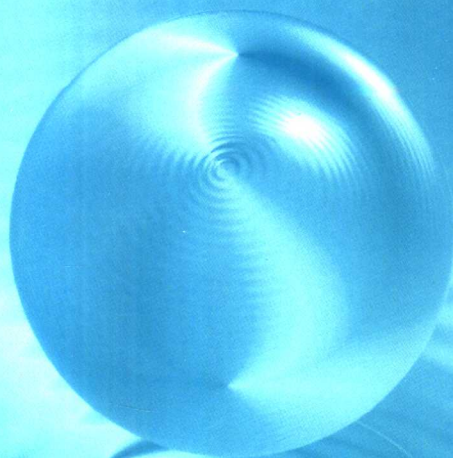


600MW 级

火 力 发 电 机 组 丛 书

燃煤锅炉机组

张 磊 张立华 主编



- 紧密结合电厂实际运行
- 体现600MW机组新技术
- 适合电厂培训使用



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《600MW级火力发电机组丛书》之一,全书分十七章,主要讲述600MW机组锅炉设备及系统的原理、结构特点、特性及运行知识。内容有电站锅炉概况、锅炉计算、煤粉和煤粉制备、燃料燃烧原理与燃烧设备、电站锅炉控制有害气体排放技术、自然循环原理、汽包及蒸汽净化、过热器与再热器、省煤器和空气预热器、锅炉本体安装及检修后的工作、吹灰设备、除尘除灰、风机、锅炉阀门、锅炉运行、1000MW机组锅炉简介等。

本书可作为从事600MW火力发电机组锅炉运行、检修人员的培训教材,也可供从事600MW火力发电机组工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

燃煤锅炉机组/张磊,张立华主编. —北京:中国电力出版社,2006

(600MW级火力发电机组丛书)

ISBN 7-5083-3758-1

I. 燃... II. ①张...②张... III. 火力发电—燃煤锅炉 IV. TM621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第148072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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006年2月第一版 2006年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 25印张 677千字

印数 0001—4000册 定价 39.80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)

《600MW 级火力发电机组丛书》

编 委 会

主 编 张效胜 张 磊

副主编 李启涛 孙奎明 代云修 于瑞生

陶苏东 张立华 马明礼 张灿勇

荀堂生 张盛智 时海刚 杜祖坤

参 编 苏庆民 柴 彤 牛 勇 王玉华

李广华 刘红蕾 夏洪亮 高洪雨

陈雪刚 王秀清 董桂珍 尹民权

杨志勇 尚庆军 宋中炜 赵 嵘

华 静 朱福霞 马卫东 刘学恩

王 伟

前言

1981年,我国第一台单机容量600MW火力发电机组(元宝山电厂二期工程)投运。这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。600MW火力发电机组具有大容量、高参数、低能耗、低污染等优点,现已逐渐成为我国火力发电厂的主力机型。截止到2004年底,全国已有多台600MW机组投入运行。

随着我国电力工业的迅猛发展,新材料、新设备、新技术、新工艺不断投入应用,现代大型火力发电厂对生产管理人员和专业技术人员掌握新材料、新设备、新技术、新工艺的能力提出了更高、更新的要求。为满足广大生产管理人员和专业技术人员渴望学习新知识、新技能的迫切需求,山东省电力学校组织编写了《600MW级火力发电机组丛书》。

在结合山东省600MW火力发电机组多年运行经验的基础上,本丛书详细地介绍了600MW级机组锅炉设备、汽轮机设备、电气设备及系统的原理、结构、技术特点和运行技巧,同时也详细地分析和介绍了600MW机组的热工自动化设备及系统、燃料系统运行与管理、电厂化学等方面的知识。

本丛书共有六个分册:《燃煤锅炉机组》,由张磊、张立华主编;《汽轮机设备及系统》,由代云修、张灿勇主编;《电气设备及系统》,由陶苏东、荀堂生、张盛智主编;《燃料运行与检修》,由张磊、马明礼主编;《热工自动化》,由孙奎明、时海刚合编;《电厂化学》,由于瑞生、杜祖坤合编。

本丛书突出了600MW级火力发电机组的技术特点,以实用、提高技能为核心,对火力发电机组共性的基本理论部分进行了适当的弱化处理,而对600MW级火力发电机组的特点及其特殊的生产管理要求进行了详细的阐述。

本丛书既可作为生产人员的岗位培训教材,也可作为大、中专院校电厂热能动力工程、热工自动控制、电厂化学、电气等专业的参考教材。

在本丛书编写过程中,华电集团邹县发电厂、中华电力聊城发电厂、华能集团德州发电厂、山东电力研究院有关领导和专家给予了大力支持和热情帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写人员水平所限,加之时间仓促,疏漏和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《600MW级火力发电机组丛书》编委会

2005年11月

编 者 的 话

本书由山东省电力学校组织编写,是《600MW级火力发电机组丛书》之一。丛书主要以山东 600MW 级火力发电机组的设备及其系统的结构特点、原理、功能及性能为编撰重点,突出 600MW 级火力发电机组技术特点。

本书主要讲述 600MW 机组锅炉及其辅助设备的原理、结构、特点、性能、试验和运行,共十七章,主要内容有电站锅炉概况、锅炉计算、煤粉和煤粉制备、燃料燃烧原理与燃烧设备、电站锅炉控制有害气体排放技术、自然循环原理、汽包及蒸汽净化、过热器与再热器、省煤器和空气预热器、锅炉本体安装及检修后的工作、吹灰设备、除尘除灰、风机、锅炉阀门、锅炉运行、1000MW 机组锅炉简介等。教材内容力求采用新原理、新技术,同时尽量做到内容全面、理论与实际相结合。

