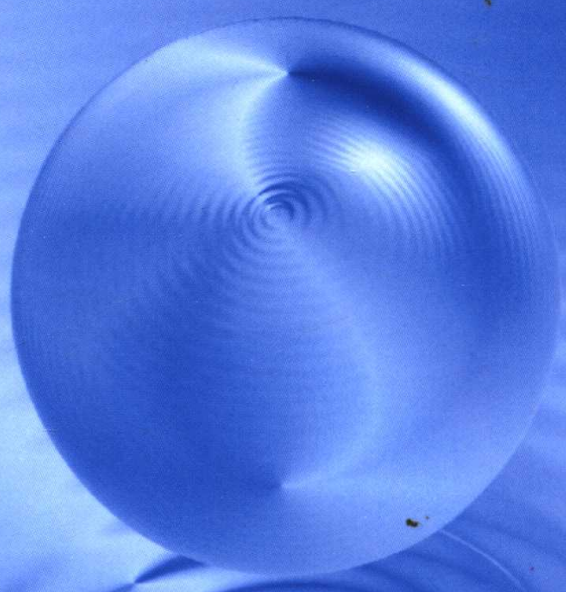


600MW 级

火 力 发 电 机 组 丛 书

汽轮机设备及系统

代云修 张灿勇 主编



紧密结合电厂实际运行
体现600MW机组新技术
适合电厂培训使用



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

600MW 级

火 力 发 电 机 组 丛 书

汽轮机设备及系统

代云修 张灿勇 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《600MW级火力发电机组丛书》之一，是以目前我国运行的600MW汽轮机的实践经验为基础编写的。全书共分十一章。第一章阐述了汽轮机的基本概念和600MW汽轮机的主要技术参数及整体概况；第二章详细介绍了600MW汽轮机的结构；第三章至第八章详细讨论了与汽轮机有关的设备及系统，如凝汽设备及其系统、汽轮机调节保护及供油系统、氢冷发电机氢油水系统、给水回热加热系统等；第九、十章详细阐述了600MW汽轮机的运行知识；第十一章简要介绍了国内的三大汽轮机制造厂家生产的1000MW汽轮机设备及系统的情况。

本书可作为从事600MW及以上火力发电机组汽轮机运行、检修工作的工人、技术人员的培训教材，也可以作为电厂技术、管理干部和高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机设备及系统/代云修, 张灿勇主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

(600MW级火力发电机组丛书)

ISBN 7-5083-3742-5

I. 汽... II. ①代...②张... III. 火电厂—蒸汽透平
IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 143067 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006年2月第一版 2006年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 24.75印张 663千字 1插页

印数 0001—3000册 定价 39.60元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《600MW 级火力发电机组丛书》

编 委 会

主 编	张效胜	张 磊		
副主编	李启涛	孙奎明	代云修	于瑞生
	陶苏东	张立华	马明礼	张灿勇
	荀堂生	张盛智	时海刚	杜祖坤
参 编	苏庆民	柴 彤	牛 勇	王玉华
	李广华	刘红蕾	夏洪亮	高洪雨
	陈雪刚	王秀清	董桂珍	尹民权
	杨志勇	尚庆军	宋中炜	赵 嵘
	华 静	朱福霞	马卫东	刘学恩
	王 伟			

前 言

1981年,我国第一台单机容量600MW火电机组(元宝山电厂二期工程)投运,这标志着我国电力工业开始步入大容量、高参数、高自动化时期。600MW火力发电机组具有大容量、高参数、低能耗、低污染等优点,现已逐渐成为我国火力发电厂的主力机型。截止到2004年底,全国已有多台600MW机组投入运行。

随着我国电力工业的迅猛发展,新材料、新设备、新技术、新工艺不断投入应用,现代大型火力发电厂对生产管理人员和专业技术人员掌握新材料、新设备、新技术、新工艺的能力提出了更高、更新的要求。为满足广大生产管理人员和专业技术人员渴望学习新知识、新技能的迫切需求,山东省电力学校组织编写了《600MW级火力发电机组丛书》。

在结合山东省600MW火力发电机组多年运行经验的基础上,本丛书详细地介绍了600MW级机组锅炉设备、汽轮机设备、电气设备及系统的结构、原理、技术特点和运行技巧,同时也详细地分析和介绍了600MW机组的热工自动化设备及系统、燃料系统运行与管理、电厂化学等方面的知识和技术。

本套丛书共有六个分册:第一分册为《燃煤锅炉机组》,由张磊、张立华主编;第二分册为《汽轮机设备及系统》,由代云修、张灿勇主编;第三分册为《电气设备及系统》,由陶苏东、荀堂生、张盛智主编;第四分册为《燃料运行与检修》,由张磊、马明礼主编;第五分册为《热工自动化》,由孙奎明、时海刚合编;第六分册为《电厂化学》,由于瑞生、杜祖坤合编。

本套丛书突出了600MW级火力发电机组的技术特点,以实用、提高技能为核心,对火力发电机组共性的基本理论部分进行了适当的弱化处理,而对600MW级火力发电机组的特点及其特殊的生产管理要求进行了详细的阐述。

本套丛书既可作为生产人员的岗位培训教材,也可作为大、中专院校电厂热能动力工程、热工自动控制、电厂化学、电气等专业的参考教材。

在本套丛书编写过程中,华电集团邹县发电厂、中华电力聊城发电厂、华能集团德州发电厂、山东电力研究院有关领导和专家给予了大力支持和热情帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写人员水平所限,加之时间仓促,疏漏和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《600MW级火力发电机组丛书》编委会

