

660MW超超临界火力发电机组培训教材

REKONG FENCE

热控分册

望亭发电厂 编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



660MW超超临界火力发电机组

REKONG FENCE

热控分册

望亭发电厂 编

内 容 提 要

《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》对超超临界燃煤发电机组的原理及设备只做简单介绍,着重以岗位运行知识为基础,以提高操作技能为目的,根据电厂生产一线人员在 660MW 超超临界燃煤发电机组调试、运行、维护过程中的经验,详细介绍发电设备及系统的运行维护及故障处理。

本书为此套教材的《热控分册》。书中重点围绕 660MW 超超临界火力发电机组的性能和控制展开叙述,主要内容包括超超临界机组的特点及其控制系统的组成,以及超超临界机组分散控制系统、启动系统、数据采集系统、模拟量控制系统、炉膛安全监控系统、顺序控制系统、电气系统及公用系统、数字电液控制系统、给水泵汽轮机电液控制系统、旁路控制系统和全厂辅助系统集中监控网络。

本书可作为从事 660MW 超超临界火力发电机组热工控制维护、运行及管理人員的上岗培训、在岗培训及继续教育等的培训教材,也可作为 600~1000MW 超超临界火力发电机组热控技术人员及大专院校相关专业师生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

660MW 超超临界火力发电机组培训教材. 热控分册/望亭发电厂编. —北京:中国电力出版社,2011.6

ISBN 978-7-5123-1763-5

I. ①6… II. ①望 III. ①火力发电-发电机组-技术培训-教材 ②火电厂热力工程-自动控制系统-技术培训-教材 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 101410 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 332 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 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

《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》

编 委 会

主任委员 陈海斌

副主任委员 齐崇勇 杨惠新

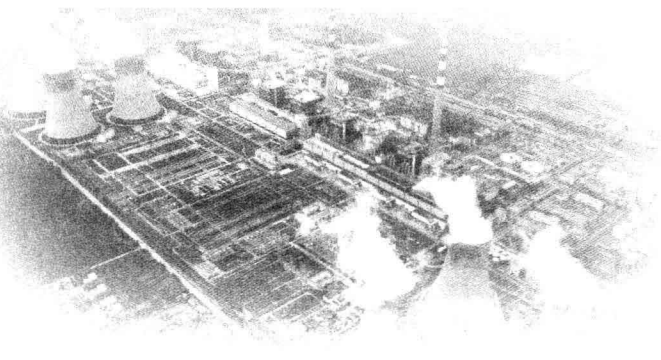
丛书主编 林 伟

编 委 朱卫风 林 伟 陈海宁 秦明宝 郭海军

胡龙弟 徐国飏 包献忠 朱建平 王建中

高 炜 陆 烨 陆建棋 李浩侃 曹 萍

瞿才良 罗志浩



序

自 1882 年中国有了商品电以来，中国电力工业的历史车轮已然驶过了三个世纪。斗转星移，大浪淘沙，在今天知识爆炸的时代，新一代的电力工作者需要怎样的知识来传承光荣，成就梦想？需要怎样的书籍来实现自我提升，成为一名真正具有竞争力的电力工作者？人生哲理、科学理论、生活常识，这些都很重要。阅读它们可以使人明智、静心、修身、达理，不断走向完美。但要成为一名优秀的电力运行工作者，除了这些之外，更为重要的是一定要有过硬的专业素质，以及坚定而执着的专业精神，这就需要有一套专业对口、学践结合、操作性强、通俗易懂的职业学习丛书，这就是我们出版《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》丛书的主要宗旨。

当前，加快转变经济发展方式已成为影响我国经济社会领域各个层面的一场深刻变革。在火电行业，大容量、高参数的火电机组因为其较低的能耗和排放成为了行业发展的主流。随着单机百万容量机组的投产发电，标志着我国的电力工业已经步入百万级时代。但是，就目前情况而言，600MW 级的机组仍是我国电网供电的中坚力量。因此，加强对 600MW 级机组基础理论的研究，深入开展 600MW 级机组的管理创新和技术创新，不断提高 600MW 级机组运行技术水平，对于促进中国电力工业更加健康快速地发展，确保国民经济稳定运行具有重要的现实意义。

2009 年 6 月，望亭发电厂通过科学论证、大胆规划、辛苦建设，在国内率先成功投运了由上海电气集团制造的 660MW 超超临界燃煤机组。投运至今，各项性能指标在同类型机组中处于先进行列，并成为中国华电集团 600MW 级标杆机组。“追求卓越，勇于创新”的企业精神造就了今天望亭发电厂的再度辉煌，有