本书由张磊、张立华主编,牛勇、王玉华、柴彤、李广华参编。张磊编写第一~三、五、十、十一章,张立华编写第四、十六章,牛勇编写第六、七章,王玉华编写第十二、十五章,柴彤编写第八、九章,李广华编写第十三、十四章。

由于水平所限,加之时间仓促,收资不全,疏漏及不足之处在所难免,恳请读者提出批评。

编 者

2005 年 11 月

目 录

前言	1
编者的话	2
第一章 电站锅炉概况	1
第一节 电站锅炉的基本特征	1
第二节 600MW 机组自然循环锅炉介绍	4
第三节 强制循环锅炉	15
第四节 600MW 机组自动控制介绍	21
第五节 电站锅炉的技术状况和发展概况	24
第二章 锅炉计算简介	32
第一节 燃烧计算	32
第二节 锅炉机组热平衡及锅炉的输入热量	34
第三节 锅炉的热损失	35
第四节 锅炉输出热量和燃料消耗量	38
第五节 锅炉热力计算简介	39
第三章 煤粉和煤粉制备	44
第一节 煤粉	44
第二节 双进双出钢球磨煤机	52
第三节 中速磨煤机	61
第四节 直吹式制粉系统	68
第五节 给煤机	72
第六节 制粉系统试验	80
第四章 燃料燃烧原理与燃烧设备	87
第一节 燃烧的基本理论	87
第二节 煤粉气流的着火和燃烧	93
第三节 煤粉燃烧器及点火设备	99
第四节 煤粉炉炉膛及其特性	112
第五章 电站锅炉控制有害气体排放技术	121
第一节 电站锅炉脱硫技术	121
第二节 选择性催化还原法烟气脱硝原理	130
第三节 选择性催化还原法烟气脱硝技术	131

▶第六章 自然循环及其工作特性	139
第一节 蒸发设备	139
第二节 亚临界自然循环及蒸发管内传热	141
第三节 亚临界自然循环锅炉的循环特性	144
第四节 控制循环锅炉	146
▶第七章 汽包及蒸汽净化	150
第一节 汽包	150
第二节 蒸汽净化及汽包内部装置	152
▶第八章 过热器与再热器	162
第一节 600MW 机组锅炉过热器、再热器结构特点	163
第二节 影响汽温变化的因素	177
第三节 蒸汽温度的调节	178
第四节 过热器和再热器的热偏差	188
▶第九章 省煤器和空气预热器	194
第一节 省煤器	195
第二节 空气预热器	198
▶第十章 受热面烟气侧的工作过程	215
第一节 受热面烟气侧的高温腐蚀	215
第二节 尾部受热面的积灰、磨损及低温腐蚀	221
▶第十一章 锅炉本体安装及检修后的工作	229
第一节 锅炉试验	229
第二节 化学清洗	233
第三节 停炉后的保养	239
第四节 敷衬耐火材料	240
第五节 锅炉试运行	244
▶第十二章 吹灰设备	246
第一节 吹灰器布置及系统	246
第二节 吹灰器结构与工作原理	248
▶第十三章 除尘除灰	256
第一节 电除尘器	256
第二节 除灰系统和设备	268
第三节 典型 600MW 机组除灰除渣系统介绍	277
▶第十四章 风机	283
第一节 常见电站风机	283
第二节 风机结构特性	285
第三节 风机的性能曲线	297
第四节 轴流式风机运行不稳定分析	301
第五节 风机启停与连锁保护	305
▶第十五章 锅炉阀门	315
第一节 阀门的基本知识	315

第二节	闸阀	322
第三节	截止阀	323
第四节	调节阀	325
第五节	电磁泄压阀	329
第六节	安全阀	332
●第十六章	锅炉运行	338
第一节	汽包锅炉的滑参数启动	338
第二节	汽包锅炉的停运	346
第三节	锅炉运行中的调整	348
第四节	锅炉常见事故及处理	359
●第十七章	1000MW 机组锅炉简介	367
第一节	1000MW 机组锅炉的主要特点及参数指标	367
第二节	锅炉主要系统及设备	369
第三节	超临界锅炉的启动系统	383
参考文献		390

电 站 锅 炉 概 况

从事电站锅炉制造、安装、运行和检修的工作人员都需要熟悉锅炉的系统和设备。电站锅炉技术涉及许多学科的理论知识和工艺。本书将介绍有关锅炉的基本知识，并重点介绍 600MW 火电机组锅炉的设备和系统。

第一节 电站锅炉的基本特征

一、火力发电厂的生产过程

目前，发电厂主要有火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂几种。此外，还有少量的风能、太阳能和潮汐发电厂。火力发电厂是利用煤、石油或天然气等燃料进行发电的，其中燃煤电厂是我国目前主力的火力发电厂。

火力发电厂的生产过程如图 1-1 所示。燃料在锅炉中燃烧并放出热量，加热给水，形成饱和蒸汽，经进一步加热后成为具有一定温度和压力的过热蒸汽，过热蒸汽经蒸汽管道进入汽轮机膨胀做功，带动发电机转子旋转发电。在汽轮机中做完功的蒸汽排入凝汽器，在凝汽器中，蒸汽被冷却水冷却成凝结水，凝结水经凝结水泵升压后进入低压加热器，利用汽轮机的抽汽加热后进入除氧器除氧，除氧后的凝结水连同补给水由给水泵打入高压加热器，给水在高压加热器中利用汽轮机抽汽进一步提高温度后，重新回到锅炉中利用。火力发电厂的生产过程就是不断重复上述循环的过程。

由此可以看出，在火力发电厂的生产过程中存在着三种形式的能量转换：在锅炉中燃料的化学能转变为蒸汽的热能；在汽轮机中蒸汽的热能转变为转子的机械能；在发电机中转子的机械能转变为电能。因此，锅炉、汽轮机和发电机被称为火力发电厂的三大主机。

