

8



樊泉桂 著



# 亚临界 与 超临界 参数锅炉



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 亚临界 与 超临界 参数锅炉

---

樊泉桂 著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 简 介

本书重点论述了亚临界与超临界参数锅炉的技术性能和运行特性,包括水动力特性、受热面系统布置与传热特性、汽温调节与汽温特性、运行方式与运行特性及调峰特性等内容;介绍了低负荷无油稳燃技术和低污染燃烧技术;阐述了W型火焰锅炉的燃烧技术、燃烧效率、调峰特性及动态特性等性能;分析了超临界参数下工质的热物理特性对水冷壁工作特性的影响;介绍了直流锅炉的启动系统及高效超临界机组的发展;阐述了红外动态火焰探测技术和可见光火焰探测技术的特点及工作原理;叙述和分析了大容量锅炉热力计算新方法。

本书可供从事亚临界与超临界参数锅炉设计、制造、运行工作的工程技术人员和科研人员参考,亦可作为高等院校热能动力工程专业的选修教材或教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

亚临界与超临界参数锅炉/樊泉桂著. —北京:中国电力出版社, 2000.9

ISBN 7-5083-0346-6

I. 亚… II. 樊… III. ①亚临界压力锅炉②超临界压力锅炉 IV. TK229

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第31089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>)

北京梨园印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

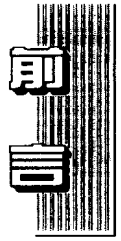
2000年8月第一版 2000年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10印张 224千字

印数 0001—2000册 定价 16.00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)



20世纪90年代，中国的电力工业发生了巨大变化。随着新技术和新设备的不断引进以及在工程上的应用，本书作者深刻地认识到，传统的专业理论知识已经不能完全适应专业技术发展的需要，专业理论的内容有必要更新和补充，有许多新的问题需要认识和研究。在不断积累素材和深化理论概念的过程中，作者萌发了写作本书的意念。为了使读者十分明确本书的选材对象和内容，书名确定为《亚临界与超临界参数锅炉》。本书是在对选修课教学内容进行加工提炼，不断探索、研究具有较新意义的分析方法和理论概念的基础上形成的，部分内容是作者近年来的研究成果。同时，也参考了最新出版的相关书籍和文献，综合了最新的研究成果。

本书的主要特点是：全面系统地分析亚临界和超临界参数机组锅炉的技术性能和运行特性；重点反映电站锅炉的新技术和新成果，试图从新的角度探索、研究亚临界与超临界参数锅炉的某些特殊问题；采用大量实际数据深化理论分析，使定性分析与定量分析关系相统一；本书的绝大部分内容与目前已经出版的相关书籍并不雷同。

21世纪，能源和动力行业将进入研究和开发高新科学技术，高效利用能源，控制污染物的排放量，保护生态环境的时代，以实现可持续发展的目标。所以，本书特别介绍了世界上高效超临界发电技术的发展动向。

限于作者的知识水平和本书涉及的许多新问题还需要深入研究，书中可能存在错误和不足，期待读者提出意见和建议。

作者

1999年12月1日

前 言

<b>第一章 亚临界与超临界参数锅炉的性能</b> .....	1
第一节 亚临界与超临界参数锅炉的性能要求 .....	1
第二节 亚临界参数锅炉的典型布置 .....	1
第三节 亚临界参数锅炉的汽包装置 .....	11
第四节 超临界参数锅炉的典型布置 .....	14
第五节 自然循环锅炉的技术性能 .....	19
第六节 控制循环锅炉的技术性能 .....	21
第七节 直流锅炉的技术性能 .....	22
第八节 复合循环锅炉的技术性能 .....	23
第九节 高效超临界机组的发展 .....	23
<b>第二章 亚临界与超临界参数锅炉的水动力及传热特性</b> .....	26
第一节 亚临界与超临界参数锅炉水动力特性概述 .....	26
第二节 亚临界自然循环锅炉的水动力与传热特性 .....	26
第三节 控制循环锅炉的水动力特性 .....	31
第四节 循环特性参数之间的关系 .....	32
第五节 超临界参数锅炉的水动力及传热特性 .....	33
<b>第三章 亚临界与超临界参数锅炉的受热面布置</b> .....	43
第一节 亚临界参数锅炉受热面布置的特点 .....	43
第二节 炉膛结构对锅炉性能的影响 .....	45
第三节 汽温调节方式与受热面传热特性 .....	52
第四节 过热器及再热器系统 .....	55
<b>第四章 大容量锅炉的燃烧技术</b> .....	63
第一节 低负荷无油稳燃技术 .....	63
第二节 低 NO <sub>x</sub> 燃烧技术 .....	66
<b>第五章 W 型火焰锅炉的燃烧技术和综合性能</b> .....	74

第一节	W型火焰锅炉的整体布置	74
第二节	W型火焰锅炉的技术特点	80
第三节	W型火焰锅炉的燃烧技术	82
第四节	W型火焰锅炉的汽温特性	87
第五节	变负荷过程的动态特性	89
<b>第六章</b>	<b>大容量锅炉热力计算方法分析</b>	<b>94</b>
第一节	现行方法的特点与问题	94
第二节	前苏联的炉膛换热计算新方法	95
第三节	辐射式过热器的传热计算方法	99
第四节	屏式过热器的传热计算方法	101
<b>第七章</b>	<b>直流锅炉的启动系统及运行特性</b>	<b>105</b>
第一节	直流锅炉启动系统的主要任务	105
第二节	800MW超临界参数机组的启动系统	106
第三节	500MW超临界参数机组的启动系统	109
第四节	500MW和800MW超临界参数机组的运行特性	111
第五节	600MW超临界参数机组的启动系统	113
第六节	600MW超临界参数机组的启动及运行特性	116
<b>第八章</b>	<b>调峰机组的变压运行</b>	<b>122</b>
第一节	调峰锅炉的主要问题	122
第二节	调峰机组的变压运行	124
第三节	几种典型锅炉的调峰性能	127
<b>第九章</b>	<b>亚临界参数锅炉的运行特性</b>	<b>129</b>
第一节	给水压力与温度变化的静态特性	129
第二节	过热蒸汽压力与温度变化的静态特性	130
第三节	再热蒸汽压力与温度变化的静态特性	135
第四节	蒸汽流量、燃料量及过量空气系数	137
第五节	亚临界参数机组的启动特性	138
<b>第十章</b>	<b>大容量锅炉的火焰探测技术</b>	<b>146</b>
第一节	火焰探测技术的发展及类型	146
第二节	红外动态火焰探测原理及系统组成	147
第三节	红外光谱火焰动态响应特性	148
第四节	可见光火焰探测系统组成及运行原理	151
<b>参考文献</b>		<b>154</b>

