

600MW火电机组系列培训教材
第七分册



锅炉设备检修

中国大唐集团公司 | 组编
长沙理工大学



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



600MW火电机组系列培训教材
第七分册

锅炉设备检修

中国大唐集团公司 组编
长沙理工大学
鄢晓忠 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为确保 600MW 火电机组的安全、稳定、经济运行,提高 600MW 火电机组的生产运行人员、检修人员和技术管理人员的技术素质和管理水平,适应员工岗位培训工作的需要,中国大唐集团公司和长沙理工大学组织编写了《600MW 火电机组系列培训教材》。

本书是《600MW 火电机组系列培训教材》中的第七分册。本分册详细介绍了当前国内火电厂 600MW 机组锅炉设备的结构、原理、性能、检修工艺及方法,以及锅炉用钢材和锅炉设备所发生的典型故障与处理方法。本书以与 600MW 机组配套的锅炉为主要对象,内容上覆盖了亚临界及超临界锅炉等各种型式的锅炉,内容全面、资料翔实。

本套教材适合作为 600MW 及其他大型火电机组的岗位培训和继续教育,也可供从事 600MW 及其他大型火电机组设计、安装、调试、运行、检修的工程技术人员和管理人员阅读,并可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉设备检修 / 中国大唐集团公司, 长沙理工大学组编.
北京: 中国电力出版社, 2009.12
(600MW 火电机组系列培训教材: 7)
ISBN 978-7-5083-9584-5

I. 锅… II. ①中…②长… III. 火电厂-锅炉-检修-技术培训-教材 IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 191054 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 500 千字
印数 0001—5000 册 定价 43.00 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

近年来,为进一步深入落实实践科学发展观以及适应国家节能减排及环保的需求,大容量、高参数、高自动化的大型火力发电机组在我国日益普及。600MW火电机组因其具有大容量、高参数、低能耗、低污染、高可靠性等优点,现已成为我国火力发电厂的主力机型。为确保600MW火电机组的安全、可靠、经济及环保运行,600MW火电机组从业人员的岗位培训显得十分重要。

为适应这一形势发展的需要,中国大唐集团公司与长沙理工大学组织人员编写了《600MW火电机组系列培训教材》。本系列教材目前包括《单元机组集控运行》、《单元机组设备运行》、《辅控集控设备及运行》、《点检定修管理》、《汽轮机设备检修》、《电气设备检修》、《锅炉设备检修》、《热工控制系统及设备》共八册。今后还将根据电力技术发展情况,不断地充实完善。

本系列教材适用于具有大中专及以上文化程度的600MW及其他大型火电机组生产人员和技术管理人员的岗位培训和继续教育,也可供从事600MW及其他大型火电机组设计、安装、调试、运行、检修的工程技术人员和管理人员阅读,以及高等院校相关专业师生参考。

《锅炉设备检修》是本系列培训教材中的第七分册。全书详细介绍了当前国内火电厂600MW机组锅炉设备的结构、原理、性能、检修工艺及方法,以及锅炉用钢材和锅炉设备所发生的典型故障与处理方法。本书以与600MW机组配套的锅炉为对象,覆盖了亚临界及超临界锅炉的各种型式锅炉,内容比较全面、详细。

本书由长沙理工大学鄢晓忠主编。第一章第一至四节、第五章第一、三、四节、第六章第一节由鄢晓忠编写,第一章第五节由张爱军编写,第二章第一节、第三章第一至三节、第四章第三节由徐慧芳编写,第二章第二至四节、第四章第四节由陈忠雄编写,第三章第四、五节由李立东编写,第四章第一、二节由张宝武编写,第四章第五节、第五章第二节由王勇编写,第六章第二至四节由符慧林编写。

本书由张爱军、王勇、李立东、陈忠雄担任编审,他们对本书进行了认真的审阅,提出了很多宝贵的意见与建议,在此谨表诚挚的谢意。

本书在编写过程中得到了内蒙古大唐国际托克托发电有限责任公司、天津大唐国际盘山发电有限责任公司、福建大唐国际宁德发电有限责任公司、大唐华银金竹山火力发电分公司、大唐湘潭发电有限责任公司张正坤等单位及个人的大力支持,并参阅了相关电厂、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,在此一并表示感谢。

