



化工 动力 制冷用

叶轮机械

姜 培 正

西安交通大学出版社

05
2

TQ05
J52

化工、动力、制冷用

叶 轮 机 械

姜 培 正

西安交通大学出版社

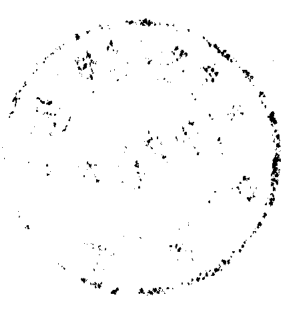
06
21
2438/32

内 容 提 要

本书以现代大型化工厂采用的各种叶轮机械为对象,其中包括叶轮式工作机如离心压缩机、轴流压缩机、离心泵、轴流泵和叶轮式原动机如工业汽轮机,燃气轮机以及制冷、低温装置中的透平膨胀机等,首先从统一的共性出发阐述其必要的基础理论知识,然后以离心压缩机和工业汽轮机为重点分述各种叶轮机械的工作原理、典型结构和运行特性。

全书共分三篇,第一篇是绪论和基础理论知识,第二篇是叶轮式工作机,第三篇是叶轮式原动机。

本书可作为化工设备与机械专业或流体机械,动力机械专业的主要教材或参考书,也可作为有关专业的研究、设计制造单位和化工厂中的工程技术人员了解与应用各种叶轮机械时的参考书。



化工、动力、制冷用

叶 轮 机 械

姜培正

责任编辑 刘 影

*

西安交通大学出版社出版

(邮政编码 710049)

西安电子科技大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数: 477 千字

1991 年 8 月第 1 版 1991 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—1 500

ISBN7-5605-0377-2/TH·18

定价: 5.10 元

前 言

我国化学工业发展十分迅速，许多现代大型化工厂关键的机械设备大都采用了流量大、转速高、功率大、效率高、运转周期长、操作维修方便的各种叶轮机械。如在化肥、乙烯等生产中，使用了离心压缩机、轴流压缩机、离心泵和轴流泵，驱动这些机器的动力设备使用了工业汽轮机、燃气轮机，在制冷和空气分离装置中还使用了透平膨胀机等。

以前，关于这些机器设备各有专门的著作，全部阅读这些著作要花费大量的时间和精力，并会感到重复乏味。由于这些机器设备在其基本原理和结构型式等方面有统一的共性，本书将其综合统编，使读者不仅能够节省大量的时间和精力，而且能够全面系统地掌握基本理论知识，更具触类旁通举一反三、灵活运用的能力。

以前的“化工机器”教科书中，涉及叶轮机械的内容较少，仅有离心压缩机和离心泵两部分，现已感到不能满足发展的要求。因为在一些大型化工厂中，不仅应用离心压缩机和离心泵，而且还可能应用适宜于更大流量的轴流压缩机和轴流泵。驱动这些工作机的原动机，往往不使用固定转速的电动机，而使用可变转速的工业汽轮机或燃气轮机。如果化工专业的学生对工业汽轮机或燃气轮机一无所知，将来在化工厂中工作，对一个大机组只能解决工作机一头的问题，而对另一头原动机中的问题束手无策，显然是不能满足工作需要的。事实上两者均属叶轮机械，只要在教学中稍加若干学时，即可相当容易地掌握有关汽轮机、燃气轮机的专业知识，便于在工作中全面照顾，具有解决整个大机组问题的能力。另外，原动机部分还涉及有关能量回收、综合应用和在制冷、空气分离装置中的应用，这些内容在化工厂往往也是颇为有用的。基于这种考虑，专门编写《叶轮机械》一书就很有必要了。本书共分三篇，第一篇是绪论和基础理论知识，第二篇是叶轮式工作机，第三篇是叶轮式原动机。由于化工流程中为各种流体增压输送的压缩机和泵用途广泛，需要量大，故本书将叶轮式工作机作为全书的重点，把它放在原动机的前面，并占用较大的篇幅，加以较详细地阐述，其中又以离心压缩机为典型作较全面地阐述。书中不仅分析了离心压缩机的结构型式、工作原理以及提高效率节省耗功应采取的措施，使学生具有从事离心压缩机的设计能力，而且还分析了离心压缩机的工作特性、变工况运行调节以及发生喘振的原因、危害和防止喘振应采取的措施，使学生具有从事离心压缩机安全运行操作的能力。相对说来，叶轮式原动机部分所占篇幅较少，以化工厂中较多采取的工业汽轮机作为典型，除对其装置、结构型式、工作原理作一般性分析之外，还用了一定篇幅着重分析了工业汽轮机变工况的内特性和外特性，使学生对化工用的工业汽轮机能有一个既有侧重又较全面的了解。以基础理论知识统一的共性为指导，上面所提到的两种机器为典型，其它叶轮机械如轴流压缩机、离心泵、轴流泵、燃气轮机、透平膨胀机即很容易了解，只需着重将这些叶轮机械的特点和应用场合加以说明也就够了，故所占篇幅大大节省了。

