



技工学校教材

汽轮机设备及运行

保定电力技工学校 主编

电力工业出版社

内 容 提 要

本书为技工学校“电厂热能动力设备运行与检修”专业的专业课教材。

全书共二十一章，主要内容有：单级和多级汽轮机的工作原理、汽轮机受工况、汽轮机结构、汽轮机调节保护及油系统、热电合供汽轮机、蒸汽设备以及汽轮机运行等。为便于自学，书中有关计算部分均附有计算例题。

本书还可作工厂技术工人培训教材，以及有关技术人员参考用书。

技 工 学 校 教 材
汽 轮 机 设 备 及 运 行
保定电力技工学校 主编

★
电力工业出版社出版
(北京前门外大街66号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
永利电力印刷厂印刷

★
787×1092毫米 16开本 25印张 567千字 5插图
1982年12月第一版 1982年12月北京第一次印刷
印数00001—18120册 定价2.35元
书号15036·4358

前 言

本书为技工学校电厂热能动力设备运行与检修专业的专业课教材。

全书共二十一章，主要内容有：单级和多级汽轮机的工作原理、汽轮机变工况、汽轮机结构、汽轮机调节保护及油系统、热电合供汽轮机、凝汽设备及汽轮机运行等。本书的编写，除着重基础理论和基本概念的阐述外，还注意结合生产实际，文字叙述力求通俗易懂，有关计算部分附有详细的计算例题，以利于电厂培训和工人自学。

本书由保定电力技工学校赵永民编写一~三、五~十、十二和十三章，重庆电力技工学校邹定瑞编写四、十六~二十一章，大连电力技术学校刘力祥编写十、十四、十五章。由赵永民任主编。

本书由苏州电力技工学校沈振飞主审，参加审稿的有：天津电力技工学校陈雷、湖北电业技工学校吴晚霞、河南电力技工学校魏修亚、西安电力技工学校刘雪文以及苏州电力技工学校汽轮机教研组的全体同志。保定热电厂张文参加了部分审稿工作。

本书在编写过程中还得到有关制造厂、发电厂及兄弟学校的热情帮助和支持，在此一并致谢。

恳切希望读者对书中的缺点和错误批评指正。

编 者

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 引言	1
第二节 汽轮机的基本工作原理	2
第三节 汽轮机的分类及型号	7
第二章 汽轮机级的工作原理	11
第一节 蒸汽在喷嘴中的理想流动	12
第二节 喷嘴截面的变化规律	15
第三节 蒸汽在斜切喷嘴中的流动	18
第四节 蒸汽在动叶中的流动	25
第五节 级内损失及效率	33
第六节 速度比与效率的关系	44
第七节 速度级	47
第三章 多级汽轮机	53
第一节 多级汽轮机的热力特性	53
第二节 汽轮发电机组的效率及经济指标	60
第三节 多级汽轮机的轴向推力及平衡方法	64
第四节 长叶片	67
第五节 多级汽轮机的极限功率	69
第四章 汽轮机的变工况	72
第一节 喷嘴的变工况	72
第二节 级和级组的变工况	78
第三节 凝汽式汽轮机的变工况	86
第五章 汽轮机静止部分的结构	93
第一节 汽缸	93
第二节 喷嘴及隔板	109
第三节 汽封	118
第四节 轴承	121
第六章 汽轮机转动部分的结构	135
第一节 汽轮机叶片	135
第二节 叶片振动	140
第三节 汽轮机转子	149
第四节 联轴器	156
第五节 盘车装置	158

第七章 汽轮机结构介绍	163
第一节 31-12型汽轮机	163
第二节 N100-90/535型汽轮机	164
第三节 N125-135/550/550型汽轮机	165
第四节 N200-130/535/535型汽轮机	166
第八章 汽轮机的供油系统	168
第一节 供油系统的作用及类型	168
第二节 供油系统的主要设备	172
第三节 氢冷却密封油系统	176
第九章 凝汽式汽轮机的调节	179
第一节 汽轮机调节的基本概念	179
第二节 感应机构	184
第三节 传动放大机构	193
第四节 配汽机构	206
第五节 调节系统的静特性	211
第六节 同步器	215
第七节 调节系统动态特性简介	219
第十章 汽轮机的保护装置	226
第一节 自动主汽阀	226
第二节 超速保护装置	229
第三节 轴向位移保护装置	233
第四节 其它保护装置	236
第十一章 中间再热汽轮机的调节	240
第一节 采用中间再热给汽轮机调节带来的问题	240
第二节 中间再热汽轮机的调节特点	243
第三节 功率-频率电液调节	249
第十二章 调节系统的试验及调整	253
第一节 调节系统的试验	253
第二节 调节系统静特性的调整	259
第十三章 凝汽式汽轮机调节、保护及供油系统介绍	265
第一节 31-12型汽轮机调节、保护及供油系统	265
第二节 N100-90/535型汽轮机调节、保护及供油系统	268
第三节 N125-135/550/550型汽轮机调节、保护及供油系统	270
第四节 哈尔滨汽轮机厂N200-130/535/535型汽轮机调节、保护及供油系统	275
第五节 东方汽轮机厂N200-130/535/535型汽轮机调节、保护及供油系统	276
第十四章 热电合供汽轮机	279
第一节 背压式汽轮机	279
第二节 一次调节抽汽式汽轮机	282
第三节 两次调节抽汽式汽轮机	289

