



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

汽轮机设备

电厂热力设备运行专业

主编 赵素芬



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

26

20



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审

汽轮机设备

电厂热力设备运行专业

主 编 赵素芬
责任主审 朱 萍
审 稿 陈 庚



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

721914

内 容 提 要

本书为中等职业学校电厂热力设备运行专业的一门主干课程。全书共分五个单元,内容包括汽轮机的工作原理,汽轮机设备结构,汽轮机的变工况,汽轮机的调节系统,汽轮机的保护装置和供油系统。为便于读者学习和掌握,每一课题之后都附有小结、复习思考题。

本书适用于中等职业技术学校汽轮机专业的学生,及相关专业的技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机设备/赵素芬主编. -北京:中国电力出版社,
2001

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5083-0764-X

I. 汽… II. 赵… III. 蒸汽透平-专业学校-教材
IV. TK26

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第066335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>)

冶林联合印刷厂印刷

*

2002年1月第一版 2004年4月北京第三次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 10.25印张 228千字
印数7001—11000册 定价12.30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)

电力中等职业教育国家规划教材

编委会

主任 张成杰

副主任 杨昌元 宗健 朱良镠

秘书长 尚锦山 马家斌

委员 丁雁 王玉清 王宝贵 李志丽 杨卫民

杨元峰 何定焕 宋文复 林东 欧晓东

胡亚东 柏吉宽 侯林军 袁建文 涂建华

梁宏蕴

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001]1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

汽轮机设备是中等职业学校电厂热力设备运行专业的一门主干课程，是按照国家教育部职业教育与成人教育司关于国家规划教材的统一要求，并依据中等职业学校汽轮机设备教学大纲编写的。

本书依据教学大纲的要求，确定教材的深度和广度，并结合当前电力工业的发展情况，精选教材内容。全书共分五个单元，分别介绍了汽轮机的工作原理、汽轮机设备结构、汽轮机的变工况、汽轮机的调节系统、汽轮机的保护装置和供油系统。

本书由石家庄电力工业学校赵素芬主编，并编写绪论和第一、第三单元；武汉电校杨巧云编写第二单元；长春电校高鉴枰编写第四、第五单元。本书由兰州电校宋文复主审。

在编写过程中，得到兰州电力学校、武汉电力学校、长春电力学校、石家庄电力学校的大力支持和帮助，谨表谢意。

对本书存在的缺点和不足之处，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2001年7月

目 录

中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

绪论	1
小结	8
复习思考题	8
单元一 汽轮机的工作原理	9
课题一 蒸汽在喷嘴中的流动	11
课题二 蒸汽在动叶中的流动	15
课题三 级内损失和级效率	20
课题四 级的速度比与级效率之间的关系	26
课题五 多级汽轮机	30
课题六 汽轮发电机组的效率和经济指标	36
小结	38
复习思考题	39
习题	39
单元二 汽轮机设备结构	41
课题一 动叶片	41
课题二 叶片的振动	44
课题三 转子	50
课题四 联轴器和盘车装置	54
课题五 汽缸	58
课题六 喷嘴组、隔板及汽封	67
课题七 轴承	74
小结	82
复习思考题	83
单元三 汽轮机的变工况	85
课题一 喷嘴的变工况	85
课题二 级与级组的变工况	88
课题三 调节方式及其对变工况的影响	94
课题四 蒸汽参数变化对汽轮机工作的影响	99

小结	101
复习思考题	102
习题	102
单元四 汽轮机的调节系统	104
课题一 汽轮机调节的基本概念	104
课题二 调节系统的组成机构	108
课题三 调节系统静态特性	118
课题四 调节系统动态特性	120
课题五 中间再热汽轮机的调节特点	125
小结	132
复习思考题	132
单元五 汽轮机的保护装置和供油系统	134
课题一 自动主汽阀	134
课题二 汽轮机的保护装置	136
课题三 汽轮机的供油系统	145
小结	155
复习思考题	155

绪 论

教学目的

了解汽轮机的用途、基本工作原理，能识读汽轮机的型号，掌握不同类型汽轮机的工作特点。

一、汽轮机的用途

汽轮机是以水蒸气为工质，将蒸汽热能转换成转子旋转的机械能的动力机械，它具有单机功率大、效率高、转速高、运转平稳、单位功率制造成本低和使用寿命长等优点，在现代工业中得到广泛的应用。