当前，全面阐述叶轮机械的书少见，特别是还没有专门针对化工用的叶轮机械书。本书编写中对内容的选取、顺序的排列、重点的突出和全面的照顾都是专门针对化工生产对叶轮机械设备的实际需要考虑的。这样编写教材是一种新的尝试，编者的期望是扩大化工专业及有关专业学生对叶轮机械的全面了解，增强工作适应能力，并为在化工部门工作的

工程技术人员了解与应用叶轮机械提供一部参考书。因此，若能得到有关教师，学生和工程技术人员批评和建议，本书能在实际应用方面汇集各种意见加以改进，编者会倍感欣慰的。

近年来，我校化机专业学生学习过“叶轮机械”这门课程，他们都感到有较大的收获，已能在毕业设计阶段从事离心压缩机等叶轮机械的毕业设计。有的毕业生在工作岗位上已参与解决有关叶轮机械的选型、设计、运行操作及技术改造等方面的一些工作问题。由此可见学习“叶轮机械”这门课程的确是十分可行而又有效的。

使用该书进行教学，约需 60~80 学时，其中重点是离心压缩机和工业汽轮机两章，它们约需 30~40 学时，其它叶轮机械各章，可根据具体情况适当精减内容，或者只用很少学时概述其特点与应用。有几章后面列出了思考题，供学生复习参考。

本书是编者在近年来给西安交通大学化机专业讲授“叶轮机械”的教学实践基础上，对原编的讲义进一步整理修改重新编写而成的。在编写过程中曾得到我校石华鑫教授等同志的指导和帮助，他们对该书的编写提出了许多宝贵意见，编者采纳后又作了相应地修改。对于他们的热心指导和具体帮助，谨在此衷心致谢。

由于作者的水平和能力有限，加之时间仓促，书中定有不妥与错误之处，恳请读者批评指正。

姜培正

1989 年 6 月于西安交通大学

主要符号说明

a 音速; 加速度	w 相对速度
b 宽度; 弦长	x 干度; 速比; 容积百分比
c 绝对速度; 比热; 系数	x, y, z 直角坐标系坐标
d 直径	X 极性因子
D 直径; 扩压因子	z 叶片数; 齿数
f 面积	Z 压缩性系数
F 力	希文
g 重力加速度	α 绝对速度方向角
G 质量流量	β 相对速度方向角
h 焓	α_A, β_A 叶片角
H 能量头; 扬程	Γ 环量
i 冲角	δ 叶片厚度; 落后角
k 等熵绝热指数; 系数; 比值	ε 压力比
l 长度; 弧长	ζ 损失系数
L 单位质量的功	η 效率
m 质量; 多变指数	θ 扩张角; 弯曲角
M 力矩; 马赫数	λ 摩擦阻力系数;
n 转速; 等温指数	μ 动力粘性系数; 滑移系数; 分子量
n_s 比转数	ν 运动粘性系数
N 功率	ξ 损失系数
NPSH 汽蚀余量	π 圆周率; 压力比
p 静压	ρ 密度
q 热量	τ 叶片阻塞系数; 温比; 切应力
Q 容积流量; 热量	φ 速度系数; 有用功系数
r 半径	φ_r 流量系数
$r, \theta(\varphi), z$ 圆柱坐标系坐标	φ_u 周速系数
R 半径; 气体常数; 力	ψ 能量头系数; 速度系数
Re 雷诺数	ω 角速度; 偏心因子
S 熵; 间隙	Ω 反作用度
t 时间; 栅距	下标
T 温度	0, 1, 2, ... 特征截面
u 圆周速度	ad 等熵
U 内能	Cr 临界
v 比容	dif 扩压器
V 体积	eq 当量

hyd 流动
imp 叶轮
in 进口
is 等温
m 平均; 混合
max 最大
min 最小
noz 喷管
opt 最佳
out 出口
p 压力; 等压; 压力面
pol 多变

s 等熵; 吸力面
sep 分离
sh 冲击
scc 二次流
t, th 理论
tot 总
T 温度; 等温
v 比容
V 容积; 等容
上标
* 滞止
' 模型

目 录

前 言

主要符号说明

第一篇 绪论与基础理论知识

第一章 绪 论

第一节 叶轮机械的工作原理和结构简述	1
第二节 叶轮机械的分类	4
第三节 叶轮机械的特点	5
第四节 叶轮机械在国民经济中的地位和化工、石油等工业中的应用	7
第二章 叶轮机械的流体力学与热力学基础知识	
第一节 叶轮机械流体流动的简化假设	10
第二节 流体力学基本方程的应用	10
第三节 热力学基础知识的应用	18
第四节 实际气体的热力学特性	23
附表 I、II	34

