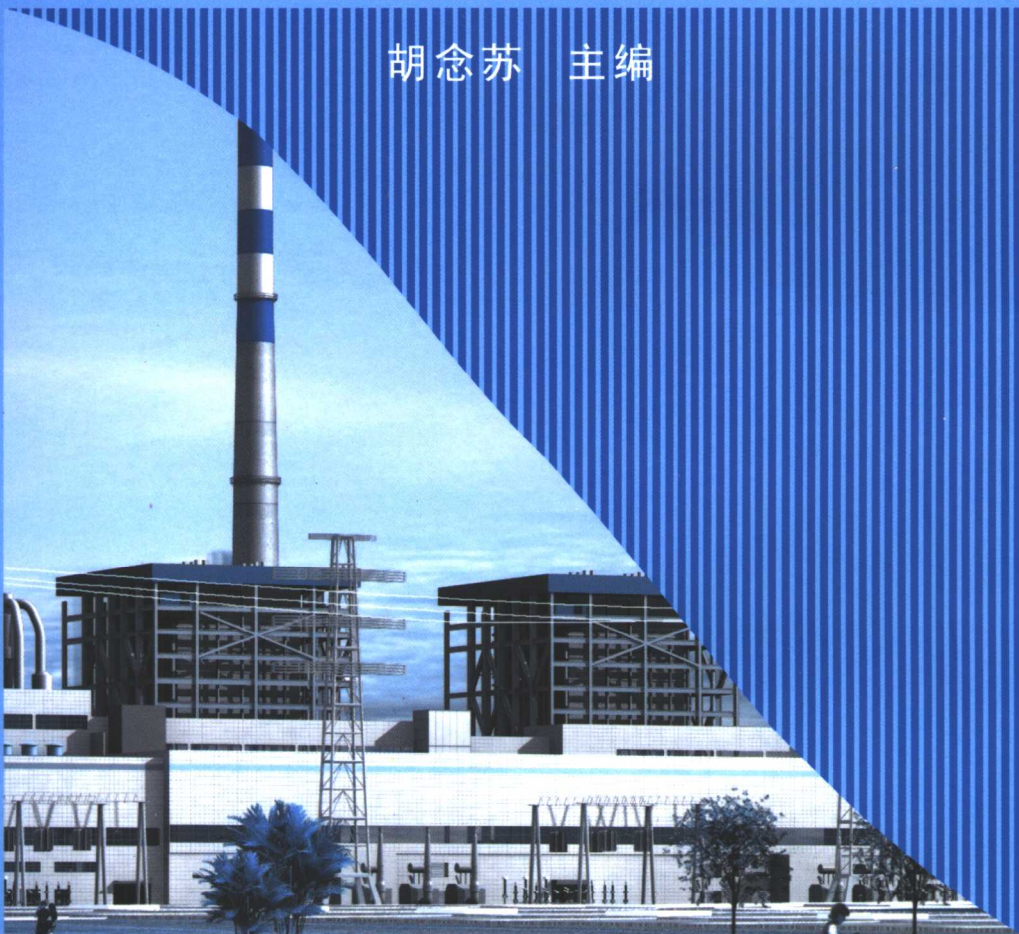


国产600MW超临界火力发电机组技术丛书

# 汽轮机设备及系统



胡念苏 主编

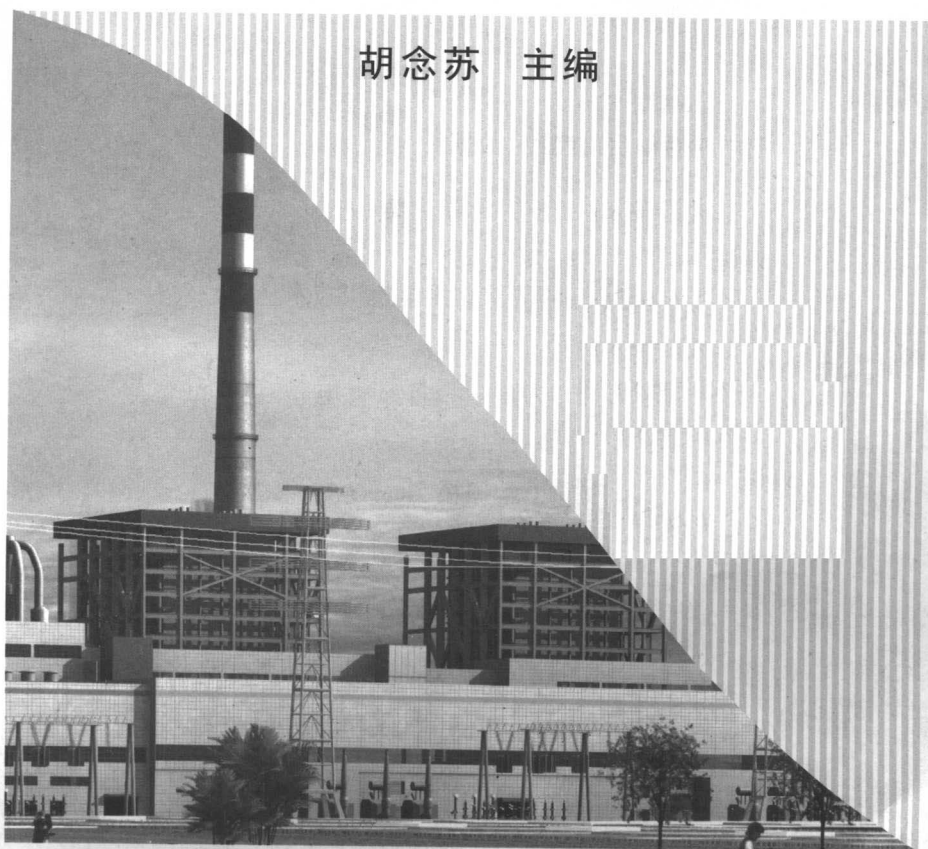


中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

国产600MW超临界火力发电机组技术丛书

# 汽轮机设备及系统

胡念苏 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)



本书是《国产 600MW 超临界火力发电机组技术丛书》的《汽轮机设备及系统》分册。书中详细介绍了我国三大动力集团生产的引进型 600MW 超临界汽轮机及其热力系统、辅助设备的原理、结构、特性以及运行、维护等，内容包括汽轮机本体结构、汽轮机调节与保护系统、汽轮机热力系统、汽轮机主要辅助设备、汽轮机的运行等。

本书适合从事国产 600MW 超临界火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读，也可作为电厂生产人员的培训教材，亦可供有关专业人员以及高等院校相关专业师生参考。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机设备及系统/胡念苏主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

(国产 600MW 超临界火力发电机组技术丛书)

ISBN 7-5083-3765-4

I. 汽... II. 胡... 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 148171 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>)

北京同江印刷厂印刷

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 23.5 印张 535 千字 1 插页

印数 0001—3000 册 定价 38.00 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)

# 编 委 会

主 任：那希志

副主任：胡念苏 廖树荣 朱志飞 杨 俊 刘克兴

委 员：(以姓氏笔划为序)

毛慧和 王建梅 刘先斐 刘 勇 朱全利  
陈启卷 陈志和 李正奉 李培元 肖大雏  
肖志怀 张世荣 张恒良 金振齐 周柏青  
周济波 郑桂波 胡念苏 顾 昌 袁立宏  
盛赛斌 喻红梅 蔡 锴 熊立红 樊天竞

# 前 言

火力发电采用大容量和超临界技术是提高发电机组经济性的有效途径,已经被世界先进国家所广泛采用,我国也将超临界机组作为今后一个时期火电机组建设的重点之一,同时加快研究超临界机组制造和运行中的关键技术。随着国民经济的快速发展和人民生活水平的提高,我国电力工业也正在以前所未有的速度发展,目前,一批国产超临界机组已经投产或正在兴建,这标志着我国火力发电设备的制造和运行水平都进入了一个新阶段。

为满足广大技术人员和现场生产人员了解国产600MW超临界火力发电机组的结构、系统、运行等知识的需要,我们组织人员编写了这套《国产600MW超临界火力发电机组技术丛书》。本丛书包括《锅炉设备及系统》、《汽轮机设备及系统》、《电气设备及系统》、《控制设备及系统》、《电厂化学设备及系统》和《燃料运输设备及系统》六个分册。

本丛书可供从事600MW超临界火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修的工程技术人员及管理人员阅读,也可作为现场运行、检修人员的培训教材,也可供高等院校相关专业师生参考。

《汽轮机设备及系统》是本丛书的第二分册。全书详细介绍了我国三大动力集团生产的引进型600MW超临界汽轮机及其热力系统、辅助设备的原理、结构、特性、运行、维护等,内容包括汽轮机本体结构,汽轮机调节与保护系统,汽轮机热力系统,汽轮机的辅助设备,汽轮机的运行等。

本分册由武汉大学胡念苏主编,参加编写的人员有:武汉大学的胡念苏(前言、第一、五、六章)、刘先斐(第二章部分及第三章)、张恒良(第二章)、樊天竞(第四章)、王建梅(第七章),长沙水泵厂的盛轶参加了部分编写工作。

本分册由武汉大学陈汝庆教授担任主审,中南电力设计院的周济波高级工程师担任审稿,他们对本书进行了认真的审阅,提出了很多宝贵的意见和建议,在此谨表示诚挚的谢意。

本分册在编写过程中,参阅了相关电厂、制造厂、设计院、安装单位和高等院校的技术资料、说明书、图纸等,特别在收集资料过程中得到华能沁

北发电有限责任公司、大唐湘潭发电有限责任公司、广东红海湾发电有限公司的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限和编写时间紧迫，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

**编 者**

2005年10月

# 目 录

前言

---

## 第一章 超临界汽轮机设备及系统概况 ..... 1

- 第一节 国内外超临界机组概况 ..... 1
  - 第二节 国产超临界汽轮机技术规范及结构概述 ..... 5
- 

## 第二章 汽轮机本体结构 ..... 22

- 第一节 汽缸及滑销系统 ..... 22
  - 第二节 喷嘴组、隔板和隔板套 ..... 32
  - 第三节 转子 ..... 35
  - 第四节 叶片 ..... 41
  - 第五节 汽封及轴封系统 ..... 52
  - 第六节 轴承、轴承箱及顶轴装置 ..... 66
  - 第七节 盘车装置 ..... 81
  - 第八节 汽轮机本体疏水系统 ..... 86
  - 第九节 润滑油系统 ..... 88
- 

## 第三章 汽轮机调节及保护系统 ..... 96

- 第一节 概述 ..... 96
- 第二节 高中压缸进汽阀门 ..... 99
- 第三节 DEH调节系统 ..... 106
- 第四节 DEH的液压伺服系统 ..... 113
- 第五节 汽轮机的保护系统 ..... 122
- 第六节 高压供油系统 ..... 128
- 第七节 高压供油系统的运行维护 ..... 133
- 第八节 高压油系统的安装及调试 ..... 139

---

<b>第四章 汽轮机热力系统</b> .....	151
第一节 概述 .....	151
第二节 主蒸汽系统 .....	151
第三节 汽轮机旁路系统 .....	156
第四节 回热抽汽系统 .....	161
第五节 主凝结水系统 .....	165
第六节 主给水及除氧系统 .....	170
第七节 加热器的疏水与放气系统 .....	177
第八节 辅助蒸汽系统 .....	181
第九节 汽轮机轴封及门杆蒸汽系统 .....	186
第十节 凝汽器抽真空及其连接管道系统 .....	190
第十一节 循环冷却水系统及工业水系统 .....	193

---

<b>第五章 汽轮机辅助设备</b> .....	203
第一节 凝汽器设备 .....	203
第二节 真空泵组 .....	214
第三节 高压加热器 .....	219
第四节 低压加热器 .....	230
第五节 轴封加热(冷却)器 .....	235
第六节 除氧器 .....	237
第七节 凝结水泵 .....	244
第八节 循环水泵 .....	248
第九节 冷却水塔 .....	257

---

<b>第六章 给水泵组及其驱动汽轮机</b> .....	260
第一节 汽动(主)给水泵前置泵 .....	260
第二节 电动(备用)给水泵前置泵 .....	265
第三节 汽动(主)及电动(备用)给水泵 .....	268
第四节 给水泵液力耦合器 .....	273
第五节 给水泵驱动汽轮机 .....	280

---

<b>第七章 汽轮机的运行和维护</b> .....	306
第一节 汽轮机启停概述 .....	306



第二节	冷态滑参数启动 .....	313
第三节	热态滑参数启动 .....	328
第四节	中压缸启动 .....	334
第五节	汽轮机正常停机 .....	337
第六节	滑参数停机 .....	343
第七节	汽轮机事故停机 .....	345
第八节	汽轮机的正常运行和调整 .....	348
第九节	汽轮机组的试验 .....	361
<b>附录 哈尔滨汽轮机厂 CLN600 - 24.2/566/566 型汽轮机纵剖面图</b> .....		插页
参考文献 .....		368

# 第一章 超临界汽轮机设备及系统概况

作为火力发电的主要动力设备之一，汽轮机、锅炉和发电机一起被称为火电厂的三大主机。汽轮机与其他动力机械相比，具有转速高、单机功率大、效率高、安全可靠等特点。自从1883年，瑞典工程师C.G.P.de拉瓦尔建造了第一台功率为3.67W有实用价值的汽轮机以来，汽轮机经历了120多年的发展历史。一个多世纪以来，汽轮机沿着增大单机功率、提高蒸汽参数、改进材料性能和制造工艺、提高自动化水平的方向发展。其经济性、安全性、可靠性、灵活性以及自动化程度得到了不断地改善。

火力发电采用大容量（300MW以上）和超临界技术是提高汽轮发电机组经济性的有效手段，已经被世界上先进国家所广泛采用。与同容量亚临界火电机组比较，超临界机组可提高效率2%~2.5%，超超临界机组可提高效率约5%。世界许多先进国家超临界机组的发电量已占火力发电的40%~60%。我国目前投入运行的超临界机组已有20多台，国家相关部门已确定超临界机组为今后一个时期火电机组建设的重点之一，同时加快研究超临界机组制造、运行中的关键技术。随着国民经济的快速发展和人民生活水平的提高，我国电力工业也正在以前所未有的速度发展，一批国产超临界机组已经投产或正在兴建。这标志着我国火力发电设备的制造和运行水平都进入了一个新阶段。

## 第一节 国内外超临界机组概况

### 一、国外超临界机组发展概况

国外第一台超临界机组投运至今，已有近40年的历史，目前超临界机组最大单机容量为1300MW，在美国、日本及俄罗斯，超临界机组已占到火电机组容量的50%以上。经过长期的研究与实践，超临界机组技术有了很大的发展。

美国是世界上发展超临界压力火电机组最早的国家，于1957年投运的第一台125MW超临界机组的参数为31MPa/621℃/566℃/560℃，1959年投运的埃迪斯顿电厂1号机容量为325MW，新蒸汽参数为34.5MPa/650/566/566℃（后降为31MPa/610/560/560℃），是迄今最高参数的超超临界机组。到60年代中期，新增机组中有一半采用超临界参数，但到70年代订货台数急剧下降。根据EPRI的一份调查报告认为，这一下降的原因是多方面

的, 当时美国缺乏超临界机组调峰运行的经验, 最重要的是核电站担负起了基本负荷, 因而对带基本负荷的超临界机组的需求量出现了下降, 在采用超临界参数方面出现了反复。尽管如此, 从宏观上看美国在 1967~1976 年的 10 年期间, 共安装 118 台超临界机组, 单机最大容量为 1300MW, 到 80 年代初, 超临界机组仍增至 170 余台, 占燃煤机组的 70% 以上, 占总装机容量的 25.22%, 其中单机容量介于 500~800MW 者占 60%~70%, 至 1994 年共安装和投运了 9 台世界上容量最大的 1300MW 超临界机组。美国部分 800MW 以上超临界机组概况见表 1-1。

表 1-1 美国 800MW 以上部分超临界机组概况

序号	项 目	机组容量	制 造	投产日期
1	Bull Run Station 1 号	900	锅炉: CE	1965.7
2	Keystone	2 × 900	锅炉: CE	1967, 1968
3	AEP 公司	5 × 835	锅炉: FW	1969, 1972
4	Paradies 3 号	1150	锅炉: B&W	1969
5	Conemaugh	2 × 900	锅炉: CE	1970, 1971
6	Amos (阿摩斯) 电厂 3 号	1300	锅炉: B&W	1973
7	Comberland (肯勃兰) 电厂	2 × 1300	锅炉: B&W	1973
8	Belows Creek 电厂	2 × 1140	锅炉: B&W	1974, 1975
9	Mountaineer (蒙坦尼亚) 电厂	2 × 1300	锅炉: B&W 汽轮机: 瑞士 BBC	1980, 1989
10	Gavin (加纹) 电厂	2 × 1300	锅炉: B&W	1989
11	洛克港电厂	2 × 1300	锅炉: B&W	1989
12	Zimmer 电厂 1 号	1300	锅炉: B&W	1991

发展超临界机组对于日本具有特别的意义, 因为日本经济发展快, 电力负荷增长迅速, 而日本能源贫乏, 自给率仅有 10%, 发展超临界机组可以大大节省能源消耗, 并提供大量的电力, 完全符合日本国情。1967 年日本引进投运了第一台超临界机组, 1979 年后日本新投运的机组几乎都是超临界机组, 至 1986 年, 超临界总共装机 73 台, 占机组总台数的 30%, 占总装机容量的 51%。

日本主要有日立、东芝和三菱三家公司生产超临界汽轮机, 日立和东芝是美国 GE 技术, 生产冲动式汽轮机; 三菱是美国 WH 技术, 生产反动式汽轮机。

日本发展超临界机组的技术路线值得分析和借鉴。1967 年投运的第一台超临界机组是从美国 GE 公司进口的, 装在东京电力公司女市崎电厂 (1 号机), 参数为 600MW 246MPa/538/566℃。1965 年东芝开始引进超临界机组制造技术, 并作了充分的技术储备, 于 1969 年仿制成功相同型号的 600MW 超临界机组, 也装在女市崎电厂 (2 号机)。国产化和改进型自制 600MW 超临界机组紧接着于 1971 年投运, 仍装在女市崎电厂 (3 号机), 6 年中跨了三大步, 起点高, 速度快, 质量好, 完成了超临界机组的设计、制造, 运行的能力考核, 为进一步大规模发展超临界机组铺平了道路。

原苏联也是世界上拥有超临界机组最多的国家, 政府非常重视低煤耗的超临界机组的

开发, 1963 年苏联投入第一台 300MW 超临界机组, 其热耗率比超高压的 200MW 机组降低了 5.2%。这一成功促使苏联决定, 300MW 以上的机组全部采用超临界参数。1965 年苏联超临界机组容量只占火电机组总装机容量的 7.5%, 到 1985 年容量比例就上升到 50.5%, 总容量达 55800MW; 2001 年总容量达到 79300MW。前苏联 300MW 机组在 70 年代中期的可用率已达 86.4%, 1984 年雷夫提恩电厂的 300MW 机组的年平均利用小时达 7043h。

前苏联主要有两家汽轮机厂生产超临界汽轮机组, JIM3 和 XTT3 工厂, 品种包括 300MW, 500MW, 800MW 和 1200MW 汽轮机。前苏联及俄罗斯 800MW 以上部分超临界机组概况见表 1-2。

表 1-2 前苏联及俄罗斯 800MW 以上部分超临界机组概况

序号	项目	机组容量 (MW)	制造	投产日期
1	斯拉维斯克电厂	800	塔干罗格锅炉厂	1967
2	乌格列奇尔斯克电站	800	塔干罗格锅炉厂	1975
3	波尔姆斯克电站	800	塔干罗格锅炉厂	—
4	别尔佐夫第一电站	800	波多尔斯克锅炉厂	—
5	扎波罗热火电厂二期	3×800	—	1977
6	科斯特罗姆电厂 9 号机组	1200	塔干罗格锅炉厂 列宁格勒金属工厂	1983

## 二、国内超临界机组概况

我国第一台采用的超临界机组为上海石洞口电厂 1992 年投运的 600MW 机组 (见表 1-3), 其参数为高压主汽门前蒸汽压力 24.2MPa, 温度 538℃, 中压主汽门前蒸汽温度 566℃。该机组的汽轮机系 ABB 公司制造的 D54 型单轴四缸四排汽一次中间再热反动凝汽式超临界汽轮机。其最大连续功率 (T-MCR) 为 628.4MW, 末级叶片长度 867mm。各缸级数与型式分别为: 高压缸有 1 级冲动式调节级 + 21 级反动级, 焊接式转子, 内、外铸造式汽缸; 中压缸有 2×17 级反动级, 焊接式转子, 内、外铸造式汽缸; 低压缸有 2×2×5 级反动级, 焊接式转子, 外缸为钢板焊接式, 内缸为钢板组装式; 8 级抽汽回热 (三高、四低、一除氧)。目前, 该机组已运行十余年, 运行状况良好。

此后, 我国相继进口了前苏联 300MW、500MW 和 800MW 超临界机组, 分别于上世纪九十年代在伊敏电厂、蓟县电厂、盘山电厂、绥中电厂投入运行。1999~2004 年先后在福建后石电厂投运了日本三菱公司的 6 台 600MW 超临界机组; 2004 年在外高桥电厂投运了进口的 900MW 超临界机组 (见表 1-3)。

表 1-3 我国已投运超临界机组概况 (截至 2005 年 5 月)

序号	项目	机组容量 (MW)	制造厂	投产日期
1	石洞口二厂	2×600	锅炉: 美国 GE, 瑞士 Sulzer 汽轮机 ABB	1992.6, 1992.12
2	华能南京电厂	2×300	俄罗斯	1994.1, 1992.3

续表

序号	项 目	机组容量 (MW)	制 造 厂	投产日期
3	天津盘山电厂	2×500	俄罗斯	1996
4	内蒙伊敏电厂	2×500	俄罗斯	1998.4, 1999.8
5	福建后石电厂	6×600	三菱	1999.12, 2000.7, 2001.10 2002.11, 2003.12, 2004.7
6	辽宁绥中电厂	2×800	俄罗斯	2000.1, 2001.6
7	外高桥电厂	2×900	锅炉: ALSTON 汽轮机: SIEMENS	2004.4, 2004.92
8	华能沁北电厂	2×600	锅炉: 国产, 东方锅炉厂 汽轮机: 国产, 哈尔滨汽轮机厂	2004.11, 2004.12
9	华润常熟第二电 厂1号机组	600	锅炉: 国产, 东方锅炉厂 汽轮机: 国产, 东方汽轮机厂	2005.3

我国在“九五”期间将600MW超临界机组国产化确定为9项重大装备国产化项目之一, 该项目在河南华能沁北电厂的实施, 为我国自主开发更高等级机组打下基础。2004年11月23日和12月13日, 该项目的两台国产600MW超临界机组分别通过168h试运行, 正式投产发电。至此, 作为我国600MW超临界燃煤机组国产化依托项目的华能沁北电厂一期工程全部竣工, 这标志着我国火力发电设备制造和电力工业装备水平迈上新台阶。对于提高我国重大装备国产化水平, 推动电力工业结构调整, 带动国民经济增长具有深远意义。

### 三、超临界汽轮机使用材料的特点

超临界汽轮机由于主蒸汽参数及再热蒸汽参数的提高, 特别是温度的提高, 一些亚临界机组使用的材料, 已不能适应超临界汽轮机的工作状况, 因此, 超临界机组汽轮机在选材问题上必须给予高度重视。

表1-4中反映了哈尔滨汽轮机厂超临界600MW汽轮机用材与亚临界汽轮机的不同。主汽调节阀壳体和主蒸汽管采用9%Cr锻钢, 以适应主蒸汽温度和压力变化的要求。同时, 主汽调节阀壳体和主蒸汽管采用同种材质, 可避免现场异种钢焊接, 有利施工。

低压缸进汽温度由亚临界的320℃升至370℃, 亚临界使用的普通30Cr2Ni4MoV转子材料的长期时效脆性敏感性高, 不能满足长期安全运行的要求。因此采用超纯30Cr2Ni4MoV转子材料, 由于磷、硫等杂质的含量少, 因此降低了材料的长期时效脆性敏感性, 使超临界的低压转子能够长期安全运行。

表 1-4 超临界汽轮机与亚临界汽轮机采用的材料对照表

名 称	超 临 界 用 材	亚 临 界 用 材
高中压转子	10325AB (30Cr1Mo1V)	30Cr1Mo1V
喷嘴	火 SFVAF28	1Cr12Mo
动叶片	MTB10A 12Cr% 10705MBU 10705BU ( 2Cr12NiMo1W1V ) 10705BA (1Cr12Mo)	2Cr12NiMo1W1V 1Cr12Mo

续表

名称	超临界用材	亚临界用材
静叶片	HCM9M 9Cr% 10705BA (1Cr12Mo)	1Cr12Mo
高中压外缸	10315BR (ZG15Cr2Mo1)	ZG15Cr1MoA
高中压内缸	MJC12 12Cr%	ZG15Cr1MoA
喷嘴室	MJC12 12Cr%	1Cr12Mo
汽缸用的螺栓	MTB10A 12Cr% 10705MBU	20Cr1Mo1VTiB
	10705BU (2Cr12NiMo1W1V) 20Cr1Mo1VTiB	25Cr2MoV
高压主汽调节阀壳	火 SFVAF28 9Cr%	ZG15Cr2Mo1
高压主汽调节阀用螺栓	M-8B (R-26)	20Cr1Mo1VTiB
再热主汽调节阀壳	10315BR (ZG15Cr2Mo1)	ZG15Cr2Mo1
再热主汽调节阀用螺栓	ZG15Cr2Mo1	20Cr1Mo1VTiB
高压导汽管	ASME SA-335 P91	12Cr2Mo1
中压导汽管	ASTM A387 GR22 CL1	12Cr2Mo1
低压转子	超纯 30Cr2Ni4MoV	普通 30Cr2Ni4MoV

## 第二节 国产超临界汽轮机技术规范及结构概述

### 一、哈尔滨汽轮机厂 CLN600-24.2/566/566 型汽轮机

哈尔滨汽轮机厂有限责任公司(以下简称哈汽)与世界上著名的日本三菱公司联合设计和合作制造的超临界机组,为我国火电厂首次采用的国产超临界机组。

该汽轮机为 CLN600-24.2/566/566 型超临界参数、一次中间再热、单轴、三缸、四排汽反动式汽轮机。汽轮机采用了当今世界上最先进的技术,使机组具有良好安全性、经济性和可靠性。同时具有良好的调峰性能,适用于中型电网承担基本负荷,更适合在大型电网中承担调峰负荷和基本负荷。即使在我国南方夏季水温条件下也能满发 600MW。

该汽轮机高中压合缸积木块采用三菱公司的成熟技术、低压缸积木块以哈汽公司成熟的全三维设计亚临界 600MW 汽轮机技术为基础与三菱公司共同进行改进设计,以适应三菱公司的 1029mm 末级叶片。除此之外,该汽轮机还具有如下特点:

(1) 汽轮机的静、动叶片采用了新一代“后加载”高效叶型,扭曲或弯扭成型结构,末级静叶采用前斥结构,它反映了当今世界上汽轮机技术的发展趋势。加上全三维设计体系,使得叶栅气动性能较传统设计有很大的改善。

(2) 为减少汽轮机级间漏汽,高、中压动叶采用了叶顶密封式弹性汽封、低压末级汽封等结构,这些改进取得明显的效果。

(3) 汽轮机采用了新的隔板和静叶结构以及枫树型叶根,提高了叶片的可靠性。

(4) 为降低轴瓦金属温度,汽轮机的 7 号轴承采用下半二瓦块可倾瓦代替原设计短圆瓦轴承,该项技术在投运的 600MW 机组上已取得验证。

哈汽 CLN600-24.2/566/566 型汽轮机的主要技术特性参数见表 1-5,其纵剖面图见

本书附录。

表 1-5 哈汽 CLN600-24.2/566/566 型汽轮机主要技术特性参数

项 目		单 位	数 据
机组型式			超临界一次再热三缸四排汽单轴凝汽式
汽轮机型号			CLN600-24.2/566/566
输出功率 (THA 工况)		MW	600
功率 (铭牌 TRL/最大连续 T-MCR)		MW	600/638.5
主蒸汽压力		MPa	24.2
额定温度 (主蒸汽/再热蒸汽)		℃	566/566
额定高压缸排汽口压力		MPa (a)	4.23
额定高压缸排汽口温度		℃	308.1
额定进汽量 (主蒸汽/再热蒸汽)		t/h	1662.63/1415.73
额定排汽压力/最高允许背压值		kPa (a)	4.9/<20.3
配汽方式			单阀或顺序阀
设计冷却水温度		℃	20.5
额定给水温度 (TRL)		℃	284
额定转速		r/min	3000
热耗率 (THA)		kJ/(kW·h)	7522 (1796.5 kcal/kW·h)
给水回热级数 (高加+除氧+低加)			8 (3+1+4)
低压末级叶片长度		mm	1029
汽轮机总内效率		%	91.07
缸效率 (高压缸/中压缸/低压缸)		%	87.56/93.97/91.48
通流级数 (高压缸/中压缸/低压缸)		级	1+9/6/4×7
临 界 转 速	高中压转子 (轴系/轴段)	r/min	一阶 1630/1610, 二阶 3920/3830
	低压转子 I (轴系/轴段)	r/min	一阶 1637/1618, 二阶 3618/3550
	低压转子 II (轴系/轴段)	r/min	一阶 1658/1616, 二阶 3864/3544
	发电机转子 (轴系/轴段)	r/min	一阶 792/-, 二阶 2249/-
机组轴系扭振频率		Hz	f1: 11.4 f2: 20.2 f3: 22 f4: 90.8 f5: 91.4 f6: 111 f7: 111.1
机组外型尺寸 (长×宽×高)		m	27.1×9.87×6.17
运行层标高/最大起吊高度		m	13.7/12232
寿 命 消 耗	冷态启动	%/次	0.012
	温态启动	%/次	0.006
	热态启动	%/次	0.002
	极热态启动	%/次	<0.001
	负荷阶跃 >10% 额定负荷 (THA)	%/次	<0.001
启动方式			高中压缸联合启动
变压运行负荷范围		%	30~95
定压、变压负荷变化率		%/min	1) 在 50%~100%TMCR 负荷范围内不小于 5 2) 在 30%~50%TMCR 负荷范围内不小于 3 3) 30% 额定负荷 (THA) 以下不小于 2

续表

项 目	单 位	数 据
轴颈振动两个方向最大值	mm	0.05
临界转速时轴振动最大值	mm	0.15
最高允许排汽温度	℃	< 121
噪声水平	DB (A)	< 85
盘车油泵型式		立式、离心式
盘车速度	r/min	3.35
汽轮机本体重量	t	1118
阀门重量 (主汽门、调节汽阀、中压联合汽门)	t	$2 \times 4.2 + 4 \times 4.8 + 2 \times 2.1 + 4 \times 2.5 = 41.8$

## 二、东方汽轮机厂 N600 - 24.2/566/566 型汽轮机

东方汽轮机厂 (以下简称东汽) 与日立公司具有相同的设计技术体系, 即采用美国 GE 公司的冲动式技术, 其东汽 N600 - 24.2/566/566 型超临界汽轮机采用日立公司所具有的当代国际上最先进的通流优化技术及汽缸优化技术, 使机组经济性、可靠性得到进一步提高。

### 1. 东汽 N600 - 24.2/566/566 型汽轮机的设计思想

与亚临界 600MW 机组相比, 由于高压及中压部分进汽压力、温度的升高, 在材料、结构及冷却上均采取相应措施。如高温动叶材料采用了 Cr - Mo - V - Nb; 高压部分汽缸采用 Cr - Mo - V 钢, 该材料具有优良的高温性能。

结构上, 该汽轮机保证内缸的最大工作压力为喷嘴后的压力与高排压差, 外缸最大工作压力为高排压力与大气压之差, 可有效的降低汽缸的工作压力, 同时进口及遮热环的布置保证汽缸有一个合理的温度梯度, 以控制它的温度应力, 保证寿命损耗在要求的范围内。中压部分除中间汽封漏汽冷却高中压转子中间汽封段以外, 还从高压第 3 级后引汽冷却中压第 1 级叶轮轮面及轮缘, 大大提高了中压第 1 级的可靠性; 阀门采用经过实验研究及实际验证的高效低损、低噪声高稳定性的阀座和阀碟型线及合理的卸载防漏结构。

该汽轮机广泛采用当代通流设计领域中最先进的全三元可控涡设计技术, 高中压静叶型线采用高效的后加载层流叶型 (SCH), 动叶采用型损、攻角损失更小的高负荷叶型 (HV); 低叶静叶采用高负荷静叶型线 (CUC), 低压动叶采用成熟的 40" 低压积木块。在采用以上通流核心技术的同时, 对焓降、动静叶匹配进行优化, 在高压缸部分级采用分流叶栅, 叶顶采用多齿汽封, 对连通管以及高中低排汽涡壳根据实验以及流体计算结果进行优化设计。

该机组为冲动式汽轮机, 冲动式机组的转子由于采用轮盘式结构, 启动过程中转子的热应力相对较小, 同时高中压合缸使得汽缸及转子温度基本上同步升高, 保证了机组的顺利膨胀, 为启动的灵活性奠定了基础。同时启动过程中采用先进的复合配汽方式, 降低了启动过程中热应力的产生, 保证了机组具有快速、安全、灵活、经济的启动性能。



## 2. 东汽 N600 - 24.2/566/566 型汽轮机的主要技术特点

该汽轮机在结构上具有一系列的特点, 主要表现在如下几个方面:

(1) 动叶和喷嘴的设计。东汽 - 日立汽轮机为冲动式, 其特点是具有低的故障率、高的可靠性及高的经济性。级的设计可以使平均反动度由高压级到低压级、由叶根至叶顶逐渐增加, 从而获得最高的效率。

(2) 高中压合缸。高压缸和中压缸被布置在同一个外缸之内, 呈反向流动, 这样可以减少轴承和轴封数量, 缩短汽轮机的跨度, 也能更好地平衡推力, 同时由于温度变化更平滑, 也减少了热应力。

(3) 高温部件的中心线支承。中心线支承使汽缸及其他静子部件保持一致的热膨胀, 从而避免变形和不对中, 并保持适当的汽封间隙。

(4) 末级叶片的固定。末级长叶片采用叉形叶根, 其特点是具有相当高的强度以抵抗离心力和蒸汽弯应力。叉形叶根的动叶在长叶片中具有很高的可靠性。

(5) 高效的叶型(平衡动叶)。利用超级计算机系统对复杂的可压缩流场进行计算, 开发出平衡动叶, 从而使通流设计应用更高效的先进的叶片型线。

(6) 多齿汽封。围带采用阶梯式的沉头铆钉, 叶顶汽封采用两个高齿和两个低齿, 形成迷宫效果以减小叶顶漏汽。

(7) 椭圆汽封。考虑到汽缸热变形主要在垂直方向上的, 椭圆汽封间隙在上下方向的间隙较大, 而两侧间隙相对较小。这样, 由于摩擦引起的转子振动发生的可能性就大大减小。

(8) 扩压型排汽缸。减小末级叶片出口至冷凝器入口的压降可减少排汽损失, 扩压型排汽缸内的导流锥对平滑流道是非常有效的。

## 3. 东汽 N600 - 24.2/566/566 型汽轮机的技术参数

东汽生产的 N600 - 24.2/566/566 型汽轮机的主要技术特性参数见表 1 - 6。

表 1 - 6 东汽 N600 - 24.2/566/566 型汽轮机主要技术特性参数

名 称	单 位	数 值
型式		超临界、一次中间再热、冲动式、单轴、三缸四排汽凝汽式
转速	r/min	3000
铭牌功率	MW	600
主汽门前额定压力	MPa (a)	24.2
主汽门前额定温度	℃	566
中压联合汽门前额定压力	MPa (a)	4.289
中压联合汽门前额定温度	℃	566
给水温度 (TRL 工况)	℃	287.7
转向		逆时针 (从汽轮机向发电机看)
抽汽级数	级	8
汽轮机允许最高背压值	kPa (a)	< 25.3
冷态启动从空负荷到满负荷所需时间	min	173