着崇尚科学、不断精益求精传统的“望电人”紧紧依托自身日积月累、扎实深厚的技术底蕴，立足 660MW 级超超临界燃煤机组基建生产运行所掌握的第一手宝贵经验，加紧研究、认真总结、不断提炼，迅速建立起一套体系完善、环节精益、过程闭环、统筹兼顾的运营管控理论模式，锻炼出一支业务精、作风硬、素质强的职工队伍，为更好地发挥机组运营潜效、不断提升内生效益奠定了理论和技术基础，为实现超超临界机组在中国更好地发展和运营做出了自己应有的贡献。

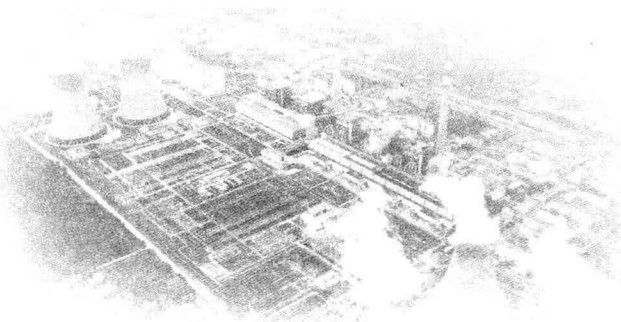
本套丛书编撰历时两年有余。两年来，在望亭发电厂党委和厂部的关心支持下，集聚厂内技术骨干的编撰团队克服了生产任务繁重、技术资料缺乏、编撰经验不足等诸多困难，充分发挥“望电人”严谨求实的工作作风，勤钻研、巧思考、多实践，力求在内容上理论联系实际，在表述上做到通俗易懂。本套丛书包括《汽轮机分册》、《电气分册》、《锅炉分册》、《脱硫脱硝分册》、《化学分册》、《燃料分册》、《热控分册》。针对发电厂工作的特点，本套丛书对 660MW 超超临界燃煤发电机组设备的原理只做简单介绍，着重以岗位运行知识为基础，以提高技能操作能力为目的，根据电厂一线人员在 660MW 超超临界燃煤发电机组调试、运行、维护过程中的经验，介绍发电设备及系统的运行维护及故障处理，有效提升了本书的实用性，使该书成为国内少有的能够全面、系统地反映该类型机组的培训教材。

时代在变，创新的精神和力量是永恒的。我们希望本套丛书的出版，能够成为一个契机和交流的载体，为推动低碳节能的 660MW 超超临界燃煤机组在中国更好更快地发展增添一份力量。

由于编撰人员的理论水平和实践经验有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。



2011 年 4 月



前言

随着电力工业技术的不断发展,用电量的持续增加和世界范围内环保形势的日趋严峻,大容量、高参数、高效率的超超临界大型发电机组正逐渐成为我国电力系统的主力发电机组。大型超超临界发电机组普遍采用低 NO_x 燃烧以及烟气脱硫脱硝技术,大幅度降低了二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放。低煤耗、高环保的超超临界发电机组目前正成为我国电力行业“上大压小”、“节能减排”的首选机型。

为使广大电力生产岗位工人、技术人员和管理人员熟悉、了解和掌握 660MW 超超临界大型燃煤火力发电机组的性能及特点,中国华电集团公司望亭发电厂在中国电力出版社的大力支持下,组织各级技术人员耗时两年时间,精心编写了《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》。

针对发电厂工作的特点,本套教材对 660MW 超超临界燃煤发电机组设备的原理只做简单介绍,着重以岗位运行知识为基础,以提高操作技能为目的,根据电厂生产一线人员在 660MW 超超临界燃煤发电机组调试、运行、维护过程中的经验,详细介绍发电设备及系统的运行维护及故障处理,力求能以平实的语言及通俗的阐述,更好地满足 660MW 超超临界燃煤机组岗位运行、技能操作和继续教育的需要。本套教材也可供高等院校有关专业的相关师生参考。

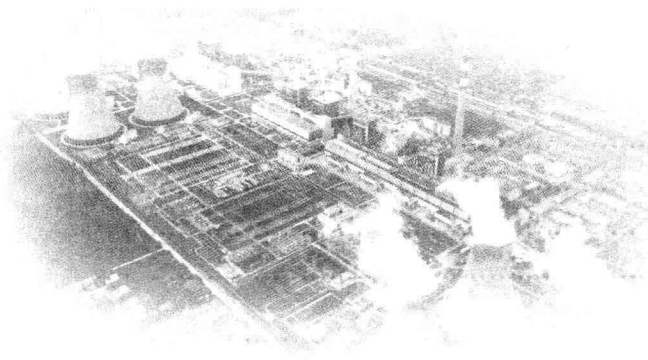
本书为《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》热控分册。书中以望亭发电厂两台 660MW 超超临界燃煤凝汽式汽轮发电机组为基础,对超超临界燃煤发电机组热力控制系统的原理、结构和热控设备的选型及其新技术进行了全面的介绍,同时结合现场实际和调试过程中发现的问题介绍了实际运行中的注意事项。本书共十二章,由瞿才良主编,陈海宁主审。