第二篇 叶轮式工作机

第三章 离心压缩机

第一节 离心压缩机级的结构与工作原理	41
第二节 级中的能量损失、功率、效率和级的性能曲线	44
第三节 叶轮和固定部件	70
第四节 多级离心压缩机	100
第五节 离心压缩机的性能与调节	115
第六节 相似理论在压缩机中的应用	132
思考题	146

第四章 轴流压缩机

第一节 轴流压缩机级的结构与工作原理	149
第二节 级中的能量损失和级效率	159
第三节 平面叶栅实验与设计	165
第四节 叶片扭曲规律	172
第五节 多级轴流压缩机	179
思考题	181

第五章 离心泵与轴流泵

第一节 离心泵的结构、基本参数和工作原理	182
第二节 离心泵的汽蚀	189
第三节 泵的运行特性与调节	196
第四节 介质粘性对泵性能的影响及换算	119
第五节 轴流泵概述	202
第六节 相似理论在泵中的应用	205
思考题	214

第三篇 叶轮式原动机

第六章 工业汽轮机

第一节 工业汽轮机概述	215
第二节 轴流级	219
第三节 长叶片轴流级	244
第四节 多级轴流汽轮机	247
第五节 工业汽轮机的特性与调节	254
思考题	267

第七章 燃气轮机

第一节 燃气轮机概述	269
第二节 燃气轮机的热力循环	271
第三节 燃气轮机的变工况特性	273

第八章 透平膨胀机

第一节 制冷与低温装置中的透平膨胀机概述	279
第二节 向心透平及其反作用度、轮周效率	284
第三节 有叶喷嘴、无叶喷嘴和向心叶轮	290
第四节 各种损失与效率	294
第五节 透平膨胀机的性能与调节	297

后 语

参考文献

第一篇 绪论与基础知识

第一章 绪 论

第一节 叶轮机械的工作原理和结构简述

一、叶轮机械工作原理简述

叶轮机械是一种实现能量转换的机械。它主要是在连续流动的工作介质与等速旋转的叶轮之间按照欧拉方程来实现能量的转换。

叶轮机械亦称为透平机械，它包括叶轮式原动机和叶轮式工作机两大类。叶轮式原动机是由流动介质驱动叶轮旋转，从而将流体介质的压力能和动能转变为叶轮的机械能，并通过旋转轴将机械能输送出去，例如用来驱动发电机或离心压缩机。而叶轮式工作机则是由原动机驱动工作机的叶轮旋转，从而将叶轮的机械能转变为流体介质的压力能和动能并输送出去，例如将氮氢混合气增压并输送到高压合成塔中合成为氨气。因此就叶轮式原动机和叶轮式工作机的能量转换原理而言，二者是互为反作用的。

二、叶轮机械的结构简述

1. 叶轮式工作机的典型结构

我们以一台离心压缩机作为叶轮式工作机的一种典型结构。图 1.1-1 是 DA120-61 离心压缩机的纵剖面图。气体由吸气室 1 吸入，叶轮 2 对气体做功，使气体压力，温度，速度提高，然后流入扩压器 3，使速度降低，压力提高。弯道 4、回流器 5 主要起导向作用，使气体流入下一级。由叶轮和其它固定部件如扩压器、弯道、回流器等构成一级，级是离心压缩机的基本单元。为了减少耗功，由第三级流出的气体通过蜗室 6 引到外面的中间冷却器进行冷却。冷却降温后的气体再经吸气室进入第四级继续压缩。最后由末级流出的高压气体经出气管输出。

离心压缩机的零部件很多，我们把转动的零部件统称为转子，它由主轴 15 及装在轴上的叶轮 2、平衡盘 11、推力盘 12、联轴器 13 和卡环 14 等组成。固定零部件有机壳(气缸) 16、扩压器 3、弯道 4、回流器 5 和蜗室 6。其扩压器一侧装有隔板 19、回流器中装有导流叶片 20。另外还有防止漏气的密封 7, 8, 9, 10, 支持轴承 17 和支持-止推轴承 18 等。

