

工业设备

节能技术丛书

泵与风机 节能技术

魏新利 付卫东 张军 编

泵与风机概述

离心式泵与风机构造及原理

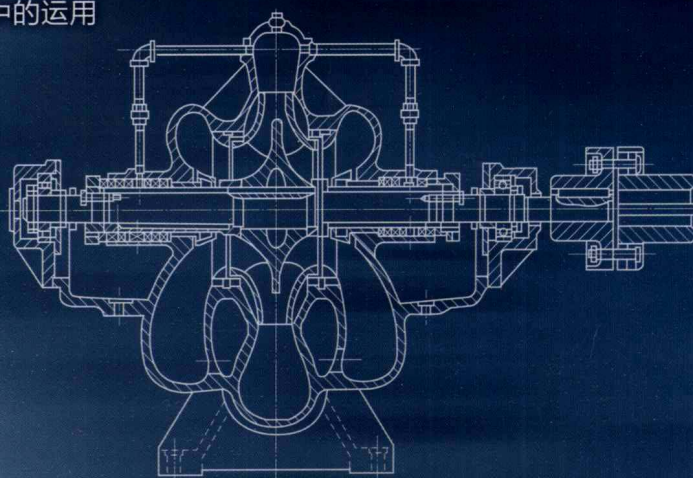
离心式泵与风机的设计与节能

泵与风机的节能运行

变频调速在泵与风机节能中的运用

泵与风机的其它节能方式

泵与风机节能案例



化学工业出版社

工业设备

节能技术丛书

泵与风机 节能技术

魏新利 付卫东 张 军 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

泵与风机是国民经济各个部门都广泛应用的通用机械，它分布面极广，作用重要，它又是耗能量最多的通用机械之一。因此，提高泵与风机的设计效率和运行效率具有十分重要的意义。本书以泵与风机的运行节能为中心，主要介绍了离心式泵与风机的基本原理、基本概念与节能方法。

本书可作为高等学校能源动力类专业学生的参考教材，也可作为泵与风机使用部门有关技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

泵与风机节能技术/魏新利，付卫东，张军编. —北京：化学工业出版社，2010.9
(工业设备节能技术丛书)
ISBN 978-7-122-09107-9

I. 泵… II. ①魏…②付…③张… III. ①泵-节能②鼓风机-节能 IV. ①TH3②TH44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 132813 号

责任编辑：戴燕红

文字编辑：刘砚哲

责任校对：蒋 宇

装帧设计：关 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 382 千字 2011 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888(传真：010-64519686) 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：45.00 元

版权所有 违者必究

序

能源是国民经济发展的动力，是发展生产力和提高人民生活水平的物质基础。“能源开发与节约并重，把节能放在优先地位”是我国基本的能源政策，“节约优先，效率为本”是解决我国能源问题的根本途径。从常规能源的总量来看，我国是世界上拥有丰富能源资源的国家之一，位居世界第三。但我国人口众多，按人均计算的可开采储量低于世界平均水平，仅相当于世界平均数的 1/2，美国的 1/10。可见，我国的能源资源并不丰富。

我国既是能源生产大国，也是能源消费大国。当前，在我国工业生产过程中，许多企业节能技术落后，设备能率较低，工艺流程不尽合理，节能管理不够完善，从而造成工业生产能源消耗巨大、能源利用率较低，由此而引起的环境污染和生态破坏问题比较严重。国家在“十一五”规划中明确提出，“十一五”期间要比“十五”期末单位 GDP 能耗降低 20%。为了实现“十一五”的节能目标，必须大力推广节能技术，提高能源的利用率，从而降低生产成本，也相应地减少能源利用过程中对环境造成的破坏。

结合我国工业生产系统的主要耗能环节和设备，郑州大学节能技术研究中心组织编写了这套《工业设备节能技术丛书》。丛书计划出版以下 6 个分册：（1）工业及电厂锅炉节能技术；（2）工业窑炉节能技术；（3）高效换热器及其节能应用；（4）泵与风机节能技术；（5）热泵与中央空调节能技术；（6）照明设备节能技术。本套丛书在全面总结国内大量现有节能技术经验和消化吸收国外先进的能源利用技术的基础上，阐述了工业生产中主要耗能设备的结构、原理、特点及其节能技术，并给出了工程实际应用的实例，可以指导工程技术人员掌握常用的节能技术和提高用能效率，以此来促进节能技术的发展和普及应用，希望为我国“节能减排”工作作出贡献。

本套丛书主要面向能源、动力、电力、制冷、冶金、化工、轻工、纺织、建材、机电等广大工业部门，可为从事热能工程规划、热电、锅炉房、换热、动力、制冷空调、燃烧、照明等各级能源管理机构的管理人员、工业企业的节能管理人员和工程技术人员开展节能降耗技术管理和实施工作提供技术支撑，也可作为热能与动力工程类及相关专业学生的专业选修课或专业课，同时也可供工科其他专业学生普及节能技术的相关知识，并可供动力工程及工程热物理学科的教师参考。特别是该套丛书从工程的角度来讲解节能问题，对当前全社会促进节能减排工作具有十分重要的意义

浙江大学能源清洁利用国家重点实验室



2009 年 6 月 15 日

前言

泵与风机是国民经济各个部门都广泛应用的通用机械。它应用在石油、化工、造船、水利、轻工及电力等国民经济的各个领域，分布面极广，起着重要作用。同时，泵与风机又是耗能量最多的通用机械之一。我国风机、水泵设备装机总功率已达 1.59 亿千瓦（其中风机 0.49 亿千瓦，水泵 1.1 亿千瓦），年总耗电量 3200 亿千瓦时，约占当年全国电力消耗总量的 1/3 以上，占工业用电量的 40%。我国风机、水泵的设备生产厂家众多，产品质量参差不齐，设备的效率平均为 75%；系统实际运行效率更低，仅为 40% 左右。据有关部门测算，如果提高风机和水泵系统运行效率，仅在电厂的风机和水泵节约电量就可达 25.69 亿千瓦时/年。因此，提高泵与风机的设计效率和运行效率具有十分重要的意义。本书详细论述泵与风机的各项行之有效的节能措施。这些措施都是技术上成熟，运行上安全可靠，而且调节使用方便。我们衷心希望本书能对读者在泵与风机领域的学习和工作有所启迪和促进。

