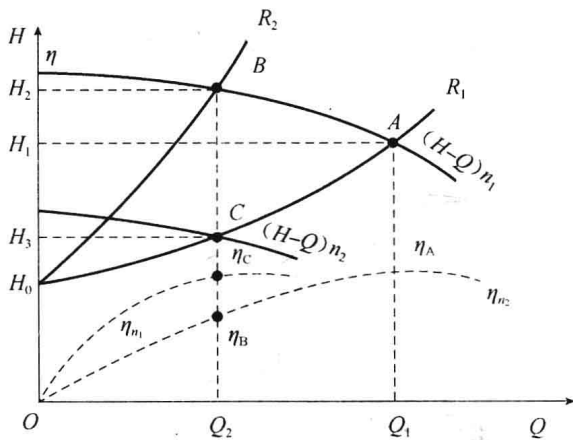


图 1-2 机泵调速节能原理图

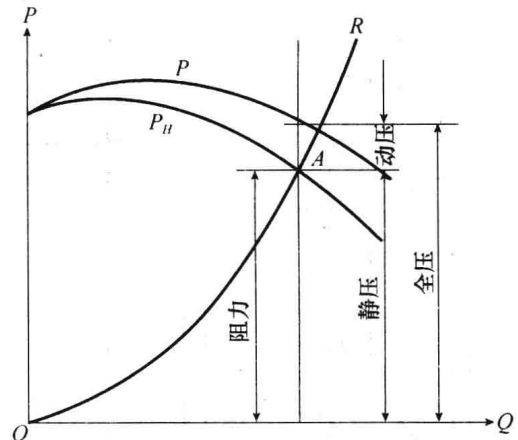


图 1-3 通风机的压力和管网的阻力间关系

泵与风机的 $Q-H$ 曲线和同比例管网特征曲线的交点，即为泵与风机的运行工况点。

四、风机（泵）的节能计算

由流体力学的原理得知，使用感应电机驱动的叶片式风机，轴功率 P 与风量 Q ，风压 H