中间冷却器把离心压缩机分为若干段，中间冷却器的个数加 1 为段数。例如图 1.1-1 为两段六级压缩机。

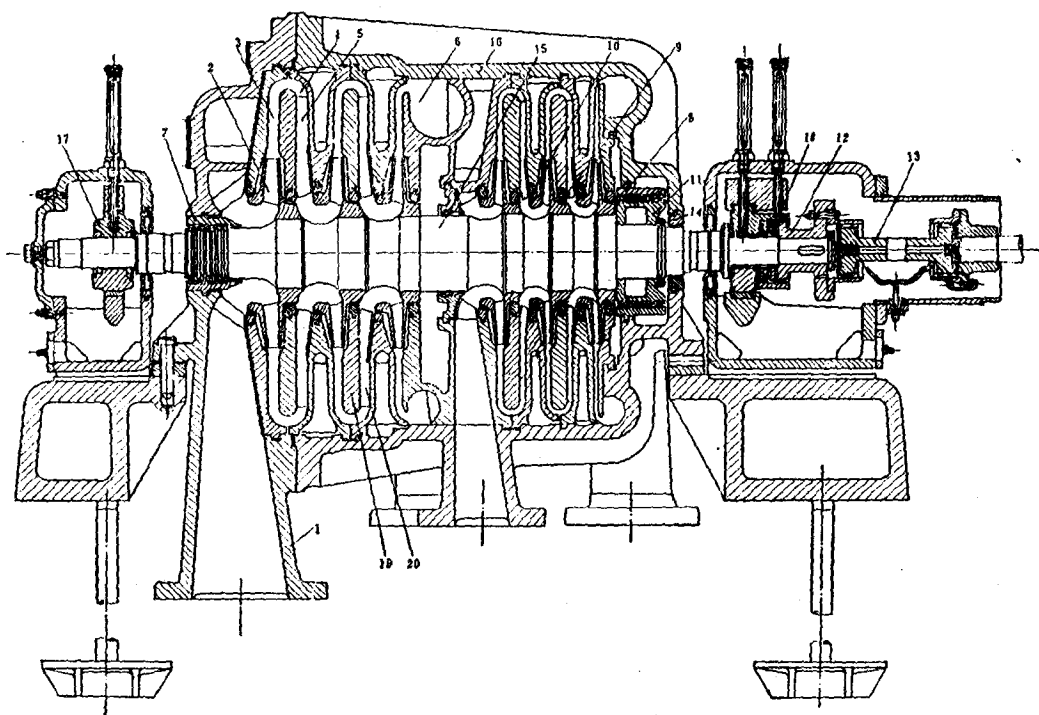


图 1.1-1 DA120-61 离心式压缩机纵剖面图

- 1—吸气室；2—叶轮；3—扩压器；4—弯道；5—回流器；6—蜗室；7、8—轴端密封；
9—隔板密封；10—轮盖密封；11—平衡盘；12—推力盘；13—联轴器；14—卡环；
15—主轴；16—机壳；17—支持轴承；18—止推轴承；19—隔板；20—回流器导流叶片

离心压缩机还有低压缸和高压缸之分。当输送的介质所需的压力很大，而在一个气缸中难以容纳所需的级数时，则需由低压缸压缩机和高压缸压缩机串联来完成。

2. 叶轮式原动机的典型结构

我们以一台蒸汽轮机作为叶轮式原动机的一种典型结构。图 1.1-2 是中压 12 000kW 汽轮机的纵剖面图。从锅炉引来的新蒸汽经汽量调节阀 1 进入第一级喷嘴(静叶栅) 2，蒸汽在喷嘴中膨胀加速，变压力能为动能，然后进入叶轮 3。蒸汽推动叶轮上的许多叶片(动叶栅)使叶轮旋转，从而变动能和压力能为叶轮的输出功。由一个环形喷嘴叶栅和一个叶轮组成一级，级也是蒸汽轮机的基本单元，该机共有 10 级。在两个相邻叶轮之间有装配喷嘴的中间隔板 4，隔板固定在汽缸 5 上。叶轮均装配在轴 6 上，为防止漏汽两端装有密封 7。轴放在支持轴承 8 和支持止推轴承 9 上。此外，轴的前端还有供润滑系统和调节系统用的主轴泵 10，旋转阻尼器 11 和超速保险器 12。轴的后端有与发电机或压缩机的转子相联接的联轴器 13 等。汽轮机也分缸，有高压缸，中压缸，低压缸之分。

