



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU

电站汽轮机设备及运行

DIANZHAN QILUNJI SHEBEI JI YUNXING

饶金华 李庆 主编 ●

魏惠芳 谢利玲 李如秀 副主编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）
职业教育电力技术类专业教学用书

电站汽轮机设备及运行

DIANZHAN QILUNJI SHEBEI JI YUNXING

主 编 饶金华 李 庆
副主编 魏惠芳 谢利玲 李如秀
编 写 黄志明 陶德安 韦慧媛
主 审 程凌金



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本教材为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。

本教材全面系统地阐述了电站汽轮机的工作原理、结构、调节保护系统、主要辅助系统与设备以及运行等知识。内容包括概述、汽轮机级的工作原理、汽轮机的变工况、汽轮机的本体结构、汽轮机调节及保护系统、汽轮机辅助设备及运行、汽轮机的启停、汽轮机的正常运行与维护、汽轮机事故及处理等。

本书理论与实际相结合，强调体现高职高专特色，可作为高职高专院校电厂热能动力装置、火电厂集控运行专业学生的专业教材，也可供其他相关专业学生及专业工程技术人员参考使用，还可作为职业资格及岗位技能培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

电站汽轮机设备及运行/饶金华，李庆主编. —北京：中国电力出版社，2012.5

普通高等教育“十二五”规划教材·高职高专教育

ISBN 978-7-5123-3041-2

I. ①电… II. ①饶…②李… III. ①热电厂—汽轮机运行—高等职业教育—教材 IV. ①TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 096948 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 460 千字

定价 35.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编 委 会

主任委员 章国顺 付小平

副主任委员 杜中庆

编写顾问 胡念苏

委 员 (以姓氏笔画为序)

王赛闽 石 平 孙大耿 付爱彬 冯家强

江文贱 余素珍 李 庆 李如秀 杨 虹

杨小君 汪卫东 沈 龢 陈家瑁 苗 军

柯选玉 胡青春 赵玉莲 饶金华 徐艳萍

徐智华 崔艳华 黄建荣 程延武 谢亚清

谢利玲 蔡铎如 樊友平 魏惠芳

前 言

本书是根据高职高专电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业课程标准的要求,为电厂热能动力设备装置、火电厂集控运行专业编写的。

本书共分九章,主要包括概述、汽轮机级的工作原理、汽轮机的变工况、汽轮机的本体结构、汽轮机调节及保护系统、汽轮机辅助设备及运行、汽轮机的启停、汽轮机的正常运行与维护及汽轮机事故及处理。

本书由江西电力职业技术学院饶金华、李庆担任主编,山西电力职业技术学院魏惠芳、江西电力职业技术学院谢利玲、李如秀担任副主编,江西电力职业技术学院韦慧媛、陶德安、黄志明老师参与编写。

本书由江西景德镇发电有限责任公司总工程师程凌金担任主审。审稿专家在审稿过程中提出了许多宝贵的意见和建议,使编者受益匪浅。同时,本书在编写过程中,参考了有关兄弟院校、电力企业的诸多文献和资料,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年6月

目 录

前言	
第一章 概述	1
第一节 汽轮机设备简介及应用	1
第二节 汽轮机的发展	3
第三节 汽轮机的分类和型号	7
复习思考题	11
第二章 汽轮机级的工作原理	12
第一节 蒸汽的冲动作用原理和反动作用原理	12
第二节 级的反动度与分类	15
第三节 蒸汽在级内的流动	18
第四节 级的轮周效率和最佳速比	31
第五节 扭叶片级的基本概念	37
第六节 级内各项损失和级效率	40
复习思考题	56
第三章 汽轮机的变工况	58
第一节 喷管变工况	58
第二节 级与级组的变工况	62
第三节 汽轮机的调节方式及调节级变工况	69
第四节 凝汽式汽轮机工况图	77
第五节 蒸汽参数变化对汽轮机运行的影响	78
复习思考题	80
第四章 汽轮机的本体结构	81
第一节 汽缸及滑销系统	81
第二节 隔板、隔板套和静叶环、静叶持环	92
第三节 转子	95
第四节 叶片	102
第五节 汽封及轴封系统	111
第六节 轴承	117
第七节 盘车装置	126
复习思考题	129
第五章 汽轮机调节及保护系统	131
第一节 汽轮机调节系统的原理及形式	131

