

1000MW超超临界火电机组施工技术丛书

施工技术 与管理

《1000MW超超临界火电机组施工技术丛书》编委会



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

1000MW超超临界火发电机组施工技术丛书

施工技术与管埋

《1000MW超超临界火发电机组施工技术丛书》编委会



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书》之一。

本书共分十章，主要内容包括超超临界火电机组概述，施工组织设计，主要施工方案范例，施工综合进度管理，施工质量管理，安全文明施工和职业健康管理，工程物资管理，项目管理信息系统及 KKS 编码的应用，工程文件管理与竣工资料的编制、移交和归档。书中重点总结了天津北疆电厂等工程的施工技术方案精华，对土建、汽轮机、锅炉、电气、热控等专业及焊接、分部试运、保温防腐施工进行了详细介绍，内容充实，实用性强。

本书可供土建、汽轮机、锅炉、电气、热控等专业及焊接、分部试运、保温防腐施工专业技术人员阅读，也可供相关专业院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

施工技术与管理/《1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书》编委会编. —北京: 中国电力出版社, 2010. 11

(1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书)

ISBN 978-7-5123-0978-4

I. ①施… II. ①1… III. ①火电厂-工程施工-施工管理 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 201883 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 30.5 印张 752 千字

印数 0001—3000 册 定价 68.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书

施工技术与 管理

编 委 会

主 任	张永江	张 超	张仕涛	赵启明		
副主任	孙启利	司衍华	周生明	王守学	张 忠	柳兆广
	刘恩江	朱育才	张玉宝	刘振水	李培源	冯宜清
	张永先	肖玉桥	刘利贤	贺传森	韩长利	
委 员	尚庆望	张金龙	韩德祥	马 骥	孙卓行	张福祥
	杨俊才	胡长峰	高 磊	王 涛 (土建)		王道峰
	刘东现	王 涛 (锅炉)	齐永平	姜仕昭		高洪征
	谷 伟	冯玉堂				
主 编	张永江	张 超	张仕涛	赵启明		
副主编	孙启利	刘恩江	司衍华	王守学	张 忠	柳兆广
	朱育才	张维强	许启斌			
参 编	尚庆望	张金龙	韩德祥	马 骥	孙卓行	张福祥
	杨俊才	胡长峰	高 磊	王 涛 (土建)		王道峰
	刘东现	王 涛 (锅炉)	齐永平	姜仕昭		高洪征
	谷 伟	冯玉堂	李 莉	崔云兰	刘明娜	吕大海



前言

1000MW超超临界火电机组施工技术丛书 施工技术与管理

近年来我国电力工业发展迅速，截至2009年底，全国电力装机容量已达到87.4万MW，年均投产装机容量超过8.97万MW，创造了我国乃至世界电力建设史上的新纪录。

随着电力工业的快速发展，我国火电建设中“上大压小”及煤电联营坑口电站的建设取得了重大成果。600~1000MW超超临界的清洁高效机组，已成为新建项目的主力机型。

超超临界发电技术，是在超临界发电技术基础上发展起来的一种成熟、先进、高效的发电技术，可以大幅度提高机组的热效率，在国际上已经是商业化的成熟发电技术，世界上许多国家都在积极开发和应用超超临界发电机组。

当前，我国正大力发展超超临界火电机组，并实现了超超临界机组国产化，已有至少20台1000MW机组（华能玉环电厂4台、华电国际邹县电厂2台、外高桥电厂三期2台、泰州电厂2台、宁海电厂2台、绥中电厂2台、天津北疆电厂4台、山东莱州电厂2台）处于投产和在建中。我国第一台1000MW超超临界燃煤发电机组——华能玉环电厂1号机组于2006年11月28日正式投入商业运行，至2007年11月，2、3、4号机组相继投产，实现了一年连续四投。2007年8月31日及12月31日，邹县电厂两台1000MW机组也建成投产。从此，我国电力工业跨入了1000MW超超临界发电的世界先进行列。

我国电力工业今后还要大量地建设1000MW超超临界火电机组。到2020年，我国燃煤火电机组将新增约3亿kW的装机容量。截至2007年底，国内制造厂家已拥有50台套1000MW超超临界机组的订单。作为一家特大型一级电力施工企业，素有“电建铁军”之称的山东电力建设第二工程公司（以下简称山东电建二公司）所承建的天津北疆电厂2号1000MW超超临界火电机组于2009年11月26日正式投产，成为山东电建二公司58年电建史上具有划时代意义的里程碑，开创了公司施工世界一流水平机组的新时代。

为了推动电力施工企业的发展，在未来几年内使广大工程技术人员能更好、更快、更多地掌握百万千瓦超超临界火电机组的施工技术，山东电建二公司特根据天津北疆等电厂百万千瓦超超临界机组的施工经验，编写了《1000MW超

