

超超临界火电机组丛书

热工自动化

主编 张 华 孙奎明

新 机 组
新 材 料
新 工 艺
新 技 术



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

超超临界火电机组丛书

热工自动化

主 编 张 华 孙奎明
副主编 张 磊
主 审 刘金生



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



本书以 1000MW 超超临界燃煤凝汽式汽轮发电机组热工控制技术为基础, 全面介绍各控制系统的组成、原理以及控制系统和设备的选型原则, 简要介绍了新型热工设备在现场的应用。本书涉及了一些热控前沿的新理论、新方法、新技术, 同时又结合现场实际和调试过程中发现的问题, 介绍了实际运行中的注意事项。

本书可作为火力发电厂热控专业人员的培训教材, 也可供高等院校相关专业学生学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

热工自动化/张华, 孙奎明主编. —北京: 中国电力出版社, 2010. 3

(超超临界火电机组丛书)

ISBN 978-7-5083-9146-5

I. 热… II. ①张…②孙… III. 火电厂-热力工程-自动化系统 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 121508 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>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 3 月第一版 2010 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 331 千字 1 插页

印数 0001—3000 册 定价 30.00 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

《超超临界火电机组丛书》

编 委 会

主 任	张效胜	白 桦	李怀新		
主 编	张 伟	李延群			
副主编	张 磊	孙奎明	宋志明	张 华	马明礼
	李广华	李洪战	代云修	高洪雨	苏庆民
	王庆民	曹 伟	张新春	尤 冲	孟 强
	赵 勇	井绪成	李彦红	王长征	付深清
	魏丰年	魏毓璞			
参 编	刘红蕾	兰圣增	霍永红	柴 彤	周长龙
	廉根宽	张伟(邹县电厂)		杜 峰	宋勇军
	曹善勇	姚秀娟	康 凯	刘继则	张 琳
	王丽英	孔庆雨	袁冬雨	宗 珂	张传胜
	刘晓亮	何修年	刘浩伟	白国华	徐文平
	赵书新	丛 晓	贾敬臣	闫修峰	王光新
	张传伟	刘国新	陈 炜	蒋建设	尹 君
	陈寿爱	胡志宏	王士奎	尤 华	

序

能源是人类经济发展、生活水平提高、文明进步的基础。人类通过对能源的大规模的利用,满足了社会不断发展和生活水平不断提高的需要。但能源利用过程中排放的污染物(粉尘、二氧化硫、氧化氮,碳氢化合物、微颗粒、温室气体等)也正在急剧破坏着地球的生态平衡和人类自身的生存环境。

目前,我国电力工业正向建设高效、节能、环保的能源洁净利用方式飞速发展,对煤炭的高效清洁利用的需求尤为突出,超超临界机组是实现高效大规模清洁利用煤炭的最重要手段之一。

目前,我国已有数台1000MW级超超临界机组正式投产,全国还有大量的1000MW级超超临界锅炉正在建设和筹建中。与成熟的亚临界电站锅炉相比,1000MW级超超临界锅炉的初步运行已经出现了一些新现象和新问题,对机组的设计、运行优化、控制监测及污染防治都提出了新的更高的要求。因此,迫切需要与现场经验紧密结合,进行相关的研究归纳,为1000MW级超超临界锅炉的设计和运行优化提供理论和技术支持。

为帮助火电技术人员尽快掌握世界一流的超超临界发电技术,实现超超临界发电机组设计和制造国产化,提高火电制造业的国际竞争力,保证电力工业节能降耗和清洁生产,山东省电力学校与华电国际邹县发电厂合作,组织编写了《超超临界火电机组丛书》,为1000MW级超超临界火电机组的设计、制造、运行提供了有益的参考,对我国电力工业的可持续发展作出了重要贡献。

丛书紧密结合现场实际,内容翔实、数据充分,既可供高校师生和工程技术人员参考,也可为发电企业机组运行水平的提高提供有益帮助。因此,本丛书的出版发行,将为我我国电力工业向超超临界大容量、高参数、高效节能、环境友好的新一代发电方式的前进发挥有益的推进作用。



