

锅炉原理

主 编 樊泉桂 副主编 阎维平



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

锅炉原理

主 编 樊泉桂 副主编 阎维平
参 编 闫顺林 王 军

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是结合火力发电厂 300MW 以上机组的锅炉设备、系统和技术特点编写的。

主要内容包括：电厂锅炉概述，锅炉设备、系统及其工作原理，燃料及其燃烧特性，锅炉机组热平衡计算和试验方法，制粉系统及设备，燃烧理论基础，燃烧设备，低 NO_x 和低负荷稳燃以及低反应煤的煤粉燃烧技术，过热汽温和再热汽温调节，受热面的磨损、腐蚀、积灰和回转式空气预热器的漏风及密封技术，锅炉机组热力计算，自然循环锅炉水循环特性，以超临界参数锅炉为主的强制循环锅炉，锅炉给水处理和蒸汽品质控制，锅炉运行调节等。

本书可作为高等学校热能动力专业和集控专业的教材，也可供从事锅炉设计、制造和运行工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉原理/樊泉桂主编；阎维平副主编. —北京：中国电力出版社，2004

ISBN 7-5083-1873-0

I. 锅... II. ①樊...②阎... III. 火电厂-锅炉-理论 IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 098155 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)

北京通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 1 月第一版 2004 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 21 印张 513 千字

印数 0001—5000 册 定价 32.00 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)

前 言

伴随科学技术的快速发展，火力发电厂锅炉专业范围内的技术设备和理论概念发生了前所未有的巨大变化。为了使专业教学适应实际需要，编写出符合国内电厂现阶段实际情况、反映国际和国内科学技术进步的新成就、具有鲜明的专业特色的教材，本书中引进了大量的新技术和新方法。

本书的主要特点是：在增强原理性内容的基础上，突出教学内容的先进性和实用性，突出亚临界参数和超临界参数的锅炉设备、系统及其工作原理。燃料分析采用了最新国家标准，介绍了锅炉机组热平衡计算方法，重点介绍了双进双出、MPS、RP 和 HP、MBF、风扇磨煤机的主要特点和几种典型的制粉系统，增强了低 NO_x 燃烧技术、低负荷稳燃技术以及低反应煤燃烧技术等内容，介绍了循环流化床燃烧技术，增强了超临界参数锅炉的内容，并阐述了超临界压力下水和水蒸气的热物理特性对于水冷壁传热特性以及水动力特性的影响，增加了给水处理方面的内容。章节内容与题目更加鲜明化和具体化，便于教学中掌握要点，适合自学。

本书由华北电力大学樊泉桂教授任主编，阎维平教授任副主编，参加编写的人员还有闫顺林教授和王军副教授。樊泉桂编写第一章、第五章、第六章（第一节至第八节）、第十二章、第十三章以及前言等，阎维平编写第九章、第十章、第十一章、第十五章和第六章的第九节，闫顺林编写第三章、第七章、第十四章，王军编写第二章、第四章、第八章。

本书由东北电力学院吕太教授审阅，并提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。

限于编者水平，书中难免有缺点和不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2003年10月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 锅炉机组的工作过程	1
第二节 锅炉机组的系统及组成部件	1
第三节 锅炉的容量、参数及其分类	2
第四节 大容量锅炉的主要型式	4
第二章 燃料及其燃烧特性	17
第一节 电站锅炉燃料	17
第二节 煤的元素分析和工业分析	17
第三节 煤的成分的计算基准	18
第四节 煤的发热量及相关概念	19
第五节 煤灰的结渣和积灰特性判别	21
第六节 煤的分类	23
第七节 煤的燃烧特性	26
第八节 燃油和燃气的特性	27
第三章 燃料燃烧计算和锅炉机组热平衡	31
第一节 燃烧过程的化学反应	31
第二节 燃烧所需的空气量	32
第三节 燃烧产生的烟气量	34
第四节 烟气分析	38
第五节 燃烧方程式	40
第六节 运行中过量空气系数的确定	41
第七节 空气和烟气的焓	43
第八节 锅炉机组的热平衡	44
第九节 锅炉机组的热平衡试验	52
第四章 煤粉制备及系统	56
第一节 煤粉的一般特性	56
第二节 煤粉细度和煤粉颗粒分布特性	57
第三节 煤的可磨性系数和磨损指数	59
第四节 磨煤机	60

第五节	制粉系统	71
第六节	给煤机和给粉机	76
第七节	煤粉分离器	79
第五章	燃烧理论基础	81
第一节	化学反应速度	81
第二节	影响化学反应速度的主要因素	83
第三节	热力着火	84
第四节	链锁反应	86
第五节	火焰传播	86
第六节	煤粉的燃烧	88
第七节	碳粒燃烧的动力区、扩散区和过渡区	89
第八节	碳粒的一次反应和二次反应机理	92
第六章	燃烧设备和煤粉燃烧新技术	95
第一节	概述	95
第二节	直流式煤粉燃烧器	96
第三节	旋流式煤粉燃烧器	107
第四节	煤粉炉炉膛	113
第五节	煤粉气流的燃烧	120
第六节	低负荷稳燃及低 NO_x 煤粉燃烧技术	121
第七节	W 型火焰燃烧技术	127
第八节	油燃烧器与点火器	130
第九节	循环流化床燃煤锅炉	134
第七章	过热器和再热器	145
第一节	过热器和再热器的作用和工作特点	145
第二节	过热器和再热器的结构型式	146
第三节	典型过热器和再热器系统及其材料选择	149
第四节	热偏差	153
第五节	汽温变化的静态特性	158
第六节	影响汽温变化的因素	159
第七节	过热汽温和再热汽温的调节	160
第八章	省煤器和空气预热器	166
第一节	省煤器的作用与结构	166
第二节	省煤器的主要参数和启动保护	167
第三节	空气预热器的型式	169
第四节	回转式空气预热器的漏风和热变形	172
第五节	尾部受热面的磨损、积灰和腐蚀	176
第九章	锅炉炉膛换热计算	187
第一节	锅炉炉膛内传热的特点	187