2005年11月

600MW级火力发电机组丛书

汽轮机设备及系统

编者的话

本书由山东省电力学校组织编写，是《600MW级火力发电机组丛书》之一。本书主要以国内已运行的600MW火力发电厂汽轮机设备及其系统的结构特点、原理、功能及性能为编撰的重点，突出600MW汽轮机设备及其系统的技术特点。

全书共分十一章。第一章阐述了汽轮机的基本概念和600MW汽轮机的主要技术参数及整体概况；第二章详细介绍了600MW汽轮机的结构；第三章至第八章详细讨论了与汽轮机有关的设备及系统，如凝汽设备及其系统、汽轮机调节保护及供油系统、氢冷发电机氢油水系统、给水回热加热系统等；第九、十章详细阐述600MW汽轮机的运行知识；第十一章简要介绍了国内的三大汽轮机制造厂家生产的1000MW汽轮机设备及系统的大概情况。

全书由山东省电力学校代云修与张灿勇担任主编。代云修编写第一、二、三、四、九、十章；张灿勇编写第六、七章；刘红蕾编写第八章；邹县电厂朱福霞编写第五章；邹县电厂张伟和杨淑芳编写第十一章。

本书由华电国际高级工程师李秀财和国电聊城发电厂高级工程师王卫东主审。

由于编者水平所限，时间仓促，编写过程中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2005年11月

目 录

前言

编者的话

● 绪论	1
● 第一章 汽轮机的基本概念	3
第一节 汽轮机的基本工作原理	3
第二节 汽轮机的分类和型号	8
第三节 600MW 汽轮机概述	10
● 第二章 汽轮机本体	21
第一节 动叶片	21
第二节 转子	26
第三节 联轴器	30
第四节 盘车装置	33
第五节 汽缸的结构和热膨胀	34
第六节 喷嘴组及隔板的结构	48
第七节 汽封	52
第八节 轴承	54
● 第三章 汽轮机的凝汽设备	65
第一节 凝汽设备的任务及组成	65
第二节 表面式凝汽器的结构和分类	67
第三节 凝汽器的热力特性	73
第四节 600MW 汽轮机的凝汽器	77
第五节 抽气器	79
第六节 凝汽器的运行与监督	84
第七节 凝汽器的清洗	90
● 第四章 汽轮机的调节系统	96
第一节 汽轮机调节系统的基本概念	96
第二节 电液调节系统的工作原理	106
第三节 电液调节系统的主要装置	112
第四节 汽轮机保护系统	118
第五节 供油系统	121
第六节 600MW 汽轮机的调节系统	123

●第五章 发电机氢、油、水系统	136
第一节 发电机氢气控制系统	136
第二节 氢冷发电机密封油控制系统	140
第三节 氢冷发电机冷却水系统运行	145
●第六章 回热加热器和除氧器	149
第一节 回热加热器	149
第二节 除氧器	162
●第七章 发电厂热力系统	170
第一节 原则性热力系统和全面性热力系统	170
第二节 管道和阀门的基本知识	173
第三节 主蒸汽系统与再热蒸汽系统	182
第四节 再热机组的旁路系统	187
第五节 回热抽汽系统	196
第六节 回热加热器的疏水与放气系统	201
第七节 主凝结水系统	204
第八节 给水管道系统	208
第九节 辅助蒸汽系统	212
第十节 给水泵汽轮机的热力系统	214
第十一节 汽轮机的轴封蒸汽系统	217
第十二节 锅炉的排污系统及连续排污利用系统	220
第十三节 发电厂的汽水损失及补充	222
第十四节 发电厂热力系统一般投停顺序	224
●第八章 水泵及水泵拖动	228
第一节 水泵的基本知识	228
第二节 600MW 机组的给水泵组	236
第三节 600MW 机组的液力耦合器	254
第四节 600MW 机组的给水泵汽轮机	260
第五节 600MW 机组的凝结水泵组	268
第六节 循环水泵组	274
●第九章 汽轮机的运行	278
第一节 汽轮机的热应力、热膨胀和热变形	278
第二节 汽轮机启动状态的划分	280
第三节 600MW 汽轮机的冷态滑参数启动	282
第四节 600MW 汽轮机的热态启动	292
第五节 汽轮机正常运行	294
第六节 汽轮机的停机	299
●第十章 汽轮机的几种典型事故处理	309
第一节 汽轮机正常运行中的维护及重大事故的处理原则	309
第二节 汽轮机动静部分摩擦、振动及大轴弯曲	311
第三节 汽轮机水击	314

第四节	汽轮机叶片损坏与脱落	317
第五节	调节、保安及油系统故障	322
第六节	汽轮发电机轴瓦乌金熔化或损坏	325
第七节	汽轮机真空下降	327
▶第十一章	1000MW 汽轮机设备及系统概述	329
第一节	主要技术规范及技术要求	329
第二节	汽轮机本体结构	338
第三节	汽轮机设备及系统有关数据表	344
第四节	汽轮机监视及控制系统简介	358
第五节	汽轮机的油系统简介	359
第六节	哈尔滨汽轮机厂 1000MW 汽轮机介绍	360
第七节	东方汽轮机厂 1000MW 汽轮机介绍	371
参考文献	382