超临界火电机组施工技术丛书》，使之成为公司今后施工同类火电机组的技术依托和借鉴平台。

本丛书重点总结了天津北疆电厂等工程施工技术方案的精华，用于指导今后工程编写施工技术方案、技术措施和作业指导书。

本丛书共分8个分册，分别为《施工技术与管理》、《土建工程施工》、《锅炉设备安装》、《汽轮机设备安装》、《电气设备安装》、《热控工程施工》、《焊接工程施工》、《起重运输机械》，内容涵盖了一个现代化1000MW超超临界机组电厂的方方面面（含海水淡化、脱硫脱硝等的施工）。

在本丛书编写过程中，山东电建二公司北疆工程项目部、天津电力建设公司北疆工程项目部、天津国投津能发电有限公司北疆电厂、华能玉环电厂、山东电力建设第一工程公司、华电国际邹县电厂等单位的领导、专家给予了大力支持。山东电建二公司北疆项目部的施工技术人员、档案中心以及钢结构公司的有关人员提供了宝贵资料并参加了编写工作，在此一并表示诚挚的谢意！

限于编者水平，加之时间仓促，书中疏漏或不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2010年9月



目 录

1000MW超超临界火电机组施工技术丛书 施工技术与管理

前言

▶▶ 第一章 超超临界火电机组概述	1
第一节 超超临界机组的优点	1
第二节 超超临界机组的发展概况	4
▶▶ 第二章 施工组织设计	9
第一节 技术准备工作	9
第二节 编制施工组织总设计的准备工作	10
第三节 施工组织总设计的编制	13
第四节 施工总平面布置	15
第五节 主要施工方案编制	16
▶▶ 第三章 主要施工方案范例一	20
第一节 土建专业施工方案	20
第二节 汽轮机专业施工方案	52
第三节 锅炉专业施工方案	74
第四节 电气专业施工方案	88
第五节 热控专业施工方案	127
第六节 焊接专业施工方案	143
第七节 分部试运方案	153
第八节 耐磨耐火、保温和防腐(油漆)施工方案	171
第九节 季节性施工保证措施	184
▶▶ 第四章 主要施工方案范例二	201
第一节 大型机械布置方案	201
第二节 土建专业施工方案	202
第三节 锅炉专业施工方案	265
第四节 汽轮机专业施工方案	285
第五节 电气专业施工方案	310
第六节 热控专业施工方案	324
第七节 焊接及金属监督方案	337
第八节 保温和防腐施工方案	343
▶▶ 第五章 施工综合进度管理	347

第一节	保证工期的措施	347
第二节	保证网络进度的措施	351
▶▶	第六章 施工质量管理	354
第一节	施工质量管理及保证措施范例一	354
第二节	施工质量管理及保证措施范例二	377
▶▶	第七章 安全文明施工和职业健康管理	394
第一节	安全环境与文明施工管理范例一	394
第二节	安全环境与文明施工管理范例二	414
▶▶	第八章 工程物资管理	432
第一节	物资管理范围及资源配置	432
第二节	材料供应管理	433
第三节	设备管理	435
▶▶	第九章 项目管理信息系统及 KKS 编码的应用	439
第一节	计算机应用实例一	439
第二节	P3E/C、MIS 系统及 KKS 编码的应用实例二	440
▶▶	第十章 工程文件管理与竣工资料的编制、移交和归档	453
第一节	工程文件资料管理	453
第二节	工程竣工移交资料的编制	455
第三节	竣工资料的组卷、验收、移交及归档	468
	附录 A 火力发电工程质量验收主要标准和依据	475
	附录 B 火力发电工程建设标准强制性条文	477
	参考文献	480

超超临界火电机组概述

第一节 超超临界机组的优点

2009 年底，我国电力装机总容量已达 87.4 万 MW，居世界第二位，煤电装机容量约占装机总容量的 74.6%，煤电则占我国发电总量的 83.35%。近年来，我国成功实现了 1000MW 超超临界火电机组制造的全部国产化，电力设备制造水平、电力工程施工水平、电站管理水平均迈上了一个崭新的台阶。

超超临界发电技术是目前国际上公认的洁净煤发电新技术，具有煤耗低、环保性能好、技术含量高等特点。为了加快电力产业结构优化升级的过程，我国加快了百万千瓦超超临界火电机组的建设步伐，并取得了显著成效。

一、提高蒸汽参数是提高火电机组热效率的有效方法

超超临界压力（USC）机组通常是指汽轮机进口蒸汽压力高于 27MPa 或温度高于 580℃的机组。通过提高蒸汽工质的温度和压力，USC 机组的发电效率可达 43%以上，甚至高达 47%。

常规亚临界机组的典型蒸汽参数为 16.7MPa/538℃/538℃（主蒸汽压力/主蒸汽温度/再热蒸汽温度），发电效率约为 38%；常规超临界机组的主蒸汽压力一般为 24MPa 左右，主蒸汽温度和再热蒸汽温度为 538~560℃，典型参数为 24.1MPa/538℃/538℃，发电效率约为 41%；超超临界机组的主蒸汽压为 25~31MPa 及以上，主蒸汽和再热蒸汽温度为 580~600℃ 及以上，发电效率约为 45%。由此可见，常规超临界机组的热效率比亚临界机组高 2%~3%，而超超临界机组的热效率则比常规超临界机组高 4%以上。

