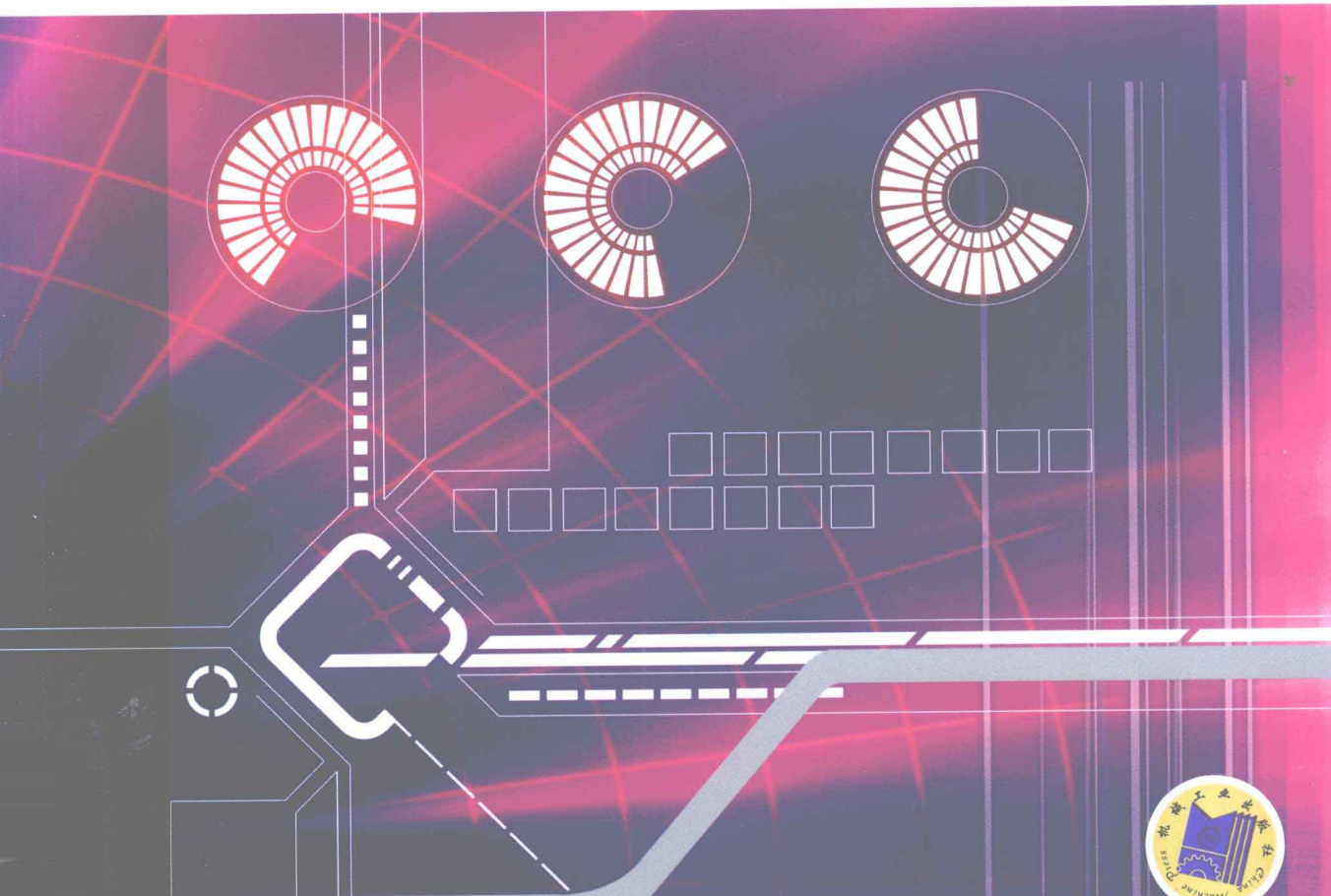




叶片式泵·通风机·压缩机

(原理、设计、运行、强度)

成心德 编著



叶片式泵通风机·压缩机

(原理、设计、运行、强度)

成心德 编著



机械工业出版社

本书既深入阐述了叶片式流体机械的原理，又具体介绍了各种机器的设计方法，还介绍了流体机械的运行特性和零部件的强度计算等内容。全书主要包括四部分内容：叶轮机械的基本概念和基本定理，平面叶栅和离心叶轮内的流动特性，各种损失的计算；离心式流体机械的叶轮和固定过流部件的水力设计，气动设计和热力设计，圆柱形叶片和双曲率叶片的设计方法，压缩机的冷却和冷却器设计；轴流式流体机械基元级的设计，轴流泵和通风机的设计以及多级轴流压缩机的设计；流体机械的运转特性，喘振、失速、联合和调节等内容，主要零部件的强度计算，转子的临界转速计算以及转子的平衡等内容。

本书可供矿山、冶金、石油、化工、环保、电力、农业等有关制造厂、设计单位、高校有关专业人员使用和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

叶片式泵通风机·压缩机：原理、设计、运行、强度/成心德编著.
—北京：机械工业出版社，2011.7

ISBN 978-7-111-34021-8

I. ①叶… II. ①成… III. ①叶片式泵②通风机③压缩机 IV.
①TH31②TH43③TH45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 058682 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：曲彩云 责任编辑：王春雨 责任校对：李秋荣

封面设计：路恩中 责任印制：乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 35 印张 · 867 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-34021-8