第二节	炉膛辐射换热的基本方程和有效辐射热计算方法	189
第三节	炉内传热的相似理论计算方法	191
第四节	炉膛受热面的辐射特性	193
第五节	炉膛火焰黑度	194
第六节	火焰中心位置修正系数 M	196
第七节	炉膛结构特征及其他参数	197
第八节	炉膛换热计算的修正方法	200
第九节	炉膛换热的其他计算方法	201
第十章	对流受热面的换热计算	203
第一节	概述	203
第二节	对流受热面换热计算的基本方程	203
第三节	受热面传热系数的计算方法	205
第四节	对流受热面的污染对换热的影响	212
第五节	传热温压的计算	214
第六节	对流换热面积和流速的计算	215
第七节	主要对流受热面的计算特点	218
第十一章	锅炉整体设计和受热面布置	225
第一节	锅炉热力计算的程序和方法	225
第二节	锅炉主要设计参数的选择	226
第三节	电站锅炉的整体布置	232
第四节	影响锅炉受热面布置的主要因素及影响规律	235
第十二章	自然循环蒸发系统及安全运行	237
第一节	自然循环原理与基本概念	237
第二节	自然循环锅炉水冷壁的安全运行	239
第三节	蒸发管内的汽液两相流型及传热	240
第四节	汽液两相流体的流动参数	243
第五节	汽液两相流体的流动阻力、重位压降	246
第六节	简单回路的水循环计算和水循环特性曲线	247
第七节	复杂回路的水循环计算	250
第八节	水循环全特性曲线和循环安全性检查	251
第九节	蒸发管传热恶化工况的计算	252
第十节	提高循环安全性的措施	253
第十一节	水冷壁的高温腐蚀	255
第十三章	强制流动锅炉	259
第一节	直流锅炉的主要特点和水冷壁型式	259
第二节	直流锅炉的水动力特性	261
第三节	亚临界压力下蒸发管的脉动性流动	268
第四节	直流锅炉的热偏差	271
第五节	超临界压力下水冷壁管内传热	273

第六节	低倍率和复合循环锅炉	276
第七节	控制循环锅炉	278
第八节	直流锅炉的启动系统	279
第十四章	电站锅炉蒸汽品质及其污染防治	282
第一节	电站锅炉的蒸汽品质	282
第二节	蒸汽污染的原因及其治理途径	284
第三节	给水净化	288
第四节	锅内的蒸汽净化	291
第十五章	电站锅炉的运行与调节	299
第一节	电站锅炉的启动	300
第二节	锅炉的停运	308
第三节	锅炉的变负荷运行方式	310
第四节	锅炉的动态特性	313
第五节	锅炉的燃烧调整与蒸汽压力调节	317
第六节	锅筒锅炉的给水调节	321
第七节	锅炉的汽温调节	325
第八节	直流锅炉的运行调节特点	325
参考文献	328

第一章

概述

第一节 锅炉机组的工作过程

火力发电厂生产的电能需要经过多次能量转换过程：即首先由锅炉将燃料燃烧释放的化学能通过受热面使给水加热、蒸发、过热，转变为蒸汽的热能；再由汽轮机将蒸汽的热能转变为高速旋转的机械能，然后由汽轮机带动发电机将机械能转变为源源不断的向外界输送的电能。因此，锅炉、汽轮机、发电机和输配电设备是火力发电厂的主要设备。燃煤锅炉的工作过程主要由以下几个过程组成：

- (1) 原煤破碎→原煤干燥与磨制煤粉→输送煤粉→组织燃烧；
- (2) 空气加热→燃料燃烧配风；
- (3) 锅炉给水由省煤器受热面加热升温→由蒸发受热面（水冷壁）吸热将给水转变为汽水混合物，或直接转变为蒸汽→由过热器受热面将蒸汽进一步加热达到过热状态；
- (4) 排渣、清灰、除灰、烟气排放。

