

300MW火力发电机组丛书

第二分册

汽轮机设备及系统

吴季兰 主编



中国电力出版社

413825

300MW火力发电机组丛书

第二分册

汽轮机设备及系统

吴季兰 主编



中国电力出版社

内 容 提 要

本书是300MW火力发电机组丛书的第一分册。全书系统地介绍了300MW级汽轮机设备的原理、结构、特性以及运行、维护、典型事故处理等。内容包括汽轮机本体，数字电液调节和保护系统，辅助设备系统，运行维护、典型运行事故及其预防等。全书内容丰富，论述精炼，反映了我国生产和进口的300MW级机组的设备水平。

本书适合从事300MW火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读，或作为培训教材使用，也可供其他高参数、大容量火电机组的有关专业人员以及高等院校热动力类和电力工程类专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机设备及系统/吴季兰主编.-北京:中国电力出版社,1998.8

(300MW火力发电机组丛书;第2分册)

ISBN 7-80125-703-0

I. 汽… II. 吴… III. 汽轮发电机-设备
IV. TM311.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 11797 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>)

三河市实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1998年8月第一版 1998年8月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 23.5印张 578千字
印数 0001—3070册 定价 24.80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)

《300MW 火力发电机组丛书》

编 委 会

主 编 吴季兰

副 主 编 容奎恩 涂光瑜 高伟

编 委 (按姓氏笔划排序)

丁学俊 尹项根 冯慧雯 叶 涛 刘 沛 许继刚

李树人 吴季兰 吴胜春 陆继明 张永立 张国强

张晓梅 张家琛 胡能正 涂光瑜 徐明厚 栾庆富

高 伟 容奎恩 黄树红 熊信根

前言

为促进社会主义经济建设的发展,我国正大力发展电力工业,新建及在建不少高参数、大容量的火力发电机组,尤以300MW机组居多。300MW机组已成为我国各大电网的主力机组,因此有关工程技术人员、现场生产人员急需了解和掌握这些高参数、大容量机组的结构、系统和运行知识。为此,我们组织编写了这一套《300MW火力发电机组丛书》。

丛书包括《燃煤锅炉机组》、《汽轮机设备及系统》、《汽轮发电机及电气设备》、《计算机控制系统》四个分册。全套丛书由华中理工大学吴季兰担任总主编。

本丛书可供从事300MW火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读,或作为培训教材使用,也可供其他高参数、大容量火电机组的有关人员以及高等院校热能动力类和电力工程专业师生参考。

《汽轮机设备及系统》是300MW火力发电机组丛书的第二分册。这一分册共分十章,主要讲述300MW汽轮机设备的原理、结构、特性以及运行、事故处理等。其内容包括:概述,汽轮机本体,凝汽设备及其系统,再热汽轮机数字电液调节及其保护系统,供油系统,热力系统及其设备,火电厂主要水泵、驱动给水泵汽轮机、汽轮机的运行,汽轮机几种典型运行事故及其预防等。

本分册内容密切结合我国现有的300MW汽轮机设备情况,同时介绍了国外有关同类产品的先进技术,侧重介绍国产优化引进型300MW汽轮机设备结构、特性等,并与同类型机组作了比较。

本分册由华中理工大学吴季兰担任主编,参加编写的人员有吴季兰(编写前言、第一、二、九、十章)、丁学俊(编写第三章)、张家琛(编写第四章)、黄树红(编写第五章)、李树人(编写第六章)、叶涛(编写第七章)、冯慧雯(编写第八章)。

本分册由武汉水利电力大学陈汝庆担任主审。

本分册在收集资料和编写过程中,参阅了参考文献中列举的正式出版文献以及国内有关制造厂、研究单位、设计院、安装单位和高等院校编制的技术资料、说明书、图纸。在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平和搜集的资料有限,编写时间仓促,书中缺点和谬误在所难免,诚恳希望读者批评指正。

编者

1998年3月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 汽轮机的特点、作用和要求	1
第二节 汽轮机的分类和型号	3
第三节 汽轮发电机组的容量、参数与型式	7
第四节 300MW 等级汽轮机的主要技术规范与保证值	8
第五节 300MW 等级汽轮机的整体概述	14
第六节 汽轮机设备的经济性和可靠性	23
第二章 汽轮机本体	27
第一节 叶片	27
第二节 转子	39
第三节 汽缸与滑销系统.....	49
第四节 隔板、隔板套和静叶环、静叶持环.....	66
第五节 汽封与汽封系统.....	70
第六节 轴承	86
第七节 盘车装置	96
第八节 汽轮机本体疏水系统	99
第三章 凝汽设备及其系统	101
第一节 凝汽设备的作用及工作过程	101
第二节 凝汽器的压力与传热	104
第三节 凝汽器的管束布置	112
第四节 国产引进型 300MW 机组凝汽器及有关机组凝汽器特点的比较	116
第五节 抽气设备	126
第六节 凝汽设备及系统的运行	133
第四章 再热汽轮机数字电液调节及其保护系统	142
第一节 再热汽轮机调节的特点	142
第二节 再热汽轮机调节系统简介	143
第三节 DEH 调节系统综述	147
第四节 DEH 调节系统的自动控制原理.....	152
第五节 DEH 调节的计算机系统	159
第六节 DEH 调节的液压伺服系统	165
第七节 汽轮机的保护和危急遮断系统	175
第八节 DEH 调节系统的特性	190
第五章 供油系统	197

