

中等专业学校教材

# 汽轮机设备及运行

山东省电力学校主编

电力工业出版社

## 内 容 提 要

本书为中等专业学校热能动力类专业的专业课教材。

全书共二十六章。主要内容有：汽轮机的工作原理；多级汽轮机的热力计算；汽轮机的变工况及主要零部件的结构、强度计算；汽轮机的调节、保护、供油系统；凝汽设备以及汽轮机的运行等。全书着重基本概念和基本理论的阐述，并在有关计算部分附有计算例题。

本书除作为中等专业学校电厂热能动力设备专业汽轮机课程教材外，还可供从事本专业的有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材  
**汽轮机设备及运行**  
山东省电力学校主编

\*

电力工业出版社出版  
(北京德胜门外六铺炕)  
水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 31.25印张 710千字 5插页·

1980年9月第一版 1980年9月北京第一次印刷

印数 00001—22200册 定价 2.80元

书号 15036·4095

## 前 言

本书是根据原水利电力部1978~1981年教材编审出版规划(草案)组织编写的。

全书分汽轮机的工作原理;汽轮机调节;汽轮机结构和主要零件的强度计算;供热式汽轮机和变速汽轮机;汽轮机的凝汽设备;汽轮机的运行等六篇,共二十六章。在编写过程中,注意吸取近年来汽轮机教学的经验和教训,加强阐述基础理论和基本原理,在选材上注意体现国内现阶段装机情况和运行中普遍存在的问题。

全书按三年制教学大纲编写,书中的小体字部分可作为四年制补充的教学内容。

本书由山东省电力学校主编,其中一~四章由山东省电力学校王培基编写;五、六章由哈尔滨电力学校刘恕义编写;七~九章由南京电力学校俞国泰编写;十~十二章由山东省电力学校席洪藻编写;十三、十六章由山东省电力学校张柱编写;十四、十五章由湖南省电力学校周可编写;十七~二十章由沈阳电力学校王大振编写;二十一、二十二章由长春电力学校王继昌编写;二十三~二十六章由沈阳电力学校赵义学编写。全书的文、图稿分别由席洪藻和张柱校阅。

参加审稿的有北京电力学校朱新华,湖北省电力学校王传焱,西安电力学校蔡长满,重庆电力学校杨育轩,并由朱新华主审。

本书在编写过程中,还得到有关汽轮机制造厂、科研部门、高等院校和兄弟学校的热情帮助和支持,在此一并表示谢意。

限于编者的水平,书中缺点和错误在所难免,恳切地希望读者批评指正。

编 者

1979年9月

## 本书主要符号表

<p><math>A</math> — 面积, 功热当量</p> <p><math>a</math> — 音速</p> <p><math>B</math> — 叶片宽度</p> <p><math>b</math> — 弦长</p> <p><math>c</math> — 绝对速度</p> <p><math>D</math> — 蒸汽流量 (吨/时)</p> <p><math>d</math> — 直径</p> <p><math>E</math> — 级的理想能量, 弹性模数</p> <p><math>e</math> — 部分进汽度</p> <p><math>F</math> — 作用力</p> <p><math>f</math> — 面积比</p> <p><math>G</math> — 流量 (公斤/秒), 重量</p> <p><math>g</math> — 重力加速度</p> <p><math>H</math> — 全机焓降</p> <p><math>h</math> — 焓降</p> <p><math>I</math> — 惯性矩</p> <p><math>i</math> — 焓</p> <p><math>J</math> — 转动惯量</p> <p><math>K</math> — 系数</p> <p><math>k</math> — 绝热指数</p> <p><math>L</math> — 长度</p> <p><math>l</math> — 高度</p> <p><math>M</math> — 马赫数</p> <p><math>m</math> — 质量, 油动机位置</p> <p><math>N</math> — 功率</p> <p><math>n</math> — 转速</p> <p><math>p</math> — 压力</p> <p><math>Q</math> — 热量</p> <p><math>q</math> — 热耗</p>	<p><math>r</math> — 半径</p> <p><math>s</math> — 焓</p> <p><math>T</math> — 绝对温度</p> <p><math>t</math> — 温度, 节距</p> <p><math>u</math> — 圆周速度</p> <p><math>v</math> — 比容</p> <p><math>W</math> — 每公斤蒸汽所作的功, 断面系数</p> <p><math>w</math> — 相对速度</p> <p><math>x</math> — 速比, 干度, 滑环位置</p> <p><math>y</math> — 挠度</p> <p><math>z</math> — 叶片数</p> <p><math>\alpha</math> — 绝对速度的方向角, 相对流量系数, 重热系数</p> <p><math>\beta</math> — 相对速度的方向角</p> <p><math>\gamma</math> — 重度</p> <p><math>\delta</math> — 冲角, 偏转角, 速度变动率</p> <p><math>\epsilon</math> — 压力比, 迟缓率</p> <p><math>\zeta</math> — 能量损失系数</p> <p><math>\eta</math> — 效率</p> <p><math>\mu</math> — 流量系数</p> <p><math>\xi</math> — 余速利用系数</p> <p><math>\rho</math> — 反动度</p> <p><math>\varphi</math> — 喷嘴速度系数</p> <p><math>\psi</math> — 动叶速度系数</p> <p><math>\Delta h</math> — 以焓降表示的损失</p> <p><math>\Delta N</math> — 功率损耗</p> <p><math>\Delta p</math> — 压差</p> <p><math>\Delta t</math> — 温升</p> <p><math>\Delta l</math> — 超高 (盖度)</p>
---	--