定价：89.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

策划编辑：(010) 88379782

社服务中心：(010) 88361066 网络服务

销售一部：(010) 68326294 门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

叶片式泵、通风机和压缩机是应用最广泛的通用机械，国内出版的有关读物甚多，除介绍泵和风机的一般原理和选型、运转、维修知识的读物外，大致可分为两类：一类是侧重论述叶片式流体机械的原理，只简单涉及机器的设计思路；另一类是论述某种机器的原理和设计的，很少涉及运行和强度计算。本书既深入阐述了叶片式流体机械的原理，又具体介绍了各种机器的设计方法，还介绍了流体机械的运行特性和零部件的强度计算等内容。为了学以致用，还完整地列举了各种离心式和轴流式机器的设计实例。此书是一本全面、系统地论述叶片式流体机械的原理、设计、运行和强度计算的新著作。

本书分四篇，共二十章。第一篇介绍了叶轮机械的基本概念和基本定理，论述了平面叶栅和离心叶轮内的流动特性，较深入地分析了各种损失及其计算，还专门介绍了相似原理及其应用、空化和空蚀以及气动噪声和降噪措施等内容。第二篇论述了离心式流体机械的叶轮和固定过流部件的水力设计、气动设计和热力设计，较详细地介绍了圆柱形叶片和双曲率叶片的设计方法，在第十章专门论述了压缩机的冷却和冷却器的设计。第三篇论述了轴流式流体机械基元级的设计，包括轴流泵和通风机的设计以及多级轴流压缩机的设计。第十六章专门论述了子午加速通风机和对旋通风机的设计。第四篇论述了流体机械的运转特性，包括喘振、失速、联合工作和调节等内容。还论述了主要零部件的强度计算，扼要介绍了转子的临界转速计算以及转子的平衡等内容。

叶片式泵、通风机和压缩机的工作原理和设计原则是相同的，但各种机器的设计方法有着各自的特点。书中在论述各个命题时，先介绍共性而后再分别论述各自的特点，以便于读者融会贯通，拓宽思路，激发创新能力。对于重要的计算公式，尽可能予以推导，力求使读者不但知其然，而且知其所以然。

李富成教授和聂能光教授审阅了部分原稿，提出了宝贵的意见，特此表示衷心的感谢。

本书可供矿山、冶金、石油、化工、环保、电力、农业等有关制造厂、设计单位、高校有关专业使用和参考。由于作者水平所限，难免有不妥和错误之处，欢迎读者予以指正。

作者

2010年4月于东北大学

常用符号说明

A	面积, 蜗壳张开度	l	压缩功, 长度
a	加速度, 声速, 叶道宽度	M	力矩, 质量
B	蜗壳宽度	Ma_c	绝对速度马赫数
b	叶轮叶片宽度, 翼型弦长	Ma_w	相对速度马赫数
C	常数, 系数, 空化比转速	Ma_u	圆周速度马赫数
c	绝对速度, 系数	Ma	马赫数
C_y	升力系数	m	多变指数, 质量
C_x	阻力系数	N	功率
c_p	比定压热容	Nu	努塞尔数
c_v	比定容热容	n	转速, 法线方向的长度
D	直径, 叶轮直径	n_{cr}	临界转速
d	直径	n_s	比转速, 安全系数
d_h	轮毂直径	P	通风机的压力 (全压)
\bar{d}_h	轮毂比	P_d	通风机的动压
dB	分贝	P_{st}	通风机的静压
E	弹性模量	Pr	普朗特数
Eu	欧拉数	Pe	贝克来数
e	自然对数的底	p	压力, 压强
F	力, 面积	p_a	大气压力
Fr	弗劳德数	p_d	叶片压力面压力
f	频率, 函数	p_s	叶片吸力面压力
G	重量	Q	体积流量, 热量
g	重力加速度	Q_M	质量流量
H	扬程, 水头	q	传给单位质量流体的热量
H_s	吸水高度	R	半径, 气体常数, 管网阻力系数
H_v	吸上真空度	Re	雷诺数
h	能量头	r	半径
Δh	能量头损失, 空化余量	S	面积, 流面
I	惯性矩, 声强	s	比熵, 沿流线的长度
i	比焓, 叶片入口冲角	T	周期, 热力学温度
J	转动惯量	t	摄氏温度, 叶栅距离, 时间
K	常数	u	圆周速度, 比内能
k	传热系数	V	体积
L	长度, 噪声级	v	比体积

W 功, 截面抗弯系数, 声功率
 w 相对速度
 Z 叶片数
 α 绝对气流角, 冲角, 角度, 表面传热系数
 β 相对气流角, 角度
 β_b 叶片安放角
 β_m 平均相对气流角
 Γ 速度环量
 γ 角度
 δ 厚度, 角度
 ε 压比, 应变
 ζ 损失系数
 η 效率
 η_h 流动效率
 η_v 容积效率
 η_m 机械效率
 θ 扩散角, 边界层动量厚度
 κ 等熵指数
 λ 功率系数, 阻力系数, 波长, 滑翔角, 热导率
 μ 动力粘度, 泊松比, 滑翔系数, 滑移系数
 ν 运动粘度
 ξ 损失系数
 ρ 密度, 曲率半径
 σ 应力, 叶栅稠度, 空化系数
 τ 切应力, 排挤系数
 ϕ 流量系数, 中心角, 速度势
 ψ 能量头系数, 压力系数
 Ω 反作用度
 ω 角速度