《泵与风机节能技术》是工业设备节能技术丛书的一个分册。本书以泵与风机的运行节能为中心，主要介绍了离心式泵与风机的基本原理、基本概念和节能方法。全书共 7 章，第 1 章介绍泵与风机的概念、分类、主要性能参数；第 2 章介绍泵与风机的构造及原理，包括泵与风机的损失、效率及性能分析；第 3 章介绍泵与风机的设计与节能；第 4 章介绍泵与风机运行工况的调节与节能；第 5 章介绍变频调速在泵与风机节能中的运用；第 6 章介绍了泵与风机的节能维护与降噪节能；第 7 章是泵与风机节能案例分析。本书可作为高等学校能源动力类专业学生的选修课教材，也可作为泵与风机使用部门有关技术人员的参考书。

郑州大学化工与能源学院魏新利负责本书的主要编写和统稿工作。具体编写分工为：本书第 1、3、5 章由付卫东编写，第 2、4、6 章由张军编写，第 7 章由魏新利编写。郑州大学节能技术研究中心吴金星教授对全书进行了认真细致的审阅，并提出了具体的修改意见和建议。在编写过程中，郑州大学刘宏老师、周俊杰老师提供的研究资料为本书增色不少，在此一并表示感谢。在编写过程中参考了大量的国内外专著、教材和期刊论文，在此谨向这些文献的著者和相关单位表示诚挚的谢意。本书的出版得到郑州大学化工与能源学院的支持，化学工业出版社对本书的出版给予了大力帮助，特此致谢。

本书的编写内容涉及面广，加上编者水平所限，不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2010 年 4 月

目 录

1 泵与风机概述	1
1.1 绪论	1
1.2 泵与风机的分类及工作原理	2
1.2.1 泵与风机的分类	2
1.2.2 泵与风机的工作原理	3
1.3 泵与风机的性能参数	7
1.3.1 流量	7
1.3.2 能头	8
1.3.3 功率	9
1.3.4 效率	9
1.3.5 转速	9
1.4 泵与风机节能问题概述	10
参考文献	12
2 离心式泵与风机构造及原理	13
2.1 离心泵的常用结构及其主要部件	13
2.1.1 离心泵的常用整体结构	13
2.1.2 离心泵的主要部件	14
2.2 离心式风机的构造	19
2.3 离心式泵与风机的损失和效率	21
2.3.1 机械损失及效率	21
2.3.2 容积损失及效率	22
2.3.3 流动损失与流动效率	22
2.3.4 泵与风机的总效率	23
2.4 离心式泵与风机的性能及性能曲线	23
2.4.1 离心式泵与风机的性能曲线	24
2.4.2 实测绘制性能曲线	26
2.4.3 性能曲线形状分析	26
2.4.4 叶轮结构参数对离心式泵与风机性能的影响	28
2.4.5 泵与风机无因次性能曲线	32
参考文献	35
3 离心式泵与风机的设计与节能	36
3.1 离心泵的设计与节能	36
3.1.1 影响离心泵性能的因素及节能设计	36
3.1.2 低比转数离心泵加大流量设计法	38
3.1.3 离心泵的速度系数设计	43
3.1.4 离心泵的三元叶轮设计	48

3.1.5	CFD 在离心泵叶轮流场计算中的应用	52
3.2	离心式风机的设计与节能	55
3.2.1	离心风机的理论设计与节能	55
3.2.2	离心风机的相似设计与节能	63
3.2.3	离心风机的三元叶轮设计	65
3.3	离心式泵与风机的蜗壳设计	70
3.3.1	离心泵蜗壳因素对泵性能的影响	70
3.3.2	离心泵蜗壳设计	71
3.3.3	离心式通风机的蜗壳设计	75
3.4	FLUENT 与 ANSYS 软件在泵与风机设计中应用	79
3.4.1	FLUENT 软件简介	80
3.4.2	离心泵的 FLUENT 数值模拟	81
3.4.3	风机的 FLUENT 三维数值模拟	84
3.4.4	风机叶片的 ANSYS 的结构动力学特性分析	90
	参考文献	94
4	泵与风机的节能运行	95
4.1	泵与风机运行工况的确定	95
4.1.1	风机、泵特性曲线、工况点	95
4.1.2	改善管网特性节能	97
4.2	泵或风机的联合运行	100
4.2.1	并联运行	100
4.2.2	串联运行	101
4.3	泵或风机的运行调节与节能	102
4.3.1	能量与能质	102
4.3.2	调节节能原理	102
4.3.3	风机的运行与节能	107
4.3.4	泵的运行与节能	109
4.4	泵与风机运行中的问题	111
4.4.1	风机使用中存在的问题	111
4.4.2	泵运行使用中存在的问题	112
	参考文献	115
5	变频调速在泵与风机节能中的运用	116
5.1	泵与风机变速调节的变速方式	116
5.1.1	第一类变速拖动	116
5.1.2	第二类变速拖动	120
5.1.3	变速调节的方式及选择	126
5.2	变频调速工作原理	127
5.2.1	变频器技术的发展及作用	127
5.2.2	变频调速工作原理	131
5.3	泵与风机的变频调速节能	141
5.3.1	泵与风机的变频调速节能原理	141
5.3.2	泵与风机的变频节能计算	142
5.3.3	泵与风机的变频调速系统组成	146