## 符号中角标的意义

<p>0 — 喷嘴、级组进口截面, 初始值, 总的</p> <p>1 — 喷嘴、级组出口截面</p> <p>2 — 动叶出口截面</p>	<p><math>b</math> — 动叶的</p> <p><math>c</math> — 临界值, 离心的</p> <p><math>e</math> — 有效的</p>
--	--

*g* — 电机的  
*n* — 喷嘴的  
*i* — 内部的  
*m* — 机械的  
*r* — 径向的, 叶根参数  
*s* — 饱和的, 围带  
*t* — 理想值, 叶顶参数, 循环的  
*u* — 周向, 轮周  
*W* — 拉筋的  
*x* — 湿汽的  
*y* — 安装的  
*z* — 轴向

*av* — 平均值  
*ca* — 设计值  
*co* — 凝汽器的  
*el* — 电的  
*fw* — 给水的  
*im* — 冲动式  
*max* — 最大值  
*min* — 最小值  
*op* — 最佳值  
*re* — 反动式  
\* — 滞止值

# 目 录

前 言

本书主要符号表

## 第一篇 汽轮机的工作原理

第一章 汽轮机的一般概念 .....	1
第一节 汽轮机的基本工作原理 .....	1
第二节 汽轮机的分类与型号 .....	6
第二章 蒸汽在喷嘴内的流动 .....	9
第一节 蒸汽流动的基本方程式及滞止参数 .....	9
第二节 喷嘴截面沿流程的变化规律 .....	13
第三节 蒸汽在喷嘴内具有损失的流动 .....	16
第四节 蒸汽在喷嘴斜切部分的膨胀 .....	18
第五节 喷嘴的变工况 .....	21
第三章 蒸汽在动叶片中的流动 .....	28
第一节 蒸汽在动叶片中的能量转换 .....	28
第二节 动叶片的速度三角形 .....	29
第三节 动叶片内具有损失的流动 .....	30
第四节 轮周功率与轮周效率 .....	32
第四章 级的计算与级内损失 .....	35
第一节 喷嘴与动叶片的尺寸计算 .....	35
第二节 级内损失及效率 .....	38
第三节 最佳速比及其与效率的关系 .....	58
第四节 速度级 .....	62
第五章 凝汽式多级汽轮机 .....	71
第一节 多级汽轮机的热力过程 .....	71
第二节 多级汽轮机的重热作用 .....	73
第三节 多级汽轮机的余速利用 .....	75
第四节 多级汽轮机的轴向推力及其平衡 .....	77
第五节 扭曲叶片的成型 .....	79
第六节 汽轮发电机组的效率和经济指标 .....	87
第七节 多级冲动式汽轮机的热力计算方法 .....	91
第六章 汽轮机的变工况 .....	111
第一节 级组变工况 .....	112
第二节 配汽方式及其对变工况的影响 .....	118
第三节 变工况下汽轮机的热力核算 .....	123

第四节 蒸汽参数变化对汽轮机工作的影响 .....	141
---------------------------	-----

## 第二篇 汽轮机调节

第七章 汽轮机调节的基本概念 .....	149
第一节 调节系统的任务 .....	149
第二节 直接调节 .....	150
第三节 间接调节 .....	150
第四节 国产典型调节系统 .....	151
第八章 汽轮机调节系统的组成及其静态特性 .....	153
第一节 转速感受机构及其静态特性 .....	153
第二节 传动放大机构及其静态特性 .....	161
第三节 执行机构及其静态特性 .....	175
第四节 调节系统的静态特性 .....	182
第九章 汽轮机的保护装置 .....	191
第一节 自动主汽阀 .....	191
第二节 超速保护装置 .....	193
第三节 汽轮机的其他保护 .....	197
第十章 汽轮机的供油系统 .....	200
第一节 原则性供油系统 .....	200
第二节 供油系统的组成 .....	204
第十一章 中间再热式汽轮机的调节 .....	209
第一节 中间再热式汽轮机的调节特点 .....	209
第二节 功-频电液调节 .....	221
第十二章 典型凝汽式汽轮机调节系统介绍 .....	233
第一节 31-25-7型汽轮机的调节、保安及油路系统 .....	234
第二节 N100-90/535型汽轮机的调节系统 .....	236
第三节 N125-135/550/550型汽轮机的调节、保安及油路系统 .....	238
第四节 N200-130/535/535型汽轮机的调节系统 .....	243
第五节 我国引进国外机组的调节特点 .....	245

## 第三篇 汽轮机结构和主要零件的强度计算

第十三章 汽轮机的静止部分 .....	252
第一节 汽缸的结构和热膨胀 .....	252
第二节 喷嘴弧及隔板的结构 .....	265
第三节 隔板的强度计算 .....	272
第四节 轴承 .....	279
第十四章 汽轮机的转动部分 .....	296
第一节 叶片的结构和强度计算 .....	296
第二节 叶片的振动 .....	305
第三节 叶轮的结构 .....	319