第十五章 凝汽设备	294
第一节 凝汽设备的任务及工作原理	294
第二节 凝汽器的部件和典型凝汽器介绍	298
第三节 抽气器	307
第四节 凝汽器内的压力	313
第五节 凝汽器的变工况	317
第十六章 汽轮机的热膨胀和热应力	320
第一节 汽轮机的热膨胀	320
第二节 汽轮机的热变形	323
第三节 汽轮机的热应力	327
第十七章 汽轮机的启动	333
第一节 汽轮机在额定参数下的冷态启动	333
第二节 汽轮机在额定参数下的热态启动	340
第三节 汽轮机的滑参数启动	343
第十八章 汽轮机的停机	349
第一节 额定参数下的正常停机	349
第二节 滑参数停机	352
第三节 汽轮机的紧急停机	354
第十九章 汽轮机的正常运行及维护	355
第一节 蒸汽参数变化对汽轮机工作的影响	355
第二节 汽轮机运行中的正常维护	358
第三节 汽轮机通流部分结垢及处理	361
第四节 凝汽器的运行与维护	363
第五节 汽轮机的经济运行	366
第六节 汽轮机的试验	370
第二十章 汽轮机的事故处理	372
第一节 真空下降	372
第二节 水冲击	375
第三节 油系统事故	376
第四节 叶片损坏事故	379
第五节 甩负荷	380
第六节 汽轮发电机组的振动和噪音	381
第七节 火灾事故	384
第八节 厂用电中断	385
第二十一章 中间再热式汽轮机的运行	387
第一节 中间再热式汽轮机的启动特点	387
第二节 中间再热式汽轮机的停机特点	388
第三节 变压运行	390

第一章 绪 论

第一节 引 言

汽轮机是将蒸汽的热能转变为转子旋转的机械能的动力机械。它具有功率大、转速高、效率较高、运转平稳和使用寿命长等优点，因而在现代工业中得到广泛的应用。

汽轮机主要的用途是在热力发电厂中做驱动发电机的原动机。在以煤、燃油和天然气为燃料的电站及原子能电站中，大多采用汽轮机做原动机，其发电量占总发电量的80%左右。在我国，到1979年为止，汽轮发电机组的装机容量约占总装机容量的70%。在热电厂中，还可以用汽轮机的排汽或中间抽汽满足工业和人民生活之用热需要，这种既供热又发电的热电合供汽轮机，在热能的综合利用方面具有较高的经济性。此外，汽轮机还能够用于其它工业部门，例如直接驱动各种泵、风机、压缩机和船舶螺旋桨等。

由于推动汽轮机的蒸汽是由锅炉（或其它蒸汽发生器）产生的，而锅炉可以广泛地使用各种燃料，包括使用各种低热值的燃料。这样便为合理利用能源提供了有利条件。这一优点，是其它热能动力机械（如燃气轮机、内燃机等）所不能相比的。在目前研究发展的新能源中，利用地热发电，也是采用汽轮机作原动机。利用太阳能发电，虽然可用硅太阳能电池直接获得电能，但目前成本很高、容量小，因而限制了它的应用范围。若要用太阳能发电供应电力，还得采用发电机并主要以汽轮机作原动机。

自1883年瑞典工程师拉瓦尔制成第一台汽轮机以来，汽轮机已有近百年的历史，近几十年，汽轮机发展尤为迅速。其发展的主要特点是：

（1）增大单机功率。增大单机功率不仅能迅速地发展电力生产，而且还具有下列优点：

1）降低机组单位功率的成本。单机功率越大，单位功率的成本越低。例如，国产6千千瓦汽轮机，其出厂价格为36万元，每千千瓦为6万元，而20万千瓦汽轮机价格为680万元，每千千瓦仅为3.4万元，单位功率的成本降低了约27%；