第二节	液压调节系统·····	135
第三节	功频电液调节系统·····	157
第四节	数字电液调节系统·····	160
第五节	电液调节系统的主要装置·····	173
第六节	汽轮机的保护系统及装置·····	184
第七节	汽轮机的供油系统·····	195
	复习思考题·····	210
第六章	汽轮机辅助设备及运行·····	212
第一节	凝汽设备概述·····	212
第二节	凝汽器结构及热力特性·····	213
第三节	抽气设备·····	220
第四节	凝汽设备运行与维护·····	222
第五节	汽轮机其他辅助系统设备与运行·····	226
	复习思考题·····	234
第七章	汽轮机的启停·····	236
第一节	汽轮机启停概述·····	236
第二节	汽轮机主要零部件的热应力、热膨胀和热变形·····	238
第三节	汽轮机的启动·····	244
第四节	汽轮机的停运·····	253
	复习思考题·····	257
第八章	汽轮机的正常运行与维护·····	258
第一节	汽轮机正常运行中的监视·····	258
第二节	汽轮机定期切换与试验·····	263
第三节	巡回检查与运行分析·····	266
第四节	汽轮机寿命管理·····	268
	复习思考题·····	270
第九章	汽轮机事故及处理·····	271
第一节	汽轮机事故处理概述·····	271
第二节	汽轮机典型事故及处理·····	275
第三节	汽轮机主要辅助系统故障及处理·····	286
	复习思考题·····	292
参考文献	·····	293

第一章 概 述

汽轮机(也称蒸汽透平)是一种以水蒸气为工质,将热能转变为机械能的外燃高速旋转式原动机。与其他类型的原动机(水轮机、汽油发动机、柴油发动机、内燃机、燃气轮机、风轮机等)相比,具有单机功率大、效率高、运转平稳、单位功率制造成本低和使用寿命长等优点。

第一节 汽轮机设备简介及应用

汽轮机设备是火电厂的三大主要设备之一,由汽轮机本体、调节保安油系统、辅助设备及其热力系统组成。汽轮机本体包括汽轮机的转动部分(转子)和固定不动部分(静子)两部分,调节保安油系统主要包括调节汽阀、调速器、调速传动机构、油泵、油箱、安全保护装置等零部件,辅助设备主要有凝汽器、抽气器或真空泵、高低压加热器、除氧器、给水泵、凝结水泵、循环水泵等,热力系统主要指主蒸汽系统、再热蒸汽系统、旁路系统、给水回热系统、给水除氧系统等。

一、汽轮机本体结构简介

汽轮机本体由转子和静子两部分组成,冲动式汽轮机采用轮式转子,反动式汽轮机采用鼓式转子。

图1-1所示为东方汽轮机厂生产的一台300MW冲动式汽轮机纵剖面。该汽轮机的轮式转子主要由主轴、叶轮、动叶片和联轴器组成,其静止部分主要包括汽缸、喷管组、隔板、隔板套、轴承等零部件。喷管组、隔板、隔板套等零部件均安装于汽缸内,转子穿出汽缸两端用轴承支撑。为了保证转子的旋转,汽轮机转子和静子之间需留有适当的间隙,这样一来,蒸汽就会从间隙处泄露,产生损失。为此,在汽轮机内部动静间隙间不希望漏汽的地方均装有汽封:装在转子轴穿出汽缸两端的为轴封,装于隔板内圆孔处的为隔板汽封,装于汽缸动叶片顶部相应位置的为叶顶汽封。

该汽轮机采用高中压合缸的双缸形式,锅炉出口的新蒸汽经主蒸汽管从高中压缸的中间进入高压缸后,逐级流动膨胀做功,高压缸的末级排汽经再热蒸汽冷段管道送回锅炉再热。锅炉再热器出口的再热蒸汽经再热蒸汽热段管道从高中压缸的中间进入中压缸逐级膨胀做功。高、中压缸内的蒸汽反向流动可以抵消转子上承受的大部分轴向推力。中压缸末级排出的蒸汽经导汽管送入低压缸的中部,然后分向两侧流动做功后,末级排汽作为汽轮机的乏汽送往凝汽器。低压缸左右两侧完全对称,所以转子上承受的轴向推力为零。

反动式汽轮机与冲动式汽轮机的区别为:动叶片直接嵌装在鼓形转子的外缘上(这种布置方式可以大大地减小转子上的轴向推力),喷管则装在汽缸内部圆周的表面上或各级静叶环上。

