

300MW级火力发电厂培训丛书

锅炉设备及系统

山西漳泽电力股份有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

300MW级火力发电厂培训丛书

锅炉设备及系统

山西漳泽电力股份有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

20 世纪 80 年代开始, 国产和引进的 300MW 级火力发电机组就陆续成为我国电力生产中的主力机组。由于已投入运行 30 多年, 涉及机组运行、检修、技术改造和节能减排、脱硫脱硝等要求越来越严, 以及急需提高实际运行、检修人员的操作技能水平, 组织编写了一套《300MW 级火力发电厂培训丛书》, 分为《汽轮机设备及系统》《锅炉设备及系统》《热控设备及系统》《电气设备及系统》《电气控制及保护》《集控运行》《化学设备及系统》《输煤设备及系统》《环保设备及系统》9 册。

本书为《300MW 级火力发电厂培训丛书 锅炉设备及系统》, 共十二章, 主要内容包括锅炉概述, 给水、蒸发系统及设备, 过热器、再热器系统及设备, 煤粉燃烧和燃烧设备, 制粉系统及设备, 风、烟系统及设备, 吹灰系统及设备, Dresser 1700 系列安全阀, 炉水循环泵, 锅炉防磨防爆, 金属材料基础知识, 锅炉事故分析及预防。

本书既可作为全国 300MW 级火力发电机组锅炉设备系统运行、检修、维护及管理等生产人员、技术人员和管理人员等的培训用书, 也可作为高等院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉设备及系统/山西漳泽电力股份有限公司编. —北京:
中国电力出版社, 2015. 7

(300MW 级火力发电厂培训丛书)

ISBN 978-7-5123-7181-1

I. ①锅… II. ①山… III. ①火电厂- 锅炉 IV. ①TM621. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 025241 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 358 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
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

前言

随着我国国民经济的飞速发展,电力需求也急速增长,电力工业进入了快速发展的新时期,电源建设和技术装备水平都有了较大的提高。

由于引进型 300MW 级火力发电机组具有调峰性能好、安全可靠性高、经济性能好、负荷适应性广及自动化水平高等特点,早已成为我国火力发电机组中的主力机型。国产 300MW 级火力发电机组在我国也得到广泛使用和发展,对我国电力发展起到了积极的作用。

为了帮助有关工程技术人员、现场生产人员更好地了解和掌握机组的结构、性能和操作程序等,提高员工的业务水平,满足电力行业对人才技能、安全运行以及改革发展之所需,河津发电分公司按照山西漳泽电力股份有限公司的要求,在总结多年工作经验的基础上,组织专业技术人员编写了本套培训丛书。

《300MW 级火力发电厂培训丛书》分为《汽轮机设备及系统》《锅炉设备及系统》《热控设备及系统》《电气设备及系统》《电气控制及保护》《集控运行》《化学设备及系统》《输煤设备及系统》《环保设备及系统》9 册。

本书为《300MW 级火力发电厂培训丛书 锅炉设备及系统》,共十二章,主要内容包括锅炉概述,给水、蒸发系统及设备,过热器、再热器系统及设备,煤粉燃烧和燃烧设备,制粉系统及设备,风、烟系统及设备,吹灰系统及设备,Dresser1700 系列安全阀,炉水循环泵,锅炉防磨防爆,金属材料基础知识,锅炉事故分析及预防。

本书由山西漳泽电力股份有限公司河津发电分公司郭起旺主编,其中第一章由王赵群编写,第二章由景江峰编写,第三章由朱建强编写,第四章由张跃丰编写,第五章由金维编写,第六章由张玉俊、杨国礼编写,第七章由范志刚编写,第八、十章由王赵群、范志刚编写,第九章由金维编写,第十一章由陆军编写,第十二章由贾震、贾小平编写。