本分册在编写过程中,参阅了部分已正式出版的技术文献及制造厂、设计院、安装单位、调试单位的有关说明书、图纸等技术资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,错漏之处在所难免,敬请读者批评指正,并提出宝贵意见。

编者

2011 年 4 月



目 录

序

前言

第一章 超超临界机组概述	1
第一节 超超临界机组的特点	1
第二节 超超临界机组的热控设计特点	5
第三节 超超临界机组控制系统的组成	14
第四节 超超临界机组分散控制系统的结构	15
第二章 超超临界机组分散控制系统	19
第一节 超超临界机组分散控制系统概述	19
第二节 OVATION 分散控制系统	22
第三节 HIACS-5000M 控制系统	34
第四节 EDPF-NT 控制系统	44
第三章 660MW 超超临界机组的启动系统	54
第一节 启动系统的功能和分类	54
第二节 启动系统的控制特点	55
第三节 锅炉循环泵启动系统的基本控制	60
第四章 660MW 超超临界机组数据采集系统 (DAS)	63
第一节 数据采集系统的主要功能	63
第二节 数据采集系统的设计说明	64
第五章 模拟量控制系统 (MCS)	72
第一节 热工自动控制基础	72
第二节 660MW 超超临界机组主要控制特点的分析	92
第三节 660MW 超超临界机组的主要控制系统	107
第六章 炉膛安全监控系统 (FSSS)	118
第一节 炉膛安全监控系统概述	118
第二节 炉膛安全监控系统的控制设备和逻辑说明	119

第七章 顺序控制系统 (SCS)	134
第一节 顺序控制系统概述.....	134
第二节 锅炉顺序控制系统 (BSCS)	135
第三节 汽轮机顺序控制系统 (TSCS)	143
第八章 电气系统 (ECS) 及公用系统	158
第一节 电气系统及公用系统概述.....	158
第二节 电气系统及公用系统控制逻辑.....	158
第九章 汽轮机数字电液控制系统 (DEH)	163
第一节 660MW 超超临界机组汽轮机数字电液控制系统概述	163
第二节 660MW 超超临界机组汽轮机数字电液控制系统设备及功能	164
第三节 660MW 超超临界机组汽轮机 DEH 主要控制系统	171
第四节 660MW 超超临界机组汽轮机紧急跳闸系统 (ETS)	175
第五节 660MW 超超临界机组汽轮机监视系统 (TSI)	184
第十章 给水泵汽轮机电液控制系统 (MEH)	189
第一节 给水泵汽轮机电液控制系统概述.....	189
第二节 给水泵汽轮机电液控制系统设备及功能.....	190
第十一章 旁路控制系统	195
第一节 汽轮机旁路系统概述.....	195
第二节 汽轮机旁路系统控制设备及逻辑.....	196
第十二章 全厂辅助系统集中监控网络	201
第一节 概述.....	201
第二节 辅助系统控制设备.....	201

第一章

超超临界机组概述

第一节 超超临界机组的特点

一、超超临界机组的参数特点

我国电力行业已逐步形成大电网、大机组、高参数、高自动化的发展格局。尤其是最近几年，国产引进型 600MW 级超临界和超超临界的装机数量日益增多，这是因为更高的电厂效率可以通过增加汽轮机效率来实现，也可以通过把蒸汽最大参数提高到超临界和超超临界工况来实现。超超临界蒸汽工况的特点是主蒸汽工况超过 25MPa 和 600℃，再热蒸汽工况超过 600℃。超超临界机组蒸汽参数越高，热效率也随之提高。热力循环分析表明，在超超临界机组参数范围的条件下，主蒸汽压力提高 1MPa，机组的热耗率就可下降 0.13%~0.15%；主蒸汽温度每提高 10℃，机组的热耗率就可下降 0.25%~0.30%；再热蒸汽温度每提高 10℃，机组的热耗率就可下降 0.15%~0.20%。在一定范围内，如果采用二次再热，则其热耗率可较采用一次再热的机组下降 1.4%~1.6%。

超超临界机组的主蒸汽压力为 25~31MPa，主蒸汽和再热蒸汽温度为 580~610℃。超临界机组的主蒸汽压力通常为 24MPa 左右，主蒸汽和再热蒸汽温度为 538~560℃；超临界机组的典型参数为 24.1MPa/538℃/538℃，对应的发电效率约为 41%。亚临界机组的典型参数为 16.7MPa/538℃/538℃。超临界机组的热效率比亚临界机组的高 2%~3%，而超超临界机组的热效率比超临界机组的高 4%左右。超超临界应用中的最高温度和压力是：主蒸汽工况为 30MPa 和 620℃，再热蒸汽工况为 620℃。以这些蒸汽工况为基础，整体净效率可达 48%。