二、电站锅炉的作用和组成

锅炉是火力发电厂三大主机中最基本的能量转换设备。其作用是使燃料在炉内燃烧放热，加热锅水并生成一定数量和质量 of 过热蒸汽。电站锅炉由锅炉本体设备、辅助设备和锅炉附件组成，如图 1-2 所示。

锅炉本体设备是锅炉的主要组成部分，由汽水系统和燃烧系统两大部分组成。锅炉汽水系统由省煤器、汽包、下降管、联箱、水冷壁、过热器、再热器等组成，其主要任务是有效吸收燃料

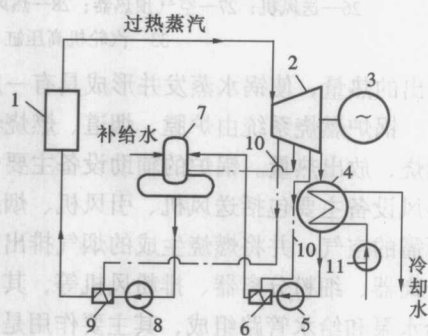


图 1-1 火力发电厂生产过程示意图
1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；
5—凝结水泵；6—低压加热器；7—除氧器；
8—给水泵；9—高压加热器；10—汽轮机
抽汽管道；11—循环水泵

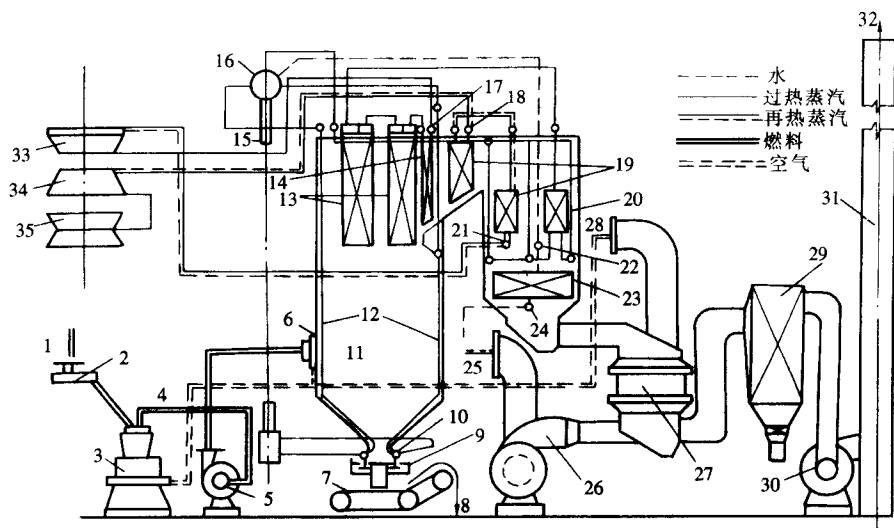


图 1-2 电站锅炉设备构成及生产过程示意简图

- 1—原煤斗；2—给煤机；3—磨煤机；4—风粉混合物出口；5—排粉风机；6—燃烧器；7—排渣装置；8—排渣；9—水封装置；10—下联箱；11—炉膛；12—水冷壁；13—屏式过热器；14—高温过热器；15—下降管；16—汽包；17—过热器出口联箱；18—再热器出口联箱；19—再热器；20—低温过热器；21—再热器进口联箱；22—省煤器出口联箱；23—省煤器；24—省煤器进口联箱；25—冷风入口；26—送风机；27—空气预热器；28—热风出口；29—除尘器；30—引风机；31—烟囱；32—排烟出口；33—汽轮机高压缸；34—汽轮机中压缸；35—汽轮机低压缸

放出的热量，使锅水蒸发并形成具有一定温度和压力的过热蒸汽。

锅炉燃烧系统由炉膛、烟道、燃烧器、空气预热器等组成，其主要作用是使燃料在炉内良好燃烧，放出热量。锅炉的辅助设备主要包括通风设备、制粉设备、给水设备、除尘除灰设备等。通风设备主要包括送风机、引风机、烟道、风道烟囱等，其主要作用是提供燃料燃烧和煤粉干燥所需的空气，并将燃烧生成的烟气排出炉外。制粉设备主要包括原煤仓、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉风机等，其主要作用是将原煤干燥并磨制成合格的煤粉。给水设备由给水泵和给水管路组成，其主要作用是可靠地向炉内供水。除尘、除灰设备的主要任务是清除烟气中的飞灰和燃料燃烧后的灰渣。

锅炉附件主要包括安全阀、水位计、吹灰器、热工仪表和控制设备等。此外，锅炉本体还有炉墙和构架：炉墙用来构成封闭的炉膛和烟道；构架用来支承和悬吊汽包、锅炉受热面、炉墙等。

三、电站锅炉的工作过程

下面以如图 1-2 所示的具有中间再热、配直吹式制粉系统的煤粉炉为例说明锅炉的工作过程。煤由原煤仓经给煤机 2 进入磨煤机 3，煤在磨煤机中被由空气预热器 27 来的热风干燥，并磨制成煤粉，由排粉风机 5 送至燃烧器。煤粉和空气的混合物在炉内燃烧放热，燃烧生成的高温火焰和烟气在炉膛和烟道中流动时，依次将热量传递给水冷壁、屏式过热器、高温过热器、再热器、低温过热器、省煤器和空气预热器。然后由除尘器 29 除掉烟气中的飞灰，最后由引风机 30 将烟气送至烟囱 31 排往大气。

燃料燃烧需要的空气，由冷风入口 25 经送风机 26 升压后，送入空气预热器 27，被烟气加热成热空气，然后由热风出口 28 沿热风道将其一部分连同由送风机出口来的冷风送入磨煤机，用