由于编者的水平、经验有限,且编写时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

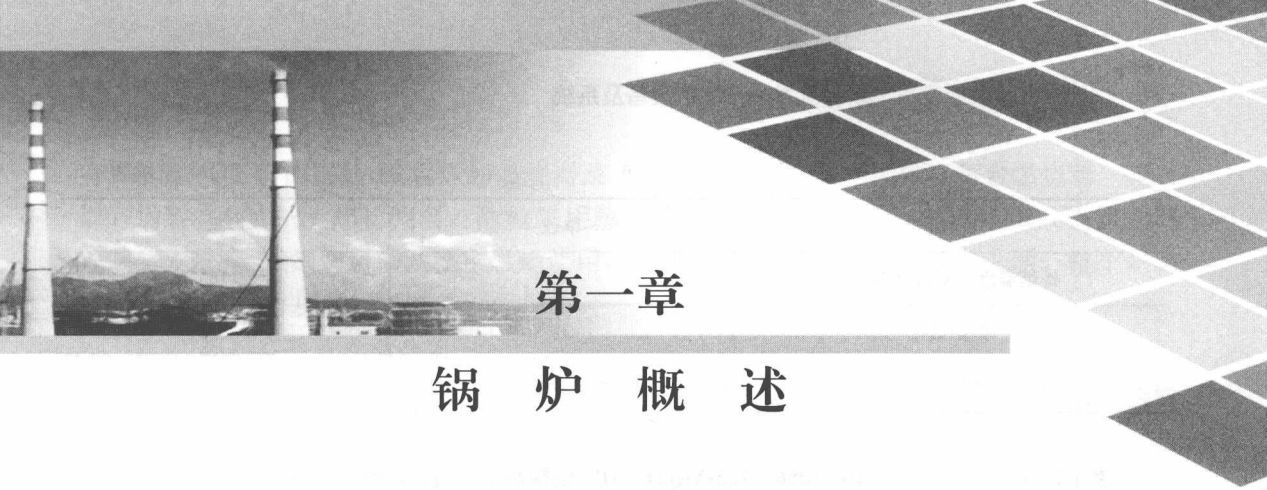
2015 年 4 月

目 录

前言

第一章 锅炉概述	1
第一节 锅炉基本性能	1
第二节 锅炉整体设备及系统	2
第三节 锅炉膨胀简介	11
第四节 锅炉结构设计主要特点	15
第二章 给水、蒸发系统及设备	19
第一节 给水系统简介	19
第二节 汽包	20
第三节 省煤器	29
第四节 自然、控制循环锅炉特性	34
第五节 蒸汽品质及净化	42
第三章 过热器、再热器系统及设备	46
第一节 过热器结构和工作特点	46
第二节 再热器结构和工作特点	55
第三节 过热器和再热器的热偏差	60
第四节 蒸汽温度及其调节系统	63
第四章 煤粉燃烧和燃烧设备	68
第一节 燃烧设备	68
第二节 点火装置	77
第三节 煤粉气流着火与燃烧	80
第五章 制粉系统及设备	83
第一节 煤粉性质	83
第二节 磨煤设备及其特性	84
第三节 煤粉制备系统及主要辅助设备	91

第六章	风、烟系统及设备	96
第一节	概述	96
第二节	轴流式送风机	99
第三节	轴流式送风机调节	112
第四节	引风机	114
第五节	一次风机	121
第六节	空气预热器	125
第七章	吹灰系统及设备	145
第一节	概述	145
第二节	吹灰系统布置	145
第三节	吹灰器结构及工作原理	147
第八章	Dresser1700 系列安全阀	155
第九章	炉水循环泵	168
第十章	锅炉防磨防爆	174
第一节	防磨防爆基础知识	174
第二节	锅炉四管泄漏原因及案例分析	185
第十一章	金属材料基础知识	195
第一节	材料基础知识	195
第二节	焊接基础知识	199
第三节	热处理基础知识	209
第四节	锅炉受热面用钢	212
第五节	受热面常见缺陷、产生原因、分布范围及预防措施	214
第六节	锅炉受热面用钢及编号的意义	216
第七节	电厂常用钢材的化学成分和力学性能	218
第十二章	锅炉事故分析及预防	222
第一节	锅炉尾部烟道再燃烧	222
第二节	水冷壁高温腐蚀	230
参考文献		240



第一章

锅炉概述

本书以某电厂 350MW 机组（1、2 号机组）和 300MW 机组（3、4 号机组）为例，对锅炉设备及系统进行说明。

第一节 锅炉基本性能

一、锅炉型号及类型

1205t/h MB-FRR “Ⅱ” 型锅炉为亚临界、弹制循环、单炉膛、一次中间再热、平衡通风、固态排渣、露天布置汽包锅炉。

HG-1056/17.5-YM21 “Ⅱ” 型锅炉为亚临界、一次中间再热、平衡通风、固态排渣、全露天单炉膛、自然循环汽包锅炉。

二、锅炉主要设计参数

1205t/h MB-FRR “Ⅱ” 型锅炉主要设计参数见表 1-1，HG-1056/17.5-YM21 “Ⅱ” 型锅炉主要设计参数见表 1-2。

表 1-1 1205t/h MB-FRR “Ⅱ” 型锅炉主要设计参数

项目	单位	参数
最大连续蒸发量	t/h	1205
过热蒸汽压力	MPa	17.36
过热蒸汽温度	℃	541
再热蒸汽入口压力/出口压力	MPa	4.34/4.17
再热蒸汽入口温度/出口温度	℃	338/541
再热蒸汽流量	t/h	943
给水温度	℃	292
冷风温度	℃	13.1
热风温度（二次风/一次风）	℃	290/275
炉膛出口烟气温度	℃	986



续表

项目	单位	参数
排烟温度（对漏风修正）	℃	115
锅炉效率	%	92.96
燃煤量	t/h	153.5

表 1-2 HG-1056/17.5-YM21 “Ⅱ” 型锅炉主要设计参数

项目	单位	参数
最大连续蒸发量	t/h	1056
过热蒸汽压力	MPa	17.5
过热蒸汽温度	℃	540
再热蒸汽入口压力/出口压力	MPa	3.993/3.817
再热蒸汽入口温度/出口温度	℃	331.4/541
再热蒸汽流量	t/h	876.31
给水温度	℃	281.5
炉膛出口烟气温度	℃	986
排烟温度（对漏风修正）	℃	135
锅炉效率	%	93.0
燃煤量	t/h	145.97

第二节 锅炉整体设备及系统

一、锅炉整体简介

(一) 1205t/h MB-FRR “Ⅱ” 型锅炉

1. 炉膛和燃烧器

锅炉炉膛由膜式水冷壁围成，炉膛截面积为 14 442mm×12 430mm（宽×深），高度为 48.6m（从水包中心线至顶棚过中心线），炉膛有效容积为 7570m³。燃烧器布置于炉膛四角，采用四角双切圆燃烧方式，假想切圆直径分别为 ϕ1470、ϕ1327，整组燃烧器为一、二次风间隔布置。为降低 NO_x 的生成，采用了低污染（Pollution Minimum, PM）煤粉燃烧器，对煤粉进行浓淡分离，在燃烧器顶部分别布置了一层 OFA（炉顶风）喷嘴和两层附加风（Additional Air, AA）喷嘴。整组燃烧器可上、下摆动±30°。锅炉自下而上设