2）提高机组的热经济性。单机功率越大，机组的热经济性越高。若以国产1.2万千瓦凝汽式汽轮机的热耗率（每发一度电消耗的热量）为100%，则功率为20万千瓦的汽轮机，其热耗率仅为前者的68%，降低了32%；

3）加快电站的建设速度。例如在日本的两座电站中，分别安装五台25万千瓦和两台60万千瓦的机组，前者的建设工期为66个月，后者为45个月，缩短建设工期32%。

此外，增大单机功率，还可以减少电站的占地面积、减少运行及检修人员、降低运行费用等。目前，在世界上已投入运行的电站中，汽轮机最大单机功率有130万千瓦的双轴汽轮机（247绝对大气压、538℃/538℃）和85万千瓦的单轴汽轮机（178绝对大气压、538℃/538℃）。

（2）发展原子能电站汽轮机。为了进一步扩大发电能源，出现了以核能为动力的原

子能电站。原子能电站的投资较高，但它的运行费用较低，而且功率越大，相对的投资和运行费用越小。因此在一些国家中，原子能电站发展较快。原子能电站的汽轮机组主要用来承担基本负荷。

(3) 采用机、炉、电集控和程控提高电站自动化水平。

我国是一个发展中的国家，解放前没有自己的汽轮机制造业，电厂的运行、检修水平很低。新中国建立后，汽轮机制造业才得到发展，从1955年制成第一台6000千瓦凝汽式汽轮机起，在短短的二十几年中，已经生产了1.2万千瓦、2.5万千瓦、5万千瓦、10万千瓦、12.5万千瓦、20万千瓦及30万千瓦等各种类型的汽轮机。除建立了哈尔滨、上海和东方三大汽轮机制造厂外，还建有南京、北京、武汉、杭州及青岛等一批中小型汽轮机制造厂，这些工厂正在为发展我国的汽轮机制造业作出贡献。在电厂中，由于技术水平不断提高，技术管理不断加强，规章制度逐步完善，使汽轮机设备的检修质量和运行水平都得到了提高，充分发挥了设备的潜力，因而大大提高了设备运行的可靠性和降低了发电成本。

第二节 汽轮机的基本工作原理

来自锅炉的过热蒸汽，进入汽轮机后，依次经过一系列环形配置的喷嘴（静叶栅）和动叶栅，将蒸汽的热能转变为汽轮机转子旋转的机械能。蒸汽在汽轮机中，以不同方式进行能量转换，便构成了不同工作原理的汽轮机。

一、冲动式汽轮机

(一) 冲动作用原理

由力学可知，当一运动物体碰到另一个静止的或运动速度较低的物体时，就会受到阻碍而改变其速度，同时给阻碍它的物体一个作用力，这个作用力称为冲动力。冲动力的大小取决于运动物体的质量和速度变化；质量越大，冲动力越大；速度变化越大，冲动力也越大。若阻碍运动的物体在此力作用下，产生了速度变化，则运动物体就做了机械功。例如，将高速汽流冲击在一个静止的小车上（图1-1）则汽流的速度发生变化，对小车产生冲动力作用力，使小车向前移动而做功。小车所做的功即为汽流动能的变化。

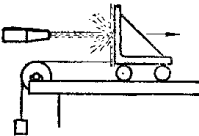


图 1-1 汽流对小车的作

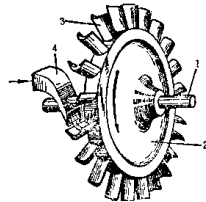


图 1-2 冲动式汽轮机简图
1—轴；2—叶轮；3—动叶片；4—喷嘴

在汽轮机中（图1-2），蒸汽在喷嘴4中产生膨胀，压力降低，速度增加，热能转变成动能。高速汽流流经动叶片3时，由于汽流方向改变，产生了对叶片的冲动力，推动叶轮2旋转做功，将蒸汽的动能转变成轴旋转的机械能，这种利用冲动力做功的原理，称为冲动作用原理。