图 1-1~图 1-3 表示一次、二次再热机组蒸汽温度一定时，主蒸汽压力变化对机组热效率的影响，以及主蒸汽压力一定时，主蒸汽温度对机组热效率的影响。从图中可以看出，在超超临界机组参数范围内，主蒸汽压力提高 1MPa，机组的热耗率可下降 0.13%~0.15%；主蒸汽温度每提高 10℃，热耗率可下降 0.25%~0.30%；再热蒸汽温度提高 10℃，热耗率可下降 0.15%~0.20%。因此，提高蒸汽的温度对提高机组热效率更有益。如果增加再热次数，采用二次再热，则其热耗率可下降 1.4%~1.6%。

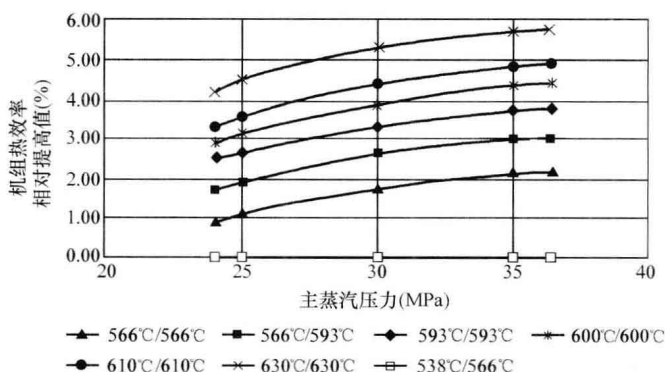


图 1-1 不同蒸汽参数时机组热效率的相对提高值

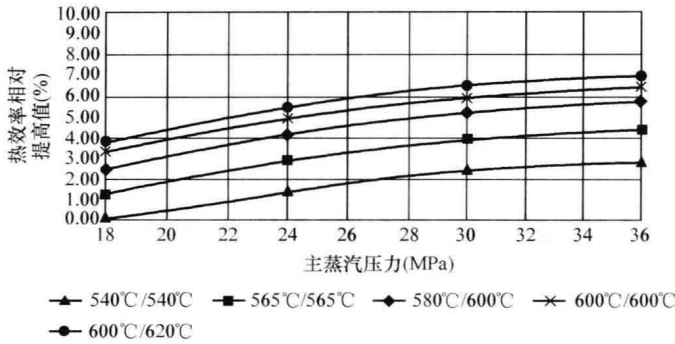


图 1-2 一次再热机组热效率相对提高值

方案提高了约 0.4%。

设计规范要求汽轮机低压缸的排汽湿度最大不应超过 12%，压力提高将会使热力过程线在焓熵图上向左移动，汽轮机末级湿度增大，末级动叶片的水蚀趋于严重。蒸汽参数选择为 28.0MPa/580°C/600°C，汽轮机排汽压力（背压）为 4.9kPa 时，排汽湿度已达到 10.7%，因此，在蒸汽温度为 600°C/600°C、主蒸汽压力大于 30MPa 的条件下，汽轮机末级的湿度将会超出设计规范，这时必须采用二次再热。

近十多年来投运的超超临界机组中，主蒸汽压力大于 30~31MPa 的机组仅 3 台，其中 2 台是二次再热机组。鉴于技术难度、风险、汽轮机末级温度的技术瓶颈及国外业绩和经验的考虑，我国在发展超超临界机组的开始阶段，主蒸汽压力宜低于 30~31MPa。

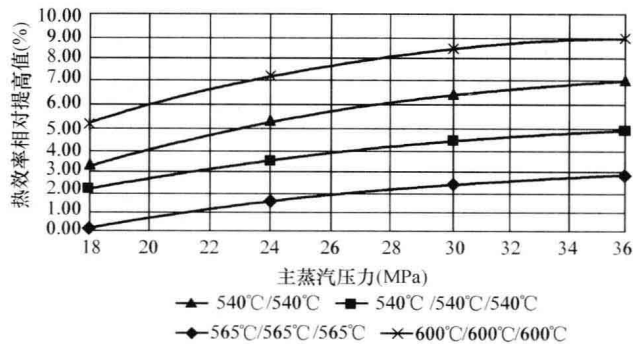


图 1-3 二次再热机组热效率相对提高值

(二) 再热次数

采用二次再热可进一步提高机组热效率，并满足机组低压缸最终排汽湿度的要求。在所给参数范围内，采用二次再热可使机组热经济性得到提高，其相对热耗率改善值为 1.43%~1.60%。但是，采用两个再热器会使锅炉结构复杂，需要增加 1 个超高压缸、1 根再热冷管与再热热管、1 套超高压主蒸汽调节阀，机组长度增加，轴系趋于复杂，汽轮机结构变复杂。目前，除了早期美国的 3 台机组外，只有日本川越电站 2 台 700MW 机组（31MPa/566°C/566°C/566°C，1989 年）和丹麦 2 台 415MW（28.5MPa/580°C/580°C/580°C，1998 年）机组为二次再热的超超临界机组，近 5 年来新投运的超超临界机组均未采用二次再热。