第四节	转子及临界转速 .....	322
第五节	联轴器 .....	334
第十五章	汽封及盘车装置 .....	336
第一节	汽封 .....	336
第二节	盘车装置 .....	340
第十六章	几种典型汽轮机的结构 .....	345
第一节	31-25-7型汽轮机 .....	345
第二节	51-50-3型汽轮机 .....	346
第三节	N100-90/535型汽轮机 .....	347
第四节	N125-135/550/550型汽轮机 .....	348
第五节	N200-130/535/535型汽轮机 .....	350
第六节	我国引进的国外机组的结构特点简介 .....	351

#### 第四篇 供热式汽轮机和变转速汽轮机

第十七章	背压式汽轮机 .....	357
第一节	背压式汽轮机的用途 .....	357
第二节	背压式汽轮机的特点及调节原理 .....	359
第十八章	具有二次可调节抽汽的凝汽式汽轮机 .....	360
第一节	概述 .....	360
第二节	具有二次可调节抽汽的凝汽式汽轮机调节原理 .....	361
第三节	具有二次可调节抽汽的凝汽式汽轮机的工况图 .....	362
第十九章	具有二次可调节抽汽的凝汽式汽轮机 .....	365
第一节	概述 .....	365
第二节	具有二次可调节抽汽的凝汽式汽轮机的调节原理 .....	366
第三节	具有二次可调节抽汽的凝汽式汽轮机的调节系统介绍 .....	367
第四节	具有二次可调节抽汽的凝汽式汽轮机的工况图 .....	370
第二十章	拖动给水泵的变速汽轮机 .....	373
第一节	变速汽轮机的特点 .....	373
第二节	给水泵变速汽轮机的典型工作系统及典型结构举例 .....	374

#### 第五篇 汽轮机的凝汽设备

第二十一章	凝汽设备的任务、组成和结构 .....	387
第一节	凝汽设备的任务及组成 .....	387
第二节	表面式凝汽器的结构和分类 .....	388
第三节	典型凝汽器的分析 .....	395
第四节	抽气器 .....	399
第二十二章	凝汽设备的热力计算和热力特性 .....	406
第一节	凝汽器的热力计算 .....	406
第二节	凝汽设备的热力特性 .....	415
第三节	多压式凝汽器 .....	422



第四节 凝汽设备的运行 .....	424
-------------------	-----

## 第六篇 汽轮机的运行

第二十三章 汽轮机的热应力、热膨胀、热变形 .....	430
第一节 汽轮机的受热特点 .....	430
第二节 汽轮机的热应力 .....	432
第三节 汽轮机的热膨胀 .....	437
第四节 汽轮机的热变形 .....	440
第二十四章 汽轮机的启动 .....	446
第一节 汽轮机在额定参数下的启动 .....	446
第二节 汽轮机冷态滑参数启动 .....	450
第三节 汽轮机的热态启动 .....	453
第二十五章 汽轮机的停机 .....	457
第一节 额定参数下的正常停机 .....	458
第二节 滑参数停机 .....	460
第二十六章 汽轮机正常运行中的维护和事故处理 .....	463
第一节 汽轮机正常运行中的维护 .....	463
第二节 汽轮机的滑压运行 .....	470
第三节 汽轮机的事故处理 .....	475
第四节 汽轮发电机组的振动 .....	481

# 第一篇 汽轮机的工作原理

## 第一章 汽轮机的一般概念

### 第一节 汽轮机的基本工作原理

#### 一、力的冲动作用原理和反动作用原理

在汽轮机中，蒸汽以很高的速度从喷嘴4（图1-1）中流出，冲击在叶轮2的工作叶片3上，使叶轮转动。下面我们来解释蒸汽冲击在叶片上，叶片为什么会转动。如图1-2所示，蒸汽以速度 $c_1$ 流向一弧形动叶片，汽流进入该动叶后，沿内弧所构成的汽道逐渐改变流动方向，最后以速度 $c_2$ 流出汽道， $c_2$ 的方向恰与 $c_1$ 相反。蒸汽的每一微团沿动叶片内弧流动时，都受到向心力的作用，根据牛顿第三定律，此时动叶片承受蒸汽微团作用给它的大小相等、方向相反的离心力。假如作用在位置1、2……6上的离心力分别为 $F_1$ 、 $F_2$ …… $F_6$ 。在点1处的离心力 $F_1$ 可以分解为轴向力 $F_{z1}$ 和周向力 $F_{u1}$ ，在点6处的离心力 $F_6$ 可分解为 $F_{z6}$ 及 $F_{u6}$ 。轴向力 $F_{z1}$ 和 $F_{z6}$ 恰好抵消，同样点2与点5的轴向力也抵消。因此，蒸汽微团的离心力在轴向的分力之和 $F_{z1} + F_{z2} + \dots + F_{z6}$ 等于零，而周向力之和为 $F_{imu} = F_{u1} + F_{u2} + \dots + F_{u6}$ ，在该力的作用下叶片向右运动，因此蒸汽对动叶片做了机械功。力 $F_{imu}$ 称为冲动力，这就是汽轮机的冲动作用原理。