5.3.4 对变频器运行的要求及影响因素	148
参考文献	154
6 泵与风机的其它节能方式	155
6.1 泵与风机的节能启动	155
6.1.1 泵的启动特性	155
6.1.2 泵的启动、运行维护、停泵及事故处理	156
6.1.3 风机的启动、运行维护和故障处理	156
6.2 泵的检修维护与节能	158
6.2.1 泵的检修与安装	158
6.2.2 离心泵的拆卸	162
6.2.3 泵各部件的检查与修理	164
6.2.4 离心泵的装配	168
6.2.5 泵的安装	171
6.2.6 泵的试运转	173
6.3 风机的检修维护与节能	174
6.3.1 通风系统的使用和管理	175
6.3.2 通风设备的检查维护	176
6.4 泵与风机的降噪节能	177
6.4.1 噪声	177
6.4.2 泵与风机振动和噪声产生的原因	179
6.4.3 控制噪声的方法	184
参考文献	185
7 泵与风机节能案例	187
7.1 风机的串级调速节能	187
7.1.1 送风机的串级调速节能	187
7.1.2 水厂水泵的串级调速节能	188
7.1.3 火电厂的交流调速节能	189
7.1.4 焦化厂的变频调速节能	190
7.2 泵与风机运行特性曲线调节节能	190
7.3 液力耦合器节能	192
7.3.1 注水泵站的液力耦合器节能	192
7.3.2 火电厂的液力耦合器节能	193
7.4 叶轮切割在给水泵节能改造中的应用	193
7.5 调速离合器节能	193
7.5.1 引风机的节能计算	194
7.5.2 送风机的节能计算	195
7.5.3 锅炉给水泵的节能计算	195
7.6 油膜转差离合器节能	196
7.7 减小管路阻力节能	197
7.7.1 减少排水管路阻力节能	197
7.7.2 减少风机风阻	197
参考文献	197

泵与风机概述

1.1 绪论

泵与风机是国民经济各个部门都广泛应用的通用机械。它应用在石油、化工、造船、水利、轻工及电力等国民经济的各个领域，分布面极广，起着重要作用。例如，在热力发电厂中，泵与风机起着极为重要的作用。电厂锅炉炉膛燃烧需要煤粉和通风，为此装设有送风机、排粉风机、引风机。锅炉用通风机根据它的作用分为锅炉通风机（向锅炉内输送空气）、锅炉引风机（把锅炉内的烟气抽走）。发电过程中过热蒸汽由锅炉过热器引出送入汽轮机，带动发电机转动。为了补充管路系统的汽水损失，设有补给水泵。此外还有供给汽轮机各轴承润滑用油的润滑油泵，供各水泵风机轴承冷却用水的工业水泵等。在发电厂的生产过程中，若泵与风机发生故障，往往会使主机主炉的正常工作受到影响，例如，有两台循环水泵的汽轮机，其中一台循环水泵发生故障，汽轮发电机就要降低出力。又如给水泵突然发生故障，就会使锅炉缺水，甚至造成锅炉烧干锅的事故。可见泵与风机在发电过程中的重要性。

在化工和石油部门的生产中，原料、半成品和成品大多是液体，而将原料制成半成品和成品，需要经过复杂的工艺过程，泵在这些过程中起到了输送液体和提供化学反应的压力流量的作用，此外，在很多装置中还用泵来调节温度。在农业生产中，泵是主要的排灌机械。我国农村幅员辽阔，每年农村都需要大量的泵，一般来说农用泵占泵总产量一半以上。例如，全国农业的灌溉和排涝要大量应用水泵。此外，在采矿工业中，坑道的通风需要用风机，排水需要用水泵，它直接关系到矿井的安危。城市的给排水工程要用到水泵。水处理中曝气过程要用到风机，曝气的好坏直接影响水处理的结果，曝气过程所耗电能在水处理过程中占很重要比例。还有，暖通空调工程要用水泵输送冷却水及冷媒水，要用风机盘管来调节终端温度。冶金工业中各种冶炼炉的鼓风以及气体和液体的输送，石油工业中的输油和注水等，都离不开水泵或风机。在化学工业和核能工业等部门中，还需用到输送带腐蚀性液体以及液态金属及非金属液体的特殊泵。由此可见泵与风机的应用的数量之多，分布之广，作用之重要是其它机械所难以相比的。

同样，泵与风机又是耗能量最多的通用机械之一。根据第三次全国工业普查最新统计资料^[1]，我国风机、水泵设备装机总功率已达 1.59 亿千瓦（其中风机 0.49 亿千瓦，水泵 1.1 亿千瓦），年总耗电量 3200 亿千瓦时，约占当年全国电力消耗总量的 1/3 以上，占工业用电量的 40%。我国现有泵类 3000 万台，风机 700 万台，生产厂家 2000 家以上。全国调查的资料还表明在农业生产方面，泵与风机在各地区的总用电量中所占的比重，虽然并不一致，但是，大多数都在 60% 以上，其中农业排灌的用电量高达 89%。据 1988 年原冶金部的规划资料，我国金属矿山的风机用电量占采矿用电的 30%；钢铁工业的风机用电量占其生产用电的 20%；煤炭工业的风机用电量占全国煤炭工业用电的 17%；冶金工业以沈阳冶炼厂为例，风机用电量占该厂用电的 25%^[2]。全国火电厂主要辅机：送风机、引风机、一次风机、排粉机给水泵、循环水泵、灰渣泵和凝结水泵共 8 种风机、水泵配套用的电动机，总容量约为 12829MW，年总用电量为 450.2