冲动、反动式汽轮机在现代火力发电厂中都得到了广泛的应用。

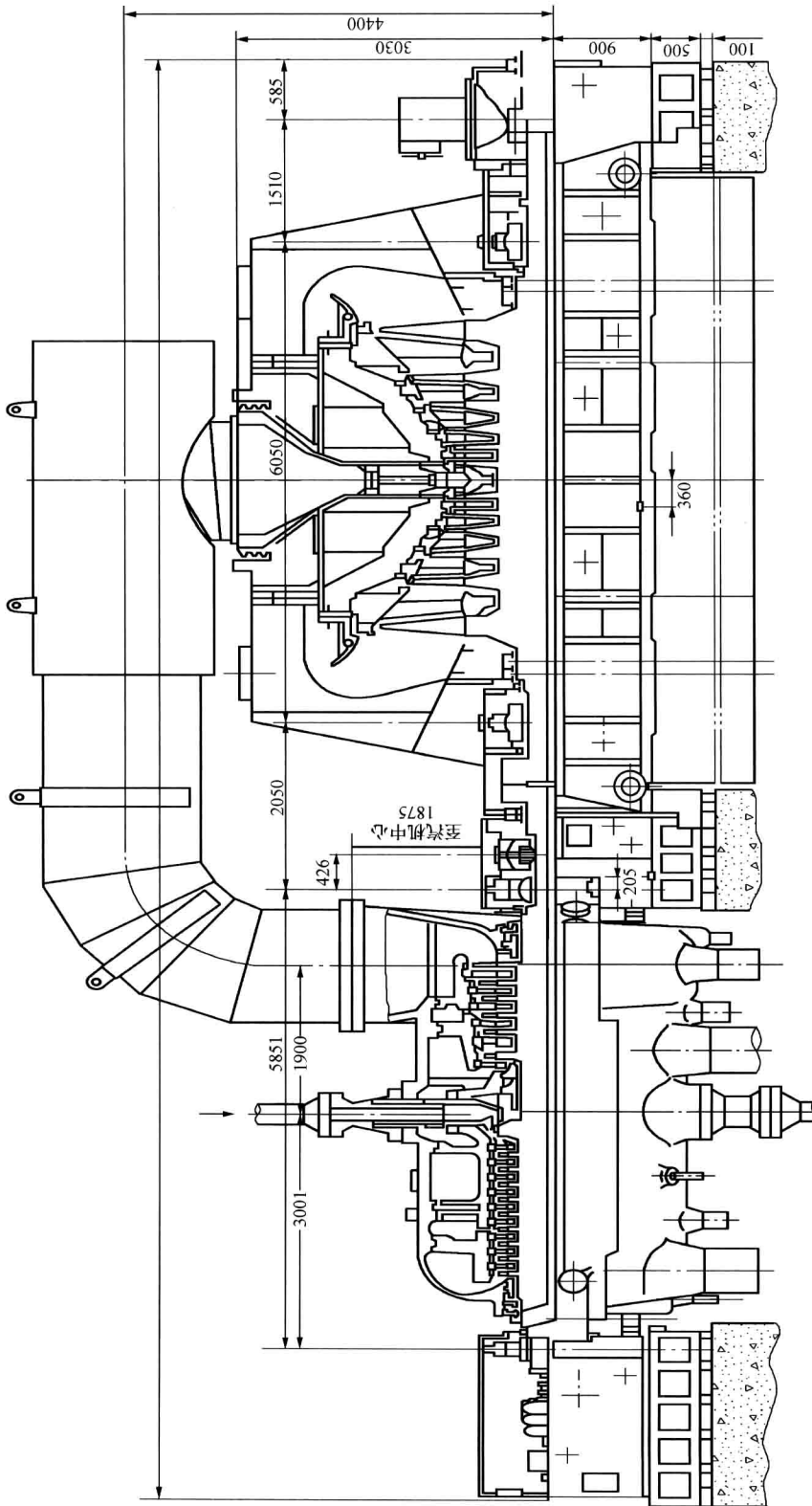


图 1-1 东方汽轮机厂生产的 N300—16.7/537/537 型汽轮机纵剖面图

二、汽轮机调节、保安、油系统简介

1. 调节、保安系统简介

汽轮机调节系统可用来调整汽轮机的功率与转速。汽轮机的保安系统在汽轮机调节系统故障或发生其他事故时,及时动作,迅速减负荷或停机,以避免事故扩大或损坏设备。

目前在汽轮机上采用的多为数字式电液调节系统,简称为 DEH 系统。DEH 系统有四大功能:自动程序控制汽轮机运行功能;自动调节汽轮机负荷功能;自动保护汽轮机设备安全功能;机组运行状况的监视功能。DEH 系统主要由电子调节装置和阀位控制装置两大部分组成。

2. 油系统简介

汽轮机的油系统要在任何情况下,都能保质保量地向调节保安系统提供压力用油、向轴承等设备提供润滑油、向氢冷发电机等设备提供密封用油。

对于大功率汽轮机,润滑和密封常用普通的汽机油,而调节保安系统则用燃点高的抗燃油,也称 EH 油。这种供油方式被称为双油路供油系统。

油系统主要有油泵、油箱、冷油器、蓄能器等设备。

三、汽轮机主要辅助设备简介

汽轮机的辅助设备主要包括将汽轮机排汽凝结为水的凝汽器,利用抽汽加热给水或凝结水的高低压加热器,除去水中不凝结气体的除氧器,输送液体用的各种水泵、油泵,以及将凝汽器中不凝结气体抽出的抽气器或真空泵。

这些辅助设备运行状况的好坏将直接影响机组运行的经济性,有些还会影响机组运行的安全性。

四、汽轮机的应用

汽轮机的主要用途是在常规火电厂和核电站中驱动发电机来产生电能。电厂中的汽轮机与发电组合被称为汽轮发电机组,其发电量约占全国发电总量的 80%。变速运行的汽轮机还可以直接驱动各种泵、风机、压气机和船舶螺旋桨等设备。另外,热电合供式汽轮机的抽汽或排汽还可以提供生产和生活用热,对节约能源和环境保护都有很重要的意义。