本系列教材由长沙理工大学陈冬林教授负责统稿。

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

2009年7月

《600MW 火电机组系列培训教材》 编 委 会

主 任	翟若愚					
副 主 任	刘顺达	钟 俊	杨 庆	王 琳	蔡哲夫	
	邹嘉华	胡绳木	熊 皓	吴 静	金耀华	
常 务 委 员	武洪举	高智溥	洪源渤			
委 员	杨俊平	阮大伟	侯国力	雷 鸣	赵丕友	
	黄竹青	张 健	王彤音	张成虎		

总 编 邹嘉华

副 总 编 武洪举 杨俊平

执行副总编 雷 鸣

编写工作组：

组 长 雷 鸣

副 组 长 张成虎 陈 荐

成 员 赵晓旻 刘 军 赵士杰 孙希瑾 戴曙光

前言

第一章 锅炉检修概述	1
第一节 锅炉检修施工管理	1
第二节 超临界锅炉机组的技术特点	3
第三节 超临界机组与亚临界机组的特点比较	6
第四节 600MW 锅炉主要技术规范及结构	8
第五节 锅炉检修相关技术标准	14
第二章 超临界锅炉受热面金属材料	18
第一节 概述	18
第二节 超临界及以上机组锅炉用钢	18
第三节 合金耐热钢焊接工艺及方法	22
第四节 火电厂的金属技术监督	32
第三章 锅炉本体检修	37
第一节 锅炉主要布置及本体组成	37
第二节 锅炉受热面的检修	50
第三节 汽包的检修	99
第四节 炉水循环泵的检修	107
第五节 煤粉燃烧器的检修	114
第四章 锅炉辅机检修	134
第一节 离心式风机的检修	134
第二节 轴流式风机的检修	141
第三节 制粉系统的检修	154
第四节 空气预热器的检修	179
第五节 空气压缩机的检修	205
第五章 锅炉管阀及吹灰器检修	215
第一节 高压管道的检修	215

第二节	阀门的检修	226
第三节	吹灰器的检修	283
第四节	支吊架的检修	293
第六章	炉墙、保温及密封检修	298
第一节	炉墙的检修	298
第二节	管道及设备的保温	302
第三节	炉顶密封、保温检修	308
第四节	常用耐热材料和保温材料的特点	313
参考文献		317

第一章

锅炉检修概述

锅炉是火力发电厂的三大动力设备之一，是一种生产蒸汽的热交换设备。它的主要作用是用燃料燃烧释放出的热能加热锅炉给水，以生产一定压力和温度、具有优良品质的蒸汽，送到汽轮机做功。

近年来，随着我国改革开放的不断深入，市场经济的快速发展对电力工业提出了更高的要求，同时加强了对环境保护和能源开发综合利用程度的重视，火力发电向高参数、大容量的超临界、超超临界压力锅炉方向发展。从目前情况看，我国 600MW 火电机组将成为主力机型，而且在吸收国外先进锅炉制造技术的同时，800、1000MW 机组成套设备也将先后投入运行，使我国火力发电机组跨入世界先进行列。为保证这些锅炉安全、经济、低污染地运行，尽快了解和掌握这些锅炉的机组特性和检修技术就显得日益重要。据统计，在火力发电厂中，锅炉事故在全厂总事故中占有很大的比例，而大部分事故与检修质量又有直接关系。因此，随着锅炉容量的增大，对大机组的检修技术也提出了越来越严格的要求。

第一节 锅炉检修施工管理

一、锅炉机组检修的目的及范围

锅炉设备经过一段时间的运行后，零部件的磨损、变形，严密可靠性的降低，材料使用期限的缩短，受热面的结垢、腐蚀，以及堵灰、结渣现象的出现，均会影响锅炉的安全经济运行，降低设备的使用寿命。因此，必须对锅炉机组进行必要的预防性和恢复性检修。锅炉机组检修的主要目的是检查、发现、消除设备存在的缺陷，排除潜在的事故因素，并不断对设备进行改进或改造，从而提高设备的健康水平，确保锅炉机组运行的安全性和经济性。为了实现上述目的，在锅炉检修工作中，认真搞好管理及锅炉的检修工作，是保证电厂安全经济运行，提高发电设备可用系数，充分发挥设备潜力的重要措施，也是设备全过程管理中的一个重要环节。