亿千瓦时。其中，水泵电动机总容量 7930MW，年用电量 258.47 亿千瓦时；风机电动机总容量 4899MW，年用电量 191.72 亿千瓦时。仅火电厂的风机、水泵耗电量就占 1994 年全国火力发电量的 5.8% 左右^[3]。

我国风机、水泵的设备生产厂家众多，产品质量参差不齐，设备的效率平均为 75%，比国外低 10 个百分点。系统实际运行效率更低，仅为 30%~40%，比发达国家低 15~20 个百分点^[1]。目前，我国工农业所用的泵与风机特点是种类多，设备陈旧的多。很多泵与风机运行工况与初建时发生较大变化，使泵与风机实际运行工况点偏离风机设计最佳工况点，长期在低效区运行，实际运行效率远远达不到设计效果。现有的泵或风机，绝大多数由于容量偏大，压头偏高或者是不经常满负荷运行，不得不依靠闸阀或风门进行节流调节，浪费掉大量宝贵的电力。另外由于运行及维护不到位，很多泵与风机常常在恶劣的条件下或带病工作，使得安全与经济性的都得不到保证。

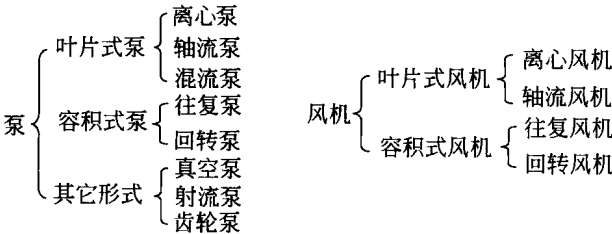
在火电行业，主要辅机电机的经济运行，直接关系到厂用电率的高低，而厂用电率的高低是影响供电煤耗和发电成本的主要因素之一。我国火电机组的平均煤耗为 0.4kg/kW·h，比发达国家高 0.07~0.1kg/kW·h。国产火电机组厂用电率偏高的主要原因，是消耗大量电能的辅机电机在经济运行方面存在问题和差距，而水泵与风机又是最主要的耗电设备。泵与风机的低效运行，使大量的电能被浪费。据有关部门测算，如果提高风机和水泵系统运行效率，仅在电厂的风机和水泵节约电量就可达可达 25.69 亿千瓦时/年。因此，开展泵与风机的节能研究对国民经济各部门都很有必要。由此可见，提高泵与风机的效率，降低泵与风机的耗电量，是减少发电厂用电、提高发电厂供电能力、降低成本的一个重要因素。

当前世界上能源的利用重点是要提高能源利用率，节约能源，保护环境。我国节能工作的第一部法典《中华人民共和国节约能源法》1998 年 1 月 1 日起颁布实施。国家制定了一系列的节能标准，在《通风机系统经济运行》(GB/T 13470—2008)中规定了通风机系统经济运行的基本要求：“通风机的选型应符合 GB 19761 的规定；通风机系统要使通风机运行在经济工作区内，系统正常运行工况的通风机运行效率应不小于额定效率的 70%”。在《通风机能效限定值及节能评价》(GB 19761—2009)中给定了各类通风机的效率和能效等级的关系，同时规定各等级通风机在使用区内最高效率不得低于规定值。加快淘汰耗能高，性能落后的风机老产品，积极推广先进的节能产品，对节约能源，实现机组的经济运行，推进技术进步具有重要意义。另外，采用经济性高的调节方法，改进管理，正确的选择和使用，也是泵与风机节能的重要措施。因此，提高泵与风机的设计效率和运行效率具有十分重要的意义。本书将详细论述泵与风机的各项行之有效的节能措施。这些措施技术上成熟，运行上安全可靠，而且调节使用方便。

1.2 泵与风机的分类及工作原理

1.2.1 泵与风机的分类

泵与风机是利用外加能量输送流体的流体机械。它们的品种繁多，分类方式也很多。根据泵与风机的工作原理，通常可以将它们分类如下：



(1) 叶片式

叶片式泵与风机的主要结构是可旋转的、带叶片的叶轮和固定的机壳。通过叶轮的旋转对流体做功,从而使流体获得能量。它的优点是能适应不干净液体或气体的输送。在农业灌溉,因灌溉水含有泥沙,所以都采用离心式抽水机。

根据流体的流动情况,可将它们再分为下列数种:离心式泵与风机;轴流式泵与风机;混流式泵与风机,这种风机是前两种的混合体;贯流式风机。

离心泵又可分为单级泵、多级泵。单级泵可分为单吸泵、双吸泵、自吸泵、非自吸泵等。多级泵可分为节段式、蜗壳式。混流泵可分蜗壳式和导叶式。轴流泵可分为固定叶片和可调叶片。旋涡泵也可分为单吸泵、双吸泵、自吸泵、非自吸泵等。

风机中最常用的离心通风机及轴流通风机按其升压的大小又可分为:

高压离心通风机,升压为 $2940 \sim 14700 \text{ Pa}$;

中压离心通风机,升压为 $980 \sim 2940 \text{ Pa}$;

低压离心通风机,升压为 980 Pa 以下;

高压轴流通风机,升压 $490 \sim 4900 \text{ Pa}$;

低压轴流通风机,升压在 490 Pa 以下^[4]。

(2) 容积式

容积式泵与风机在作往复或回转运动时,使工作容积交替地增大和缩小,以实现流体的吸入和排出。按其结构不同,又可再分为往复式、回转式。

① 往复式

这种机械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;原理和使用吸管吸饮水一样,将吸水管深入液体中,抽起活塞,使大气压力降低,管周围液面上的大气压力就把液体压进水管里。吸入和排出过程在同一汽缸内交替进行,并由吸入阀和排出阀加以控制;往复式抽水机速度慢,容量小,液体可以升举得很高,适合抽清洁的液体。

