

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 (℃)	540	541	540	540.6	540.6	540
再热蒸汽进口温度 (℃)	330	322	316	313.03	13.3	333
再热蒸汽出口温度 (℃)	540	541	540	540.6	540.6	540
给水温度 (℃)	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。

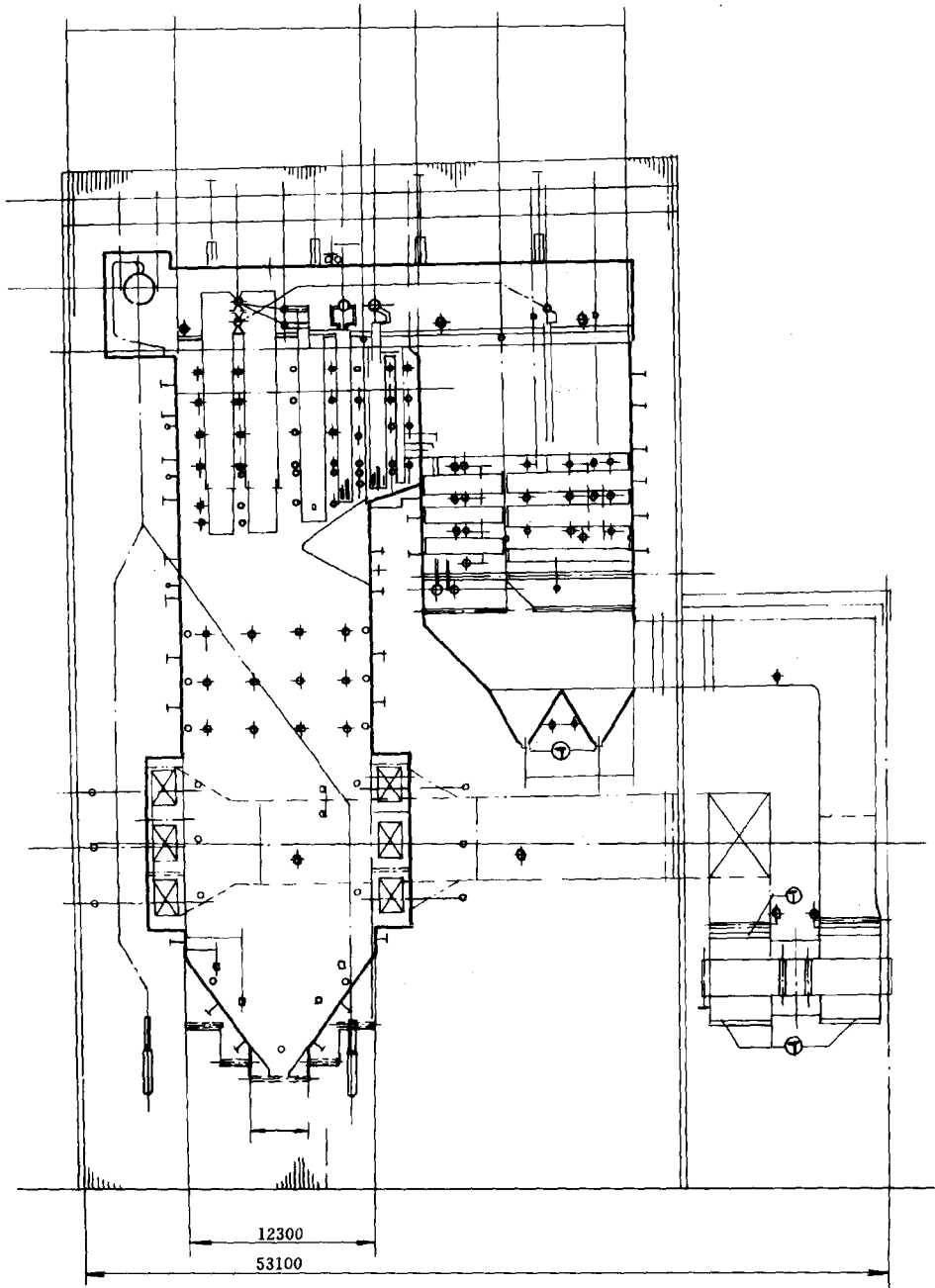


图 1-1 对冲燃烧 300MW 自然循环锅炉

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 51mm ，壁厚 $6 \sim 9\text{mm}$ ，材质 15CrMo、12Cr1MoV、12Cr2MoWVTiB 及部分壁厚 7.5mm 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 51mm ，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 7.5mm 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， $s_j = 112.5\text{mm}$ ，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。