于浙大求是园

2007年4月20日

前言

目前,火电机组已向大容量、高参数、高效率的超超临界机组发展。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,在可用率、可靠性、运行灵活性和机组寿命等方面可以和亚临界机组相媲美。近十几年来,世界上许多发达国家都在积极开发和应用超超临界参数发电机组。随着超超临界火电机组的国产化,我国在今后新增的火电装机结构中必将大力发展超超临界火电机组。超超临界发电技术是我国电力工业升级换代,缩小与发达国家技术与装备差距的新一代技术。超超临界发电技术的发展,还将带动制造业、材料工业、环保工业和其他相关产业的发展,创造新的经济增长点,是电力工业可持续发展的战略选择。表 0-1 列出了超超临界发电机组和常规发电机组在热效率提高的幅度、燃料节约量、温室气体排放量减少方面的数据对比。从表 0-1 可知,超超临界发电机组具有无可比拟的优越性。

表 0-1 超超临界发电机组和常规发电机组节能和减排潜力的对比

1000MW 机组容量		常规对比机组	第一阶段	第二阶段	第三阶段
蒸汽 条件	压力 (MPa)	24.1	31.4	30.0	34.3
	温度 (°C)	538/566	593/593/593	630/630	649/593/593
热效率增加值 (%)		基准值	5.0	4.8	6.5
年节煤量 (t)		基准值	96000	95000	13400
CO ₂ 年减排量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)		基准值	117	112	152

发展超超临界机组,设计和制造还有许多关键技术问题有待解决,其中,开发热强度高、抗高温烟气氧化腐蚀和高温汽水介质腐蚀、可焊性和工艺性良好、价格低廉的材料是最关键的问题。在所选蒸汽参数下,应分析锅炉、汽轮机各部件所选用的材料、壁厚、用材量、造价、运行性能和技术经济;还应验证新材料的持久强度、蠕变强度、断裂韧性、低周疲劳特性、设计应用安全系数,热应力寿命损耗特性、工艺性等。

国内首批 1000MW 级超超临界火电机组引进技术国产化依托工程——华电国际邹县发电厂四期工程 $2 \times 1000\text{MW}$ 工程项目加快了 1000MW 级超超临界火电机组的国产化进程,全面提高了大型火电机组的设计、制造、运营水平。邹县发电厂的两台 1000MW 级超超临界燃煤凝汽式汽轮发电机组,是国内单机容量最大、运行参数最高的燃煤发电机组,被列为国家重点建设工程,其中 7 号机组从 2005 年 1 月 15 日开工建设至 2006 年 12 月 4 日投产发电仅用了 22 个月零 19 天。满负荷试运期间,7 号机组各项性能指标均达到优良标准,机组运行平稳,自动、保护、仪表投入率 100%,平均负荷率 100%。该机组的顺利投产,实现了“安全最好、质量最优、工期最短、造价最低”的工程建设目标。8 号机组将于 2007 年 7

月投产发电，届时邹县发电厂装机总容量将达到 4540MW，成为我国改革开放以来电力工业发展的窗口企业。

《超超临界火电机组丛书》的编写主要以华电国际邹县发电厂 1000MW 级超超临界机组的发电技术为主要内容，由山东省电力学校和华电国际邹县发电厂合作完成。《超超临界火电机组丛书》共分《锅炉设备与运行》《汽轮机设备与运行》《电气设备与运行》《热工自动化》四分册。《锅炉设备与运行》涵盖了 1000MW 级超超临界锅炉整体设计、燃烧系统、制粉系统、汽水系统、承压部件材料、焊接技术、除尘除灰设备、风烟系统、锅炉运行等内容；《汽轮机设备与运行》包括汽轮机本体、金属材料、热力系统及设备、凝汽设备及系统、主要水泵、汽轮机调节、保护及供油系统、辅助系统和汽轮机运行等内容；《电气设备与运行》主要包括同步发电机及其辅助系统、励磁系统、同步发电机的正常运行与维护、同步发电机的非正常运行与事故处理、电力变压器及运行、电气设备及系统、继电保护及运行、自动装置及运行等内容；《热工自动化》包括 1000MW 级超超临界机组控制系统硬件组成、1000MW 级超超临界机组控制与保护、现场总线技术在火电厂中的应用、1000MW 级超超临界机组仪表及执行机构、1000MW 级超超临界机组外围辅助车间控制等内容。