② 回转式

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,通过齿轮、螺杆、叶形转子或滑片等工作元件的旋转作用,迫使流体从吸入侧转移到排出侧,借以吸入和排出流体,如齿轮泵、螺杆泵等。和往复式抽水机相同的原理,把活塞换成马达带动的齿轮、扇叶或螺旋,给液体加压,转轴由马达带动,速度高,多运用在黏稠的液体,如石油。

容积式泵在一定转速或往复次数下的流量是一定的,几乎不随压力而改变;往复泵的流量和压力有较大脉动,需要采取相应的消减脉动措施;回转泵一般无脉动或只有小的脉动;具有自吸能力,泵启动后即能抽除管路中的空气吸入液体;启动泵时必须将排出管路阀门完全打开;往复泵适用于高压力和小流量;回转泵适用于中小流量和较高压力;往复泵适宜输送清洁的液体或气液混合物。总的来说,容积泵的效率高于动力式泵。

由于容积式的排气压力较高,它们均属鼓风机、压缩机的范围。故通风机是指透平式,即离心、轴流、混流、横流等型式的排气压力在 $11.27 \times 10^4 \text{ Pa}$ 以下的输送气体机械。因通风机排气压力低,常用表压(相对于大气)表示排气压力或称升压,即升压在 14700 Pa 以下者为通风机。

(3) 其它类型的泵与风机

如喷射泵、旋涡泵、真空泵等。

1.2.2 泵与风机的工作原理

(1) 离心式泵与风机的工作原理

离心式泵与风机的工作原理是,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。叶轮由原动机带动高速旋转,叶轮内流体产生离心力,被压出与吸入。离心泵与风机的主要部件有吸入室、叶轮和压出室,如图 1.1 所示。离心式风机的主要部件有吸入口、叶轮和机壳等,如图 1.2 所示。

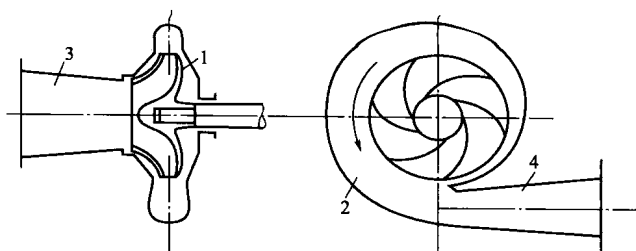


图 1.1 离心泵示意图

1—叶轮；2—压出室；3—吸入室；4—扩压管

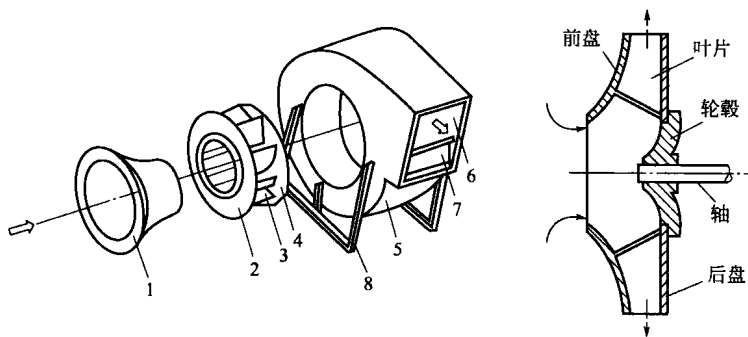


图 1.2 离心式风机主要结构分解示意图

1—吸入口；2—叶轮前盘；3—叶片；4—后盘；5—机壳；6—出口；
7—截流板，即风舌；8—支架

吸入室的作用是将流体均匀地引入叶轮的进口，在这过程中要求流体流动损失最小，流入叶轮进口时的速度分布均匀。风机的吸入室称之为进口集流器。

叶轮是把机械能转化为流体能量的部件，其尺寸大小及过流部分形状是否合理，不仅影响到泵与风机的性能及效率，而且直接影响到叶轮传递能量能力的大小，因此它是泵与风机最重要的部件。

压出室的作用是收集从叶轮流出的流体，并把流体送入排出管路。另外，流体经过叶轮后不仅增加了压能，也增加了动能，因此，流体从叶轮中流出的速度很大，为了减少排出管路内的流动损失，在进入排出管路之前，需要把流体速度降低，把部分动能转化为静压，这个任务也是由压出室完成的。在泵与风机中，压出室是仅次于叶轮的重要部件，它的形状以及与叶轮的匹配是否合理，将影响到泵与风机的性能和效率。

叶片式泵与风机的能量传递，主要依靠旋转叶片对流体做功。叶轮对流体做功的效果，要看叶轮中的叶片。离心式泵与风机的叶片形状，弯曲形式对泵与风机的扬程（全压）、流量和效率有很大的影响。

离心式叶轮叶片的形式有三种：后弯式叶片，其叶片弯曲方向与叶轮旋转方向相反，叶片的出口几何角小于 90° ；前弯式叶片，其叶片弯曲方向与叶轮旋转方向相同，叶片的出口几何角大于 90° ；径向式叶片，其叶片的弯曲方向沿叶轮的径向展开，叶片的出口几何角等于 90° 。

不同形式的叶片，对扬程有不同的影响。随着叶片出口几何角的增大，扬程随之增加。后弯式叶片流体出口绝对速度最小，所以动能也小。因为流动损失与动能成反比，所以，流动效率高。后弯叶片泵和风机的性能曲线比较稳定，所以在离心式泵与风机中采用较多。后弯叶片式风机还有一个很好的性能，当风机流量增大时，轴功率逐渐增大，增大至最大值后，几乎不再增加，有利于防止电动机超负荷。后弯式叶片有等厚度叶片及机翼型叶片两种。机翼型叶片效率较高，且运转时的噪声较低。