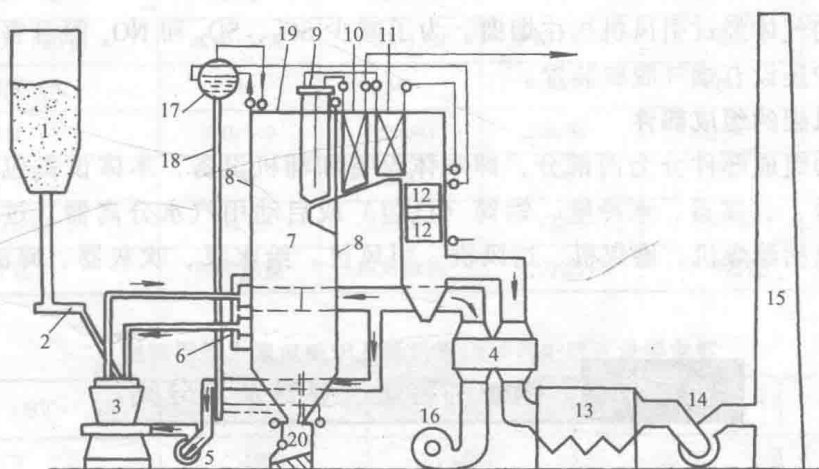


图 1-1 锅炉机组的工作过程示意

- 1—煤斗；2—给煤机；3—磨煤机；4—空气预热器；5—排粉风机；6—燃烧器；7—炉膛；8—水冷壁；
9—屏式过热器；10—高温过热器；11—低温过热器；12—省煤器；13—除尘器；14—引风机；
15—烟囱；16—送风机；17—锅筒；18—下降管；19—顶棚过热器；20—排渣室

第二节 锅炉机组的系统及组成部件

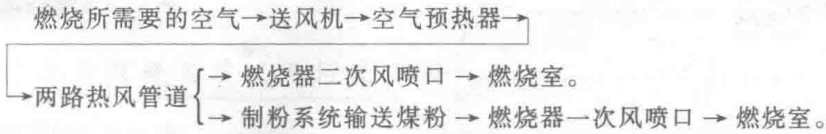
一、锅炉机组的系统

1. 制粉系统

原煤输送系统将破碎后的原煤送入原煤仓→给煤机→磨煤机→煤粉分离→合格的煤粉→

由空气送入炉内燃烧。

2. 燃烧系统



3. 汽水系统

给水（凝结水和少量补给水经化学水处理）→ 低压加热器 → 除氧器 → 给水泵 → 高压加热器 → 锅炉省煤器加热 → 水冷壁蒸发 → 过热器升温至汽轮机要求的进汽温度。高参数、大容量锅炉机组还有再热器系统，即锅炉生产的高压蒸汽在汽轮机高压缸做功后的排气 → 锅炉再热器二次再热 → 汽轮机中、低压缸。

4. 除渣、除灰和清灰系统

燃烧产生的大块熔渣（约占总灰量的 10% ~ 20%），经水冷壁冷却形成固态渣由炉底排放 → 经碎渣机破碎。

烟气中携带的细灰粒（约占总灰量的 80% ~ 90%），经除尘器将细灰从烟气中分离出来，由除灰系统送往灰场。

锅炉运行中沉积到受热面上的细灰由吹灰器清除进入除灰系统。

5. 烟气排放系统

燃烧产生的烟气由锅炉尾部的空气预热器出口排出后，经过除尘器，将烟气中的大部分细灰分离出来，排往除灰系统，以防止粉尘粒子对大气产生污染。

分离出来的气体经过引风机排往烟囱。为了减少 SO_3 、 SO_2 和 NO_x 等有害气体对大气的污染，现代锅炉还设有烟气脱硫装置。

二、锅炉机组的组成部件

锅炉机组的组成部件分为两部分，即本体设备和辅机设备，本体设备包括炉膛、燃烧器、空气预热器、省煤器、水冷壁、锅筒（汽包）或启动用汽水分离器、过热器、再热器等；辅机设备包括给煤机、磨煤机、送风机、引风机、给水泵、吹灰器、碎渣机、除尘器、灰浆泵。

第三节

锅炉的容量、参数及其分类

一、电站锅炉的蒸汽参数及容量

20 世纪 70 年代以前，中国的火电机组单机容量在 100MW 以下，蒸汽参数以 10MPa/540℃ 为主；80 年代初期，自行设计和制造了单机容量为 200MW 的火电机组，配置主蒸汽参数为超高压，并具有中间再热系统的 14MPa/540℃/540℃ 的锅炉机组。

80 年代以后，我国的火电机组以引进技术国产化为主，建设了一批亚临界与超临界参数大容量发电机组。各种技术类型的 300、500、600、800MW 级亚临界与超临界参数锅炉机组相继投入运行。表 1-1 ~ 表 1-3 是中国电站锅炉的蒸汽参数及容量。

二、锅炉的分类

(1) 按锅炉用途分类。分为电站锅炉（发电）、工业锅炉（工业生产工艺用汽或供暖）、热水锅炉（民用采暖或供热）。

(2) 按锅炉容量分类。随时代和技术进步, 锅炉机组容量按大、中、小的排序和分类在不断演变, 目前 300MW 以上的机组配置的锅炉为大容量锅炉。

表 1-1 中国电站锅炉的蒸汽参数及容量

蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (°C)	给水温度 (°C)	MCR* (t/h)	发电功率 (MW)
9.9	540	205~225	220, 410	50, 100
13.8	540/540	220~250	420, 670	125, 200
16.8~18.6	540/540	250~280	1025~2008	300, 600
17.5	540/540	255	1025~1650	300, 500
25.4	541/566	286	1900	600
25.0	545/545	267~277	1650~2650	500, 800