# 亚临界与超临界参数锅炉的性能

## 第一节 亚临界与超临界参数锅炉的性能要求

80年代以来,我国建设了一批以燃煤为主的亚临界与超临界参数大容量发电机组。引进及我国自行设计制造的各种类型的300、350、500、600MW和800MW级亚临界与超临界参数锅炉机组相继投入运行。从水循环方式看,自然循环锅炉和控制循环锅炉目前在我国电站锅炉中占多数,也有相当数量的直流锅炉和低倍率循环锅炉;从燃烧方式看,直流式燃烧器四角切圆燃烧方式和旋流式燃烧器对冲燃烧方式以及W型火焰燃烧方式成为目前电站锅炉燃烧方式的主流。传统技术的电站锅炉设备将逐渐被淘汰,取而代之的是高效利用能源、符合环境保护要求以及具有优良的运行性能的技术产品。因此当代意义上的电站锅炉的技术含量越来越大,性能要求越来越高。这些技术和性能要求的主要方面是:

- (1) 提高锅炉对多种煤质的适应性;
- (2) 锅炉低负荷运行时无油或少油燃烧的稳燃能力强;
- (3) 开发高效燃烧低反应煤的技术;
- (4) 降低污染物的生成量和排放量;
- (5) 过热汽温和再热汽温的调节灵活;
- (6) 能快速启停和快速变负荷,适应机组调峰的要求;
- (7) 减少水冷壁、过热器、再热器、省煤器的爆管事故和泄漏量;
- (8) 降低投资与运行成本,降低发电煤耗,提高电站循环热效率;
- (9) 可靠性高,承压部件寿命可达35年以上,受磨损的受热面8~10年;
- (10) 提高运行控制和管理的自动化程度;
- (11) 提高金属材料的耐高温、耐腐蚀、耐磨损和高强度性能;
- (12) 提高超临界参数机组的可靠性以及实现国产化。

追求高性能的技术设备既是世界性的研究课题,也是国内的专业研究课题。在实现亚临界与超临界参数锅炉机组的国产化过程中,研究和开发新技术,使国产锅炉机组的性能达到上述的要求水平,还需要做大量工作。

## 第二节 亚临界参数锅炉的典型布置

### 一、亚临界参数锅炉的容量和参数

亚临界参数锅炉的容量和参数见表1-1。

表 1-1

亚临界压力锅炉的容量和参数

机组功率 (MW)	300	300	300	600	600	500
循环方式	自然循环	控制循环	自然循环	自然循环	控制循环	低倍率循环
过热蒸汽流量 MCR	1025	1025	1025	2026.8	2008	1650
再热蒸汽流量 (t/h)	860	834.8	823.8	1704.2	1634	1481
过热蒸汽压力 (MPa)	18.2	18.3	18.3	18.19	18.22	17.46
再热蒸汽进口压力 (MPa)	4.00	3.83	3.82	4.3	3.49	4.21
再热蒸汽出口压力 (MPa)	3.79	3.62	3.66	4.176	3.31	4.0
过热蒸汽温度 (°C)	540	541	540	540.6	540.6	540
再热蒸汽进口温度 (°C)	330	322	316	313.03	13.3	333
再热蒸汽出口温度 (°C)	540	541	540	540.6	540.6	540
给水温度 (°C)	276	281	278	276	278.33	255
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	对冲燃烧
制造厂	东方锅炉厂	上海锅炉厂	北京 B&W 公司	加拿大 B&W 公司	哈尔滨锅炉厂	捷克斯可达公司

## 二、亚临界参数锅炉的主要类型

从燃烧方式来看,国内现有的 300MW 和 600MW 级亚临界参数锅炉主要是两种技术形式:一种是四角切圆燃烧方式,另一种是对冲燃烧方式。四角燃烧锅炉多数采用摆动式燃烧器调节再热汽温,也可采用烟气挡板和其他调温方式。而对冲燃烧锅炉采用旋流式燃烧器,多数采用烟气挡板调节再热汽温。从循环方式来看,主要有四种技术形式:自然循环、控制循环、复合循环或低倍率循环方式以及纯直流方式。四角燃烧锅炉的循环方式趋于多样化,上述四种形式都占相当数量。而对冲燃烧锅炉多数采用自然循环方式。从受热面系统布置来看,对于采用摆动式燃烧器调温的锅炉,烟道中的主受热面系统布置大致上形成了两种形式:一种是过热器和再热器都采用辐射+对流式的系统;另一种是过热器采用辐射+对流式的系统,再热器采用对流式系统。从锅炉炉型结构看,有倒 U 型(或称 II 型)布置、塔型布置和 W 型火焰炉型布置。本章介绍典型的倒 U 型和塔式锅炉的整体布置形式,W 火焰炉型的整体布置将在第五章中介绍。

## 三、采用对冲燃烧方式的 300MW 自然循环锅炉

### 1. 锅炉整体布置形式

图 1-1 是北京巴威公司采用 B&W 技术设计制造的亚临界压力与 300MW 机组配用的锅炉,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、深度和高度(前后墙水冷壁下联箱到顶棚管中心线的距离)分别为 13350mm、12300mm 和 46400mm。燃用山西晋中贫煤,炉膛容积热负荷为  $440.2 \times 10^3 \text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ,炉膛断面热负荷为  $18.43 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。在炉膛的前后墙各布置三层双调风旋流式燃烧器,每层 4 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。