锅炉检修就是通过检查和修理以恢复或改善锅炉机组原有性能的工作。锅炉检修范围主要包括锅炉受热面、汽包、炉水循环泵及煤粉燃烧器等本体部件，以及风机、制粉系统设备、空气预热器、空气压缩机、汽水管道、阀门、吹灰器、支吊架等设备及部件。此外，还包括炉墙、管道及设备的密封与保温等。

二、设备检修分级

设备检修等级以机组检修规模和停用时间为原则，将机组的检修分为 A、B、C、D 四个等级。

(1) A 级检修。A 级检修是指对机组进行全面的解体检查和修理,以保持、恢复或提高设备性能。

(2) B 级检修。B 级检修是指针对机组某些设备存在的问题,对机组部分设备进行解体检查和修理。B 级检修可根据机组设备状态评估结果,有针对性地实施部分 A 级检修项目或定期滚动检修项目。

(3) C 级检修。C 级检修是指根据设备的磨损、老化规律,有重点地对机组进行检查、评估、修理、清扫。C 级检修可进行少量零件的更换,设备的消缺、调整,预防性试验等作业,以及实施部分 A 级检修项目或定期滚动检修项目。

(4) D 级检修。D 级检修是指当机组总体运行状况良好,而对主要设备的附属系统和设备进行消缺。D 级检修除进行附属系统和设备的消缺外,还可根据设备状态的评估结果,安排部分 C 级检修项目。

三、设备检修施工管理

1. 检修前的准备

(1) 根据审批部门下达的检修计划,各基层企业修订本企业年度检修计划,各检修车间(检修公司或队)应编制施工计划和控制进度网络图,开工前各班(组)应根据检修车间(检修公司或队)编制的施工计划和控制进度网络图,编制出本班(组)作业计划,按计划执行以避免盲目性。

(2) 所需材料、备品备件及加工件均已备齐,并验收合格。

(3) 安全用具、专用工器具、交通工具、起重工具、交通设施等均已备齐并试验合格。

(4) 参加检修的人员已经落实,且经过了安全、技术培训与考试。

(5) 准备好技术记录所需要的图纸和表格,确定应测绘和校核的备品配件图纸。

(6) 安全、技术措施均已得到落实,检修和重大特殊等项目明确了项目负责人。

(7) 检修场地平面布置、网络计划进度均已安排完毕。

2. 施工中的管理

(1) 列入计划检修的发电设备,必须按现场规程的规定停止运行,并有保证安全的组织措施和技术措施。

(2) 参加检修工作的人员要明确各自的任务与责任。检修开工后,严格执行规程,保证人身安全。

(3) 要加强施工管理,采用网络计划管理技术,厂(公司)、检修车间(检修公司或队)、班(组)的网络计划要协调、配套。在施工过程中,针对出现的问题,不断加以优化,以实现最佳效果。

(4) 严格质量标准,执行工艺规程,遵守工艺纪律。修复后的设备要达到满出力,无泄漏,修前缺陷得到消除,达到验收质量标准。

(5) 施工中要每日或分段召开碰头会,随时掌握和平衡施工进度,解决检修中遇到的技术、材料问题,做好劳力调配,保证工期按时完成。

(6) 认真做好原始记录,特别是解体装配的测量数据、试验数据以及更换部件、改变设备结构或接线方式等,均要做到记录正确完整,必要时附图纸说明。

(7) 检修工作中,要注意工器具的使用与保管,防止损坏及丢失。每日收工时要清点工器具,并做好现场卫生。

3. 检修后的验收与总结

(1) 为了保证检修质量,必须做好质量检查和验收工作。质量检验实行检修人员的自检和验收人员的检查相结合。检修人员必须确保检修质量,在每项检修工作完毕后,要按照有关标准自行检查,合格后才能交工,由有关人员验收。

(2) 质量验收实行班组、车间、厂(公司)三级验收制度。施工工艺比较简单的工序,一般由检修人员自检,班组长重点帮助,并全面掌握检修质量。对于重要工序,由总工程师按检修工艺的复杂性和部件的重要性,分别确定由班组、车间、厂部负责验收。有关各项技术监督的验收项目,应由专业人员参加验收。

