

600 MW级火电工程建设

启示录

国家电力公司火电建设部 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

187288

TM621

L580

600MW 级火电工程建设 启示录

国家电力公司火电建设部 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

随着我国电力工业的发展,600MW级火电机组已成为我国火电的发展方向,并即将成为电网的主力机组。本书收集了目前我国已经投产运营的12个600MW级火电工程建设的总结材料,基本上反映了我国600MW级火电工程建设的历史和现状,既总结了成功的经验,又分析了工程建设中遇到的重大问题和事故,还对问题的改进及事故的处理作了介绍,内容翔实。

本书可供有关电力设计、施工、调试、运行、管理等专业技术人员、管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

600MW级火电工程建设启示录/国家电力公司火电建设部主编.-北京:中国电力出版社,1999.12

ISBN 7-5083-0210-3

I. 60… I. 国… III. 汽轮发电机组,600MW-工程施工-经验-中国 IV. TM311

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第72291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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年12月第一版 1999年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 25.5印张 580千字

印数 0001—3000册 定价 60.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

主 编：刘本粹

副主编：徐 扬 陈冬青

编 委：朱志阳 杨勤明 朱亮明

 竺广衡 李树贵 李体怀

前言代序

1981年,我国第一台单机容量600MW火电工程——元宝山电厂二期工程开工建设,标志着我国电力工业开始步入大容量、高参数、高自动化时期。18年来,600MW级火电机组在我国得到迅速发展,截止到1999年8月,全国(不含港、澳、台地区,下同)已经有11个600MW级火电工程建成投产,投产机组21台,容量12280MW;目前还有10个600MW级火电工程正在建设之中,在建机组21台,容量13260MW。在当前大力强调调整电力结构的形势下,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,因此,及时总结已经建成的600MW级火电工程建设的经验教训,对加强行业交流,提高我国大型火电工程建设的管理水平有着非常重要的指导意义,尤其对目前在建和即将开工的600MW级火电工程更是一笔宝贵的无形资产。

回顾我国600MW级火电工程建设历程,我们走过了一条不平凡的路。在设计、设备、施工、调试、运行、建设管理等各方面都留下了很多令人深思的问题,尤其在上述五个环节的基础——设备选型方面,我们的教训是刻骨铭心的,在有些工程中我们付出了昂贵的学费。从已经投产的20多台机组来看,工程主要设备和控制系统分别来自10个国家近20个制造厂,几乎囊括了全世界发电制造行业所有知名厂商,这给我们全面地了解掌握各国发电设备的特点、系统地分析比较他们的长处和缺点提供了很好的条件,这样,我们在今后的工程中就可以少付甚至不付学费。与此同时,我们在设计接口、施工及调试方案、运行维护等方面也积累了比较丰富的经验。我们编辑这本《600MW级火电工程建设启示录》,就是要全面地总结广大电力建设工作者的辛勤劳动成果,把他们的成果变成财富,经验指导后人,教训警示后人,少走弯路,让事故不再重演。

虽然我们在600MW级火电工程建设中曾经经历了一些曲折,也走过一点弯路,但是,“不经历风雨,怎能见彩虹”。毛主席曾经说过一段很精辟的话:“我们对于客观世界的认识,要有一个过程。先是从不认识或者不完全认识,经过反复实践,在实践中得到成绩,有了胜利,又翻过斤斗,碰了钉子,有了成功和失败的比较,然后才有可能逐步发展成为完全认识或比较完全的认识。”我们对600MW级火电工程建设的认识所经历的正是这样的过程。现在,我们已经拥有20多台600MW级火电机组的建设经验,通过18年的实践,我们已经逐步掌握了600MW级火电工程建设的和管理和技术方面的难点,同时也培养了一大批建设大型火电工程建设的和管理和技术人才,这些都是我们的宝贵财富。尤其是通过平圩电厂一期、哈三电厂二期和元宝山电厂三期工程的建设,我国600MW级火电机组国产化进程迈出了实质性步伐,我们完全有理由相信,国产600MW火电机组将在不久的将来步入成熟