显然,汽轮机是现代化国家的重要动力机械设备。

第二节 汽轮机的发展

一、汽轮机的发展历程

1883 年瑞典工程师拉伐尔 (Laval) 创造出了世界上的第一台轴流式汽轮机,这台汽轮机为冲动式,只有一个单列级,功率为 3.73kW,转速为 2600r/min。这台汽轮机采用了缩放喷管、等强度叶轮、挠性转子,解决了较为复杂的汽轮机技术问题。

1884~1894 年,英国工程师帕森斯 (Parsons) 相继创造出了轴流多级反动式、辐流式和背压式汽轮机。

1900 年前后,美国工程师寇蒂斯 (Curtis) 创造出了只有一个双列级单复速级汽轮机。与此同时,法国工程师拉托 (Rateau) 和瑞士工程师崔利 (Zolley) 分别在拉伐尔的基础上,制造出了多级冲动式汽轮机。

在这十几年的时间里,已形成了汽轮机的两种基本类型——多级冲动式和多级反动式,

一直延续至今。

1903~1907年,出现了同时生产电能和热能的背压式和调节抽汽式汽轮机,可满足其他工业部门对热量的需求。

1920年左右,出现了利用抽汽加热锅炉给水的回热式汽轮机。这种汽轮机的采用在提高蒸汽动力装置循环效率的基础上,使汽轮机本身的相对内效率也得到了提高,而且还创造了提高单机功率的条件。此后回热式汽轮机就取代了原来的纯凝汽式汽轮机,一直使用到现在。

1925年,出现了第一台中间再热式汽轮机。再热的采用降低了汽轮机末级的排汽湿度,同时能提高汽轮机的相对内效率和循环效率。

其间,1921年,瑞典的容斯特罗姆兄弟创造出了具有两个反向转子的辐流式汽轮机,但由于其功率不能增大,限制了这种辐流式汽轮机的发展。直到1930年,德国的西门子公司将辐流式高压级与一种普通的轴流式低压级结合起来,才制造成了一种能应用较高参数的汽轮机。

至此,今天所能见到的电站汽轮机的主要类型已经基本齐备。

二、汽轮机的发展主要特点

自1883年首台汽轮机诞生至今的一百多年时间里,汽轮机的发展速度很快,尤其是近几十年更加迅猛,其发展特点可概括为以下几个方面:

1. 增大单机功率

发达国家在20世纪60年代已达到生产500~600MW汽轮机的水平,1972年瑞士BBC公司制造的1300MW双轴全速($n=3600\text{r}/\text{min}$)汽轮机在美国投入运行;1976年西德KWU公司制造的单轴半速($n=1500\text{r}/\text{min}$)1300MW饱和蒸汽参数汽轮机在德国投运;1982年列宁格勒金属工厂制造的1200MW的单轴全速汽轮机在前苏联投运,1992年法国的阿尔斯通(GEC-AL STOM)公司制造的1531MW汽轮机在法国Chooz核电站投运。

我国三大汽轮机制造厂现已具备生产超临界参数600MW汽轮发电机组的能力,目前正在研制1000MW汽轮发电机组。

单机功率的增大,不仅能满足迅速发展电力生产的要求,而且具有以下优点:

(1) 单位功率的投资成本低。如前苏联800MW机组单位功率的投资成本比500MW机组的低17%,而1200MW机组的又比800MW的低15%~20%。

(2) 提高了机组的热经济性。如法国的600MW机组的热耗率比125MW机组的低了276.3kJ/(kW·h),这样一来,同样发电量时,每年可节约标准煤4万t。

(3) 可加快电站的建设速度,降低电站建设投资和运行费用。列宁格勒金属工厂认为,1200MW机组与800MW机组相比,电站投资可降低4%,发电成本可降低2.5%。

2. 提高新蒸汽参数

单机功率增大适宜采用较高的蒸汽参数。

我国大型火电厂的现役机组主要有300、600、1000MW三大类。300MW机组为亚临界参数:压力16~18MPa,温度535~550℃;600MW机组为超临界参数:压力约为24MPa,温度约为560℃;1000MW机组为超超临界参数:压力一般为30~34MPa,温度一般为590~650℃。

一般而言,超临界参数机组的热效率可比同量级亚临界参数机组提高2%~2.5%。

3. 采用燃气—蒸汽联合循环，以提高电厂效率

20 世纪 80 年代以后，燃气—蒸汽联合循环电站快速发展，国外尤其迅速。其主要原因是燃气—蒸汽联合循环具有热效率高、容量大、用水少、系统简单、自动化水平高、成本低、污染小、调峰能力强等诸多优点。

4. 提高机组的运行水平

为了解决单机功率大、系统复杂带来的安全可靠下降问题，现代大型机组引入了计算机控制技术，使得机组的自动化水平逐渐提高。大容量机组还增设和改善了保护、报警和状态监测系统，有的还配置了智能化故障诊断系统，提高了机组的运行维护和检修水平，从而增强了机组的运行可靠性，保证了设备的使用寿命。