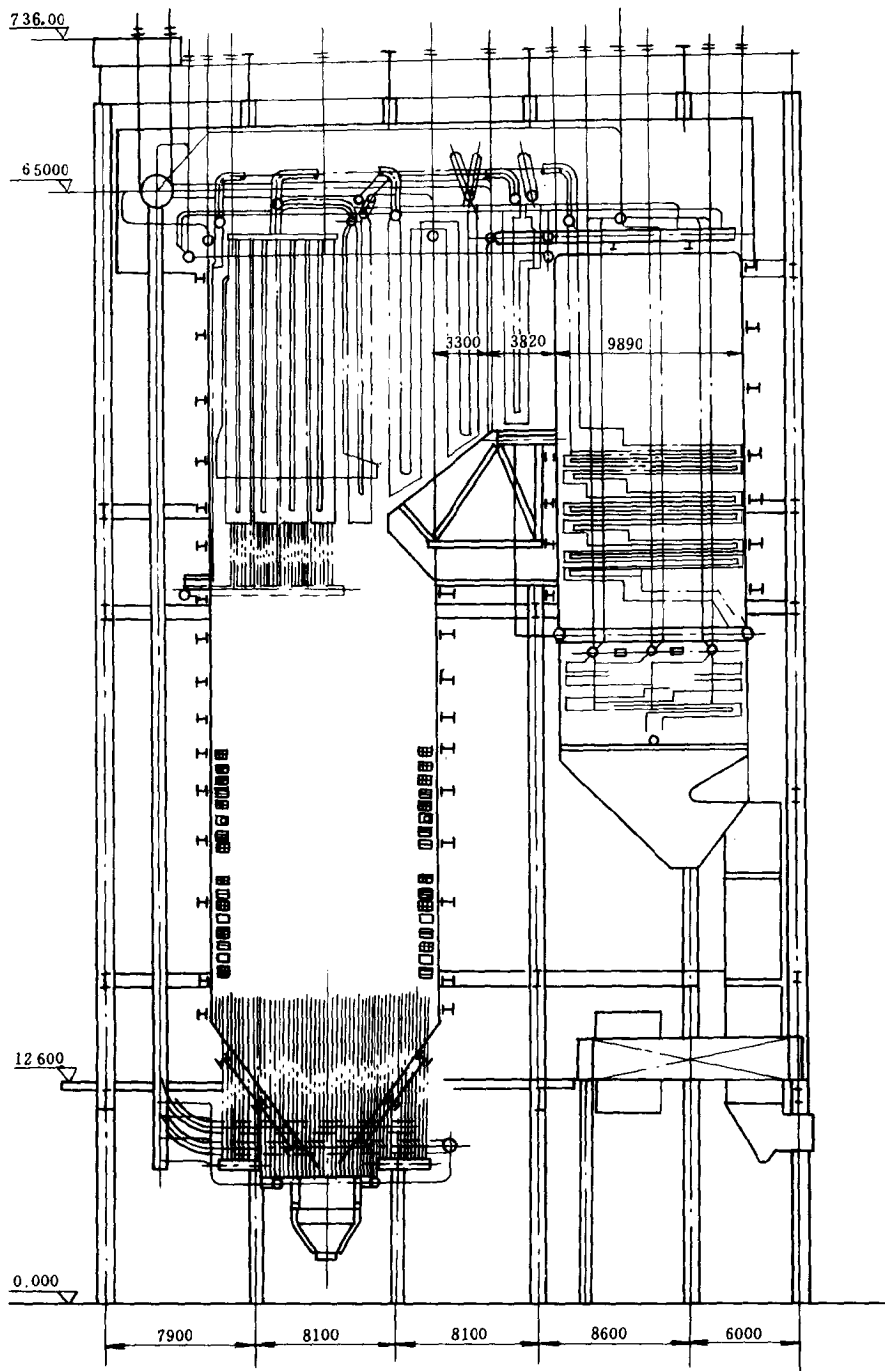


图 1-2 四角燃烧 300MW 自然循环锅炉

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 (°C)
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，