目前国内已投运的部分 500MW 及以上超（超）临界直流锅炉机组见表 1-1。

表 1-1 目前国内已投运的部分 500MW 及以上超（超）临界直流锅炉机组

机 组	机组容量 (MW)	投产年份	备 注
国华盘山 1、2 号	500	1995	俄供定压运行
伊敏电厂 1、2 号	500	1995	俄供定压运行
国华绥中 1、2 号	800	2001	俄供定压运行
石洞口二期 1、2 号	600	1991/1992	欧供滑压运行
外高桥二期 1、2 号	900	2004	欧供滑压运行
华能沁北 1、2 号	600	2005	欧供滑压运行

续表

机 组	机组容量 (MW)	投产年份	备 注
常熟电厂 1、2 号	600	2005	欧供滑压运行
浙能兰溪 1、2 号	600	2006	英国巴威技术，哈尔滨锅炉厂有限责任公司制造
江苏利港 5、6 号	600	2006	
大唐湖南湘潭	600	2007	英国巴威技术，哈尔滨锅炉厂有限责任公司制造
广西贵港 1、2 号	600	2007	英国巴威技术，哈尔滨锅炉厂有限责任公司制造
华能玉环 1、2 号	1000	2007	三菱技术
华电邹县 1、2 号	1000	2007	三菱技术
江苏望亭 3、4 号	660	2008	上海锅炉厂有限公司制造，OVATION 控制 上海汽轮机有限公司制造，西门子控制

国内不同等级机组的煤耗见表 1-2。

表 1-2 国内不同等级机组的煤耗

机 组	机组容量 (MW)	煤 耗 (g/kWh)	备 注	机 组	机组容量 (MW)	煤 耗 (g/kWh)	备 注
超超临界	1000	283	华能玉环、 华电邹县	超临界	500	328	盘山、伊敏
				亚临界	600	320~330	
超超临界	660	285	江苏望亭	亚临界	300	330~340	
超临界	800~900	306	外高桥、绥中	超高压	200	350	
超临界	600	316	乌沙山、宁德	高压	100	377	

二、超超临界机组的结构特点

超临界和超超临界直流锅炉与亚临界汽包锅炉，两种锅炉在系统组成上的水—汽转换原理和设备不同（见图 1-1），锅炉蓄热能力不同，负荷和扰动的响应速度也不同，而最大的

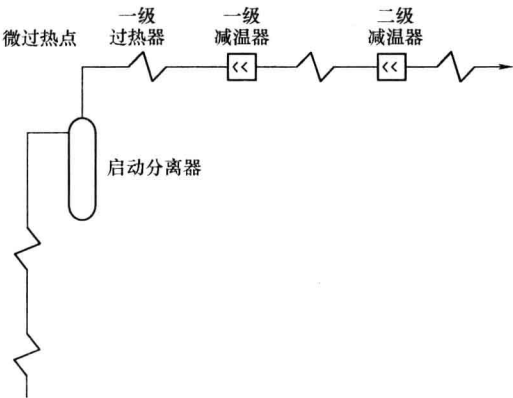


图 1-1 超超临界机组的结构原理

区别还在于锅炉启动系统的差异。超临界和超超临界直流锅炉和亚临界汽包锅炉控制方式的不同之处是对锅炉的给水和燃料的调节方式。超临界和超超临界直流锅炉正常运行时，分离器出口温度处于微过热状态，此处是反映给水和燃料关系变化的最灵敏的测量点，一般称此测量点为中间点温度。中间点温度还需根据锅炉热负荷、喷水量和分离器的压力进行修正。锅炉运行中将中间点温度控制在一定范围内，可以认为锅炉汽水系统中水相和汽相的分界点的界面就会被相对固定，从而符合了水/燃料比的控制。运行时，必须严格保持锅炉燃料量和给水之间的比例关系（即煤水比），才能防止蒸汽温度超温。这是因为汽包炉的水冷壁运行时始终处于饱和温

定，从而符合了水/燃料比的控制。运行时，必须严格保持锅炉燃料量和给水之间的比例关系（即煤水比），才能防止蒸汽温度超温。这是因为汽包炉的水冷壁运行时始终处于饱和温

度下, 燃料量只与蒸发量有关, 直流炉的水冷壁温度与给水量和燃料量有关, 参数稍有变化就会影响水冷壁出口温度, 造成主蒸汽温度超温。综上所述, 超临界和超超临界直流锅炉调节的关键是控制中间点温度, 保持燃料和水的比例才能使主蒸汽温度喷水调节量足以维持主蒸汽温度在额定范围内运行。