汽轮机的主要用途是在热力发电厂中作原动机。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，都采用以汽轮机为原动机的汽轮发电机组，其发电量约占总发电量的80%左右。另外，汽轮机的排汽或中间抽汽还可以用来满足生产和生活的供热需要，这种既供热、又供电的汽轮机称为热电合供汽轮机，这种汽轮机在热能的综合利用方面具有较高的经济性。由于汽轮机能够变速运行，故还可以用它直接驱动各种泵、风机、压缩机和船舶螺旋桨等。在生产过程中有余能、余热的各种工厂企业中，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。

生产电能的工厂称为发电厂（如火力发电厂、水电厂、核电站等）。火力发电厂简称火电厂，它是利用化石燃料（煤、石油、天然气）中蕴藏的化学能，在锅炉内通过燃烧转换为蒸汽的热能，然后在汽轮机内将蒸汽的热能转换成机械能带动发电机发电的工厂。在世界范围内，火电厂中，燃煤电厂所占比例最大，如英国和德国高达70%，美国和前苏联几乎占50%，我国超过70%。

二、汽轮机发展史概述

（一）汽轮机的发展特点

自1883年瑞典工程师拉瓦尔首先发明、制造了世界上第一台单级冲动式汽轮机，1884年英国工程师帕森斯发明了第一台多级反动式汽轮机以来，汽轮机已有一百余年的历史。近几十年汽轮机的发展尤为迅速，其发展的主要特点是：

（1）单机功率增大。世界工业发达国家的汽轮机生产在60年代已达到500~600MW机组等级水平。1972年瑞士BBC公司制造的1300MW双轴全速汽轮机（24MPa/538℃/538℃、 $n=3600\text{r/min}$ ）在美国投入运行，1976年西德KWU公司制造的单轴半速（ $n=1500\text{r/min}$ ）1300MW饱和蒸汽参数汽轮机投入运行，1982年世界最大1200MW单轴全速汽轮机（24MPa/540℃/540℃）在前苏联投入运行。增大单机功率不仅能迅速发展电力生产，而且具有下列优点：

1) 单位功率投资成本低。如前苏联 800MW 机组的单位功率成本比 500MW 机组的低 17%，而 1200MW 机组的单位功率成本又比 800MW 机组的低 15%~20%。

2) 单机功率越大，机组的热经济性越好。如法国的 600MW 机组的热耗率比 125MW 机组的热耗率降低了 276.3kJ/(kW·h)，即每年可节约标准煤 4 万 t。

3) 加快电站建设速度，降低电站建设投资和运行费用。

(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 (16~18MPa) 或超临界压力 (23~26MPa) 的机组，甚至采用超超临界压力 (32MPa) 的机组。蒸汽初温度多采用 535~565℃，即尽量控制在珠光体钢所允许的 565℃ 以下，力求不用或少用奥氏体钢。

(3) 普遍采用一次中间再热。采用中间再热后可降低低压缸末级排汽湿度，减轻末级叶片水蚀程度，为提高蒸汽初压创造了条件，从而提高机组内效率、热效率和运行可靠性。

(4) 采用燃气—蒸汽联合循环，以提高电厂效率。

(5) 机组的运行水平提高。为了提高机组的运行、维护和检修水平，现代大机组增设和改善了保护、报警和状态监测系统，有的还配置了智能化故障诊断系统。

(6) 发展核电站用的汽轮机。发展核电，是解决能源不足问题的主要途径。

(二) 我国汽轮机的发展

新中国建立时，我国没有汽轮机制造业。建国后相继建成了上海、哈尔滨和东方三大汽轮机厂，它们主要生产大功率的电站汽轮机，并于 1955 年由上海汽轮机厂制造了国产第一台中压 6000kW 冲动式汽轮机。此后，我国汽轮机制造工业得到迅速发展，已经陆续生产中压 12MW、25MW，高压 50MW、100MW，超高压中间再热 125MW、200MW，以及亚临界参数 300MW、600MW 的汽轮机。此外还建立了北京重型电机厂、武汉汽轮机厂和青岛汽轮机厂，以及生产工业汽轮机和燃气轮机为主的杭州汽轮机厂和南京汽轮发电机厂。从而使我国的汽轮机制造业形成了独具特色的一套完整的生产体系。