三、世界汽轮机制造企业简介

目前世界上多级轴流冲动式汽轮机的主要制造企业有美国的通用电气公司（GE）、英国的通用电气公司（GEC）、日本的东芝公司和日立公司、意大利的安莎多公司以及前苏联的列宁格勒金属工厂、哈尔科夫透平发动机厂和乌拉尔透平发动机厂等。制造反动式汽轮机的企业主要有美国西屋公司（WH）、欧洲 ABB 公司、日本三菱公司、英国帕森斯公司、法国电气机械公司（CMR）、联邦德国的电站设备联合制造公司（KWU）等。法国的阿尔斯通—大西洋公司（AA）既生产冲动式又生产反动式汽轮机。

世界汽轮机制造企业在 1998~2001 年间进行过大规模的资产重组，如欧美国家近十家公司合并为 ALSTOM、GE、SIEMENS 三家，2000 年 ABB 公司发电部与 ALSTOM 公司合并，WH 现为德国西门子—西屋公司等。

世界主要汽轮机制造企业及主要产品见表 1-1。

表 1-1 世界主要汽轮机制造企业及主要产品表

国名	公司或制造厂	汽轮机产品	汽轮机生产能力, MW/年
美国	通用电气公司 (GE)	大型火电和核电汽轮机	近 25 000
	西屋电气公司 (WH)	大型火电和核电汽轮机	约 20 000
前苏联	列宁格勒金属工厂	200~1000MW 凝汽式汽轮机 60~120MW 供热机组 1000MW 核电汽轮机	约 10 000
	哈尔科夫汽轮机厂	160~500MW 凝汽器式汽轮机 220~500MW 核电汽轮机	约 6000
日本	日立公司 (HIT)	可生产单机容量 1000MW 的大容量机组	4500
	东芝公司 (TOS)	700~1000MW 汽轮发电机组	5000~6000
	三菱重工业公司 (MHI)	可生产单机容量 1000MW 的大容量机组	4000~5000
瑞士	ABB 公司	可生产单机容量 1300MW 的大容量机组	10 000

四、我国汽轮机的发展

我国自 1955 年制造出第一台中压 6MW 汽轮机以来，汽轮机制造经历了自力更生、改革开放引进技术、国际合作、独立研发的不同发展阶段，先后开发生产出了较为完整的各种参数、各种功率等级的火电、核电、工业汽轮机系列产品。我国汽轮机产品的技术性能、成套能力、整体质量已接近同类产品的国际先进水平，但研发水平与世界同类企业仍有一段距

离。目前我国汽轮机产量已占世界的 1/4，年生产能力基本能满足国民经济和电力工业发展的需要。

我国主要的汽轮机生产制造企业有：以生产火电和核电用汽轮机为主的三大汽轮机制造厂（上海汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂、东方汽轮机厂）、北京重型电机厂、青岛汽轮机厂和武汉汽轮发电机厂等，以生产工业汽轮机为主的杭州汽轮机厂，以生产燃气轮机为主的南京汽轮机厂。其中的上海汽轮机厂已于 1995 年 12 月与美国西屋公司合作组建为合资企业：上海汽轮机有限责任公司（简称 STC）。

1. 自力更生阶段

20 世纪六、七十年代，受我国闭关锁国政策的影响，汽轮机制造业也基本处于自力更生阶段。在此期间，开发生产出 12、25、50、100、125、200、300MW 的汽轮机系列产品。

2. 大功率亚临界参数汽轮机技术的引进阶段

20 世纪 80 年代，随着我国改革开放政策的实施，汽轮机制造业也开始面向世界，采用多种方式引进了国外先进的大功率、高性能汽轮机产品制造技术。

1981 年开始首先引进美国西屋公司的 300MW 和 600MW 机组的整套制造技术，在原机械、电力两部委的组织领导下，上海、东方、哈尔滨三大主机厂对引进技术进行了吸收和转化。上海汽轮机厂首台引进型亚临界参数 300MW 汽轮机于 1987 年在山东石横电厂投运，哈尔滨汽轮机厂首台引进型亚临界参数 600MW 汽轮机于 1989 年 11 月在安徽平圩电厂投运，1987 年东方汽轮机厂生产的首台 300MW 机组在山东黄台电厂投运。1985 年上海汽轮机厂开始与西屋公司合作设计制造我国第一台 310MW 的核电用汽轮发电机组，并于 1991 年正式在秦山核电站投运。