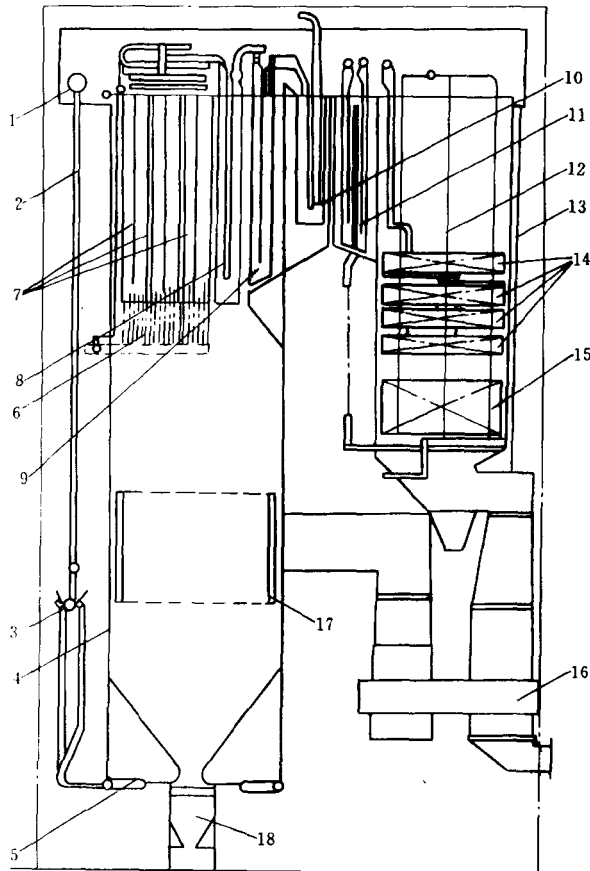


图 1-3 300MW控制循环锅炉

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程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 $5.64 \times 10^6 \text{W}/\text{m}^2$ ，炉膛容积热负荷为 $96.25 \times 10^3 \text{W}/\text{m}^3$ ；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

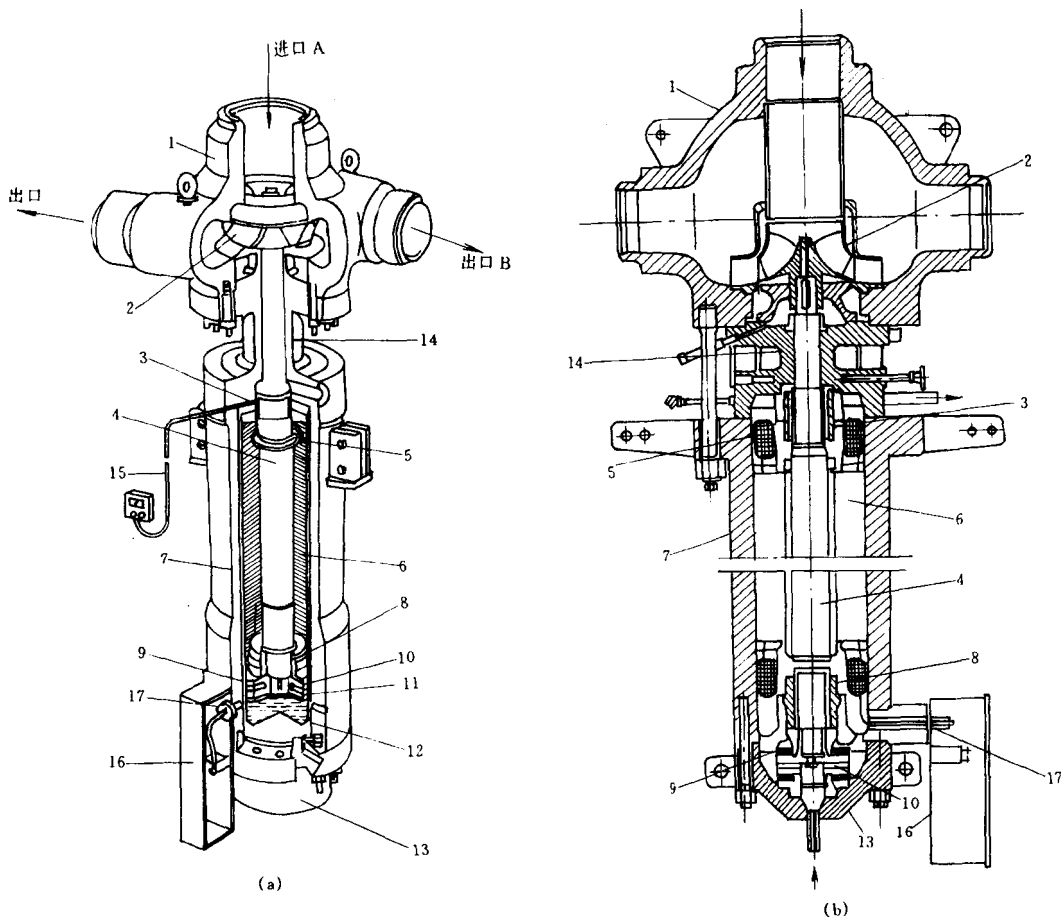


图 1.4 Tyier 泵与 KSB 泵的剖视图

(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 $\phi 32 \times 6.3\text{mm}$ ，人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