在目前采用的超超临界参数下，二次再热的经济性得益为 1.4%~1.6%，但机组的造价则高出 10%~15%。机组投资一般占电厂总投资的 40%~45%，故机组如采用两次中间再热，电站投资则增加 4%~6.8%，机组的技术经济性较差。

由此可见，采用二次再热存在大量需要解决的技术问题，国外这方面的制造、运行业绩少，可借鉴的经验少，且二次再热机组综合技术经济性较差，因此，我国在发展超超临界机

组的开始阶段适宜采用一次再热。

(三) 主蒸汽温度和再热蒸汽温度

由图 1-3 可以看出,提高主蒸汽温度比提高主蒸汽压力对机组热效率提高的效果更为显著。在超超临界机组主要技术参数范围内,主蒸汽温度每提高 10°C ,热效率可相对提高 $0.25\%\sim 0.30\%$;再热蒸汽温度每提高 10°C ,热效率可相对提高 $0.16\%\sim 0.20\%$ 。通过计算可知,主蒸汽温度/再热蒸汽温度选用 $600^{\circ}\text{C}/600^{\circ}\text{C}$,与选用 $580^{\circ}\text{C}/580^{\circ}\text{C}$ 相比,热效率可相对提高约 0.92% ;与选用 $580^{\circ}\text{C}/600^{\circ}\text{C}$ 相比,热效率可相对提高约 0.56% 。

先进国家有相当数量的超超临界机组的蒸汽温度参数达到和超过 $600^{\circ}\text{C}/600^{\circ}\text{C}$,其可靠性与亚临界及超临界机组处于同一水平。在充分考虑材料的烟气侧腐蚀性能、汽水侧氧化性能以及制造、加工、热处理、异种材料焊接等工艺性能的基础上,应着重提高蒸汽温度,以期最大限度地利用现有材料的高温强度性能。 $600^{\circ}\text{C}/600^{\circ}\text{C}$ 方案与 $580^{\circ}\text{C}/600^{\circ}\text{C}$ 方案存在的技术问题只有微小的差别,不是左右温度方案选择的决定性因素。另外,国际上已有满足 620°C 蒸汽参数应用的成熟材料,考虑到先进性和成熟性两方面的要求,主蒸汽温度和再热蒸汽温度以 600°C 左右为宜。

二、发展 1000MW 超超临界火电机组的社会意义重大

我国首座拥有国产百万千瓦超超临界燃煤机组知识产权的华能玉环电厂(以下简称玉环电厂)一、二期工程连续建设。自 2004 年 6 月开工建设至 2007 年 11 月不到 3 年半的时间里,最后一年内 4 台百万千瓦超超临界机组全部投产,创造了燃煤电厂建设的奇迹。

(1) 玉环电厂 4 台超超临界机组投产后节能减排效果十分明显。代表国际最先进的火力发电技术和节能环保最高水平的超超临界,其优势就是通过提高发电设备的主蒸汽压力和温度,大大提高燃煤效率,节约煤炭资源。数据显示:2007 年 5 月,对玉环电厂运行半年后的国内首套国产百万千瓦超超临界机组进行测试,在额定负荷下,蒸汽参数为 $26.25\text{MPa}/600^{\circ}\text{C}/600^{\circ}\text{C}$,效率高达 45.4% ;供电煤耗仅为 $283.2\text{g}/\text{kWh}$,比 2006 年全国平均供电煤耗($366\text{g}/\text{kWh}$)低 $82.8\text{g}/\text{kWh}$;二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳和烟尘的排放相应大幅减少,其总体技术水平值居国际前列。目前,国内燃煤电厂热效率在 33.5% 左右,而玉环电厂机组的热效率则超过了 45% ,其最直接的效果就是减少了煤的消耗。玉环电厂 4 台机组全部投产后,按年设备利用小时 5500h 测算,每年比发相同电量的亚临界机组少用 80 万 t 标准煤,比超临界机组少用 40 万 t 标准煤。如果全国燃煤电厂都能达到玉环电厂的设计能耗水平,则按 2006 年火电发电量测算,全国可节约原煤 1.6 亿 t,节煤的环保效应是减少了燃煤发电所产生的污染物排放。此外,发电量相同的情况下,与超临界机组相比,可少排放二氧化碳 50 万 t 以上、二氧化硫 6000t 以上、氮氧化物约 4000t。测试中,玉环电厂已投产机组的二氧化硫实际排放浓度已达到 $17.6\text{mg}/\text{m}^3$,优于发达国家排放控制指标。这对我国煤炭资源在可消费资源中所占比例约为 70% ,在相当长的时期内,电力发展仍是以煤电为主的格局下可持续发展和节能减排有着显著的示范意义。