期，我们一定要坚定信心，和我国机电制造行业一道，使这一目标早日实现，为振兴民族工业做出我们应有的贡献。

本书共收集了目前我国已经投产运营的12个600MW级火电工程的总结材料，基本上反映了我国600MW级火电工程建设的历史与现状。既总结了成功的经验，如华能石洞口二厂在我国首次引进超临界机组的先进性、邹县电厂三期工程的施工工艺及施工过程中防止二次污染取得良好效果、扬州第二发电厂一期工程安全文明施工及安全设施标准化、北仑电厂二期工程科学合理组织施工等；又分析了工程建设中遇到的重大问题和事故，如沙角C发电厂工程发电机烧损事故、哈三电厂二期工程空气预热器着火及发电机烧损事故、元宝山二期工程投产后10年内机组一直达不到额定出力、元宝山三期工程主变压器匝间短路事故、北仑二期工程锅炉汽温低使机组达不到额定出力等；还对这些问题的改进、事故的处理作了介绍，如元宝山二期工程经过4次技术改造后终于使机组基本达到额定出力、北仑三期工程对锅炉汽温低的问题提出了改进方案并正在付诸实施等。各有关单位毫无保留地对上述内容作了翔实的描述，相信读者能够从中得到有益的启示。

今年是建国50周年，这本《600MW级火电工程建设启示录》的出版，是充分展示电力建设成就的良好方式，是广大电力建设工作者奉献给50周年大庆的一份厚礼。这本书能够如期出版，是各工程项目所在的网、省电力公司和其他主管单位大力支持，各位编写人员和编审人员辛勤劳动的结果，在此我向各有关方面的领导和同志们表示崇高的敬意，向负责这本书出版工作的中国电力出版社表示诚挚的谢意！

由于我们水平所限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

刘本祥

1999年9月

目 录

前言代序	
华能石洞口第二发电厂工程(2×600MW)·····	1
邹县发电厂三期工程(2×600MW)·····	53
扬州第二发电厂一期工程(2×600MW)·····	95
北仑发电厂一、二期工程(5×600MW)·····	137
平圩发电厂一期工程(2×600MW)·····	169
哈三发电厂二期工程(2×600MW)·····	195
元宝山发电厂二期工程(1×600MW)·····	229
元宝山发电厂三期工程(1×600MW)·····	253
沙角C厂工程(3×660MW)·····	269
盘山发电厂一期工程(2×500MW)·····	309
伊敏发电厂一期工程(2×500MW)·····	343
神头第二发电厂一期工程(2×500MW)·····	365
附录 各工程基本情况汇总表·····	386

华能石洞口第二发电厂工程 (2×600MW)

审核：叶大戟 张福熙 张家声 吕济良
 邓国规 刘嘉晖 吴大卫 孙文龙
编写：陶虚竹

华能国际电力开发公司

目 录

1 工程概况	3	5.4 汽轮机的安装	35
2 设备布置概况	4	5.5 凝汽器的安装和复合钛板的 密封焊接	37
2.1 厂区布置	4	5.6 气垫式穿发电机转子	38
2.2 主厂房布置	4	5.7 除氧器吊装	39
3 设备和系统的特点、完善 和评价	5	5.8 仪表控制设备的施工安装	39
3.1 超临界直流锅炉	5	5.9 500kV 开关站安装	40
3.2 超临界汽轮机	9	5.10 220kV 电缆敷设的经验	41
3.3 发电机及电气设备	13	5.11 全厂阴极保护施工	41
3.4 热工控制设备及系统	16	6 工程试生产期的可靠性评价	42
3.5 化学水处理系统	18	6.1 频频发生 MFT	42
3.6 燃料系统	21	6.2 关于锅炉爆管	43
3.7 除灰系统	22	6.3 关于锅炉后水冷壁悬吊管 扭曲变形	43
3.8 电厂公用系统	23	6.4 关于锅炉结焦	43
4 工程建设管理	24	6.5 锅炉辅机	44
4.1 实行业主的全过程负责制	24	6.6 汽轮机高压转子调节级叶片断裂 事故	44
4.2 对外谈判	24	6.7 给水系统	45
4.3 工程建设采用项目经理管理 的经验	25	6.8 对仪表控制设备在试生产一年期的 可靠性评价	45
4.4 合同管理	26	6.9 对电气设备在试生产一年期的 可靠性评价	45
4.5 实行投资包干, 有效控制工程 投资	27	7 机组的运行性能和考核	46
4.6 设计管理	27	7.1 锅炉的启动、运行性能	46
4.7 计划进度管理	28	7.2 汽轮发电机组的启动、运行性能	46
4.8 工程中技术联络的实施经验	29	7.3 机组的调峰和调节性能	47
4.9 工程质量管理	30	7.4 机组性能考核	47
4.10 调试管理	32	8 工程投资及效益评价	50
4.11 外事管理	33	8.1 工程投资评价	50
5 工程安装	33	8.2 发电的经济性评价	50
5.1 锅炉钢结构的安装	33	9 结束语	51
5.2 螺旋水冷壁的安装	34		
5.3 焊接工程	34		