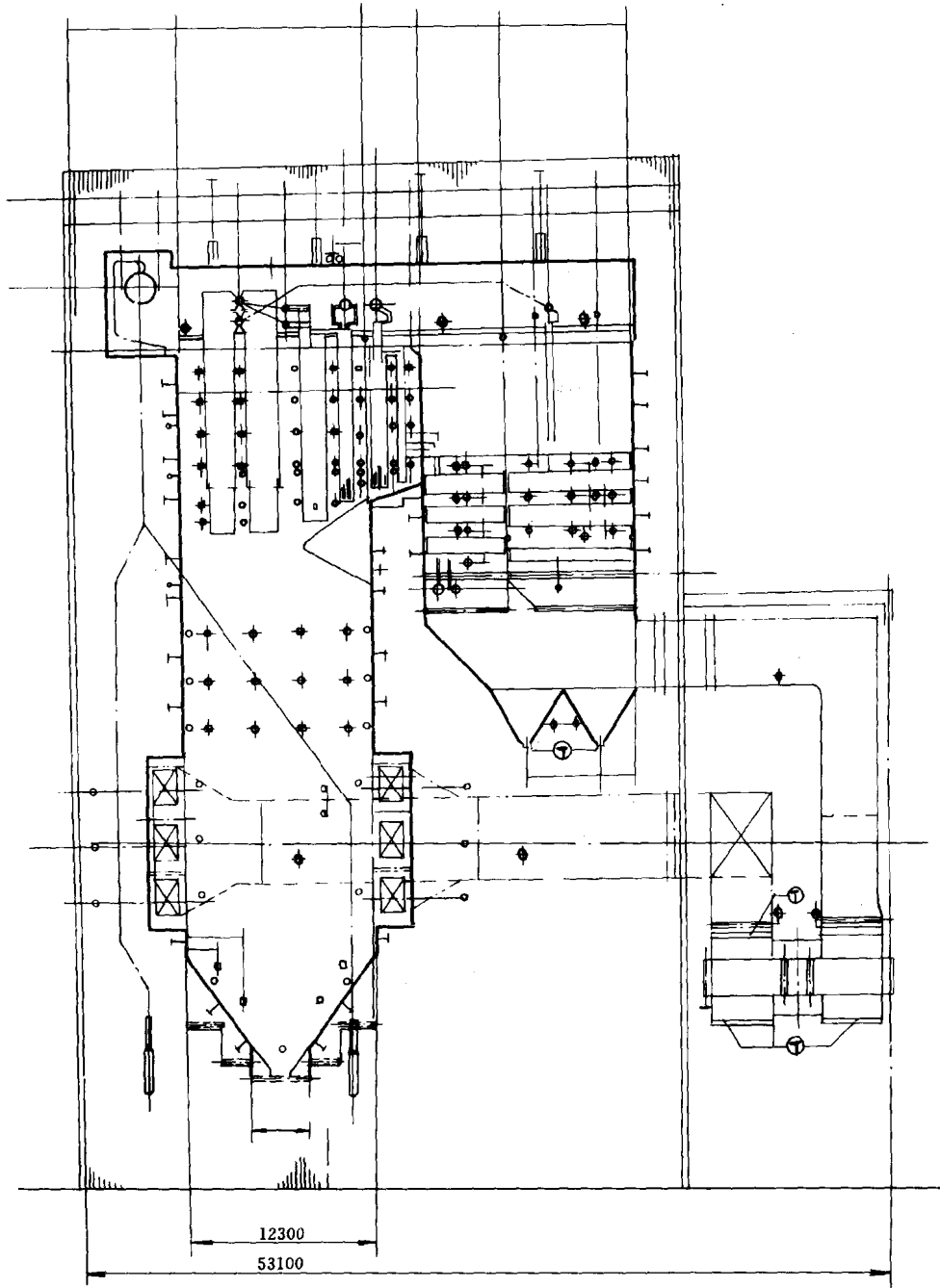


图 1-1 对冲燃烧 300MW 自然循环锅炉

## 2. 受热面结构

水冷壁管总数为 680 根，管子节距为 75mm。管子规格为  $\phi 60 \times 7\text{mm}$  的内螺纹管和  $\phi 60 \times 7.5\text{mm}$  的光管，水冷壁管材料为 20G。4 根大直径下降管分别布置在汽包的两端封头下部和汽包底部靠近端头的部位。汽包封头部位的下降管规格为  $\phi 457.2 \times 50\text{mm}$ ，汽包底部的下降管规格为  $\phi 533.4 \times 55\text{mm}$ 。供水分配管 92 根，规格为  $\phi 133 \times 16\text{mm}$ ，20G。汽

水引出管 124 根,  $\phi 133 \times 16\text{mm}$ , 20G。

下降管布置在汽包封头部位的特点是: 汽包内的水向汽包两端头单向流动, 可避免锅水相向流动造成的大直径下降管入口的旋涡漏斗; 汽包内的水向汽包两端头单向流动, 可使从省煤器来的给水与汽包内的饱和水加强混合, 这样, 汽包水室各处的水温分布趋向均匀, 可提高汽包下壁面加热的均匀性, 有利于减小汽包的局部壁温差; 大直径下降管可从锅炉两侧直接向后墙水冷壁和侧墙后部水冷壁供水, 既可减少下降管的弯头数量, 又可使给水分配管布置均匀, 从而改善循环回路的阻力分布特性。

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, 尾部竖井由分隔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, 又经两个烟道引入两台回转式空气预热器。

