

600MW

火力发电机组 调试技术

江苏省电力试验研究所 编著



东南大学出版社

责任编辑 苏杏琴
责任校对 陈 清
责任印制 张文礼

ISBN 7-81050-834-2



9 787810 508346 >

600 MW 火力发电机组调试技术

江苏省电力试验研究所 编著

主 编 徐 斌
副主编 蒯荻正 刘 凯
编 委 尹光华 韩连富 殷 琮 孙一峰
刘德甫 陈志龙 赵祝人 陈江华

东南大学出版社

内容提要

本书以多视角深层次对扬州第二发电厂一期工程2×600 MW机组设备性能进行了剖析,内容覆盖管理、机、炉、电、热、化各方向,涉及招投标、调试、性能测试等工程过程。

全书共分4章。第1章介绍系统设备特点,分析设备的优缺点;第2章介绍工程调试管理,总结了确保机组调试高分达标的管理方法和经验;第3章介绍调试中所遇到的一些技术问题及其处理、优化对策;第4章介绍机组性能测试分析与评价,内容翔实。

本书可供有关电力设计、监理、施工、调试、运行、管理等专业技术人员与管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

600 MW 火力发电机组调试技术/徐斌主编. —南京:
东南大学出版社,2001.9

ISBN 7-81050-834-2

1.6... II.徐... III.火力发电—发电机—机组—
调试—技术 IV.TM31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 054379 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

出版人 宋增民

江苏省新华书店经销 河海大学印刷厂印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:14 字数:335千字

2001年10月第1版第1次印刷

定价:50.00元

(凡有印装质量问题,可直接向发行科调换,电话:025-3792327)

序

本书定稿之时,从北京传来消息,扬州第二发电厂一期 2×600 MW 机组工程和南京 500 kV 东善桥变电所工程同时荣膺中国工程质量最高奖项——鲁班奖。这表明江苏电力工程建设管理和整体移交水平已经全面处于国内领先地位。

扬州第二发电厂一期工程是利用世界银行贷款建设的大型火电项目,由华东电力集团公司、江苏省国际信托投资公司、江苏省电力公司、扬州市能源交通投资公司和泰州市能源交通投资公司 5 家合资建设。由投资方组成的扬州第二发电有限责任公司委托江苏省电力公司包干建设。江苏省电力公司设立工程筹建处负责建设管理。华东电力设计院负责该项目的总体设计,江苏省电力建设第三工程公司负责主体工程的施工,江苏省电力试验研究所负责机组整体调试,江苏兴源电力建设监理公司负责工程监理。从 1996 年 3 月 28 日主厂房开始浇灌混凝土,到 1999 年 6 月 20 日 #2 机组完成 168 h 连续满负荷试运转并移交生产,总工期只有 38 个月又 22 天。

扬州第二发电厂一期工程的开工准备和建设阶段,正是我国电力建设深化改革、大力探索 and 创新的阶段。也正是在这一期间,我国电力建设改革与发展“四十八字”总体思路和再上新台阶的“六条标准”逐步形成。“四十八字”是:“安全可靠、经济适用、符合国情;项目法人,招标投标,工程监理;控制造价,合理工期,达标投产;强化管理,减员增效,四身两体。”所谓“四身两体”,就是要求电力基本企业自主经营,自负盈亏,自我约束,自我发展,建立现代企业制度,真正成为适应新时期新形势的法人实体和市场主体。“六条标准”是:“科学合理的设计标准,符合国情的工程造价,规范有序的电建市场,高效一流的工程管理,优化合理的建设工期,规范严格的达标投产”。扬州第二发电厂一期工程工期短、质量优、造价合理,并且以施工安全文明的显著特点,成为全国电力建设的一个窗口工程。从利用外资、推行项目法人负责制直至建设管理的各个方面,都值得我们认真总结。但我认为,这个工程的最基本经验是认真贯彻了国家电力公司对基建改革的一系列部署,在转变观念的基础上,从江苏的实际出发,按照“四十八字”总体思路和“六条标准”,瞄准国际先进水平和国内领先水平,实实在在地推进工作。

江苏省电力试验研究所的调试工作,在全国同行中较早地通过了 ISO-9000 质量管理体系的贯标认证。近几年省内投运的全部大中型发电机组和 500 kV 输变电项目,大部分都是由该所负责调试的。扬州第二发电厂工程安装和调试 600 MW 机组,这在江苏是前所未有的。为此,我们对本工程建设管理和技术工作进行了全面的总结,吸取经验和教训,以立在新世纪的初期,把江苏省电力基本建设整体水平再推进一大步。基于这本关于调试技术的总结文稿率先完成并将出版,特写下这一番话,做些说明。

徐 斌

2001 年 3 月 20 日

前言

扬州第二发电厂一期工程是利用世界银行贷款建设的大型火电项目,也是目前江苏省单台机组容量最大的火电厂。#1 机组于 1998 年 11 月 12 日完成 168 h 满负荷试运行,经半年试生产,以 92.3 分的调整试验分通过了国家电力公司组织的达标投产考核验收;#2 机组于 1999 年 6 月 20 日完成 168 h 满负荷试运行,经半年的试生产,以 99.6 分的调整试验分通过了国家电力公司组织的达标投产考核验收。2 台机组达标投产考核验收的调整试验得分均为全国同时期、同类型机组的最高分。作为工程的主体调试单位,江苏省电力试验研究所在江苏省电力公司的正确领导下,全面贯彻执行“新启规”(全称为“火力发电厂基本建设工程启动及竣工验收规程”),紧密结合 ISO-9002 质量体系认证工作,学习国外先进管理模式,加快与国际惯例接轨,坚持文件交接验收制度,加强调试质量的全过程控制。全体调试人员始终以“精心组织、精心调试,高分达标”为目标严格要求自己,付出了辛勤的劳动,同时也积累了许多宝贵的经验。