中国工程院院士岑可法教授高度关注《超超临界火电机组丛书》的出版发行，并欣然为之作序。

《超超临界火电机组丛书》由山东省电力学校校长张效胜、华电国际副总经理白桦（原邹县发电厂厂长）、邹县发电厂厂长李怀新出任编委会主任，由山东省电力学校副校长张伟和邹县发电厂副厂长李延群担任主编，其中《锅炉设备与运行》由山东省电力学校张磊、李广华主编，《汽轮机设备与运行》由山东省电力学校张磊、马明礼主编，《电气设备与运行》由山东省电力学校宋志明、李洪战主编，《热工自动化》由邹县发电厂张华、山东省电力学校孙奎明主编。全套丛书由山东省电力学校张磊统稿。

本丛书在编写过程中，中国东方电气集团公司、西北电力设计院、山东省电建一公司、山东省电建三公司、山东省电力研究院、山东省电力咨询院、中国电力科技网提供了大量的技术资料，给予了大力支持和热情帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于水平所限，加之时间仓促，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2007 年 6 月

本书前言

随着高参数大容量机组的发展,机组自动化水平越来越高,热控技术的发展也突飞猛进,机组控制系统和热控设备的安全稳定运行对机组安全经济运行起到非常重要的作用。涉及热控前沿的新理论、新方法、新技术,逐步应用到实际生产中,保证了机组的安全、经济、高效运行,提高了机组自动化水平。

本书以邹县电厂四期工程两台 1000MW 超超临界燃煤凝汽式汽轮发电机组为基础,全面介绍各控制系统的组成、原理,控制系统和设备的选型原则以及新技术的应用,同时结合现场实际和调试过程中发现的问题介绍了实际运行中的注意事项。本书编写过程中,作者收集了大量的原始资料和现场调试资料,在与现有技术进行比较的基础上,介绍了新技术、新知识。

本书由华电国际邹县发电厂张华和山东省电力学校孙奎明担任主编并统稿,山东省电力学校张磊担任副主编。参与本书编写的有华电国际邹县发电厂宋勇军、曹善勇、康凯、姚秀娟、刘继则、王丽英、张琳、孔庆雨、徐文平、刘晓亮、何修年、张传胜、白国华、宗珂、刘浩伟、赵书新、袁冬雨、丛晓、贾敬臣和山东省电力学校周长龙、片秀红。本书由华能集团公司浙江分公司刘金生和西北电力设计院王芙蓉主审。

限于编者水平,加之时间仓促,书中疏漏之处在所难免,恳请广大专家和读者批评指正。

编者

2009 年 6 月

目录

序

前言

本书前言

第一章 1000MW 超超临界机组设备及控制技术概述	1
第二章 1000MW 超超临界机组控制系统硬件	8
第一节 OVATION 控制系统	8
第二节 HIACS-5000M 控制系统	26
第三节 Industrial Symphony 控制系统	41
第四节 Teleperm-XP 控制系统	44
第五节 MAX-1000 控制系统	48
第三章 1000MW 超超临界机组协调控制系统	51
第一节 超超临界机组的特点	51
第二节 超超临界机组协调控制系统的特点	55
第三节 1000MW 超超临界机组协调控制系统实例	59
第四章 1000MW 超超临界机组顺序控制与保护	103
第一节 超超临界机组顺序控制系统 (SCS)	103
第二节 炉膛安全监控系统 (FSSS)	116
第三节 汽轮机监测仪表系统 (TSI)	131
第四节 1000MW 超超临界机组硬接线保护回路	134
第五章 1000MW 超超临界机组汽轮机控制系统 (TCS)	143
第一节 汽轮机控制系统 (TCS) 概述	143
第二节 汽轮机自启停控制 (ATS)	146
第三节 汽轮机紧急跳闸系统 (ETS)	156
第六章 1000MW 超超临界机组外围辅助车间控制	162
第一节 1000MW 超超临界机组外围辅助车间控制装置	162
第二节 1000MW 超超临界机组外围辅助车间控制介绍	164
第七章 1000MW 超超临界机组的过程仪表及设备	176
第一节 高温高压管道上的仪表阀门	176
第二节 风量测量装置	177
第三节 汽轮机油动机伺服阀	179
第四节 带现场总线接口的智能定位器	186

第五节 ABB 多功能火焰检测智能单元 189

附录 A 常用英文缩写的英文全称及中文含义对照表..... 193

附录 B OVATION 功能图表 199

参考文献 208

第一章 1000MW 超超临界机组设备 及控制技术概述

1000MW 超超临界燃煤凝汽式汽轮发电机组，是国内首批百万千瓦超超临界火电机组引进技术国产化的依托工程，被列为 2005 年国家重点建设工程，是国家“十一五”重点项目。百万机组的建设投产，对提高我国电力工业的设计、设备制造、安装和运营管理水平，对实现电源结构调整、推进产业技术升级、建设资源节约和环境友好型企业，都具有十分重要的意义。