第一节	概述	197
第二节	润滑油系统	199
第三节	润滑油系统的主要设备	202
第四节	EH 抗燃油系统	214
第五节	EH 抗燃油系统主要设备	215
第六章	热力系统及其设备	222
第一节	给水回热加热系统及其设备	222
第二节	给水除氧系统及其设备	234
第三节	旁路系统及其设备	242
第四节	武汉阳逻电厂国产优化引进型 300MW 汽轮机主蒸汽管道系统	251
第五节	武汉阳逻电厂国产优化引进型 300MW 汽轮机给水管道路系统	253
第七章	火电厂主要水泵	255
第一节	概述	255
第二节	给水泵组	255
第三节	液力偶合器	270
第四节	给水泵最小流量控制装置	278
第五节	给水泵组水管路	280
第六节	给水泵组油管路	282
第七节	给水泵组的运行	284
第八节	凝结水泵	287
第九节	循环水泵	292
第八章	驱动给水泵汽轮机	296
第一节	概述	296
第二节	驱动给水泵汽轮机的结构	303
第三节	驱动给水泵汽轮机的热力系统	314
第四节	驱动给水泵汽轮机的变工况运行	316
第五节	驱动给水泵汽轮机的调节、保安及供油系统	324
第九章	汽轮机的运行	339
第一节	汽轮机主要零部件的热应力、热膨胀和热变形	339
第二节	汽轮机的启动和停机	342
第三节	汽轮机的正常运行和维护	356
第十章	汽轮机几种典型运行事故及其预防	361
第一节	汽轮机大轴弯曲事故	361
第二节	轴瓦烧损事故	363
第三节	通流部分动静磨损事故	364
第四节	汽轮发电机组严重超速事故	364
第五节	叶片损坏事故	366
第六节	汽轮机油系统着火事故	367
参考文献	369

第一章 概述

第一节 汽轮机的特点、作用和要求

一、汽轮机在火电厂中的地位

自然界中能够产生能量的资源称为能源。电力工业是能源转换的工业，它把一次能源（如煤炭、石油、天然气、水能、风能、核聚变能等）转化为电能，使之成为通用性更强的二次能源。

生产电能的工厂称作发电厂（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、天然气等）中蕴藏的化学能，在蒸汽锅炉内通过燃烧转变为蒸汽的热能，然后在汽轮机内将蒸汽的热能转变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%。

汽轮机是以水蒸气为工质，将热能转变为机械能的外燃高速旋转式原动机。它具有单机功率大、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。在现代火电厂和核电站中，汽轮机是用来驱动发电机生产电能的，故汽轮机与发电机的组合称为汽轮发电机组，全世界由汽轮发电机组发出的电量约占各种形式发电总量的80%左右。汽轮机还可用来驱动泵、风机、压气机和船舶螺旋桨等。所以汽轮机是现代化国家中重要的动力机械设备。

汽轮机设备是火电厂的三大主要设备之一，汽轮机设备及系统包括汽轮机本体、调节保安油系统、辅助设备及热力系统等。汽轮机本体是由汽轮机的转动部分（转子）和固定部分（静体或静子）组成；调节保安油系统主要包括调节汽阀、调速器、调速传动机构、主油泵、油箱、安全保护装置等；辅助设备主要包括凝汽器、抽气器（或水环真空泵）、高低压加热器、除氧器、给水泵、凝结水泵、凝升泵、循环水泵等；热力系统主要指主蒸汽系统、再热蒸汽系统、凝汽系统、给水回热系统、给水除氧系统等。

由于电能无法大量储存，发电设备的功率随外界负荷的变化而相应地变化，即发电、供电、用电同时完成，所以电能的生产不同于其它生产，这是发电厂生产的一个重要特点。因此汽轮机必须要有自动调节系统，以便调节汽轮机功率，使之满足用户的需要，并保证供电质量（电压和频率），同时还要确保电能生产具有高度的可靠性和安全性。如果电能质量降低，就会影响用户产品的产量和质量。若发生事故，供电中断，将会造成国民经济各部门生产停顿、减产，甚至损坏用户设备，发生人身事故。

二、汽轮机发展史概述

自1883年瑞典工程师拉瓦尔和1884年英国工程师帕森斯分别创制了第一台实用的单级冲动式和多级反动式汽轮机以来，汽轮机已有一百余年的历史。近几十年汽轮机发展尤为迅速，其发展的主要特点是：