绪 论

汽轮机是将蒸汽热能转化为机械功的外燃回转式原动机。它具有单机功率大、转速高、效率高、运转平稳和使用寿命长等优点，因而在现代工业中得到了广泛的应用。

汽轮机的主要用途是在热力发电厂中做驱动发电机的原动机。在以煤、石油和天然气为燃料的火力发电厂、核电站和地热电厂中，大多采用汽轮机作为原动机，其发电量占总发电量的80%左右。在热电厂中，还可以用汽轮机的排汽或中间抽汽来满足生产和生活的供热需要，这种既供热又发电的热电联供汽轮机，在热能的综合利用方面具有较高的经济性。此外，汽轮机还能应用于其他工业部门，例如直接驱动各种泵、风机、压缩机和船舶螺旋桨等。在生产过程中有余热、余能的各种工厂企业中，可以利用各种类型的工业汽轮机，使不同品位的热能得到合理有效的利用，从而提高企业的节能和经济效益。

1883年，瑞典工程师拉伐尔制造了第一台由喷嘴冲动的单级叶轮式汽轮机，功率仅为3.68kW。1884年，英国制成了7.46kW的多级反动式汽轮机。进入20世纪，世界上出现了多级冲动式汽轮机。近几十年来，汽轮机发展尤为迅速，以下简介其发展的主要特点：

(1) 单机功率增大。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200MW机组的单位功率成本比6MW机组的单位功率成本降低约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。200MW的汽轮机其热耗率仅为12MW汽轮机的68%，降低约32%。

3) 加快电站的建设速度。例如安装5台250MW机组，其工期约为66个月，安装两台600MW的机组，其工期约为45个月，后者明显比前者缩短工期约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。

(2) 蒸汽初参数提高。增大单机功率后适宜采用较高的蒸汽参数，当今世界上300MW及以上容量的机组均采用亚临界压力(16~18MPa)或超临界压力(23~26MPa)的机组，甚至采用超超临界压力(26~32MPa)的机组。蒸汽初温度采用535~565℃，超临界压力机组及超超临界压力机组蒸汽初温度甚至采用600℃。

(3) 普遍采用一次中间再热。采用中间再热后，可以降低排汽湿度，提高机组的内效率、热效率和运行的可靠性。

(4) 采用燃气—蒸汽联合循环，以提高电厂的效率。

(5) 采用机、炉、电集控和程控，提高电站的自动化水平。

(6) 发展原子能电站汽轮机。原子能电站投资较高，但是运行费用较低，而且功率越大，相对的投资和运行费用越小。发展核电是解决能源不足的主要途径。

目前世界上大机组的单机容量一般在500~800MW，最大单轴汽轮机为1200MW，双轴为

1300MW，蒸汽压力一般为 16.5 ~ 18MPa 的亚临界压力或 24MPa 的超临界压力机组，主蒸汽温度为 538℃或 566℃。大机组一般都配有完善的电液调节保安系统、汽轮机监视仪表和转子应力及寿命检测系统。

我国是一个发展中国家，解放前没有自己的汽轮机制造工业，电厂的运行、检修水平很低。中华人民共和国成立以后，汽轮机制造工业才得到发展，从 1955 年制成第一台 6MW 凝汽式汽轮机起，在短短的几十年中，已经生产了 12、25、50、100、125、200、300 及 600MW 以上的各种类型的汽轮机。

目前，我国有哈尔滨、上海和东方三大汽轮机制造厂，另外北京重型机械厂、武汉汽轮机厂也极具规模。此外，还有南京、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工业做出贡献。

从容量等级来说，国产超临界压力机组从 600MW 起步，更大容量考虑采用 1000MW 等级，对 1000MW 机组选用单轴方案在技术上是可行的，并有利于降低机组造价。从机组参数来说，对首批国产化机组，原考虑用 24MPa、538℃/566℃参数，由于材料技术的发展，国外超临界压力机组已出现逐步提高蒸汽参数的趋势。我国新研制的超临界压力机组参数也有所提高，如采用 600℃/600℃。超超临界压力机组的参数已达 30MPa、610℃/610℃的水平，目标是 1000MW 等级机组，而且采用超超临界压力机组是当今世界火电机组发展的一个新动向。因此，我国在研制超临界压力机组的同时也正在着手开展超超临界压力机组的技术准备工作，例如哈尔滨、上海和东方三大汽轮机制造厂目前正在分别与三菱公司、西门子公司、日立公司等联合设计制造 1000MW 超临界及超超临界压力机组。

目前山东电网已经投入运行的 600MW 机组就有六台，分别安装在邹县发电厂（东方汽轮机厂引进日本日立技术制造）、聊城发电厂（上海汽轮机制造厂引进美国西屋电气公司技术制造）和德州发电厂（美国通用电气公司制造）。本书着重介绍国内已经投入运行的 600MW 亚临界压力和超临界压力汽轮机的有关知识，并对 1000MW 机组做简要介绍。

汽轮机的基本概念

第一节 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和动叶，将蒸汽的热能转化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、单级汽轮机和多级汽轮机的概念