一、机组主要设备技术特点

1. 锅炉

锅炉形式为超超临界参数变压直流炉、一次再热、平衡通风、运转层以上露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构炉。

该锅炉主要技术特点如下：

(1) 具有高参数、大容量。锅炉主要参数见表 1-1。

表 1-1 1000MW 超超临界机组锅炉主要参数

项 目	B-MCR	BRL
锅炉蒸发量 (t/h)	3033	2889
过热器出口蒸汽压力 (MPa)	26.25	26.11
过热器出口蒸汽温度 (°C)	605	605
再热蒸汽流量 (t/h)	2469.7	2347.1
再热器进口蒸汽压力 (MPa)	5.1	4.841
再热器出口蒸汽压力 (MPa)	4.9	4.641
再热器进口蒸汽温度 (°C)	354.2	347.8
再热器出口蒸汽温度 (°C)	603	603
省煤器进口给水温度 (°C)	302.4	298.5

(2) 大量采用新材料。本锅炉大量采用的新材料主要有 SUPER304H, HR3C, SA-335P92, SA-335P91 材料，具体分布如下：

1) 屏式过热器、高温过热器、高温再热器的受热面管子外三圈采用 HR3C 材料，其余内圈均采用 SUPER304H 材料。

2) 屏式过热器出口分配集箱、出口混合集箱、出口连接管和二级减温器及高温过热器出口分配集箱、出口混合集箱均采用 SA-335P92 材料。

3) 高温过热器进口连接管、进口混合集箱、进口分配集箱和再热器出口分配集箱、高温再热器出口混合集箱均采用 SA-335P91 材料。

(3) 具有高效率。锅炉燃用设计煤种，在 BRL 工况下锅炉保证热效率不低于 93.8%

(按低位发热值计算), 设计发电标准煤耗 272.9g/kWh, 设计供电煤耗 (含脱硫) 288g/kWh。

(4) 环保型设计。锅炉燃烧采用前后墙对冲燃烧方式。锅炉燃烧系统采用前后墙对冲燃烧, 燃烧器采用新型的 HT-NR3 低 NO_x 燃烧器, 燃烧器分 3 层, 每层共 8 只。燃烧系统共布置有 20 只燃尽风喷口, 48 只 HT-NR3 燃烧器喷口, 共 68 个喷口。在 35%~100%B-MCR 工况下, NO_x 排放量不高于 300mg/m³ (标况)。

锅炉按采用氨触媒法方案考虑脱硝装置预留。在 B-MCR 工况下, 脱硝效率大于 75%, 即锅炉出口的 NO_x 排放量小于 75mg/m³ (标况) ($\text{O}_2=6\%$)。除催化装置不装设而改用临时烟道代替外, 锅炉本体的其余部分均按装设脱硝装置考虑。

(5) 锅炉运行适应能力强。

1) 锅炉带基本负荷并参与调峰, 且能满足锅炉 RB、50%和 100%甩负荷试验的要求。

2) 制粉系统采用双进双出钢球磨正压直吹式制粉系统, 每台锅炉配 6 台磨煤机, 5 台磨煤机运行时带 BRL 负荷。

3) 给水系统配置 2 台 50%B-MCR 容量的调速汽动给水泵和 1 台 30%B-MCR 容量的电动调速给水泵, 实现全程给水控制。

4) 汽轮机旁路系统采用 25%B-MCR 一级电动大旁路, 仅启动时用。

5) 除渣方式采用刮板捞渣机, 实现固态连续排渣。

6) 锅炉在燃用设计煤种时, 不投入最低稳燃负荷不大于锅炉的 30%B-MCR, 并在最低稳燃负荷及以上范围内满足自动化投入率 100%的要求。

7) 锅炉采用定压-滑压-定压运行方式, 在 30%B-MCR~90%THA 负荷下采用滑压运行方式。

8) 采用高压缸启动方式, 锅炉的启动时间 (从点火到机组带满负荷) 与汽轮机相匹配, 具体情况如下所示:

冷态启动 (停机超过 72h): 10~11h;