现以半圆形叶片为例（图1-3），说明高速汽流流经动叶栅时，对叶片产生冲动力的原理。喷嘴中流出的高速汽流，以 c_1 的速度进入叶片，然后以与 c_1 平行而方向相反的速度 c_2 流出。由于汽流沿圆形叶片壁面不断改变方向作圆周运动，故每一个汽流微团都将产生一个离心力作用在叶片上，图中 F_a 、 F_b 、 F_c 分别表示作用在叶片 a 、 b 、 c 各点的离心力。 a 点的离心力 F_a 可分解成水平方向分力 F_{ax} 和垂直方向分力 F_{ay} ， c 点处的离心力 F_c 也分解成水平方向分力 F_{cx} 和垂直方向分力 F_{cy} ，同理，其它各点的离心力都可分解成水平方向的分力和垂直方向分力。假定汽流在流动中没有损失，则对应点 a 点与 c 点及其它各对应点处的离心力相等，即对应点处的垂直方向分力大小相等而方向相反，互相抵消（如 $F_{ay} + F_{cy} = 0$ ）。因而所有水平方向的分力的合力就是作用在叶片上圆周方向的作用力，它推动叶轮旋转做功。

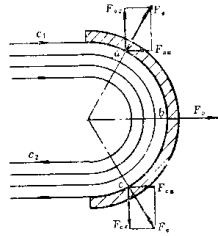


图 1-3 汽流对半圆形叶片的冲动作用力

实际上，由于汽轮机结构方面的要求，从喷嘴流出的汽流方向是与动叶栅运动方向成一角度的，因而动叶片的形状不能作成半圆形，使蒸汽推动叶轮旋转的作用力减小，但其工作原理仍然是相同的。

（二）单级冲动式汽轮机

图1-4为单级冲动式汽轮机工作原理简图。蒸汽在喷嘴中产生膨胀，压力由 p_1 降至 p_2 ，流速从 c_0 增至 c_1 ，将蒸汽的热能转变为动能。蒸汽进入动叶栅后，改变汽流方向，产生冲动作用力使叶轮旋转做功，将蒸汽动能转变为转子机械能，蒸汽离开动叶栅的速度降至 c_2 。由于蒸汽在动叶栅中不产生膨胀，所以动叶栅前后压力相等，即 $p_1 = p_2$ 。

单级冲动式汽轮机的功率不可能作得很大，一般在500~800千瓦以下，常用来带动功率不大的辅助机械，如小型汽动油泵及汽动给水泵等。

（三）速度级汽轮机

在单级汽轮机中，当喷嘴中焓降较大时，喷嘴出口的蒸汽速度很高，则蒸汽离开动叶栅的速度 c_2 也很大，将产生很大的损失，降低了汽轮机的经济性。为了减少这部分损失，可像图1-5所示那样，在第一列动叶栅后安装一列导向叶栅7，使蒸汽在导向叶栅内改变流动方向后再进入装在同一叶轮上的第二列动叶栅6中继续做功。这样，从第一列动叶栅流出的汽流所具有的动能又在第二列动叶栅中加以利用，使动能损失减小。如果流出第二列动叶栅的汽流还具有较大的动能，则可以再装第二列导向叶栅和第三列动叶栅。这种将

蒸汽在喷嘴中膨胀产生的动能，分次在动叶栅中利用的级，称为速度级。通常把蒸汽动能在两列动叶栅中加以利用的级称为二列速度级，在三列动叶栅中加以利用的级称为三列速度级。