于干燥和输送煤粉。另一部分直接送入炉膛 11 作为二次风参与助燃。燃料燃烧后生成的灰，少部分较粗的由炉膛下部的排渣装置 7 排出，大部分较细的飞灰由烟道尾部的除尘器收集，连同排渣装置排出的灰渣由灰水沟经灰渣泵送往灰场。

给水经给水泵升压后送入锅炉省煤器 23，在省煤器中被烟气加热升温后，进入汽包 16，然后沿下降管 15 经下联箱 10 进入水冷壁 12，水在水冷壁中吸收炉内高温火焰和烟气的辐射热量，部分水蒸发形成汽水混合物流入汽包。在汽包中由汽水分离装置进行汽水分离，分离出的饱和蒸汽进入过热器，在过热器中被进一步加热成过热蒸汽。过热蒸汽经过蒸汽管道进入汽轮机高压缸 33 做功，做功后的乏汽又引回锅炉再热器 19，再次加热提高温度后，送往汽轮机的中压缸 34、低压缸 35 继续做功。

四、电站锅炉的主要特性

电站锅炉的主要特性有锅炉容量、锅炉蒸汽参数、给水温度、锅炉热效率等。

(1) 锅炉容量。锅炉容量是说明锅炉产汽能力大小的特性数据，一般指锅炉每小时的最大连续蒸发量，又称为额定蒸发量或额定容量，常用符号 D_N 表示，单位为 t/h 。

(2) 锅炉蒸汽参数。锅炉蒸汽参数是说明锅炉蒸汽规范的特性数据，一般指锅炉过热器出口的蒸汽压力（表压力）和蒸汽温度，符号分别用 p 、 t 表示，单位分别为 MPa 、 $^{\circ}C$ 。对具有中间再热的锅炉，蒸汽参数还应包括再热蒸汽压力、温度。

(3) 给水温度。锅炉给水温度是说明锅炉给水规范的特性数据，一般指省煤器入口处的给水温度。

(4) 锅炉热效率。锅炉热效率是说明锅炉运行经济性的特性数据，一般是指锅炉有效利用热量占输入热量的百分比，常用符号 η 表示，即

$$\eta = \frac{\text{有效利用热量}}{\text{输入热量}} \times 100\%$$

五、电站锅炉的分类

1. 按锅炉容量分类

根据我国目前锅炉的发展情况，一般 $D_N < 220t/h$ 的为小型锅炉； $D_N = 220 \sim 410t/h$ 的为中型锅炉； $D_N > 670t/h$ 的为大型锅炉。

2. 按蒸汽压力分类

按蒸汽压力的不同，锅炉可分为低压锅炉（ $p \leq 2.45MPa$ ）；中压锅炉（ $p = 2.94 \sim 4.92MPa$ ）；高压锅炉（ $p = 7.84 \sim 10.8MPa$ ）；超高压锅炉（ $p = 11.8 \sim 14.7MPa$ ）；亚临界锅炉（ $p = 16.7 \sim 19.6MPa$ ）；超临界锅炉（ $p \geq 22.1MPa$ ）。

3. 按锅炉的燃烧方式分类

按燃烧方式的不同，锅炉可分为层状燃烧、悬浮燃烧、旋风燃烧、循环流化床燃烧等。600MW 级火力发电厂机组锅炉的燃烧方式为悬浮燃烧，以燃烧煤粉为主，称为室燃炉。

4. 按工质在蒸发受热面中的流动方式分类

按工质在锅炉中的流动方式不同，可分为自然循环锅炉和强制循环锅炉两大类。自然循环锅炉中工质在蒸发受热面内的流动是依靠水冷壁和下降管中工质的密度差形成的循环压头来进行的。其工质在蒸发受热面中的流动如图 1-3 (a) 所示。

强制循环锅炉又分为控制循环锅炉、直流锅炉和复合循环锅炉。控制循环锅炉中工质在蒸发受热面内的流动主要依靠下降管中的炉水循环泵提供的压头进行。其工质在蒸发受热面中的流动如图 1-3 (b) 所示。

直流锅炉中工质在受热面中的流动是依靠给水泵提供的压头进行的，且一次完成加热、蒸发和过热。其工质在蒸发受热面中的流动如图 1-3 (c) 所示。

复合循环锅炉是由直流锅炉和炉水循环泵组合形成的。其工质在蒸发受热面中的流动如图 1-3 (d) 所示。

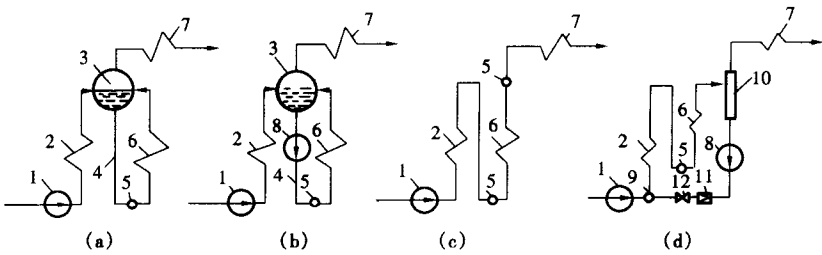


图 1-3 工质在蒸发受热面的流动方式

(a) 自然循环；(b) 控制循环；(c) 直流锅炉；(d) 复合循环

1—给水泵；2—省煤器；3—汽包；4—下降管；5—联箱；6—水冷壁；7—过热器；
8—炉水循环泵；9—混合器；10—汽水分离器；11—止回阀；12—调节阀

第二节 600MW 机组自然循环锅炉介绍

自 1997 年以来，山东已有 8 台 600MW 机组投产运行，且都是自然循环锅炉。

一、邹县发电厂三期工程 2020t/h 锅炉

华电国际邹县发电厂现拥有四台 335MW 机组和两台 600MW 机组，总装机容量为 2540MW，是中国最大的火力发电厂之一。该厂紧靠兖州矿区和微山湖，煤炭和水资源丰富，具有得天独厚的地理位置和良好的扩建条件。