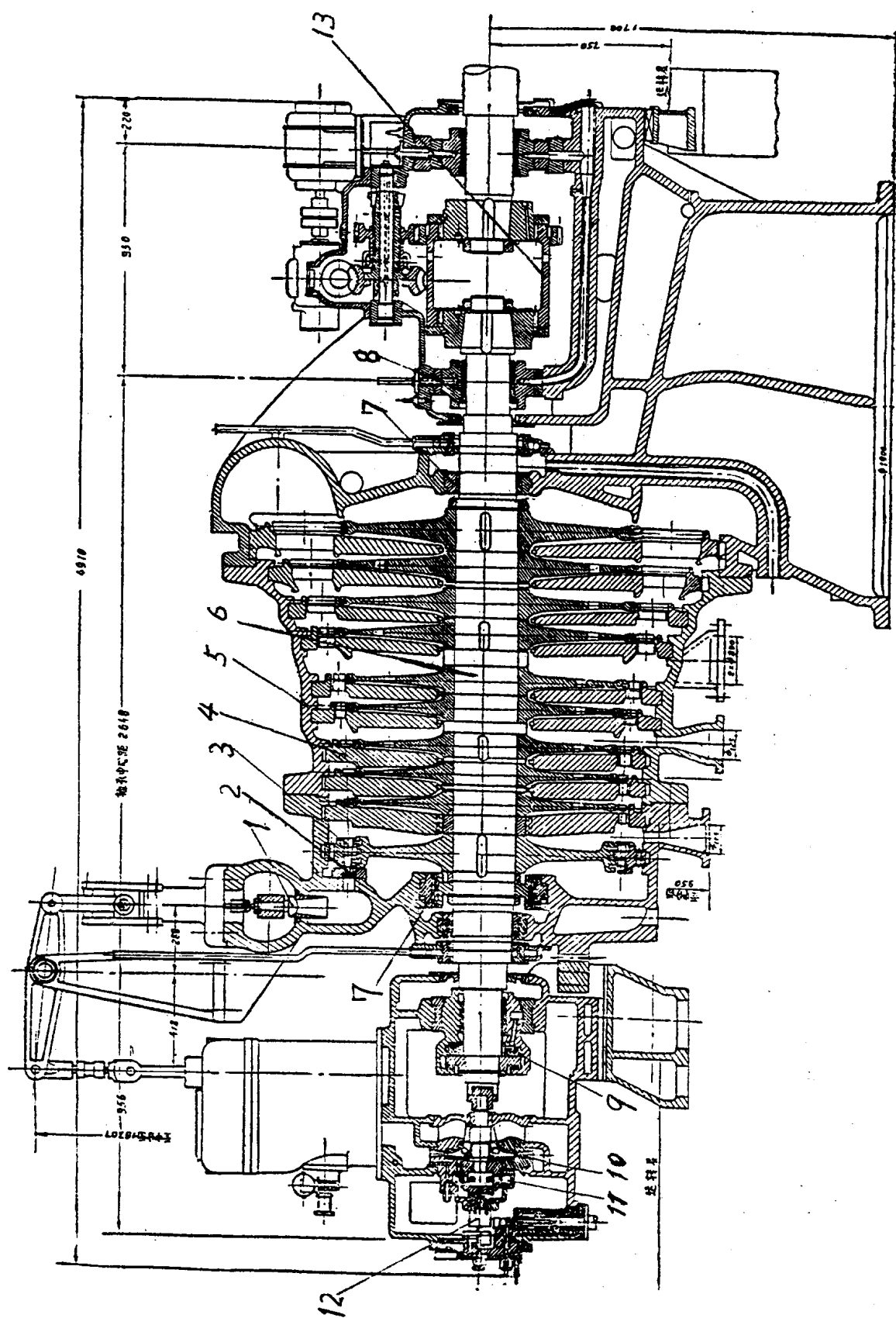


图 1.1-2 12 000kw 汽轮机剖面图

1—调节阀; 2—喷嘴; 3—叶轮; 4—隔板; 5—汽缸; 6—轴; 7—密封; 8—支持轴承; 9—止推轴承; 10—主油泵; 11—阻压器; 12—超速保险器; 13—联轴器;

第二节 叶轮机械的分类

叶轮机械种类繁多, 根据作用原理, 结构形式和用途等可大致分类如下。

一、按作用原理分类

(1) 叶轮式原动机, 如蒸汽轮机, 燃气轮机, 余气、废气或尾气透平, 制冷、低温装置中的透平膨胀机等。

(2) 叶轮式工作机, 如压缩机, 鼓风机, 通风机, 风扇, 输送水或其它液体的泵等。

二、按流体在叶轮机械中的主要运动方向分类

(1) 径流式叶轮机械: 流体的主要运动方向为垂直于旋转轴的径向方向, 如离心式压缩机、鼓风机、通风机, 离心泵, 离心透平(很少采用), 向心透平(在径流式中较多采用)等。

(2) 轴流式叶轮机械: 流体的主要运动方向与旋转轴平行, 如轴流式压缩机、鼓风机、通风机、轴流泵, 轴流式汽轮机、燃气轮机、烟气轮机、透平膨胀机等。

(3) 混流式叶轮机械: 流体的主要运动方向与旋转轴线成某一锐角, 如混流式压缩机、泵和混流式透平等。

三、按结构形式分类

(1) 单级, 多级; 分段, 分缸。如单级离心压缩机, 多级轴流压缩机, 三段六级离心压缩机, 高压缸, 中压缸和低压缸三缸轴流式蒸汽轮机等。

(2) 气缸水平剖分式, 垂直剖分式, 筒体式。

(3) 单面进气叶轮, 双面进气叶轮。

(4) 带中间冷却, 不带中间冷却。

(5) 带中间补汽或抽汽, 不带中间补汽或抽汽。

(6) 轴流级加离心级混合式, 例如在一个压缩机的气缸中前面为八级轴流级, 后面为二级离心级。

四、按用途分类

(1) 按用途命名的: 如化肥用离心压缩机, 制药用离心压缩机, 空气分离装置用离心压缩机, 制冷装置用离心压缩机, 高炉轴流鼓风机, 锅炉引风机, 锅炉给水泵, 碱液循环泵, 电站汽轮机, 变转速工业汽轮机, 航空发动机用燃气轮机和轴流压缩机, 烟气能量回收透平, 制冷透平膨胀机等。