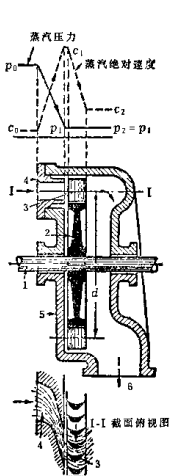


图 1-4 单级冲动式汽轮机工作原理图
1—轴；2—叶轮；3—动叶栅；4—喷嘴；
5—汽缸；6—排汽管

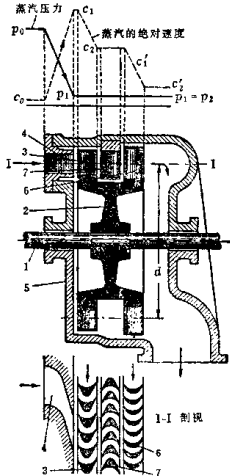


图 1-5 速度级（二列）汽轮机工作原理图
1—轴；2—叶轮；3—第一列动叶栅；4—喷嘴；
5—汽缸；6—第二列动叶栅；7—导向叶栅

图1-5还表示出蒸汽在速度级中压力和速度的变化规律，蒸汽在动叶 栅中 和导向叶栅中均不产生膨胀，因此第二列动叶栅后的压力等于喷嘴后的压力。

（四）多级冲动式汽轮机

随着汽轮机向高参数、大功率和高效率方向发展，单级汽轮机已不能适应需要，产生了多级汽轮机。由若干个冲动级依次迭置而成的多级汽轮机，称为多级冲动式汽轮机。

图1-6所示为一台具有三个冲动级的多级冲动式汽轮机。整个汽轮机的焓降分别由三个冲动级加以利用。蒸汽进入汽缸后，在第一级喷嘴 2 中产生膨胀，压力由 p_0 降至 p_1 ，汽流速度由 c_0 增至 c_1 ，然后进入第一级动叶栅 3 中做功，做功后流出动叶栅的汽流速度降至 c_2 ，由于蒸汽在动叶栅中不产生膨胀，动叶栅后的压力（即第一级后压力）即等于喷嘴后的压力 p_1 。从第一级流出的蒸汽，再依次进入其后的两级并重复上述做功过程，最后从排汽管中排出，图1-6还表示出蒸汽在各级中压力及速度的变化情况。

由于流经各级后的蒸汽压力逐渐降低，比容逐渐增大，故蒸汽的容积流量（单位时间内流过的蒸汽体积）也逐渐增大。为了使蒸汽能顺利流过，汽轮机的通流面积应逐渐增加，所以喷嘴和动叶的高度以及级的直径均逐渐增加。多级汽轮机的功率是各级功率之和，因此，多级汽轮机的功率可以按需要做得很大。

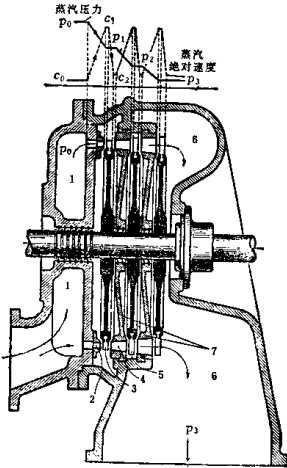


图 1-6 具有三个冲动级的多级汽轮机示意图
1—新蒸汽室；2—第一级喷嘴；3—第一级动叶栅；4—第二级喷嘴；5—第二级动叶栅；6—排汽管；7—隔板



图 1-7 火箭工作原理示意图

二、反动式汽轮机

(一) 反动作用原理

由牛顿第三定律可知，一物体对另一物体施加一作用力时，这个物体上必然要受到与其作用力大小相等，方向相反的反作用力。例如火箭（见图1-7）就是利用燃料燃烧时产生的大量高压气体从尾部高速喷出，对火箭产生的反作用力使其高速飞行的，这个反作用力称为反动力。利用反动力作功的原理，称为反动作用原理。公元前120年，埃及人希罗制造的反动式汽球（见图1-8），完全是利用蒸汽由喷嘴喷出而产生的反动力使其旋转的。

在反动式汽轮机中，蒸汽不但在喷嘴（静叶栅）中产生膨胀，压力由 p_0 降至 p_1 ，速度由 c_0 增至 c_1 ，高速气流对动叶产生一个冲动力，而且在动叶栅中也产生膨胀，压力由 p_1 降至 p_2 ，速度由动叶进口相对速度 w_1 增至动叶出口相对速度 w_2 ，气流必然对动叶产生一个由于加速面引起的反动力，使转子在蒸汽冲动力和反动力的共同作用下旋转作功。蒸汽在