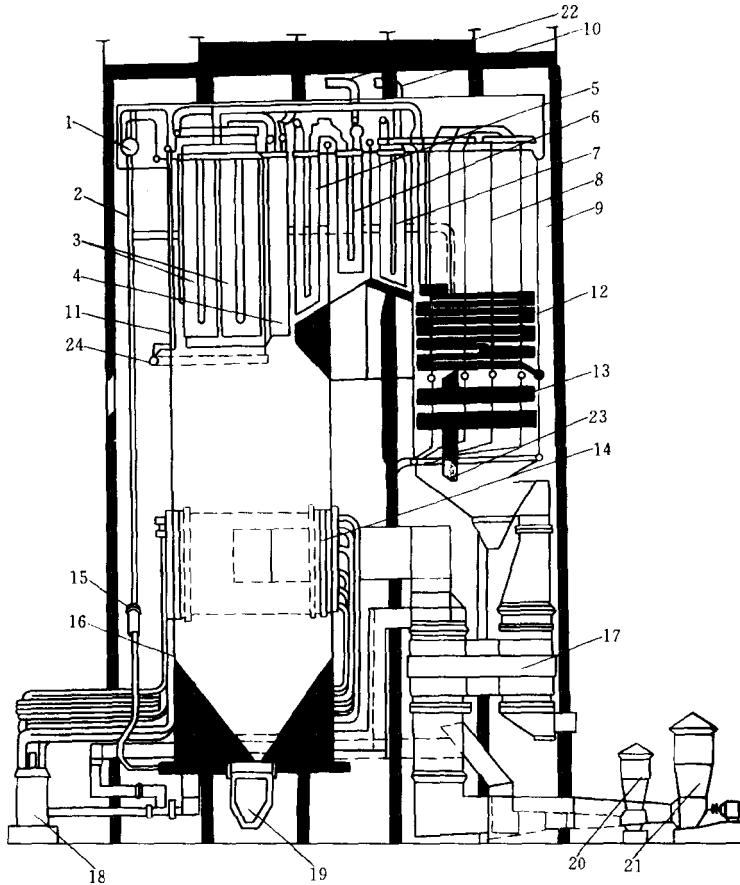


图 1-5 600MW 亚临界控制循环锅炉

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 1m/s ，一般省煤器处的平均烟气速度为 7.25m/s 则灰粒速度为 6.25m/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 9m/s 则灰粒速度为 8m/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。