* 为最大连续蒸发量。

表 1-2 亚临界压力自然循环及控制循环锅炉的容量和参数

机组功率 (MW)	300	300	300	600	600
循环方式	自然循环	控制循环	自然循环	自然循环	控制循环
过热蒸汽流量 MCR	1025	1025	1025	2026.8	2008
再热蒸汽流量 (t/h)	860	834.8	823.8	1704.2	1634
过热蒸汽压力 (MPa)	18.2	18.3	18.3	18.19	18.22
再热蒸汽压力 (MPa)	4.00/3.79	3.83/3.62	3.82/3.66	4.176/4.3	3.49/3.31
过热蒸汽温度 (°C)	540	541	540	540.6	540.6
再热蒸汽温度 (°C)	330/540	322/541	316/540	313.0/540.6	313.3/540.6
给水温度 (°C)	276	281	278	276	278.33
燃煤量 (t/h)	136.61	139.89	122.6	264.4	269.9
燃烧方式	四角燃烧	四角燃烧	对冲燃烧	对冲燃烧	四角燃烧

表 1-3 超临界压力直流锅炉及低倍率循环锅炉的容量和参数

机组功率 (MW)	600	500	800	500
过热蒸汽流量 MCR	1900	1650	2650	1650
再热蒸汽流量 (t/h)	1613	1481	2151.5	1481
过热蒸汽压力 (MPa)	25.4	25.0	25.0	17.46
再热蒸汽压力 (MPa)	4.77/4.57	4.15/3.9	3.86/3.62	4.21/4.0
过热蒸汽温度 (°C)	541	545	545	540
再热蒸汽温度 (°C)	338/566	295/545	283/545	333/540
给水温度 (°C)	286	270	277	255
燃煤量 (t/h)		208	336.5	
燃烧方式	四角燃烧	对冲燃烧	对冲燃烧	对冲燃烧
水冷壁型式	螺旋管圈	垂直管屏	垂直管屏	垂直管屏

表 1-4

国外超临界参数机组的发展方向

主蒸汽压力 (bar [*])	290	305	335	400
主蒸汽温度 (°C)	582	582	610	700
再热蒸汽压力 (bar)	80	74	93	112
再热蒸汽温度 (°C)	580	600	630	720
循环热效率 (%)	47	49	> 50	52 ~ 55

* 1bar=0.1MPa。

(3) 按蒸汽压力分类。分为低压 ($p < 2.5\text{MPa}$)、中压 ($p \approx 3.9\text{MPa}$)、高压 ($p \approx 10.8\text{MPa}$)、超高压 ($p \approx 14.7\text{MPa}$)、亚临界压力 ($p \approx 16.8 \sim 18.6\text{MPa}$)、超临界及超超临界压力 ($p \approx 25 \sim 40\text{MPa}$)。

(4) 按燃烧方式分类。分为火床炉、煤粉炉 (四角燃烧、对冲燃烧、W 火焰燃烧)、旋风炉、流化床锅炉。

(5) 按蒸发受热面循环方式分类。分为自然循环锅炉、控制循环锅炉、直流锅炉、低倍率或复合循环锅炉, 工作原理如图 1-2、图 1-3 所示。

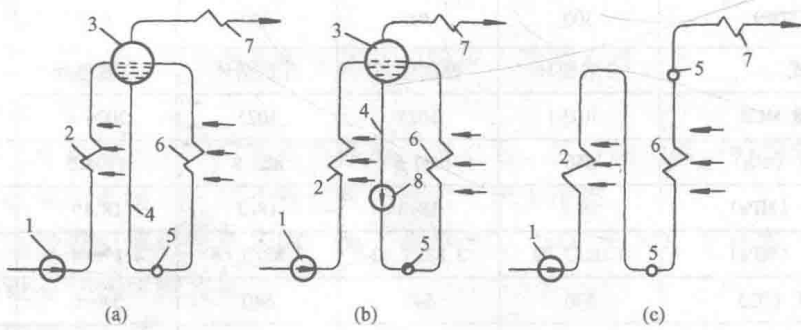


图 1-2 蒸汽锅炉蒸发部分的几种类型

(a) 自然循环; (b) 控制循环; (c) 直流式

1—给水泵; 2—省煤器; 3—锅筒; 4—下降管; 5—联箱; 6—蒸发管; 7—过热器; 8—强制循环泵

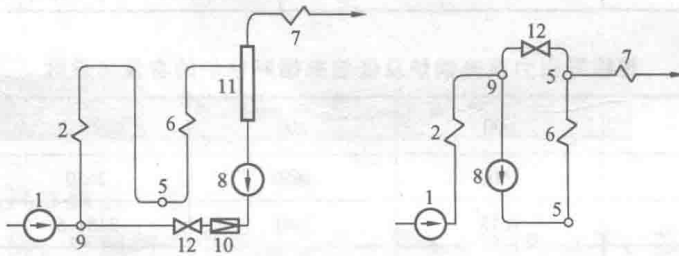


图 1-3 低倍率及复合循环系统

1—给水泵; 2—省煤器; 3—锅筒; 4—下降管; 5—联箱; 6—蒸发管; 7—过热器;
8—强制循环泵; 9—混合器; 10—止回阀; 11—汽水分离器; 12—调节阀

第四节

大容量锅炉的主要型式

一、采用对冲燃烧方式的 300MW 自然循环锅炉

图 1-4 是北京巴威公司采用 B&W 技术设计制造的亚临界压力 300MW 锅炉。采用双调风

旋流式燃烧器对冲燃烧、自然循环、烟气挡板调温方式，炉膛由膜式水冷壁组成，炉膛的宽度、深度、高度（前后墙水冷壁下联箱到顶棚管中心线的距离）分别为 13.350m、12.300m、46.400m，燃用山西晋中贫煤，在炉膛的前后墙各布置 3 层双调风旋流式燃烧器，每层 3 只，共 24 只。燃烧器射出的煤粉气流对冲燃烧，形成双“L”形火焰。