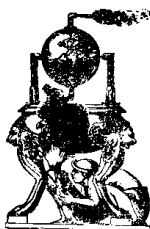


图 1-8 希罗反动式汽球

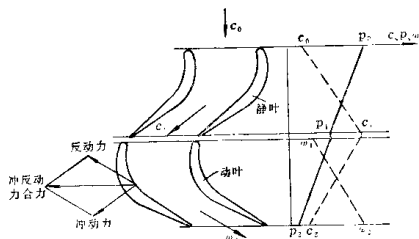


图 1-9 蒸汽在反动级中的流动

反动级中的压力和速度变化情况如图1-9所示。

(二) 多级反动式汽轮机

反动式汽轮机都是制成多级的。按蒸汽在汽轮机中的流动方向分类，反动式汽轮机可分为轴流式和辐流式两种。

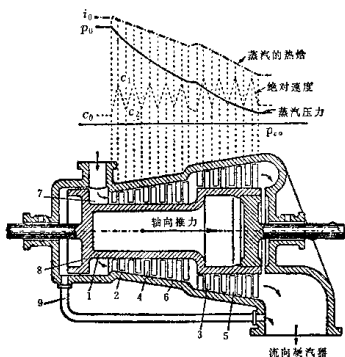


图 1-10 轴流式多级反动汽轮机断面示意图

1—转子；2、3—动叶栅；4、5—静叶栅；6—汽缸；7—环形进汽室；8—平衡活塞；9—联络蒸汽管

图1-10为轴流式多级反动式汽轮机示意图。它的动叶片安装在轮鼓上，在每列叶片之前，装有静叶片。动叶片和静叶片的断面形状基本相同，压力为 p 的新蒸汽由环形汽室7进入汽轮机后，在第一级静叶栅中膨胀，压力降低，速度增加，然后进入第一级动叶栅，改变流动方向，产生冲动力，在动叶栅中蒸汽继续膨胀，压力下降，汽流在动叶栅中的速度增加，对动叶产生反动力，转子在冲动力和反动力的共同作用下旋转做功。从第一级流出的蒸汽依次进入以后各级重复上述过程，直到经过最后一级动叶栅离开汽轮机。由于蒸汽的比容随着压力的降低而增加，因此，

叶片的高度应相应增加，使流通面积逐渐增大，以保证蒸汽顺利地流过。由于反动式汽轮机每一级前后都存在压力差，因而在整个转子上产生很大的轴向推力，其方向如图所示。为了减少这个轴向推力，反动式汽轮机不能像冲动式汽轮机那样采用叶轮结构，并且在转子

前部装有平衡活塞 8，来抵消轴向推力。活塞前的空间用联络管 9 和排汽管联接，使活塞上产生一个向前的轴向推力，达到平衡转子轴向推力的目的。

图 1-11 为辐流式多级反动式汽轮机示意图。汽轮机有两个转轴 4 和 5，叶轮 1 和 2 分别安装在两个转轴上，叶片 6 和 7 分别垂直安装在两个叶轮的端面上，组成动叶栅。辐流式反动汽轮机是利用反动作用原理来工作的，新蒸汽从新蒸汽管 3 进入汽轮机的蒸汽室，然后流经各级动叶栅逐渐膨胀，利用汽流对叶片反动力的推动叶轮旋转作功，将蒸汽的热能转变成机械能。辐流式的汽轮机的两个转子按相反的方向旋转，可以分别带动两个发电机工作。

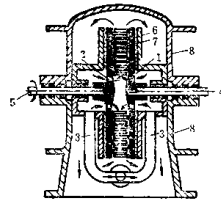


图 1-11 辐流式多级反动式汽轮机示意图
1、2—叶轮；3—新蒸汽管；4、5—汽轮机轴；6、7—工作叶片；8—机壳

第三节 汽轮机的分类及型号

一、分类

汽轮机的类型很多，为便于使用，常按热力过程特性、工作原理、新蒸汽参数、蒸汽流动方向及用途等对汽轮机进行分类。

(一) 按热力过程特性分

(1) 凝汽式汽轮机 进入汽轮机作功的蒸汽，除很少一部分漏汽外，全部排入凝汽器，这种汽轮机称为纯凝汽式汽轮机。在近代汽轮机中，多数采用回热循环，即进入汽轮机的蒸汽，除大部分排入凝汽器外，有少部分蒸汽从汽轮机中分批抽出，用来加热锅炉给水，这种汽轮机称为有回热抽汽的凝汽式汽轮机，简称为凝汽式汽轮机。

(2) 背压式汽轮机 进入汽轮机作功后的蒸汽在较高的压力下排出，供工业或生活使用，这种汽轮机称为背压式汽轮机。若排汽供给其它中、低压汽轮机使用时，则称为前置式或迭置式汽轮机，这种汽轮机常在改造旧电厂时使用。

(3) 调节抽汽式汽轮机 在一汽轮机中，若有部分蒸汽在一种或者两种给定的压力下，从汽轮机中抽出，供给工业或生活使用，其余蒸汽在汽轮机内作功后仍排入凝汽器，这种汽轮机称为调节抽汽式汽轮机。这种汽轮机装有抽汽压力调节机构，以维持抽汽压力不变，工业用抽汽压力一般为 8~16 绝对大气压，生活用抽汽压力一般为 0.7~2.5 绝对大气压。

(4) 中间再热式汽轮机 新蒸汽在汽轮机前面若干级作功后，全部引至锅炉内再次加热到某一温度，然后回到汽轮机中继续膨胀作功，这种汽轮机称为中间再热式汽轮机。

此外还有：利用其它蒸汽设备（如蒸汽机、蒸汽锤等）排汽的汽轮机，称为乏汽汽轮机；同时使用锅炉供汽和其它蒸汽设备排汽的汽轮机，称为混压式汽轮机。

(二) 按工作原理分

(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, 蒸汽在动叶内都有一定程度的膨胀(在有些级中甚至还相当大), 但习惯上仍称为冲动式汽轮机。