三、汽轮机的基本工作原理

汽轮机的基本工作原理可分为冲动作用原理或反动作用原理。分别介绍如下。

(一) 冲动作用原理

由力学可知，当运动物体碰到另一个静止的或速度较低的物体时，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。如图 0-1 (a) 所示，蒸汽在喷嘴 4 中产生膨胀，压力降低，速度增加，蒸汽的热能转换为蒸汽的动能。高速汽流冲击叶片 3，由于汽流方向的改变，蒸汽对叶片产生一个冲动力。该冲动力对叶片做功，使叶轮 2 旋转，从而将蒸汽的动能转换成轴旋转的机械能。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，说明高速汽流流经动叶栅时，对叶片产生冲动力的原理。如图 0-1 (b) 所示，假设汽流的流动为理想流动，从喷嘴流出的高速汽流以速度 c_1 进入动叶片，做匀速圆周运动，最后以速度 c_2 (c_2 与 c_1 大小相等，方向相反) 流出流道。因为汽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，

这个弹力就是汽流微团作圆周运动的向心力。与此同时，根据牛顿第三定律，叶片内弧表面受到汽流微团的压力作用，此压力在效果上属离心力。图 0-1 (b) 中 F_a, F_b, \dots, F_f 分别表示汽流微团作用在 a, b, \dots, f 各点的压力，这些压力 F_i 都可以分解为沿圆周方向的周向力 F_{iu} 和沿转轴方向的轴向力 F_{iz} 。将作用于叶片上的全部周向力相加，其合力为 $F_u = F_{au} + F_{bu} + \dots + F_{fu} > 0$ 。而轴向力由图上左右对称点可见，两两大小相等、方向相反，故其轴向合力为零，即 $F_z = F_{az} + F_{bz} + \dots + F_{fz} = 0$ 。周向力 F_u 即为冲动力，如果叶片旋转的速度为 u ，则在单位时间内汽流周向力所做的功为 $P = F_u u$ 。这就是冲动作用原理。

冲动作用原理的特点是，蒸汽在动叶中流动时，只是速度方向发生改变，不发生膨胀，因此只有冲动力对动叶做功，其所做的功等于热能转换为汽轮机转子机械能的数量。

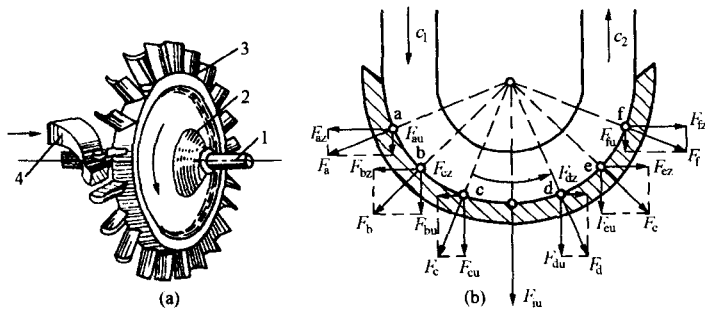


图 0-1 单级冲动式汽轮机

(a) 结构简图；(b) 冲动作用原理

1—轴；2—叶轮；3—叶片；4—喷嘴

(二) 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 0-2）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，这个反动作用力称为反动力。利用反动力做功的原理，称为反动作用原理。

在反动式汽轮机中，蒸汽在喷嘴中产生膨胀，压力由 p_0 降至 p_1 ，速度由 c_0 增至 c_1 。汽流流进动叶后，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道内继续膨胀，压力由 p_1 降到 p_2 ，汽流加速产生一个反动力 F_r ，见图 0-3。动叶则在蒸汽的这两种力的合力作用下运动。

反动作用原理的特点是，蒸汽的冲动力和反动力同时对动叶片做功，其所做的功等于热能转换为汽轮机转子的机械能的数量。显然，反动式汽轮机是同时利用冲动和反动作用原理工作的。