温态启动 (停机 32h 内): 4~5h;

热态启动 (停机 8h 内): 3~3.5h;

极热态启动 (停机小于 1h): <3h。

2. 汽轮机

汽轮机总体结构采用四缸、四排汽、单轴布置方案。从机头到机尾依次串联 1 个单流高压缸、1 个双流中压缸及两个双流低压缸。高压缸呈反向布置 (头对中压缸), 由 1 个双流调节级与 8 个单流压力级组成。中压缸共有 2×6 个压力级。2 个低压缸压力级总数为 2×2×6 级。机组总长为 36.59m, 末级叶片高度为 43 英寸 (1092.2mm), 根径为 73 英寸 (1854.2mm), 轴向排汽面积为 10.11m², 总轴向排汽面积为 40.44m²。采用一次再热, 双背压凝汽器。高中压动叶结构形式采用自带冠 (CCB), 低压动叶均为 CCB 结构。

本汽轮机由原设计条件 700MW/3.3kPa 移植到本机 1000MW/5.1kPa 条件下工作, 额定排汽损失由 40.6kJ/kg 降至 30.4kJ/kg, 年平均负荷点 (假设均为 83.3%负荷率) 由 28.3kJ/kg 降至 21.1kJ/kg, 属设计规范合理低限, 仍在最佳范围。本汽轮机主要特点如下:

(1) 总体结构紧凑先进。在百万千瓦容量等级机组上, 采用单轴全转速四缸 (其中高压缸为单流) 四排汽总体结构布置是当今世界上最紧凑先进的方案。

(2) 采用只升温不升压的方式。超临界技术发展之路有三条，技术难点截然不同：只升温不升压只涉及材料问题；只升压不升温涉及结构、强度、循环、通流、调节等多重问题；既升温又升压则兼具上述全部问题难度。只升温不升压之路代表当前超超临界机组发展的主流，反映了技术发展的内在规律，实践证明这是一条成功与省力之路。

(3) 对高温部件作特殊精心设计。根据不同高温区域、不同应力水平的部件采用不同的耐高温材料。如高中压转子及高中压第一级动叶片采用改良的 12Cr 锻钢 (12CrMoVNbW, 耐温 600~610℃)；低压转子采用高纯净低 Si、Mn 能防回火脆化的 3.5NiCrMoV 钢，以满足因再热温度大幅度提高导致低压进口温度高达 391℃的工作条件。结构上采取有效冷却措施——高压主汽管壁上开有小孔，引入冷却蒸汽对 CrMoV 锻钢制成的高压外缸进行冷却。中压缸进汽部分除了有类似的高压缸的冷却结构外，还通过专门设置的管道用冷却蒸汽去冷却双流型中压转子温度最高的中间部位。对高中压转子的轴颈部位用 CrMoV 钢进行表面堆焊，防止被轴承表面磨损。

(4) 采用多项先进通流技术，保证较高经济性。针对不同部位的通流部分，采用了多项有效的先进通流技术，以提高通流内效率，如平衡层流叶栅、AVN-S 及 AVN-L 静叶成型技术等等。

3. 电气系统

(1) 发电机主要技术参数如下：

型号	TFLQQ-KD
额定容量	1120MVA
额定功率	1000MW
最大连续容量	1064MW
额定电压	27kV
额定功率因数	0.9 (滞后)
额定频率	50Hz
额定转速	3000r/min
效率	99%
冷却方式	水氢氢
励磁系统	自并励静态励磁

(2) 其他方面。

发电机经过 3 台 380MVA 强油风冷无载调压的单相变压器分别接入 500kV 系统，电气主接线采用发电机-变压器-线路组接线。500kV 系统采用一个半断路器接线，进线 2 回，出线 1 回。

根据主厂房 A 排的实际布置及将来的容量电费等原因，经过经济技术比较，发电机出口不设出口断路器。

主变压器至 500kV 升压站之间由于线路距离长，而且布置空间受三期冷却水塔影响，四期采用线路铁塔作为主变压器进线，共设 4 台线路铁塔，其中 1 台单回路塔、2 台双回路塔、1 台双回路转角塔。