(1) 增大单机功率。世界工业发达国家的汽轮机生产在60年代已达到500MW~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。前苏联ЛКТИ正在全力推进2000MW的高参数全速汽轮机的开发工作。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) 提高蒸汽参数。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的机组($p_0=32\text{MPa}$ 、 $t_0=600^\circ\text{C}$)；预计到2000年最高的进汽参数将达 $p_0=35\text{MPa}$ 、 $t_0=650^\circ\text{C}$ 。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，从而可提高机组内效率、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) 提高机组的运行水平。机组容量大、系统结构复杂，相应地发生事故的因素也增多，其安全可靠性能降低。为了提高机组运行、维护和检修水平，以增强机组运行的可靠性，现代机组增设和大大改善了保护、报警和状态监测系统，有的还配置了智能化故障诊断系统。随着电网容量的不断增大，调峰任务也势必落到大机组上，因此大机组在结构、系统应能适应变工况运行的性能要求。经常保持主辅设备和系统的优化运行，以提高机组运行的经济性，并保证规定的设备使用寿命，这是评价大容量机组技术水平的重要标尺。

目前世界上生产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)、日本的东芝和日立、意大利的安莎多，以及前苏联的列宁格勒金属工厂(ЛМЗ)、哈尔科夫透平发动机厂(ХТЗ)和乌拉尔透平发动机厂(УТМЗ)等。制造反动式汽轮机的企业有美国西屋公司(WH)、欧洲的ABB公司、联邦德国的电站设备联合制造公司(KWU)、日本的三菱、英国帕森斯公司、法国电气机械公司(CMR)公司等。另外，法国的阿尔斯通——大西洋公司(AA)，既生产冲动式汽轮机也生产反动式汽轮机。

我国自1955年开始制造出第一台中压6MW汽轮机，从60年代到70年代初，已生产出12MW、25MW、50MW、100MW、125MW、200MW和300MW汽轮发电机组。80年代初，引进了美国西屋公司300MW和600MW机组的整套制造技术，并迅速生产出一批这种机组交付安装投运，促使我国电力工业进一步发展。

我国生产汽轮机的主要工厂有上海汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂、东方汽轮机厂，其次有北京重型电机厂、青岛汽轮机厂和武汉汽轮发电机厂等，还有以生产工业汽轮机为主的杭州汽轮机厂和以生产燃气轮机为主的南京汽轮发电机厂。

1990年全世界总的发电量为11.7万亿kW·h，到2000年将为17.8万亿kW·h(总装机容量33亿kW)，至2020年(中期)将增至26.6万亿kW·h；至2050年将达到38万亿kW·h，装机容量将超过75亿kW。

建国以来，我国电力工业的发展一直保持着较快的速度，特别是近五年来的发展速度在世界上也是少见的。我国电厂年发电量由1949年的43.1亿 kW·h（居世界第25位）至1986年的4430亿 kW·h（居世界第5位，仅次于美、苏、日和西德），到1993年达到8374亿 kW·h，1995年超过10000亿 kW·h，居世界第2位，预计2000年可达14000亿 kW·h。全国装机容量1949年为1850MW，1986年为93000MW，至1992年底为1.665亿 kW（其中火电为1.247亿 kW，占75.6%）；至1993年底为1.829亿 kW（其中火电为1.38亿 kW，占75.45%），至1995年底为2.14亿 kW；预计2000年可达3亿 kW。

为适应电力工业的发展，我国火电机组的构成也有了根本性变化，并逐步实现以发展300MW及以上容量机组为主的方针，最大单机容量已达600MW，许多新建的大型火电厂都装有这两种机组，有国产的，也有引进的、进口的。“八五”期间，我国共投产300MW~600MW机组94台。火电机组的可靠性和经济性及其自动化水平都有较大提高。

第二节 汽轮机的分类和型号

一、汽轮机的分类

（一）按工作原理分类

近代火电厂采用的都是由不同级顺序串联构成的多级汽轮机。来自锅炉的蒸汽逐次通过各级，将其热能转换成机械能。级是汽轮机中最基本的作功单元，在结构上，它是由喷嘴叶栅（静叶栅）和跟它配合的动叶栅组成的；在功能上，它完成将蒸汽的热能转变为机械能的能量转换过程。蒸汽在汽轮机级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——冲动式汽轮机和反动式汽轮机。

（1）冲动式汽轮机。主要由冲动级组成，蒸汽主要在喷嘴叶栅（或静叶栅）中膨胀，在动叶栅中只有少量膨胀。

（2）反动式汽轮机。主要由反动级组成，蒸汽在喷嘴叶栅（或静叶栅）和动叶栅中都进行膨胀，且膨胀程度相同。现代喷嘴调节的反动式汽轮机，因反动级不能做成部分进汽，故第一级调节级常采用单列冲动级或双列速度级。我国引进西屋公司（WH）技术生产的300MW、600MW汽轮机组就是这种类型的汽轮机。