(三) 冲动式汽轮机和反动式汽轮机本体结构特点

1. 单级冲动式汽轮机结构

在汽轮机中，一系列静叶栅（喷嘴）和其后的动叶栅（动叶片），组成将



图 0-2 火箭工作原理示意图

蒸汽热能转换成机械能的基本工作单元，称为汽轮机的级。只有一个级的汽轮机，称为单级汽轮机；有若干个级的汽轮机，称为多级汽轮机。图 0-4 为单级冲动式汽轮机示意图，它由汽缸、喷嘴、动叶片、叶轮和轴等部件组成。蒸汽流过喷嘴时，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；在动叶片中，蒸汽按冲动原理给动叶片以冲动力，蒸汽速度由 c_1 降至 c_2 ，叶轮旋转而输出机械功，将大部分蒸汽动能转换为叶轮的机械能。

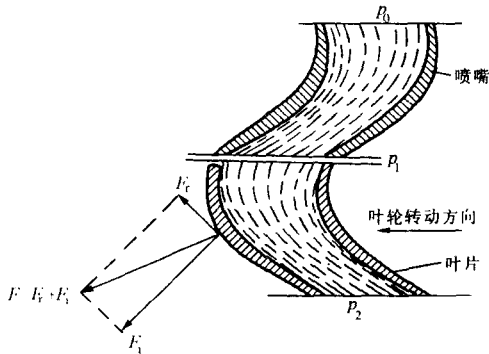


图 0-3 蒸汽对反动式汽轮机叶片的作用力

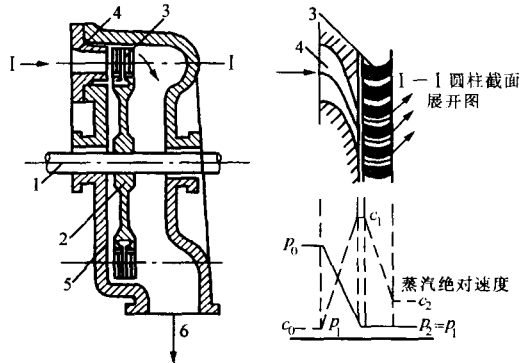


图 0-4 单级冲动式汽轮机示意图

1—轴；2—叶轮；3—动叶片；
4—喷嘴；5—汽缸；6—排汽口

2. 多级汽轮机结构

无论什么型式的汽轮机，其基本结构都可分为转动部分（转子）和静止部分（静子）。转动部分主要包括主轴、叶轮、动叶片和联轴器等，静止部分主要包括进汽部分、汽缸、隔板和静叶栅、汽封及轴承等。

除静止和转动部分外，汽轮机本体上还设置了各种工作系统，其中包括汽水系统、汽封系统、滑销系统、调节系统、供油系统和保护装置等，这些系统共同保证汽轮机正常工作。

现就多级冲动式和多级反动式汽轮机的具体结构和工作特点概述如下。

(1) 多级冲动式汽轮机。图 0-5 所示为一台多级冲动式汽轮机结构示意图，它由 4 级组成，第一级称为调节级，其余三级称为压力级。汽轮机负荷发生变化时，通常利用依次开启的调节阀，使第一级喷嘴的流通面积变化来改变蒸汽流量，因此第一级通常称为调节级。第一级的喷嘴分组装在喷嘴室里，每个调节阀分别控制一组喷嘴。压力级的喷嘴装在隔板上，隔板分为上下两半，分别装在上汽缸及下汽缸上。蒸汽在每一级中膨胀，推动转子旋转做功，蒸汽如此逐级膨胀做功。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 0-5 还给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。

由于流经各级的蒸汽压力逐渐降低，比体积逐渐增大，则蒸汽的体积流量逐渐增大。为了使蒸汽顺利通过，通流面积应逐渐增大，最后，做过功的蒸汽排入凝汽器中。

此外,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。

多级冲动式汽轮机总体结构的特点是汽缸内装有隔板和轮式转子。

(2) 多级反动式汽轮机。图 0-6 所示为一台具有 4 级的反动式汽轮机。由于反动式汽轮机与冲动式汽轮机工作原理的不同,使得反动式汽轮机与冲动式汽轮机结构也有所不同,其总体结构特点是,汽缸内无隔板或装有无隔板体隔板,并采用了鼓式转子,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4,用蒸汽连接管7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。