本书是由江苏省电力试验研究所负责扬州第二发电厂启动调试工作的主要调试人员精心总结编写的。真诚地希望这些经验能为加强电力行业技术交流、提高我国大型火电工程建设的管理和技术水平发挥作用。

全书共分为 4 章,主要包括设备系统介绍及特点分析、调试管理、调试技术、性能测试及分析评价等内容。本书介绍了扬州第二发电厂 2 台机组工程调试的管理方法和经验,比较了国内外项目管理和组织模式的不同特点,回顾了工程调试进度情况及控制要点,分专业介绍了设备系统情况和技术特点,总结了机组启动试运和性能测试工作,分析了试运中出现的主要问题,描述了处理和改进情况,尤其是针对锅炉减温水量过大的试验研究和治理、汽轮发电机组振动状况的分析评价、协调控制系统控制策略的优化改进、EDTA 化学清洗工艺的成功应用等专题进行了透彻的分析和全面的介绍。

全书由江苏省电力公司副总经理徐斌任主编。调试管理部分的内容由蒯狄正和薄斌编写;锅炉部分由鲁松林、郑世津、黄磊、姜辉、梁绍华、肖晓强编写;汽机部分由刘凯、秦惠敏、帅云峰、卢修连编写;电气部分由万达、李长益、刘娟、张量、李澄、梅强编写;热控部分由张红光、陈厚肇、张斌编写;化学部分由祝大庆、刘红兴编写。该书还特邀了刘凯、柳京玉、张宗九、陈厚肇、陆达年等江苏省电力系统知名专家进行了审稿。该书的编写得到了江苏省电力公司工程建设部、扬州第二发电有限责任公司、江苏省电力建设三公司及江苏省电力试验研究所的各位领导和同仁的指导与帮助,另外,东南大学出版社的工作人员对此书能如期出版也给予大力支持,编者谨向他们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

目 录

1 设备系统介绍及特点分析	(1)
1.1 锅炉	(1)
1.2 汽轮机.....	(46)
1.3 热控系统及其技术特点.....	(62)
1.4 电气.....	(75)
1.5 化学.....	(91)
2 调试管理	(98)
2.1 概述.....	(98)
2.2 工程调试管理模式.....	(98)
2.3 影响启动方式与进度的因素	(105)
2.4 调试计划进度控制	(106)
2.5 整套启动试运过程记录	(110)
3 调试技术	(115)
3.1 锅炉	(115)
3.2 汽轮机	(151)
3.3 机组协调控制策略分析与改进	(168)
3.4 电气	(172)
3.5 化学	(191)
4 性能测试及分析评价	(200)
4.1 锅炉的性能测试及分析	(200)
4.2 进口汽轮发电机组性能验收试验	(205)
4.3 TELEPERM-XP 分散控制系统在线性能测试	(209)
4.4 发电机额定工况运行试验	(213)

1 设备系统介绍及特点分析

1.1 锅炉

1.1.1 锅炉设备系统概况

1.1.1.1 设备概况

锅炉为美国巴威公司设计制造的亚临界、一次再热、自然循环、全悬吊平衡通风、单汽包、半露天辐射式煤粉炉,型号为RBC型。设计寿命为30年,平均年利用小时为6500,设计50%~80%BMCR为滑压运行。

主要技术参数列于表1-1;锅炉的主要结构数据列于表1-2(参见图1-1);表1-3为BMCR工况下外方提供的热力参数。

表 1-1 主要技术参数

项 目	BMCR	ECR
汽包压力/MPa	18.56	18.08
主蒸汽流量/t·h ⁻¹	2 000	1 745
主蒸汽温度/℃	541	541
主蒸汽压力/MPa	17.39	17.21
再热蒸汽出口压力/MPa	3.75	3.14
再热蒸汽进口压力/MPa	3.91	3.28
再热蒸汽流量/t·h ⁻¹	1 700	1 524
再热蒸汽温度/℃	541	541
减温水流量/t·h ⁻¹	85.68	
炉膛出口烟温/℃	1 005	968
排烟温度(修正后)/℃	129	124
燃煤量/t·h ⁻¹	277.9	247
锅炉效率/%	93.87	94.06

表 1-2 锅炉的主要结构数据

	单位:m
汽包标高	67.92
顶棚受热面标高	63.65
炉膛宽度	19.5
炉膛深度	17.37
燃烧器标高	
下	21 700
中	26 575
上	31 450
冷灰斗倾角(与水平方向夹角)/°	50

续表 1-2

冷灰斗高度	10.04
冷灰斗开口	1.219
上层燃烧器中心线至屏底的距离	19.2
前墙至屏的距离	5.46
水平烟道的高度	10.93

表 1-3 BMCR 工况下外方提供的热力参数

炉膛出口烟温/ $^{\circ}\text{C}$	1 005
炉膛容积热负荷/ $\text{kW}\cdot\text{m}^{-3}$	96.9
炉膛断面热负荷/ $\text{MW}\cdot\text{m}^{-2}$	4.587
燃烧器区域壁面热负荷/ $\text{MW}\cdot\text{m}^{-2}$	1.037