汽轮机的级是由一系列喷嘴和其后的一系列或几列动叶片组成的汽轮机的基本做功单元，它分为单列级和双列级两种。单列级是由一系列喷嘴和其后的一系列动叶片组成的级，如图 1-1 (a) 所示；双列级是由一系列喷嘴和其后的两列动叶片组成的级，一般用于中小型汽轮机的调节级。

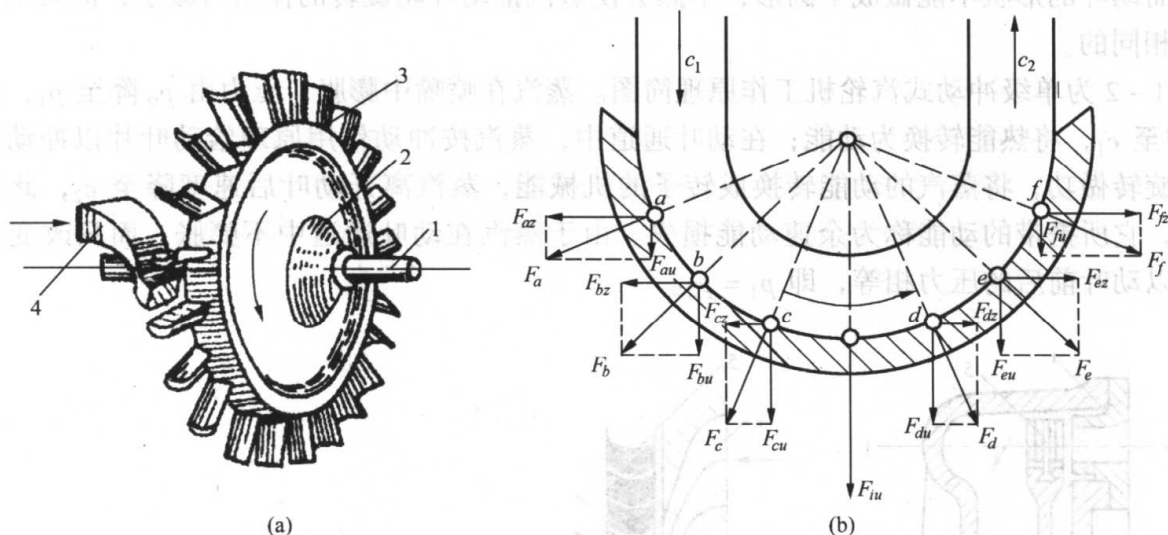


图 1-1 单级冲动式汽轮机

(a) 结构简图；(b) 冲动作用原理

1—轴；2—叶轮；3—叶片；4—喷嘴

只由一个级构成的汽轮机称为单级汽轮机，如图 1-2 所示。这种汽轮机的做功能力很小，效率也不高，在火力发电厂中应用极少。

多级汽轮机是由多个级构成的汽轮机，这种汽轮机的做功能力大，效率高。火力发电厂中应用的汽轮机都是多级汽轮机。

二、汽轮机的基本工作原理

1. 蒸汽的冲动作用原理

由力学可知，当一个运动的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，同时给阻碍它运动的物体一个作用力，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，则冲动力对运动物体就做了机械功。

在汽轮机中，如图 1-1 (a) 所示，蒸汽在喷嘴中膨胀，压力降低，速度增加，蒸汽的热能转化成动能。高速气流冲击叶片，由于气流运动方向改变，产生了对叶片的冲动力，推动叶片旋转做功，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，如图 1-1 (b) 所示，说明高速气流流经动叶时，对叶片产生冲动力的原理。假设气流的流动为理想流动，从喷嘴中喷出的高速气流，以 c_1 的速度进入叶片，做匀速圆周运动，最后以 c_2 的速度 (c_2 与 c_1 大小相等，方向相反) 流出流道。因为气流微团受流道约束而运动，所以每一微团都直接或间接地受到流道内弧表面的弹力作用，这个弹力就是气流微团做圆周运动的向心力。与此同时，根据牛顿第三定律，叶片内弧表面受到气流微团的压力作用，此压力在效果上属离心力。图 1-1 (b) 中 F_a, F_b, \dots, F_f 分别表示气流微团作用在 a, b, \dots, f 各点的压力，这些压力 F_i 都可以分解为沿圆周运动方向的周向力 F_{ω} 和沿转轴方向的轴向力 F_z 。将作用于叶片上的全部周向力相加，其合力为 $F_{\omega} = \Sigma F_{\omega} > 0$ 。而轴向力由图 1-1 (b) 上左右对称点可见，大小相等，方向相反，故其轴向合力为零，即 $F_z = \Sigma F_z = 0$ 。因而所有水平方向的分力的合力 F_{ω} 就是作用在叶片上圆周方向的作用力，即为冲动力，它推动叶轮旋转做功。如果叶片旋转的速度为 u ，则在单位时间内气流周向力所做的功为 $W = F_{\omega}u$ 。这就是冲动作用原理。

实际上，由于汽轮机结构方面的要求，从喷嘴流出的气流方向是与叶片运动方向成一角度的，因而动叶的形状不能做成半圆形，不然会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。

图 1-2 为单级冲动式汽轮机工作原理简图。蒸汽在喷嘴中膨胀，压力由 p_0 降至 p_1 ，流速则从 c_0 增至 c_1 ，将热能转换为动能；在动叶通道中，蒸汽按冲动作用原理给动叶片以冲动力，推动叶轮旋转做功，将蒸汽的动能转换成转子的机械能，蒸汽离开动叶后速度降至 c_2 ，此速度称为余速，它所携带的动能称为余速动能损失。由于蒸汽在动叶通道中不膨胀，而只改变运动方向，所以动叶前后的压力相等，即 $p_1 = p_2$ 。