有 A、B、C、D 四层共 16 台煤粉燃烧器及 AB、CD 两层共 8 支油枪，每台燃烧器（油和煤）均装有独立的火焰检测器。油枪采用蒸汽雾化，最大出力为 30%BMCR（锅炉最大连续蒸发量），供锅炉启动及稳定燃烧使用，每支油枪均配有高能电子点火器。整个炉膛布置 56 台墙式吹灰器。

2. 循环回路及蒸发受热面

锅炉水循环的设计采用了强制循环技术，在炉膛的高热负荷区使用了抑制膜态沸腾性能优异的内螺纹管水冷壁。

三台炉水循环泵的流量为 $2050 \text{ m}^3/\text{h}$ ，两台泵运行可带 100%BMCR 负荷。

蒸发受热面采用膜式水冷壁结构，以保证炉膛严密性。水冷壁采用无缝钢管和内螺纹管，管子外径均为 $\phi 45.0$ 。水包代替全部下联箱，前、后水冷壁下部组成内 80° 的 V 形炉底。水冷壁上联箱有 40 根 $\phi 168.3$ 的导汽管与汽包相连，4 根 $\phi 406.4$ 的集中下降管汇集于 $\phi 508$ 的炉水循环泵入口联箱。为了控制每根水冷壁管的流量以及相应的出口含汽率和膜态沸腾的裕度，确保水冷壁的安全，每根水冷壁管均装有不同孔径的节流孔板。

汽包筒体长 15.84m，总长度 18.04m，上半部分内径为 1669mm，下半部内径为 1675mm。由于采用炉水循环泵后循环系统各部分允许有较高的阻力，汽包内设有夹层结构并使用高效旋风分离器。该设计使汽包长度大大缩短且汽包上、下壁温一致，金属耗量减少，启停速度加快。

3. 过热器、再热器和省煤器

为提高主蒸汽、再热蒸汽温度对燃烧器摆角变化的敏感性，大部分过热器和再热器布置在高烟温区，在炉膛上部前墙和上部左右两侧墙布置了壁式再热器。这样使锅炉结构简化、蒸汽温度特性平坦。

过热器主要由一级过热器、二级过热器、三级过热器组成。一级过热器位于尾部烟道省煤器的上方，二、三级过热器布置于炉膛顶部高烟温区。过热蒸汽温度采用二级喷水减温控制，减温器分别布置于二级过热器入口及出口，二级过热器出口至三级过热器入口导汽管进行一次交叉，以减少左、右侧蒸汽温度偏差。

再热器主要由一级再热器、二级再热器、三级再热器组成。一级再热器为壁式再热器，布置在炉膛上部水冷壁内壁；二级再热器布置于炉膛折焰角上方；三级再热器布置于水平烟道，位于水冷壁后墙悬吊管与后墙屏之间。为减小再热蒸汽的流动阻力和压降，二、三级再热器之间未设联箱。再热蒸汽温度通过改变燃烧器摆角来调节，再热器入口设有喷水减温器作为事故备用。

三级过热器和二、三级再热器采用蒸汽冷却的定位管，保证运行的可靠性。

炉顶及尾部烟道敷设了轻型炉墙，采用悬吊结构，设置了包覆过热器，所有包覆过热器均采用了膜式结构，以提高锅炉密封性能。

所有受热面采用顺列布置，为防止结渣和积灰，二、三级过热器分别采用了 2088mm 和 522mm 的特宽节距；烟气温度较高的二、三级再热器也采用了较宽的节距。整个对流受热面还布置了 20 台吹灰器。

省煤器为顺列逆流非沸腾式，布置于尾部烟道内，由水平蛇形管和垂直悬吊管组成。



垂直悬吊管用于承受省煤器及一级过热器的全部重量。蛇形管采用 $\phi 45$ 的螺旋鳍片管，共 330 根，悬吊管采用 165 根 $\phi 57.1$ 和 165 根 $\phi 50.8$ 的钢管。

(二) HG-1056/17.5-YM21 “Π” 型锅炉

1. 炉膛和燃烧器

锅炉炉膛截面积为 $14\,048\text{mm} \times 12\,468\text{mm}$ (宽 $\times$ 深)，高度为 53.86m (从水包中心线至顶棚过中心线)，有效容积为 7570m^3 。燃烧器采用四角切圆燃烧方式，逆时针旋转的假想切圆直径为 $\phi 880$ 。整组燃烧器为一、二次风间隔布置，四角均等配风。为降低 NO_x 的生成、减少烟气温度偏差、防止炉膛结焦，采用了水平浓淡煤粉燃烧器，对煤粉进行浓淡分离。在燃烧器顶部分别布置了两层 OFA (燃尽风) 喷嘴反向切入，实现分级送风和减弱烟气残余旋转。整组燃烧器可上、下摆动 30° (除两层 OFA 喷嘴外)。锅炉采用三台双进双出钢球磨煤机，锅炉自下而上共布置有 AA、AB、BC、BD、CE、CF 六层 (每台磨煤机带两层一次风喷口) 四角共 24 台煤粉燃烧器及 AB、CD、EF 三层共 12 支油枪，每台燃烧器 (油和煤) 均装有独立的火焰检测器。油枪采用蒸汽雾化，最大出力为 30% BMCR，供锅炉启动及稳定燃烧使用，油枪均配有高能电子点火器。整个炉膛布置 60 台墙式吹灰器。