超超临界直流锅炉的基本特点: 超超临界变压运行直流锅炉一般采用 Π 型布置、单炉膛、低 NO_x PM 主燃烧器和 MACT 燃烧技术、墙式切圆燃烧方式; 炉膛采用内螺纹管垂直上升膜式水冷壁、循环泵启动系统、一次中间再热; 调温方式除煤水比外, 还采用烟气分配挡板、燃烧器摆动、喷水等方式; 锅炉采用平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构; 锅炉点火助燃采用 0 号轻柴油; 锅炉运行方式为带基本负荷并参与调峰; 制粉系统采用中速磨煤机直吹式制粉系统; 锅炉在燃用设计煤种时, 不投油最低稳燃负荷为 35% BMCR; 锅炉在 25%~100% 负荷范围内以纯直流方式运行, 在 25% 负荷以下以带循环泵的再循环方式运行, 启动系统用以保证启动的安全可靠性和经济性; 低 NO_x 排放, 锅炉排烟中 NO_x 含量不超过 $400\text{mg}/\text{m}^3$ (标准状态下, 干烟气, 6% O_2)。

超超临界直流锅炉的总体布置: 锅炉的汽水流程以内置式汽水分离器为分界点, 从水冷壁入口联箱到汽水分离器为水冷壁系统, 从分离器出口到过热器出口联箱为过热器系统, 另有省煤器系统、再热器系统和启动系统。过热器采用四级布置, 即低温过热器 (一级过热器) $\rightarrow$ 分隔屏过热器 (二级过热器) $\rightarrow$ 屏式过热器 (三级过热器) $\rightarrow$ 末级过热器 (四级过热器); 再热器采用二级布置, 即低温再热器 (一级再热器) $\rightarrow$ 末级再热器 (二级再热器)。其中, 低温再热器和低温过热器分别布置于尾部烟道的前、后竖井中, 均为逆流布置。在上炉膛、折焰角和水平烟道内分别布置了分隔屏过热器、屏式过热器、末级过热器和末级再热器, 所有过热器、再热器和省煤器部件均采用顺列布置, 以便于检修和密封, 防止结渣和积灰。过热器采用煤水比作为主要的汽温调节手段, 并配合三级喷水减温作为主蒸汽温度的细调节。喷水减温为每级左右两点布置, 以消除各级过热器的左右吸热和汽温偏差。再热器调温以烟气挡板调温为主, 燃烧器摆动调温为辅, 同时在再热器入口管道上布置有事故喷水装置。燃烧方式一般以四角切圆燃烧方式居多, 制造厂与电厂在四角切圆燃烧方式的应用方面已积累了丰富的设计运行经验。切圆燃烧方式的优点是煤种适用性强, 与前后墙对冲燃烧相比, 炉内 NO_x 的排放量相对较低。

锅炉的新蒸汽压力介于 25~31MPa 的锅炉称为超超临界锅炉, 配套的汽轮机称为超超临界汽轮机。

三、超超临界机组的设备特点

以某发电厂 660MW 超超临界机组为例, 说明超超临界机组的主设备配置。

1. 锅炉

锅炉采用上海锅炉厂生产的超超临界参数变压直流炉, 单炉膛一次中间再热、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 Π 型锅炉。

锅炉 (BMCR 工况) 主要参数见表 1-3。

2. 汽轮机

汽轮机为上海汽轮机有限公司生产的超超临界、一次中间再热、单轴、四缸四排汽、凝汽式汽轮机 (型号: N660-25/660/660)。汽轮机主要参数见表 1-4。

表 1-3 某发电厂 660MW 超超临界机组锅炉（BMCR 工况）主要参数

参 数 名 称	单 位	技术协议数据	新热平衡图（汽轮机要求）	
			100	105TRL
过热蒸汽流量	t/h	1991	1784.27	2024
过热蒸汽出口压力（表压）	MPa	26.15	26.15	26.15
过热蒸汽出口温度	℃	605	605	605
再热蒸汽流量	t/h	1680	1517.04	1707.67
再热蒸汽进口压力（表压）	MPa	6.11	5.70	6.408
再热蒸汽出口压力（表压）	MPa	5.92	5.244	5.868
再热蒸汽进口温度	℃	377	363.2	384.3
再热蒸汽出口温度	℃	603	603	603
省煤器进口给水温度	℃	297	297	297
锅炉效率	%	93.60		
空气预热器型式		三分仓回转式预热器		

表 1-4 某发电厂 660MW 超超临界机组汽轮机主要参数

参 数 名 称	单 位	投标时参数	热平衡图参数	
额定功率	MW	660	660	
最大连续功率	MW	689.04		719.037
额定主蒸汽压力	MPa	25	25	25
额定主蒸汽温度	℃	600	600	600
高压缸排汽压力（THA 工况，绝对压力）	MPa	5.70	5.70	6.408
高压缸排汽口温度（THA 工况）	℃	361.3	363.2	384.3
再热蒸汽进口压力（THA 工况，绝对压力）	MPa	5.244	5.244	5.868
再热蒸汽进汽温度（THA 工况）	℃	600	600	600
主蒸汽进汽量（THA 工况）	t/h	1781.467	1784.27	2024.24
再热蒸汽进汽量（THA 工况）	t/h	1514.059	1517.04	1707.67
额定排汽压力（THA 工况，绝对压力）	kPa	5.1（平均背压）	5.1	5.1
机组保证热耗（THA 工况）	kJ/kWh	7315	7315	7373