当输送的气体中含有固体颗粒时，风机叶片易发生严重磨损，最好采用径向式叶片的叶轮。在产生相同全压情况下，径向式风机的转速比后弯式低，因而固体颗粒在叶片表面上的运动速度

低一些，磨损较低，风机运转性能也较稳定。

(2) 轴流式泵与风机工作原理

轴流式泵与风机的工作原理是：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，其结构如图 1.3、图 1.4 所示。叶轮 1 安装在圆筒形（风机为圆锥形）泵壳 3 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，制冷系统中常用作循环水泵及送引风机。

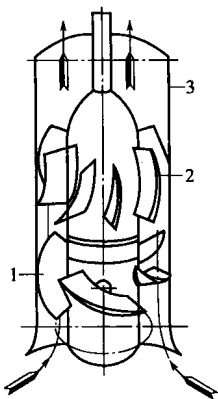


图 1.3 轴流泵示意图

1—叶轮；2—导流器；3—泵壳

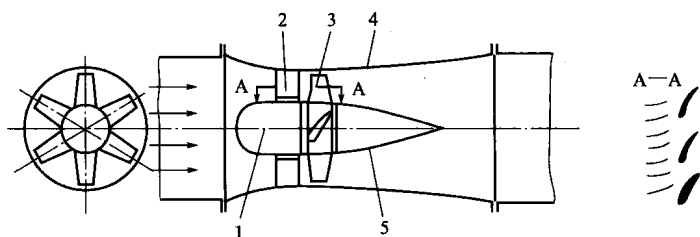


图 1.4 轴流风机示意图

1—整流罩；2—前导叶；3—叶轮；4—扩散筒；5—整流体

(3) 贯流式风机的工作原理

近年来由于空气调节技术的发展，要求有一种小风量、低噪声、压头适当和在安装上便于与建筑物相配合的小型风机。贯流式风机就是适应这种要求的新型风机。

贯流式风机的主要特点如下（图 1.5）。

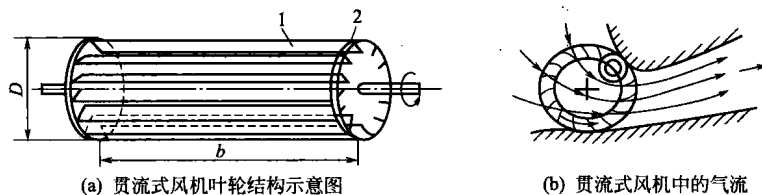


图 1.5 贯流式风机示意图

1—叶片；2—封闭端面

- ① 叶轮一般是多叶式前向叶型，但两个端面是封闭的。
- ② 叶轮的宽度 b 没有限制，当宽度加大时流量也增加。
- ③ 贯流式风机不像离心式风机是在机壳侧板上开口使气流轴向进入风机，而是将机壳部分地敞开使气流直接径向进入风机。气流横穿叶片两次。某些贯流式风机在叶轮内缘加设不动的导流叶片，以改善气流状态。
- ④ 在性能上，贯流式风机的效率较低，一般约为 30%~50%。
- ⑤ 进风口与出风口都是矩形的，易与建筑物相配合。贯流式风机至今还存在许多问题有待解决。特别是各部分的几何形状对其性能有重大影响。不完美的结构甚至完全不能工作，但小型的贯流式风机的使用范围正在稳步扩大。

(4) 其他形式泵

① 往复泵

现以活塞式为例来说明其工作原理。如图 1.6 所示，活塞泵主要由活塞 1 在泵缸 2 内作往复运动来吸入和排出液体。当活塞 1 开始自极左端位置向右移动时，工作室 3 的容积逐渐扩大，室

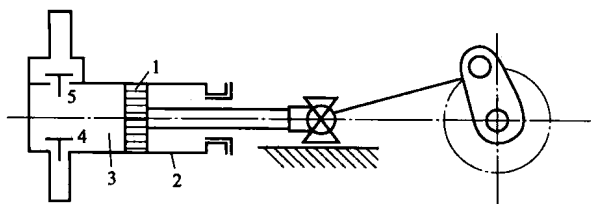


图 1.6 往复泵示意图

1—活塞；2—泵缸；3—工作室；4—吸水阀；5—压水阀

内压力降低，流体顶开吸水阀 4，进入活塞 1 所让出的空间，直至活塞 1 移动到极右端为止，此过程为泵的吸水过程。当活塞 1 从右端开始向左端移动时，充满泵的流体受挤压，将吸水阀 4 关闭，并打开压水阀 5 而排出，此过程称为泵的压水过程。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。此泵实际上工作原理与制冷系统的压缩机是一样的，所以在本篇中我们不解，而在后面压缩机部分再详细介绍。此泵适用于小流量、高压，在大型制冷机组中用得更多些。

② 水环式真空泵

真空式气力输送系统中，要利用真空泵在管路中保持一定的真空度。有吸升式吸入管段的大型泵装置中，在启动时也常用真空泵抽气充水。常用的真空泵是水环式真空泵。水环式真空泵实际上是一种压气机，它抽取容器中的气体将其加压到高于大气压，从而能够克服排气阻力将气体排入大气。

水环式真空泵的构造如图 1.7 所示。有 12 个叶片的叶轮 1 偏心地装在圆柱形泵壳 2 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 4 逐渐扩大，从而形成真空，使气体经进气管 3 进入泵内进气空间 4。随后气体进入左半部，由于轮毂之间容积被逐渐压缩而增高了压强，于是气体经排气空间 5 及排气管 6 被排至泵外。

真空泵在工作时应不断补充水，用来保证形成水环和带走摩擦引起的热量。我国生产的水环式真空泵有 SZ 型和 SZB 型，前者最高压强可达 205.933kPa（作为压气机用时）。SZB 是悬臂式的小型真空泵。