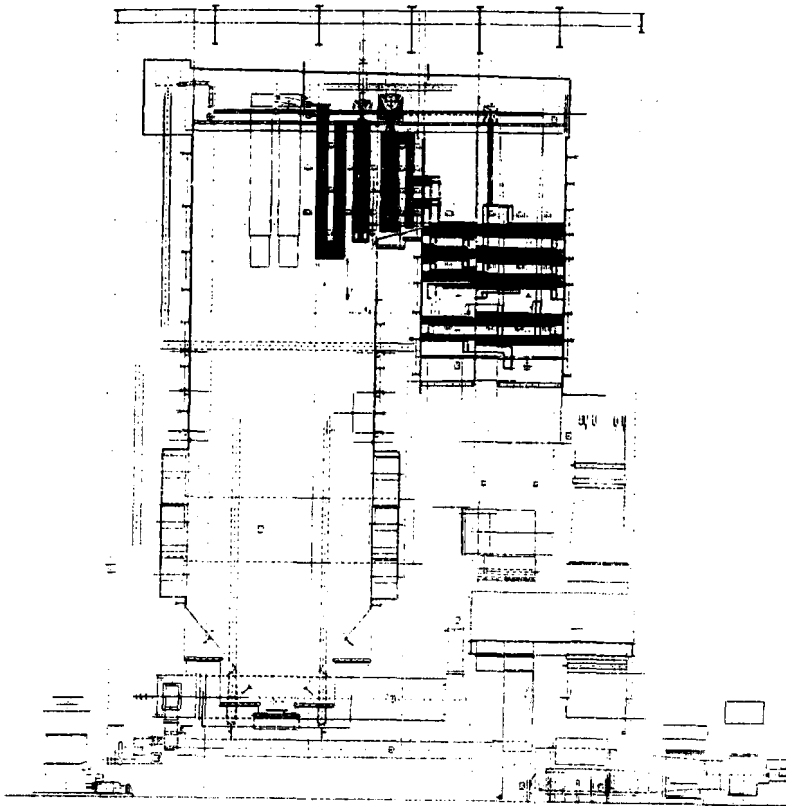


图 1-1 锅炉总图

1.1.1.2 锅炉本体

锅炉采用 II 型布置、全吊挂结构,炉膛高度 56 m,断面为矩形,其宽度 19.50 m,深度 17.37 m,采用 SA210A1 及 SA213T12 两种不同材质的鳍片管构成膜式水冷壁,燃烧器区域由于热负荷大而采用 SA213T12 的低合金钢。过热系统采用辐射-对流组合式过热器。

过热器由 4 级组成:炉顶及包覆过热器、低温对流过热器、屏式过热器及高温过热器。高温过热器由进口段与出口段两部分组成。在屏式过热器的前后分别布置有一级喷水减温

器,每一级设置有2个并联的喷水减温装置。再热器分为低温再热器及高温再热器。低温再热器布置于尾部竖井烟道前烟道内。高温再热器布置于折焰角上方。再热汽温的调节方式主要是采用烟气挡板及位于低温对流再热器进口导管的事故喷水减温。与国内典型的主、再热管道布置方式212相比,美国巴威公司的典型设计为主蒸汽及再热蒸汽管道直接从高温过热器及再热器出口联箱的中部单管引出。为了节省主汽及再热管道材料,外方设计时采用了从炉顶引出以后直接大跨越斜插进汽机房的方式进行布置,由此在煤仓间顶部增加了钢结构支撑,但却减少了许多管道阻力,在合同范围内提高了蒸汽流速,节省了大量管材。省煤器为单侧进水,单级4组,分别布置于前后烟道内,每1烟道内为上下组,进入省煤器后的给水分2路分别经前后烟道上下2组蛇形管向上流动,与向下流动的烟气作逆流的热交换。锅炉配有3种吹灰器组成的2套吹灰系统,1套用于炉膛水冷壁和对流受热面的吹扫,另一套是专门为空气预热器的吹扫而设计的。前一套吹灰器系统由30个炉膛水冷壁的短伸缩式吹灰器和60个对流受热面的长伸缩式吹灰器构成,吹灰汽源来自屏过出口联箱。用于炉膛的短吹数量与其他类型锅炉相比要少,实际运行效果还有待进一步观察,但据目前运行情况看,在炉膛部位适当增加吹灰器数量是必要的、适宜的。为了防止运行后结焦严重,厂家在炉膛及对流受热面部分还预留了大量的吹灰器的安装位置。空气预热器的吹灰在启动和投运后分别由辅汽和主汽2路汽源供汽,2台吹灰器分别位于空气预热器的烟气出口。

1.1.1.3 锅炉辅机

主要由给煤机、磨煤机、一次风机、送风机、引风机、空预器及除尘器等组成。

制粉系统为直吹式系统。锅炉配有6台巴威公司生产的MPS-89G中速磨辊型磨煤机。出力58.5t,正常运行时5台磨可带满负荷。该磨空载时振动较大,当磨内有异物卡塞致使磨振动增大时,加载杆易拉断,另外,防磨板上所贴的瓷砖在运行一段时间后也易脱落并卡在磨环内。

每台磨配有STOCK公司生产的输送能力为13.6~73.5t/h的重力式皮带给煤机。其出力相当于10%的磨煤机出力裕量。该给煤机性能好、故障少且具有准确的电子称重装置。

燃烧系统采用前后墙对冲布置,共有36只双调节旋流式DRB-XCL型低NO_x型燃烧器,燃烧器采用内外双层二次风调节,可以调节完全燃烧区处于炉膛内的不同位置。同时也能有效阻止燃烧过程中NO_x的生成,因而NO_x排放量小。燃烧器前后墙各3层,每层6个燃烧器,分别布置在标高30.990m、26.115m及21.240m的位置,每只燃烧器配有1只点火油枪,最下层燃烧器还配有12支助燃大油枪,出力达19%,所有油枪一起投用时能带30%的负荷。

锅炉配有2台美国ABB公司生产的受热面回转式空气预热器,空预器是垂直轴转子和三分仓式结构,转子直径为13.76m,漏风率较小为6.2%。驱动装置为1台主交流马达、1台备用直流马达及1台检修用气动马达。为防止着火烧损,该空预器配有冲洗系统。为防止受热面发生低温腐蚀,在空预器的二次风进口侧配置有暖风器。