下 标

0 叶轮喉部
 1 叶道入口, 叶栅入口, 入口
 2 叶道出口, 叶栅出口, 出口
 A 噪声级

a 大气条件, 轴向分量
 ad 绝热, 等熵
 b 叶片
 cr 临界值
 d 出口, 动压
 dif 扩压器, 扩散器
 e 有效
 eq 当量
 f 摩擦
 h 小时, 水力, 流动
 hyd 水力, 流动
 i 内部, 序号
 imp 叶轮
 in 入口
 iso 等温
 m 子午分量, 平均, 机械
 max 最大
 min 最小
 n 额定值, 序号
 O 外部
 opt 最佳值
 out 出口
 p 压力面
 pol 多变
 r 径向, 旋转
 s 秒, 吸力面, 冲击
 st 静压
 T 理论
 t 切向
 th 理论
 u 周向
 v 容积, 蜗壳
 w 壁面
 z 轴向

上 标

' 叶道入口前, 叶道出口后
 — 相对值, 平均值

目 录

前言
常用符号说明

第一篇 原 理

第一章 导论	1
第一节 叶片式流体机械的分类	1
第二节 叶片式流体机械的结构形式	2
第三节 流体机械节能和降噪的重要性	6
第四节 叶轮机械的欧拉方程	7
第五节 能量方程	8
第六节 气体的压缩过程和压缩功	10
第七节 扬程、压力、能量头和压比	12
第八节 功率和效率	14
参考文献	18
第二章 叶轮内的流动	19
第一节 叶轮进出口速度三角形	19
第二节 绕孤立翼的流动	20
第三节 儒可夫斯基定理	23
第四节 平面叶栅的流体动力基本方程	26
第五节 平面叶栅的试验和额定特性曲线	29
第六节 离心叶轮内的一元流动	31
第七节 有限叶片数的影响	35
第八节 离心叶轮内的二元流动	40
参考文献	47
第三章 损失与效率	48
第一节 流动损失概述	48
第二节 离心叶轮内的流动损失	52
第三节 内部泄漏损失	65
第四节 轮阻损失	71
第五节 内部效率计算	73
第六节 轴流压缩机级的损失和效率	74
第七节 轴流泵的损失和效率	80
第八节 叶片式流体机械的性能曲线	82
参考文献	86

第四章 相似定理及其应用	87
第一节 相似定理概述	87
第二节 叶片式流体机械的相似准则与准则关系式	93
第三节 相似换算	97
第四节 比转速	104
第五节 相似设计	109
第六节 通风机和泵的系列型谱	111
参考文献	119
第五章 空化与空蚀	120
第一节 空化与空蚀的基本原理	120
第二节 空化余量与吸上真空度	123
第三节 空化的相似律	128
第四节 入口液流角与空化性能的关系	131
第五节 空化的热力学效应	134
第六节 改善泵的空化性能的措施	136
第七节 诱导轮的设计	138
参考文献	142
第六章 气动噪声与降噪措施	144
第一节 声波及其传播	144
第二节 噪声的量度	146
第三节 风机的气动噪声	152
第四节 风机噪声的测量方法	154
第五节 风机的噪声特性	159
第六节 降低风机声源噪声的措施	162
第七节 采用消声机壳降噪	168
参考文献	171

第二篇 离心泵、通风机和压缩机的设计

第七章 离心式叶轮的设计	172
第一节 选取转速和圆周速度确定机器的结构形式	172
第二节 离心泵和通风机叶轮几何参数的确定	174
第三节 离心压缩机叶轮几何参数的确定	186
第四节 叶片型线的绘制	192
第五节 半开式径向叶轮的设计计算	205
第六节 强前弯多叶通风机叶轮的设计计算	213
参考文献	222
第八章 压出和吸入装置	224
第一节 无叶扩压器	224
第二节 叶片扩压器与回流器（导轮）	233

第三节	蜗室	241
第四节	吸入装置	254
	参考文献	260
第九章	转子上的轴向力及其平衡	262
第一节	轴向力的产生及计算	262
第二节	轴向力的平衡方法	265
第三节	平衡盘的原理和设计	270
第四节	径向力及其平衡	274
	参考文献	276
第十章	压缩机的冷却	277
第一节	冷却方式与等温效率	277
第二节	冷却效果的评价与分析	279
第三节	段的压比分配	281
第四节	段数的确定	283
第五节	冷却器的传热过程	286
第六节	冷却器的结构与设计	290
	参考文献	293
第十一章	离心泵、离心通风机和压缩机设计实例	294
第一节	单级泵的设计实例	294
第二节	节段式多级泵设计实例	298
第三节	离心通风机设计实例	307
第四节	多段离心压缩机设计实例	314
第五节	半开式径向叶轮压缩机的设计实例	323
第十二章	混流泵和混流式压缩机	332
第一节	混流泵概述	332
第二节	混流泵的水力设计	334
第三节	混流式压缩机简介	339
	参考文献	341

第三篇 轴流泵、通风机和压缩机的设计

第十三章	轴流级的流体动力设计	342
第一节	基元级的叶栅配置方式和反作用度	342
第二节	径向平衡方程	344
第三节	叶片的扭曲规律	346
第四节	几种常用翼型的动力性能	352
第五节	原始翼型与叶片造型	356
第六节	叶轮结构参数的确定	360
第七节	孤立翼设计法	366
第八节	叶栅设计法	372