2. 循环回路及蒸发受热面

锅炉水循环的设计采用了自然循环锅炉技术，炉膛采用全焊接膜式水冷壁结构，以保证炉膛严密性。为确保炉水循环的安全，水循环系统采用大流通截面，以减少系统阻力。炉膛四壁的管子外径均为 $\phi 63.5$ 。水冷壁上联箱有 98 根 $\phi 159$ 的导汽管与汽包相连，4 根 $\phi 559$ 的集中下降管再通过 72 根 $\phi 159$ 的供水管与水冷壁的下联箱相连。为了控制每根水冷壁管的流量以及相应的出口含汽率和膜态沸腾的裕度，系统设计了 28 个水循环回路，并进行了精确的水循环计算，在炉膛的高热负荷区及部分上炉膛水冷壁使用了抑制膜态沸腾性能优异的内螺纹管，确保了水循环的安全。在 BMCR 工况下，炉水平均质量流速达 $1030\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，炉水循环倍率达 4.4。

汽包筒体长 18 000mm，总长度 20 184mm，内径为 1778mm，外径为 2148mm。为了避免炉水和进入汽包的给水与温度较高的汽包内壁直接接触，以降低汽包壁温差和热应力，水冷壁引出的汽水混合物从汽包侧面引入，省煤器引出的给水从汽包下面引入。汽包内壁上半部与饱和蒸汽接触，下半部与炉水接触，存在一定的温差，在启停时需对汽包上、下壁温差进行监视。汽包内部设置 84 台轴流式旋风分离器和立式百叶窗，确保了汽水品质合格。

3. 过热器、再热器和省煤器

为增加过热器与再热器的辐射特性，并起到切割旋转烟气流，减少进入过热器炉宽方向烟气温度偏差的作用，在炉膛上部布置壁式辐射再热器和大节距的分隔屏、后屏过热器。这样主蒸汽、再热蒸汽温度对燃烧器摆角的变化较敏感，使锅炉结构简化、蒸汽温度特性平坦。

过热器由末级过热器、后屏过热器、分隔屏过热器、低温过热器、后烟道包墙和顶棚过热器五个主要部分组成，均沿炉宽方向布置。末级过热器位于水冷壁后墙排管后方的水平烟道内，后屏过热器位于炉膛上方折焰角前，分隔屏过热器位于炉膛上方，低温过热器



位于尾部烟道内，后烟道包墙和顶棚过热器部分由侧墙、前墙、后墙及顶棚组成，形成一个垂直下行烟道；后烟道延伸包墙形成了一部分水平烟道；炉膛顶棚管形成了炉膛和水平烟道部分的顶棚。后屏过热器出口至末级过热器入口进行一次交叉，以减少左、右侧蒸汽温度偏差。过热器采用二级三点喷水，第一级喷水减温器位于低温过热器出口联箱到分隔屏入口联箱的大直径连接管上，第二级喷水减温器位于过热器后屏出口联箱和末级过热器入口联箱之间的大直径连接管上。减温器采用管管式，设计喷水量为 BMCR 工况下主蒸汽流量的 10%，其中一级减温器设计喷水量为总喷水量的 67%，二级减温器设计喷水量为总喷水量的 33%。

再热器由末级再热器、屏式再热器、墙式辐射再热器三个主要部分组成。末级再热器位于炉膛折焰角后的水平烟道内，在水冷壁后墙悬吊管和水冷壁后墙排管之间。屏式再热器位于过热器后屏和后墙水冷壁悬吊管之间。墙式辐射再热器布置在水冷壁前墙上部和水冷壁侧墙上部靠近前墙的部分。后屏再热器出口至末级再热器入口进行一次交叉，以减少左、右侧蒸汽温度偏差。再热蒸汽温度通过改变燃烧器摆角来调节；再热器有两台喷水减温器，安装在再热器冷端入口管道上，作为事故备用。

省煤器布置在锅炉尾部竖井后烟道下部，在锅炉宽度方向由 86 排顺列布置的水平蛇形管组成。在省煤器入口联箱端部和集中下降管之间连有省煤器再循环管。锅炉停止上水时，依靠下降管与省煤器中水的重度差可以形成流动循环，防止省煤器中的水处于静止状态后吸热汽化。

屏式过热器、屏式再热器以及末级再热器采用蒸汽冷却的定位管，低温过热器和省煤器采用蒸汽冷却的悬吊管，保证运行的可靠性。各级过热器和再热器均采用较大直径的管子，降低了过热器和再热器的阻力，同时降低了管子的烟气磨损。各级过热器、再热器之间采用单根或数量很少的大直径导汽管相连接，对蒸汽起到良好的混合作用，以消除偏差。各联箱与大直径导汽管相连处均采用大口径三通。整个对流受热面布置了 30 台蒸汽吹灰器。

二、主要部件简介

(一) 1205t/h MB-FRR “II” 型锅炉主要部件简介

1. 炉膛

炉膛为矩形，宽 14 442mm，深 12 430mm，四周布置 890 根膜式水冷壁，前、后两侧水冷壁下部内折形成渣斗，后墙上部折成折焰角。所有水冷壁通过联箱吊耳、吊杆悬吊在炉顶钢架上，水冷壁的刚度由特制工字梁组成的横箍刚性带来保证。刚性带将炉膛四周包围起来，并沿高度按一定间距装设，刚性带与水冷壁之间用特殊紧固件连接，以使水冷壁管受热膨胀时相对于刚性带允许有一定位移。炉膛设计抗爆能力为 85 358Pa。

2. 汽包及内部设备

汽包也称汽鼓，是锅炉汇集炉水给水和饱和蒸汽的圆筒形容器，与省煤器给水管、下降管、汽水混合物引入管、饱和蒸汽引出管相连接，它既是一个平衡容器，同时也是加热、蒸发、过热三个过程的连接枢纽。在强制循环汽包炉中，汽水混合物密度差产生的压