一级过热器布置在尾部竖井烟道的后部, 由三个水平管组和一个垂直管组组成。水平管组的管子外径为  $\phi 51$ , 壁厚为  $6 \sim 8\text{mm}$ , 材质为 20G、15CrMo 及部分 12Cr1MoV, 3 管圈并绕, 沿炉宽布置 118 片, 管组横向节距为  $s_1 = 112.5\text{mm}$ , 由省煤器管悬吊。垂直布置的出口管组由  $\phi 51 \times 8\text{mm}$ , 12Cr1MoV,  $s_1 = 225\text{mm}$ , 6 管圈并绕, 沿炉宽布置 8 片, 分前后两束布置。

大屏过热器位于炉膛上部, 由外径  $51\text{mm}$ , 壁厚  $6 \sim 9\text{mm}$ , 材质 15CrMo、12Cr1MoV、12Cr2MoWVTiB 及部分壁厚  $7.5\text{mm}$  的 SA-213TP304H 的钢管组成, 36 管圈并绕,  $s_1 = 1350\text{mm}$ , 分前后两束, 沿炉宽布置 8 片。采用大节距布置, 可增强受热面的辐射传热能力, 并防止相邻管屏搭接渣桥。为保证管屏横向节距, 从大屏入口联箱引出两根  $\phi 51$  的管子伸进炉膛, 在管组下部将 8 片屏固定, 定位管引出顶棚后直接进入二级过热器出口集箱。

二级过热器布置在折焰角上方, 由后屏过热器和高温过热器两部分管组组成。后屏管组由管径  $51\text{mm}$ , 壁厚  $6 \sim 9\text{mm}$ , 15CrMo、12Cr1MoV、12Cr2MoWVTiB 等材质的钢管组成。14 管组并绕, 沿炉宽布置 22 片,  $s_1 = 600\text{mm}$ , 顺流传热。后屏过热器的固定装置是一根从进口联箱引出的  $\phi 51$  的管子, 此管出顶棚后进入二级过热器出口联箱。高温过热器管组由外径  $\phi 51$ , 壁厚  $8 \sim 10\text{mm}$ , 12Cr1MoV、12Cr2MoWVTiB 和部分壁厚  $7.5\text{mm}$  的 SA-213TP304H 钢管组成。7 管圈并绕,  $s_1 = 300\text{mm}$ , 出口管束的蒸汽温度较高, 为了减少辐射热量, 保护高温管束, 故将出口管束夹在中间。高温过热器管组沿炉膛宽度布置 22 片。

过热汽温的调节采用二级喷水减温。第一级减温器布置在一级过热器和大屏过热器的连接管道内, 第二级减温器布置在大屏过热器出口联箱和后屏过热器进口联箱之间。

低温再热器有四个水平管组, 由  $\phi 60 \times 5\text{mm}$ , 20G 和少量 15CrMo 钢管组成,  $s_1 = 112.5\text{mm}$ , 4 管圈并绕, 沿炉宽布置 118 片。过渡管组由  $\phi 60 \times 4.5\text{mm}$ 、15CrMo 钢管组成,  $s_1 = 225\text{mm}$ , 8 管圈并绕, 沿炉宽布置 59 片, 与垂直布置的高温再热器相连。

高温再热器由  $\phi 60$ , 壁厚  $4.5 \sim 6\text{mm}$ , 15CrMo、12Cr1MoV、SA-213T22、12Cr2MoWVTiB、SA-213TP304H 的钢管组成,  $s_1 = 225\text{mm}$ , 8 管圈并绕, 沿炉宽布置 59

片。低温再热器最下方的一组管束与高温再热器烟气进口处的一组管束对应连接，其余依次连接。这种连接方式的优点是将温度较低的蒸汽引至烟温较高区域的受热面管束中。显然，可以降低烟气进口处的一组高温再热器管束的管壁温度。

过热器和再热器系统的流程参见第三章。

省煤器布置在尾部竖井烟道的一级过热器之后，采用逆流传热方式布置。水平管组由 $\phi 51 \times 6\text{mm}$ ，20G组成， $s_1 = 112.5\text{mm}$ ，2管圈并绕，沿炉宽布置118片，由水平管组向上延伸的两排垂直悬吊管由 $\phi 60 \times 9\text{mm}$ ，15CrMo的钢管组成，穿过顶棚，分别进入省煤器前后上联箱。给水由给水管道从锅炉左侧引入省煤器下联箱，省煤器出口水经出口联箱由左右两根导水管引入汽包。

空气预热器为三分仓回转式，转子直径为10330mm。

#### 四、采用四角燃烧方式的300MW自然循环锅炉

##### 1. 锅炉整体布置形式

图1-2是东方锅炉厂根据CE技术设计制造的亚临界压力与300MW机组配用的锅炉，采用四角切圆燃烧、自然循环、摆动式燃烧器调温方式。炉膛的宽度、深度和高度分别为13335mm、12829mm和54300mm，燃用西山贫煤和洗中煤的混煤。炉膛容积热负荷为 $389 \times 10^3 \text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ，炉膛断面热负荷为 $17.13 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。在炉膛四角布置四只摆动式直流燃烧器，燃烧器设置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。

##### 2. 受热面结构

炉膛由膜式水冷壁组成，水冷壁管由内螺纹管和光管组成，管子节距为76.2mm。662根管子分为24个管组，前后墙和两侧墙各布置6组，与6根大直径下降管连接，形成6个独立的循环回路。

锅炉的顶棚、水平烟道的两侧墙、尾部竖井烟道都由过热器管包覆。在炉膛上部的前墙和部分两侧墙水冷壁的向火面上紧贴有壁式再热器，前墙布置239根，两侧墙各布置122根，节距50.8mm，炉膛切角处不布置。

炉膛上部空间悬吊着大屏过热器和后屏过热器，大屏过热器采用大节距布置，相邻两片屏的间距为2743.2mm，管子纵向节距为61mm，沿炉宽布置4片，为了减小热偏差，每片屏分4个小屏，14管圈并绕。后屏过热器的横向节距为685.8mm，纵向节距为64mm，13管圈并绕，沿炉宽布置19片。