(3) 设备分部试运行应由检修或运行负责人主持,有关检修人员和运行人员参加。在检查检修项目、检修质量、技术记录和有关资料后,进行分部试运行。

(4) 设备检修后的总验收和整体试运行,由生产副厂长(副总经理)或总工程师主持,指定有关人员参加。试运行内容包括各项冷态和热态试验以及带负荷试验。

(5) 锅炉设备检修后,检修总负责人应组织有关人员认真总结经验,肯定成绩,找出缺点,不断提高检修质量和工艺水平。

4. 检修后的设备启动运行

(1) 检修后启动试运前,应由设备检修部门向各有关运行部门写出设备和系统变更情况、重大缺陷检查处理情况和分步试运情况的检修移交书,并按现场规程的规定办理竣工手续,检修后的设备正式移交运行。

(2) 设备检修后须启动设备才能鉴定设备检修动态质量时,事先应终结工作票或将工作票交给运行人员,由运行人员进行检查和启停操作。若需继续检修,必须重新办理工作票或向运行人员索回工作票,否则不得继续进行检修工作。

(3) 检修后的设备整体启动试运行,由生产副厂长(副总经理)或总工程师批准。如有重大项目检修,则应制定试运行措施。

(4) 检修后试运行的组织和事故处理工作要特别明确责任制,在现场必须明确试运行领导人、现场指挥、运行操作、事故处理、设备检修等职责分工。

第二节 超临界锅炉机组的技术特点

超临界火电技术由于参数本身的特点决定了超临界锅炉只能采用直流锅炉,在超临界锅炉内随着压力的提高,水的饱和温度也随之提高,汽化潜热减少,水和汽的密度差也随之减少。当压力提高到临界压力(22.115MPa)时,汽化潜热为0,汽和水的密度差也等于零,水在该压力下加热到临界温度(374.15℃)时即全部汽化成蒸汽。超临界压力与临界压力时情况相同,当水被加热到相应压力下的相变点(临界温度)时即全部汽化。因此,超临界压力下水变成蒸汽不再存在汽水两相区,由此可知,超临界压力直流锅炉由水变成过热蒸汽经历了两个阶段,即加热和过热,而工质状态则由水逐渐变成过热蒸汽。因此,超临界直流锅炉没有汽包,启停速度快,与一般亚临界汽包炉相比,超临界直流锅炉从启动到满负荷运行,变负荷速度可提高1倍左右,变压运行的超临界直流锅炉在亚临界及超临界压力范围内工作时,都存在工质的热膨胀现象,并且在亚临界压力范围内可能出现膜态沸腾;在超临界压力范围内可能出现类膜态沸腾。超临界直流锅炉要求的汽水品质高,要求凝结水进行

100%除盐处理。由于超临界直流锅炉水冷壁的流动阻力全部依靠给水泵克服，所需的压头高，既提高了制造成本，又增加了运行耗电量，且直流锅炉普遍存在着流动不稳定性、热偏差和脉动水动力问题。另外，为了达到较高的质量流速，必须采用小管径水冷壁，与同容量的自然循环锅炉相比，超临界直流锅炉本体金属耗量最少，锅炉质量轻。但由于蒸汽参数高，要求的金属等级高，其成本高于自然循环锅炉。

一、超临界机组的参数、容量及效率

水临界状态点的参数为 22.115MPa、374.15℃。理论上认为，在水的状态参数达到临界点时，水完全汽化会在一瞬间完成，即在临界点时，饱和水与饱和蒸汽之间不再有汽水共存的两相区存在，两者的参数不再有区别。与较低压力下水的特性不同，在压力很高的情况下，特别在临界点附近，水的质量定压热容 c_p 值会有较显著的变化。水蒸气动力循环装置理论分析表明，提高循环蒸汽的初参数和降低循环的终参数都可以提高循环的热效率。除此之外，采用再热循环和回热循环也可以提高循环的热效率。