1 工程概况

华能上海石洞口第二电厂是中国首座超临界电站，位于上海市宝山区盛桥镇，北临长江，距市区中心 27km，东邻石洞口电厂和宝山钢铁总厂。厂区地形平坦，地貌单一，交通便利，地理位置与生产条件十分优越。

电厂规划容量 2400MW，一期工程安装两台 600MW 超临界压力燃煤机组。

电厂主辅设备由国外引进，供货集团由美国萨金·伦迪公司 (S&L)、美国燃烧工程公司 (CE)、瑞士苏尔寿公司 (SULZER) 和瑞士阿西亚·勃郎·勃威力公司 (ABB) 组成。美国德雷伏·威尔曼公司 (DRAVO WELLMAN) 提供输煤系统设备，美国格拉孚公司 (GRAVER WATER) 提供化学水处理设备，其余的设备和材料由美国萨金·伦迪公司代理采购供应。电厂整套机组设备技术先进，具有九十年代初期的国际先进水平，是中国首次引进的单机容量最大的超临界参数火电机组。

电厂冷却水直接取自长江。电厂设计主要燃用东胜神木烟煤，也可燃用山西晋北烟煤，煤轮经海运直抵电厂码头。电厂的电力通过二回 500kV 线路送至上海黄渡变电站；电厂母线经联络变与相邻的石洞口电厂 220kV 母线联络。电厂的启动/备用厂用电源接自石洞口电厂 220kV 母线。

主厂房和主体工程设计由美国萨金·伦迪公司负责。华东电力设计院负责协调国内设计，并负责循环水泵房、干燥棚、烟囱、厂前区、灰场灰坝等项目设计。进排水隧道设计由上海市隧道工程研究院负责，煤码头工程设计由三航设计院负责。

主厂房及其他附属厂房的全部建筑和安装工程由上海电力建设工程承包公司总承包，并分别由上海电力建筑工程公司、上海电力安装第一工程公司、东电业二公司等负责施工。

工程建设的组织领导采取现场指挥部形式。华能上海分公司是华能国际电力开发公司（以下简称华能公司）的派出机构，在上级单位的领导下，负责现场的具体建设管理工作。

本工程于 1986 年 6 月 24 日正式批准立项，1987 年 11 月批复可行性研究报告，1987 年 11 月正式通过工程初步设计和概算审查。1986 年 8 月对外询价，同年 12 月份开始谈判；1987 年 10 月 22 日签订供货合同，同年 12 月 30 日合同生效。1988 年元月，工程主厂房正式打桩，同年 6 月 29 日正式开工——主厂房破土动工，1989 年 1 月 31 日主厂房基础开始浇灌混凝土。工程建设中，由于国外图纸资料、设备材料迟供，设备缺陷处理，国内反承包的部分设备迟交等原因，工程进度一度受阻。在上海市政府、华能公司领导重视下，在工程建设的关键阶段，为加快 2 号机组建设，调入东电二公司参加 2 号炉安装，总公司蹲点组及时进驻现场指导、协调，使建设进度得到了有效的控制。第一台机组于 1992 年 6 月 12 日完成 96h 试运行热态移交；同年 12 月 26 日第二台机组完成 96h 试运行热态移交。从浇第一罐混凝土到两台机组建成，共 47 个月，比部颁定额工期提前 9.5 个月。从挖土开始计算，两台机组共用 54 个月建成；两台机组投产间隔 6.5 个月。创我国一年投产两台 600MW 超临界机组的纪录。

按部颁施工质量验评标准，进行了工程质量检验评定，经工程质量监督站核定，两台

机组 184 个单位工程，合格率为 100%，其中 168 个单位工程被评为优良，优良率 91.3%。

在工程建设中，曾先后获得建筑工程“鲁班奖”和国际电站奖等 23 项质量、管理奖项。1996 年 1 月一期工程被评为电力工业部优质工程。

在工程建设中，认真执行了投资包干责任制和工程招投标制，建立起一整套完整的投资控制和财务管理制度，有效地控制了工程投资。发电工程竣工决算为 360261 万元，单位千瓦投资 3002.18 元。

2 设备布置概况

2.1 厂区布置

电厂东西向布置，面向南，北靠长江。东侧与石洞口电厂相邻，西区为扩建端。厂区南北方向约为 1000m，东西方向约为 580m，一期工程厂区（包括厂前区）占地总面积约为 40hm²（公顷），扩建用地约 17hm²。