折焰角上部的水平烟道中布置中温再热器，管子横向节距为457.2mm，纵向节距为70mm，14管圈并绕，沿炉宽布置29片。

高温再热器布置在中温再热器之后的水平烟道中，其横向节距为228.6mm，纵向节距120mm，共64片，7管圈并绕。

高温过热器位于水平烟道的末端，共84片，横向节距为171.45mm，纵向节距为102mm，6管圈并绕。

锅炉尾部竖井烟道中布置低温过热器，沿炉宽布置112排，由3个水平管组和一个垂直管组组成，横向节距为130mm，纵向节距为114mm，5管圈并绕。

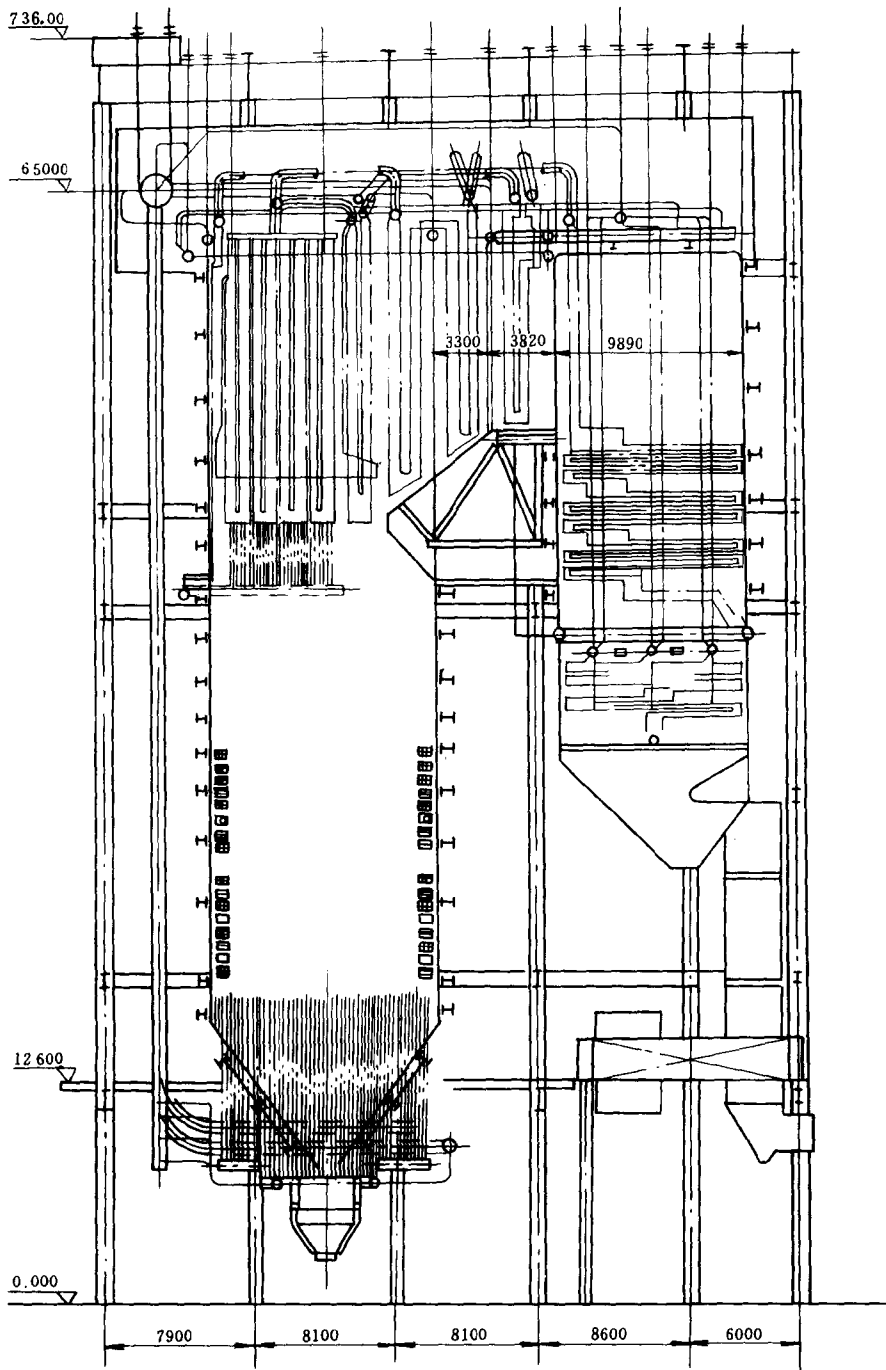


图 1-2 四角燃烧 300MW 自然循环锅炉

省煤器布置在低温过热器之后，横向排数为 92 排，顺列布置，横向节距为 128mm，纵向节距为 102mm，3 管圈并绕。

锅炉配置两台三分仓空气预热器，转子直径 10320mm。

过热器和再热器系统流程在第三章中叙述。

过热汽温的调节采用三级喷水减温。第一级布置在低温过热器和大屏过热器的连接管道上，第二级布置在大屏出口联箱和后屏进口联箱的左右连接管道上，第三级布置在后屏出口联箱和高温过热器左右连接管道上。一级喷水用于粗调，当高温加热器切除时，喷水量剧增，此时应增大一级减温水量，防止大屏和后屏以及高温过热器超温；三级喷水作为微调并调节过热汽温的左右偏差；二级喷水作为备用。

为了保证管屏间距和管子的自由膨胀，在管屏间设置定位管和滑块，定位管由蒸汽冷却。

锅炉各部分受热面的材料见表 1-2。

表 1-2 锅炉各部分受热面的材料

受热面	管子规格 (mm)	管子材料	允许温度 (℃)
水冷壁	φ63.5×7.5	SA-210G	480
前屏过热器	φ51×6	12Cr1MoV \ SA-213TP304H	580 \ 704
壁式再热器	φ60×4	12CrMo	540
后屏过热器	φ54×8.5/9 φ60×8/8.5	12Cr1MoV 钢研 102	600~620
中温再热器	φ60×4	12CrMoV \ 15CrMo	560 \ 560
高温再热器	φ60×4	钢研 102 \ SA-213TP304H	600~620 \ 704
高温过热器	φ51×8/9	12Cr1MoV \ 钢研 102	
低温过热器	φ51×7	12Cr1MoV	
省煤器	φ51×6	SA-210C	480