实际上，蒸汽动力装置的发展和进步一直是以提高参数为目的的。另外，在蒸汽参数相同的情况下，机组容量增加，其热耗率会有所降低。在机组容量一定的情况下，蒸汽参数的提高虽然会提高循环热效率，但由于蒸汽压力升高、质量热容减小，有可能会对汽轮机的高压缸内效率带来不利影响。因此，在实际中或许会有一个“最小经济容量”的问题，即在机组容量小于“最小经济容量”的情况下，采用超临界参数有可能是经济的。

事实表明，提高蒸汽参数并与发展大容量机组相结合是提高常规火电厂效率及降低单位容量造价最有效的途径。与同容量亚临界火电机组的热效率相比，在理论上，采用超临界参数可提高效率 2% ~ 2.5%，采用超超临界参数可提高 4% ~ 5%。目前，世界上先进的超临界机组效率已达 47% ~ 49%。

二、超临界机组的运行灵活性与可靠性

目前，先进的大容量超临界机组具有良好的启动、运行和调峰性能，能够满足电网负荷的调峰要求，并可在较大的负荷范围（30% ~ 90% 额定负荷）内变压运行，变负荷速率多为 5%/min。美国《发电可用率数据系统》1980 年的分析报告中公布了 71 台超临界机组和 27 台亚临界机组的运行统计数据，表明这两类机组的平均运行可用率、等效可用率和强迫停运率已无差别。据美国 EPRI 的统计，容量为 600 ~ 835MW，具有二次中间再热的超临界机组整机可用率已达 90%，1300MW 二次中间再热的燃煤超临界机组整机可用率为 92.3%，有的还要高一些；有 1 台 ABB 公司制造的 1300MW 超临界机组甚至创造过安全运行 605 天的记录。同时，从国内引进的几台超临界机组的运行情况看，也说明了这一点，即目前投运的超临界机组的运行可靠性指标已经不低于亚临界机组，有的甚至更高。

三、超临界机组的投资造价比较

提高蒸汽参数将使机组的初投资有所增加，这是因为压力提高后很多设备和主蒸汽管道的壁厚要相应增加，或者说要选用性能和价格更高一些的材料；而温度提高后则要使用更多价格昂贵的合金钢材。一般认为，超临界机组的造价比亚临界机组大约增加 3% ~ 10%。但由于各地的具体情况不同，且各个电站的设计和辅机配套方案等也有所不同，因此，造价增加的幅度不同。

电厂的运行成本主要取决于燃料成本，因超临界机组的效率较高，可抵偿一些造价略高的影响，所以运行成本有可能比亚临界电厂低。许多专家认为，若煤价超过 30 美元/t，就应

当采用超临界机组；而在煤价较低的地区采用亚临界机组仍然较为合适。如果考虑到污染排放收费的情况，或许该煤价还应再低一些。此外，在进行不同方案的综合技术经济比较和分析时，可能还有其他一些因素也值得考虑，如电站所处的地理位置、电网的负荷率、上网电价以及环保因素等。

四、水冷壁管圈型式

传统的观念认为，只有螺旋管圈水冷壁才能满足全炉膛变压运行的要求，但是目前欧洲的火电机组锅炉仍然采用下炉膛螺旋管圈、上炉膛垂直管屏的传统设计，这种水冷壁系统对光管水冷壁获得足够的冷却能力十分必要，其优点：可以采用较大口径的光管水冷壁管；可以有效地补偿沿炉膛断面上的热偏差；不需要根据热负荷分布进行平行管系中复杂的流量分配；在低负荷下仍能保持平行管系流动的稳定性。

螺旋管圈水冷壁的缺点是结构复杂、流动阻力大和现场安装工作量大。因而，日本三菱公司在亚临界控制循环锅炉设计制造经验基础上，开发出了一次上升垂直管圈水冷壁变压运行超临界锅炉，其特点是采用内螺纹管来防止变压运行至亚临界区域时水冷壁系统中发生膜态沸腾和在水冷壁管入口处设置节流圈使管内流量与吸热相适应。截至 2000 年，日本在运行的垂直管圈水冷壁高效超临界锅炉已有 7 台。

五、承压部件材质的选择

大容量电站锅炉承压部件用钢主要有奥氏体和铁素体两类。奥氏体钢热强性高，但导热性差，膨胀系数大，抗应力腐蚀能力低，工艺性能差，且成本高。因此，设计时应尽量少用奥氏体钢，多用新开发的铁素体钢和改进的奥氏体钢。