第九节	前导叶的设计	374
第十节	后导叶的设计	376
第十一节	轴流通风机的扩散器	378
	参考文献	381
第十四章	多级轴流压缩机的设计	382
第一节	轴流压缩机的结构与通道形式	382
第二节	多级轴流压缩机中流体流动的特点	383
第三节	基本参数的沿级变化	386
第四节	进气室与排气室的计算	391
第五节	确定首级、末级的参数与压缩机的级数	393
第六节	逐级进行热力气动计算	397
第十五章	轴流泵、通风机和压缩机设计实例	399
第一节	轴流泵设计实例	399
第二节	单级轴流通风机设计实例	404
第三节	两级轴流通风机设计实例	407
第四节	多级轴流压缩机设计实例	412
第十六章	子午加速轴流通风机和对旋通风机	424
第一节	子午加速轴流通风机的特点	424
第二节	子午加速叶轮内的气体流动	425
第三节	子午加速通风机叶轮的气动设计	428
第四节	对旋通风机	437
	参考文献	440

第四篇 运行与强度

第十七章	叶片式流体机械的运行	441
第一节	管网特性曲线与工况	441
第二节	喘振和旋转失速	443
第三节	堵塞流量	451
第四节	串联工作	452
第五节	并联工作	455
	参考文献	459
第十八章	调节	460
第一节	管道节流调节	460
第二节	变转速调节	464
第三节	变前导叶角度的调节	467
第四节	变动叶角度调节	473
第五节	变叶片扩压器角度的调节和变机器台数的调节	475
	参考文献	476
第十九章	主要零部件的强度与振动	477

X

第一节	离心叶轮叶片的应力计算	477
第二节	轴流叶轮叶片的强度和振动	479
第三节	轮盘的应力计算	485
第四节	离心通风机叶轮的强度计算	497
第五节	离心压缩机叶轮的强度计算	500
第六节	轴的强度计算	509
第七节	临界转速的概念	514
第八节	等直径轴的自由振动	516
第九节	双轮盘转子的临界转速计算	518
第十节	多轮盘转子临界转速的近似计算	519
第十一节	外伸双支承轴临界转速的计算	523
第十二节	影响临界转速的主要因素	525
	参考文献	526
第二十章	转子的平衡	527
第一节	转子平衡的基本概念	527
第二节	静平衡	531
第三节	动平衡	534
第四节	简易动平衡装置与现场动平衡方法	539
	参考文献	543
附录		544
附录 A		544
附录 B		545
附录 C		546
附录 D	常用材料的力学性能	547

第一篇 原 理

第一章 导 论

第一节 叶片式流体机械的分类

靠转动的叶轮上叶片的动力作用将能量传给连续流动的流体或靠流体传出能量推动叶片旋转的装置，称为叶轮机械。在叶轮机械中，转动的叶片对流体做正功或负功，使流体的压力升高或降低。叶轮机械分为两大类：一类是工作机，流体从其中吸收功率增加压力或水头(Head)，如叶片式泵、通风机和压缩机；另一类是原动机，流体在其中膨胀、降低压力或水头产生功率，如汽轮机、燃气轮机和水轮机。人们往往把原动机称为透平(Turbine)，而把工作机称为叶片式流体机械。本书只讨论属于工作机的叶片式流体机械，即泵、通风机和压缩机。

叶片式流体机械的分类如下：

1. 按是否考虑流体的压缩性分类

1) 不考虑流体压缩性的泵和通风机——泵输送的是不可压缩的液体。按我国行业标准规定，通风机输送的气体压力增值不超过 2500Pa 时，不考虑气体的压缩性。

2) 考虑气体压缩性的压缩机——压力增值在 15000Pa 到 0.2MPa 之间的鼓风机和大于 0.2MPa 的压缩机，必须考虑气体的压缩性。压力增值为 2500 ~ 15000Pa 的通风机，需要进行压缩性修正。