## 五、300MW 控制循环锅炉

### 1. 与自然循环锅炉的区别

图 1-3 表示了上海锅炉厂按 CE 技术设计制造的 300MW 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且水冷壁管径减小（详见第二章）。本章不再对其受热面结构与布置进行叙述，仅介绍炉水循环泵。

### 2. 控制循环泵的结构

目前，世界上已有不少国家具有制造循环泵的能力，如德国的 KSB 公司、英国的海伍德-泰勒公司、日本的三菱公司和美国的 CE-KSB 公司，中国沈阳水泵厂和哈尔滨电机厂引进了德国 KSB 的全套设计与制造技术，并取得 KSB 合格认可。国产引进型循环泵已经投入运行。

图 1-4 (a) 为英国 Tyier 泵的剖视图，图 1-4 (b) 为德国 KSB 泵的剖视图。

循环泵结构的主要特点是将泵的叶轮和电机转子装在同一主轴上，置于相互连通的密封压力壳体内，使泵与电动机结合成一体，避免了泵的泄漏问题。电机运行中产生的热量由高压冷却水带走，因此，泵体内的电动机必须配有冷却水系统。从图 1-4 中可以看出，两种泵的出口管结构并不相同，KSB 型泵出口管两侧沿径向对称布置，泵壳为球体，

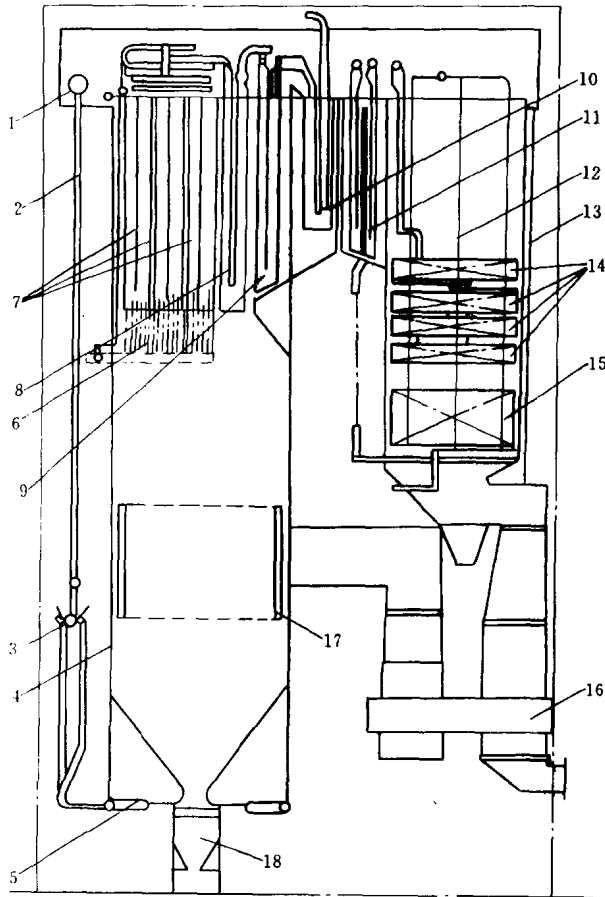


图 1-3 300MW 控制循环锅炉

1—汽包；2—下降管；3—循环泵；4—水冷壁；5—下水包；6—墙式再热器；7—分隔屏过热器；8—后屏过热器；9—屏式再热器；10—末级再热器；11—末级对流过热器；12—省煤器悬吊管；13—尾部烟道后墙包覆管；14—低温对流过热器；15—省煤器；16—回转式空气预热器；17—燃烧器；18—除渣装置

### 1. 整体布置形式

图 1-6 是 500MW 亚临界参数低倍率循环塔型锅炉。

炉膛宽度为 19.44m，炉膛深度为 15.3m，锅炉总高度 114m。在炉膛出口标高 64.79m 以下布置膜式水冷壁，标高 64m 至标高 102m 布置膜式壁式过热器，在标高 52.34m 至标高 62m 处的膜式水冷壁外侧覆盖壁式过热器。在炉膛出口以上的烟道中沿烟气流方向依次水平布置三级过热器、四级过热器、二级再热器、二级过热器、一级再热器及省煤器。悬吊管和所有的壁式过热器作为一级过热器。

### 2. 水循环系统

水循环系统采用低倍率循环方式，循环倍率为 1.25~1.4。汽水流程设置为两个独立的流路，每个流路设一组汽水分离器。在两组分离器的水侧之间由  $\phi 133 \times 10\text{mm}$  的连通管连接，以平衡两路分离器的水位偏差。

球体内腔大，与叶轮流向不吻合，结构比较笨重。但泵壳体壁薄，热应力较小。Tyier 型泵出口管两侧切向布置，泵壳体内腔与叶轮流向紧密吻合，结构比较紧凑。

## 六、采用四角燃烧方式的 600MW 控制循环锅炉

### 1. 整体布置

图 1-5 是由哈尔滨锅炉厂采用 CE 技术设计制造的 600MW 亚临界控制循环锅炉，采用四角双切圆燃烧，假想切圆直径为  $\phi 1884.2$  和  $\phi 1771.4$ ；摆动式燃烧器调温方式；炉膛宽度、深度和高度分别为 18.542m、16.432m 和 65.351m；炉膛断面热负荷为  $5.64 \times 10^6 \text{W/m}^2$ ，炉膛容积热负荷为  $96.25 \times 10^3 \text{W/m}^3$ ；燃用烟煤。