烟风系统主要由美国TLT公司生产的2台双吸离心式1462A2/1355型一次风机、2台变节距轴流式MFAF28.0/12.5-1型送风机及2台双吸离心式1444A2/2489/0型引风机等组成。一次风机通过执行机构对风机进口导叶进行调节以改变风量,并在出口引1路管至磨煤机入口做为调温冷风。送风机为轴流式,该风机通过液压力动叶调节装置对风量进行调节,调节装置性能及灵敏度均较好。烟气最终由2台离心式引风机引入烟囱,也可通过

执行机构对风机进口导叶进行调节以改变烟气量。在风机选型时按要求送风机及引风机考虑了25%和30%、一次风机考虑了17%和37%的静压头和流量裕量,投运后表明,选型正确、情况良好。

每台锅炉配置2台2×F422型电除尘器,双室四电场。由浙江电除尘器总厂制造,投运后实测除尘效率达99.7%。

1.1.1.4 除灰系统

厂内除灰系统由美国巴威公司分包给美国萨金伦迪公司和美国UCC公司。萨金伦迪公司负责除灰系统的总体布置及设计,而主要设备及输灰、渣管道由美国UCC公司供货。厂外除灰系统由华东电力设计院设计。所有的系统控制、设备启停均在除灰控制室的CRT画面上进行,采用PLC程序控制,减少了运行工作量。

(1) 每台锅炉配3个底渣斗,底渣由各渣斗底部的喷射泵送至渣浆池,再经渣浆泵送至渣场。渣浆泵由三级泵串联而成,2台锅炉配3组渣浆泵,1组运行,1组备用,1组检修。

(2) 飞灰系统每台炉为一个独立系统。省煤器区域有8个灰斗及气锁阀;电除尘区域有32个灰斗及气锁阀。每台炉配3台输送风机(两用一备),2个2500m³的灰库和3台柱塞泵(1台运行,1台备用,1台检修)。省煤器及电除尘区域的飞灰由输送风机送至灰库后,可经伸缩喷嘴由闷罐车运走,进行飞灰的综合利用,也可经旋转给料机,由喷射泵加湿后送至灰浆池,再经大隆机器厂生产的大流量、高扬程、输送高浓度灰浆的五柱塞型柱塞泵送至灰场。

(3) 石子煤采用单独的脱水仓进行处理。每台磨煤机配1个石子煤斗及1台喷射泵,每台锅炉配1个石子煤脱水仓,2个脱水仓可互相切换。每1台磨煤机的石子煤输送均设1条单独的管线,由喷射泵送至石子煤脱水仓,脱水后,定时由卡车运走。

1.1.1.5 输煤系统

输煤系统主要由2台1400t/h桥式抓斗卸船机、2台斗轮堆取料机、19条皮带输送机及除大块装置、碎煤机、电子秤、采样装置等组成。

(1) 2台卸船机由法国CAILLARD公司提供,额定出力为2×1400t/h。该型卸船机国内首次采用,整体结构简单、轻巧,整机质量仅710t左右,但运行相当平稳。其抓斗的起升、开闭、行走都是通过同一整体式驱动机构来完成,与小车牵引式相比,钢丝绳的缠绕布置非常简捷,钢丝绳的用量较一般卸船机要少1/3左右。由于使用了行星齿轮减速箱的驱动机构,整个机器房内的设备较少,布置紧凑,检修空间很大。

(2) 煤场的2台斗轮堆取料机也由法国CAILLARD公司提供。堆取料出力各为3000t/h和1000t/h,并可同时实现海轮来煤直接加仓和煤场卸煤。回转机构由2台液压马达驱动,回转轴承环采用KRUPP双列垂直滚柱轴承环。俯仰机构为液压式。该斗轮机具有自动及半自动运行方式,能根据运行需要自动地将煤堆到指定位置或在指定位置取煤。

(3) 皮带输送机为DT2型,卸煤段和上煤段带宽分别为1600mm和1200mm。该型皮带机为电力系统内首次采用,运行中发现垂直拉紧装置的拉紧滚筒不易达到平衡而常引起皮带跑偏、自动调偏托辊组支架设计强度低、托辊极易脱落等问题,这些有待进一步完善。

1.1.2 锅炉本体设计及其布置

1.1.2.1 概述

扬州第二发电厂锅炉为美国巴威公司设计制造的亚临界、一次再热、自然循环、全悬吊

平衡通风、单汽包、半露天煤粉炉。锅炉采用 II 型布置、全吊挂结构,炉膛高度 56 m,炉膛断面为矩形,宽度 19.50 m,深度 17.37 m。

1.1.2.2 锅炉本体设计及其布置

1) 汽水系统主要流程

(1) 水和饱和蒸汽系统的流程 美国巴威公司设计制造的 2 000 t/h 自然循环锅炉,由汽机高压加热器来的给水经过省煤器加热后,通过省煤器出口联箱引出管进入汽包,给水沿汽包长度方向与炉水混合后进入 4 根大直径下降管,通过 4 根集中下降管底部的分配器,由 $\phi 127 \times 10.8$ mm 的供水管把欠焓水送到 22 个水冷壁下联箱,然后经过 968 根膜式水冷壁管向上流动,水被加热并逐渐形成汽水混合物,通过 284 根 $\phi 1278 \times 12.2$ mm 上联箱引出管进入汽包,经过汽包内的汽水分离装置将汽水分离,饱和蒸汽进入过热器受热面;水则进入底部下降管。