头加上强制循环泵的压头保证形成稳定的汽水循环。

汽包本身质量大，内部储存着一定的汽水，具有一定的蓄热能力，在运行工况变化时起到蓄热、蓄水的作用，减缓蒸汽压力的变化速度。

给水由省煤器出来后经 2 根 $\phi 323.9 \times 31.8\text{mm}$ 的给水连接管，从汽包下部进入汽包水侧，由 4 根 $\phi 406.4 \times 42\text{mm}$ 下降管引出至炉水循环泵入口联箱。

汽水混合物由水冷壁上联箱出来，经 40 根 $\phi 168.3 \times 17.5\text{mm}$ 汽水混合物引入管由上部进入汽包，经过汽包上部夹层，从夹层内向下流动，沿切线方向向下与水平呈 15° 夹角进入 66 个汽水旋风分离器中，在每个旋风分离器中，分离出的水由旋风筒下部进入汽包水侧，汽经过旋风分离器上部 18 片旋流叶片后进入汽侧，汽侧顶部布置 52 套波纹板分离器，进一步降低蒸汽携带湿分。

汽包筒体直段由六块钢板卷成圆筒形共三节焊在一起，两端有球形封头，封头上各设有一个 $\phi 407$ 的圆形人孔。汽包沿左、右方向布置在锅炉顶部前侧，中心标高 56 800mm，安装在左、右两个 U 形吊杆上，汽包筒体下两侧各有一个导向钢架，可以保证受热时自由膨胀。

汽包上装有很多管座连接着各种管道，如省煤器给水管、下降管、汽水混合物引入管、饱和蒸汽引出管、事故放水管、连续排污管、安全阀入口管、排空管、水位计来汽/来水管、充 N_2 保护装置及压力表管。

汽包上装有水位计、压力计、安全阀等安全附件以监视、控制水位和压力，保证锅炉安全运行。

3. 过热器、再热器和省煤器

过热器是锅炉用于将饱和蒸汽加热到具有一定过热度的热交换器。其主要作用是提高发电厂经济性，降低汽耗，避免汽轮机叶片被水蚀和水击，减少管道凝结水损失。过热器有多种结构形式，按传热方式可分为对流式、辐射式与半辐射式。

锅炉过热器由四段组成，分别是顶棚与包墙过热器、一级过热器、二级过热器和三级过热器。蒸汽流程为汽包→顶棚后包墙过热器（顺流）→尾部烟道前、左、右包墙过热器（逆流）→一级过热器（逆流）→一级喷水减温器→二级过热器→二级喷水减温器（左、右交叉）→三级过热器（顺流）。

高参数、大容量锅炉均装设再热器，对高压缸膨胀做功后的蒸汽进行再加热，提高蒸汽温度后送往中压缸做功，提高整个热力循环的经济性。1205t/h MB-FRR “II” 型锅炉再热器分三段布置，一级为辐射式，布置于炉内前墙及侧墙的水冷壁内壁上部，遮挡住部分水冷壁。二级和三级再热器分别布置于折焰角上方及水平烟道内。再热器系统流程为汽轮机高压缸排汽管→再热器冷段→事故喷水减温→一级再热器入口联箱→一级再热器→一级再热器出口联箱→二级再热器入口联箱→二级再热器（顺流）→三级再热器（顺流）→三级再热器出口联箱→再热器热段→汽轮机中压缸。

省煤器是利用锅炉尾部烟气的余热加热锅炉给水的设备，采用省煤器降低排烟温度，提高燃烧效率，降低燃料消耗，同时由于提高了进入汽包的水温，大大减小了汽包进水引起的热应力，改善了汽包工作条件，延长汽包寿命。

锅炉省煤器为非沸腾式，布置在锅炉尾部烟道内。分为水平蛇形管省煤器和悬吊管省

煤器两部分。给水进入省煤器入口联箱，经蛇形管省煤器进入中间联箱，由悬吊管省煤器引至出口联箱。

蛇形管省煤器为低温省煤器，分上、下两层，中间为检修层。现役蛇形管省煤器由 H 形鳍片管及少量光管组成，110 排、每排 3 管圈，共 330 根，布置于一级过热器下方，管排为顺排、逆流。

省煤器悬吊管为高温省煤器，垂直布置于尾部烟道，悬吊管省煤器不仅作为受热面，而且用来承受蛇形管省煤器和一级过热器的重量。

4. 燃烧器

燃烧器的作用是组织燃料与空气在炉内燃烧，一般可分为直流与旋流两大类。锅炉采用四角直流燃烧器。此燃烧器称作 PM（低污染）燃烧器，其生成的 NO_x （氮氧化物）浓度较低。

每台锅炉有六层共 24 台燃烧器，其中两层油燃烧器共 8 台，四层煤粉燃烧器共 16 台。每台煤粉燃烧器分为浓粉和淡粉两个喷嘴。在煤粉燃烧器之间布置有二次风，称为辅助风 2（Aux-2）。油燃烧器的上、下布置有二次风，称为辅助风 1（Aux-1）。煤粉燃烧器由下向上编号依次为 A、B、C、D。A、B 层之间布置的油燃烧器称为 AB 层油燃烧器，C、D 层之间布置的油燃烧器称为 CD 层油燃烧器。油燃烧器附近布置为煤浓粉喷嘴。在所有燃烧器喷口周围布置有周界二次风。整个燃烧器组件的上、下部有炉顶二次风 OFA 和炉底二次风 LFA。从炉膛 26 165.5~17 482.5mm 依次布置炉顶风 OFA、辅助风 2、D 层淡粉、D 层浓粉、辅助风 1、CD 层油枪、辅助风 1、C 层浓粉、C 层淡粉、辅助风 2、B 层淡粉、B 层浓粉、辅助风 1、AB 层油枪、辅助风 1、A 层浓粉、A 层淡粉、炉底风 LFA，共十八层。