1986 年北京重型电机厂与法国阿尔斯通公司合作研制 330MW 汽轮机，首台机组于 1990 年在四川江油电厂投运。

1991 年东方汽轮机厂与日本日立公司合作研制生产亚临界 600MW 汽轮机，1996 年首台机组在山东邹县投运。

2002 年哈尔滨汽轮机厂与西屋公司合作设计制造的我国首台 650MW 核电机组在秦山核电站投运。

在此阶段，引进的西屋技术是较先进和成熟的：机组的自动化水平高，负荷适应性好，热经济性也比原国产机组有了很大提高，为我国的电力工业发展做出了不小的贡献。

在此期间相继开发出了合缸、分缸、空冷、供热等品种齐全的 300MW 汽轮机系列产品，因此 300MW 机组也成为了这一阶段我国电网中的主干机组。

3. 应用世界先进技术对引进型机组性能进行进一步优化阶段

在引进发展阶段结束后，我国汽轮机制造业在瞄准发展趋势的基础上，采用世界先进技术对机组开始了性能全面的优化设计工作。

“七五”期间，开展了汽轮机气动设计方法、转子动力学、叶片自动设计系统等一系列的重点科技攻关工作。“八五”期间又联合完成了“高、中压缸通流部分优化、高压缸、低压缸研制”等科技攻关项目。这些优化技术与国外的研究基本能保持同步，达到了世界先进水平。

1998~2002 年期间，各制造企业根据自身的特点，在高新技术应用、设计创新、新材

料、新工艺等方面都开展了大量研究工作，并将其研究成果应用于产品设计中。不仅开发设计了新一代引进型机组，而且对 50、100、125、200、300MW 等老机组进行了改造，全面实现了产品的更新换代。在此期间还研制生产出了技术含量更高的各种热电合供机型和空冷机型。

目前，超高压、亚临界参数、135~600MW 功率等级范围内，我国汽轮机产品的制造质量、运行性能、运行可靠性等综合指标已达国际同类机组水平。我国已具备了与世界先进水平相当的亚临界、常规超临界参数大功率汽轮机的设计制造能力。

4. 我国超超临界参数机组发展情况

从 2002 年开始，国内制造厂家积极引进、消化、吸收国外先进技术，开始了超超临界参数机组的研发阶段。2003 年 11 月，上海汽轮机厂与西门子公司合作，获得了我国第一个超超临界项目——华能浙江玉环电厂 4×1000MW 汽轮机的订单，该机组采用集中了当今世界在高温材料、特大型长叶片、百万千瓦发电机、提高效率优化设计四方面的先进技术，整体性能达到了世界最高水平。2004 年上海汽轮机厂与西门子公司合作设计制造的我国首台 900MW 超临界参数机组在上海外高桥电厂二期工程中投运。同年，哈尔滨汽轮机厂与日本三菱公司合作制造出了首台超超临界参数 600MW 机组。

目前我国电网中 300MW 机组总量已达 200 余台，600MW 机组已超过 40 台，这些机组是目前电力工业的主力机型。但在今后的发展中，超临界参数、超超临界参数机组将成为新建电厂的首选。

我国对超超临界参数汽轮机产品的研制将分三步走。

(1) 第一步：研制蒸汽参数为 25MPa/600℃/610℃，采用一次中间再热，单轴最大功率 1000MW，双轴最大功率 1400MW 的 700MW 以下、900~1000MW、1300~1400MW 三个功率等级的汽轮机系列产品。这一系列的机组效率比亚临界参数机组高 4.5%，比常规超超临界参数 (24.1MPa/538℃/566℃) 机组高 2.5%。

(2) 第二步：研制主蒸汽压力为 25~30MPa，温度为 600℃/610℃，采用一次或二次中间再热，功率依然是 700MW 以下、900~1000MW、1300~1400MW 三个功率等级的汽轮机系列产品。这一系列机组效率比前一系列的还要高 0.7%。其关键是解决圆筒形汽缸使用和高压缸强度问题。

(3) 第三步：目标与世界同步，主蒸汽压力将达 34.3~40MPa，主蒸汽温度将达 650、700、760℃，其关键是对耐更高温度的奥氏体合金钢和高中压汽轮机冷却结构的研究。

第三节 汽轮机的分类和型号

一、汽轮机分类

汽轮机作为现代化国家的重要动力机械设备，类型繁多，需从不同的角度对其进行分类，详述如下。

1. 按工作原理分类

目前火电厂或核电站中采用的多级汽轮机是由多个不同级串联构成的。级是汽轮机的基本做功单元，在结构上由喷管和其后的动叶栅组成。蒸汽在级内膨胀，降压增速，将蒸汽的热能转变为机械能。按蒸汽在级中能量转换方式的不同，可分为如下两类：

(1) 冲动式汽轮机：蒸汽主要在喷管叶栅中膨胀，在动叶栅中只有少量膨胀的级为冲动级。冲动式汽轮机主要由冲动级组成。

(2) 反动式汽轮机：蒸汽在喷管叶栅和动叶栅中膨胀程度相同的为反动级。反动式汽轮机主要由反动级组成。现代喷管调节的反动式汽轮机，因反动级不能满足第一级为部分进汽的需要，所以其第一级为冲动级。

2. 按热力特性分类

汽轮机的热力特性与电厂的蒸汽动力循环密切相关，通过热工理论及应用课程的学习，我们已经知道电厂的基本热力循环为朗肯循环，在朗肯循环的基础上采用回热、再热、热电联供、蒸汽—燃气联合等循环方式可使循环效率得到大幅度的提高。