冲动式汽轮机和反动式汽轮机在电厂中都获得了广泛应用。这两种类型汽轮机的差异不仅表现在工作原理上，而且还表现在结构上，前者为隔板型，后者为转鼓型（或筒型）。

隔板型汽轮机如国产300MW汽轮机组（见图1-1），动叶叶片嵌装在叶轮的轮缘上，喷嘴装在隔板上，隔板的外缘嵌入隔板套或汽缸内壁的相应槽道内。

转鼓型汽轮机如国产引进型300MW汽轮机组（见图1-2），动叶片直接嵌装在转子的外缘上，隔板为单只静叶环结构，它装在汽缸内壁或静叶持环的相应槽道内。

（二）按热力特性分

（1）凝汽式汽轮机：蒸汽在汽轮机中膨胀作功后，进入高度真空状态下的凝汽器，凝结成水。

（2）背压式汽轮机：排汽压力高于大气压力，直接用于供热，无凝汽器。当排汽作为其他中、低压汽轮机的工作蒸汽时，称为前置式汽轮机。

（3）调整抽汽式汽轮机：从汽轮机中间某几级后抽出一定参数、一定流量的蒸汽（在规

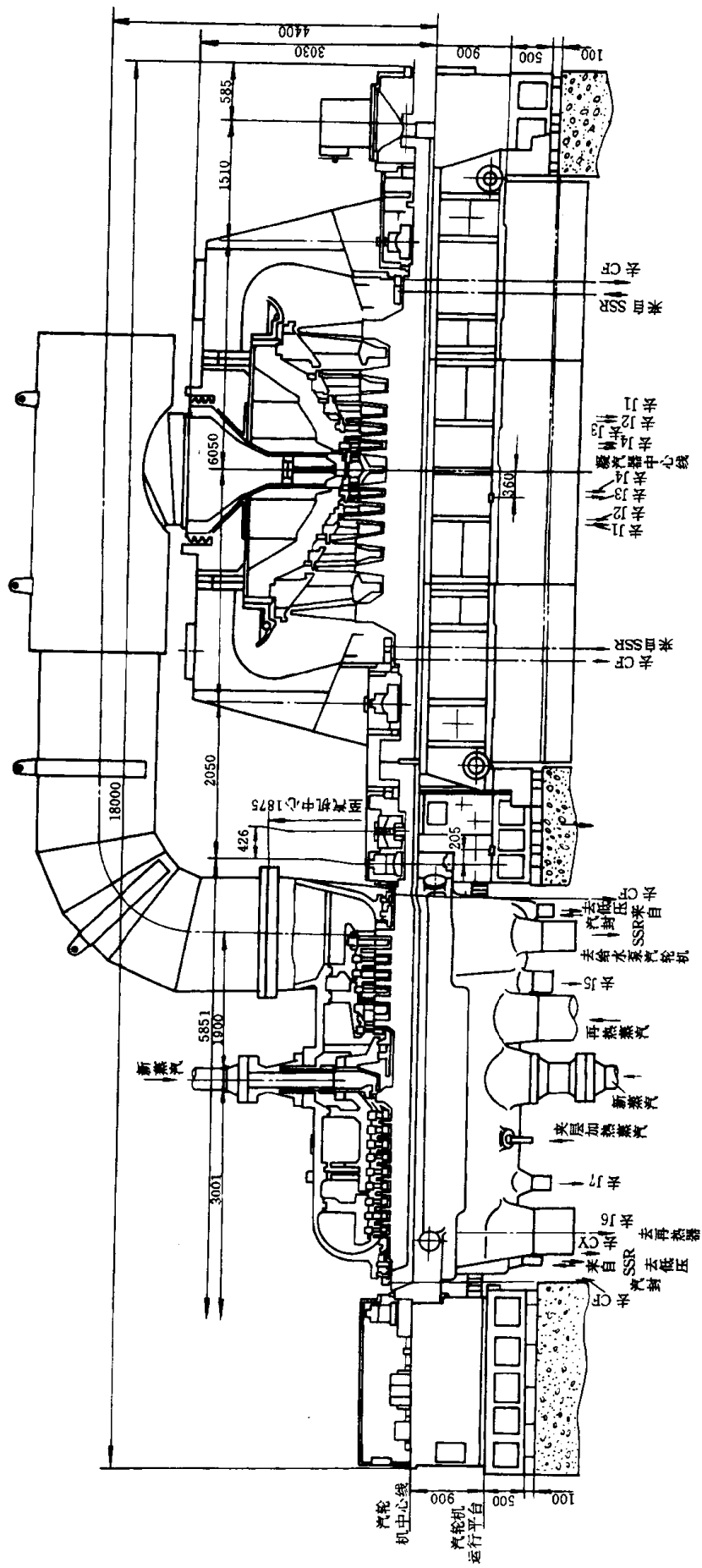


图 1-1 国产 300MW 汽轮机纵剖面图

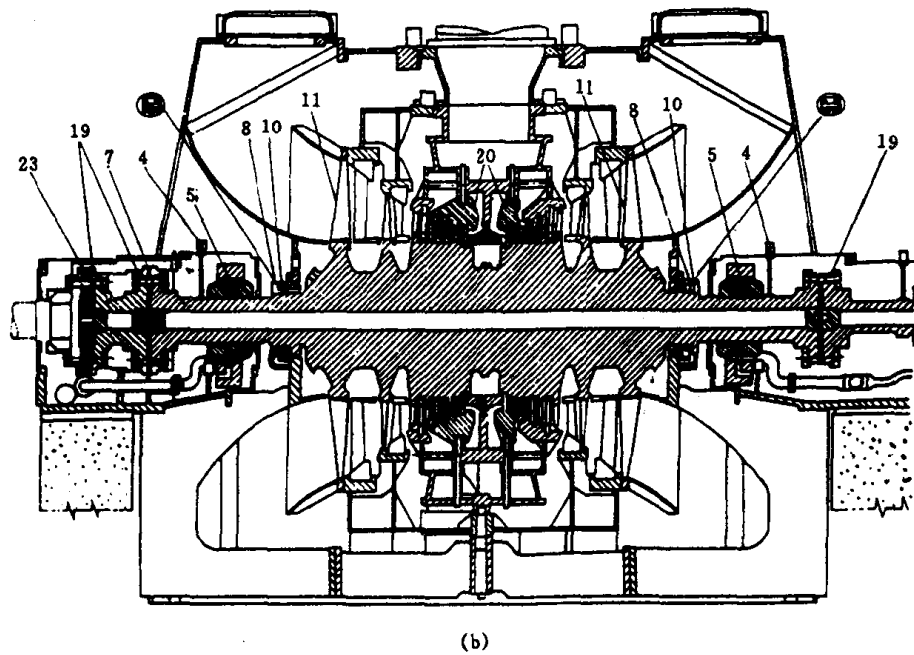
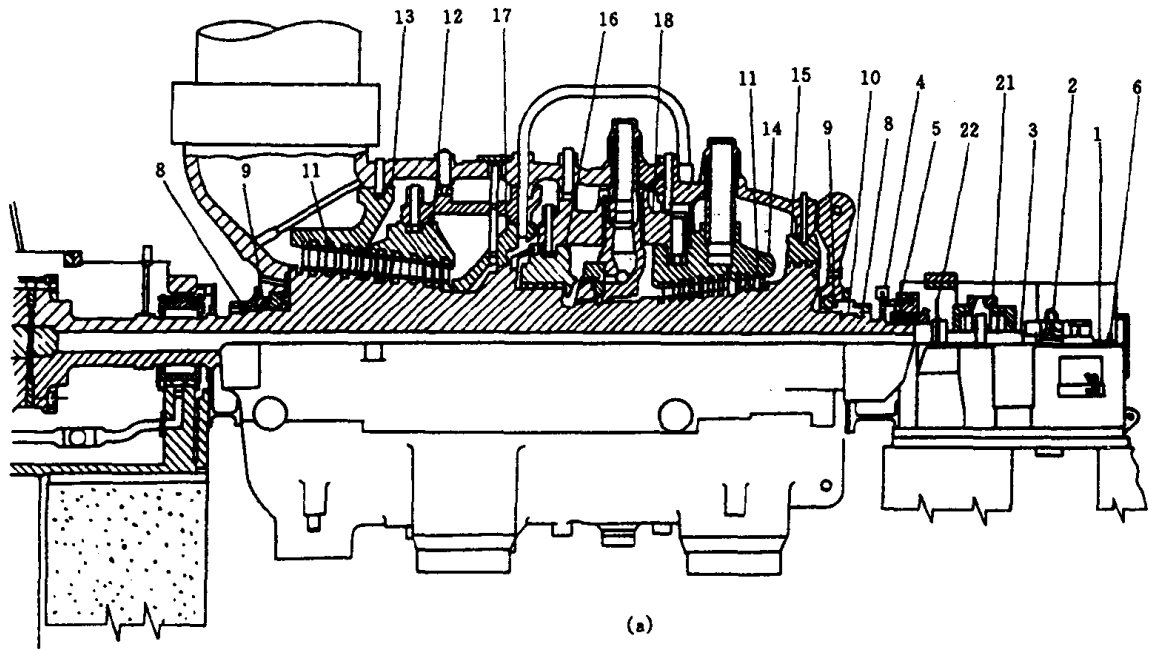


图 1-2 上海汽轮机厂制造的300MW 汽轮机纵剖面图

(a) 高中压部分；(b) 低压部分

1—超速脱扣装置；2—主油泵；3—转速传感器+零转速检测器；4—振动检测器；5—轴承；
6—偏心+鉴相器；7—差胀检测器；8—外轴封；9—内轴封；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—低压平衡持环；16—高压平衡持环；
17—中压平衡持环；18—内上缸；19—联轴器；20—低压持环；21—推力轴承；22—轴向位
置+推力轴承脱扣检测器；23—测速装置（危急脱扣系统）