(2) 按介质命名的: 如氮氢气压缩机, 氨压缩机, 二氧化碳压缩机, 乙烯压缩机, 氯气压缩机, 天然气压缩机, 裂解气压缩机, 蒸汽轮机, 燃气轮机, 废气透平, 稀硫酸泵, 浓硫酸泵等。

五、按流体压力分类

(1) 在叶轮式工作机中, 通常根据所输出气体压力的大小作如下分类:

a. 压缩机: 出口压力在 0.35MPa 以上;

b. 鼓风机: 出口压力约为 0.015MPa~0.35MPa

c. 通风机: 出口全压在 0.015MPa 以下

d. 扇风机: 出口全压大约在 0.001MPa 左右这种风机往往没有机壳它亦称风扇。

(2) 在叶轮式原动机中，通常汽轮机按进汽压力大小作如下的分类：

- a. 低压汽轮机：进汽初压约为 $0.12\sim 1.5\text{MPa}$
- b. 中压汽轮机：进汽初压约为 $2\sim 4\text{MPa}$
- c. 高压汽轮机：进汽初压约为 $6\sim 12\text{MPa}$
- d. 超高汽轮机：进汽初压约为 $12\sim 22.5\text{MPa}$
- e. 超临界汽轮机：进汽初在 22.5MPa 以上。

六、按热力特性分类

在叶轮式原动机中，通常汽轮机还按热力特性作如下分类：

(1) 凝汽式汽轮机

- a. 凝汽式汽轮机：排汽在低于大气压力的真空状态下进入凝汽器凝结成水；
- b. 抽汽凝汽式汽轮机：排气压力低于大气压，工业用抽汽压力一般为 $0.8\sim 1.6\text{MPa}$ ，生活用抽汽压力一般为 $0.07\sim 0.25\text{MPa}$ 。

(2) 背压式汽轮机

- a. 背压式汽轮机：排汽压力高于大气压力；
- b. 抽汽背压式汽轮机；
- c. 多压式汽轮机：既有中间抽汽，亦有中间注汽，能充分利用工业生产流程中的副产蒸汽，使热能得到综合利用。

第三节 叶轮机械的特点

在化工机械、通用机械和动力机械中应用较多的是活塞机械和叶轮机械。叶轮机械与活塞机械相比较，具有以下几方面的特点。

一、优点

(1) 流量大、功率大 由于活塞机械仅能间断地进气、排气，气缸容积较小，活塞往复运动的速度不能太快，因而活塞机械的排气量和发出的功率要受到很大的限制。而流经叶轮机械的介质一直是连续不断的，气缸的容积较大，叶轮能够高速旋转，故叶轮机械的排气流量和发出的功率可大大增加。因此，这是大型电站、大型动力设备、大型石油化工设备、大型化肥设备和大型制冷与空气分离设备等用叶轮机械取代活塞机械的重要原因之一。例如目前高炉轴流压缩机的流量可达 $1\times 10^4\text{m}^3/\text{min}$ ，汽轮发电机组的功率可达 1300MW 。

(2) 高速特性 活塞机械的运动部件有活塞、连杆和曲轴等，必须实现旋转与往复运动之间的变换，其转动惯量较大。活塞环与气缸壁直接接触，运动时存在摩擦，进、排气阀又时开时闭，因此使运动部件的速度受到很大的限制。而叶轮机械的运动部件为叶轮和轴等，仅作旋转运动。叶轮与气缸或与其他固定部件之间有一定的间隙，所以转动惯量小，摩擦损耗小，适合高速旋转。一般活塞机械的转速大约为 $250\sim 2000\text{r}/\text{min}$ ，而叶轮机械的转速大约为 $1500\sim 20000\text{r}/\text{min}$ 。气体轴承式的透平膨胀机转速高达 $1\times 10^5\text{r}/\text{min}$ 以上。在活塞压缩机中的气体流速大约为 $10\sim 100\text{m}/\text{s}$ ，而在叶轮机械中的气体流速大约为 $30\sim 300\text{m}/\text{s}$ ，有的气流速度超过音速。

(3) 运行性能好 活塞机械由于进、排气阀、活塞环、填料函易磨损等原因，每年约

需 1 000 小时用于检修, 运转率仅达 85% 左右, 且排气不稳定, 不均匀, 受油污染。而叶轮机械运转平稳可靠, 使用周期长, 排气稳定、均匀, 噪音较小, 不受油污染, 一般可连续运转 1~3 年不需停机检修, 甚至亦可不用备机, 以节省投资。

(4) 结构紧凑 叶轮机械与活塞机械相比还具有结构紧凑, 机器的零部件少、重量轻、尺寸小, 不需要笨重的基础等。还可方便地实现叶轮工作机和原动机的直接连接和改变转速。