邹县发电厂三期工程 2020t/h 锅炉为亚临界、中间再热、自然循环、平衡通风、固态排渣、单炉膛、悬吊式、平行双烟道倒 U 型燃煤汽包炉。燃烧器采用旋流式燃烧器，由美国 Foster Wheeler 能源公司 (FWEC) 设计制造。其中，5 号锅炉于 1997 年 1 月 17 日投产，6 号锅炉于 1997 年 11 月 7 日投产。在 30% 额定负荷至额定负荷间采用滑压运行，负荷调整灵活。该锅炉整体布置见图 1-4。

(一) 锅炉主要性能简介

(1) 锅炉设计燃用兖州煤矿的烟煤。燃料特性见表 1-1。

表 1-1 燃 料 特 性

燃 煤						燃 油	
序号	项 目	符 号	单 位	设计煤种	校核煤种		
1	收到基碳	C _{ar}	%	51.29	44.97	油 种	0 号柴油
2	收到基氢	H _{ar}	%	3.34	3.01	水 分	无痕迹
3	收到基氧	O _{ar}	%	7.35	7.32	灰 分	≤0.135%
4	收到基氮	N _{ar}	%	0.87	0.76	含硫量	≤0.2%
5	收到基硫	S _{ar}	%	0.41	0.51	酸 度	≤10mg/100mL
6	收到基灰分	A _{ar}	%	28.74	34.43	恩氏黏度	1.2~1.7E°

续表

燃 煤						燃 油	
序号	项 目	符 号	单 位	设计煤种	校核煤种		
7	收到基水分	M_{ar}	%	8.00	9.00	胶 质	$\leq 70\text{mg}/100\text{mL}$
8	干燥无灰基挥发分	V_{daf}	%	41.52	42.13	运动黏度	$4.906\text{m}^2/\text{s}$
9	收到基低位发热量	$Q_{\text{net, ar}}$	kJ/kg	19536	17203	低位发热量	$40\text{MJ}/\text{kg}$
10	可磨系数	HGI	%	73	71	凝固点	$\leq 0^\circ\text{C}$
11	变形温度	DT	$^\circ\text{C}$	1270	1200	闭口闪点	$\geq 60^\circ\text{C}$
12	软化温度	ST	$^\circ\text{C}$	1350	1290		
13	熔化温度	FT	$^\circ\text{C}$	1410	1350		
14	固定碳	FC	%	37			

(2) 锅炉主要运行参数如表 1-2 所示。

表 1-2 锅炉主要运行参数

序号	项 目	单 位	MCR	TRL	85% MCR	50% MCR
1	主蒸汽流量	t/h	2020	1810	1519	886
2	主蒸汽压力	MPa	18.07	17.09	15.09	8.90
3	主蒸汽温度	$^\circ\text{C}$	541	541	541	541
4	再热蒸汽流量	t/h	1679	1518	1289	775
5	再热蒸汽压力 (进/出)	MPa	4.20/4.01	3.79/3.62	3.20/3.05	1.89/1.79
6	再热蒸汽温度 (进/出)	$^\circ\text{C}$	336.7/541	331.7/541	332.2/541	340/541
7	汽包压力	MPa	19.29	18.09	15.79	9.19
8	锅炉给水温度	$^\circ\text{C}$	278.9	271.7	260.6	230.6
9	送风温度	$^\circ\text{C}$	20	20	20	20
10	热风温度 (一次/二次)	$^\circ\text{C}$	307/318	305/312	300/307	290/285
11	炉膛出口烟温	$^\circ\text{C}$	1100	1072.8	1023.9	895
12	排烟温度	$^\circ\text{C}$	137.5	135	132.8	140
13	锅炉效率	%	92.45	92.55	92.61	92.14
14	锅炉燃煤量	t/h	288.17	266.54	229.20	143.38

(3) 锅炉主要性能。

1) 燃用设计煤种或校核煤种时, 锅炉在 MCR 工况下: 锅炉主蒸汽流量为 $2020\text{t}/\text{h}$, NO_x 的排放量不大于 $258\text{mg}/\text{J}$ 。

2) 在额定负荷情况下, 锅炉主蒸汽流量为 $1810\text{t}/\text{h}$; 锅炉效率为 92.55%; 商业运行初期, 空气预热器漏风率为 8.0%, 运行一年后为 10%。

3) 锅炉不投油的最低稳定运行负荷为 30% MCR (运行中的磨煤机出力大于 40% 的磨煤机额定出力); 负荷在从 50% 到 100% 工况下, 主、再热蒸汽温度为 $538 \pm 5^\circ\text{C}$; 每台磨煤机在给煤粒度不大于 30mm 的情况下, 燃用设计煤种, 其出力不小于 $68.0\text{t}/\text{h}$, 煤粉细度为 71% 的粉通过 200 目标准筛; 燃用校核煤种时, 出力为 $65.5\text{t}/\text{h}$ 。