500kV 升压站的线路断路器、母线设备及全部隔离开关采用由网络计算机监控，取消常规一对一硬手操，不设模拟屏。网络计算机监控系统采用分层分布式结构，操作员工作站

采用双机系统，主网采用以太网，数据采集系统为现场总线方式，网络介质采用光纤或双绞线。

2×1000MW 超超临界机组共设置 2 台容量为 68/34-34MVA 的启动/备用变压器，考虑三期工程运行实际，单路电源带 2 台启/备变运行方式不灵活，且 220kV 断路器检修时需做临时措施维持备用电源，故四期启动/备用电源通过两组 220kV 交联聚乙烯干式电缆，由 220kV 配电装置两回备用断路器间隔引接。

高压厂用电电压等级考虑电动给水泵电动机的启动及电动机制造厂的实际情况采用 10kV 级电压。10kV 及 400V 厂用电管理系统采用智能化现场总线方式，由厂用数据采集系统的现场保护测控层将下放于各开关柜的微机综合测控、保护装置的信息传至厂用电通信管理单元，厂用电通信管理单元完成对厂用电系统的监测、报表打印等功能。为保证 DCS 顺序控制的可靠性，与顺序控制有关的开关位置状态触点及启、停指令开关量仍采用硬接线方式与 DCS 连接。

接地网根据一～三期的实际情况采用阴极保护方式。

每台机组设置 1 台快速启动的柴油发电机组，作为本机组的事故保安电源。

设计厂用电率（含脱硫）为 5.34%，不含脱硫时为 4.42%。

4. 其他技术特点

(1) 脱硫技术。脱硫采用石灰石—石膏湿法脱硫工艺，脱硫效率高，可达 98% 以上。系统对锅炉燃煤煤质变化适应性较好，对锅炉负荷变化有良好的适应性，具有较高的可靠性，系统可用率可达 99% 以上。采用价廉易得的石灰石作为吸收剂，吸收剂化学剂量比低，液/气比（L/G）低，使脱硫系统的能耗降低。同时可得到纯度很高的脱硫副产品——石膏，为脱硫副产品的综合利用创造了有利条件。采用空塔型式使吸收塔内径减小，减少了占地面积。

(2) 中水处理技术。本工程采用城市中水作为水源之一，能够节约大量的地下水和地表水。中水深度处理站由中水深度处理系统，电厂三、四期生活污水处理系统，工业废水处理系统三部分组成。设计时对这三个系统进行了优化，做到加药系统、杀菌系统（包括循环水杀菌）、污泥系统等集中布置，集中全自动控制和配电。整个中水处理系统实现自动运行，所有药品的投加量自动控制，设备的反洗、冲洗、排泥等自动进行。

中水深度处理系统设计水量 4200m³/h，主要工艺采用石灰混凝澄清、过滤，处理后的水经杀菌后补入相应冷却塔。

二、机组热工自动控制技术特点

1. 1000MW 超超临界机组对热工自动控制的要求

与亚临界机组相比，1000MW 超超临界机组主机系统表现为高参数、高功率、监控量大、控制难度高等特点，具体要求为：

(1) 主机系统输入/输出工艺变量多，系统规模显著增大。单台 300MW 机组主机 I/O 点约 6000 点，600MW 机组 I/O 点约 9000 点，1000MW 机组 I/O 点大于 10000 点，最终系统总点数约 120000~150000 点。

(2) 动态过程加快。由于主汽压力参数上升，介质刚性提高，另一方面由于做功工质占汽水循环总工质的比例增大，因此造成动态过程加快，机、炉、电的总体性增强。

(3) 数学模型不精确。直流锅炉是汽水一次性循环，不具有类似于汽包的储能元件，锅

炉储能小，很难找到类似于热量信号的仅反映燃料的变化、不反映汽轮机调节汽门及给水流量变化的信号。直流锅炉/汽轮机是复杂的多输入多输出的被控对象，燃料量、给水量、汽轮机调门开度任一发生变化均会影响机组负荷、主汽温度、主汽压力变化，它们之间相互影响不能忽略。

(4) 外围辅助车间数量增多，地域分散。基于环境保护的要求越来越高，污染物的排放、水资源的利用都受到了严格的限制，新上火电机组工程项目中在原有的输煤系统、除灰渣系统、化学水处理系统、凝结水精处理系统、制氢站、工业水泵房等的基础上，城市中水处理、反渗透水处理、海水淡化、脱硫及脱硝设备及系统又成了必须配置的生产辅助车间，这样外围辅助车间的数量又增加了很多，辅助车间的范围继续扩大，大型火电机组中外围辅助车间的控制规模也相应增大，对这些系统的集成提出了新的要求。