火箭发射时，燃料燃烧产生的高压气体以很高的速度从火箭尾部排出（如图1-3所示），高压气体作用在火箭内壁两侧的力互相抵消，而向上作用在未燃烧物质上的力却未

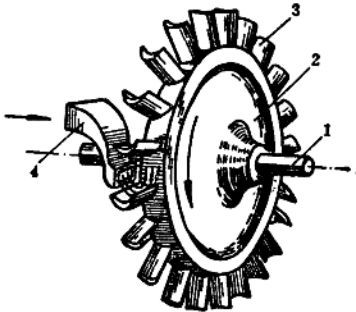


图 1-1 冲动式汽轮机简图

1—轴；2—叶轮；3—叶片；4—喷嘴

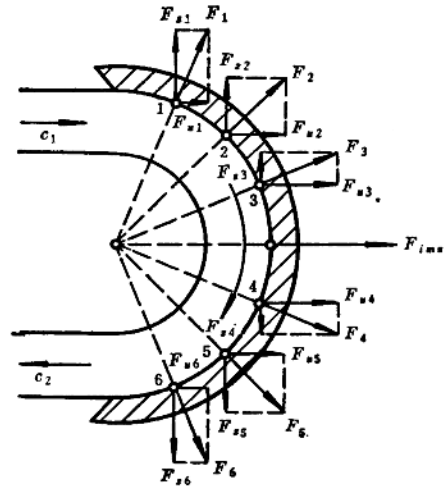


图 1-2 蒸汽对动叶片的作用力



图 1-3 火箭工作原理示意图

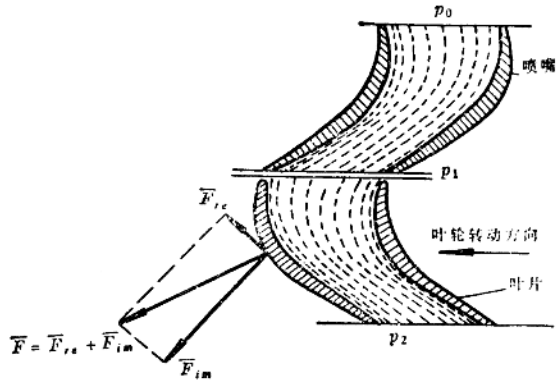


图 1-4 蒸汽对反动式汽轮机叶片的作用力

抵消，此力就推动火箭向上运动。这种气体以很高的速度从容器内流出时，给容器一个与流动方向相反的力  $F_{rc}$ ，称为反动力，反动力对火箭做功的原理称反动作用原理。

在实际汽轮机中，动叶片并不是圆弧形，从喷嘴流出来的汽流方向也不是与叶轮运动方向平行，而是有一夹角。如图1-4所示，蒸汽在喷嘴内膨胀达到较高的速度  $c_1$ ，这种高速汽流进入动叶片以后，对动叶片作用有冲动力  $\bar{F}_{im}$ ，同时压力由  $p_1$  降至  $p_2$ ，蒸汽继续膨胀加速（指相对于动叶片的运动速度  $w_1$ ），故对动叶片亦作用有反动力  $\bar{F}_{rc}$ 。冲动力  $\bar{F}_{im}$  和反动力  $\bar{F}_{rc}$  的合力为  $\bar{F}$ ，在此力的作用下使叶片向左运动。因此，反动式汽轮机既利用了冲动作用原理，又利用了反动作用原理。

## 二、单级汽轮机

级是汽轮机中最基本的工作单元，在结构上它是由喷嘴和它后面的动叶栅所组成；从能量观点看，它能完成将蒸汽的热能转变为机械能的能量转换过程。只有一级的汽轮机叫作单级汽轮机，如图1-5所示。单级汽轮机是最简单的汽轮机，它由汽缸、喷嘴、叶片和叶轮等部件组成。蒸汽进入喷嘴后，压力由  $p_0$  降至  $p_2$ ，流速从  $c_0$  增至  $c_1$ ，即在喷嘴中蒸汽的热能转换成动能。此后蒸汽进入动叶片流道，在叶片内改变流动方向，按冲动原理给叶片以作用力，使叶轮旋转输出机械功，即在动叶片中，蒸汽的动能转换为机械能。由于蒸汽的大部分动能在动叶流道中转换为机械功，所以离开叶片时的速度降至  $c_2$ ，称为余速。由于该动能未被利用做功，故习惯上称它为余速损失。

由以上分析可知，在汽轮机中蒸汽的能量转换分为两个过程：首先在喷嘴中蒸汽的热能转换为动能，然后在动叶中蒸汽的动能转变为叶轮转动的机械能。如果蒸汽的热能转换为动能的过程只在喷嘴中进行，这种汽轮机即为按冲动作用原理工作的汽轮机。如果蒸汽的热能只有一部分（约为一半）在喷嘴中转换成动能，而另一部分是在动叶栅中转换成动能的（即在动叶栅中蒸汽继续膨胀），这种汽轮机即为按反动作用原理工作的汽轮机。