按热力特性，可将汽轮机分为：

(1) 凝汽式汽轮机。除回热抽汽外，汽轮机的排汽全部送往处于高度真空状态下的凝汽器中凝结成凝结水，其循环装置示意如图 1-2 所示。

(2) 背压式汽轮机。除回热抽汽外，汽轮机的排汽全部送往热用户，为满足外界热用户的需要，背压式汽轮机的排汽压力常高于大气压。外界热用户利用了排汽的热量，也会使排汽凝结为水，为了减少电厂的工质损失，常将这部分水作为回水进行回收。图 1-3 所示为背压供热循环装置示意图。

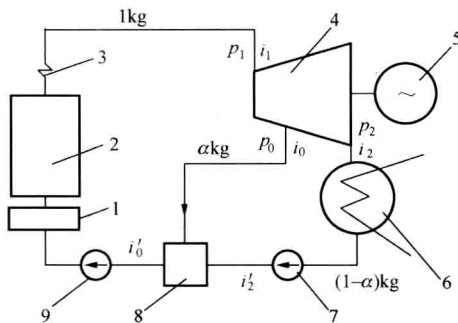


图 1-2 一次抽汽回热循环装置示意图

1—省煤器；2—炉膛水冷壁；3—过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；7—凝结水泵；8—混合式回热加热器；9—给水泵

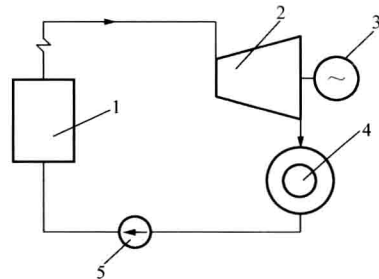


图 1-3 背压式供热循环装置示意图

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—热用户；5—给水泵

当背压式汽轮机的排汽作为其他中低压汽轮机的工作蒸汽时，被称为前置式汽轮机。

(3) 调节抽汽式汽轮机。除回热抽汽外，还从汽轮机的某级后抽出一定压力的部分蒸汽对外供热（这部分抽汽要根据外界用户的需要进行调整，所以称为调节抽汽），其余排汽仍送往凝汽器凝结为凝结水。在一台汽轮机上只有一个调节抽汽口的为一次调节抽汽式汽轮机，在一台汽轮机上有两个压力不同的调节抽汽口的为二次调节抽汽式汽轮机。一次调节抽汽式供热循环装置示意图如图 1-4。

(4) 抽汽背压式汽轮机：具有调节抽汽的背压式汽轮机。

在供电的同时还对外供热的汽轮机也称为供热式汽轮机。显然，背压式、调节抽汽式、抽汽背压式均为供热式汽轮机。

(5) 中间再热式汽轮机：现代大功率（ $>100\text{MW}$ ）汽轮机普遍采用再热循环方式，对应的汽轮机就为中间再热式汽轮机。其特点是：在汽轮机中膨胀到某一压力的蒸汽，被送往

锅炉再热后，仍回汽轮机内继续膨胀做功。如果再热式汽轮机的排汽送往凝汽器就为中间再热凝汽式汽轮机；如果再热式汽轮机中间有调节抽汽口，就为中间再热调节抽汽式汽轮机。

(6) 混压式汽轮机：将其他来源的蒸汽引入汽轮机相应的中间级，与汽轮机内的主蒸汽一起膨胀做功。这种汽轮机常用作工业用汽轮机，以利于综合利用各种蒸汽资源。

3. 按主蒸汽参数分类

主蒸汽指汽轮机进口处的蒸汽，其参数包括压力和温度，按主蒸汽不同的压力等级，可将汽轮机分为

- (1) 低压汽轮机：主蒸汽压力 $<1.5\text{MPa}$ ，已被淘汰；
- (2) 中压汽轮机：主蒸汽压力 $=2\sim4\text{MPa}$ ；
- (3) 高压汽轮机：主蒸汽压力 $=6\sim10\text{MPa}$ ；
- (4) 超高压汽轮机：主蒸汽压力 $=12\sim14\text{MPa}$ ；
- (5) 亚临界压力汽轮机：主蒸汽压力 $=16\sim18\text{MPa}$ ；
- (6) 超临界压力汽轮机：主蒸汽压力 $>22.15\text{MPa}$ ；
- (7) 超超临界压力汽轮机：主蒸汽压力 $>30\text{MPa}$ 。

在此需要指出的是，超超临界压力汽轮机的压力界限目前并不统一。通常的超超临界参数指压力 $\geq 30\sim35\text{MPa}$ ，温度 $\geq 593\sim650^\circ\text{C}$ 。但也有例外，如日本将主蒸汽温度 $\geq 593^\circ\text{C}$ 的汽轮机统称为超超临界压力汽轮机，欧洲则把主蒸汽压力 $\geq 28\text{MPa}$ ，温度 $\geq 580^\circ\text{C}$ 的机组称为超超临界压力汽轮机。