在燃烧器组件中的二次风量约占全部二次风量的 65%，另外，约 35% 的二次风经过附加风（AA 风）进入炉内。附加风共分两层，下层为角部 AA 风，上层为炉墙中部 AA 风。两层附加风在炉内形成与燃烧器相同的切圆。角部 AA 风口标高 28 216~29 522mm，炉墙中部 AA 风口标高 29 522~30 830mm。

辅助风 1、辅助风 2、附加风、每个燃烧器喷口的周界二次风入口均装有挡板，用来调节风量。每个浓粉喷嘴进口均装有稳燃钝体，进口段周围敷设耐磨陶瓷。在炉膛的每个角燃烧器组件中，除炉顶风（OFA）外，其余所有的辅助风口、燃烧喷口均有上、下摆动调节机构并连接在一起，同角度摆动。每组附加风口均由四层风口组成，最上部风口上、下手动调节，其余三个风口联成一组，由执行机构统一上、下调节，调节角度均为 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 。每组附加风口还装有左、右调节机构，上部两层风口组成一组，下部两层风口组成一组，各自独立手动调节，调节角度为 $-5^\circ \sim +5^\circ$ 。

油燃烧器配有电子打火装置和气动伸缩装置，点火时伸入，熄火后退出。油燃烧器气动伸缩装置和电子打火装置均由压缩空气进行冷却，空气从风箱间隙流入炉内。油枪采用 M 形蒸汽雾化喷头，油燃烧器喷口及辅助风 1 喷口内皆设有火焰检测器，有冷却空气进入，以保护火焰检测器探头。

5. 空气预热器

锅炉均配有两台 50%BMCR 容量、三分仓受热面转子转动式空气预热器。转子直径



10.8m、高度 2.6m，整个转子用径向隔板分成 48 个扇形框架。空气预热器冷端采用耐腐蚀的考登钢制成的双波纹板换热元件，热端采用碳素钢换热元件，均可进行更换。空气预热器的二次风入口还装有暖风器，以防止空气预热器冷端腐蚀。

为减少空气预热器泄漏造成压力下降、效率降低，采用了防止泄漏措施。

(1) 增加密封条数。

(2) 采用单叶密封条。

每台空气预热器的低温烟气侧装有一台摆动式蒸汽吹灰器和一台脉冲爆震吹灰器。两台炉还配备了一套固定式水洗装置，可实施冲洗水的升压、加热和加药处理，对空气预热器进行水冲洗，提高运行经济性。每台空气预热器配有一台电动马达，作为正常时驱动马达，配备一台气动马达作为事故备用。电动、气动马达均装于空气预热器上轴承顶部。空气预热器二次风侧还装有火警探头。空气预热器烟、风侧均配有消防水管，供空气预热器发生火灾时使用。

6. 风烟系统

风烟系统按平衡通风设计，送风机与引风机采用串联系统，每台炉配 $2 \times 50\%$ 容量动叶可调轴流式送风机和 $2 \times 50\%$ 容量双级双速离心式引风机，送风机设有独立的控制/润滑油系统。

7. 制粉系统及设备

采用正压冷一次风直吹式制粉系统，一次风机采用两台 60% 容量高效离心式风机，接于送风机出口。原煤仓采用钢制结构的圆筒仓，内衬不锈钢板，出口漏斗为圆锥形。

每台锅炉配有四台 FW-D11D 型的双进双出钢球磨，磨制设计煤种时，四台磨煤机运行可带 120% BMCR 负荷。

给煤机为 EG-2690 型电子称重式皮带给煤机，实现高精度煤量称量 (0.5 级)，采用正压密封式、无级变速，同时给煤机还设有断煤信号和自校验装置。

(二) HG-1056/17.5-YM21 “II” 型锅炉主要部件简介

1. 炉膛与水冷壁

炉膛出口设计烟气温度低于灰的变形温度 100°C ，炉膛及对流受热面设置足够数量的吹灰器和观察孔。炉膛采用全焊接的膜式水冷壁，膜式水冷壁由 $\phi 63.5$ 的管子和 12.7mm 的鳍片焊接而成，充分保证炉膛的严密性，完全适应变压运行的工况。折焰角及水平烟道的设计充分考虑防止积灰。水冷壁管内的水流分配和受热合理，保证沿炉膛宽度均匀产汽、沿汽包全长的水位均衡，防止发生水循环不良现象。水冷壁在热负荷高的区段采用内螺纹管，并确保内螺纹管的材质和制造质量，内螺纹管的管径为 $\phi 63.5$ 、壁厚为 7mm 、数量为 668 根、材质为 SA-210C，内螺纹管主要布置在冷灰斗拐点以上到壁式再热器的水冷壁高温区，前墙及两侧墙布置高度约为 28.5m ，后墙布置高度约为 33m 。对水冷壁进行传热恶化的验算，传热恶化的临界热负荷与设计选用的最大热负荷的比值大于 1.25。对于水冷壁管及鳍片均进行温度和应力验算，无论在锅炉启动、停炉和各种负荷工况时，管壁和鳍片的温度均低于钢材许用值，应力水平也低于许用应力，使用寿命不低于 30 年。壁温计算结果：水冷壁管壁最高温度为 395°C ，最高鳍片温度为 427°C 。锅炉设有膨胀中心，炉顶密封按引进新型的安全可靠的二次密