2. 热工控制系统设计选型原则

热控设备选型统一化、控制系统一体化的设计在火电厂中已成为一种趋势，这样方便运行人员操作、检修人员维护与检修、人员培训、备品配件储备。现在有的电厂甚至把外围车间的控制都纳入了主机 DCS，这在 600MW 以下特别是 300MW 以下机组是可行的，因为技术发展已经很成熟，设备选择余地较大。但对于大型火电机组，特别是大型超超临界机组，其主机和主要辅机性能参数要求高，很多设备要求进口，选择余地较小，而进口设备的控制供货方一般都要求配其自己的控制系统，如汽轮机、旁路系统等，不同意纳入主机 DCS 中进行控制，否则不保证设备性能。这造成热控系统一体化设计与选型非常困难。

大型火电机组热控系统的选型中，在处理热控系统一体化与机组整体性能的问题上，应逐次从以下七个方面进行考虑：

(1) 是否能保证主机安全。控制系统设计首先应能保证发电机组主机的安全，保证在机组参数超出最大允许范围，出现不可逆转的工况时迅速跳掉主机，保证设备安全。

(2) 是否能保证辅机安全。在保证主机安全的前提下，当重要辅机参数超出最大允许范围、出现不可逆转的工况时迅速跳掉辅机，保证辅机安全。

(3) 是否能保证机组控制的可靠性。在保证机组安全的前提下，所选择的控制设备应是可靠性较高，MTBF 时间较长的设备，只有这样才可以保证机组控制的可靠性。

(4) 是否方便机组的操作与控制。所选择的控制系统是否方便操作与控制，自动化程度是否高，人机界面是否友好。

(5) 是否方便检修、维护。所选择的设备备品供应是否可靠，检修是否方便。DCS 系统各种报表功能是否齐全，是否方便出图等。

(6) 是否方便安装、调试。

(7) 是否影响美观。

热控系统的首要任务是保证主辅机设备安全。热控系统中负责此项工作的是 FSSS 和 ETS。由于保护系统对处理速度的要求，早期的 FSSS 大都通过 PLC 实现，但随着 DCS 控制器处理速度发展，又因为相对于汽轮机和发电机而言，锅炉的惯性较大，其控制系统是一个慢速系统，当前的典型设计是放入 DCS 中，专用一个处理器完成此项功能。这样做的好处是在保证设备安全的情况下，减少了控制系统的种类，方便第一故障显示和跳闸原因查找，方便运行、维护与检修。汽轮机是一个快速系统，对其保护系统的响应时间要求也较高，因而现在新建或改造电厂仍采用继电器硬接线回路实现汽轮机的保护是有其道理的，但

这样不方便跳闸原因查找且没有历史追忆。比较好的办法是采用能与主机 DCS 通信且能在主机 DCS 的工程师站上进行组态的专用 PLC，这样既方便了跳闸原因查找和历史追忆，又能很好保证保护动作的实时性。对于保证汽轮机安全停机的事故油系统，其连锁应保留不依赖主机 DCS 的硬连锁。辅机的保护一般在 DCS 中实现，但重要辅机的润滑油泵也应保留硬连锁，防止 DCS 连锁的不及时。除此之外，独立于 DCS 的手动停机、停炉回路不可省略，这是保证机组安全的最后防线。

在保证机组安全的前提下，设备选型其次应该考虑控制系统的可靠性，只有控制系统可靠，平均无故障时间较长，控制系统与被控对象能够密切配合，各种控制策略能够充分实现，机组才能可靠运行。因而无论控制系统还是就地检测设备或执行机构，都应选择有良好应用业绩的产品和技术实力雄厚的成套商。

在热控系统可靠的前提下才可进一步要求控制系统控制的方便性、人机界面的友好性和设备级、系统级、机组级自动控制的完整性。只有这样才能做到减人增效，保证企业的经济效益。在热控系统的可靠性与控制的方便性相矛盾时，应首先保证机组的可靠性。如国外进口的汽轮机一般都要求配自己的控制系统（DEH 和 MEH），这与业主要求的控制系统选型的统一性相矛盾，在招标时可以要求对方的控制纳入 DCS，但在对方不响应的情况下，按照首先保证机组可靠性的原则，应接受对方成熟的设计，采用其他措施或办法提高控制的方便性。