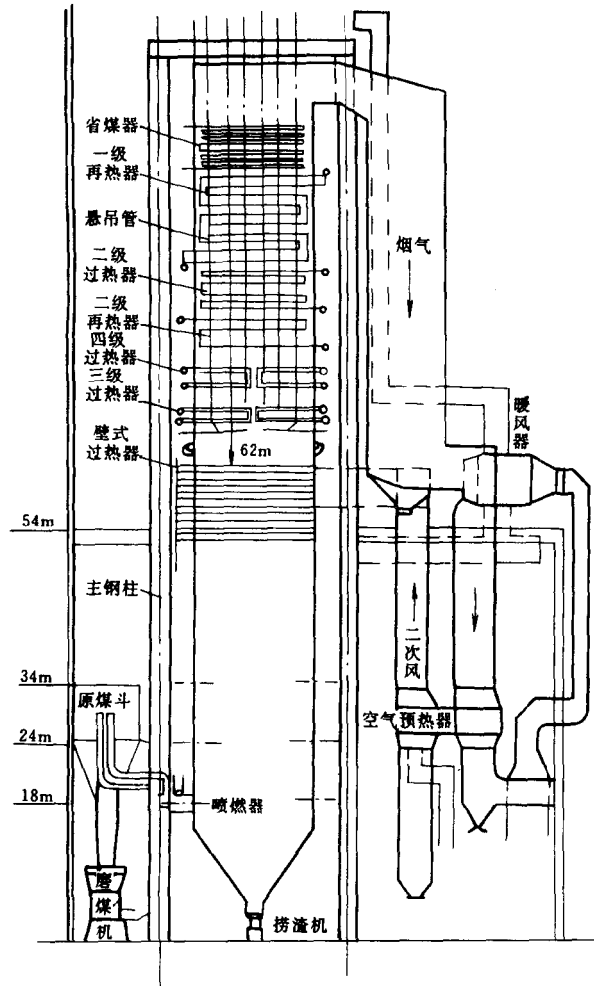


图 1-6 500MW 低倍率循环塔型锅炉

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

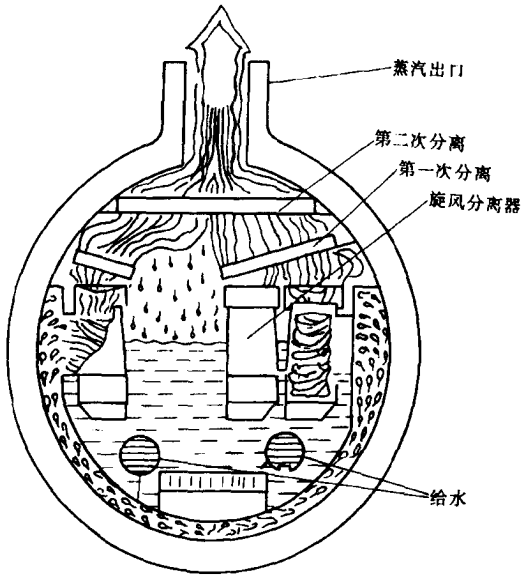


图 1-7 B&W1190 t/h 自然循环锅炉的汽包装置

图 1-10 中的汽包内径为 $\phi 1676$ ，最小壁厚为 161.47mm，直段长 30658mm，筒体材质为 SA-299，内装 4 排（共 360 只）水平离心式分离器。水平离心式分离器为曲线型。汽包总重 603.100t，内件重 36.7t。水平离心式分离器如图 1-11 所示。分离器蒸汽出口处的钢丝网可分离饱和蒸汽中的细水滴，分离器水出口处的钢丝网可消除水流的旋转，减轻汽包水位的波动并使水中的蒸汽逸出，防止蒸汽进入下降管。

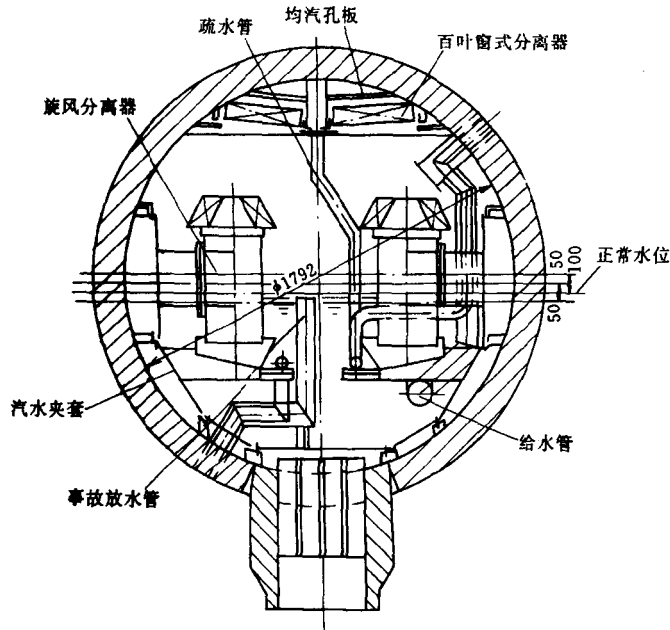


图 1-8 DG1025 t/h 自然循环锅炉的汽包装置

汽包装置。图 1-10 是 FW2027t/h 亚临界参数自然循环锅炉的汽包装置。

图 1-7 中的汽包内径为 $\phi 1828.8$ ，壁厚为 196.7mm，全长 15380mm，筒体材质为 SA-299，内装 114 只旋风分离器和波纹板二次分离元件。

图 1-8 中的汽包内径为 $\phi 1792.8$ ，壁厚为 146mm，全长 22250mm，筒体材质为 13MnNiMo54 (BHW35)，内装 108 只切向导叶式旋风分离器和波纹板二次分离元件。