(二) 锅炉本体设备及系统

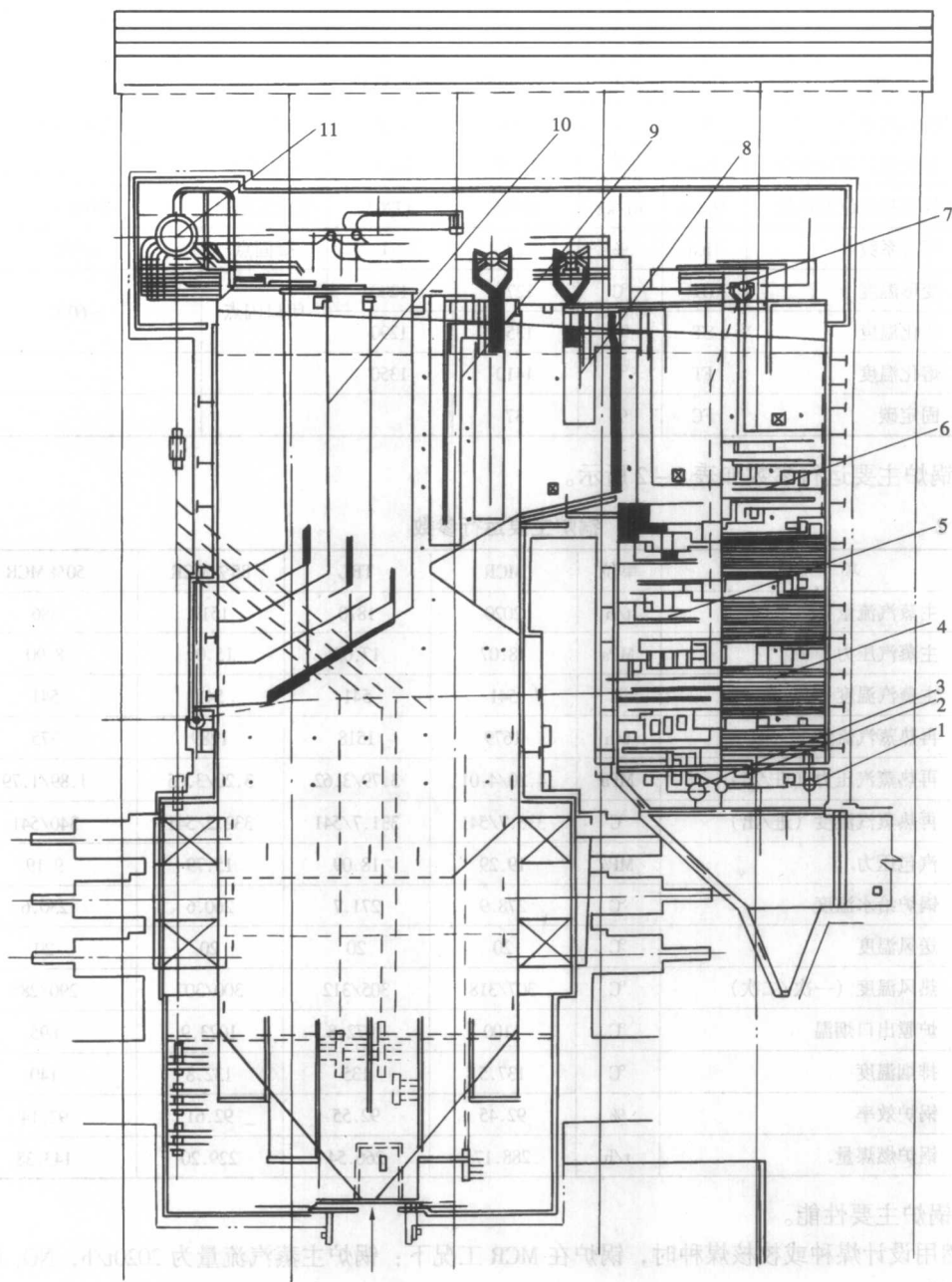


图 1-4 邹县电厂 2020t/h 自然循环锅炉整体布置图

- 1—省煤器入口集箱；2—低温过热器入口集箱；3—再热器入口集箱；4—省煤器；5—再热器低温段；
6—低温过热器；7—低温过热器出口集箱；8—再热器高温段；9—末级过热器；10—分隔屏；11—汽包

1. 汽水系统

锅炉本体由汽包、水冷壁、辐射式分割屏过热器、对流式初级过热器、对流式末级过热器、对流式再热器、省煤器、回转式空气预热器及钢构架组成。

过热蒸汽温度是靠喷水减温来调节的，共设两级喷水减温器，一级喷水减温器布置在低温过

热器出口至分割屏过热器入口的两条联络管上；二级喷水减温器布置在分割屏过热器出口至末级过热器入口的两个喷水联箱上。再热器单级布置，对流传热，与低温过热器并列布置在垂直烟道内。再热蒸汽汽温是靠烟气调节挡板来调整的。利用挡板的开度，分配通过低温过热器与再热器区域的烟气流量，达到调温的目的，再热器入口管道上设有事故喷水减温器。锅炉在 MCR 工况下的蒸发量为 2020t/h，汽包运行压力为 19.29MPa，汽包设计压力为 20.374MPa，锅炉循环倍率 $K=4$ 。分割屏过热器布置在低 NO_x 燃烧器中心线以上 7.62m 处，以确保火焰不会冲刷屏式过热器。炉膛出口烟气温度限制在 1100℃ 以下。

2. 燃烧系统

风烟流程：空气→送风机（2 台）→暖风器（2 台）→空气预热器（2 台）→二次风箱→燃烧器（24 只）→炉膛→水平烟道→后竖井烟道→空气预热器（2 台）→静电除尘器→引风机（2 台）→烟囱→大气。