③ 齿轮泵工作原理

齿轮泵具有一对互相啮合的齿轮，通常用作供油系统的动力泵，如图 1.8 所示，齿轮 1（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 2（从动轮）装在另一个轴上，齿轮旋转时，液体沿吸油管 3 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 4 排出。

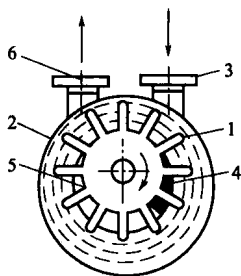


图 1.7 水环式真空泵

1—叶轮；2—泵壳；3—进气管；
4—进气空间；5—排气空间；6—排气管

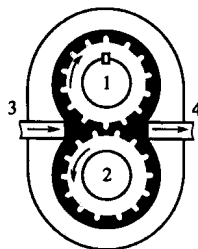


图 1.8 齿轮泵示意图

1—主动轮；2—从动轮；
3—吸油管；4—压油管

④ 螺杆泵工作原理

如图 1.9 所示，螺杆泵乃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 1（可以是一根，也可有两根或三根）和从动螺杆 2 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。

螺杆泵因其可变量输送、自吸能力强、可逆转、能输送含固体颗粒的液体等特点，在污水处理厂中，广泛地被使用在输送水、湿污泥和絮凝剂药液方面。螺杆泵选用应遵循经济、合理、可靠的原则。如果在设计选型方面考虑不周，会给以后的使用、管理、维修带来麻烦，所以选用一台按生产实际需要，合理可靠的螺杆泵既能保证生产顺利进行，又可降低修理成本。

⑤ 喷射泵工作原理

如图 1.10 所示，将高压的工作流体 7，由压力管送入工作喷嘴 6，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 2 的喉部吸入室 5 形成真空，从而使被抽吸流体 8 不断进入与工作流体 7 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。

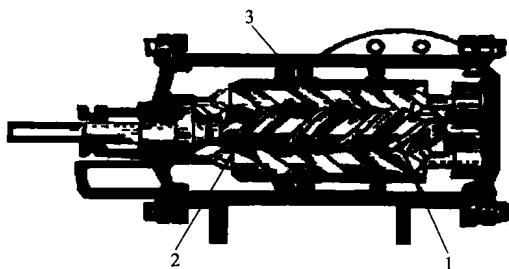


图 1.9 螺杆泵示意图

1—主动螺杆；2—从动螺杆；3—泵壳

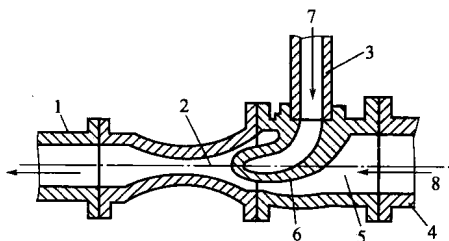


图 1.10 喷射泵示意图

1—排气管；2—扩散室；3—管子；4—吸入口；
5—吸入室；6—喷嘴；7—工作流体；8—被抽吸流体

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。

1.3 泵与风机的性能参数

泵与风机主要性能参数包括：流量 q_v 、能头 H （水泵称为扬程，风机称为风压）、功率 P 、效率 η 、转速 n 以及比转速 n_s 。对于水泵来说，还有表示泵汽蚀性能的参数，即汽蚀余量 Δh 或吸上真空高度 H_s 。这些参数反映了泵或风机的整体性能。对于每一台泵或风机，为了使运转安全和不致使效率下降太多，都规定了一定的工作范围。在规定的工作范围内运转，泵与风机就可得到既安全又经济的合理使用。

1.3.1 流量

流量是指泵与风机在单位时间内所输送的流体数量，它可以用体积流量 q_v 表示，也可以用质量流量 G 表示。

(1) 体积流量 q_v

它是单位时间流经通风机的流体体积。常用单位为 m^3/s 、 m^3/min 、 m^3/h 。一般来说流体的体积与流体所受的压力有关，同样质量的流体在不同的压力下体积不同。但由于气体在风机内压力升高不大，容积变化很小，故一般设风机的体积流量不变。无特殊说明，通风机的体积流量是指标准状态下的体积。对于水泵，由于水是液体，它的体积随压力变化不大，所以水泵常用体积流量表示，单位常用 m^3/h 。

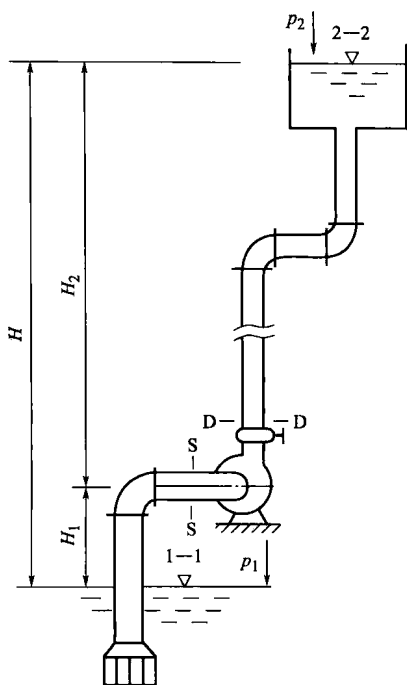


图 1.11 泵的扬程

(2) 质量流量 G

质量流量是单位时间内流过泵与风机的流体质量。单位为 kg/s 、 kg/min 、 kg/h 。

体积流量与质量流量的关系为：

$$q_v = \frac{G}{\rho} \quad (1.1)$$

式中 ρ ——流体密度， kg/m^3 ；

G ——质量流量， kg/h 。

1.3.2 能头

(1) 泵的扬程

泵的能头又称为扬程。如图 1.1 所示，泵的扬程是指每公斤液体从泵进口到泵出口的能头增值，也就是单位质量液体通过泵以后获得的有效能头，即泵的总扬程，常用符号 H 表示。目前，在实际生产中，泵的扬程仍习惯用被输送液体的液柱高度 (m) 表示。虽然泵扬程的这一单位与高度单位一样，但不应把泵的扬程简单地理解为液体所能排送的高度，因为泵的有效能头不仅要用来提高液体的位高，而且还要用来克服液体在输送过程中的流动阻力，以及提高输送液体的静压能和速度能等。