二、缺点

(1) 透平压缩机的单级压力比不高, 要求高压比率的压缩机所需的级数比活塞压缩机要多。所以目前排气压力在 70MPa 以上的, 只能使用活塞压缩机。

(2) 因转速高和流通截面大, 故不能适应太小的流量。

(3) 因气流速度较大等原因, 造成能量损失较大, 故效率稍低于活塞机械。

(4) 因转速高, 有可能产生机械振动。在运行特性方面, 透平压缩机有可能出现喘振, 叶轮泵有可能出现汽蚀。但如采取适当的措施, 这些不利影响是可以防止的。

鉴于以上特点, 透平压缩机宜用于大流量的场合, 而容积压缩机(活塞压缩机和回转压缩机) 宜用于小流量的场合。图 1.3-1 表示各类压缩机的适用范围。不过, 随着科技进步和机械制造业的发展, 透平压缩机的使用范围在不断向高压力和小流量方向扩展。

叶轮泵的使用范围更为广泛, 如图 1.3-2 所示。

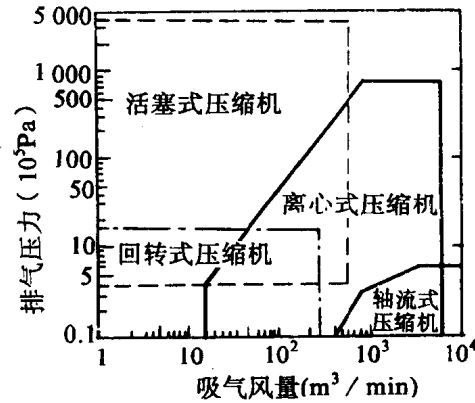


图 1.3-1 各类压缩机的适用范围

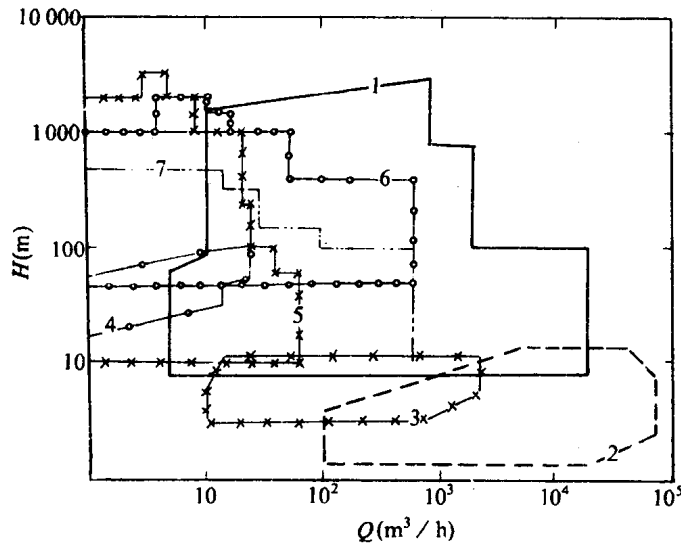


图 1.3-2 各类常用泵的适用范围

1—离心泵；2—轴流泵；3—混流泵；4—旋涡泵；5—电动往复泵；6—三螺杆泵；7—蒸汽往复泵

由于蒸汽轮机在不断提高初温和初压，凝汽式汽轮机能达到很低的背压，从而显著地提高了热力循环的经济性和作功能力，加之汽轮机的一些优点，所以现今活塞式蒸汽机作为动力设备已基本被淘汰了。

第四节 叶轮机械在国民经济中的地位和化工、石油等工业中的应用

由于叶轮机械具有实现能量转换，发出功率或给气体，液体增压和输送气体、液体的作用及其显著的优点，所以它在国民经济各部门中占有重要的地位。在能源动力、化工石油、矿山冶金、交通运输、制冷低温工程、机械制造、建筑空调、食品医药、水利工程、城市供水、农田灌溉等许多方面应用十分广泛，在国防尖端技术领域也有重要的用途。似乎可以这样认为，叶轮机械的发展水平是一个国家工业化发展水平的重要标志。

关于叶轮机械在国民经济各部门中的重要地位及其广泛的应用，举例简述如下。

一、化学、石油工业

1. 化肥生产

粮食和各种农作物的增产需要化肥，而化肥中最基本的成分是合成氨，有了氨才可生产出硝酸铵、硫酸铵、磷酸铵和尿素等各种化肥。氨是由氮气和氢气化合而成，通常氮气是利用空气分离设备(其中有空气压缩机和氮气压缩机等)获得，氢气则是由煤、石油或天然气燃烧分解而得(其中要应用通风机)。氮、氢混合气需要压缩机提高压力(低压流程约需 15MPa；中压流程约需 24MPa；高压流程约需 32MPa)，然后进入合成塔合成氨。在合成塔中氮氢混合气未能全部合成氨气，因此还需经过高压循环压缩机将未合成的混合气重新压送到合成塔中。氨气液化流程中还需氨压缩机。在尿素工艺流程中还需二氧化碳压缩机。