对于冲动式汽轮机，由于蒸汽只在喷嘴中膨胀，而在动叶片中不膨胀，故动叶片的进出口压力相等（ $p_1 = p_2$ ）。如不考虑喷嘴和叶片中的损失，则单级汽轮机蒸汽膨胀的热

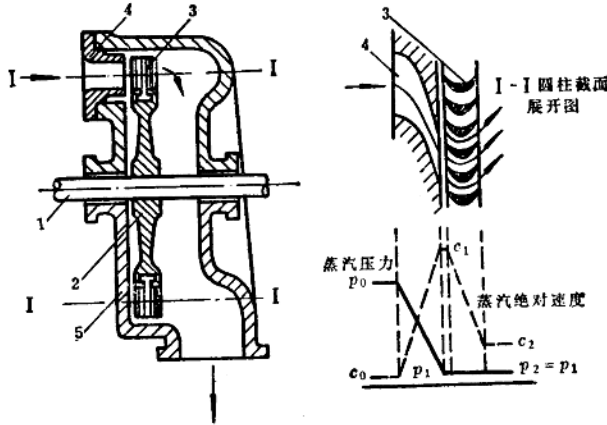


图 1-5 单级冲动式汽轮机示意图  
1—轴；2—叶轮；3—动叶片；4—喷嘴；5—汽缸

力过程线如图1-6所示。图中 $i_0$ 表示喷嘴前蒸汽的焓值， $i_1$ 为喷嘴后蒸汽的焓值， $h_n = i_0 - i_1$ 为喷嘴中的理想焓降。 $i_2$ 为汽轮机排汽焓值， $\Delta h_{c2} = i_2 - i_1$ 表示余速损失，因此汽轮机有效利用的焓降为 $h_t = i_0 - i_2$ 。

单级汽轮机由于功率较小，所以一般不用来带动发电机，在热力发电厂中单级汽轮机通常用来带动功率不大的辅助机械，如汽动油泵和汽动给水泵等。

### 三、速度级汽轮机

如果单级汽轮机装有一列动叶片，而且离开动叶片汽流的速度仍较大时，这部分排汽动能如不充分利用将形成很大的余速损失，从而降低汽轮机的经济性，为了充分利用排汽余速，产生了速度级汽轮机。

图1-7所示为具有一个双列速度级（又称寇蒂斯级）的汽轮机，在汽轮机的叶轮2上装有第一列动叶片3和第二列动叶片6，在两列动叶片之间于汽缸上安装了导向叶片7。

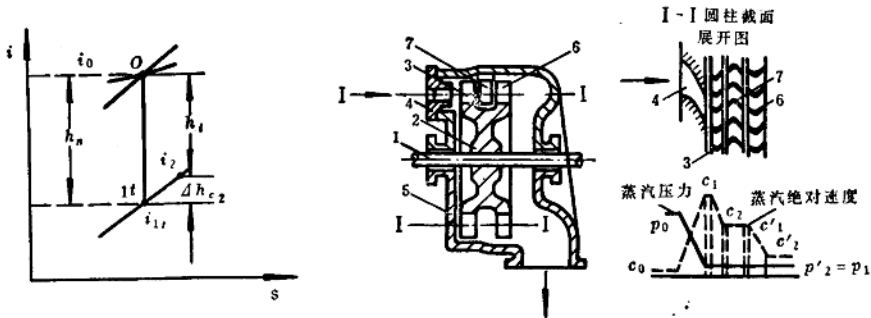


图 1-6 蒸汽在单级汽轮机中的热力过程

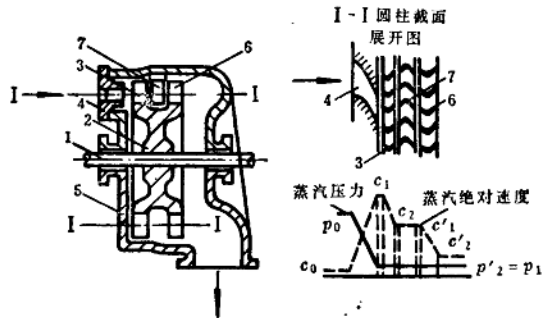


图 1-7 具有双列速度级的单级汽轮机  
1—轴；2—叶轮；3—第一列动叶片；4—喷嘴；  
5—汽缸；6—第二列动叶片；7—导向叶片

蒸汽在喷嘴中膨胀后，压力由 $p_0$ 降为 $p_1$  ( $p_1 = p_2$ )，速度由 $c_0$ 增加到 $c_1$ ，首先进入第一列动叶片做功，速度降为 $c_2$ 。然后进入导向叶片，在导向叶片中蒸汽不膨胀，只改变汽流方向，所以导向叶片出口速度 $c'_1 = c_2$ 。在第二列动叶片中，蒸汽仍不膨胀，仅将一部分动能转变为机械功。蒸汽离开第二列动叶片时速度降为 $c'_2$ 。因为 $c'_2 < c_2$ ，所以速度级汽轮机的余速损失相应减小。