配置特点：该锅炉按平衡通风设计，每炉配有 2 台（FAF28.0/12.5-1 型）送风机和 2 台（SAF37.5/19.0-1 型）引风机，均为动叶可调轴流式（TLT-BABCOCK 产品）。每炉装有 2 台三分仓容克式空气预热器 [32.5-VI (T) (W) 型]，在送风机和空气预热器之间各有 1 台暖风器，将大气温度提高至 40℃，用于保护空气预热器。送引风机均是按锅炉在最大连续工况下、燃用设计煤种、投运 5 台磨煤机的条件下选择的，有 20% 的风量裕量和足够的压头裕量，通过调整使炉膛在微负压下运行。燃料在炉膛燃烧产生的烟气经分割的尾部平行烟道、空气预热器、四电场静电除尘器、引风机由高 240m 的烟囱排至大气。

燃烧器：炉膛前后墙各布置 12 只燃烧器，分 3 层布置，每层 4 只旋流燃烧器。炉膛前后墙布置有工业电视系统，位于 A、B 层燃烧器上部、炉膛前后墙标高 37715mm 处。它采用全封闭工业重载型的摄像机，可以遥控变焦和自动定焦，摄像机倾角为 27°，可以实现全炉膛火焰观察，观察到包括冷灰斗在内的炉膛燃烧区域。

炉膛冷灰斗区域设有周界风系统，它包括布置在炉膛前后墙的 4 个空气喷口和炉底周界冷却风。目的是在炉膛下水冷壁表面形成空气冷却衬层和氧化环境，避免炉底结渣和腐蚀，并燃尽冲击到炉膛下部的未燃尽颗粒。空气喷口开度大小还可以调整炉膛中氧的分布。

（三）锅炉系统的主要技术特点

（1）锅炉的预期寿命在 30 年以上，以带基本负荷为主并适应调峰调频的要求。

（2）炉膛容积热强度低于 $99.36\text{kW}/\text{m}^3$ ；炉膛最大面积热负荷低于 $4417\text{kW}/\text{m}^2$ ；炉膛出口最高烟气温度不大于 1100℃。

（3）锅炉最大负荷变化率：在 50% MCR 以上时，增减负荷率为 10% MCR/min；当在滑压运行期间，增减负荷率为 3% MCR/min；定压运行时，负荷在 30% ~ 60% MCR 间，瞬间负荷增减为 10% MCR/min，负荷变化率为 5% MCR/min。

（4）燃用 0 号柴油，所有油枪投运可以带 30% MCR 负荷，锅炉不投油的情况下最低稳燃负荷设计为 30% MCR。

（5）锅炉依靠重力进行疏水，整个过程所需要的总时间不超过 1h。

（6）燃用任一煤种时， NO_x 的最大排放率不大于 $0.258\text{mg}/\text{kJ}$ ，设计值为 $0.215\text{mg}/\text{kJ}$ 。

（7）炉膛水冷壁，在高热负荷区的前后和侧墙水冷壁管采用内螺纹管型焊接膜式壁结构。保证各种负荷下的循环倍率最小为 $K=4$ ，防止产生膜态沸腾。

（8）每只燃烧器设有双二次风调节装置，以保证燃烧器间风粉配比均匀、炉膛出口烟温和气流的分布均匀。油燃烧器采用空气雾化喷嘴，若供气气源故障，气动控制器可使油枪缩回。

（9）由于设计煤种、校核煤种灰分中 SiO_2 的含量较高，为防止锅炉受热面严重磨损，对流受

热面的设计中采用较低烟速通过（在锅炉 MCR 工况下，过热器、再热器的烟气平均流速不大于 11m/s，通过省煤器的烟气平均流速不大于 8~5.9m/s）。省煤器的第 1~3 排管子设防磨护板，省煤器与四周墙壁装有防止烟气偏流的阻流板。

(10) 为防止炉膛下部结渣，在炉膛下部设计有周界风系统，布置在下部燃烧器下面和灰斗转折处上边，靠近侧墙水冷壁，还在冷灰斗口段和灰斗斜面提供了空气，并保持下部炉膛清洁，并在水冷壁外部还形成烟气冷却衬层和氧化环境，避免形成结渣和腐蚀。锅炉炉膛上部布置了 5 片分割屏式过热器，屏与屏之间的中心距为 3904mm，这种布置可使烟气流沿炉宽更趋于均匀，减少进入末级过热器炉宽方向的烟温偏差。过热器整体呈辐射一对流传热布置，在锅炉负荷变化时，可使过热器热力特性平稳。锅炉设置了膨胀中心，可以进行精确的热位移计算，作为膨胀补偿、间隙预留和管系应力分析的依据。

(11) 给煤系统中，有六个钢制圆形煤仓，每个圆形煤仓下又分两个小煤斗，小煤斗内壁衬 2.5mm 厚的 2Cr13 不锈钢，增加了耐磨及抗振打性能。在给煤机的落煤管上装有超声波断煤监测装置。煤粉气流管道采用碳钢制作。采用大弯曲半径的弯头，内衬有特别耐磨的陶瓷，沿着气流方向有 3m 以上的耐磨段，耐磨段装设有机接头。煤粉管道采用套筒补偿器和柔性接头，以提供足够的热膨胀补偿能力，避免燃烧器产生破坏性的机械应力。

(12) TP-500 型伸缩式炉膛烟温探针设有空气冷却管，四个喷嘴在探针管前呈 180°对称分布，纵向相距 300mm，带 45°后倾角，这样可使冷却空气避开探头，使探针测得更高的烟温而不损坏伸缩管。

(13) 除汽包、过热器出口及再热器进出口均装有全启式弹簧安全阀外，在过热器出口处还装有一只压力控制阀（PCV），以减少安全阀的动作次数。

(14) 锅炉构架全部按露天布置的要求设计，其构架全部采用钢结构。为了操作方便，共设有 18 层平台，平台上铺设格栅，钢性梁之间采用高强螺栓连接。

(15) 锅炉的燃烧器控制系统和炉膛安全系统采用 Fomey 国际工业公司生产的 ECS-1200 系统，适用于各种运行方式（定压、滑压和自动启动、停炉、正常运行）和各种负荷的要求。炉膛安全系统包括完整的连锁、保护和自诊断功能。