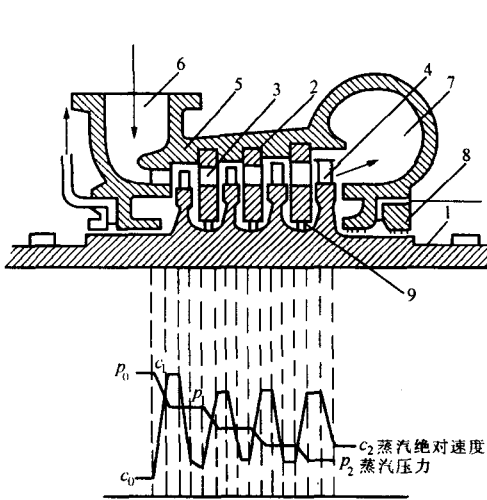


图 0-5 冲动式多级汽轮机通流部分示意图
1—转子; 2—隔板; 3—喷嘴; 4—动叶片; 5—汽缸;
6—蒸汽室; 7—排汽管; 8—轴封; 9—隔板汽封

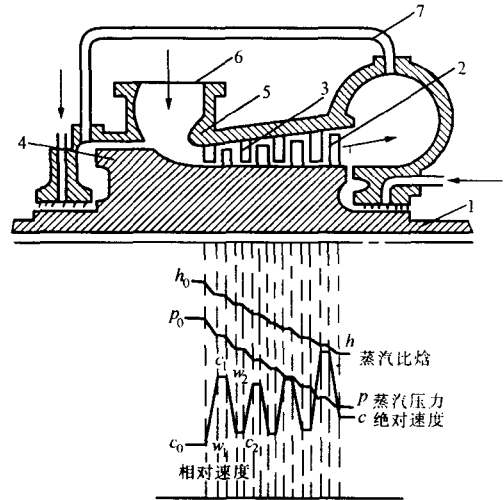


图 0-6 反动式多级汽轮机通流部分示意图
1—鼓式转子; 2—动叶片; 3—静叶片; 4—平衡活塞;
5—汽缸; 6—蒸汽室; 7—连接管

图 0-7 所示国产引进型 N300-16.67/537/537 汽轮机, 是较为典型的多级反动式汽轮机。

四、汽轮机的分类和型号

(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、蒸汽参数、汽流方向及用途等对汽轮机进行分类, 见表 0-1。

表 0-1 汽轮机的分类

分 类	型 式	特 点
按工作原理	冲动式汽轮机	按冲动作用原理工作的汽轮机, 蒸汽的膨胀主要发生在喷嘴中
	反动式汽轮机	按反动作用原理工作的汽轮机, 蒸汽在喷嘴中和动叶中的膨胀程度接近相等
	冲反联合式	有些级按冲动作用原理工作, 有些级按反动作用原理工作

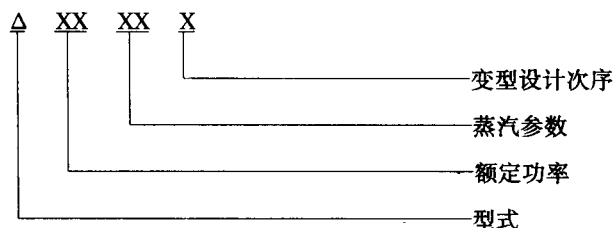
续表

分 类	型 式	特 点
按热力过程特性	凝汽式汽轮机	进入汽轮机做功的蒸汽,除少量的回热抽汽外,其余的蒸汽在低于大气压力下的真空状态下排入凝汽器
	调节抽汽式汽轮机	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 0.5~1.5MPa,用于生活采暖的抽汽压力为 0.05~0.25MPa
	背压式汽轮机	在汽轮机中做过功的蒸汽以高于大气压力排出,供给热用户使用,这种汽轮机称为背压式汽轮机。排汽作为其他中、低压汽轮机工作介质的背压式汽轮机,称为前置式汽轮机
	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
按进汽参数	低压汽轮机	新蒸汽压力小于 1.5MPa
	中压汽轮机	新蒸汽压力 2~4 MPa
	高压汽轮机	新蒸汽压力 6~10MPa
	超高压汽轮机	新蒸汽压力 12~14MPa
	亚临界参数汽轮机	新蒸汽压力 16~18MPa
	超临界参数汽轮机	新蒸汽压力超过 22.1MPa
按蒸汽流动方向	轴流式汽轮机	蒸汽主要是沿着轴向流动的汽轮机
	辐流式汽轮机	蒸汽主要是沿着辐向(即半径方向)流动的汽轮机
	周流式汽轮机	蒸汽主要是沿着周向流动的汽轮机
按用途	电站汽轮机	热力发电厂中用于发电的汽轮机
	工业汽轮机	用于工业企业中的固定式汽轮机
	船用汽轮机	用于船舶驱动螺旋桨的汽轮机