(2) 玉环电厂 4 台超超临界机组的投产,推动了国内百万千瓦超超临界机组的国有化进程和规模化发展。玉环工程走出了我国煤电发展的自主创新之路。早在 2002 年,高效清洁的超超临界燃煤发电技术已在发达国家中得到广泛应用,但在我国还是一个空白,中国华能集团公司(以下简称华能集团)在沁北电厂开始建设第一台国产 600MW 超临界机组的同时,已开始把眼光瞄准国产 1000MW 超超临界机组,力足将玉环电厂一期工程列入国家

“十五”863计划“超超临界燃煤发电技术”课题的依托工程和超超临界国产化示范项目。依托玉环电厂工程，各参建单位取得了一系列科研成果。华东电力设计院同步完成了863计划子课题“超超临界机组电站设计技术研究”，形成自主研发的技术7项，有的达到国际先进水平。哈尔滨锅炉厂有限责任公司同步完成了863计划子课题“超超临界火电机组的技术方案选型研究”中锅炉部分的研究和子课题“超超临界锅炉关键技术研究”。通过联合攻关，华能集团组织编写的《华能电厂P91、P92管道现场焊后热处理工艺导则》、《华能电厂P91、P92钢焊接质量检验导则》填补了国内相关规范的空白。华能集团的《火电工程设计导则》率先提出了百万千瓦超超临界机组设计规范。这些研究成果被国家政府主管部门和新建百万千瓦超超临界机组普遍采用。继华能集团建设玉环电厂工程之后，国内迅速崛起了一批百万千瓦超超临界机组，推动了我国百万千瓦超超临界机组的国产化进程和规模化发展，与国外发电技术的差距缩短30~40年，达到国际先进水平。2007年9月，玉环电厂一期工程被《亚洲电力》杂志评为“2006年度最佳创新工程奖”。截至2007年11月24日，玉环电厂2号机组已实现连续安全运行220天，创造了国内超超临界百万千瓦机组连续运行时间最长的纪录，为我国超超临界机组的运行管理积累了宝贵的经验。玉环工程引领了国内超超临界技术的蓬勃发展。国内超超临界机组连续建设投产，有效地推动了“上大压小”、关停小机组、电力产业结构优化升级的过程，对我国节能减排策略的落实和建设资源节约型、环境友好型社会具有重大意义。

(3) 玉环电厂用水采用海水淡化技术，变电厂耗水大户为节水典范。大型燃煤电厂离不开淡水，因为运行的发电机组需要大量循环水来冷却。投产后的玉环电厂日耗水超过3万t，虽然地处东南沿海，雨水充沛，短期内供水基本平衡，但从长远考虑，玉环县的淡水资源将日趋紧张，面临严重的缺水问题，即使拥有电厂专用水库，一旦遇上干旱就会闹水荒，影响电厂正常运行。

玉环电厂选址濒临大海，而海水资源取之不尽、用之不竭，华能集团从节约水资源的长远形势出发，决定电厂的全部淡水采用海水淡化供给，经过反复比较和论证，最终选择应用了国际上日益成熟的先进技术——反渗透“双膜法”海水淡化工艺，这在我国尚属首次。

“双膜法”海水淡化工艺是国际先进技术，工程投产后，可以根据工艺用水分类、分质供水，还可以使电厂余热得到综合利用；海水回收率将达45%，淡水重复利用率达64%，废水重复利用率则为100%。届时，仅此一项，电厂每年可为当地节约淡水800万t，耗水大户就成了节水典范。

第二节 超超临界机组的发展概况

一、国外超超临界锅炉的发展

(一) 超超临界机组蒸汽参数的发展概况

世界上第一台实验性的超临界锅炉是西门子公司根据捷克人马克·本生1919年的专利方案制造的，后来世界各发达国家竞相研究和生产超超临界机组。超超临界机组蒸汽参数经历了高一低一高的过程，并不是按部就班地由22.2MPa/538℃/538℃向上发展。

1949年，苏联安装了第一台超超临界直流锅炉试验机组，锅炉出口蒸汽参数为29.4MPa/600℃(12t/h)，以后作为改造中压机组的前置级，而后再生产了29.4MPa/

650℃的100MW机组。

1956年,联邦德国投运了1台参数为34MPa/610℃、容量为88MW的机组。

欧洲在1995~1999年间至少投运了9台蒸汽压力为28.5~31.0MPa、温度为545~587℃的超超临界机组,并将蒸汽温度提高至600℃以上。其中,丹麦诺加兰德火电厂3号机组是一台超超临界燃煤供热机组,采用了超超临界蒸汽参数、二次再热,参数为29MPa/580℃/580℃/580℃。该机组的锅炉适用于多种煤种,能带中间负荷,热效率达47%~49%。

美国于20世纪50年代末投运了2台具有代表性的超超临界机组:①菲罗电厂6号机组,容量为125MW,参数为31MPa/621℃;②费城电力公司的艾迪斯顿电站,参数为34.3MPa/649℃,容量为325MW。艾迪斯顿1号机组,从1960年开始按设计参数运行了8年,后因出现故障而停运。故障原因是蒸汽参数过高,超越了当时的技术水平,特别是材料无法满足蒸汽参数的需求。由于试制的高参数超超临界机组频繁发生事故,不得不降低参数运行,因此美国自1968年起将蒸汽参数降至24.1MPa/538~566℃,这种蒸汽参数保持了20多年。