定的压力下) 对外供热, 其排汽仍排入凝汽器。根据供热需要, 有一次调整抽汽和二次调整抽汽之分。

(4) 中间再热式汽轮机: 蒸汽在汽轮机内膨胀做功过程中被引出, 再次加热后返回汽轮

机继续膨胀做功。

背压式汽轮机和调整抽汽式汽轮机统称为供热式汽轮机。目前凝汽式汽轮机均采用回热抽汽和中间再热。

(三) 按主蒸汽参数分

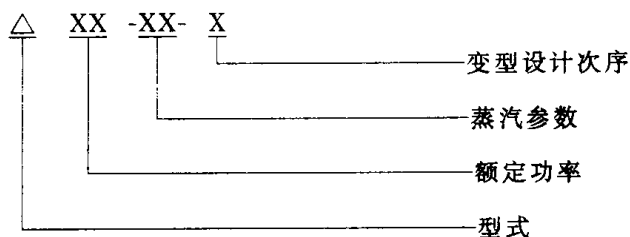
进入汽轮机的蒸汽参数是指进汽的压力和温度，按不同的压力等级可分为：

- (1) 低压汽轮机：主蒸汽压力小于1.47MPa；
- (2) 中压汽轮机：主蒸汽压力为1.96~3.92MPa；
- (3) 高压汽轮机：主蒸汽压力为5.88~9.8MPa；
- (4) 超高压汽轮机：主蒸汽压力为11.77~13.93MPa；
- (5) 亚临界压力汽轮机：主蒸汽压力为15.69~17.65MPa；
- (6) 超临界压力汽轮机：主蒸汽压力大于22.15MPa；
- (7) 超超临界压力汽轮机：主蒸汽压力大于32MPa。

此外按汽流方向分类可分为轴流式、辐流式、周流式汽轮机；按用途分类可分为电站汽轮机、工业汽轮机、船用汽轮机；按汽缸数目分类可分为单缸、双缸和多缸汽轮机；按机组转轴数目分类可分为单轴和双轴汽轮机；按工作状况分类可分为固定式和移动式汽轮机等。

二、国产汽轮机产品型号组成及蒸汽参数表示法

1. 产品型号组成



2. 汽轮机型号的汉语拼音代号

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

型式	参数表示方法	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/中间再热温度	N300-16.7/538/538
抽汽式	主蒸汽压力/高压抽汽压力/低压抽汽压力	C50-8.83/0.98/0.118
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	CB25-8.83/0.98/0.118

注 功率单位为 MW；压力单位为 MPa；温度单位为 ℃。

第三节 汽轮发电机组的容量、参数与型式

一、容量

(一) 国际电工委员会 (IEC) 1985年版对汽轮发电机组功率 (或出力) 等术语的一般定义

(1) 发电机功率。发电机接线端 (输出端) 处的功率。若采用非同轴励磁时, 还需扣掉外部励磁的功率。

(2) 净电功率。发电机功率减去厂用电功率。

(3) 经济功率 (ECR)。机组在此功率下, 汽轮机热耗率或汽耗率为最小值。

(4) 保证最大连续功率 (T-MCR)。在规定的端部条件 (合同中规定的各端部条件, 典型包括有主蒸汽和热再热蒸汽参数、冷再热蒸汽压力、最终给水温度、排汽压力、转速、抽汽要求等) 及运行寿命期内, 机组在发电机输出端连续输出的功率。通常在该功率下考核机组所保证的热耗率。在此功率下, 调节汽阀不一定要全开。

(5) 调节汽阀全开工况的功率 (VWO 工况的功率)。在规定的蒸汽参数条件下, 汽轮机调节汽阀全开, 机组所能输出的功率。

(6) 最大过负荷能力。在规定的过负荷条件下, 如末级给水加热器停运或提高主蒸汽的压力, 汽轮机调节汽阀全开下, 机组所能输出的最大功率。

(二) 国际上对大容量汽轮发电机组功率等术语的一般定义

(1) 额定功率 (铭牌功率, 铭牌出力)。通常是指汽轮机在额定主蒸汽和再热蒸汽参数工况下, 排汽压力为11.8kPa (a)、补水率为3%, 能在发电机接线端输出供方所保证的功率。汽轮机的进汽量属供方的保证值, 它与所保证的额定工况相对应。

(2) 机组的保证最大连续功率 (T-MCR)。是指汽轮机在通过铭牌功率所保证的进汽量、额定主蒸汽和再热蒸汽参数工况下, 排汽压力为4.9kPa (a)、补水率为0%, 机组能保证达到的功率。它一般比额定功率大3%~6%。

(3) 汽轮机的设计流量 (计算最大进汽量)。在所保证的进汽量基础上增加一定的裕量, 即 $(1.03 \sim 1.05) \times$ 保证进汽量, 且调节汽阀全开。近代由于制造水平的提高, 裕量取前者, 即3%。