(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,这种符号组称为汽轮机的型号。

1. 国产汽轮机型号组成:



功率单位为 MW, 压力单位为 MPa, 温度单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 汽轮机型式的汉语拼音代号

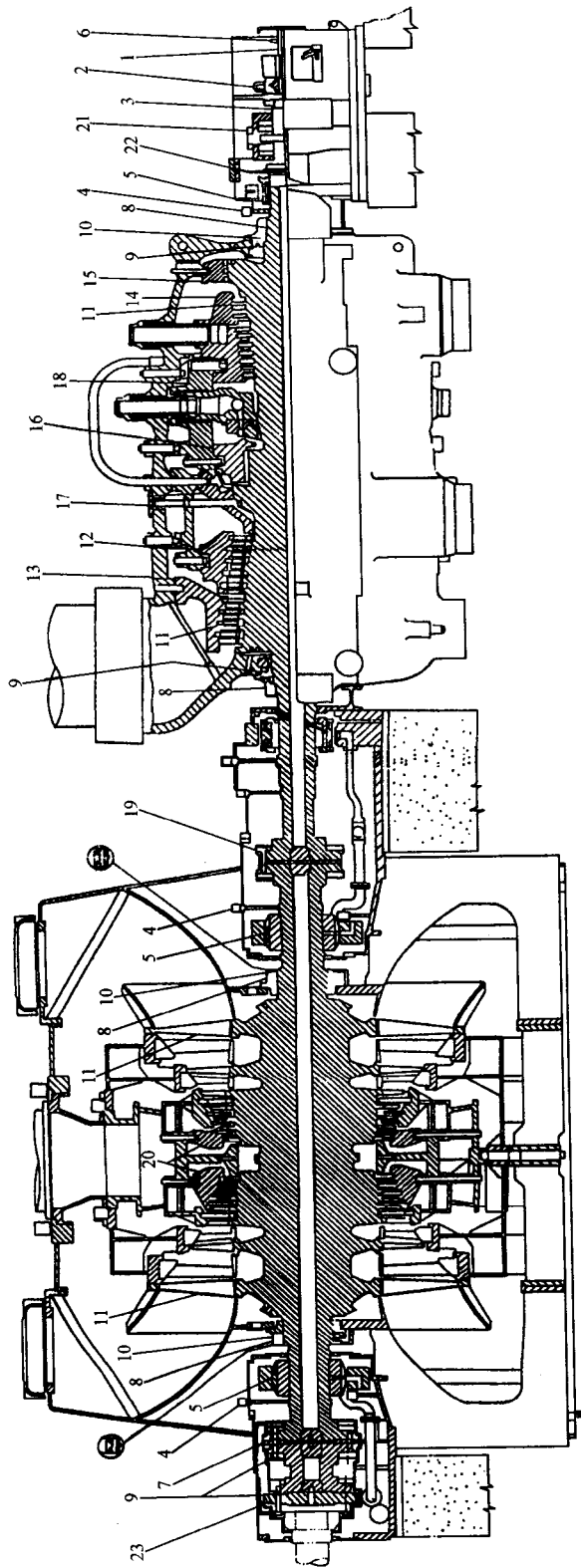


图 0-7 N300—16.7/537/537 型汽轮机纵剖面图

- 1—超速脱扣装置; 2—主油泵; 3—转速传感器和零转速检测器; 4—振动检测器; 5—胀差检测器; 6—偏心检测器; 7—胀差检测器; 8—外汽封; 9—内汽封; 10—汽封; 11—叶片; 12—中压 1 号持环; 13—中压 2 号持环; 14—高压 1 号持环; 15—高压排汽平衡活塞汽封; 16—高压平衡活塞汽封; 17—中压平衡活塞汽封; 18—高压内缸; 19—联轴器; 20—低压持环; 21—推力轴承; 22—轴向位置和推力轴承脱扣检测器; 23—测速装置(危急遮断系统)