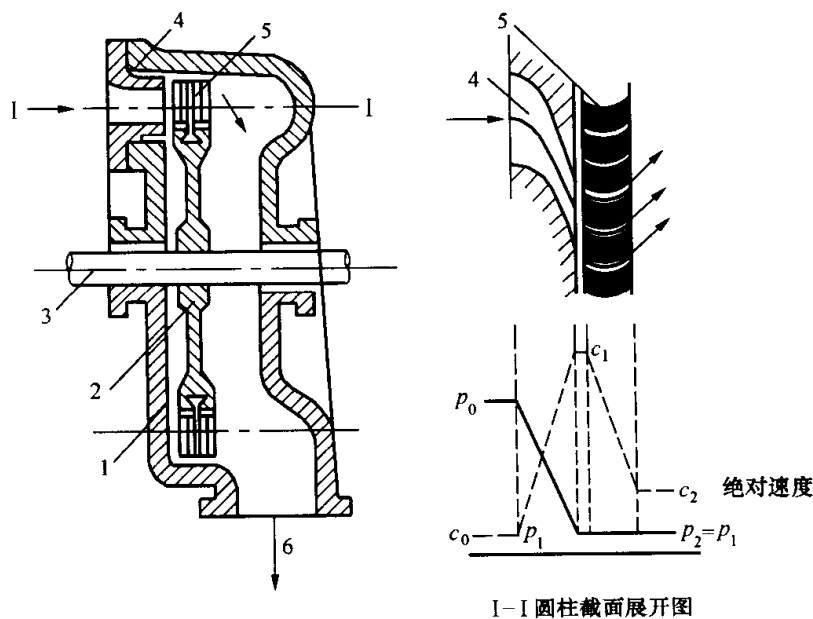


图 1-2 单级冲动式汽轮机示意图

1—汽缸；2—叶轮；3—轴；4—喷嘴；5—动叶片；6—排汽口



图 1-3 火箭工作
原理示意图

2. 蒸汽的反动作用原理

由牛顿第三定律可知，一物体对另一物体施加一个作用力时，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 1-3）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，利用反动力做功的原理称为反动作用原理。

反动式汽轮机中，蒸汽在喷嘴中膨胀，压力由 p_0 降至 p_1 ，速度由 c_0 增至 c_1 。气流流经动叶时，一方面由于速度方向改变而产生一个冲动力 F_i ；另一方面蒸汽同时在动叶汽道内继续膨胀，压力由 p_1 降到 p_2 ，气流加速对动叶片产生一个反动力 F_r ，见图 1-4。蒸汽对动叶的上述两种力的合力 F 推动叶片做功。其中， F_i 是对动叶片所做的功，是冲动力做的功； F_r 是对动叶片所做的功，是反动力做的功。

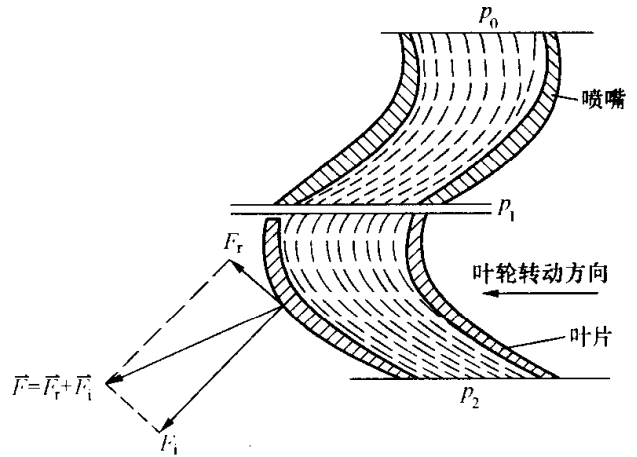


图 1-4 蒸汽对反动式汽轮机叶片的作用力

现代汽轮机中，为了改善蒸汽在动叶栅汽道内的流动状态，减少流动损失，在汽轮机设计中，都会考虑蒸汽流经动叶栅时，也要有一定的膨胀。通常用级的反动度来衡量蒸汽在动叶栅中的膨胀程度。级的热力过程如图 1-5 所示，图中 0、0*、1* 及 1 分别为级的入口状态点、级的入口滞止状态点、动叶入口滞止状态点和动叶入口状态点；2t'、2t 分别为级的出口理想状态点和动叶出口理想状态点；1、2 分别为喷嘴出口和动叶出口实际状态点； Δh_i 、 Δh_i^* 分别为级的理想焓降和理想滞止焓降； Δh_{1i}^* 为喷嘴的理想滞止焓降； $\Delta h'_{2t}$ 为不考虑喷嘴损失时的动叶理想焓降； Δh_{2t} 为考虑喷嘴损失时的动叶理想焓降； Δh_n 、 Δh_b 分别为喷嘴和动叶损失。显然， Δh_{2t} 稍大于 $\Delta h'_{2t}$ ，但大得不多，可认为 $\Delta h_{2t} \approx \Delta h'_{2t}$ ，故