由于制造，特别是安装的要求，锅炉水冷壁必须用无需焊后热处理的材料制成，现代超临界锅炉水冷壁通常采用的钢种为 T22/13CrMo44。这种材料就水冷壁而言，最高许用温度为 460~470℃，对于高效超临界锅炉，当主蒸汽参数为 28MPa/580℃/580℃时，水冷壁采用这种材料还是可行的。

低合金 Cr-Mo 钢的最大不足是其高温蠕变断裂强度低，随着参数的提高、管壁厚度的增加，其成本和工艺复杂性也相应提高，从而降低了运行的灵活性。日本新研制的 HCM2S 钢不仅具有优于常规低铬铁素体钢的高温蠕变强度，而且具有优于 2.25Cr-1Mo 钢的可焊性，也不需要焊前预热和焊后热处理。

HCM2S 钢已获得生产 SME 规范认可，列为 SA213-T23 钢，可用于替代 T22 钢用于更高的蒸汽参数。对于过热器、再热器出口集箱及其连接管道，当前所用的 P22/X20CrMoV 121 钢，在技术上认为在合理的壁厚和管径范围内，其极限许用温度略高于 500℃。若采用改善的 9%Cr 钢 P91 做集箱，其极限许用温度可超过 580℃。用 P91 替代 P22，尽管其焊接性能不及 P22，但壁厚可减薄 50% 以上，其经济效益十分可观。在集箱领域中，对 P91 的进一步改进，新一代 9%~12%Cr 系钢按其高温蠕变，断裂强度已经进入奥氏体钢的温度范围，在 600℃ 的汽温条件下，其壁厚可比 P91 减薄 40%，如 E911、NF616 和 HCM12A 等。对于过热器、再热器管束，在 600℃ 的汽温条件下，最高管壁温度达 650~670℃，因此选用奥氏体钢是十分必要的，如 TP347 H、TP347HFG 和 Super304 H 等，甚至部分高温段采用 20~25Cr 系的奥氏体钢，如 HR3C、NF709 和 Tempaloy A-3。这种材料具有足够的蠕变断裂强度，且由于含 Cr 高，能很好地抗高温腐蚀。奥氏体钢在受到热疲劳时易出问题，但用于管束，由于其口径小、管壁薄，因此产生热疲劳的可能性不大。

六、二次中间再热的调温方式和受热面的配置

采用二次再热可使机组的热效率提高 1% ~ 2%，但也造成了调温方式和受热面布置上的复杂性。二次再热锅炉同样有 Π 型和塔式两种炉型。对于 Π 型布置的炉型，一、二次再热的冷段和低温过热器分别布置在尾部 3 个分烟道中，热段布置在水平烟道中，通过摆动式燃烧器、烟气挡板和烟气再循环调节来达到设计汽温。对于塔式布置的炉型，一、二次再热器上、下间隔布置，一次再热汽温可采用摆动燃烧器或少量喷水调节，使用烟气再循环来调节二次汽温。烟气再循环有冷、热两种。热烟气从空气预热器入口处取出，这意味着空气预热器在再循环回路之外；冷烟气则取自空气预热器出口处，那么这台空气预热器就存在空气流和烟气流之间出力的不平衡。为此，还需开发出一种再循环空气预热器。

第三节 超临界机组与亚临界机组的特点比较

随着我国电力工业的发展及电力结构的调整，600MW 级火电机组已经成为我国火电的发展方向并即将成为电网的主力机组，尤其超临界参数机组，由于其更低的运行成本和高效益，使得此类型的机组在现有的电力市场中更具有竞争性。

一、超临界机组和亚临界机组特点比较

超临界机组是指主蒸汽压力高于临界压力的锅炉和汽轮发电机组，它与亚临界机组比较具有如下特点：

(1) 热效率高、热耗低。超临界机组比亚临界机组可降低热耗约 2.5%，因此可节约燃料，降低能源消耗和大气污染物的排放量。

(2) 超临界压力时的水和蒸汽比体积相同，状态相似，单相的流动特性稳定，没有汽水分层和在中间集箱处分配不均的困难，并不需要像亚临界压力锅炉那样用复杂的分配系统来保证良好的汽水混合，回路比较简单。