生产区以主厂房为中心，三列式布置。自江边起为输煤系统、主厂房和配电装置。煤场西侧从江边起布置有循环泵房、雨水池、油泵房及油库、灰库；主厂房东侧布置有化学水处理系统、工业和消防水池、制氢站等。主厂房南部布置电厂办公楼及 500kV 户内开关站、微波通讯塔。主厂房与生产行政办公楼之间不再建有天桥。办公楼东侧为检修楼及材料仓库；在主厂房西侧预留了二期工程扩建场地。

生产区场地布置特点为：结合生产设施及系统不同的功能和要求，分区集中、相对独立、配合紧密、布置紧凑。电厂每万千瓦占地为 0.33hm²，厂前区占地面积为 6 万多 m²，低于同类型电厂，设计中特别注意立面色调和主厂房协调，不追求豪华，以朴实、雅致为特点。

一期工程整个厂区绿化面积为 13.7 万 m²，绿化系数高达 33.8%，高于 10% 的设计规定。整个厂区布置整齐，交通方便，简洁明快，非生产性建筑少，规划合理。

2.2 主厂房布置

主厂房全部采用钢结构。主厂房外墙采用彩塑钢板，窗户采用铝合金滑移式。

锅炉房采用露天布置。炉顶采用罩壳式，炉顶标高 82m，顶罩标高 85.475m。锅炉燃烧辅机设备除给煤机置于运转层外，其余布置在锅炉零米层，引风机、送风机和一次风机均为露天布置。锅炉房总占地面积（包括磨煤机间）为 69.54m×48m。锅炉后部分别布置电气除尘器和除灰系统控制楼。灰控楼后为烟囱，高度 240m。

汽轮机房采用 36m 大跨度结构，屋顶标高为 35.5m。除氧器采用露天布置方式固定于汽轮机房屋顶之上。汽轮机房运转平台标高 17.6m，汽轮发电机组采用纵向顺序布置，运转层还布置每单元两台自动给水泵和高压加热器。汽轮机房总占地面积为 36m×168m。汽轮机和发电机的辅机（包括电动给水泵）和凝结水精除盐设备均布置在零米。

控制楼为四层建筑，占地面积为 52m×28m，位于两台锅炉之间。两台机组采用一个集中控制室，位于控制楼最高层，总面积为 24m×18m，周围布置有运行部办公室。其他各层从高向下依次为电子室、直流室、6kV 开关室。

主厂房的设计具有以下特点：

①主厂房采用钢架结构。具有拼装方便，施工简单，构件能在制造厂预制，可节约施工时间。

②汽轮机厂房采用了大跨度结构、取消除氧器层的大胆设计，这在当时国内电厂中属于首次。由于除氧器置于汽轮机房顶之上，使汽轮机房整体显得宽敞、明亮，并留有大块的检修场地，深受电厂人员的欢迎，同时，也得到了来厂参观的国内外专家的好评。

3 设备和系统的特点、完善和评价

3.1 超临界直流锅炉

3.1.1 超临界直流锅炉的特点和性能

锅炉由瑞士 SULZER 与美国 CE 公司合作设计制造。选用超临界参数、一次中间再热、单炉膛、平衡通风、露天布置、螺旋管圈、复合变压运行的燃煤直流锅炉。受压部件和启动系统由 SULZER 设计供货，炉膛燃烧部分及风烟系统由 CE 设计供货。锅炉的主要参数见附录。

3.1.1.1 锅炉炉膛

锅炉为单炉膛 Π 型、后部双流程布置，全悬吊结构。炉膛总高度（自水冷壁进口联箱至炉顶过热器）为 62.125m，深 16.576m，宽 18.816m；BMCR 时炉膛设计截面热负荷 $4.77\text{MW}/\text{m}^2$ ，设计容积热负荷为 $0.123\text{MW}/\text{m}^3$ 。从我厂的燃烧实践来看，由于燃用易结焦的东胜神木煤，调试和运行初期多次发生严重结焦，影响安全运行。

3.1.1.2 燃烧系统

锅炉的燃烧系统采用正压直吹式制粉系统，六台磨煤机，每一台磨煤机分别连接一层煤粉喷口，呈四角切圆燃烧，燃烧器采用三组独立结构，分上、中、下三排布置，每一排燃烧器有二个煤粉喷口及位于中间的配有高能点火器和轻、重油枪的喷口，点火方式为三级点火。整台锅炉共有 24 只煤粉燃烧器、12 只轻油点火器和 12 只重油燃烧器。