在工程应用中，有两种情况需要计算泵的扬程。一是在已知的管路中输送一定的流量时，计算泵所需的扬程。根据泵给单位质量液体的能头 H 与输送液体所消耗的能头相等的能量平衡方程，可写出计算泵扬程的公式为（参见图 1.11）

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + (H_2 + H_1) + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \sum h_f \quad (\text{m}) \quad (1.2)$$

式中 p_1 、 p_2 ——分别为吸液罐和排液罐液面上的压力，Pa；

ρ ——被输送液体的密度， kg/m^3 ，这里假设 $\rho_1 = \rho_2 = \text{常数}$ ；

H_1 、 H_2 ——分别为吸液罐和排液罐液面至泵中心轴线的垂直高度，m；

c_1 、 c_2 ——分别为吸液罐和排液罐液面的液体平均流速，m/s；

$\sum h_f$ ——吸入与排出管内总流动阻力损失，m，但不计液体流经泵的阻力损失。

另一种情况是计算运转中的泵的扬程，这时可写泵入口与出口处液流的能量方程，参见图 1.11 有：

$$H = \frac{p_D - p_S}{\rho g} + Z_{SD} + \frac{c_D^2 - c_S^2}{2g} \quad (\text{m}) \quad (1.3)$$

式中 p_S 、 p_D ——分别为水泵进口和出口处的压力，Pa；

Z_{SD} ——泵入口中心到出口处的垂直距离，m；

c_D 、 c_S ——分别为泵入口和出口处的液体平均流速，m/s。

若泵入口和出口直径相差很小，根据连续方程， $c_D \approx c_S$ ，于是泵的扬程可用式(1.4) 计算

$$H = \frac{p_D - p_S}{\rho g} + Z_{SD} \quad (\text{m}) \quad (1.4)$$

(2) 风机的能头

风机的能头称为全压，包括静压和动压，全压系指每立方米气体流过风机时所获得的全压增加值，用符号 p 表示。故风机的全压为：

$$p = \left(p_2 + \frac{\rho c_2^2}{2g} \right) - \left(p_1 + \frac{\rho c_1^2}{2g} \right) \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.5)$$

式中 p_1 、 p_2 ——分别表示风机进口和出口断面的压力， N/m^2 ；
 c_1 、 c_2 ——分别表示风机进口和出口断面的平均速度， m/s ；
 ρ ——气体重度， N/m^3 ；
 g ——重力加速度， m/s^2 。

对风机来说，由于输送的是气体（可压缩性流体），即使进出口风管直径相差不大，但流速仍可相差很大，因此，其动压改变较大，且在全压中所占的比例很大，有时甚至可达全压的50%以上。并且，管路的输送阻力要由静压来克服，因此，风机的风压需要用全压 p 及静压 p_{st} 分别表示，其中，动压以符号 p_d 表示，规定为：

$$p_d \approx \frac{\rho c^2}{2g} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.6)$$

风机静压以符号 p_{st} 表示，为：

$$p_{st} = p_2 - p_1 - \frac{\rho c_1^2}{2g} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.7)$$

由上可知，风机的全压 p 包括静压 p_{st} 和动压 p_d 两部分，即

$$p = p_{st} + p_d \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.8)$$

1.3.3 功率

功率是指单位时间内所做的功，如果在1s内把100N重的物体提高10m的高度，这时就对物体做了1000N·m的功，即功率等于1000N·m/s，或1000W。瓦单位在工程中使用太小，常用千瓦（kW）来表示。

泵与风机的功率可分为有效功率、轴功率和原动机功率。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率，也就是泵与风机的输出功率，用符号 P_e 表示，单位为kW。

泵与风机对流体所做的有效功率，必须从原动机那里获得。我们把原动机传递给泵或风机轴上的功率称为轴功率，用符号 P 表示，单位为kW。因为在泵与风机内部有各种损失，因而轴功率不可能完全传给流体，所以有效功率始终小于轴功率，即 $P_e < P$ 。由于考虑泵与风机运转时可能出现的超负荷情况，所以原动机的配套功率 P_g 通常选择得比轴功率 P 大些，而轴功率又比有效功率 P_e 大些，即 $P_g > P > P_e$ 。

1.3.4 效率

效率是衡量泵与风机工作经济性的指标。如前所述，泵与风机内部有各种损失，要消耗一部分能量，轴功率不可能全部变为有效功率。我们把有效功率与轴功率之比称为总效率，用符号 η 表示。即

$$\eta = \frac{P_e}{P} \times 100\% \quad (1.9)$$

由上式可见，当有效功率一定时，轴功率越小，则泵与风机的总效率越高。例如，某台泵的有效功率为7kW，轴功率为10kW，那么其效率就是70%。

1.3.5 转速

泵或风机转子旋转速度的快慢将直接影响泵或风机的流量、压力、效率。转速是指泵或风机的转轴每分钟的转数，用符号 n 表示，单位为 r/min 。一定的转速，产生一定的流量 q_v 、能头 H ，并对应着一定的轴功率，当转速改变时，流量 q_v 、能头 H 以及轴功率 P 都将随之改变。所以，必须按照说明书或铭牌上规定的转速运转，否则将达不到设计要求，或者将导致部件超速损伤。

除上述5个主要参数之外，泵或风机还有比转数，允许汽蚀余量或允许吸上真空高度等参数。