炉膛上部布置屏式过热器，折焰角上部布置高温过热器。水平烟道末端布置高温再热器，尾部竖井由分割墙分成前后两个烟道，前部布置低温再热器，后部布置低温过热器和省煤器。在两个分烟道底部设置烟气挡板，两个烟道在挡板后部又合并在一起，又经两个烟道

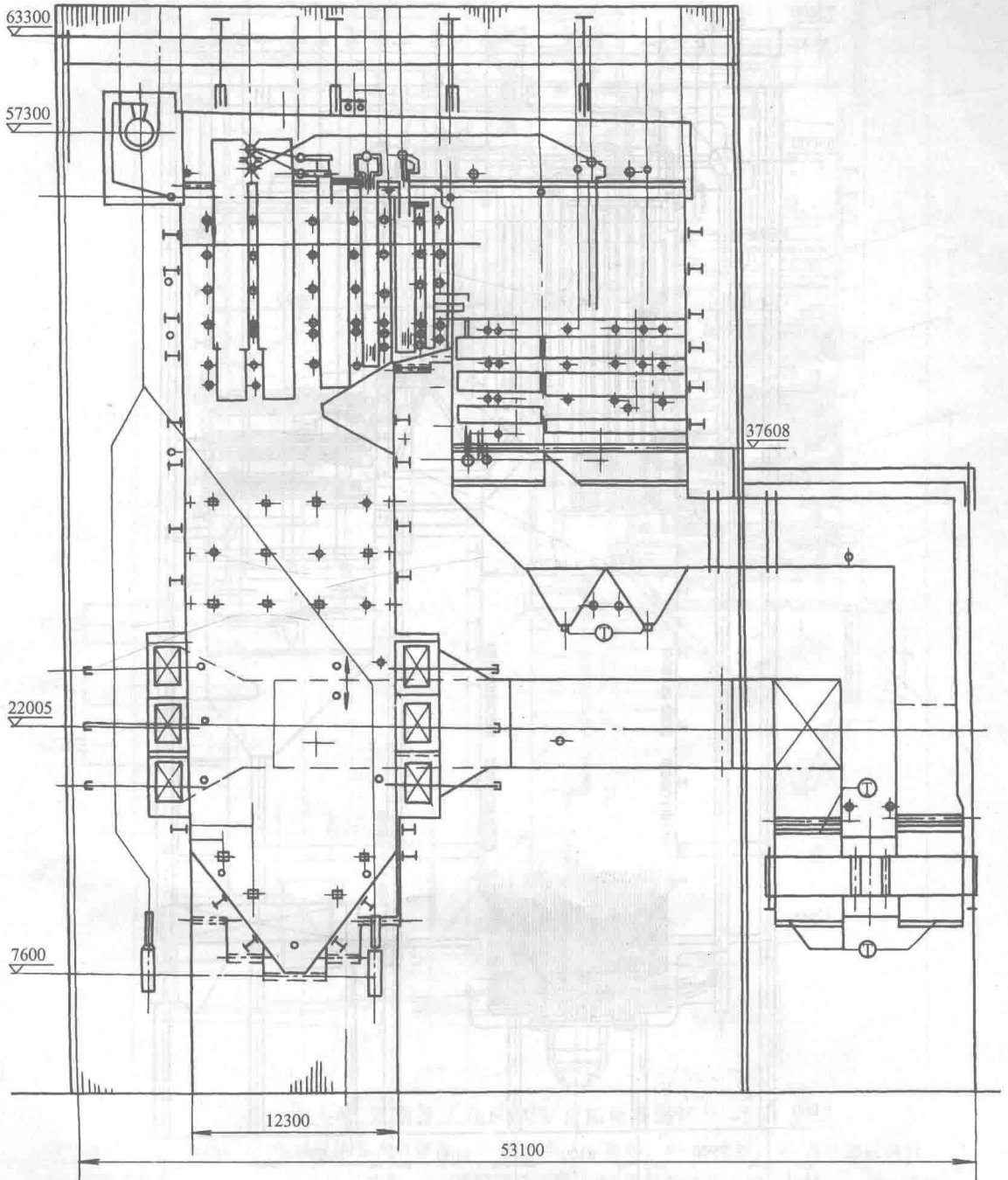


图 1-4 采用对冲燃烧的 300MW 锅炉

引入两台回转式空气预热器。

二、采用四角燃烧方式的 300MW 自然循环锅炉

图 1-5 是东方锅炉厂根据 CE 技术设计制造的亚临界压力 300MW 锅炉，采用四角切圆燃烧、自然循环、摆动式燃烧器调温方式。炉膛的宽、深、高分别为 13.335m、12.829m、54.300m，燃用西山贫煤和洗中煤的混煤。在炉膛四角布置 4 只摆动式直流燃烧器，燃烧器有 6 层一次风喷口，4 层油喷口，6 层二次风喷口，气流射出喷口后，在炉膛中央形成 $\phi 700$ 和 $\phi 1000$ 的两个切圆。