2. 按叶轮内流体的流动方向分类

1) 离心式——流体的流动过程完全或主要在垂直于主轴的平面内进行的装置，如图 1-1a 所示的单级离心压缩机。

2) 轴流式——流体的流动路线完全或主要与旋转轴平行的装置，如图 1-1b 所示的轴流通风机。

3) 混流式——叶轮出口流体的流动方向与轴成一定角度，以致径向分速与轴向分速都不能忽视的装置，如图 1-1c 所示的混流泵。

3. 按叶轮的吸入形式分类

1) 单吸——装有单吸叶轮。

2) 双吸——装有双吸叶轮。

4. 按机器的级数分类

1) 单级——转轴上装有一个叶轮。

2) 多级——转轴上装有两个或两个以上的叶轮。

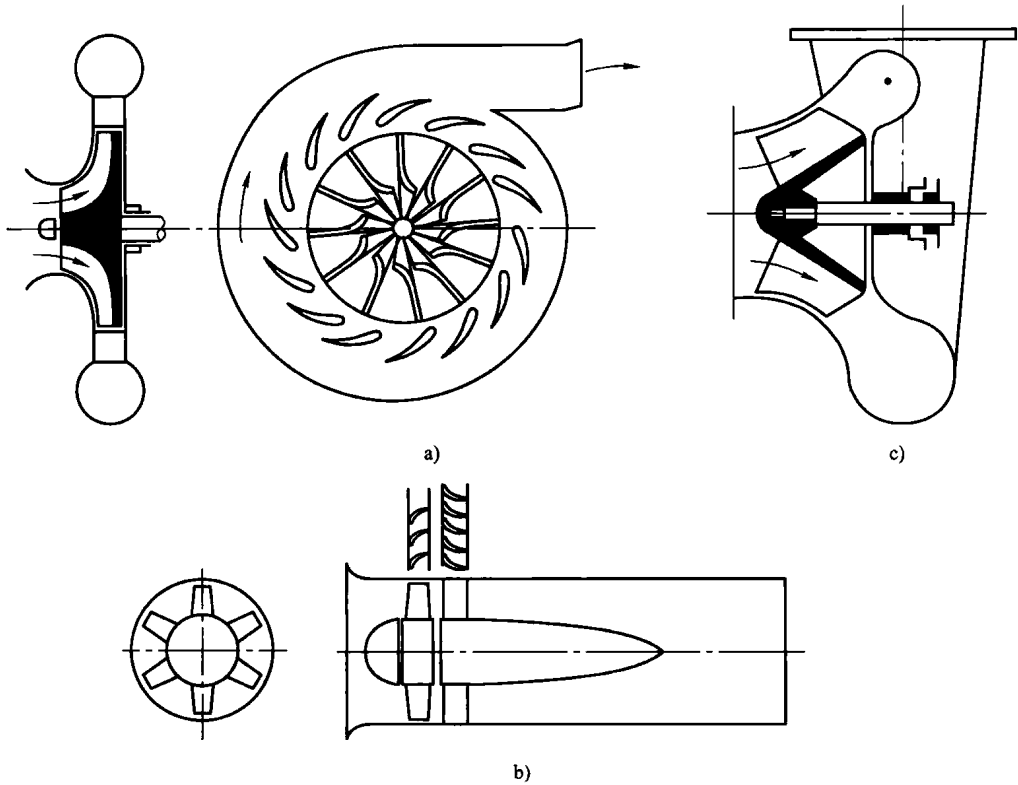


图 1-1 单级叶片式流体机械

第二节 叶片式流体机械的结构形式

叶片式流体机械中从进口到出口流体所流过的部分，称为通流部分或过流部分。通流部分包含三个元件。一是转动的叶轮，其任务是对流体做功。二是固定的吸入装置，其任务是将流体从外界引入叶轮。三是固定的压出装置，其任务是将叶轮出来的流体引向外界，并具有扩压作用。后两者统称为导向装置。不同类型的机器在结构上虽有所差别，但一般都具有这三个元件。下面介绍几种典型的叶片式流体机械的结构形式。

1. 悬臂式单级单吸离心通风机

图 1-2 是这种形式离心通风机的结构示意图。叶轮是由轮盘 6、叶片 8、轮盖 9 和轴盘 5 组成，装在悬臂轴上。集流器 10 是吸入装置，有的通风机在集流器前或集流器内装有前导器。蜗壳 7 是压出装置。原动机通过 V 带轮 1 带动主轴 4 旋转，通过叶片将能量传递给气体。

2. 单级双吸水平中开式离心泵

图 1-3 是这种形式的泵的剖面。双吸是指水流从两侧进入叶轮。沿着轴的水平面将泵的固定部分分成上下两半，上为泵盖，下为泵体，故称为水平中开式。与悬臂式不同的是转子支承在两端的轴承上，受力情况较好。泵体是由进水室和蜗室构成。进水管与排水管连接在下半的泵体上，安装检修时只要吊起泵盖即可取出转子，非常方便。

3. 立式轴流泵

图 1-4 是立式轴流泵结构的示意图。吸入装置 1 的形式与通风机的集流器相同。2 是轴流式叶轮。导叶 3 是压出装置，其流道是逐渐扩大的，起到扩压作用。导叶出口与等直径的或渐扩的出水管 4 连接。

4. 两级轴流通风机

图 1-5 所示是矿井采用的 2K60 轴流通风机。2 指两级，60 指轮毂比为 0.6。叶轮的叶片为机翼形扭曲叶片。叶片安放角可调。两个叶轮之间有中导叶 4。第二级叶轮的后面有后导叶 6。叶轮通过传动轴用联轴器 3 与原动机相联。