(2) 再热蒸汽系统的流程见图 1-2。

(3) 主蒸汽系统的流程见图 1-3。

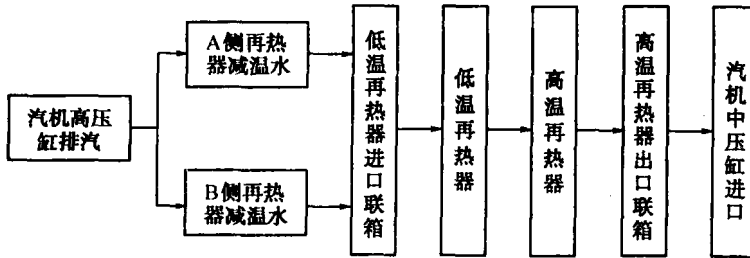


图 1-2 再热蒸汽系统流程图

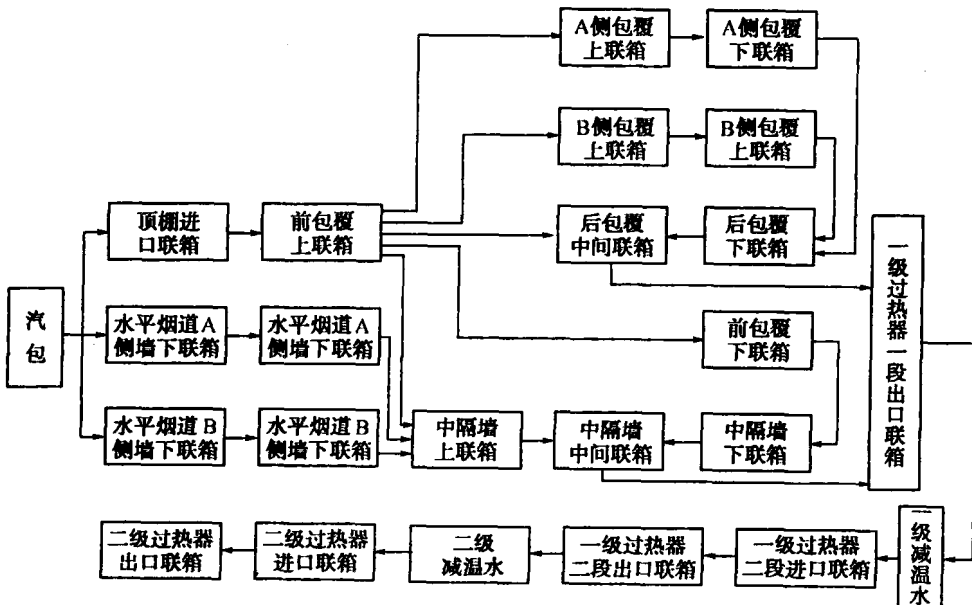


图 1-3 主蒸汽系统流程图

2) 锅筒与受热面的设计和布置

(1) 锅筒及其内部装置 锅筒(图 1-4)设计压力为 19.65 MPa, 材质为 SA299。锅筒内径为 1 835.15 mm, 直筒厚度 190.5 mm, 两端采用球形封头, 厚度为 165 mm, 筒体直段长度 25.5 m。总质量 278 t。汽包内部沿长度方向在水侧装有一层汽包内隔板, 使内隔板与汽包内壁之间构成左右两个环行的通道, 该通道在运行中充满了从上升管来的汽水混合物, 并将它们导入 194 只锥形旋风分离器进行汽水分离。分离出来的蒸汽向上流过位于旋风分离器上部紧密分布的带均流板的波纹板进行第 2 次分离, 然后再以很快的速度流过汽包顶部沿汽包长度方向布置的 2 组立式波形板分离器进行第 3 次分离, 经过充分汽水分离后的蒸汽由导气管引入顶棚过热器。从旋风分离器分离出来的炉水进入隔板内的汽包中间与给水混合。在炉水浓度最高的地方设置了连续排污, 以维持炉水品质。从省煤器来的给水管位于下降管上方, 前后 2 根, 沿整个汽包长度与炉水混合, 以较短的路径进入下降管。在进入下降管之前, 对其进行加药, 使其充分混合。

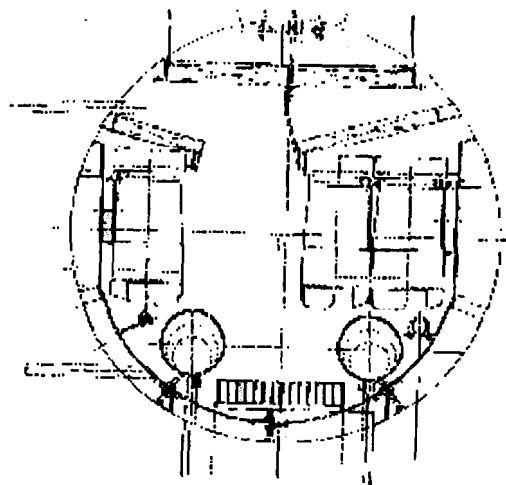


图 1-4 锅筒结构

锅筒上配备了 6 组水位计接口, 就地水母水位计和电接点水位计共用 2 组, 其余 4 组供保护和 DAS 使用。运行正常水位在几何中心线上 25.4 mm 处, 按美国巴威公司要求, 高低水位报警定值为 -179 mm、+152 mm, 高低水位跳闸定值为 -229 mm、+203 mm。