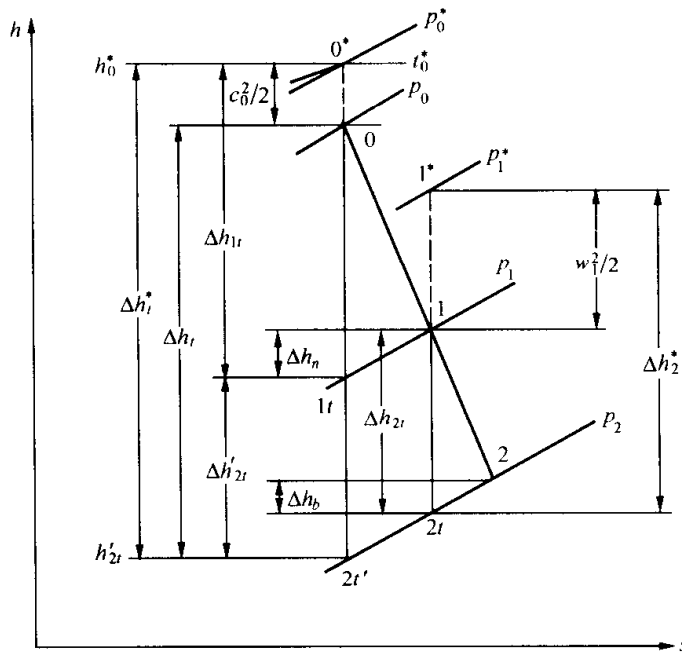


图 1-5 级的热力过程

显然，级的反动度越大，动叶片中的焓降就越大，动叶片所受到的反动力也就越大，反动力做功也就越多。

按照不同的反动度，汽轮机的级可分为下列类型：

- (1) 纯冲动级。当级的反动度 $\rho = 0$ 时，称为纯冲动级，如图 1-6 所示。其级内能量的转换特点是，蒸汽只在喷嘴中发生膨胀，在动叶中不膨胀 ($\Delta h_{2t} = 0$)，只改变运动方向，级的焓降等

于喷嘴中的焓降，即 $\Delta h_{1t}^* = \Delta h_t^*$ 。喷嘴出口的压力等于动叶出口的压力，即 $p_1 = p_2$ 。纯冲动级的结构特点是，动叶的进口和出口的截面积接近相等，叶型对称弯曲。

(2) 反动级。当级的反动度 $\rho = 0.5$ 时，称为反动级，如图 1-7 所示。其级内能量转化特点是，蒸汽在喷嘴和动叶中的膨胀程度相等，其焓降相等， $p_1 > p_2$ 。反动级的结构特点是，喷嘴和动叶的形状相同，流道均为收缩型。由这种级组成的汽轮机称为反动式汽轮机。

(3) 带有反动度的冲动级。当级的反动度 $\rho = 0.15$ 左右时，称为带有反动度的冲动级，简称冲动级，如图 1-8 所示。级内能量转换特点是，蒸汽在动叶中有一定的膨胀，但小于其在喷嘴中的膨胀量，蒸汽对动叶的作用力以冲动力为主，因此有 $p_1 > p_2$ ， $\Delta h_{2t} > 0$ 。动叶的结构介于纯冲动级和反动级之间。由这种级构成的汽轮机称为冲动式汽轮机。冲动式汽轮机高压级的反动度较小，低压级的反动度较大。