这种通风机的特点是可以通过改变中、后导叶的安放角实现通风机的反转反风。

5. 带中间冷却器的多级离心压缩机

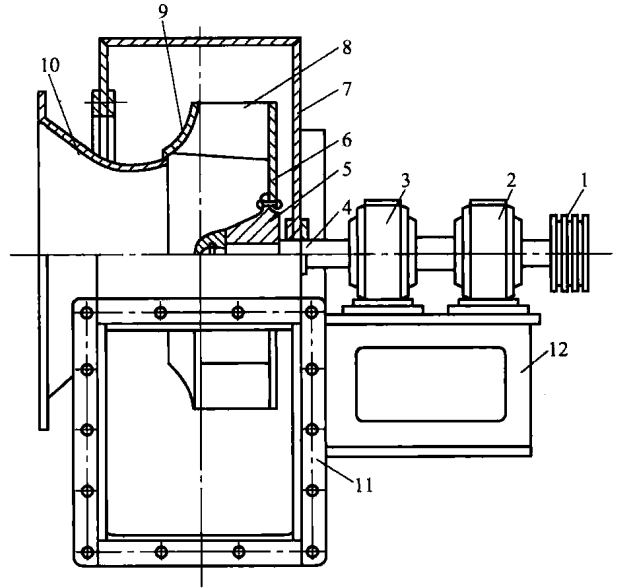


图 1-2 离心通风机结构示意图

- 1—V 带轮 2、3—轴承座 4—主轴 5—轴盘
6—轮盘 7—蜗壳 8—叶片 9—轮盖
10—集流器 11—出风口 12—底座

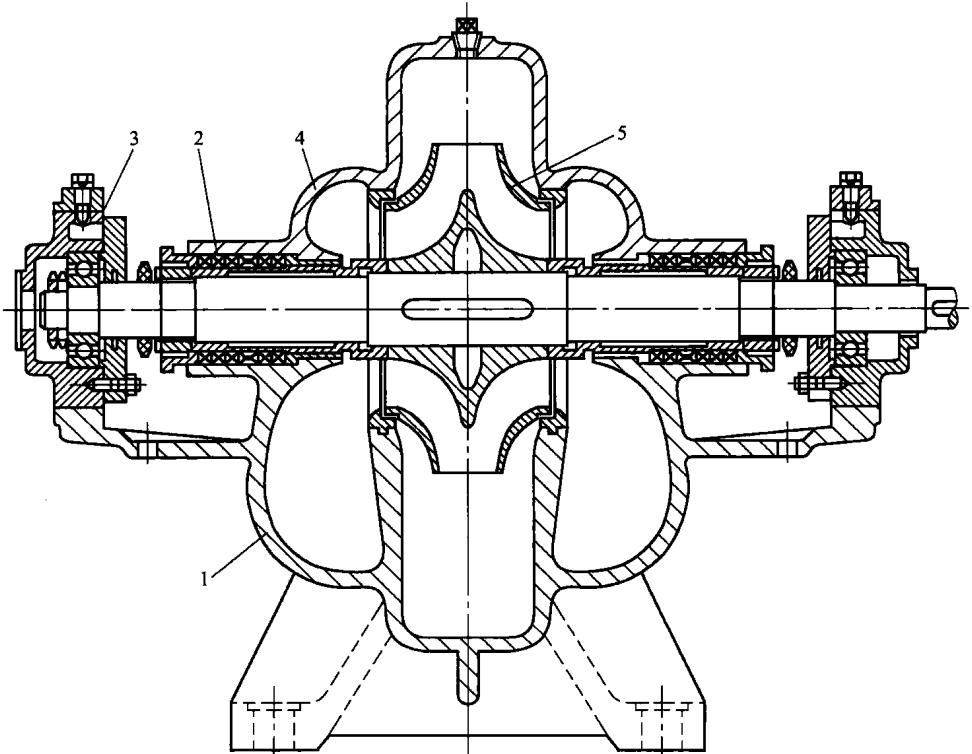


图 1-3 单级双吸水平中开式离心泵

- 1—泵体 2—密封部件 3—轴承部件 4—泵盖 5—叶轮

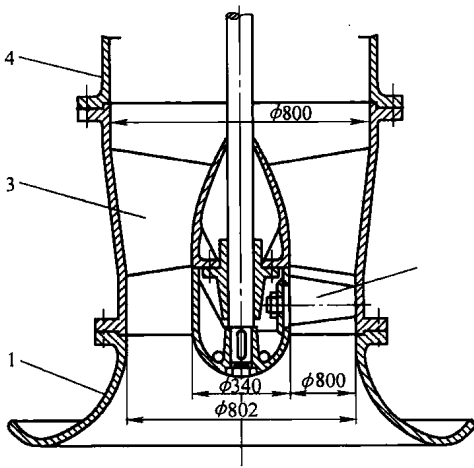


图 1-4 立式轴流泵

- 1—吸入装置 2—轴流式叶轮
3—导叶 4—出水管

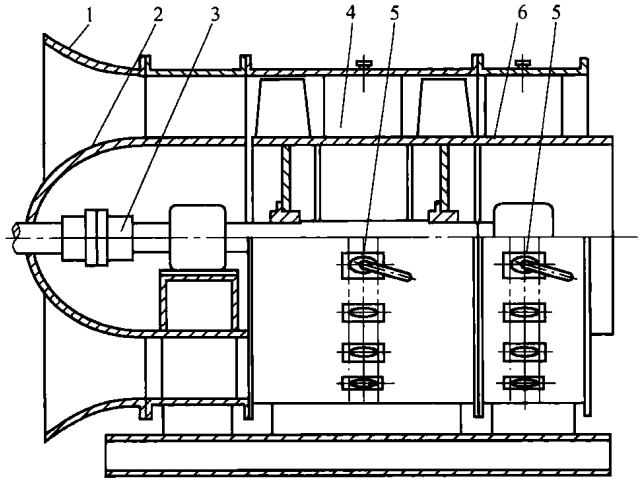


图 1-5 2K60 矿井轴流通风机

- 1—集流器 2—流线罩 3—联轴器 4—中导叶
5—导叶调角机构 6—后导叶

图 1-6 是中间冷却的两段四级离心压缩机的剖面。气体由吸气室 1 进入叶轮 6，获得能量升高压力后进入扩压器 7。在扩压器内气体的部分动压转变为静压，而后经过弯道 9、回流器 8 进入第二级叶轮，直至第一段出口。经过压缩后温度升高的气体由蜗室 10 进入中间