3. 发电机

发电机为上海汽轮发电机有限公司生产的水氢氢冷却、静态励磁汽轮发电机。发电机主要技术参数如下：

- 额定功率660MW
- 额定容量733MVA
- 功率因数0.9（滞后）
- 额定电压20kV
- 效率98.97%
- 励磁方式静态励磁

冷却方式 定子绕组水冷，定子铁芯、转子绕组氢冷

4. 锅炉主要辅机设备

锅炉主要辅机设备有 2 台动叶可调送风机、2 台动叶可调一次风机、2 台静叶可调引风机、4 台轴承冷却风机、6 台给煤机、6 台磨煤机、2 台密封风机、1 台电除尘器、1 台干式除渣机、1 台碎渣机、2 台斗式提升机、1 台干渣装车机、1 台湿式搅拌机和 1 套飞灰输送系统。

5. 锅炉主要配套辅机设备

锅炉主要配套辅机设备有 2 台启动循环泵、2 台疏水泵、2 台高压冲洗水泵。

6. 汽轮机主要配套辅机设备

(1) 2 台 50%BMCR 容量的汽动给水泵和 1 台 30%BMCR 容量的电动给水泵。

(2) 凝结水系统：包括 1 台除氧器、1 台轴封加热器风机、4 台低压加热器。

(3) 高压缸启动方式为两级串联旁路。高压旁路容量为 40%BMCR (1 套/机组)，低压旁路总容量为 40%BMCR+高压旁路喷水量 (2 套/机组)。

第二节 超超临界机组的热控设计特点

对于超超临界机组，热控设计在以下几方面应进行一些特殊考虑：机组控制系统总体方案的确定，分散控制系统 (DCS) 的选型、配置和功能规划，系统图 (PID) 中现场检测仪表的测点配置、仪表选型，主要成套控制装置的选择等。

超超临界机组的控制及保护系统配置、设备选型是热控设计及应用中的重点，根据实际工况合理选择温度元件、变送器、仪表阀门、执行机构等热控设备，将会使超超临界机组运行更加安全、稳定、高效。现场总线技术在超超临界机中的应用及推广将使数字化电厂早日实现，也会使热控水平进一步提高。现就热力系统中主要部分的热控设计进行论述。

一、DCS 的选型与配置

DCS、汽轮机电液控制系统 (DEH)、汽轮机紧急跳闸系统 (ETS)、给水泵汽轮机电液控制系统 (MEH) 大多采用不同软、硬件配置设计，各个系统的软、硬件尚未实现一体化配置。由于目前我国超超临界机组尚处于起步阶段，如此高参数机组的控制和保护系统刚刚引进，部分设备还处于完全进口状态，因此一些先进的控制机理还需进一步研究。强调各个系统软、硬件一体化设计，没有任何技术依据，无法确保机组安全、可靠运行。目前，这种分层、分片区域自治的形式更能提高分散度，增强系统的总体可靠性。由系列化标准硬件组成的上述各个“积木块”可独立完成自己的功能，既可互相通信，又可按网络通信规约统一指挥，协调实现整个机组的自动控制，有利于机组稳定运行。随着机组运行经验的积累，不同控制系统对外联系的自身局限性，必然会导致控制及保护系统的完善和优化，最终将规划各个系统软、硬件一体化设计，实现各装置间的无缝连接。

DCS 的性能与控制系统硬件 (包括系统软件、网络) 和工程应用软件设计两方面相关。随着计算机硬件和网络通信技术的发展，各 DCS 厂家在硬件方面的差距正在缩小，而工程设计能力方面还存在差异。汽轮机和给水泵汽轮机制造厂一般都不愿将 DEH 和 MEH 纳入 DCS，它们往往随主设备配套提供，望亭电厂扩建工程、外高桥电厂二期、玉环电厂工程、

泰州电厂均如此。更重要的是, DEH 及 MEH 包括的范围有时较国内以往的 DEH 和 MEH 的内容更多(往往包括了汽轮机润滑油系统、液压油系统、抽汽系统、轴封疏水系统等方面的控制), DCS 的 I/O 点数统计时也应考虑上述因素的影响。DCS 设计中需注意的另一方面就是控制器数量的确定。由于各 DCS 的控制器在硬件、系统软件、功能块设计及系统网络、工程实际设计等多方面存在差异, 因此各 DCS 厂家在投标中提供的控制器数量差异也很大。

目前, 在连续型流程生产自动控制(PA, 习惯上称之为工业过程控制)中, 有三大控制系统, 即可编程逻辑控制系统(PLC)、DCS 和现场控制系统(FCS)。这三大控制系统各自的基本特点如下:

1. PLC

(1) 从开关量控制发展到顺序控制、运送处理, 控制过程是从下往上的。

(2) 具备连续 PID 控制等多功能, PID 在中断站中。

(3) 可用一台 PC 机为主站, 多台同型 PLC 为从站; 也可用一台 PLC 为主站, 多台同型 PLC 为从站, 构成 PLC 网络。这比用 PC 机作主站更加方便: 有用户编程时, 不必知道通信协议, 只需按说明书格式写即可。

(4) PLC 网络既可作为独立 DCS/TDCS, 也可作为 DCS/TDCS 的子系统。

(5) 大系统同 DCS/TDCS, 如 TDC3000、CENTUMCS、WDPFI、MOD300。

(6) PLC 网络, 如 SIEMENS 公司的 SINEC-L1、SINEC-H1、S4、S5、S6、S7, GE 公司的 GENET, 三菱公司的 MELSEC-NET、MELSEC-NET/MINI 等。

(7) 主要用于工业过程中的顺序控制, 新型 PLC 也兼有闭环控制功能。

(8) 制造商: GOULD (美国)、AB (美国)、GE (美国)、OMRON (日本)、MITSUBISHI (日本)、SIEMENS (德国) 等。

2. DCS 或 TDCS

(1) 分散控制系统(DCS)与集散控制系统(TDCS)是集 4C (Communication、Computer、Control、CRT) 技术于一身的监控技术。

(2) 从上到下的树状拓扑大系统, 其中通信(Communication)是关键。

(3) PID 在中断站中, 中断站连接计算机与现场仪器仪表及控制装置。

(4) 树状拓扑和并行连续的链路结构, 也有大量电缆从中继站并行到现场仪器仪表。

(5) 模拟信号, A/D 和 D/A、带微处理器的混合。

(6) 一台仪表、一对线接到 I/O, 由控制站挂到局域网 LAN。

(7) DCS 是控制(工程师站)、操作(操作员站)、现场仪表(现场测控站)的三级结构。

(8) 缺点是成本高, 各公司产品不能互换, 不能互操作。

(9) 用于大规模连续过程控制, 如石化等。

(10) 制造商: Bailey (美国)、Westinghouse (美国)、HITACHI (日本)、LEEDS & NORTHRMP (美国)、SIEMENS (德国)、Foxboro (美国)、ABB (瑞士)、Hartmann & Braun (德国)、Yokogawa (日本)、Honeywell (美国)、Taylor (美国) 等。

二、测点设置及 DCS 负荷分配

目前, 600MW 级超超临界机组(包括公用部分)系统测点设置数量为 8500~11 500 点

(含脱硫和脱硝), 控制器(单元+公用)对数为 17~23 对, 每对控制器平均负荷为 500~650 点。1000MW 超超临界机组(包括公用部分)系统测点设置数量为 12 000~14 000 点(其中不含纳入 MEH、DEH 的点数), 控制器(单元+公用)对数为 28~35 对, 由此可以粗略得出每对控制器的平均负荷为 350~450 点。当前, 大多数亚临界或超临界机组采用相同类型 DCS 的点数(包含纳入 MEH、DEH 的点数)具体如下: 300MW 机组点数(单元+公用)为 7500~9500 点, 控制器(单元+公用)对数为 12~18 对。随着对超超临界机组动态、静态控制特性的掌握以及设计经验的积累, 机组测点的设置将更合理, DCS 中 I/O 点分配将会考虑实际应用及 DPU 处理效率。

三、现场总线技术的应用

现场总线标准开辟了过程控制的新纪元, 将给传统的控制系统结构带来根本性变革。目前, 不少超超临界机组水处理控制系统中的锅炉补给水和废水处理控制系统已采用 PROFIBUS 总线标准, 汽轮机轴封控制系统、锅炉壁温控制系统、发电机绕组温度控制系统则采用了 FF 总线标准。现场反映总线在连续量及离散量控制方面均发挥了很强的优势。

通过在几个超超临界机组项目中的实施运行, 现场总线的优点越来越被认可。具体优点如下:

(1) 节省硬件数量与投资。由于现场总线系统中分散在设备前端的智能设备具有直接执行多种传感、控制、报警和计算的功能, 因而可减少变送器的数量, 不需要单独的控制器、计算单元等, 也不需要 DCS(或 PLC)系统的信号调理、转换、隔离技术等功能单元及其复杂的接线, 还可以用工控 PC 作为操作站, 节省了硬件投资; 减少了控制室的占地面积。

(2) 节省安装及材料费用。现场总线系统的接线十分简单, 由于一对双绞线或一条电缆上通常可挂接多个设备, 因而电缆、端子、槽盒、桥架的用量大大减少。当需要增加现场控制设备时, 无需增设新的电缆, 可就近连接在原有的电缆上。有关典型试验工程的测算资料显示, 可节约安装费及材料费 60%以上。