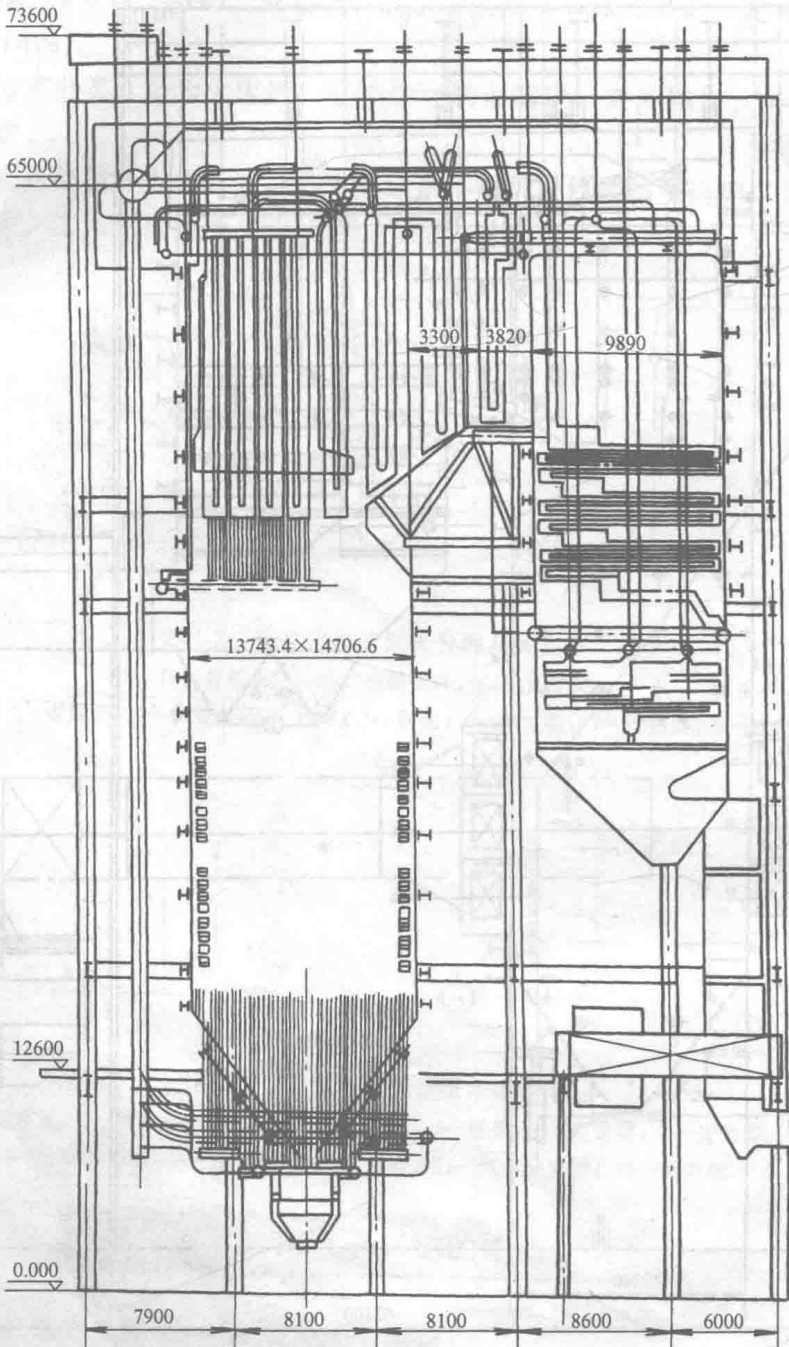


图 1-5 采用四角燃烧的 300MW 自然循环锅炉

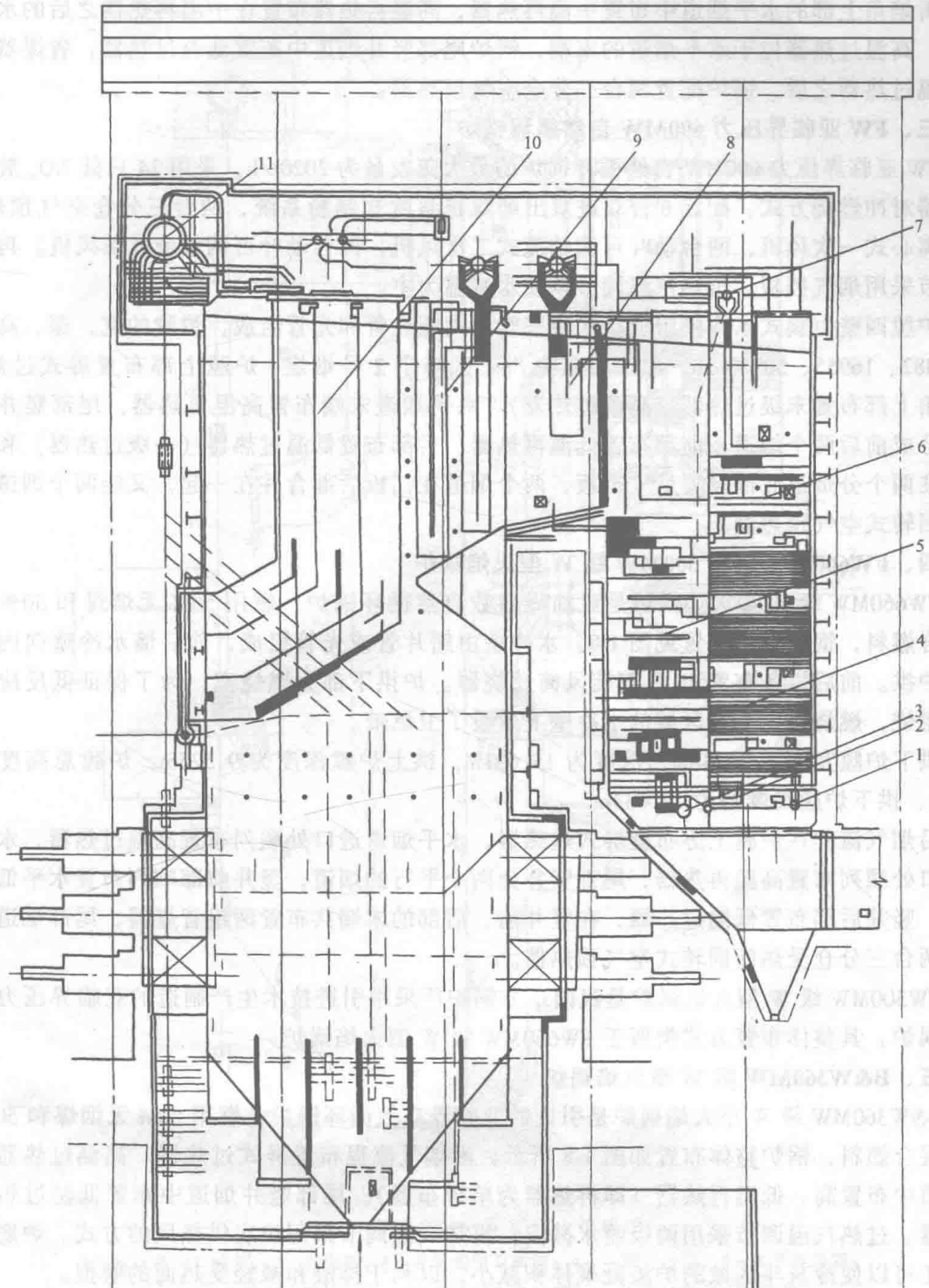


图 1-6 亚临界压力 600MW 自然循环锅炉

- 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—锅筒

炉膛四壁由膜式水冷壁组成，水冷壁管由内螺纹管和光管组成。在炉膛上部的前墙和部分两侧墙水冷壁的向火面上紧贴壁式再热器，炉膛上部空间悬吊着大屏过热器和后屏过热器，折焰角上部的水平烟道中布置中温再热器，高温再热器布置在中温再热器之后的水平烟道中，高温过热器位于水平烟道的末端，锅炉尾部竖井烟道中布置低温过热器，省煤器布置在低温过热器之后，锅炉配置两台三分仓空气预热器。

三、FW 亚临界压力 600MW 自然循环锅炉

FW 亚临界压力 600MW 自然循环锅炉的最大蒸发量为 2020t/h，采用 24 只低 NO_x 旋流式燃烧器对冲燃烧方式，配置 6 台双进双出磨煤机直吹式制粉系统，两台三分仓空气预热器，两台离心式一次风机，两台动叶可调轴流式二次风机，两台动叶可调轴流式引风机。再热汽温调节采用烟气挡板，过热汽温调节以喷水减温为主。