(2) 省煤器 省煤器为单侧进水, 单级 4 组, 垂直于前后墙、顺列分别布置于前后烟道内低温再热器和低温过热器的下方, 每 1 烟道内为上下组, 进入省煤器后的给水分 2 路分别经前后烟道上下 2 组蛇形管向上流动, 与向下流动的烟气作逆流热交换。加热后的给水进 2 只中间联箱。2 只中间联箱各引出 85 根 $\phi 57.2 \times 5.6$ mm 的悬吊管, 支吊后烟道的省煤器和低温过热器的重量, 同时悬吊管也是省煤器受热面的一部分, 吸收烟气对流换热, 给水经 2 排悬吊管向上进入省煤器出口联箱。前烟道省煤器采用支撑方式固定。

省煤器为光管, 蛇行管材料为 SA178C, 共 172 排, 每排 4 根 $\phi 50.8 \times 5.16$ mm 的管子, 横向节距 114.3 mm、纵向节距 70 mm。省煤器支吊方式采用悬吊结构, 悬吊管材料为 SA213T2。

为防止磨损, 在易磨损的位置安装了烟气挡流板, 设计最高烟速为 8.6 m/s。

锅炉在低负荷运行时省煤器出口工质不应发生汽化。根据设计计算在 35% BMCR 工况下省煤器出口有 75 °C 欠热。

(3) 水冷壁 炉膛采用 SA210A1 及 SA213T12 两种不同材料的鳍片管构成膜式水冷壁, 共分 22 个回路。4 根集中下降管材质为 SA106C, 分布在锅炉的 4 个角, 其中 #1、#4 管径为 $\phi 552.5 \times 47.6$ mm, #2、#3 管径 $\phi 660 \times 57$ mm。每根下降管由底部的分配器通过供水管负责向一个角区域的水冷壁下联箱供水。水冷壁下联箱共 22 个, 前后墙各 6 个, 左右墙各 5 个。见图 1-5。

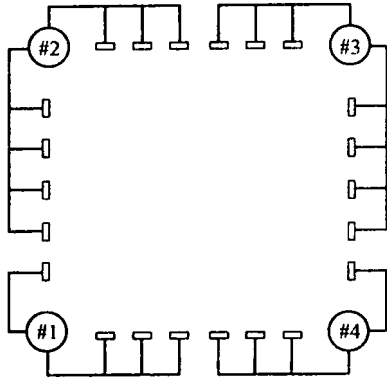


图 1-5 下降管与水冷壁下联箱连接图

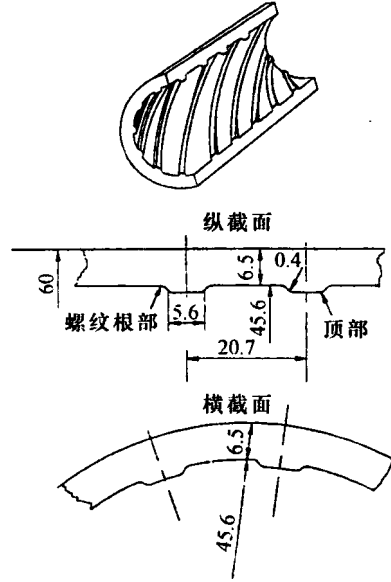


图 1-6 内螺纹管

前墙水冷壁共 257 根,侧墙水冷壁共 2×227 根,后墙水冷壁共有 257 根。前墙及侧墙水冷壁垂直向上直接进入水冷壁上联箱后由导汽管引出进入汽包,后墙水冷壁在标高 46.13m 处部分管子垂直向上形成 $\phi 63.5 \times 7.366$ mm、节距 228.6 mm 的悬吊管、其余 $\phi 63.5 \times 6.6$ mm、节距 76.2 mm 水冷壁管向前弯曲形成折烟角的鳍片管,在标高为 53.51 m 处沿水平烟道底部向后延伸,在高温再热器后拉稀为节距 228.6 mm 的垂直向上在高再受热面前形成后墙管排(即对流管束)。在炉膛底部(标高 18.03 m)前后墙水冷壁向内弯曲成倾斜 50° 角(与水平方向)的冷灰斗,在标高 7.99 m 处形成 1 个出渣口与 3 个渣斗相连。

为了防止膜态沸腾,提高水循环安全性,该锅炉在高负荷区域大量采用了内螺纹管(图 1-6),燃烧器区域和灰斗部分区域均采用 $\phi 63.5 \times 6.5$ mm、节距 76.2 mm 的内螺纹管。其他部分为 $\phi 63.5 \times 6.5$ mm、节距 76.2 mm 的光管。

在材料的选用上比较考究,不同的部位选用不同的材料,燃烧器区域从标高 17.5 m 到标高 35.9 m 区域使用的是 SA213T2,其余部分使用的均为 SA210A1。

水冷壁采用悬吊式,通过悬吊杆吊在炉顶的钢梁上。以锅炉顶部为零点,使整个水冷壁箱体在运行期间向下膨胀。BMCR 工况下最大膨胀量为 294 mm。

(4) 过热器 过热器系统主要由顶棚及包覆过热器、低温过热器、屏式过热器和高温过热器 4 个部分组成。具体流程参见图 1-3 主蒸汽系统流程。

顶棚及包覆过热器为减少漏风和散热均采用膜式结构(除炉膛上部顶棚采用平头螺栓结构外),使用材质均为 SA213T2。只是各处管径和节距不同,炉膛上部顶棚管为 $\phi 76.2 \times 7.62$ mm、节距 152.4 mm,后部顶棚管为 $\phi 44.5 \times 4.45$ mm、节距 114.3 mm。包覆过热器管,前包在水平烟道出口部分为 $\phi 44.5 \times 8.64$ mm、节距 228.6 mm 的栅式结构,前包在尾部竖直烟道部分为 $\phi 44.5 \times 4.45$ mm、节距 114.3 mm 的膜式结构。后包和侧包管为 $\phi 44.5 \times 4.45$ mm、节距 114.3 mm 的膜式结构。中隔墙受热面下半部分为 $\phi 44.5 \times 5.6$ mm、节距 228.6 mm 的膜式结构,上半部分为低过的进口通道,因此采用 $\phi 44.5 \times 5.6$ mm、节距 228.6 mm