(3) 节省维护开销。由于现场控制设备具有自诊断与处理简单故障的能力, 并可通过数字通信将相关的诊断维护信息送往控制室, 因此用户可以查询所有设备的运行、诊断维护信息, 以便早期分析故障原因并快速排除, 缩短维护停工时间。同时, 由于系统结构简化、连线简单, 因而减少了维护工作量。

(4) 电厂具有高度的系统集成主动权。运行人员可以自由选择不同厂商所提供的设备来集成系统, 避免因选择了某一品牌的产品而使选择范围受限, 不会发生系统集成中协议、接口不兼容的现象, 使系统集成过程中的主动权完全掌握在电厂手中。

(5) 提高系统的准确性与可靠性。由于现场总线设备的智能化、数字化, 与模拟信号相比, 它提高了测量与控制的准确度, 减少了传送误差。现场仪表内部功能加强, 减少了信号的往返传输, 提高了系统的工作可靠性。

目前, 现场总线技术不能全方位在整个系统甚至更重要设备中实施, 硬件方面还存在以下问题: 大功率电动机断路器现场总线型产品几乎没有; 带现场总线接口的分析仪表可选范围较小, 而且价格较高; 现场总线协议较多, 且各协议标准特色性很强, 不具备统一形式。

四、DCS 的变频控制应用

随着节能减排工作的逐步深入, 落实国家发展和改革委员会的《千家企业节能行动实施

方案》、建设节约环保型企业正日益成为火力发电厂的工作重点。在火力发电厂的节能减排项目中，高压电机设备的变频器控制，因其节能效果明显而得到了迅速的推广和应用。实现高压变频设备的 DCS 控制，成为高压电机设备变频器控制项目成功实施的关键因素。电厂的辅机在实现变频控制后，可实现自动方式下工频/变频两种方式及小扰动的相互切换，达到较好的控制效果和节能效果，为风机的稳定运行和各工况成功切换提供有力保证。

电厂实现变频控制的辅机主要有凝结水泵、送风机、引风机、一次风机。以下以一次风机变频控制为例，对热工 DCS 相应的控制策略进行分析。

（一）变频控制方案

火电厂一次风机担负着锅炉稳定燃烧的重任，当一台一次风机运行中跳闸时，即使 RB（快速甩负荷）动作良好，通常也会对锅炉燃烧产生影响，造成机组解列的可能性较大。所以，一次风机变频器控制采用了“自动一拖一”的控制方案，每台一次风机的工频/变频之间要实现双向自动切换，且不能对锅炉燃烧造成影响。变频设备厂家通常根据系统情况和用户要求进行设备配置。一次风机变频控制方案示意图见图 1-2。

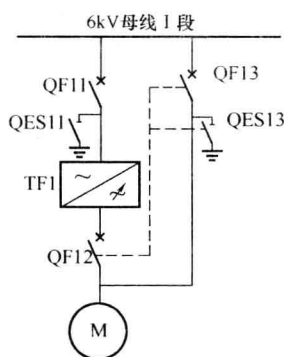


图 1-2 一次风机变频控制方案示意图

QF—高压断路器；QES—高压断路器内的隔离开关；
TF—变频器；M—电动机

图 1-2 所示方案通过增加 2 台高压断路器来实现一次风机工频/变频切换功能。QF12 和 QF13 之间存在电气闭锁和逻辑闭锁关系，防止变频器输出侧和 6kV 变压器侧短路。变频方式启动时，操作变频器下口断路器 QF12、变频器上口断路器 QF12 合闸，然后启动变频器，一次风机变频运行。切到工频方式时，首先停止变频器，断开变频器下口断路器 QF12 和变频器上口断路器 QF11，停运变频器，然后闭合一次风机工频旁路断路器 QF13。

（二）DCS 控制策略

1. DCS 控制策略实施要求

（1）通过变频与工频运行方式之间的协调、切换，保证一次风机不间断运行。

（2）在一次风机变频运行状态自动切换至工频过程中，对切换点的位置判断准确，动作及时有效。

（3）通过变频转速与一次风调节挡板的开度配合，保证一次风不失压，风机不抢风、不返风，使得锅炉在一次风机切换时燃烧稳定，不发生跳磨或灭火现象。

2. 顺控部分的控制策略

风机启停顺控部分在一次风机工频方式程控启、停基础上，加入变频方式程控启、停按钮和工频/变频切换按钮，实现一键自动完成各种工况流程。同时，应具备基础的设备单操功能，以满足运行人员在各种复杂工况下的操作需要。

（1）变频模拟工频启动。为防止在第 1 台风机启动后，变频启动第 2 台风机时产生母管返风、一次风压失稳甚至风机跳闸的现象，一次风机变频方式启动时，2 台风机均采用“变频模拟工频”的启动策略，即一次风机变频方式启动后自动升速到全速运行状态，出口挡板全开，入口挡板关闭。采用该启动策略后，运行人员可在一次风机启动成功后，将一次风压自动调节投入（变频器控制），再手动缓慢开展风机入口挡板。这样，风机转速会自动满足