(4) 调节汽阀全开 (VWO) 时计算功率。机组在调节汽阀全开时, 通过计算最大进汽量和额定的主蒸汽、再热蒸汽参数工况下, 并在额定排汽压力为4.9kPa、补水率为0%条件下计算所能达到的功率。

(三) 美国设计的大容量汽轮发电机组各项功率的术语和定义

(1) 汽轮发电机组额定功率。即在额定的主蒸汽和再热蒸汽参数工况下、排汽压力为11.8kPa (a)、补水率为3%时汽轮发电机组的保证功率 (出力)。

(2) 进汽量。在额定工况下汽轮发电机组发出保证功率所需的主蒸汽流量。

(3) 保证最大功率。即汽轮机在额定的主蒸汽和再热蒸汽参数工况以及额定的排汽压力与补水条件下, 通过对应于额定功率时的进汽量的机组功率。

(4) 最大计算功率 (或 VWO 功率)。即汽轮发电机组在额定的进汽参数和额定背压与补水率条件下, 调节汽阀全开时, 通过最大计算进汽量时的计算功率 (非保证值)。一般比最大保

证功率高出4.5%，等于 $1.045 \times$ 最大保证功率。

(5) 超压5%的连续运行功率。除核电机组外，汽轮发电机组能安全地在调节汽阀全开和所有回热加热器投运下，超压5%连续运行的功率。这种运行方式下汽轮机通流能力比额定主蒸汽压力下的通流能力增加5%。

美国设计的机组以VWO工况为运行基础推荐可超压5%连续运行，采用VWO+5%OP工况的计算功率或最末级高压加热器停运时以适应日间峰值负荷之需要。

日本或其他欧洲国家所设计的大容量机组以VWO工况下的功率为汽轮机最大功率，而以超压5%为最大负荷能力，即每天可超压5%运行的时间需加以限定，也就是超压5%仅作为机组短时间过负荷的能力。

例 日本三菱生产的机组，规定每日允许超压5%运行的累计时间不得超过10%；

例 华能福州电厂一期工程三菱生产 $2 \times 350\text{MW}$ 机组，制造厂提出的保证条件为

1) 机组铭牌功率：350MW，在排汽压力为4.9kPa (a)、补水率为0%时，保证热耗值为7889kJ/(kW·h)。

2) 连续运行额定功率：350MW，排汽压力为11.8kPa (a)、补水率为3%。

3) 最大保证流量：1116.744t/h，排汽压力11.8kPa (a)、补水率为3%时，保证功率为350MW。

4) 保证最大功率(T-MCR)：在最大保证流量1116.744t/h，排汽压力为4.9kPa (a)、补水率为0%时，保证最大连续功率为364.3MW。

5) 调节汽阀全开工况的功率(VWO)工况：最大计算功率为369.1MW，排汽压力为4.9kPa (a)、补水率为0% (注：制造误差只考虑1.02的裕度)。

6) VWO+5%OP超压工况：计算最大功率为384MW，排汽压力为4.9kPa (a)、补水率为0%。

(四) 机、炉、电容量匹配

(1) 发电机容量：一般发电机的功率应与VWO工况的功率相匹配，即等于VWO工况功率/功率因数(MVA)。若采用美国机组，则发电机的功率应与汽轮机VWO+5%OP工况的功率相匹配。在我国，考虑汽轮机和发电机功率配合时，除了功率因数外，还应合理确定发电机的效率。

(2) 锅炉最大连续蒸发量(B-MCR)：应与汽轮机的设计流量(即计算最大进汽量)相匹配，不必再加裕量。若汽轮机按VWO工况计算最大功率，B-MCR蒸发量等于汽轮机VWO工况的最大进汽量；若采用美国设计的机组，则B-MCR蒸发量可等于汽轮机VWO+5%OP工况的最大进汽量。日本生产机组通常在铭牌功率或T-MCR工况下运行，其锅炉最大连续蒸发量比汽轮机VWO工况时的进汽量约大0~3.3%。