日本则引进了美国的技术,并结合欧洲的适合变压运行的本生式直流炉,成功地开发出自己的超超临界机组。1989年和1991年,川越电厂投运2台700MW的31MPa/566℃机组,运行情况良好,可用率水平很高。川越电厂1、2号机组是世界上首次采用超超临界压力、二级再热系统的超超临界机组,参数为31MPa/566℃/566℃/566℃,发电机端热效率达到41.9%。1998年,日本投运的主蒸汽温度和再热蒸汽温度均为600℃的1000MW机组,实测发电机端效率达44.7%。

随着科学技术的不断发展,2005年,超超临界机组的蒸汽参数达到了33.5MPa/630℃,预计到2015年可达到40.0MPa/720℃。随着蒸汽参数和对材料要求的提高,产品开发的技术难度和机组的造价也越来越高。

(二) 超超临界机组单机容量的发展情况

目前,国际上已投运的单机容量为800MW以上火电机组的国家主要有美国、日本、苏联和德国等。20世纪60年代,大容量机组出现了飞速发展,美国首台燃油、亚临界1000MW机组于1965年在Ravens Wood电厂投运。进入20世纪70年代后,由于燃料发生变化,影响了机组可用率,加上大容量火电机组不适应调峰等因素,大容量机组发展趋于停滞,机组设计趋于保守,主力机组变为500~800MW。大容量机组多由Alstom Power, Inc. USA(原美国燃烧工程公司)设计制造。1976年和1978年,Alstom公司为美国旺斯利(Wansley)电站设计并制造的2台952MW超临界锅炉成功投入运行。1991~2001年,美国Alstom共设计制造了28台500~800MW超临界锅炉。

苏联发电机组的发展按国家计划进行,机组容量统一规定为500、800、1200MW,锅炉出口蒸汽压力为25MPa,蒸汽温度最初为565℃/570℃,后因材料原因降至545℃/545℃。首台800MW机组1967年于斯拉维斯克电厂投运。由于1200MW机组与800MW机组相比,经济性没有明显优势,而可靠性有待提高,再加上社会和电网原因,因此1200MW及以上机组没有再建造。

韩国Yonghung火电厂目前在建的超临界电厂是两台800MW机组,采用了滑压、螺旋水冷壁技术,过热器出口压力为25MPa,过热器出口温度为569℃,再热器出口温度为569℃。

日本三菱重工株式会社 (MHI) 作为全球著名的发电设备和重型机械制造公司之一, 在开发超临界和超超临界技术方面走在了世界的前列, 到目前为止, 投运的容量大于 500MW 的超临界和超超临界锅炉已达 60 台。

(三) 超超临界机组材料的发展概况

超超临界锅炉由于温度及压力的提高, 对主要部件的抗蠕变、疲劳、高温氧化与腐蚀性能等都提出了更苛刻的要求。目前超超临界锅炉主要部件的制造中, 除选用亚临界锅炉常规选用的 SA-335P91 (SA-213T91)、SA-213TP304H、SA-213TP347H 等材料外, 还选用了一些高温蠕变性能、高温抗氧化性能更好的新型材料, 如 SA-335P92 (SA-213T92、9Cr-2W)、SA-335P122 (SA-213T122、12Cr-2W) 等新型马氏体钢和 Super304H (18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N)、SA-213TP347HFG (18Cr-10Ni-Nb)、SA-213TP310HCbN (25Cr-20Ni-Nb-N)、XA704 (18Cr-9Ni-2.5W-NbVWN)、TempaloyA-1 (18Cr-8Ni-Nb-Ti)、TEMPALOYA-1 (18Cr-9Ni-3Cu-Nb-Ti)、TEMPALOYA-3 (22Cr-15Ni-Nb-N) 等新型奥氏体钢。

日本川越电厂锅炉过热器出口集箱和主蒸汽管一直采用 SA-335P91 和 SA-182F91 新材料, 过热器管采用具有足够抗水蒸气氧化特性的 SA213TP347H 细晶粒钢管, 超高温高压阀采用了高温强度性能好的 SA-182F91 材料, 带中间负荷时运行情况良好, 且热效率一直很高。20 世纪 90 年代初, 日本住友金属工业株式会社开发研制了 Super304H (18Cr-9Ni-3Cu-Nb) 钢和 HR3C (25Cr-20Ni-Nb) 等一系列适合超超临界锅炉的过热器和再热器用钢。该类钢在 600~700℃ 条件下的许用应力比 SA213TP347H 高 20% 以上, 具有良好的耐蒸汽氧化性和良好的可焊性。Super304H 钢具有更精细的晶粒尺寸, 耐蒸汽氧化性与具有极细晶粒尺寸的 SA-213TP347HFG 大致相同, 比 SA-213TP321H 或 SA-213TP316H 优越。HR3C 是在 TP301H 钢基础上开发研制出的新钢种, Cr、Ni 含量比 Super304 高, 在 650~700℃ 时的抗高温蒸汽氧化腐蚀能力比 Super304H 强, 650℃ 高温蠕变强度比 SA-213TP347H 高近 50%。SA-335P92 (9Cr-1.8W) 钢是在 9Cr 钢的基础上添加了 1.8% 的钨, E911 (9Cr-1Mo-1W) 钢是在 P91 钢的基础上添加了 1.0% 的钨, 因为钨能提高高温强度和蠕变断裂强度, 此类材料使 600~650℃ 时的高温蠕变强度比 P91 高很多, 但也使焊缝金属形成了过剩的 δ -铁素体, 降低了焊缝机械性能。SA-376TP347H 钢适用于高温中央电站用无缝奥氏体钢管, 它在 600~700℃ 时的高温蠕变强度和耐蒸汽氧化性能比 P92 高, 可不预热焊接。