宽调节比燃烧器着火容易、燃烧稳定、充分。特别适用于启动和低负荷运行，扩大煤种的适应性和降低不投油助燃低负荷范围。试验结果，不用油的最低稳定负荷达到 180MW，满足设计要求。

燃烧器采用了边界风系统（偏转二次风），由于二次风切圆大于一次风切圆，不仅能降低 NO_x 的生成，也有效地减轻了炉膛及燃烧器区域水冷壁结焦。

3.1.1.3 锅炉启动系统

锅炉选用了带疏水扩容器的内置式启动分离器启动系统。系统简单，设备投资较低。尤其是 SULZER 采用了单个启动分离器，与其他公司设计相比，系统更加简单。实践证明，该系统及单个启动分离器可以满足锅炉启动和机组负荷变化率的要求。与外置式分离器相比，运行操作简单可靠。

分离器在流程中处于水冷壁出口和过热器之间，锅炉启动时，分离器起汽水分离作用，蒸汽进入过热器系统，水则进入疏水扩容器。在 37% 负荷以上运行时，分离器呈干态运行，起蒸汽通道作用，故分离器按全压设计。分离器为一立式筒体布置于前墙，总高度 23.3m，内径 850mm，是锅炉的厚壁部件，壁厚达 94mm，材料为 15NiCrMoNb5。具有热

应力监视。

3.1.1.4 锅炉汽水受热面系统

水冷壁下部(包括冷灰斗)采用螺旋管圈,水冷壁入口处不装节流圈,故结构简单,吸热均匀,管圈之间热偏差小,低负荷时可保证重量流速,适应电网调峰要求;上部采用垂直管屏。分界点在折烟角附近,用中间混合集箱连接。

工质从垂直管屏出口经集箱、管道进入分离器,蒸汽从分离器出口后,按双流程经炉顶过热器、包覆过热器,然后按序经前屏过热器、后屏过热器和末级过热器送往汽轮机。在前屏与后屏之间装有一级喷水减温器,后屏与末级过热器之间装有二级喷水减温装置。

低温再热器水平布置在后烟井,与烟气成逆流受热;高温再热器垂直布置于炉膛折烟角上方,与烟气成顺流布置。低温再热器进口设有事故喷水减温。

直流锅炉主蒸汽温度调节的基本手段是通过煤水比的调节,来控制中间点温度,从而改变主蒸汽温度,上述两级喷水减温为辅助调节,主蒸汽温度的保证范围为37%~100%BMCR;再热蒸汽的调温采用燃烧器的上下摆动为主,再热事故减温水作辅助调节。再热蒸汽的保证范围是50%~100%BMCR。

锅炉整体布置有24只声频检漏装置,在集控室立盘上集中检测以及早发现炉管泄漏。虽无法区别泄漏声和吹灰声,但可停止吹灰后进一步判别。

锅炉受热面布置基本合理。炉膛水冷壁的选型、重量流量的选择、对流受热面的设计布置都较好。按设计要求,锅炉应能在36%~89%BMCR负荷范围内变压运行,基本可以做到。可以说,锅炉汽水受热面的设计制造是基本成功的。

3.1.2 锅炉岛主要辅机及辅助系统的特点

3.1.2.1 空气预热器

每台锅炉设有两台50%容量的容克式、三分仓再生式空气预热器,设计基本完善,其特点是采用了具有可弯曲扇形板的自动热补偿密封装置这一先进技术,甚为有效。在性能试验时漏风率达到小于8%的设计要求,一年后仍可保证漏风率在10%以内,满足合同保证值。

其驱动的特点是:为减轻主电动机的启动负载,专设有空气启动电动机;另备有事故气动电动机,考虑是周全的。

空气预热器设有红外线检测的着火报警和灭火系统以及碱液水冲洗系统。

原设计在送风机与空气预热器之间设有暖风器,用蒸汽加热,以提高空气预热器冷端金属温度,经实际运行证明,在本炉具体条件下作用不大,故已拆除。

3.1.2.2 电气除尘器

每台锅炉配置由CE设计的两台双室四电场电气除尘器,型号为2P4C13D4F,主体结构由上海冶金矿山机械厂分包制造。设计除尘效率 $\geq 99\%$,虽然效率试验时除尘效率通过了保证值,但实际运行中除尘效率不好,低于98%(见改进部分叙述)。

该电除尘器采用烟气水平进气和出气烟箱,单喇叭进气、单喇叭出气的结构形式。进气烟箱中设有三层多孔板,其开孔率顺烟气流向分别为50%、40%、40%,以求达到气流均匀分布。