### 2. 水循环系统

采用三台循环泵组成控制循环系统，水冷壁采用内螺纹管，水冷壁管入口装有节流圈，600MW 控制循环锅炉的受热面系统布置将在第三章中介绍。

## 七、500MW 塔型布置低倍率循环锅炉

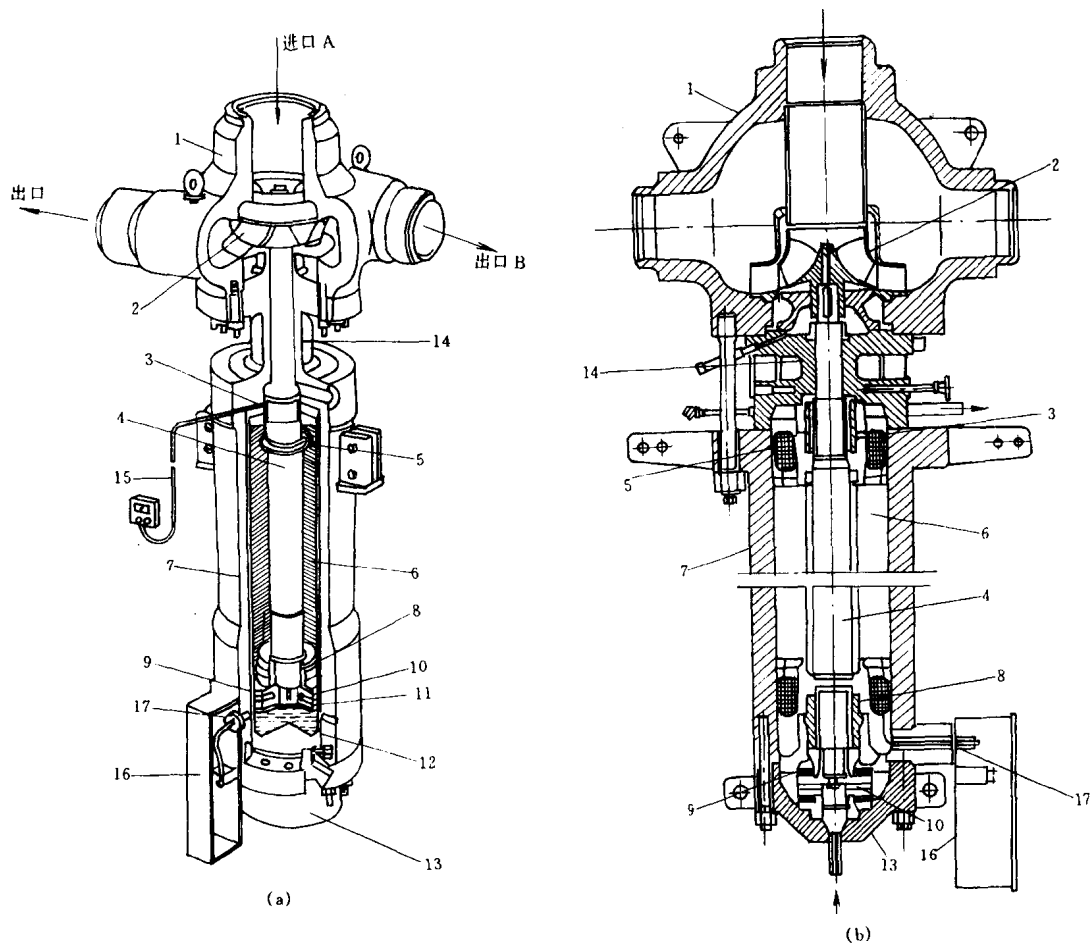


图 1-4 Tyier 泵与 KSB 泵的剖视图

(a) Tyier 泵; (b) KSB 泵

- 1—泵壳; 2—叶轮; 3—上端轴承; 4—主轴; 5—定子线圈端部; 6—定子线圈断面; 7—电动机外壳;  
 8—下端轴承; 9—推力轴承推力块; 10—辅助叶轮; 11—推力盘; 12—滤网; 13—电动机下座盖;  
 14—隔热体; 15—温度报警指示器; 16—接线盒; 17—引线密封

水冷壁出口的汽水混合物进入汽水分离器，分离器分离出来的水经循环泵加压后，送入三通混合器。分离器分离出来的饱和蒸汽进入一级过热器。给水经省煤器加热后，通过三通混合器，与来自分离器出口的饱和水混合后，进入水冷壁。

6 台循环泵布置在 6m 平台上，每个汽水流路配置 3 台循环泵，其中 1 台作为备用。

汽水分离器为外置式，直径为  $\phi 950$ ，高度约 30m，分离器水位在 13m 处，正常波动 0.5m。最大水位高度 16m，最低水位高度 10m。当水位高于 24m 或低于 2m 时，循环泵跳闸。