丹麦诺加兰德电厂水冷壁和锅炉的上部通道选用 13CrMo44 材料 (该材料不会在水冷壁的焊接处产生应力释放); 540℃ 以上的过热器管道使用 SA-213TP347T 奥氏体合金钢, 能耐蒸汽氧化和高温腐蚀; 高温区的集箱和连接管采用马氏体钢。

二、我国超 (超) 临界机组发展概况

超超临界燃煤发电机组煤耗低、环保性能好、技术含量高, 是国际上燃煤发电机组的重要发展方向。从我国的国情出发, 发展超超临界机组, 有利于降低我国平均供电煤耗, 有利于电网调峰的稳定性和经济性, 有利于保护生态环境、提高环保水平, 有利于实现技术跨越、创建国际一流的火力发电厂。我国从事直流锅炉制造的厂家主要有上海锅炉厂 (现上海锅炉厂有限公司)、哈尔滨锅炉厂 (现哈尔滨锅炉厂有限责任公司) 和中国东方电气集团有限公司。

(一) 上海锅炉厂

在发展直流锅炉技术 (含超超临界) 方面可分为三个阶段: 20 世纪 60~80 年代是锅炉

厂自行研究开发直流锅炉的第一阶段；80~90年代是引进国外先进技术的第二阶段；2000年以后为自行开发设计并对外转让技术阶段。

1981年，上海锅炉厂开始引进美国燃烧工程（CE）公司配300MW和600MW的亚临界控制循环锅炉的成套设计和制造技术；1987年，部分引进瑞士Sulzer公司600MW超临界压力锅炉技术；1999年，引进德国斯坦缪勒公司的亚临界螺旋管圈技术等。20世纪80年代末，上海锅炉厂与ABB-CE公司合作制造石洞口二厂2×600MW超临界压力直流锅炉项目；1998年，开始承接与Alstom合作制造外高桥2×900MW超临界锅炉项目。2000年后，上海锅炉厂与国外公司合作进行超临界锅炉设计并准备转让超超临界锅炉技术。2003年，上海锅炉厂正式引进了美国Alstom公司（原美国CE公司）600~1000MW超超临界压力锅炉成套设计和制造技术。引进超超临界压力锅炉技术的主要内容包括变压运行的螺旋管圈技术及垂直管圈技术，蒸汽压力为25~36.5MPa，温度为（538~654）℃/（538~600）℃。该技术目前处于国际领先地位，世界上只有Alstom公司和三菱公司在800MW以上机组采用垂直管圈技术。到目前为止，上海锅炉厂先后承接了28台600MW超临界压力锅炉的制造任务。

上海锅炉厂生产的SG-3102/27.46-M532型超超临界直流锅炉，现已安装于天津北疆电厂一期2×1000MW机组工程。该类型锅炉为单炉膛，一次中间再热八角双切圆燃烧方式，平衡通风、II型布置、全钢构架、悬吊结构、露天布置，固态排渣煤粉锅炉，采用带循环泵的启动系统，不投油最低稳燃负荷不高于锅炉的30%BMCR。

北疆电厂2台1000MW机组为全部国产化的机组，已于2009年9月及11月竣工投产。

（二）哈尔滨锅炉厂

哈尔滨锅炉厂近年来承担了“十五”国家重点科技攻关计划项目（国家863计划），针对“超超临界燃煤发电技术”、“超超临界发电机组技术选型研究”开展了超超临界燃煤锅炉选型的研究工作，全面攻克了国产首台600MW超超临界营口二期3号锅炉高温段产品制造难关，从而标志着哈尔滨锅炉厂在我国超超临界锅炉制造领域率先实现制造全部国产化，其生产制造水平已跻身世界一流行列。

营口600MW超超临界锅炉采用日本三菱重工的超超临界直流锅炉技术，属于全新结构。产品生产从下料、焊接、弯管、装配到热处理，技术要求之高，制造难度之大，史无前例。哈尔滨锅炉厂选派相关技术骨干赴日本学技术，初步掌握了特殊材料的焊接、工艺，并进行创新，焊接工艺超过了日本。