(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为调节级, 但习惯上仍称为反动式汽轮机。

(3) 混合式汽轮机 由按冲动原理工作的级和按反动原理工作的级组合而成的汽轮机称为混合式汽轮机。

(三) 按新蒸汽参数分

(1) 低压汽轮机 其新蒸汽压力为1.2~15绝对大气压;

(2) 中压汽轮机 其新蒸汽压力为20~40绝对大气压;

(3) 高压汽轮机 其新蒸汽压力为60~100绝对大气压;

(4) 超高压汽轮机 其新蒸汽压力为120~140绝对大气压;

(5) 亚临界汽轮机 其新蒸汽压力为160~180绝对大气压;

(6) 超临界汽轮机 其新蒸汽压力高于226绝对大气压。

(四) 按蒸汽流动方向分

(1) 轴流式汽轮机 蒸汽主要是沿着轴向流动的汽轮机;

(2) 辐流式汽轮机 蒸汽主要是沿着辐向流动(即半径方向)的汽轮机;

(3) 周流式汽轮机 蒸汽大致沿着轮周方向流动的汽轮机。

(五) 按用途分

(1) 电站汽轮机 热力发电厂中用于发电的汽轮机称为电站汽轮机。这类汽轮机还可分为固定式电站汽轮机和移动式电站(列车电站、船舶电站)汽轮机。

同时供热、供电的汽轮机(抽汽式、背压式)通常又称为热电合供汽轮机。

(2) 工业汽轮机 用于工业企业中的固定式汽轮机统称为工业汽轮机。包括自备动力站中发电用的汽轮机(通常是等转速的)和驱动水泵、风机等用的汽轮机(通常是变转速的)。

(3) 船用汽轮机 用于船舶驱动螺旋桨的汽轮机称为船用汽轮机。

二、型号

汽轮机种类很多, 为了便于使用, 通常用一定的符号来表示汽轮机的基本特性(热力特性, 功率和蒸汽参数等), 这些符号称为汽轮机的型号。

目前国产汽轮机采用的型号分为三组, 即

热力特性或用途	功率	—	蒸汽参数	—	设计序号
---------	----	---	------	---	------

第一组用汉语拼音符号表示汽轮机的热力特性或用途, 其意义见表1-1, 汉语拼音符号后面的数字表示汽轮机的额定功率, 单位为千瓦, 船用汽轮机的功率单位为千马力。

第二组的数字又分为几组, 其间用斜线分开, 各组数字所表示的意义见表1-2。表中所用单位: 汽压——绝对大气压; 汽温——摄氏温度(℃)。

表 1-1

汽轮机热力特性或用途的代号表

代 号	型 式	代 号	型 式
N	凝 汽 式	CB	抽汽背压式
B	背 压 式	H	船 用
C	一次调节抽汽式	Y	移 动 式
CC	二次调节抽汽式		

第三组的数字表示设计的序号, 若为按原型制造的汽轮机, 型号中没有此部分。

例如: N100-90/535型汽轮机, 表示为凝汽式、额定功率为10万千瓦、新蒸汽压力为90绝对大气压、温度为535℃的汽轮机。

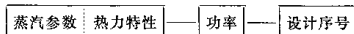
表 1-2 蒸汽参数的表示方法

型 式	参 数 表 示 方 式
凝 汽 式	蒸汽初压/蒸汽初温
凝 汽 式 (具有中间再热)	蒸汽初压/蒸汽初温/再热温度
抽 汽 式	—蒸汽初压/高压抽汽压力/低压抽汽压力
背 压 式	—蒸汽初压/背压
抽汽背压式	—蒸汽初压/抽汽压力/背压

N200-130/535/535型汽轮机, 表示为凝汽式、额定功率为20万千瓦、新蒸汽压力为130绝对大气压、温度为535℃、中间再热、温度为535℃的中间再热式汽轮机 CC12-35/10/1.2型汽轮机表示为二次调节抽汽式、额定功率为12000千瓦、新蒸汽压力为35绝对大气压、高压抽汽压力为10绝对大气压、低压抽汽压力为1.2绝对大气压的汽轮机。Y6-35-3型汽轮机表示为移动式、额定功率为6000千瓦、新蒸汽压力为35绝对大气压、第三型设计的汽轮机。