电除尘器的电源设备由 CE 设计提供, 电源控制系统采用 Forry 的自动电压调整器, 是以微处理器为基础的调节系统。

3.1.2.3 磨煤机

每台锅炉配置六组制粉系统。选用 HP943 碗式中速磨煤机。磨辊加荷方式为弹簧加压, 分离器为上层布置内锥体式。整体性能良好。燃用设计煤种时, 5 台磨煤机可满足锅炉 BMCR 的要求。据统计, 磨煤机碾辊及磨盘衬板的实际使用寿命分别为 7000h 及 12000~15000h。

给煤机选用美国 STOCK 公司 8424 型重力式, 带有称重装置。

3.1.2.4 风机

采用 NOVENCO 公司的产品, 性能良好。送风机为动叶可调轴流式, 引风机为双吸离心式, 都能较好地满足锅炉各种负荷的要求。但送、引风机的选型皆偏大。在燃用设计煤种时风机 55%~65% 出力即可满足锅炉要求。由此, 在锅炉正常运行条件下, 引风机永远在低速下运行。一次风机为离心式机翼型, 其风量裕度偏小, 单风机运行最大出力只能满足 30%BMCR 的负荷, 所以一旦空气预热器漏风大, 一次风机即成为限制机组负荷的因素。

3.1.2.5 机组旁路系统

由 SULZER 提供的机组旁路系统由两级串联旁路构成, 即 100% 容量的高压旁路和 65% 容量的低压旁路, 并配以 AV-6 液压控制系统。本机组过热器出口不设安全阀, 采用四个各 25%BMCR 容量的高压旁路阀; 但再热器进、出口各设安全阀两个, 其总容量可达 125%BMCR 容量, 属成熟设计。该设计能满足各种事故工况的处理要求, 实现快开、快关、溢流的锅炉安全功能。并对于机组的启动、调节、事故跳闸后的迅速恢复非常有利, 很受运行欢迎。

3.1.2.6 锅炉的吹灰

本炉炉膛热负荷较高, 考虑到设计煤种的灰熔点较低, 为了防止结焦, 设置了较多的吹灰器。炉膛墙式吹灰器 104 台; 对流烟道伸缩式长吹灰器 60 台; 空气预热器吹灰器 2 台。并备有预留孔。吹灰蒸汽主要取用冷段再热蒸汽。

吹灰器采用程控。设计有先进的优化控制程序, 可根据炉膛或对流受热面的积灰程度对烟温差的影响进行优化程序吹灰, 但此功能没有调试好, 没有用上。

3.1.3 锅炉岛设备的问题和完善

1) 现场安装检验中发现由 SULZER 转包给加拿大 CE 制造的 21 只过热器、再热器集箱的管座角焊缝有裂纹, 硬度过高及未焊透等严重缺陷, 经与外商讨论决定, 将其中 18 只集箱全部割除管座由上海锅炉厂重新焊接; 另 3 只送波兰返修。波兰返修的集箱经检验仍有缺陷, 最后决定在 SULZER 专家指导下, 由上电一公司进行返修。

2) 经计算, 选用的炉膛容积热负荷及炉膛截面热负荷偏高, 炉膛容积偏小。燃用神木煤易结焦, 这是设计上最大的缺陷。电厂采用与其他煤种 (如大同精煤) 混烧的办法, 基本解决了结焦问题。

3) 四角切圆燃烧所造成的烟侧热偏差在本锅炉同样存在。在后墙悬吊管处测到的由于烟侧热偏差造成的最大管壁金属温差高达 150~200℃。

4) 汽水分离器系统存在的问题是安全可靠性及运行经济性不够高。在正常运行中, 高压力的分离器与低压运行的除氧器仅用 ANB 阀及其电动隔绝阀隔开。一旦出现误动作或阀门泄漏, 会严重危及除氧器的安全。我厂为了避免这一危险出现, 在 ANB 阀关闭后, 立即将其电动隔绝阀的电源切除。工质的启动热损失大是该系统的另一个缺点。该系统只能回收经 ANB 阀排出的疏水热, 通过 AN 及 AA 阀的疏水热都损失掉了。

5) 后墙水冷壁悬吊管设计欠佳。锅炉后墙水冷壁悬吊管系中有两个中间联箱及一段下降管, 这就不可避免地在汽水分离器干湿态转换、工质为两相流时联箱中出现流量分配不均匀的情况。从而造成了悬吊管之间产生极大的温差, 悬吊管出现严重扭曲变形。