(3) 超临界锅炉水冷壁管道内单相流体阻力比亚临界汽包炉双相流体阻力低。

(4) 超临界压力下工质的热导率和比热容比亚临界压力的低。

(5) 超临界压力工质的比体积和流量比亚临界的小，因此锅炉水冷壁管内径较细，汽轮机的叶片可以缩短，汽缸可以变小，减轻了质量，降低了成本。

(6) 超临界压力直流锅炉没有大直径厚壁的汽包和下降管，制造时不需要大型的卷板机和锻压机等机械，制造、安装、运输方便。同时取消汽包而采用汽水分离器，汽水分离器远比亚临界锅炉的汽包小，内部装置也很简单，制造工艺相对容易，相应地降低了成本。

(7) 启动、停炉快。超临界压力直流锅炉不存在汽包上、下壁温差等安全问题，且其金属质量轻和储水量小，因而锅炉的储热能力差，其增减负荷允许的速度快，启动、停炉时间可大大缩短，一般在较高负荷（80% ~ 100%）时，其负荷变动率可达 10%/min。

(8) 超临界压力锅炉适宜于变压运行。

(9) 超临界锅炉机组的水质要求较高，使水处理设备费用增加。例如，蒸汽中铜、铁和二氧化硅等固形物的溶解度随着蒸汽密度的减小而增大，因而在超临界压力下，即使温度不高，铜、铁和二氧化硅等的溶解度也很高，为防止它在锅炉蒸发受热面及汽轮机叶片上结垢，超临界锅炉需 100% 的凝结水精处理，除盐除铁。

(10) 超临界压力锅炉的蓄热特性不及汽包炉，外界负荷变动时，汽温、汽压变化快，

因而必须有相当灵敏可靠的自动调节系统，锅炉机组的自控水平要求也较高一些。

(11) 变压运行的超临界锅炉压力随机组负荷变化而变化，不需用汽轮机调节阀控制机组负荷，而且部分负荷运行时，由于蒸汽容积流量变化小，能保持较高的汽轮机效率，并通过改善锅炉过热器和再热器的流量分配，提高了机组效率。

但是超临界机组也存在着一些不足：

(1) 超临界压力锅炉由于参数高，锅炉停炉事故的概率比亚临界大，降低了设备的可用率和可靠性。另外，超临界压力锅炉出现管线破裂和启动阀泄漏故障时影响较大。

(2) 超临界压力锅炉虽然热效率高，但锅炉给水泵、循环泵却要消耗较多的电能，压力参数的提高又会增加系统的漏泄量，实际上对热效率的提高和热耗的减少都会有一定的影响。

(3) 超临界压力锅炉为了保证水冷壁和过热器的冷却，启动时要建立一定的启动压力和流量，为此要配置一整套专用的启动旁路系统，因而启、停的操作较复杂，热损失也大。

(4) 超临界直流锅炉水冷壁的安全性较差。在直流锅炉的水冷壁出口处，工质一般已微过热，故管内会发生膜态沸腾，自然循环有自补偿特性，而直流炉没有这种特性，因此，直流锅炉水冷壁管壁的冷却条件较差，较易出现过热现象。

二、600MW 超临界锅炉的一些特殊要求

由于超临界锅炉的温度和压力比亚临界锅炉高，因此对锅炉提出了一些特殊的要求：

(1) 超临界锅炉受热面工作条件比亚临界锅炉差，故对于受热面钢种、管道规格等在选择上提出了较高的要求。尤其选择过热器管时，更应注意所用钢材的抗腐蚀性和晶粒度指标。

(2) 保证锅炉在各种工况下水动力的可靠性，在各种负荷下，从超临界压力到亚临界压力广泛的运行工况范围内，各水冷壁出口温度上下幅度须限定在规定范围内，确保水动力稳定性不受破坏；尤其当水冷壁悬吊管系中设有中间联箱时，必须采取措施避免在启动分离器干湿转换、工质为两相流时，联箱中出现流量分配不均匀而使悬吊管温差超限，导致悬吊管扭曲变形等问题。