水冷壁采用光管结构，直径为  $\phi 32 \times 6.3\text{mm}$ ，入口装有不同孔径的节流圈。

### 3. 塔型布置锅炉的主要特点

(1) 过热器和再热器水平布置，易于疏水，可减轻停炉后因蒸汽凝结导致的管子内壁

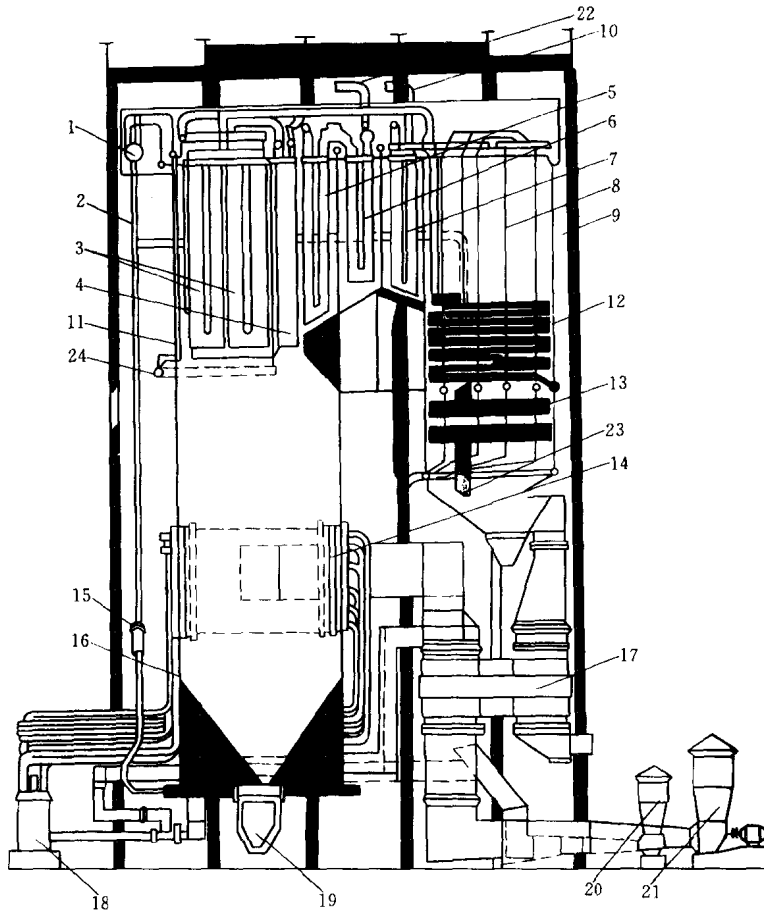


图 1-5 600MW 亚临界控制循环锅炉

1—汽包；2—下降管；3—分隔屏过热器；4—后屏过热器；5—屏式过热器；6—末级再热器；7—末级过热器；8—悬吊管；9—包覆管；10—过热蒸汽出口；11—墙式辐射过热器；12—低温过热器；13—省煤器；14—燃烧器；15—循环泵；16—水冷壁；17—空气预热器；18—磨煤机；19—除渣装置；20—一次风机；21—二次风机；22—再热蒸汽出口；23—给水进口；24—再热蒸汽进口

腐蚀，并且在启动过程中不会造成水塞。

(2) 烟气向上流动的过程中，大颗粒的飞灰受重力作用，灰粒速度低于气流速度，根据试验结果，灰粒速度大约低于气流速度  $1\text{m/s}$ ，一般省煤器处的平均烟气速度为  $7.25\text{m/s}$ ，则灰粒速度为  $6.25\text{m/s}$ 。由于磨损量与灰粒速度的 3.5 次方成正比，按此数据计算，磨损量可减少 40%。对于 600MW 锅炉，为了提高受热面的传热能力，省煤器处的平均烟气流速设计为  $9\text{m/s}$ ，则灰粒速度为  $8\text{m/s}$ ，磨损量也能减少 30%。与此同时，避免了烟气流动折向飞灰浓度局部提高所引起的局部磨损加剧。由此可见，塔型布置对减轻受热面磨损效果十分显著。

(3) 占地面积小，但锅炉高度提高，安装、运行及检修费用将提高。



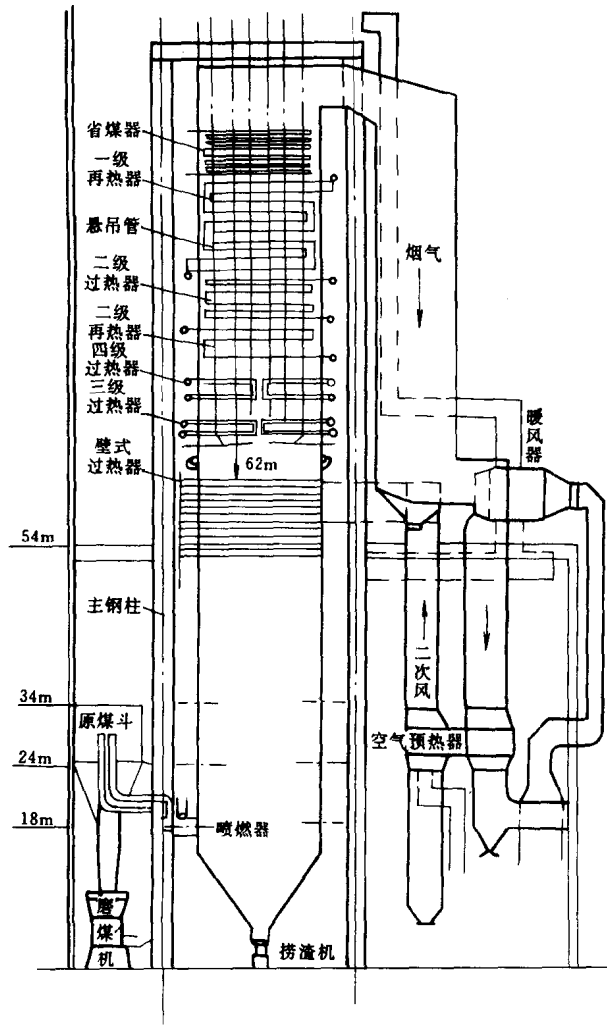


图 1-6 500MW 低倍率循环塔型锅炉

### 第三节 亚临界参数锅炉的汽包装置

#### 一、亚临界参数自然循环锅炉的汽包装置

亚临界参数自然循环锅炉的汽包装置的主要特点是：

- (1) 汽包内部一般不设置蒸汽清洗装置。
- (2) 汽包体积相对减小。

(3) 为了减小汽包的热应力，汽包下半部设置汽水混合物夹层，将省煤器给水、炉水与汽包壁隔开，尽量减小汽包上下壁温差。为避免夹层内水层停滞过冷，必须使夹层内汽水混合物处于流动状态。

图 1-7 是 B&W1160t/h 亚临界参数自然循环锅炉的汽包装置。图 1-8 是 DG1025 t/h 亚临界参数自然循环锅炉的汽包装置。图 1-9 是 FW1025 t/h 亚临界参数自然循环锅炉的