封技术制造。比较难于安装的金属密封件在制造厂内完成,以确保各受热面膨胀自由,金属密封件不开裂,避免炉顶漏烟和漏灰。水冷壁设置必要的观测孔、热工测量孔、人孔、打渣孔、足够数量的吹灰孔。炉顶设有沿整个炉膛截面内部检修时装设临时升降机具用的预留孔。水冷壁与灰渣斗接合处有良好的密封结构,水封槽结构与燃烧系统的压力相匹配,以保证水冷壁能自由膨胀并不漏风。水冷壁下联箱的标高为 6.5m,并设有不锈钢密封板及不锈钢挡渣网。

冷灰斗角度为 55° 。炉膛及冷灰斗的结构具有足够的强度与稳定性,冷灰斗处的水冷壁管和支持结构能够承受大块焦渣的坠落撞击和异常运行时焦渣大量堆积的荷重。冷灰斗设有观察孔以便检查积渣情况。水冷壁的放水点装在最低处,确保将水冷壁管及其联箱内的积水能完全放空。

2. 汽包及内部设备

汽包的设计、制造运用先进技术,质量达到 ASME (美国机械工程师协会标准) 和国内法规有关要求。选用具有成熟经验的钢材 SA-299 作为制造汽包的材料。汽包内部结构采取合理措施,避免炉水和进入汽包的给水与温度较高的汽包壁直接接触,以降低汽包壁温差和热应力。该锅炉采用的是自然循环方式,由水冷壁引出的汽水混合物从汽包侧面引入,汽包内壁上半部与饱和蒸汽接触,下半部与炉水接触,存在一定的温差,在启、停时需对汽包上、下壁温差进行监视。汽包内部采用先进成熟的汽水分离装置,确保汽水品质合格。汽包水室壁面的下降管孔、进水管孔以及其他可能出现温差的管孔,均采取合理的管孔结构形式和配水方式,防止管孔附近的热疲劳裂纹。汽包的水位计安全可靠,便于观察,指示正确。同一汽包上两端就地水位计的指示偏差不大于 20mm,采用无盲区双色水位计并装设工业电视监视系统。远传的汽包水位测孔为相互独立的 4 对,并分别配有一次阀门和平衡容器,平衡容器形式与电气补偿方式相匹配,测点位置反映真实汽包水位,误差不大于 10mm。汽包上设有供热工测量、停炉保护、加药、连续排污、紧急放水、炉水及蒸汽取样、安全阀、空气阀等的管座和相应的阀门。

3. 过热器、再热器及省煤器

过热器和再热器的设计保证各段受热面在启动、停炉、蒸汽温度自动控制失灵、事故跳闸、高压加热器全停以及事故后恢复到额定负荷过程中不超温过热。为防止爆管,各过热器、再热器管段均进行热力偏差计算,合理选择偏差系数,并在选用管材时,在壁温验算基础上留有足够的安全裕度。所有奥氏体钢与珠光体钢之间进行异种钢焊接,均配有专门的工艺措施,焊接工作全部在制造厂内完成。为消除蒸汽侧和烟气侧的热力偏差,过热器、再热器各段进、出口联箱间的连接采取大口径连接管,并采取一级交叉等平衡措施,以消除偏差。为了防止吹灰器吹损管子,处于吹灰器有效范围内的过热器、再热器管束设有耐高温的防磨护板,防磨护板有可靠的固定和防滑措施。

过热器设有两级喷水减温调节器,减温水总量控制在设计值的 50%~150% 以内。再热蒸汽温度采用摆动燃烧器调节,并保证在热态下能灵活操作和长期可靠运行。当摆动火嘴处于水平位置时,再热蒸汽温度达到额定值。再热蒸汽的喷水减温仅用于蒸汽温度微调及事故工况。



锅炉省煤器为非沸腾式光管省煤器，布置在锅炉尾部烟道内。为提高省煤器的抗磨损能力，省煤器管束采用 $\phi 51$ 较大管径顺列布置、较低的烟气流速（在 BMCR 工况下，省煤器平均烟气流速为设计煤 8.29m/s ）。在吹灰器有效范围内，省煤器管束设有防磨护板，以防吹坏管子。省煤器设置有充氮及排放空气的管座和阀门。

4. 燃烧器

锅炉采用四角切向布置的全摆动燃烧器，在热态运行中，一、二次风喷口均可上、下摆动，喷口的摆动由电信号气动执行器来实现，气动执行器有足够的扭矩，摆动灵活，四角同步。燃烧器上设摆动角度指示标志和远方指示。在实际运行中，燃烧器可做整体 $\pm 30^\circ$ 的上、下摆动。

燃烧器上排一次风喷口到屏式过热器底部距离为 18.5m ，下排一次风喷口到冷灰斗弯管处距离为 5.052m ，均有足够的距离确保不出现火焰直接冲刷受热面，以保证锅炉安全经济运行。燃烧器的一次风喷口采用防止烧坏和磨损的耐磨铸钢合金材料。燃烧器处设有观测孔和打焦孔。

5. 空气预热器

每台锅炉均配有两台 60% BMCR 容量、三分仓受热面转子转动式空气预热器。转子直径 9.97m ，高度 2.885m ，整个转子用径向隔板分成 48 个扇形框架。空气预热器冷端采用耐腐蚀的考登钢制成的双波纹板换热元件，热端、中段采用碳素钢换热元件，均可进行更换。空气预热器的二次风入口还装有暖风器，以防止空气预热器冷端腐蚀。