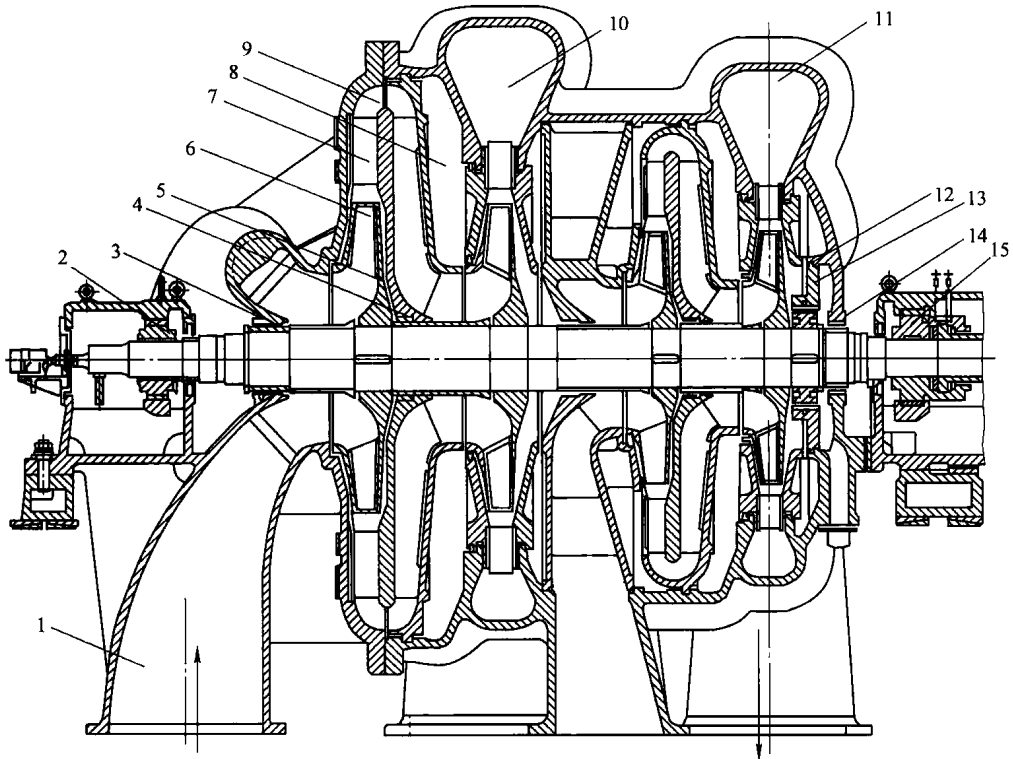


图 1-6 两段四级离心压缩机

- 1—吸气室 2—径向轴承 3—外密封 4、12—内密封 5—轮盖密封 6—叶轮 7—扩压器 8—回流器
9—弯道 10、11—蜗室 13—平衡盘 14—轴端密封 15—推力轴承

冷却器。冷却后的气体进入第二段再压缩后由蜗室排出。如排出的气体温度过高需要再度冷却时，可增设后冷却器。压缩机的轴端密封 14 和 3 为外密封，是用以减少或杜绝气体向外泄漏或倒流入机器的。轮盖密封 5 和隔板密封 4 是内密封，是用以减少内部泄漏的。平衡盘 13 是用以平衡指向叶轮入口方向的轴向力的，平衡盘外围的密封 12 也是内密封。2 为径向轴承。15 为推力轴承，是用以承受剩余的轴向力的。

6. 节段式多级泵

沿径向将泵壳垂直于轴线一段一段地分割开的多级泵，称为节段式多级泵。图 1-7 所示为节段式多级离心泵的剖面。在这种结构的泵中，每一级都由一个旋转的叶轮和固定的导轮组成。首级叶轮由进水管吸水。末级的导叶位于压水段中。除末级外，每一级由叶轮流出的水都经过导叶及回流器（又称反导叶）进入下一级叶轮。每一段的结构都相同。各段串联在一起后用穿杠及螺母固紧。这种结构的优点是紧凑、占地面积小、重量轻，可以改变段数适应需要的不同扬程。缺点是安装检修不方便。