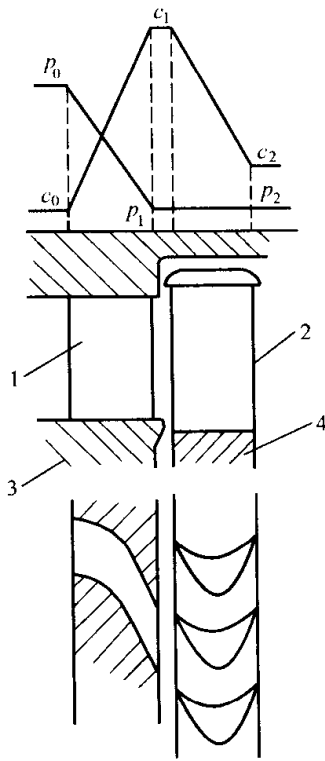


图 1-6 纯冲动级中蒸汽压力和速度变化示意图

1—喷嘴；2—动叶；
3—隔板；4—叶轮

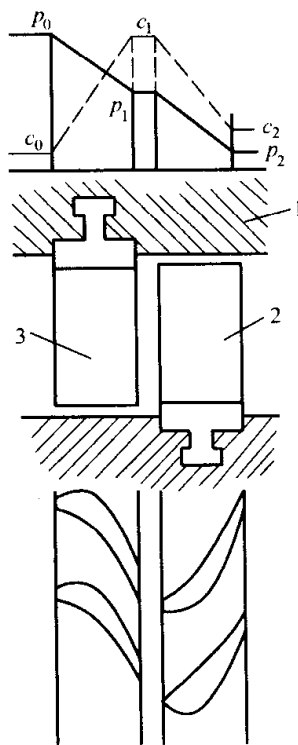


图 1-7 反动级中蒸汽压力和速度变化示意图

1—静叶持环；2—动叶；
3—喷嘴

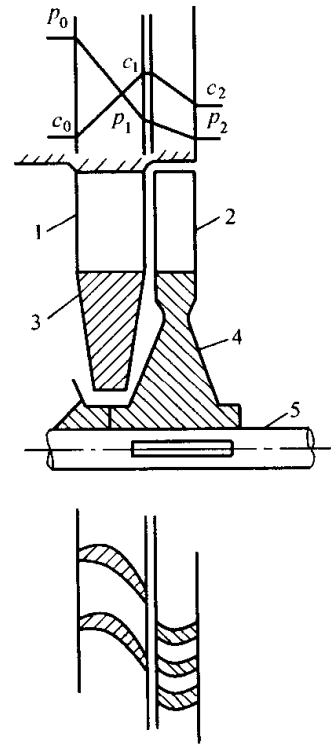


图 1-8 带反动度的冲动级中蒸汽压力和速度变化示意图

1—喷嘴；2—动叶；
3—隔板；4—叶轮；
5—轴

三、冲动式多级汽轮机

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，由此产生了多级汽轮机。由若干个冲动级构成的多级汽轮机，称为多级冲动式汽轮机。

图 1-9 所示为一台多级冲动式汽轮机结构示意图，它由四级组成，第一级为调节级，其余三级称为非调节级。所谓调节级和非调节级是按照级的通流面积是否随负荷大小变化来区分的。通流面积能随负荷改变而改变的级称为调节级。这种级由于运行时可以改变通流面积来控制进汽量，从而达到调节汽轮机负荷的目的，所以称为调节级。非调节级是通流面积不随负荷改变而改变的级。新蒸汽由蒸汽室进入装在汽缸上的第一级喷嘴并在其中膨胀，压力由 p_0 降至 p_1 ，速度

由 c_0 增至 c_1 。此后蒸汽进入第一级动叶片中做功，汽流速度降至 c_2 ，但压力保持不变。第二级的喷嘴装在上、下两半的隔板上，上、下两半隔板分别装在上、下汽缸上。蒸汽在第二级中的做功过程与第一级相同。此后蒸汽进入第三、四级，最后进入凝汽器。整个汽轮机的功率是各级功率之和，所以，多级汽轮机的功率可以做得很大。图 1-9 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，比体积逐渐增大，故蒸汽的容积流量也逐渐增大。为使蒸汽能顺利地流过汽轮机，各级的通流面积应逐级增大，因此喷嘴和动叶的高度逐级增高。此外，由于隔板两侧有压差存在，为防止隔板与轴之间的间隙漏汽，隔板上装有隔板汽封，同时为防止高压端汽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。

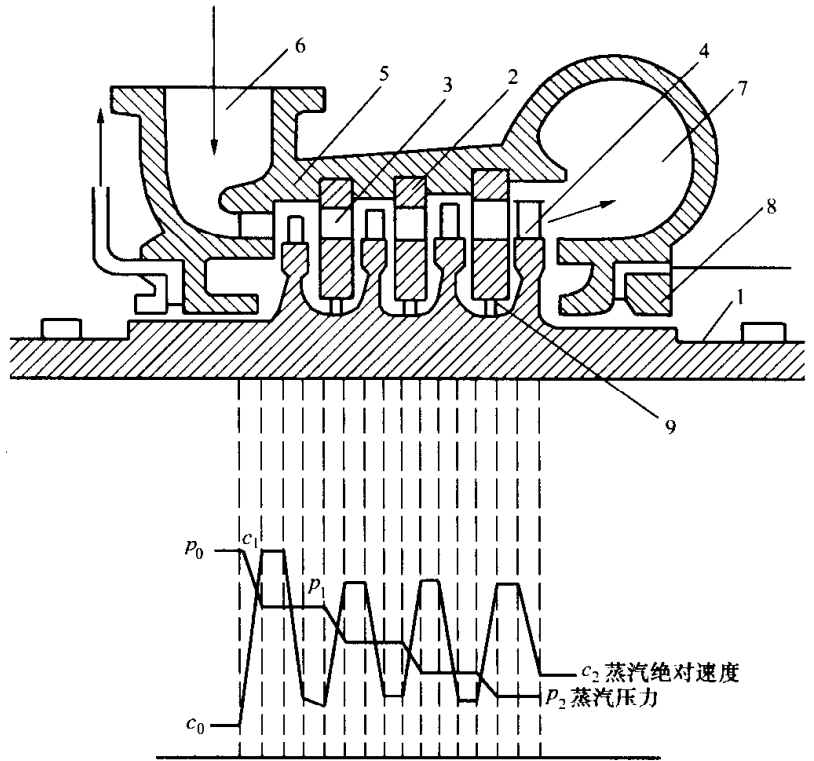


图 1-9 冲动式多级汽轮机通流部分示意图

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

气，还分别装有轴封。

四、反动式多级汽轮机

反动式汽轮机都是多级的。如图 1-10 所示为一台具有四级的反动式汽轮机，它的动叶片直接装在转鼓上，在每列动叶前装有静叶片。动叶片和静叶片的断面形状基本相同，压力为 p_0 的新蒸汽从蒸汽室进入汽轮机后，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加速，压力下降，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做功，直到经过最后一级动叶栅离开汽轮机。由于反动式汽轮机的叶片前后存在压力差，这个压力差作用在动叶片和叶轮上会产生一个从高压指向低压的轴向推力。为了减