的栅式结构。

低温过热器为4管圈套装共170排沿锅炉宽度方向、分3段卧式逆流布置在尾部竖直烟道中隔墙后、省煤器上部。上段进口部分及出口管为 $\phi 50.8 \times 5.2$ mm、节距为114.3、228.6mm,材料为SA213T2;上段出口及中段进口为 $\phi 50.8 \times 5.6$ mm、节距114.3mm,材料为SA178C;中段出口及下段为 $\phi 50.8 \times 5.2$ mm、节距114.3mm,材料为SA178C。最大烟气流速为12.7m/s(以上进出口按烟气流向定义)。

屏式过热器布置在前墙和高温过热器之间的炉膛上方,共13片,每屏36根管,分前后2片。屏距为1371.6mm,管节距为57mm,前后2片屏间距离为686mm。由3种不同管径和材质的管子组成,分别为 $\phi 50.8 \times 5.6$ mm、材料为SA213T2; $\phi 50.8 \times 6.5$ mm、材料为SA213T12; $\phi 50.8 \times 5.5$ mm、材料为SA213T22。屏式过热器的进出口联箱呈纵向平行布置在锅炉顶部,前屏进出口联箱分别与13片屏的进出口小联箱相连。

高温过热器分为进口段和出口段(按蒸汽流向)。进口段为顺流布置,共32排节距为609.6mm的管屏,每排18根节距65mm蛇行管,垂直下降管有2种不同壁厚的管子, $\phi 50.8 \times 5.6$ mm、 $\phi 50.8 \times 6.7$ mm、材料均为SA213T2,下弯头部分外圈为 $\phi 50.8 \times 9.0$ mm、材料为SA213T22,内圈为 $\phi 50.8 \times 6.6$ mm、 $\phi 50.8 \times 7.5$ mm、材料均为SA213T2,垂直上升管外圈为 $\phi 50.8 \times 9.0$ mm、材料为SA213T22,其余管径均为 $\phi 50.8$ mm、材料为SA213T2,但有5.6mm、7.5mm、9.0mm3种壁厚;出口段为混流布置,共64排节距为304.8mm的管屏,每排12根节距为70mm的蛇行管,烟气进口侧下降管为 $\phi 50.8 \times 10.8$ mm、材料为SA213T22,烟气出口侧下降管为 $\phi 50.8 \times 10.8$ mm、材料为SA213T12,上升管至联箱为 $\phi 50.8 \times 7.2$ mm、材料为SA213T91。高过区域最大烟气流速为13.1m/s。

(5) 再热器 再热器由低温再热器和高温再热器组成,它们之间没有中间联箱。低温再热器沿锅炉宽度方向共170,排每排6根,分3段卧式逆流布置在尾部竖直烟道中隔墙前、省煤器上部,管排节距为114.3mm。低温再热器均采用 $\phi 65.3 \times 4.2$ mm的管子,但使用材质不同,按烟气流向,上段进口部分材料为SA213T2,下面为SA178C;中段和下段均采用SA178A。低再部分设计烟气流速为12.9m/s。

低温再热器与高温再热器之间的中间连接管共有85排,每排12根,节距228.6mm,按烟气流向使用了2种不同壁厚、材质的管子,少数管子为 $\phi 57.2 \times 4.2$ mm、材料为SA213T22;其他为 $\phi 57.2 \times 3.6$ mm、材料为SA213T2。

高温再热器共有85排,每排12根,节距为228.6mm,管间节距76mm。采用混式流布置。进口段均为 $\phi 57.2 \times 4.2$ mm、材料为SA213T22的管子;出口段使用了3种管子,分别为 $\phi 50.8 \times 4.8$ mm,材料为SA213T22; $\phi 50.8 \times 3.8$ mm,材料为SA213T91, $\phi 50.8 \times 3.0$ mm,材料为SA213T91;出口段上部由烟气进口侧数1、4、5、6、7、8根为 $\phi 50.8 \times 3.8$ mm,材料为SA213T91。设计烟气流速为14.9m/s。

3) 汽温的控制与调节

(1) 过热的控制 过热的控制采用两级喷水减温装置,分别布置在屏式过热器的进口和出口的连接管道上,每一级设置有2个并联的喷水减温器。采用文丘里型减温器(如图1-7)。从锅炉给水泵增压抽头来的减温水从导向旋流室的进口管进入喷嘴,当喷嘴里形成旋流的水离开喷嘴时,形成锥形水雾。过热蒸汽首先进入减温器内套管,当蒸汽通过喷嘴时与雾状的水混合并流过文丘里衬套,以降低过热器温度。扬州第二发电厂BM-

CR工况下设计的减温水量为一减 85.68 t/h, 二减 0 t/h。最大值 220 t/h。但在实际运行中减温水流量远大于设计值。一般文丘里型减温器在喷口处(即文丘里管喉口处)蒸汽流速达到 70~120 m/s, 增大了蒸汽与喷水的压差, 强化了混合与传热效果, 且使用文丘里衬套还可避免蒸汽管道的热冲击。

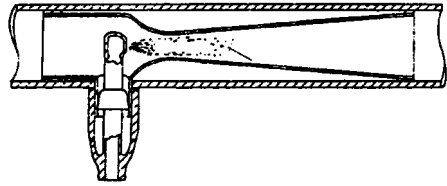


图 1-7 文丘里型减温器

(2) 再热汽温的控制 再热汽温主要是依靠烟气挡板来调节, 并备有事故喷水减温。采用烟气挡板调节再热汽温是美国巴威公司的专长, 因为美国巴威公司推崇前后墙对冲旋流燃烧, 炉膛出口烟气比较均匀, “柱状”烟气进入尾部前后分隔烟道时不会由于炉膛出口处烟气残余旋转带来烟气流场“左、右”侧偏斜。从表 1-4 来看, 这台锅炉采用烟气挡板调节是合理的。