炉膛四壁由膜式水冷壁组成，水冷壁管由内螺纹管和光管组成，炉膛的宽、深、高分别为 21882、16955、50960mm，燃用山东兖州矿区济宁 2 号烟煤。炉膛上部布置屏式过热器，折焰角上部布置末级过热器（高温过热器）。水平烟道末端布置高温再热器，尾部竖井由分割墙分成前后两个烟道，前部布置低温再热器，后部布置低温过热器（一级过热器）和省煤器。在两个分烟道底部设置烟气挡板，两个烟道在挡板后部合并在一起，又经两个烟道引入两台回转式空气预热器。

四、FW660MW 级和 300MW 级 W 型火焰锅炉

FW660MW 级 W 型火焰锅炉是亚临界参数自然循环锅炉，燃用 50% 无烟煤和 50% 贫煤的混合燃料，锅炉整体布置见图 1-7。水冷壁由鳍片管或光管组成，前后墙水冷壁向内弯曲形成炉拱。前后拱各布置 18 只双旋风筒燃烧器。炉拱下部为燃烧室，为了保证低反应煤的稳定燃烧，燃烧室内部分区域的水冷壁上敷设了卫燃带。

拱下炉膛宽度为 34.48m，深度为 15.631m，拱上炉膛深度为 9.525m，炉膛总高度约为 50.8m，拱下炉膛高度约为 19.633m。

沿烟气流程在炉膛上方布置屏式过热器，水平烟道进口处顺列布置高温过热器，水平烟道出口处顺列布置高温再热器，尾部竖井为两个平行的烟道，竖井前部顺列布置水平低温再热器，竖井后部布置低温过热器，在竖井前、后部的末端共布置两组省煤器，尾部烟道末端布置两台三分仓受热面回转式空气预热器。