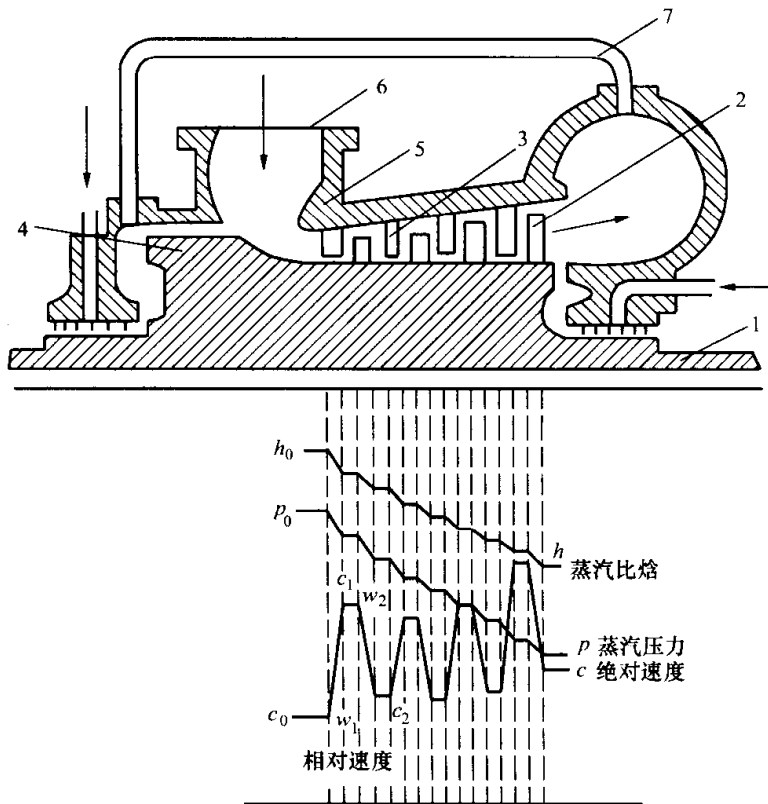


图 1-10 反动式汽轮机通流部分示意图

1—鼓型转子；2—动叶片；3—静叶片；4—平衡活塞；
5—汽缸；6—蒸汽室；7—连接管

少这个轴向推力，反动式汽轮机转子不能像冲动式汽轮机那样采用轮式结构，而是采用汽缸内无隔板，喷嘴叶片通过持环直接装在汽缸上，转子采用鼓式转子，动叶栅直接嵌装在鼓式转子的外缘上。另外，高压端轴封还设有平衡活塞，用蒸汽连接管与凝汽器相通，使平衡活塞上产生一个与汽流的轴向力方向相反的平衡力。

第二节 汽轮机的分类和型号

一、汽轮机的分类

汽轮机被广泛地应用于国民经济各部门中，由于不同用户要求不同，所以汽轮机厂家生产的汽轮机类型很多。为了便于区分，常将汽轮机按工作原理、新蒸汽参数、热力特性等进行分类。

1. 按工作原理划分

(1) 冲动式汽轮机。由冲动级构成的汽轮机称为冲动式汽轮机。在冲动式汽轮机的级中，蒸汽的膨胀主要发生在喷嘴中，蒸汽在动叶通道中的膨胀程度很小。

(2) 反动式汽轮机。由反动级构成的汽轮机称为反动式汽轮机。在反动式汽轮机的级中（调节级除外），蒸汽在喷嘴和动叶中的膨胀程度近似相等。

2. 按热力过程特性划分

(1) 凝汽式汽轮机。进入汽轮机做功的蒸汽，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。为提高效率，近代汽轮机都采用回热抽汽，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。进入汽轮机做功后的蒸汽在高于大气压力下排出，供工业或生活使用，这种汽轮机称为背压式汽轮机。若排汽供给其他中、低压汽轮机使用，则称为前置式汽轮机，这种汽轮机常在改造旧电厂时使用。

(3) 调整抽汽式汽轮机。在汽轮机中，部分蒸汽在一种或两种给定压力下抽出，供给工业或生活使用，其余蒸汽在汽轮机内做功后仍排入凝汽器。一般用于工业生产的抽汽压力为 $0.5 \sim 1.5\text{MPa}$ ，用于生活采暖的抽汽压力为 $0.05 \sim 0.25\text{MPa}$ 。

(4) 中间再热式汽轮机。新蒸汽在汽轮机前面若干级做功后，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做功，这种汽轮机称为中间再热式汽轮机。

3. 按用途划分

(1) 电站汽轮机。在火力发电厂中用以驱动发电机的汽轮机。

(2) 工业汽轮机。用于工业企业中的汽轮机统称为工业汽轮机。

(3) 船用汽轮机。用于船舶驱动螺旋桨并发电供船舶使用的汽轮机。

4. 按蒸汽的流动方向划分

(1) 轴流式汽轮机。蒸汽在汽轮机内部的流动方向与主轴基本平行的汽轮机。目前电站用汽轮机都是这种汽轮机。

(2) 辐流式汽轮机。蒸汽在汽轮机内部沿着辐向流动的汽轮机。

5. 按进汽参数的高低划分

(1) 低压汽轮机。新蒸汽压力小于 1.5MPa 。

(2) 中压汽轮机。新蒸汽压力为 3.4MPa 。

(3) 高压汽轮机。新蒸汽压力为 9MPa 。

(4) 超高压汽轮机。新蒸汽压力为 $12 \sim 14\text{MPa}$ 。