6) 水冷壁膨胀不畅。根据测定的结果, 发现除垂直水冷壁的向下膨胀量和设计值接近以外, 几乎普遍存在着较大的偏差。特别是螺旋管水冷壁部分, 实际向下膨胀量比设计值小了近 100mm, 几乎只有设计值的 1/4 左右; 而水冷壁和包覆管的向左、右、前后的膨胀量几乎只有设计值的 1/2 左右, 两台锅炉基本相似。这说明了设计可能存在着较大的不切实际的地方。

7) 过热器出口联箱短管裂纹。机组仅运行一年即发现过热器出口联箱短管存在较多的表面裂纹。裂纹处于过热器出口联箱炉前侧管座的角焊缝熔合线附近, 不在角焊缝上。造成裂纹的主要原因是由于高温过热器出口集箱进口集束管管座前的管子设计应力水平过高, 刚性太大, 导致频繁跳机时, 应力集中在管座的焊口上; 另当上述各排管子之间由于烟温偏差而发生大的金属壁温度差时, 在管子的近联箱端产生了很大的热弯曲应力。而设计中过热器出口联箱炉前侧的管排没有设置补偿弯头。经与 CE 公司交涉, 两台炉均已加装补偿弯头, 问题得到了解决。

8) 过热器的减温器喷嘴寿命短。1994 年 2 炉大修期间发现过热器减温器喷嘴及内套断裂, 由于设计上的不完善, 其寿命仅达 25000h 左右。经与 CE 交涉, 由 CE 提供改进部件, 均已作改进。同时, 加强检修时针对性检查。

9) 磨煤机蒸汽灭火设备的设计不能令人满意, 至今无法使用。

10) 一次风机为离心式机翼型, 其风量裕度偏小, 单风机运行最大出力只能满足 30% BMCR 的负荷, 目前尚无解决方案。

11) 锅炉在 500MW 负荷调试运行时, 曾发生 17m、38m、43m 处水冷壁左右侧刚性梁因膨胀不畅, 造成导向装置拉裂, 钢梁下倾。故对两台炉影响刚性梁膨胀的管道、结构进行了改造。

12) 锅炉水冷壁出口与炉顶的密封板、前包覆与悬吊管的密封板焊口存在制造及安装质量问题, 几次因膨胀不畅引起焊口拉裂, 殃及水冷壁管泄漏。现已对这部分密封板结构进行改造与加强。

13) 锅炉一次风机轴承原采用润滑脂润滑, 轴承温度高、寿命短, 已改为水冷轴承, 并已进一步开始改为稀油润滑; 引风机轴封原为动轴封, 随轴膨胀移动, 引起轴承温度高漏油严重, 曾烧过轴承, 现已改为静轴封, 效果良好; 一次风机及磨煤机的电动机轴承油挡漏油严重, 润滑油窜进电动机线棒, 对电动机运行安全构成威胁, 已对油挡进行改造, 消除了漏油。

14) 锅炉吹灰器的蒸汽系统设计为开环系统, 疏水存在盲区, 造成吹灰时蒸汽带水吹损水冷壁管, 现已将吹灰蒸汽系统改为闭环系统, 并对疏水点作了改进; 另外因吹灰器故障卡煞或提升阀泄漏造成对水冷壁的吹损减薄以致爆管, 问题也很严重。为解决这个问题, 本厂已在 1 号炉上加装低频脉冲吹灰器, 正在进行吹灰试验, 如试验成功, 将代替蒸汽吹灰器, 以彻底解决吹灰器吹损受热面的问题。

15) 安装时选用的炉墙保温材料性能不佳, 散热损失大, 经大修已全部更换成硅酸铝材料, 并经西安热工研究院鉴定效果良好。

16) 电气除尘器每经检修后, 连续运行一个月左右效率就下降, 明显不如国产电气除尘器, 这是外商设计问题。电厂在 1998、1999 年两年内已分别进行了改造, 由浙江诸暨电除尘厂承接, 投运后效果很好。鉴定效率达到 99.28%。

3.1.4 对锅炉岛设备的评价

总体上说, 两台锅炉的性能考核指标都能通过, 其基本参数、出力、不投油最低出力、锅炉效率、调节性能、启动特性都能符合设计要求。基本上是一台较好的锅炉。但不能说是一台十分理想的锅炉, 因为在设计上也存在了一些比较重要的问题, 成为先天性的症结, 如燃烧灰熔点较低的神木煤容易结焦、炉膛出口左右烟温差较大、悬吊管造成扭曲变形的设计等问题; 在供货上也发生了过热器联箱管座焊口裂纹造成大批返工的质量问题、电除尘器的设计水平较差的问题, 等等, 有的问题已经解决, 有的还需要继续完善。