应该指出，速度级虽然具有两列动叶片，但由于只有一列喷嘴，故仍然是单级汽轮机。

#### 四、冲动式多级汽轮机

图1-8为一冲动式多级汽轮机结构示意图。该多级汽轮机是由四级组成的。新蒸汽经过汽室6进入装在汽缸5上的第一级喷嘴，并在其中膨胀，压力降至 $p_1$ ，速度增至 $c_1$ ，然后进入第一级动叶片4做功，离开叶片时蒸汽压力不变，流速降至 $c_2$ 。当汽轮机的负荷发生变化时，通常利用依次开启的调节阀，使第一级喷嘴的通流面积变化来改变蒸汽流量，因此该第一级常称为多级汽轮机的调节级。第二级的喷嘴装在隔板2上，隔板分为上、下两半，分别装在上汽缸及下汽缸上。蒸汽由第一级动叶片流出后，进入第二级的喷嘴，重复以上过程继续做功，此后依次进入第三、四级，最后排至凝结器。多级汽轮机的功率为各级功率的总和，所以多级汽轮机的功率可以做得很大。图1-8的下边还绘出了冲动式多级汽轮机中各级的压力 $P$ 与速度 $c$ 的变化曲线。

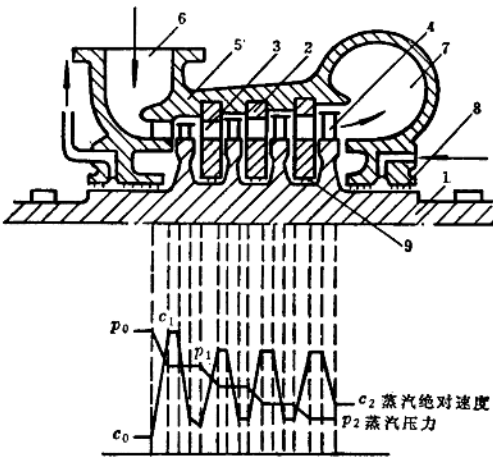


图 1-8 冲动式多级汽轮机结构示意图  
1—转子；2—隔板；3—喷嘴；4—动叶片；5—汽缸；6—蒸汽室；7—排汽管；8—轴封；9—隔板汽封

积沿汽流方向应逐级增加，因此喷嘴和动叶片的高度也应逐渐加大。此外由于隔板两侧的压力不同，为防止隔板与轴之间的间隙产生漏汽，隔板上装有隔板汽封9，同时为防止通过高压缸与轴之间的间隙向外漏蒸汽和通过低压缸与轴之间的间隙向里漏空气，还分别装有轴封8。

#### 五、反动式多级汽轮机

反动式汽轮机是按力的反动原理工作的，图1-9所示为一个具有四级的反动式多级汽轮机。反动式汽轮机的结构特点是汽轮机的喷嘴（又称静叶片）不是装在隔板上，而是直接装在汽缸上，动叶片也不是装在叶轮上，而是装在鼓形转子上。新蒸汽自环形汽室6进入第一级静叶片，膨胀加速后进入动叶片，在动叶片中蒸汽继续膨胀，并给动叶片以冲动

发生变化时，通常利用依次开启的调节阀，使第一级喷嘴的通流面积变化来改变蒸汽流量，因此该第一级常称为多级汽轮机的调节级。第二级的喷嘴装在隔板2上，隔板分为上、下两半，分别装在上汽缸及下汽缸上。蒸汽由第一级动叶片流出后，进入第二级的喷嘴，重复以上过程继续做功，此后依次进入第三、四级，最后排至凝结器。多级汽轮机的功率为各级功率的总和，所以多级汽轮机的功率可以做得很大。图1-8的下边还绘出了冲动式多级汽轮机中各级的压力 $P$ 与速度 $c$ 的变化曲线。

由于蒸汽压力逐渐降低，相应的蒸汽比容增大，为使蒸汽能顺利地流过汽轮机，多级汽轮机各级的通流面

力和反动力，然后蒸汽再依次进入第二、三、四级。图1-9中还绘出了各级蒸汽压力  $p$  和速度  $c$  沿流程的变化情况。

反动式多级汽轮机动叶片前后蒸汽压力不相等，从而产生一个作用在动叶片上的轴向力，其方向由高压端指向低压端。为了减少轴向推力，反动式汽轮机不能象冲动式汽轮机那样采用叶轮结构，同时装设了平衡活塞（图1-9件4），活塞的右端是高压蒸汽，左端经连接管7与汽轮机的排汽室相通，从而产生一个作用在活塞上的轴向力，此力与转子的轴向推力方向相反，只要活塞面积选择适当，即可达到平衡轴向推力的目的。

### 六、辐流式汽轮机

图1-10所示为辐流式汽轮机，它有两个叶轮分别固定在汽轮机轴4与5上，动叶片6分别固定在两个叶轮上，它是按反动作用原理工作的。蒸汽从新蒸汽管3进入汽轮机，经过叶轮1、2上的孔口进入叶轮间的蒸汽室，然后经各级动叶片膨胀做功。