汽轮机型式的汉语拼音代号见表 0-2。

表 0-2

代号	N	B	C	CC	CB	H	Y
型式	凝汽式	背压式	一次调整抽汽式	二次调整抽汽式	抽汽背压式	船用	移动式

3. 汽轮机型号中蒸汽参数表示法

汽轮机型号中蒸汽参数表示见表 0-3。

表 0-3

型 式	参 数 表 示 法	示 例
凝汽式	主蒸汽压力/主蒸汽温度	N100-8.83/535
中间再热式	主蒸汽压力/主蒸汽温度/再热蒸汽温度	N300-16.7/538/538
一次调整抽汽式	主蒸汽压力/抽汽压力	C50-8.83/0.118
两次调整抽汽式	主蒸汽压力/高压抽汽压力/低压抽汽压力	CC25-8.83/0.98/0.118
背压式	主蒸汽压力/背压	B50-8.83/0.98
抽汽背压式	主蒸汽压力/抽汽压力/背压	CB25-8.83/1.47/0.49



小 结

1. 汽轮机是以蒸汽为工质，将蒸汽热能转换成机械能的动力机械；汽轮机应用广泛，在发电厂中作为拖动发电机的原动机。

2. 组成汽轮机的基本做功单元是汽轮机的级，每一级均由一系列喷嘴和一系列动叶组成。根据汽轮机级数的不同可分为单级汽轮机和多级汽轮机。

3. 汽轮机的基本工作原理是冲动作用原理和反动作用原理；由于工作原理不同，造成了冲动式汽轮机和反动式汽轮机结构的不同。

4. 按照不同的分类方法将汽轮机分成了不同类型，不同类型的汽轮机具有不同的特点。

复习思考题

1. 大功率汽轮机的主要优点是什么？
2. 解释冲动作用原理、反动作用原理。
4. 按热力过程特性可将汽轮机分为哪几类？
5. 什么叫汽轮机的级？
6. 多级冲动式汽轮机和多级反动式汽轮机在结构上有哪些区别？
7. 说明下列汽轮机型号的含义：CC12-3.43/0.98/0.118，B25-8.83/0.98，N300-16.7/538/538。

汽轮机的工作原理

内容提要

本单元主要介绍蒸汽在级中的能量转换过程，多级汽轮机的工作特点。

组成汽轮机的基本做功单元是级，因此分析汽轮机的工作原理总是从级的工作原理入手。

喷嘴和动叶的流道是由弯曲的壁面构成的。由于蒸汽在这些流道中的实际流动情况比较复杂，为了便于分析，对蒸汽在喷嘴和动叶中的流动做如下假设：

- (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发生变化，而在垂直于流动方向的截面上各点参数相同；
- (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很短，来不及与壁面发生热交换。

按照上述假定，即可将蒸汽在喷嘴和动叶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换过程和变工况特性时，对于大多数级，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，在分析和计算时各个参数均用级平均直径处的数值表示。

由汽轮机的基本工作原理可知，蒸汽流经级做功时，有的级中蒸汽仅在喷嘴中膨胀，有的级中蒸汽不仅在喷嘴中膨胀，而且在动叶中也膨胀。在实际应用中，常根据蒸汽在动叶中是否发生膨胀及膨胀程度的大小来区分级类型。图 1-1 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比焓降为 Δh_{1t} ，在动叶中的理想比焓降为 $\Delta h'_{2t}$ ，则级的理想比焓降 Δh_t 为

$$\Delta h_t = \Delta h_{1t} + \Delta h'_{2t}$$

当假想汽流被等熵地滞止到初速等于零的状态时，蒸汽在级内等熵膨胀所具有的比焓降，称为级的滞止理想比焓降，用 Δh_t^* 表示。

蒸汽在动叶中的理想比焓降与级的理想滞止比焓降之比称为级的反动度，以 ρ 表示，即

$$\rho = \frac{\Delta h'_{2t}}{\Delta h_t^*} \quad (1-1)$$

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

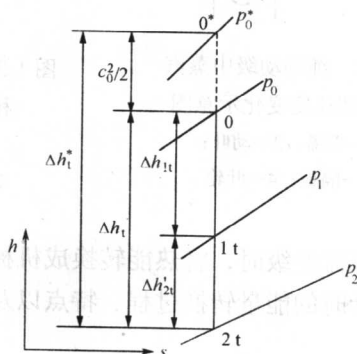


图 1-1 级的理想热力过程