3.2 超临界汽轮机

3.2.1 超临界汽轮机的特点和性能

600MW 超临界汽轮机组由瑞士 ABB 公司设计并制造, 其主要参数见附录。

3.2.1.1 综述

汽轮机型号为 D4Y-454 型, 其结构为单轴、四缸四排汽、一次中间再热的反动式凝汽机组。按合同, TMCR 时保证热耗为 $7648\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$; VWO 工况下出力 644.95MW ; 最大连续出力为 628.41MW ; 额定工况为 600MW ; 机组设计寿命大于 30 年。机组采用复合变压运行方式, 89% 额定出力以上和 36% 额定出力以下是定压运行, 中间段为滑压运行。在变压运行期间 1、2、3 号调节汽阀全开; 低压缸不喷水冷却的最低连续运行负荷是 10% 额定负荷。

锅炉出口至汽轮机入口主蒸汽管道上不装设电动闸阀, 高压缸进汽通过两只主汽门和四只调节汽阀, 对称布置; 中压缸进汽是对称布置的两只联合汽阀; 中压缸两端排汽分别通过导管进入两只低压缸。汽轮发电机组轴系为单轴支承, 共七个轴瓦。高、中压外缸的膨胀死点在 3 号轴承座, 中压缸向机头膨胀, 并推动 2 号轴承座和高压缸向前膨胀, 1 号轴承座是固定的, 高压缸的前猫爪能在 1 号轴承座上滑动; 低压缸的死点在两个低压缸之间, 受热后向两侧膨胀; 轴系的死点在 2 号轴承座。盘车装置位于 2 号轴承座。

汽轮机共有八级非调整抽汽, 分别供三台高压加热器、四台低压加热器; 小汽轮机的高低压汽源可内部自动切换; 小汽轮机排汽直接排入主机凝汽器。

每台机组配有三台给水泵, 其中两台各为 50% 容量的汽动给水泵和一台 40% 容量的电动给水泵; 高压加热器采用大旁路系统。

汽轮机采用全电调系统，由 ABB 生产的 TURBOTROL51/52 及热应力计算机 TURBOMAX-6 组成，其中 TT51 为手动操作调节，TT52 为主调节器，具有自动优化控制功能；TURBOMAX-6 可根据模拟的转子内外温差来计算转子的热应力，用于自动控制汽轮机的启动和增减负荷的速率，并具有保护功能。

机组的汽水系统为无铜系统；

凝汽器采用钛管和复合钛板，管束设计为教堂窗式，传热效果良好；凝汽器水侧具有程控反冲洗的装置。

1) 额定出力 600MW 的条件：额定参数下，凝汽器背压 0.049bar（允许最高背压为 0.118bar，1bar=10⁵Pa）、补水率 3%、给水温度 285℃。

最大连续出力 628.41MW 和调节阀全开时出力 644.95MW 的条件：额定参数下，凝汽器背压 0.049bar、补水率 0%、给水温度 287.3℃。

2) 在 TMCR 工况下：

高压缸设计效率	87.1%
中压缸设计效率	94.6%
低压缸设计效率	86.3%

3) 在寿命期内允许的启动次数：

冷态启动	100 次
温态启动（停机一周）	1200 次
热态启动（停机 8h）	4500 次
极热态启动（停机 2h）	500 次
25%负荷阶跃变化	4500 次

4) 允许的频率变化范围：47.5~51.5Hz

5) 焊接式转子级数如下：除调节级为冲动级外均为反动级

高压转子		1 调节级 + 21 级
中压转子		2 × 17 级
低压转子 I	1 号汽轮机	2 × 5 级
	2 号汽轮机	2 × 6 级（更新后）
低压转子 II	1 号汽轮机	2 × 5 级
	2 号汽轮机	2 × 6 级（更新后）
末级叶片长度	1 号汽轮机	867mm
	2 号汽轮机	916mm（更新后）

3.2.1.2 本体设备特点

1) ABB 的圆筒形高压内缸

采用无中分面法兰的两个半圆筒形结构，外用七个套环红套紧箍，与常见的螺栓结构相比，内外缸直径明显减小，因此受热均匀、热应力小，能适应快速启停，经检修实践证明拆装并不困难。

2) 中压缸