第四节 300MW 等级汽轮机的主要技术规范与保证值

一、国产优化引进型300MW 汽轮机主要技术规范与保证值

(一) 主要的技术规范

(1) 型号 N300-16.7/538/538型

(2) 型式 亚临界、一次中间再热、单轴、双缸双排汽反动凝汽式汽轮机

(3) 额定功率	300MW
(4) 保证最大功率 (T-MCR)	326MW
(5) VWO+5%OP 工况功率	329MW
(6) 主汽阀前额定蒸汽压力	16.7MPa (a)
(7) 主汽阀前额定蒸汽温度	538℃
(8) 再热汽阀前额定蒸汽压力	3.63MPa
(9) 再热汽阀前额定蒸汽温度	538℃
(10) 额定转速	3000r/min
(11) 旋转方向	自机头往发电机看, 为顺时针方向
(12) 额定冷却水温	20℃
(13) 维持额定功率的最高冷却水温度	33℃
(14) 额定排汽压力	4.91kPa (a)
(15) 维持额定功率时的排汽压力	11.8kPa (a)
(16) 额定工况时汽轮机主蒸汽流量	918.438t/h
(17) 额定工况再热蒸汽流量	756t/h
(18) 额定工况给水温度	274.7℃
(19) 回热系统:	3个高压加热器, 1个除氧器, 4个低压加热器, 共8级回热抽汽
(20) 额定工况下净热耗率	7993kJ/(kW·h)
(21) 汽轮机级数	35级
高压缸	调节级+11个反动级
中压缸	9个反动级
低压缸	2×7个反动级
(22) 配汽方式	喷嘴调节
(23) 给水泵驱动方式	小汽轮机
(24) 制造厂家	上海汽轮机厂

(二) 机组的主要热力工况和保证值

(1) 额定工况: 汽轮机在额定进汽参数、额定排汽压力、补水率为0%、回热系统正常投运的条件下, 能发出的额定功率为300MW, 进汽量为918.438t/h, 保证热耗率为7993kJ/(kW·h), 此工况为该机的考核工况。

(2) 夏季工况: 在额定进汽参数、排汽压力为11.8kPa (0.12ata), 补水率为3%条件下, 保证能发出额定功率300MW, 进汽量976t/h, 热耗率为8375kJ/(kW·h)。机组允许的最高排汽压力为18.6kPa。

(3) 阀门全开工况 (VWO): 在额定进汽参数、额定排汽压力、补水率为0%、回热系统正常投运的条件时, 调节汽阀全开工况下, 最大进汽量为976t/h, 功率为315MW。

(4) VWO+5%OP 超压工况: 蒸汽参数为17.5MPa/538/538℃, 排汽压力为4.9kPa, 补水率为0%, 阀门全开, 回热系统正常投运时, 机组的计算最大进汽量为1025t/h, 功率达到329MW。

(5) 当3台高压加热器全部切除后, 在额定的进汽参数、额定的排汽压力、补水率为0%的条件下, 机组仍能发出额定功率。

(6) 考虑到厂用汽的需要, 机组允许在额定的参数下, 在第4、5段回热抽汽管上分别抽出53.23t/h和12.25t/h蒸汽时, 仍能发出额定功率。

(三) 机组变压运行时的参数 (见表1-1)

表 1-1 机组变压运行时的蒸汽压力

功率 (MW)	主蒸汽压力 (MPa/ata)	高压缸排汽压力 (MPa/ata)	中压缸排汽压力 (MPa/ata)
225	14.4/146.8	2.72/27.7	0.604/6.16
150	9.7/98.9	1.84/18.8	0.412/4.20
120.4	7.83/79.8	1.51/15.4	0.338/3.44

(四) 轴系临界转速计算值 (弹性支承) (见表1-2)

表 1-2 轴系临界转速计算值 r/min

	汽轮机高中压转子	汽轮机低压转子	发电机转子	励磁机转子
一 阶	1700	1540	1480	1420
二 阶	3980	3660	3800	4200

(五) 在3000r/min时轴系中各轴颈的不平衡响应 (见表1-3)

表 1-3 轴系在3000r/min时各轴颈的不平衡响应 μm

轴承号	1	2	3	4	5	6	7	8
轴瓦型式	可倾	可倾	可倾 (下倾上圆)	圆柱	椭圆	椭圆	椭圆	椭圆
响应值	8.10	14.7	24.4	14.3	7.07	12.5	6.81	3.48

(六) 扭振频率计算值 (见表1-4)

表 1-4 扭振频率计算值 Hz

阶 次	1	2	3	4	5	6	7	8	9
频 率	21.88	26.09	37.56	128.05	136.91	138.91	167.04	171.76	172.80

(七) 抽汽口尺寸及VWO+5%超压工况下的抽汽参数 (见表1-5)

表 1-5 抽汽口尺寸及VWO+5%超压工况下的抽汽参数

抽 汽 号	级后抽汽	抽汽口尺寸(个数/尺寸 cm)	抽汽口压力(MPa/ata)	抽汽口温度(°C)
第1段抽汽 (高压缸)	7	1/20.32	6.66/67.87	390
第2段抽汽 (高压缸)	11	1/67.4	4.01/40.94	322
第3段抽汽 (中压缸)	16	1/30.48	1.82/18.61	433
第4段抽汽 (中压缸)	20	1/50.8	0.878/8.95	332
第5段抽汽 (低压缸)	22	1/50.8	0.375/3.82	232
第6段抽汽 (低压缸)	24	1/50.8	0.146/1.49	139
第7段抽汽 (低压缸)	25	2/50.8	0.079/0.809	
第8段抽汽 (低压缸)	26	4/60.96	0.0267/0.272	

二、国产和进口300MW等级机组的特点比较

表1-6列出国产和引进300MW等级汽轮机的若干产品的主要技术参数, 以供参考。从表1-6中可看出: