

# 超超临界 1000MW火力发电厂 热机设计技术

■ 杨小华 罗必雄 霍沛强 范永春 编著

CHAOCHAO LINJIE 1000MW

HUOLI FADIANCHANG REJI SHEJI JISHU



中国电力出版社  
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

# 超超临界 1000MW火力发电厂 热机设计技术

■ 杨小华 罗必雄 霍沛强 范永春 编著

CHAOCHAO LINJIE 1000MW

HUOLI FADIANCHANG REJI SHEJI JISHU



 中国地质大学出版社  
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

## 图书在版编目 (CIP) 数据

超超临界 1000MW 火力发电厂热机设计技术/杨小华, 罗必雄, 霍沛强, 范永春编著. —武汉: 中国地质大学出版社, 2008.10

ISBN 978-7-5625-2289-8

I. 超…

II. ①杨…②罗…③霍…④范…

III. 火电厂-热机-设计

IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 138434 号

**超超临界 1000MW 火力发电厂热机设计技术**      杨小华 罗必雄 霍沛强 范永春 编著

责任编辑: 刘桂涛

责任校对: 林 泉

出版发行: 中国地质大学出版社 (武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码: 430074

电 话: (027) 67883511 传真: 67883580

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16

字数: 364 千字 印张: 14.25

版次: 2008 年 10 月第 1 版

印次: 2008 年 10 月第 1 次印刷

印刷: 荆州市鸿盛印务有限公司

印数: 1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-2289-8

定价: 88.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

# 前 言

按照国家“863计划”的规划，我国火力发电技术要在21世纪初达到国际先进水平。通过以工程为依托，引进国际先进技术，结合自主研发，促进国内电力行业设备技术更新，同时希望建成一批能耗低、排放少、技术先进的高效火力发电电厂，以实现电力行业节能、降耗、减排的目标。从华能玉环电厂1000MW机组的建设开始，我国电力行业便进入了大容量、高参数的快速发展时期。而超超临界1000MW国产机组的建成和设备国产化水平的快速提高，标志着我国电力行业的设计和制造水平迅速达到国际最先进水平。

为了控制工程造价，提高国产化率，同时也为了新建的1000MW机组的设计能更好地结合国情，1000MW机组火力发电厂的设计并没有同时从国外引进，而是通过国内骨干设计院自行研究。

广东省电力设计研究院（GEDI）在华能玉环电厂立项之初便瞄准1000MW机组这项有广阔前景的先进技术，针对设计方面的技术要点建立大量的研究课题。为了提高自身的技术水平和验证研究课题的成果，GEDI又在2005年聘请日本东京电力设计株式会社担任技术咨询，并派出多批技术骨干到国外学习。

通过国外学习，GEDI技术人员开阔了眼界，提高了设计水平，同时也认识到国外设计方案与设备制造水平、环保法规、人员成本等各方面与我国国情的差异。如果盲目地照搬国外经验，必将造成许多设备要采用进口产品、工程造价提高和建设周期延长的后果，而且会制约我国超超临界1000MW火力发电机组的国产化水平，因此GEDI在消化国外技术后，根据国情坚持自主创新，按照工程实际情况拟定方案，GEDI的设计技术已经完全摆脱对国外的技术依赖。

本书编者长期从事电力设计工作，并且亲身经历了GEDI引进国外技术到自主方案设计的全过程，主持了GEDI全部1000MW机组工程方案拟定到初步设计方案审查各阶段的设计，对1000MW机组工程的新方案、新技术有很深的经验和认识。目前，国内尚没有针对1000MW机组的规程、规范，希望通过本书与国内设计同行相互交流，积累设计经验，共同进步，为进一步提高我国1000MW火力发电机组的技术水平作出贡献。

# 目 录

<b>1 国内外 1000MW 机组发展</b> .....	(1)
1.1 国外发展状况 .....	(1)
1.2 国内超超临界机组发展的必要性 .....	(4)
<b>2 国产主机技术特点</b> .....	(7)
2.1 超超临界 1000MW 锅炉技术特点 .....	(8)
2.1.1 上海锅炉厂有限公司技术概况 .....	(8)
2.1.2 东方锅炉(集团)股份有限公司技术概况 .....	(11)
2.1.3 哈尔滨锅炉厂有限责任公司技术概况 .....	(12)
2.1.4 北京巴布科克·威尔科克斯有限公司技术概况 .....	(12)
2.1.5 国产锅炉技术要点 .....	(13)
2.2 国产汽轮机技术特点 .....	(22)
2.2.1 上海汽轮机有限公司技术概况 .....	(22)
2.2.2 东方汽轮机厂技术概况 .....	(23)
2.2.3 哈尔滨汽轮机厂技术概况 .....	(24)
2.2.4 汽轮机设计特点 .....	(25)
<b>3 燃烧制粉系统拟定及辅机选型</b> .....	(37)
3.1 锅炉本体燃烧系统 .....	(37)
3.1.1 上锅燃烧器技术特点 .....	(38)
3.1.2 东锅燃烧器技术特点 .....	(40)
3.1.3 哈锅燃烧器技术特点 .....	(40)
3.1.4 北京 B&W 燃烧器技术特点 .....	(41)
3.2 烟风系统 .....	(42)
3.2.1 过剩空气系数选取 .....	(43)
3.2.2 空预器进风加热系统的优化 .....	(43)
3.2.3 脱硫系统旁路 .....	(44)
3.3 制粉系统 .....	(45)
3.3.1 系统的主要型式和选择 .....	(45)
3.3.2 磨煤机型式选择 .....	(46)

3.3.3	每台锅炉配置磨煤机数量	(48)
3.3.4	制粉系统主要参数选取	(49)
3.3.5	制粉系统防爆措施	(51)
3.4	燃烧制粉系统辅机选型	(52)
3.4.1	磨煤机	(53)
3.4.2	给煤机	(58)
3.4.3	一次风机、送风机与引风机	(59)
3.4.4	静电除尘器	(61)
<b>4</b>	<b>热力系统拟定及辅机选型</b>	<b>(63)</b>
4.1	主蒸汽、再热蒸汽系统	(63)
4.2	汽轮机旁路系统	(65)
4.2.1	汽轮机旁路系统的功能	(65)
4.2.3	汽轮机旁路系统选型原则	(68)
4.2.4	大容量超超临界机组旁路设置情况	(69)
4.2.5	旁路系统型式及功能确定	(70)
4.3	抽汽系统	(76)
4.4	给水系统	(77)
4.4.1	除氧器	(78)
4.4.2	给水泵	(79)
4.4.3	给水泵汽轮机	(87)
4.4.4	高压加热器及其旁路的选择	(92)
4.4.5	给水系统拟定和设计参数确定	(96)
4.4.6	给水系统结论	(97)
4.5	凝结水系统	(98)
4.5.1	凝汽器	(99)
4.5.2	凝结水泵	(102)
4.5.3	低压加热器	(106)
4.5.4	除氧器	(106)
4.6	加热器疏水及放气系统	(109)
4.7	辅助蒸汽系统	(110)
4.8	抽真空系统	(110)
4.8.1	水环式真空泵结构	(112)
4.8.2	水环式真空泵的选择	(113)

4.9	轴封汽系统 .....	(114)
4.10	锅炉启动系统 .....	(114)
4.10.1	启动系统的技术性比较 .....	(115)
4.10.2	启动系统的经济性比较 .....	(116)
4.10.3	结 论 .....	(117)
<b>5</b>	<b>辅助及附属设施 .....</b>	<b>(118)</b>
5.1	压缩空气系统 .....	(118)
5.1.1	压缩空气系统的合并和优化 .....	(118)
5.1.2	空气压缩机选型 .....	(120)
5.2	防腐油漆设计 .....	(122)
5.2.1	钢结构防腐方案 .....	(123)
5.2.2	辅机设备防腐方案 .....	(124)
5.2.3	管道材料防腐方案 .....	(124)
5.3	涂装的工艺要求 .....	(125)
<b>6</b>	<b>超超临界机组管材选择 .....</b>	<b>(126)</b>
6.1	概述 .....	(126)
6.2	四大管道设计参数的确定 .....	(126)
6.2.1	主蒸汽、再热蒸汽管道 .....	(127)
6.2.2	汽轮机旁路管道 .....	(128)
6.2.3	高压给水管道 .....	(128)
6.3	四大管道材料的选择 .....	(129)
6.3.1	给水管道 .....	(129)
6.3.2	低温再热蒸汽管道 .....	(129)
6.3.3	主蒸汽和高温再热蒸汽管道 .....	(130)
6.4	P92 材料许用应力数据选取存在的问题 .....	(139)
6.5	四大管道工厂化配管和管道支吊安装 .....	(140)
6.5.1	焊接工艺 .....	(140)
6.5.2	支吊架材料选择 .....	(141)
6.5.3	管件订货 .....	(142)
6.6	四大管道动态分析计算研究 .....	(142)
6.6.1	四大管道动态分析的必要性 .....	(142)
6.6.2	管道动态分析的内容 .....	(143)
6.6.3	四大管道上的动态力类型 .....	(144)

6.6.4	各种动态力的计算理论和规范 .....	(146)
6.6.5	管系对动态力的响应的计算方法及采用的计算工具 .....	(150)
6.6.6	超临界机组四大管道动态分析计算的成果 .....	(154)
6.6.7	结论 .....	(157)
<b>7</b>	<b>节能与节油技术 .....</b>	<b>(158)</b>
7.1	节能技术措施 .....	(158)
7.1.1	主机参数选择 .....	(158)
7.1.2	降低汽轮机房运转层标高 .....	(159)
7.1.3	凝结水泵采用变频调速泵 .....	(159)
7.1.4	开式冷却水系统 .....	(160)
7.2	节油技术措施 .....	(160)
7.2.1	点火助燃油系统现状 .....	(160)
7.2.2	选择适当的油枪出力 .....	(161)
7.2.3	设置节油点火系统 .....	(163)
<b>8</b>	<b>主厂房布置特点 .....</b>	<b>(165)</b>
8.1	主厂房优化的必要性及采取的技术措施 .....	(165)
8.1.1	国内火力发电厂主厂房设计现状 .....	(165)
8.1.2	现有主厂房设计规范的局限性 .....	(165)
8.1.3	主厂房布置优化主要原则 .....	(165)
8.1.4	主厂房布置优化辅助手段 .....	(166)
8.1.5	主厂房布置优化范围 .....	(166)
8.2	主厂房优化设计输入条件 .....	(166)
8.2.1	汽轮机机型 .....	(166)
8.2.2	锅炉炉型 .....	(167)
8.2.3	高压加热器 .....	(167)
8.2.4	除氧器 .....	(168)
8.2.5	给水泵 .....	(169)
8.2.6	凝结水泵 .....	(170)
8.2.7	磨煤机 .....	(170)
8.2.8	除尘器 .....	(171)
8.2.9	三大风机 .....	(171)
8.2.10	主厂房模块划分 .....	(171)
8.3	汽机房布置方案 .....	(171)



8.3.1	汽机房长度 .....	(171)
8.3.2	汽机房跨度 .....	(173)
8.3.3	汽机房运转层标高 .....	(174)
8.4	除氧间布置方案 .....	(189)
8.5	煤仓间布置方案 .....	(190)
8.5.1	侧煤仓布置 .....	(191)
8.5.2	炉前顺列煤仓布置 .....	(192)
8.5.3	设备选型对煤仓间布置影响 .....	(193)
8.6	锅炉房布置方案 .....	(193)
8.7	炉后辅机设备布置方案 .....	(194)
8.7.1	送风机与一次风机布置方式 .....	(194)
8.7.2	除尘器入口烟道布置的优化 .....	(195)
8.7.3	引风机布置及其烟道布置的优化 .....	(197)
8.8	脱硫系统布置方案 .....	(198)
8.9	主厂房整体组合方案评述 .....	(198)
<b>9</b>	<b>进一步探讨的问题 .....</b>	<b>(202)</b>
9.1	炉内受热面金属材料选择 .....	(202)
9.1.1	国内常用的炉内受热面材料 .....	(203)
9.1.2	超超临界锅炉高温受热面材料选用 .....	(205)
9.1.3	需探讨的问题 .....	(207)
9.2	增压风机配置探讨 .....	(209)
9.2.1	增压风机概况 .....	(209)
9.2.2	各种增压风机方案对比 .....	(210)
9.2.3	方案推荐与问题探讨 .....	(212)
9.3	预留或同步建设脱硝空预器设计优化 .....	(213)
9.3.1	脱硝工艺中的主要化学反应 .....	(213)
9.3.2	烟气脱硝对空气预热器的主要影响 .....	(213)
9.3.3	空预器的设计优化 .....	(214)
9.3.4	需要探讨的问题 .....	(216)
	<b>参考文献 .....</b>	<b>(217)</b>

# 1 国内外 1000MW 机组发展

在工程热力学中,水在临界状态点的参数是:压力 22.115MPa,温度 374.15℃。在临界点以及超临界状态时,将看不见蒸发现象,水在保持单相的情况下从液态直接变成气态。当水蒸气参数大于这个临界点的参数值,则称其为超临界参数。从物理意义上讲,水的物性只有超临界和亚临界之分。发电厂蒸汽动力装置中汽轮机比较典型的超临界参数为 24.2MPa/566℃/566℃(或 566/566℃)。有一种观点认为,温度 566℃事实上一直是超临界参数的准则,任何超临界新气温度或再热气温度超过这一数值时则被划为超超临界参数范畴,或者称为提高参数的超临界机组。在国外的技术资料中,Ultra Super Critical(USC)通常用来代表这类参数的机组,中文译成超超临界,也可理解为优化的或高效的超临界机组。

在 20 世纪 50 年代,美国首先投运了两台超超临界参数的机组,即 1957 年投运的 Philo #6(容量 125MW、参数 31.0MPa/621℃/566℃/538℃)和 1958 年投运的 Eddystone #1(容量 325MW、参数 34.3MPa/649℃/566℃/566℃,后因材质问题参数降为 31.0MPa/610℃/577℃/577℃运行)。从这两台机组算起,超超临界机组已有了 50 余年的历史,积累了丰富的设计、制造及运行经验。

## 1.1 国外发展状况

随着材料与关键技术的成熟,目前 1000MW 级初压为 24.1~31.0MPa、温度 580~600℃ 等级一次再热的超超临界机组的设计、制造和运行技术已经成熟,其可用率可以说与亚临界机组不分上下。现阶段的发展主要是集中在日本和欧洲。

### (1) 日本超超临界机组发展概况

日本发展超临界机组起步较晚,但发展速度很快,收效显著。日本对超超临界火电机组的研究始于 20 世纪 80 年代初,由于借鉴了欧美国家的成功经验及失败教训,走了一条引进、消化、模仿、材料研究优先的路子,取得了巨大的成功。在 1967 年从美国引进第一台超临界机组,对其技术等方面进行消化吸收及工业化试验的基础上,于 1989 年和 1991 年投运了两台容量为 700MW、参数为 31MPa/566℃/566℃/566℃ 的超超临界机组,机组运行可靠性及灵活性较好。目前在日

本,450MW 以上的机组全部采用超临界参数;从 1993 年以后已把蒸汽温度提高到 566℃/593℃以上,一次再热,即全部采用了所谓的超超临界技术(USC)。2000 年在橘湾电厂( #2)投运的容量为 1050MW、蒸汽参数为 25.5MPa/600℃/610℃的超超临界机组是目前日本蒸汽温度参数最高的机组。2003 年投运的常陆那珂(Hifachinaka) #1(蒸汽参数为 24.5MPa/600℃/600℃)净效率达到 43.1%以上。日本近年来投产的超超临界机组项目见表 1-1。

表 1-1 日本主要超超临界机组

机 组	出力 (MW)	燃料	蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (℃)	投入运行 (年份)
碧南 #3	700	煤	24.1	538/593	1993
能代 #2	600	煤	24.1	566/593	1994
七尾太田 #1	500	煤	24.1	566/593	1995
七尾太田 #2	700	煤	24.1	566/593	1998
原町 #1	1000	煤	24.5	566/593	1997
原町 #2	1000	煤	24.5	600/600	1998
三隅 #1	1000	煤	24.5	600/600	1998
松浦 #2	1000	煤	24.1	593/593	1999
敦贺 #2	700	煤	24.1	593/593	2000
橘湾 #1、#2	1050	煤	25.5	600/610	2000/2001
矶子 #1	600	煤	25.0	600/610	2002
苫东厚真 #4	700	煤	25.0	600/600	2002
碧南 #4、#5	1000	煤	24.1	566/593	2002
苓北 #2	700	煤	24.1	593/593	2003
常陆那珂 #1	1000	煤	24.5	600/600	2003
广野 #5	600	煤	24.5	600/600	2004
舞鹤 #1	900	煤	24.5	595/595	2004

## (2) 欧洲超超临界发展概况

德国是研究、制造超临界机组最早的国家之一,在 1956 年投运了一台容量为 88MW 的超超临界机组,因容量较小,未获得很大的发展。20 世纪 70 年代由于燃料价格上涨,政府对环保要求日益严格和加强对排放量的控制,需要建造以煤为燃料的高效率电厂,便开始发展大功率超临界机组。1972 年投运了一台 430MW 的超临界机组,1979 年投入了一台 475MW 二次中间再热的机组。德国 VEAG 电力

公司在 1999 年和 2000 年于 Lippendorf 电厂投产的两台 900MW 褐煤机组, 蒸汽参数为 26.8MPa/554℃/583℃, 净效率为 42%。目前, 德国已投运和在建的超临界和超超临界机组近 20 台, 其中具有代表性的机组是 2000 年在 Niederanbem 电厂投运的 965MW 超超临界机组(蒸汽参数为 26.9MPa/580℃/600℃); 2000 年在 Hessler 电厂投运的 700MW 超超临界机组(蒸汽参数为 30MPa/580℃/600℃)。由于采用了以超超临界参数为主的多项提高效率的措施, 净效率高达 45.2%, 机组滑压运行, 可超负荷 5%, 最低负荷为 50%, 电厂大修期最少为 4 年。

丹麦是热能动力方面很先进的国家, 在火电机组上也处于领先地位。1998 年在 Skaerbaek 发电厂投产的 400MW 机组, 两次中间再过热, 蒸汽参数为 29MPa/582℃/582℃/582℃, 加以取深层海水直接冷却, 额定背压为 2.2kPa, 净效率高达 49%, 是当今世界上效率最高的火电机组。1999 年在 Nordjyllands 电厂投产的 400MW 机组, 使用同样的蒸汽参数, 效率也高达 47%。丹麦计划在 Avedore 电厂投产的 375MW 机组, 采用的参数为 30MPa/580℃/600℃, 其净效率预计高达 48%。

德国和丹麦在 1995 后投运了十多台参数范围在 24.7~31.0MPa、545~600℃的超超临界机组。典型的机组参数见表 1-2。

表 1-2 欧洲主要超超临界机组

机 组	出力 (MW)	燃料	蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (℃)	投入运行 (年份)
丹麦 Skaerbaek #3	415	燃气	29.0	582/582/582	1997
丹麦 Nordjyllands #3	385	煤	29.0	582/582/582	1998
德国 Boxberg	910	煤	26.6	545/583	2000
德国 Lippendorf R/S	940	煤	26.7	554/583	1999/2000
德国 Niederaussemk	940	煤	24.7	580/600	2002

从日本和欧洲投运的超超临界机组的运行情况来看, 都已基本解决了早期的磨损、泄漏、材质、水动力等一系列问题。从近年来国外高效超临界机组的蒸汽参数来看, 为了降低制造成本, 近年来并不是一味地提高蒸汽的初压力, 而是从超超临界机组的高效性入手, 尽量提高蒸汽温度以期“用足”现有材料的耐温特性, 以最低的制造成本获得最大的热效益。在这一点上, 日本的发展过程最为明显。

但无论是日本还是欧洲, 这两大流派都一致地在向大容量方向发展。日本超超临界机组的容量大都在 700~1000MW, 欧洲近年来的机组容量也在 900MW 以

上。由此可见,超超临界参数比较适合于大容量机组,特别是 1000MW 等级。

## 1.2 国内超超临界机组发展的必要性

从上述国外超超临界技术的发展过程可以看到,超超临界技术是国际上成熟、先进的发电技术,在机组的可靠性、可用率、热机动性、机组寿命等方面已经可以和亚临界机组媲美,并有着广泛的商业运行经验。

目前,我国燃煤发电存在两大突出问题:一是能耗高,二是燃烧后污染物排放量大。在国家发展和改革委员会 2005 年发布的《节能中长期专项规划》中指出:我国能源消费以煤为主,环境问题日益突出。2002 年,煤炭消费量 14.2 亿 t,比 1990 年增长 34%,年增长 2.5%。2004 年我国燃煤发电机组的标准供电煤耗为 379 g/(kW·h),与世界先进水平相差 50~60g/(kW·h)。近年来,随着国民经济的高速发展,国内大部分地区出现了用电负荷的紧张局面,大力发展电力建设迫在眉睫。同时,由于世界能源价格的日益高涨及 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 排放对人类及环境的损害与破坏不断加重,持续提高清洁能源发电的比例及大力发展超超临界火电机组成为我国电力管理部门及发电企业面临的重要课题。特别是我国作为煤炭的消耗大国,如何提高燃煤发电机组的效率、减少有害气体的排放成为摆在决策与科研部门面前的非常迫切的问题。发展大规模、高效率、高参数发电机组,是我国“十一五”电力规划所明确的优先发展领域,具有明显的环保和经济效益。

随着《京都议定书》的正式生效,发达国家要求中国参与温室气体减排或限排承诺的压力与日俱增,同时,一些发达国家也有把碳密集产品和高能耗项目向我国转移的趋势。如何既保证充足的电力供应以保障经济的持续发展,又完成保护环境的任务,对我国电力工业是一个巨大的挑战。超超临界发电技术通过提高蒸汽的压力和温度,提高燃煤电厂的效率,降低供电煤耗,可以带来巨大的环境效益,是我国发电企业有效实现环境保护的重要途径之一。

一方面,超超临界发电技术可以通过节约发电用煤实现环境保护。2005 年我国火电装机容量达到 3.25 亿 kW,到 2020 年将要新增 2.37 亿 kW,达到 5.62 亿 kW。根据国外超超临界火电机组的技术统计,20 世纪 90 年代以来投产的超超临界机组的机组效率高达 43%~48%,供电煤耗为 260~290g/(kW·h),比同容量的常规超临界机组效率提高了 4%~5%,比亚临界机组效率高约 8%~10%。如果新增火电装机都采用超超临界发电技术,并按年利用 5000h 计算,与 2004 年全国平均供电煤耗 379g/(kW·h)相比,每年就能节约标煤 1.23 亿 t,因此每年可减

少  $\text{SO}_2$  排放 174 万 t、 $\text{NO}_x$  排放 87 万 t，相当于 2001 年电力行业排放总量的 22%；即使与超临界技术相比，每年也可以节约标煤 4150 万 t。

另一方面，超超临界机组在提高效率的同时，还可以减少  $\text{CO}_2$  的排放。通常，电站效率每提高 1%， $\text{CO}_2$  的排放就能减少 2%。超超临界机组比常规超临界机组效率提高 7%， $\text{CO}_2$  的排放将减少 14%。

国内外的专家早已形成共识：火力发电机组采用大容量、超超临界技术是实现洁净发电最有效、最现实的途径。

1977 年在丹麦哥本哈根召开的 VGB 年会上，提出了超临界参数的具体效益，其中认为将主汽压力由 18.5MPa 提高到 25.0MPa，可降低净热耗 2%；若进一步提高到 30.0MPa，可再降低 0.75%。而蒸汽温度每提高  $10^\circ\text{C}$ ，机组效率也相应提高(表 1-3)。

表 1-3 蒸汽温度每提高  $10^\circ\text{C}$  对机组效率的提高

	主汽	一次再热汽	二次再热汽
一次再热机组	0.30%	0.25%	—
二次再热机组	0.25%	0.15%	0.15%

通过结合日本东芝公司和日立公司提供的资料(图 1-1)分析，可以得到下述结论：在相同的蒸汽温度下，蒸汽压力 24.1MPa(g) 的超临界机组的热效率比蒸汽压力 16.6MPa(g) 的亚临界机组提高 1.7%；如果将再热汽温度提高到  $566^\circ\text{C}$ ，热效率还将提高 0.8%。这样，总的热效率将提高 2.5%。在相同条件下 [24.1MPa(g)]，蒸汽温度由  $538^\circ\text{C}/566^\circ\text{C}$  提高到  $600^\circ\text{C}/600^\circ\text{C}$ ，机组效率可提高 3.2% 左右，

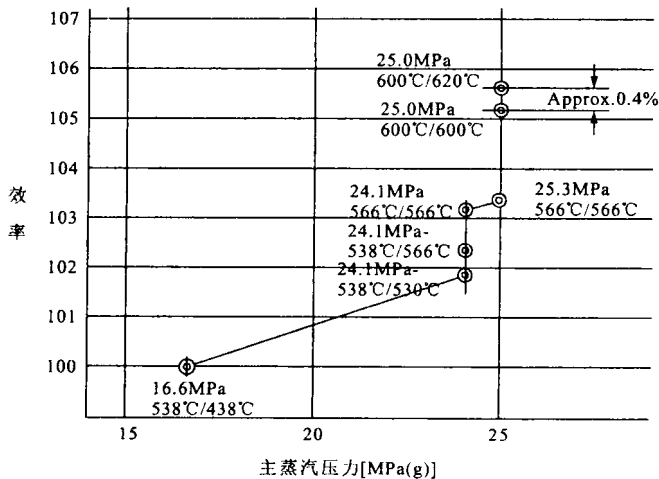


图 1-1 蒸汽参数与机组效率提高

收益是非常可观的。

国家“863 课题”中“超超临界燃煤发电技术”的研究成果表明,在目前有代表性的洁净煤发电新技术中,超超临界发电技术、循环流化床发电技术(CFBC)、增压流化床联合循环发电技术(PFBC-CC)、煤气化联合循环发电技术(IGCC)在机组净效率、环保性能、可靠性、技术成熟程度、设备投资、电价、批量化生产等方面各具特点。这几种新技术的技术经济比较见表 1-4。

表 1-4 几种火力发电方式在现阶段的技术经济比较

火电技术	效率	环保性能	可靠性	技术成熟程度	设备投资	电价	批量生产情况
超超临界	43%~47%	较优	最高	成熟	中等	中等	批量化
循环流化床	38%~40%	一般	中等	基本成熟	较低	较高	初步可批量化
增压流化床联合循环	41%~42%	一般	低	尚待成熟	次高	较高	较少
整体煤气化联合循环	43%~45%	优	低	尚待成熟	最高	最高	示范阶段

数据来源:国家电力公司、中国华能集团公司《我国发展超超临界发电机组的技术选型研究》

比较几种新技术方式,只有整体煤气化联合循环发电技术的环保性能优于超超临界发电技术,但其设备造价高、技术不够成熟、可靠性差,目前仍处于示范阶段。而超超临界发电技术具有效率高、技术成熟、可靠性高、实现国产化生产较快等突出优势,更适合于我国国情。

综上所述,不论是从经济角度还是环保角度考虑,发展大容量超超临界机组是我国火电燃煤机组发展的必然之路。

## 2 国产主机技术特点

为了适应电力市场快速发展要求,同时通过引进和消化国外先进技术,缩小技术差距,提高国内电站主机设备的设计制造水平,国内三大动力厂依托玉环电厂示范工程以及其他的工程项目,分别引进国外的先进技术,目前已经完成国产化能力。

### (1) 锅炉设备设计技术引进情况

上海锅炉厂有限公司于 2003 年 3 月与 ALSTOM 公司在美国签定了 600~1000MW 等级的超临界及超超临界 II 锅炉技术转让协议,又在 2004 年 12 月,针对外高桥项目的情况,与 ALSTOM 公司在德国签定了 800~1000MW 等级的超临界及超超临界塔式锅炉技术转让协议。