辐流式汽轮机的两个叶轮转动方向相反，因此各排叶片都是动叶片，每列叶片除自己做功外，还对相邻叶片起喷嘴作用，两个轴分别带动两台发电机。

### 七、周流（回流）式汽轮机

周流式汽轮机如图1-11所示，蒸汽沿布置在圆周方向的喷嘴1进入动叶片2，然后经导向叶片3，再进入动叶片2中做功。

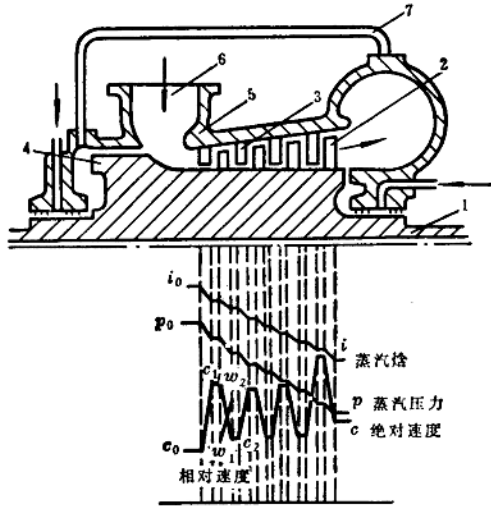


图 1-9 反动式多级汽轮机结构示意图  
1—鼓形转子；2—动叶片；3—喷嘴；4—平衡活塞；5—汽缸；6—新蒸汽室；7—连接管

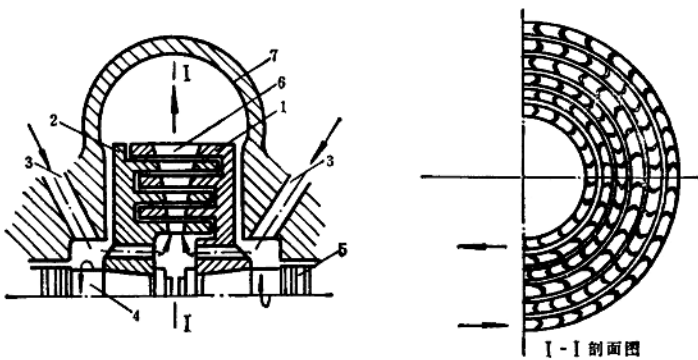


图 1-10 辐流式汽轮机  
1、2—叶轮；3—新蒸汽管；4、5—汽轮机轴；6—动叶片；7—汽缸

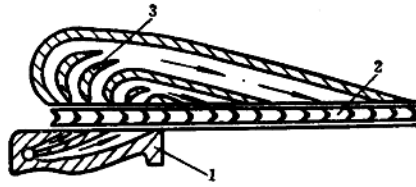


图 1-11 周流式汽轮机  
1—喷嘴；2—动叶片；3—导向叶片

## 第二节 汽轮机的分类与型号

### 一、汽轮机的分类

汽轮机在国民经济各部门被广泛用作原动机。为了适应不同用户的需要，生产的汽轮机类型很多。在实际使用中，常按工作原理、新汽参数、热力过程特性等对汽轮机进行分类。

#### (一) 按工作原理分类

(1) 冲动式汽轮机：按冲动作用原理工作的汽轮机称为冲动式汽轮机。在近代冲动式汽轮机中，蒸汽在各级动叶片内都有一定程度的膨胀（即按反动作用原理工作），但习惯上我们仍称之为冲动式汽轮机；

(2) 反动式汽轮机：按反动作用原理工作的汽轮机称为反动式汽轮机。近代反动式汽轮机常用冲动级或速度级作调节级，但习惯上仍称为反动式汽轮机；

(3) 冲动反动联合式汽轮机：由冲动级和反动级组合而成的汽轮机称为冲动反动联合式汽轮机。

#### (二) 按热力特性分类

(1) 凝汽式汽轮机：蒸汽在汽轮机内做功后，除少数漏汽外，全部排入凝汽器，这种汽轮机称为纯凝汽式汽轮机。近代汽轮机一般都采用回热抽汽，这类汽轮机称为凝汽式汽轮机；

(2) 背压式汽轮机：蒸汽在汽轮机里工作后，在高于大气压力下排出，排汽可供给其它热力用户如工业或采暖用，这种汽轮机称背压式汽轮机。排汽供给中、低压汽轮机工作的背压式汽轮机又称前置式汽轮机；

(3) 调整抽汽式汽轮机：汽轮机中若有做过功的部分蒸汽在一种或两种压力下，从汽轮机内抽出（该压力在一定范围内是可调整的），供给工业或采暖用热，而其余蒸汽仍进入凝汽器，这种汽轮机称调整抽汽式汽轮机；

背压式汽轮机和调整抽汽式汽轮机统称为供热式汽轮机。

(4) 中间再热式汽轮机：新蒸汽在汽轮机前面若干级做功后，引至锅炉内再次加热到某一温度，然后回到汽轮机继续膨胀做功，这种汽轮机称中间再热式汽轮机。

#### (三) 按汽流方向分类

- (1) 轴流式汽轮机：蒸汽流动的总方向大致与轴平行；
- (2) 辐流式汽轮机：蒸汽流动的总方向大致垂直于转轴；
- (3) 周流（回流）式汽轮机：蒸汽大致沿轮周方向流动，这种汽轮机的功率一般都较小。