年产 20 万 t 以上的合成氨大型化肥厂具有产量高、成本低、节能等许多优点。而世界上第一个大型合成氨化肥厂正是从 1963 年制造出第一台 15MPa 的合成气离心压缩机才开始兴建的。目前我国已有 15 个年产 30 万 t 合成氨的大型化肥厂，其中的各种压缩机大都采用离心压缩机，有的还采用轴流压缩机。驱动这些压缩机的大都采用蒸汽轮机。此外，在化肥生产工艺流程中还采用各种离心泵、通风机等。值得强调的是在 70 年代中期，由我国自行设计制造出的一套年产 30 万 t 合成氨设备，其中的几台大型离心压缩机和轴流汽轮机在上海吴泾化工厂运行良好。1985 年由沈阳鼓风机厂自行设计制造的，用于年产 52 万 t 尿素的二氧化碳离心压缩机及由杭州汽轮机厂自行设计制造的汽轮机在浙江镇海石油化工总厂都运行良好。

2. 乙烯生产

乙烯是用途最广泛的石油化工基础原料，由它可制造人造纤维、塑料、橡胶等各种化工产品。我国年产 30 万 t 乙烯的石油化工厂中就有裂解气离心压缩机、乙烯离心压缩机、丙烯离心压缩机及甲烷离心压缩机等。驱动它们的是蒸汽轮机。此外还有各种离心通风机、加料泵、回流泵、给水泵等。目前最大的乙烯装置已达年产 75 万 t，其中最大的裂解气压缩机为四缸串联，进口流量 $3\ 860\text{m}^3/\text{min}$ ，驱动功率达 37000kW。

3. 甲醇生产

甲醇是仅次于烯烃和芳烃的重要基础有机化工原料，用它可生产聚酯纤维、有机玻璃、合成树脂、医药、农药、涂料和人造革等，并是各种化工原料的良好溶剂。一般是用天然气合成法生产甲醇，大型合成甲醇装置为年产 20~60 万 t。将原料气压缩到 32~45MPa 的合成压力需要采用离心压缩机，有的离心压缩机采用四缸筒型压缩机串联结构，转速为 10 000~16 000r/min，功率 16 000~20 000kW。在气体中还常带有固体粒子或液滴，这种两相或多相流是该压缩机的一个特殊问题。

4. 油田注气

将不能直接利用的油田伴生气加压回注以提高油层压力，这是一种常用的增加采油量的方法。注气压缩机多用于海上平台。早期的注气压缩机多采用活塞式，随着注气量要求的增加以及离心压缩机向高压化发展，离心压缩机就被采用了。目前注气用离心压缩机最高压力已达 70MPa，是离心压缩机最高的压力等级。

5. 石油精炼

石油精炼可获得高燃值、高抗爆性的汽油、柴油和各种化工原料。石油精炼通常是在蒸馏、精炼、催化裂化和重整四个工艺流程中进行的。在催化裂化流程中要用石油气压缩机和空气压缩机，在重整流程中要用离心压缩机压送富氢循环气，当然还需要大量的离心式油泵等设备。值得一提的是，1987 年由陕西鼓风机厂和瑞士苏尔寿公司联合生产的一台大型全部静叶片可调式轴流压缩机，在湖北荆门炼油厂投入生产，一直运行良好。

6. 石油、天然气管道输送

将石油、天然气由产地通过管道长距离输送到用地是十分经济的。在管道中需要在一定距离上安装升压装置，用于弥补沿程压力损失。这就需要许多离心或轴流泵和压缩机，驱动它们可直接采用燃气轮机。

二、能源动力工业

1. 电力工业

在火力发电、水力发电和核发电设备中，叶轮机械是关键设备之一。火力发电站中是由蒸汽轮机驱动发电机发电，我国火力发电用的汽轮机单机功率已达 600MW。水力发电站是水轮机驱动发电机发电。核电站中是先由核反应堆释放的能量使水变为高温高压的蒸汽，或使钠蒸汽增压升温再由蒸汽轮机驱动发电机发电。在火力发电站中还有大型的给水泵、大型的轴流风扇和通风机等。

2. 动力工业

近代动力设备广泛使用蒸汽轮机，燃气轮机和内燃机等，而在活塞式的内燃机中还使用废气透平驱动离心压缩机作为进气增压器，以提高内燃机的功率和效率。由于这种进气增压措施可使燃油增加，所以可使功率增加 50~100%。

在化工等许多工业部门中，往往不使用电动机而使用工业汽轮机或燃气轮机驱动工作机，因为这些叶轮机械具有工作机所要求的高转速、变转速的适应能力，同时还具有能量综合利用和节能的作用。

3. 交通运输

在交通运输动力装置中，喷气式飞机发动机，燃气轮机机车等使用轴流压缩机和燃气轮机。在船舶舰艇中使用蒸汽轮机和燃气轮机作为动力装置。