东方锅炉(集团)股份有限公司与日本巴布科克日立公司(BHK)、日本伊藤忠商社(ITC)三方共同投资成立东方日立锅炉有限公司(BHDB),全套引进了 BHK 公司的 300MW、600MW、1000MW 超(超)临界本生型直流锅炉许可证技术。

哈尔滨锅炉厂有限责任公司于 2004 年 5 月 10 日与日本三菱公司(MHI)签订了 600~1000MW 等级超超临界燃煤锅炉技术许可证协议,引进三菱公司超超临界锅炉的设计、制造技术。

北京巴布科克·威尔科克斯有限公司(以下简称北京 B&W)成立于 1986 年,是由美国巴布科克·威尔科克斯有限公司(简称美国巴威公司或 B&W)与北京锅炉厂各投资 50% 组建的国内首家合资电站锅炉制造企业,合资后引进了美国 B&W 公司成套的先进锅炉设计技术。

### (2) 汽轮机设备设计技术引进情况

上海汽轮机有限公司(STC)为中德合资企业,由中德双方共同参与经营管理。通过玉环 4×1000MW 超超临界项目的技术转让及合作设计制造,STC 的技术设计开发体系也将与西门子同步接轨。作为合资伙伴的西门子公司将根据市场的需要,在今后一些大型项目中长期与 STC 合作。

东方汽轮机厂通过技术转让及合作设计制造引进了日本日立公司的超超临界汽轮机技术。

哈尔滨汽轮机厂通过技术转让及合作设计制造引进了日本东芝公司的超超临



界汽轮机技术。

### (3) 汽轮发电机设备设计技术引进情况

上海汽轮发电机有限公司(STGC)为中德合资企业,由中德双方共同参与经营管理。通过玉环及外高桥三期项目超超临界项目百万级机组的技术转让及合作设计制造,STGC的技术设计开发体系也将与西门子同步接轨。作为合资伙伴的西门子公司将根据市场的需要,在今后一些大型项目中长期与 STGC 合作。

东方电机股份有限公司通过技术转让及合作设计制造引进了日本日立公司的超超临界汽轮发电机技术。

哈尔滨电机厂有限责任公司(HEC)通过技术转让及合作设计制造引进了日本东芝公司的超超临界汽轮发电机技术。

各个制造厂都是引进国际上最先进的技术,设备的主要性能指标也接近,但是技术来源与流派不同,因此设备也具有各自的技术特点。

## 2.1 超超临界 1000MW 锅炉技术特点

### 2.1.1 上海锅炉厂有限公司技术概况

上海锅炉厂有限公司(简称上锅)引进 ALSTOM 设计技术,炉型设计有较多的方案。既能设计 1000MW 等级 II 形布置锅炉,也能设计 1000MW 等级塔式锅炉;水冷壁形式既有螺旋管圈型式,也有垂直管屏型式。经过多次投标,目前上锅主要以螺旋管圈水冷壁作为推荐方案,锅炉布置型式则可根据业主需求选用塔式锅炉或 II 型锅炉。

#### (1) 上锅的 II 型锅炉

上锅的 II 型锅炉(图 2-1)下部水冷壁一般推荐采用螺旋管圈(也有垂直管屏的方案),上部水冷壁采用垂直管屏。工质经过水冷壁再经过汽水分离器然后进入包墙,最后到过热器。锅炉采用带循环泵内置式启动分离系统,每台锅炉设有 4 只立式启动分离器以及 1 只立式贮水罐。

过热器分为 4 级,分别为低过、分隔屏、屏过、末过,设置三级 6 点喷水减温。屏过与末过之间设有 1 次左右交叉,可以明显的降低两侧汽温偏差。低温过热器布置在锅炉尾部竖井内。分隔屏过热器布置在炉膛上方靠近前墙侧,屏式过热器布置在炉膛上方靠近后墙侧。末级过热器布置在屏式过热器之后,炉膛折焰角的上方。除低温过热器以外,其他过热器均采用传统的“U”形管布置。