在此基础上，应进一步要求热控系统的可维护性，如 DCS 控制系统卡件种类不可太多，控制柜内电源种类不可太多，单块 I/O 卡件上的通道数不可太多，接线端子不可太小，工程师站可以方便调用各种逻辑图、各种报表，操作员站方便做各种趋势图及各种过程画面切换等。再如电动执行机构能否实现免开盖调试，变送器能否远方测试等。

在上述基础上，再进一步考虑热控系统的安装、调试的方便性，如控制柜内接线端子排和走线槽等布置应合理，控制柜应坚固，就地设备的接线出口应标准等。

在以上条件都能满足的情况下，最应该考虑的就是系统的美观性了，这在集控室的布置上表现得最明显。如采用何种形状、材质、颜色的操作台，是否设立触摸屏、大屏幕，是否保留光字牌和常规仪表等。这些虽然对实现机组控制没有多大影响，但可以影响人们对这台机组的感受。

判断一台机组的热控系统是否先进，应首先看其是否能够保证机组安全经济运行。在大型火电机组进行设备选型时，由于很多设备国内技术不过关，涉及到很多国际招标，会受到各种因素制约，设备选型的统一性很难保证，此时应按以上原则加以权衡、取舍。

另外，为了提高设备可靠性及机组自动化水平，就地过程仪表及控制机构依据维修方便原则，设备选型尽量统一。

3. 机组典型控制系统配置和在厂房内的布置

大型火力发电厂典型控制系统一般分为主厂房控制系统（主控制系统）及外围辅助车间控制系统。主控制系统一般包含 FSSS、ETS、MCS、DEH、SCS、ECS、DAS、BPS、MEH、吹灰程控系统、TSI 等部分，以上系统的功能实现可采用统一的 DCS 硬件平台，同时，也有个别系统采用与 DCS 不同的硬件平台，如有些工程主机 DEH、MEH 作为汽轮机功能整体的一部分，随汽轮机供货，采用与 DCS 不同的控制硬件；有些工程 FSSS 采用 PLC 或继电器硬接线实现等。

但随着技术的发展，主控制系统采用统一 DCS 已成趋势。目前国内常见的较适用于大型火电机组的 DCS 主要有北京 ABB 贝利控制有限公司的 SYMPHONY、上海西屋控制系统有限公司的 OVATION、西门子电站自动化有限公司的 TELEPERM-XP、日立（北京）公司的 HIACS5000-M 等。TSI 国内较常用的为 BENTLY3500 和 MMS6000。很多工程给水泵汽轮机的控制系统随给水泵汽轮机供货，控制系统采用 MEH，硬件多采用 WOODWARD505 控制系统。外围辅助车间地理上布置较分散，各辅助车间多采用 PLC 控制方式，然后通过辅助控制车间控制网络将各分散的辅助车间控制系统联接成一个大的控制网络，称为辅助车间控制网络。可实现在主集控室内对外围车间进行监控，达到减人增效的目的。

随着环境要求的逐步提高，新上火电机组必须同步配备脱硫和脱硝系统，由于脱硫和脱硝系统较复杂，其控制系统多采用 DCS。

该超超临界机组将控制系统划分为主厂房区域及外围辅助厂房区域。包括凝结水在内的主厂房区域设备的控制采用 DCS。外围厂房由于地理上较分散，且与主厂房区域内的设备在控制上关联性不强，分为输煤、除灰渣、脱硫、中水处理、反渗透等辅助车间，采用 PLC 控制。DCS 采用上海西屋过程控制有限公司的 OVATION 控制系统，该系统控制能力强，扩展能力强，兼容性好，I/O 卡件支持 HART 协议，方便设备维护及状态检修，同时该系统还支持各种现场总线，人机界面友好，非常方便运行人员操作及故障原因排查，方便工程师系统维护及管理。在本工程中所有变送器卡件采用支持 HART 协议卡，炉顶大包温度、汽轮机缸壁温度及轴封系统汽温、汽压调节等采用了现场总线。所有外围辅助车间的控制流程通过辅助网络，可以实现在集中控制室监控。

集中控制室布置简洁、明快，操作台上只有液晶显示器、操作键盘、鼠标及事故按钮，立屏布置机组重要参数显示屏及等离子电视，等离子电视用于显示炉膛火焰、全厂闭路电视系统、DCS 过程画面及外围厂房控制流程图。