FW300MW 级 W 型火焰锅炉是我国东方锅炉厂采用引进技术生产制造的亚临界压力自然循环锅炉，其整体布置方式类似于 FW660MW 级 W 型火焰锅炉。

五、B&W360MW 级 W 型火焰锅炉

B&W360MW 级 W 型火焰锅炉是引进的亚临界自然循环锅炉，燃用 50% 无烟煤和 50% 贫煤的混合燃料，锅炉整体布置如图 1-8 所示。沿烟气流程布置屏式过热器、高温过热器，水平烟道中布置高、低温再热器（即再热器为单级布置），尾部竖井烟道中布置低温过热器和省煤器。过热汽温调节采用两级喷水减温，再热汽温调节采用炉底供热风的方式。炉底注入热风还可以使冷灰斗区域的炉渣凝聚体积减小，以利于排渣和减轻受热面的磨损。

六、600MW 控制循环锅炉

图 1-9 表示了哈尔滨锅炉厂设计制造的 600MW 控制循环锅炉的整体布置。其受热面布置与自然循环锅炉大致相同，不同的是水循环系统中增加了循环泵，水冷壁管径减小且入口装有节流圈。

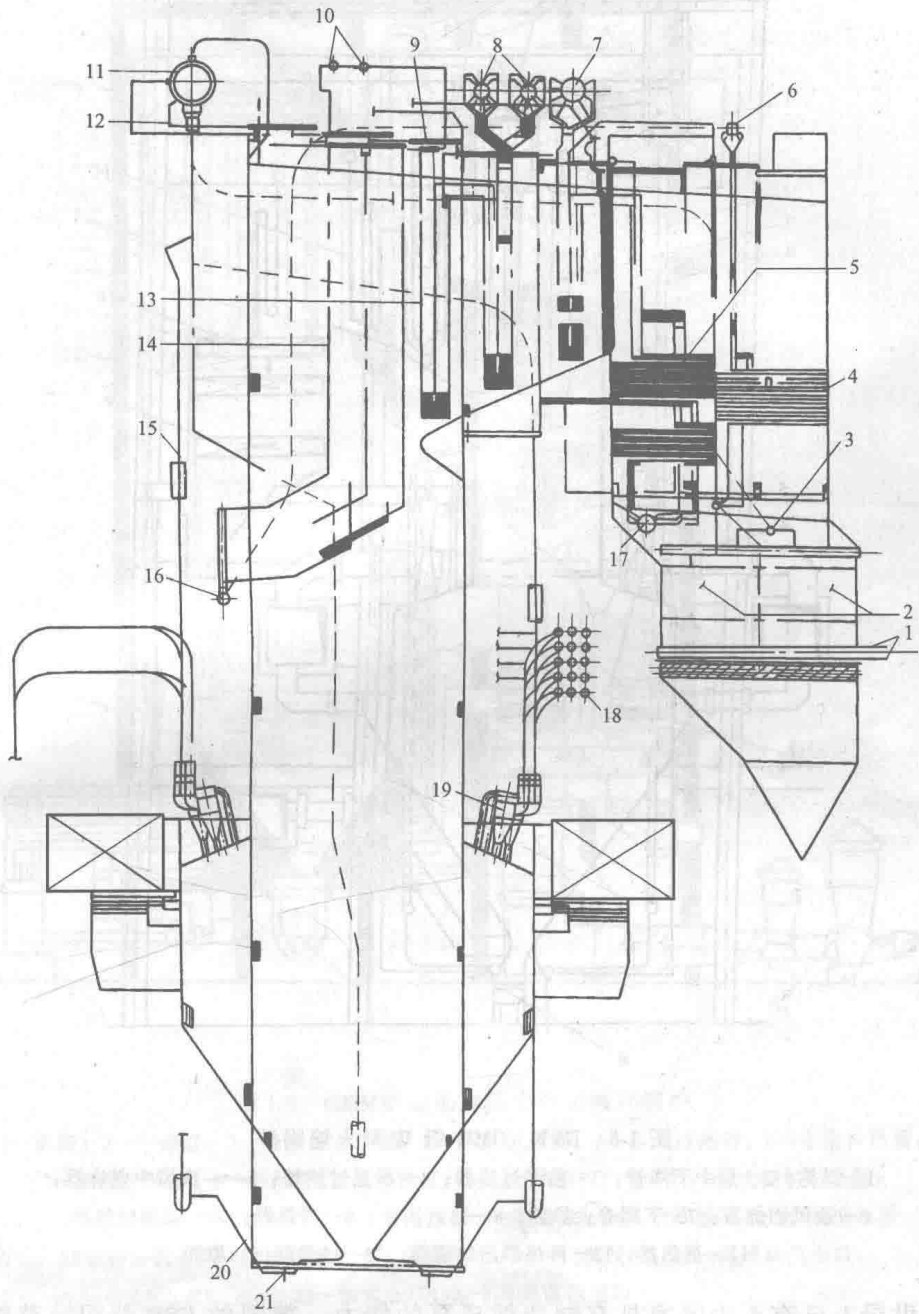


图 1-7 FW660MW 级 W 型火焰锅炉

- 1—省煤器进口联箱；2—省煤器；3—省煤器出口联箱；4—一级过热器；5—水平再热器；
 6—一级过热器出口联箱；7—垂直再热器出口联箱；8—末级过热器出口联箱；
 9—后屏过热器联箱；10—减温器；11—锅筒；12—给水导管；13—后屏过热器；
 14—辐射式再热器；15—下降管；16—混合联箱；17—水平再热器进口联箱；
 18—煤粉管道；19—煤粉浓缩器；20—分配水管；21—水冷壁下联箱