(16) 锅炉在环境保护方面考虑的也较齐全。例如在燃烧器底部设有空气喷口、炉底燃烧用风，以及采用尖端可移动的 CF/SF 低 NO_x 旋流燃烧器等，作为减少 NO_x 生成的主要措施。利用浓缩池对锅炉酸洗废液进行处理。选用效率为 99.6% 的电除尘器进行除尘。

二、山东中华发电有限公司聊城发电厂 600MW 燃煤发电机组锅炉

（一）锅炉设计参数及主要技术规范

山东中华发电有限公司聊城发电厂 2×600MW 燃煤发电机组锅炉系亚临界压力、自然循环、“W”火焰、单炉膛、一次中间再热平衡通风固态排渣汽包炉，半露天布置，直吹式制粉系统。锅炉整体布置见图 1-5。

1. 锅炉整体布置特点

(1) 锅炉为单汽包、单炉膛、正压平衡通风、一次中间再热、燃煤、半露天式布置，图 1-5 为聊城电厂 2027t/h 自然循环锅炉整体布置图。锅炉采用轻型敷管式炉墙、全悬吊钢结构型式。

(2) 汽包中心高度 51.5m，采用“W”火焰燃烧方式，在 23m 高度拱处分上、下两个部分，炉膛下部截面为 26680mm×21642mm，八角形；炉膛上部为 26680mm×10488mm，断面为矩形。炉膛四周由上升管组成膜式水冷壁，高温区上升管带有内螺纹，敷设 616m² 的卫燃带，六根大直径集中下降管把汽包中的水引下分配到水冷壁进口联箱。汽包内采用旋风子和百叶窗以及顶部孔板

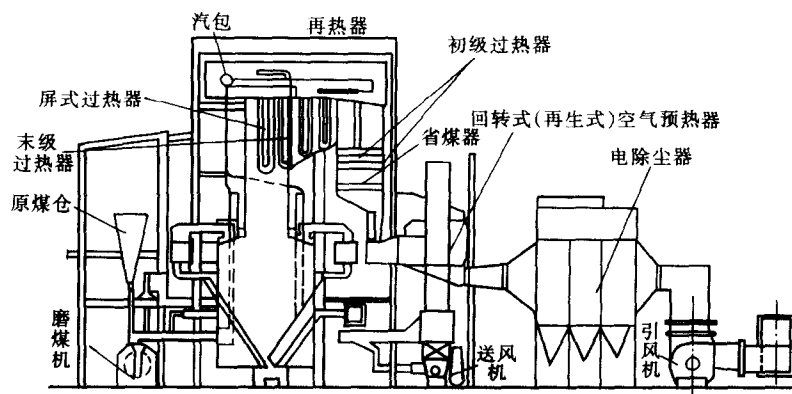


图 1-5 锅炉整体布置

进行汽水分离。过热器由顶棚、包覆、低温、前屏、末级过热器五部分组成。顶棚及包覆过热器均采用顺流布置；低温过热器分三组，两卧一立，在竖井烟道上部，逆流布置；前屏过热器属辐射式过热器，顺流布置；末级过热器在炉膛出口处，属半辐射式，采用顺流布置。在屏过前、后各有一级喷水减温装置。再热器为单级式，采用先逆流后顺流布置在水平烟道内，进口处装有事故障喷水减温装置，正常调温由炉底注入的热风控制。省煤器为单级非沸腾式，由鳍片钢盘绕，逆流、水平布置在竖井烟道内。

(3) 设计煤种为 80%无烟煤和 20%贫瘦混合煤。锅炉为负压运行，炉膛两侧火拱处各布置了 24 组直流下射狭缝式喷燃器，每组有 2 只煤粉喷嘴、1 支油枪，二次风间隔布置，乏气风在靠前后炉墙侧注入。为防结焦，设有前后墙贴墙风。燃烧方式为直吹前、后下射，在炉膛内形成“W”火焰。油枪燃用轻油，由高能点火器直接引燃，24 支油枪可带 30% MCR。该锅炉设有 6 支启动油枪，可带 7.5% MCR。锅炉配备正压直吹式制粉系统，由 2 台密封风机、2 台离心式一次风机、6 台双进双出钢球磨煤机、12 台称重式皮带给煤机组成。6 台磨煤机的制粉能力为锅炉 MCR 时所需煤量的 120%。锅炉风、烟系统配备 2 台轴流式送风机、2 台离心式引风机、2 台空气预热器（三分仓回热式）。

2. 主要规范及参数

锅炉保证效率为（以低位发热值为基准）92.5%。运行方式可进行定压或滑压运行。不投油最低稳燃负荷为 50%的额定负荷。锅炉主要设计参数见表 1-3。

表 1-3

锅炉主要设计参数

序号	项 目	单位	BMCR	TMCR	THA	85% MCR	55% MCR
1	主蒸汽流量	t/h	2027	1930.1	1803.1	1486.4	944.5
2	主蒸汽压力	MPa	17.27	17.22	17.15	17.00	11.04
3	主蒸汽温度	℃	541	541	541	541	541
4	再热蒸汽流量	t/h	1652.2	1578.8	1481.9	1237	808.6
5	再热蒸汽压力（进/出）	MPa	3.92/3.73	3.75/3.57	3.51/3.34	2.94/2.797	1.93/1.83
6	再热蒸汽温度（进/出）	℃	327.7/541	336.5/541	316.8/541	299.7/541	309.0/541
7	汽包压力	MPa	18.77	18.59	18.36	17.84	11.62
8	给水温度	℃	281.6	278.4	274.1	262.0	237.5