(四) 按用途分类

- (1) 电站汽轮机：在热力发电厂中用以发电的汽轮机；
- (2) 工业汽轮机：应用于工业企业中的固定式汽轮机的总称，包括自备动力站的发电用汽轮机（通常是等转速的）和驱动水泵和风机等用的汽轮机（通常是变转速的）；

- (3) 船用汽轮机：用于船舶推进的动力装置，驱动螺旋桨。

(五) 按新蒸汽参数分类

- (1) 低压汽轮机：新蒸汽压力为12~15绝对大气压；
- (2) 中压汽轮机：新蒸汽压力为20~40绝对大气压；
- (3) 高压汽轮机：新蒸汽压力为60~100绝对大气压；
- (4) 超高压汽轮机：新蒸汽压力为120~140绝对大气压；
- (5) 亚临界汽轮机：新蒸汽压力为160~180绝对大气压；
- (6) 超临界汽轮机：新蒸汽压力超过226绝对大气压。

除以上分类方法外，还可按汽缸的数目分为单缸、双缸和多缸汽轮机；按汽轮机的轴数分为单轴、双轴和多轴汽轮机等。

## 二、汽轮机的型号

汽轮机的种类很多，为了便于使用常采用一定的符号来表示汽轮机的基本特性（蒸汽参数、热力特性和功率等），这些符号称为汽轮机的型号。

我国目前制造的汽轮机是采用汉语拼音和数字来表示其型号的。用这种方法所表示的型号分为两段：第一段的拼音字母表示汽轮机的热力特性或用途（如表 1-1 所示），后面的数字表示汽轮机的额定功率（单位为万千瓦）。第二段为几组数字，第一组数字表示新蒸汽压力（斜线前），第二组数字表示的意义取决于机组的类型，如果是凝汽式汽轮机，则表示新蒸汽温度；如果是背压式汽轮机，则表示背压；如果是中间再热式汽轮机，则表示新蒸汽温度。第三组数字表示中间再热温度。如果是调整抽汽式汽轮机，第二组和第三组数字表示调整抽汽压力。例如 N100-90/535 型汽轮机，表示凝汽式、功率为 10 万千瓦、新汽压力为 90 绝对大气压、新汽温度为 535℃；CC25-90/10/1.2 型汽轮机，表示二次调整

表 1-1 热力特性或用途代号表

热 力 特 性	代 号	用 途	代 号
凝 汽 式	N	工 业 用	G
背 压 式	B	船 用	H
一 次 调 整 抽 汽 式	C	移 动 式	Y
二 次 调 整 抽 汽 式	CC		



抽汽式、功率为25兆瓦、新汽压力90绝对大气压、高压调整抽汽压力10绝对大气压、低压调整抽汽压力1.2绝对大气压；N125-135/550/550型汽轮机，表示凝汽式、功率为12.5万千瓦、新汽压力为135绝对大气压、新汽温度为550℃、再热蒸汽温度为550℃。

汽轮机产品的标准化和系列化（即统一规定蒸汽参数、功率、型式等）工作我国正在进行，标准化与系列化可以最合理地组织汽轮机的生产和电站设备的配套，以利于成批生产和改进制造工艺，尽快地提高产品的质量和数量。目前我国对电站汽轮机已采用了按蒸汽参数、功率等级的产品系列，表1-2给出了电站凝汽式汽轮机的进汽参数。

表 1-2 电站凝汽式汽轮机的进汽参数

额定功率 (万千瓦)	进 汽 参 数	
	初压(绝对大气压)	初 温 (°C)
0.75、1.5、3	24	390
6、12、25	35	435
50、100	90	435
125、200	130~135	535/535(550/550) <sup>①</sup>
300、600	165	550/550(565/565) <sup>①</sup>

① 上海汽轮机厂生产的12.5万千瓦和30万千瓦汽轮机曾采用过括号内的数据。

以前我国生产的汽轮机采用的是旧型号，这种型号通常由三段数字组成：第一段的前一个数字代表汽轮机的蒸汽规范（如表1-3所示），后一个数字代表汽轮机的热力特性（如表1-4所示），第二段数字代表汽轮机的功率（单位为万千瓦）；第三段数字代表汽轮机的设计次序（有的汽轮机型号上并不注明此项）。

表 1-3 旧型号汽轮机新汽参数代号表\*

参数分类	蒸 汽 参 数		我国旧型号代号	苏联代号
	初 压	初 温		
	绝对大气压	°C		
低参数	12~20	300~360	2	Г
中参数	21~40	361~450	3	А
次高参数	41~80	451~480	4	В
高参数	81~125	481~535	5	В
过高参数	126~150	536~570	6	ПВ
超高参数	151~225	571~600	7	СВ
超临界参数	226以上	600以上	8	СК

例如我国生产的51-50-3型汽轮机，代号的含义是：高参数凝汽式、功率为5万千瓦、第三次设计；又如54-25-1型汽轮机，代号的含义是：高参数两次可调整抽汽式（工业与供暖用）、功率为2.5万千瓦、第一次设计。苏联生产的BK-50-1型汽轮机，代号的含义是：高参数凝汽式、功率为5万千瓦、第一次设计；又如БПТ-25-3型汽轮机，代号的含义是：高参数、功率为2.5万千瓦、具有工业和供暖抽汽、第三次设计的汽轮机。