4. 按用途分类

(1) 电站汽轮机。电站汽轮机用于拖动发电机，因为汽轮发电机组需按供电频率定速运行，所以也称为定转速汽轮机。

(2) 工业汽轮机。工业汽轮机用于拖动风机、泵等转动设备，通常设计为变转速，以调节风机或泵的流量或压力。

(3) 船用汽轮机。船用汽轮机用于驱动船舶的螺旋桨，为适应船舶改变行进方向的需要，其转动方向可调。

另外，按汽流方向分类，可分为轴流式（常见）、辐流式（已近淘汰）；按汽缸数目分类，可分为单缸（功率 $<100\text{MW}$ 的汽轮机）、双缸（功率 $=100\text{MW}$ 的汽轮机 and 高中压合缸的功率 $\leq 300\text{MW}$ 汽轮机）和多缸汽轮机（功率 $\geq 300\text{MW}$ 的汽轮机）；按机组转轴数目分类，可分为单轴和双轴汽轮机；按排汽口数目分类，可分为单排汽口（单缸）、双排汽口（一个对称分流式低压缸）和多排汽口汽轮机等。

二、国产汽轮机的型号

1. 汽轮机型号表示方法

为了便于识别汽轮机，常用一些符号来表示它的基本特性（功率、热力特性、主蒸汽参数等），这些符号称为汽轮机的型号。

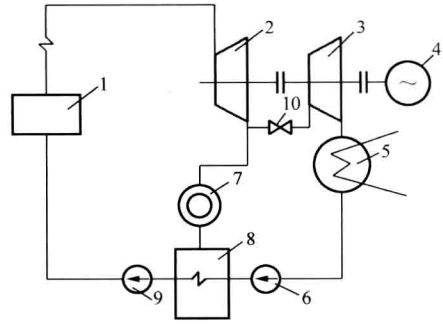
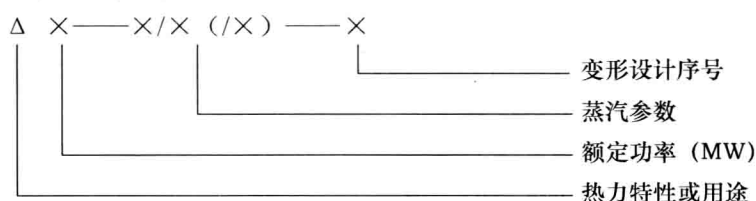


图 1-4 一次调节抽汽式供热循环装置示意图

1—锅炉；2—汽轮机高压缸；3—汽轮机低压缸；4—发电机；5—凝汽器；6—凝结水泵；7—热用户；8—加热器；9—给水泵；10—调节阀

国产汽轮机的型号表示为



其中：汽轮机的热力特性或用途用大写英文字母表示，其含义见表 1-2；蒸汽参数表示方法见表 1-3；变形设计序号采用大写罗马数字 I、II 等表示。

表 1-2 国产汽轮机的热力特性或用途代号

代 号	类 型	代 号	类 型
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		

表 1-3 汽轮机型号中参数的表示方法

汽轮机类型	蒸汽参数表示方法	示 例
凝汽式	主蒸汽压力/主蒸汽温度	N50-8.82/535
中间再热式	主蒸汽压力/主蒸汽温度/再热蒸汽温度	N300-16.7/537/537
一次调节抽汽式	主蒸汽压力/调节抽汽压力	C50-8.82/0.118
两次调节抽汽式	主蒸汽压力/高压抽汽压力/低压抽汽压力	CC25-8.82/0.98/0.118
背压式	主蒸汽压力/背压	B50-8.82/0.98
抽汽背压式	主蒸汽压力/调节抽汽压力/背压	CB25-8.82/0.98/0.118

注 表中压力单位均为 MPa，温度单位均为℃。

2. 典型机组型号举例

(1) 300MW 系列汽轮机。

N300-16.18/550/550 型汽轮机：300MW 的凝汽式汽轮机，主蒸汽压力为 16.18MPa，主蒸汽温度为 550℃，再热蒸汽温度为 550℃。

N/C300-16.7/537/537 型汽轮机：300MW 的凝汽抽汽两用式汽轮机（冬季为调节抽汽式，其调节抽汽用于供暖，夏季为凝汽式），主蒸汽压力为 16.7MPa，主蒸汽温度为 537℃，再热蒸汽温度为 537℃。

N362-16.85/540/540 型汽轮机：362MW 的凝汽式汽轮机，主蒸汽压力为 16.85MPa，主蒸汽温度为 540℃，再热蒸汽温度为 540℃。

(2) 600MW 系列汽轮机。

CLN600-24.2/566/566 型汽轮机：600MW 的超临界参数（CL 的含义）凝汽式汽轮机，主蒸汽压力为 24.2MPa，主蒸汽温度为 566℃，再热蒸汽温度为 566℃。

N600-16.7/538/538 型汽轮机：600MW 的凝汽式汽轮机，主蒸汽压力为 16.7MPa，主蒸汽温度为 538℃，再热蒸汽温度为 538℃。