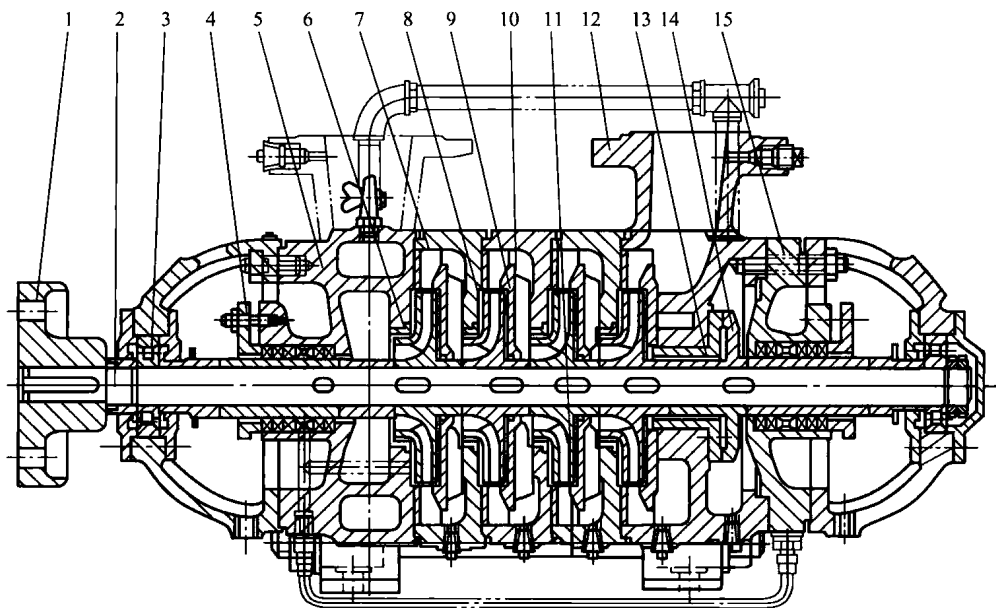


图 1-7 节段式多级离心泵

- 1—联轴器 2—泵轴 3—滚动轴承 4—填料压盖 5—吸入段 6—密封环 7—中段
8—叶轮 9—导叶 10—密封环 11—拉紧螺栓 12—压出段 13—衬环
14—平衡盘 15—泵盖

7. 多级轴流压缩机

图 1-8 所示为 Z3250-46 型轴流压缩机的剖面。轴流压缩机的结构较离心压缩机简单，只需将各个级串联起来，在两端接上进气室和排气室即可。由于不需要像离心压缩机那样设置弯道、回流器等部件，因而减小了流动损失，提高了压缩机的效率。为了减小进口损失和在第一级入口前形成预旋，在进气室 11 的后面设有收敛器 13 和进口导流器 12。在末级叶轮的后面设有出口导流器 8 和扩散器 9。

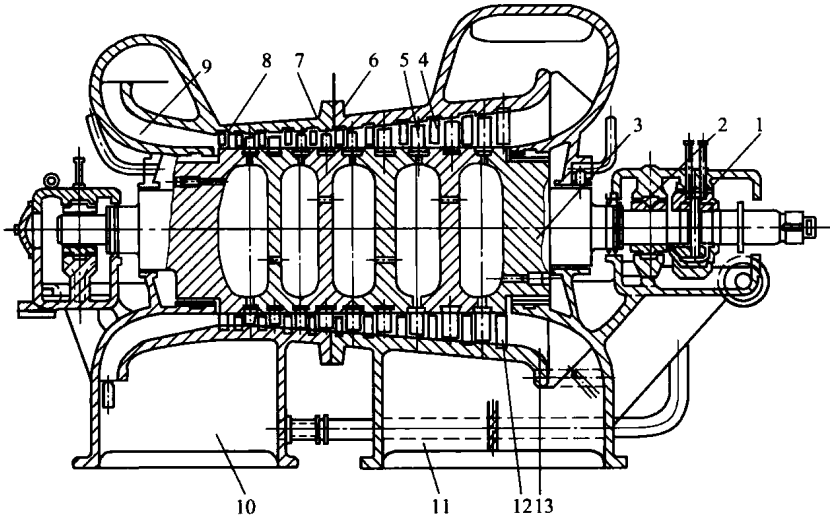


图 1-8 Z3250-46 型轴流压缩机

- 1—推力轴承 2—径向轴承 3—转子 4—静叶 5—动叶 6—前气缸
7—后气缸 8—出口导流器 9—扩压器 10—排气室 11—进气室
12—进口导流器 13—收敛器

8. H 型多轴压缩机

图 1-9 为 H 型多轴压缩机的示意图。图中中间轴的左端与电动机直连，通过齿轮驱动上、下两转轴。上面的轴装有第一级和第二级叶轮，为低转速轴。下面的轴装有第三级和第四级叶轮，为高转速轴。采用不同转速的原因是第三级和第四级中的气体压力升高，体积变小，流道变窄会引起叶轮出口相对宽度变小，使效率降低。将第三级和第四级的转速提高，可以减小叶轮的直径，使叶轮出口相对宽度变大，弥补了上述缺点。这种压缩机的另一特点是一级、二级、三级后面都有冷却器，使气体得到更好的冷却，有利于提高效率。小流量高压比的压缩机采用这种形式，与单轴压缩机相比，大幅度地提高了效率。

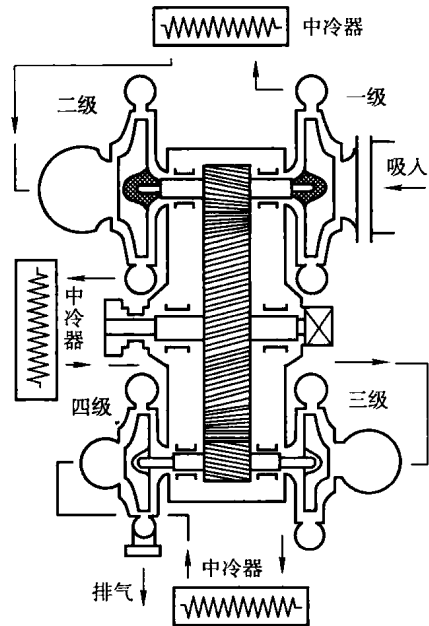


图 1-9 H 型多轴压缩机示意图

第三节 流体机械节能和降噪的重要性

流体机械广泛应用于化工、冶金、煤炭、石油、电力、国防、轻工、农业和民用部门。除少数功率很大的流体机械采用汽轮机和燃气轮机直接驱动和某些农业用机械用内燃机驱动外，绝大多数都用电动机驱动。根据有关部门对十几个部委和三十多个厂矿及设计院的调查，流体机械的用电量占全国用电量的比例是相当高的。就流体机械配套的电动机功率来