每台空气预热器的高、低温烟气侧各装有一台伸缩式蒸汽吹灰器和一台脉冲爆震吹灰器。伸缩式吹灰器在低温烟气侧为单枪管吹灰器，高温烟气侧为双枪管吹灰器，其中一个枪管用于空气预热器吹灰，另一个枪管用于空气预热器停运后的水冲洗。空气预热器配有两台电动马达，均装于空气预热器上轴承顶部，正常时一台运行、一台备用。空气预热器二次风侧还装有火警探头，空气预热器烟、风侧均配有消防水管，供空气预热器发生火灾时使用。另外，空气预热器装有失速监测报警装置。

空气预热器采用可靠的支承轴承和导向轴承，结构便于更换。每台空气预热器除配备主驱动装置外，还配有辅助驱动装置及手动盘车装置。

空气预热器采用可靠的径向、轴向、环向和中心筒密封系统，保证空气预热器的漏风系数在合适范围内。在转子外沿设有完整连续的轴向密封条，与弧形轴向挡板形成密封，在任一时刻，转子的径向、轴向密封为双重密封。

6. 制粉系统及设备

锅炉采用正压直吹式制粉系统，一次风机采用两台 60% 容量高效离心式风机，原煤仓采用钢制结构的圆筒仓，内衬不锈钢板，出口漏斗为圆锥形。

每台锅炉配有三台 FW-D11D 型的双进双出钢球磨煤机，磨煤机只设容量备用，不考虑台数备用。设计煤粉细度 R_{90} 取 15% 。

磨煤机专门设置两台 100% 容量的密封风机，作为磨煤机筒体、热风挡板及给煤机的密封风，正常时密封风机一台运行，一台备用。

给煤机为 CS2024HP 型电子称重式皮带给煤机，实现高精度煤量称量（ 0.5 级），采

用正压密封式、无级变速,同时给煤机还设有断煤信号和自校验装置。

7. 风烟系统

风烟系统按平衡通风设计,每台炉配 $2\times 50\%$ 容量动叶可调轴流式送风机和 $2\times 50\%$ 容量静叶可调轴流式引风机。送风机设有独立的控制/润滑油系统。引风机电动机轴承设有独立的润滑油站。另外,引风机设有两台轴承冷却风机。

第三节 锅炉膨胀简介

1205t/h MB-FRR “II”型锅炉及 HG-1056/17.5-YM21 “II”型锅炉均采用全悬吊结构。全悬吊锅炉好像一摆钟,即使锅炉与下部的外界之间没有连接件,锅炉也随着温度的变化而改变位置。运行中,大部分悬吊杆会改变角度或弯曲,准确地确定其位置很困难。实际上,锅炉下部有很多接口或连接管,如锅炉与汽轮机的连接管道、一次风管、烟气管道、疏水管、导汽管和吹灰器管道等,这些管道大部分均对锅炉施加水平力,力的大小和偏差一般不能准确的测量。各连接管的膨胀量不一样,强度较大的管道支配锅炉的位移,有可能损坏较弱的连接杆。为了防止锅炉连接管的损坏,设置了锅炉膨胀系统。

下面以 HG-1056/17.5-YM21 “II”型锅炉为例介绍锅炉膨胀系统。

为了进行比较精确的热膨胀位移计算,需要有一个在各种工况下都保持不变的膨胀中心,作为热膨胀位移计算的零点。这个膨胀中心就是所谓的人为膨胀零点。对于该单炉膛锅炉,膨胀中心位置设置在炉深方向的炉膛中心线上。

在膜式水冷壁上焊有槽钢,在槽钢上每隔一定长度焊有弯板,在弯板顶部焊有角钢,这就是典型的蹬形夹结构。借助于蹬形夹,刚性梁可以承受炉膛正压或负压造成的不同方向的荷载,弯板与刚性梁之间允许有相对滑动,满足膨胀要求。但设置在零膨胀线上的弯板与刚性梁不允许相对滑动。为了将风荷载、地震荷载和导向荷载传给锅炉构架,在零膨胀点处设有导向装置,有导向装置的地方装有承剪支座,其余为固定蹬形夹。采用这一套结构来实现膨胀中心的要求。

炉顶包覆框架四周的立柱以耳板悬挂在顶罩支撑圈梁上,该高度方向的膨胀零点在炉顶小室上部的保温层上标高处。炉顶小室内的温度,启动时取为 260°C (无介质流动)和 371°C (有介质流动),运行时取为 427°C 。小室内各联箱及联箱到顶棚管间管子温度不同,由于管子在穿顶棚处为封焊结构,这样联箱对于顶棚管还有一个向上的膨胀量,顶棚管为向下膨胀,因此,在每一工况下都应考虑联箱在这两种不同方向膨胀量的叠加,算出它的实际位移方向和位移量,并由炉顶的弹簧吊架或恒力吊架吸收位移量,顶棚管以下的各部件则以它们的相应温度向下膨胀。

墙式再热器的入口联箱固定在刚性梁的支架上,随刚性梁一起向下膨胀,但启动时墙式再热器与水冷壁有较大的膨胀差,为此在墙式再热器穿入炉膛前设计了较大的弯头,以管子的柔性来补偿这一膨胀差。

在炉宽方向上以锅炉中心线为膨胀零点,按各自的相应温度向两侧膨胀。但位于炉顶在锅炉中心线上断开的联箱,则要以炉宽 $1/4$ 处作零点,按联箱温度计算的膨胀量与以锅