表 1-4 烟气再循环、烟道挡板和摆动燃烧器调温特性的初步比较

项 目	烟气再循环	烟气挡板	摆动燃烧器
动力消耗	有	无	无
对炉型和燃烧方式的要求	无	有	有
对燃料的要求	有	无	无
主汽温的变化	同向	异向	同向
调温能力(调高或调低)	单向 (调高)	双向 (调高或调低)	双向 (调高但调低受限)
调温幅度/℃	~16	~40	~40
延迟时间/s	65	75	90
典型的传递函数	$1/(1+95s)^3$	$1/(1+120s)^3$	$1/(1+170s)^3$

再热器进口管道上的喷水减温作为事故备用, 正常应关闭。减温器为喷嘴型, 为使减温器能承受喷水 and 蒸汽腐蚀和磨损, 在减温器内部装有可更换的内衬套, 以便对减温器筒体进行保护。图 1-8 为减温水水源来自给水泵的中间抽头。

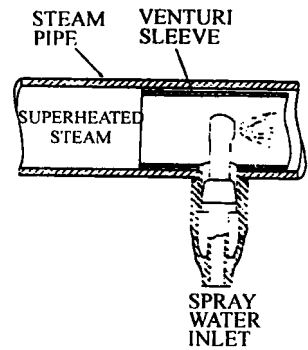


图 1-8 再热器喷水减温器

(3) 制造厂对汽温控制的原则要求

a. 为了避免蒸汽带水, 在低于 10% BMCR 蒸汽流量下, 建议不投用减温水。

b. 负荷大于 10% BMCR 后, 应根据汽包压力控制一减出口蒸汽温度与对应饱和温度差值满足图 1-9 曲线的要求。

c. 过热器减温水的投用应参照图 1-10, 图中, θ_2 为第一级减温器出口设定的温度(制造厂提供), 一减出口温度设定值的要求尽量投用一减, 在达到一减温度设定值的基础再投用二减。

d. 再热器温的调节应尽量使用烟气挡板, 避免使用再热器减温水以提高机组的效率。

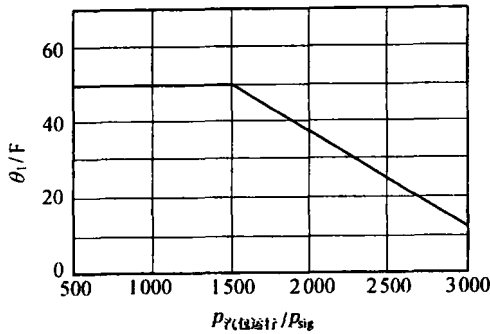


图 1-9 一减出口温度与饱和温度差值控制曲线

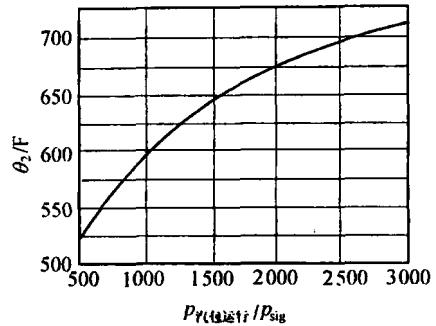


图 1-10 一减出口控制温度

4) 安全阀

本锅炉采用美国 DRESSER 公司的安全阀及电磁释放阀,其中汽包安装 6 套安全阀,主汽集箱上安装 2 套安全阀及 2 套 1538VX 和 1538VC 型电磁释放阀,再热器进口管道上安装 4 套安全阀,再热器出口管道上安装 2 套安全阀。安全阀的技术数据如表 1-5。

表 1-5 安全阀的技术数据

名称及编号	型号	启座压力	回座压力	排放量 /t·h ⁻¹
		$p_{启座}/(\text{MPa})$	$p_{回座}/(\text{MPa})$	
汽包安全阀 ^①				
1VBC001		19.67	19.07	273.17
1VBC002		19.79	19.19	276.71
1VBC003		19.90	19.37	281.03
1VBC004		20.02	19.42	281.03
1VBC005		20.14	19.54	284.70
1VBC006		20.27	19.67	284.70
过热器安全阀 ^②				
1VMS001A		18.19	17.64	178.73
1VMS001B		18.40	17.84	184.41
过热器电磁释放阀 ^③				
1VMS003A		17.75	17.49	117.45
1VMS003B		17.75	17.49	117.45
再热器进口安全阀 ^④				
1VHR003		4.49	4.35	238.29
1VHR004		4.59	4.46	291.04
1VHR005		4.62	4.49	291.04
1VHR006		4.62	4.49	291.12
1VHR007		4.62	4.49	295.12
再热器出口安全阀 ^⑤				
1VHR009A		4.30	4.17	124.18
1VHR009B		4.43	4.30	185.00

注:① 汽包安全阀共 6 只,总排放量 1 681.3 t/h,占过热汽总排放量的 84.0%。

② 过热器出口共 2 只,总排放量 363.14 t/h,占过热汽总排放量的 18%。

③ 过热器电磁释放阀共 2 只,总排放量 234.90 t/h,占过热汽总排放量的 11.6%。

④ 再热器进口共 5 只安全阀,总排放量 1 410.61 t/h,占再热汽总排放量的 82.7%。

⑤ 再热器出口共 2 只安全阀,总排放量 309.18 t/h,占再热汽总排放量的 18.1%。