哈尔滨锅炉厂在取得600MW超超临界锅炉国产化之后，又攻克了1000MW超超临界锅炉的全部制造技术。玉环电厂4台1000MW超超临界机组的锅炉，即是该厂具有国际一流水平的产品。玉环电厂的我国首台1000MW超超临界机组，于2006年11月28日顺利完成168h试运后正式投入商业运行。

（三）东方锅炉厂

华电国际邹县发电厂（以下简称邹县电厂）四期工程7号机组1000MW超超临界锅炉是东方锅炉（集团）股份有限公司设计制造的首台1000MW超超临界机组锅炉，也是国内设计制造的首批1000MW超超临界机组锅炉。该工程机组是目前国内单机容量最大、运行参数最高的燃煤发电机组之一，被列为国家863计划。

东方1000MW超超临界锅炉的主要技术特点有：①内螺纹管螺旋管圈式+垂直式水冷

壁；②前后墙对冲燃烧；③低 NO_x 旋流燃烧器；④布置燃尽风，实现全炉膛分级燃烧；⑤锅炉启动系统带再循环泵；⑥尾部双烟道结构，采用烟气挡板调节再热汽温。锅炉具有良好的可靠性和经济性，响应负荷变化和快速启停能力强；锅炉性能指标处于国内领先水平，特别是锅炉热效率与 NO_x 排放，做到高效、环保，满足了当今社会对发电设备的高标准要求。

邹县电厂四期工程扩建 2 台 1000MW 超超临界机组，是国内首批百万千瓦等级机组，三大主机由中国东方电气集团有限公司制造，是国家引进技术国产化的依托工程。该工程 7 号机组已于 2006 年 12 月 4 日建成投产，8 号机组于 2007 年 7 月底建成投产，邹县电厂装机容量将达到 4540MW，成为全国最大的火力发电厂及国内综合节能和环保水平最高的燃煤电厂之一。

现在国内已投产多台 600、800、900MW 级超临界压力燃煤机组，近期又有 18 台 1000MW 级机组（玉环电厂 4 台、邹县电厂 2 台、外高桥电厂三期 2 台、泰州电厂 2 台、宁海电厂 2 台、绥中电厂 2 台、天津北疆电厂 4 台）处于投产和在建中。上海外高桥电厂二期 5 号机组——我国第一台 900MW 超临界燃煤发电机组，比原计划提前 71 天顺利通过连续 168h 满负荷试验。该机组正式投入商业运行标志着我国电力工业又迈上了一个新的台阶。

虽然我国超超临界锅炉的制造起步较晚，但发展迅速，主要涉及的新材料有 SA-335P92（SA-213T92）、SA-335P122（SA-213T122）、Super304H（18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N）、SA-213TP310HCbN（25Cr-20Ni-Nb-N）等。

施工组织设计

第一节 技术准备工作

一、技术准备是施工准备的核心

1. 施工准备工作的基本任务

施工项目的施工准备工作是生产管理的重要组成部分，是对拟建工程目标、资源供应和施工方案的选择，及其空间布置和时间排列等诸方面进行的施工决策。

施工准备工作的基本任务是为拟建工程的施工建立必要的技术和物资条件，统筹安排施工力量和施工现场。施工准备工作也是施工企业搞好目标管理、推行技术经济责任制的重要依据。同时，施工准备工作还是土建施工和设备安装顺利进行的根本保证。因此，认真做好施工准备工作，对于发挥企业优势、合理供应资源、加快施工速度、提高工程质量、降低工程成本、增加企业经济效益、赢得企业社会信誉、实现企业管理现代化等具有重要意义。

实践证明，重视施工准备工作，积极为拟建工程创造一切施工条件，项目的施工就会顺利地进行；不重视施工准备工作，就会给项目施工带来麻烦和损失，甚至给项目施工带来灾难，其后果不堪设想。

2. 技术准备的重要意义

技术准备是施工准备工作的核心。由于任何技术的差错或隐患都可能引起人身安全和质量事故，造成生命、财产和经济的巨大损失，因此必须认真做好技术准备工作。

二、技术准备的主要内容

1. 熟悉、审查施工图纸和有关的设计资料

(1) 施工图纸是施工和质量验收的依据，为使施工人员充分领会设计意图，熟悉设计内容和技术要求，及时发现和纠正设计图纸可能出现的问题和差错，正确施工、确保施工质量，在工程正式开工前应进行施工图纸的学习、熟悉和审查，对审查中发现的问题、差错和不合理部分应尽快处理纠正，确保工程施工顺利进行。

(2) 图纸的审查应由公司各级技术负责人组织，一般按自班组到项目部、由专业到综合的顺序逐步进行，也可视工程规模和承包方式调整会检步骤。

2. 原始资料的调查分析

为了做好施工准备工作，除了要掌握有关施工项目的书面资料外，还应进行施工项目的实地勘测和调查，获得有关数据的第一手资料，这对于拟订一个先进合理、切合实际的施工方案是非常有必要的，因此应该做好以下几个方面的调查分析：

(1) 自然条件的调查分析。建设地区自然条件调查分析的主要内容有：地区水准点和绝对标高等情况；地质构造、土的性质和类别、地基的承载力地震级别和烈度等情况；河流流