(3) 超临界变压运行锅炉水冷壁对炉内热偏差的敏感性较强，当采用四角切圆燃烧方式时，必须采取有效地消除烟气温度偏差的措施（锅炉出口两侧最大烟温偏差不得大于 50°C ）。

三、600MW 超临界和亚临界机组性能比较

1. 热经济性比较

通过对国内部分 600MW 机组的热耗进行比较发现，由于制造厂和生产年代不同，各机组的热耗存在着较大的差异。从目前情况看，国产超临界机组比亚临界机组热耗下降约 3.8%，可以节约煤约 11g/kWh。

超临界机组具有无可比拟的经济性，单台机组发电热效率最高可达 50%，煤耗最低仅有 255g/kWh（丹麦 BWE 公司），比亚临界压力机组（煤耗最低约为 327g/kWh）煤耗低；同时采用低氧化氮技术，在燃烧过程中减少 65% 的氮氧化物及其他有害物质的形成，且脱硫率大于 98%，可实现节能降耗、环保的目的。

2. 可靠性比较

600MW 超临界机组与亚临界机组对于汽轮机主要是高压缸及高压通流部分的区别，对于锅炉，主要是汽水流程不同，其他基本是相同的；辅机绝大部分是相同的。机组的系统基本相同，许多先进的设计对于两者均适用。通过对超临界机组高温高压所产生问题的不断完善，过去超临界压力机组突出的锅炉爆管、固体粒子侵蚀以及高压加热器泄漏、阀门故障已

经得到了较好的解决。

3. 环保效益

由于超临界机组比亚临界机组的煤耗低，且锅炉设计中采用了低 NO_x 燃烧技术，因此电厂所排放到大气中的二氧化碳、二氧化硫、氧化氮及烟尘均可以减少。超临界机组有利于环保，符合国家的产业政策。

第四节 600MW 锅炉主要技术规范及结构

一、锅炉主要参数

锅炉参数一般指锅炉容量、蒸汽压力、蒸汽温度和给水温度。

锅炉容量或锅炉蒸发量分为额定蒸发量（BRL）和最大连续蒸发量（BMCR）。额定蒸发量是指锅炉在额定参数下、使用设计燃料并保证效率时所规定的蒸发量。最大连续蒸发量是指锅炉在额定参数下、使用设计燃料、长期连续运行时所能达到的最大蒸发量。锅炉蒸发量常以每小时所能供应蒸汽的吨数来表示，单位为 t/h。最大连续蒸发量通常为额定蒸发量的 1.03 ~ 1.2 倍，国产及引进型机组多为偏大值，进口机组多为偏小值。

锅炉的蒸汽参数是指锅炉过热器出口送出蒸汽的压力和温度，锅炉设计时所规定的蒸汽压力和温度称为额定蒸汽压力和额定蒸汽温度；对于具有中间再热的锅炉，蒸汽参数中还应包括再热蒸汽压力和温度。压力的单位为 MPa，温度的单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

给水温度是指进入省煤器前的给水温度。

600MW 机组锅炉主要参数系列见表 1-1。

表 1-1 600MW 机组锅炉主要参数系列

压力类别	蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 ($^{\circ}\text{C}$)	给水温度 ($^{\circ}\text{C}$)	额定蒸发量 (t/h)	配套机组容量 (MW)
亚临界压力	17.5	540/540	260 ~ 290	2050	600
超临界压力	25.4	571/569	281	1900	600

二、锅炉主要技术经济指标

锅炉主要技术经济指标一般用锅炉热效率、锅炉成本及锅炉可靠性三项来表示。

1. 锅炉热效率

锅炉热效率是指送入锅炉的全部热量中被有效利用的百分数，现代电站锅炉的热效率一般都在 90% 以上。

2. 锅炉成本

锅炉成本一般用一个重要的经济指标——钢材消耗率来表示。钢材消耗率是指锅炉单位蒸发量所用的钢材质量，即锅炉的每 t/h 蒸发量所用钢材吨数，电站锅炉的钢材消耗率一般为 2.5 ~ 5。

3. 锅炉可靠性

锅炉可靠性常用下列三种指标来衡量：

(1) 连续运行小时数

连续运行小时数 = 两次事故之间的运行时数