定功率为6000千瓦、新蒸汽压力为35绝对大气压、第三型设计的汽轮机。

我国过去使用的汽轮机型号为三组数字, 即



第一组的第一位数字表示汽轮机的新蒸汽参数, 其意义见表1-3; 第二位数字表示汽轮机的热力特性, 其意义见表1-4。第二组的数字表示汽轮机的额定功率, 单位为千瓦。第三组的数字表示设计的序号, 若为按原型设计制造的汽轮机, 型号中也没有此部分。

表 1-3

蒸 汽 参 数 的 代 号

参 数 分 类	蒸 汽 参 数	蒸 汽 压 力 (绝对大气压)	温 度 (°C)	我 国 的 代 号	苏 联 代 号
低 参 数		12~20	300~360	2	I'
中 参 数		21~40	361~450	3	A
次 高 参 数		41~80	451~480	4	E
高 参 数		81~125	481~535	5	B

例如31-25-7型汽轮机表示为中参数、凝汽式、额定功率为25000千瓦、第七型设计的汽轮机。54-25-3 汽轮机表示为高参数、二次调节抽汽式、额定功率为 25000 千瓦，第三型设计的汽轮机。

表 1-4 汽轮机的热力特性代号

汽轮机热力特性	我国代号	苏联代号
凝 汽 式	1	K
一次供暖抽汽式	2	T
一次工业用抽汽式	3	И
二次调节抽汽式	4	ИТ
背 压 式	5	P

我国现有电厂中装有一些苏联制造的汽轮机，其型号表示方法与我国过去使用的型号相似，代号所表示的意义见表1-3和表1-4。例如BK-100-6 型汽轮机表示为高参数、凝汽式、额定功率为10万千瓦、第六型设计的汽轮机。BITT-25-3 型汽轮机表示为高参

数、二次调节抽汽式、额定功率为25000千瓦，第三型设计的汽轮机。

第二章 汽轮机级的工作原理

汽轮机是将蒸汽热能变成转子机械能的装置。组成汽轮机的基本做功单元称为汽轮机级，简称为级。汽轮机级按其组成有单列级和速度级之分，单列级由一系列喷嘴（静叶）和其后续动叶组成，而速度级则是由一系列喷嘴和其后续装在同一叶轮上的两列或三列动叶以及装在汽缸上的一系列或两列导向叶片所组成。

喷嘴和动叶的流道都是由弯曲壁面构成的。由于蒸汽在这些流道中的实际流动情况比较复杂，为了讨论方便，假设蒸汽在喷嘴和动叶流道中的流动是：

（1）稳定流动，即蒸汽在流道中任一点的参数不随时间变化；

（2）一元流动，即蒸汽在流道中的参数只沿流动方向变化，而在垂直于流道的方向上是相同的；

（3）绝热流动，即认为蒸汽在流道中流动速度很高，因而流经流道的时间极短，来不及与壁面产生热交换。

按照上述假定，即可将蒸汽在喷嘴和动叶流道中的流动看作是一元稳定绝热流动。这样，不仅简单易懂，而且当用其说明和计算汽轮机中的能量转变过程和变工况特性时，对于大多数汽轮机级特别是那些相对高度较小的高、中压级来讲已足够精确。考虑到实际汽流的不均匀性，在分析或计算时各个参数均用级平均直径处的数值表示。

蒸汽流经级做功时，有的级中蒸汽仅在喷嘴中发生膨胀，有的级中蒸汽不仅在喷嘴中发生膨胀而且在动叶中也发生膨胀。在实际应用中，常根据蒸汽在动叶中是否发生膨胀及膨胀的大小来区分级的类型。图 2-1 表示没有损失时，蒸汽在喷嘴和动叶中都发生膨胀的理想热力过程，蒸汽在喷嘴中的理想焓降为 h_n ，在动叶中的理想焓降为 h'_b ，则级的理想焓降 h_t 为：

$$h_t = h_n + h'_b$$

蒸汽在动叶中的焓降与级的理想焓降之比称为级的反动度^①，以 ρ 表示，即

$$\rho = \frac{h'_b}{h_t} \times 100\% = \frac{h'_b}{h_n + h'_b} \times 100\% \quad (2-1)$$

按照不同的反动度，汽轮机级可分为下列类型：

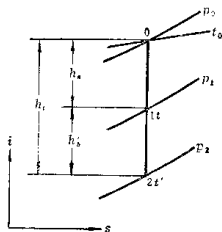


图 2-1 级的理想热力过程

① 在有些书中，反动度的定义为 $\rho = \frac{h'_b}{h_t}$ （ h_t 为级的静止焓降）。