图 1-9 中的汽包内径为 $\phi 1792$ ，壁厚为 145mm，全长 26690mm，筒体材质为 13MnNiMo54，内装 190 只卧式分离器和 69 个二次分离元件。卧式分离器为曲线型。

二、亚临界参数控制循环锅炉的汽包装置

与亚临界参数自然循环锅炉的汽包装置相比，亚临界参数控制循环锅炉的汽包装置的主要特点是：

(1) 由于循环泵提供了富裕压头，汽水混合物导管可由汽包顶部引入。

(2) 由于循环泵提供了富裕压头，可采用分离效率高的汽水分离器。

图 1-12 是 SG1025 t/h 亚临界参数控制循环锅炉的汽包装置。汽包内径为 $\phi 1778$ ，上壁厚度为 201.6mm，下壁厚度为 166.7mm，直段长 13106mm。材质为 SA-299。内装 56 只涡流式旋风分离器和四排波纹板分离器。

HG2008t/h 亚临界参数控制循环锅炉的汽包装置与图 1-12 所示的结构大致相同。汽包内径为 $\phi 1778$ ，上壁厚度为

193.4mm，下壁厚度为 166.7mm，全长 27700mm，直段长 25756mm；材质为 SA-299；内装 110 只涡流式旋风分离器和四排波纹板分离器；汽包总重量为 262t。

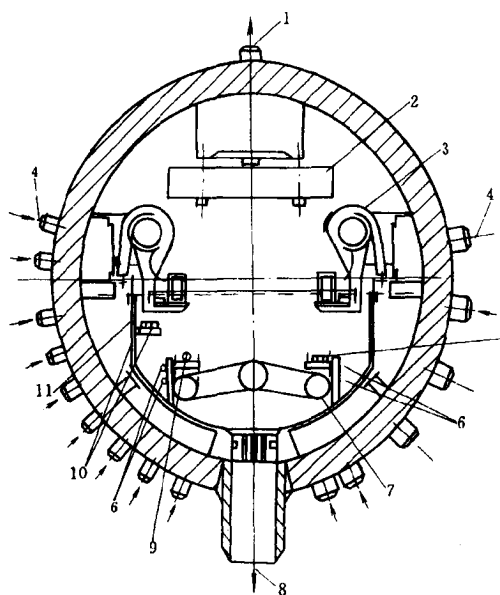


图 1-9 FW1025 t/h 自然循环锅炉的汽包装置
1—饱和蒸汽；2—干燥箱；3—卧式分离器；4—汽水混合物；5—加药管；6—水位均衡管；7—给水管；8—循环水；9—事故放水管；10—连续排污管；11—汽水夹套

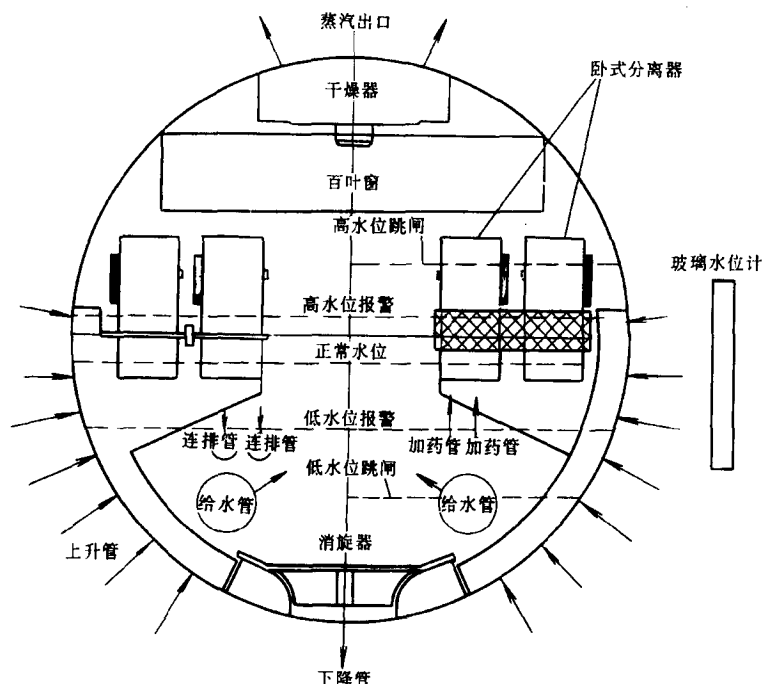


图 1-10 FW2027t/h 自然循环锅炉的汽包装置

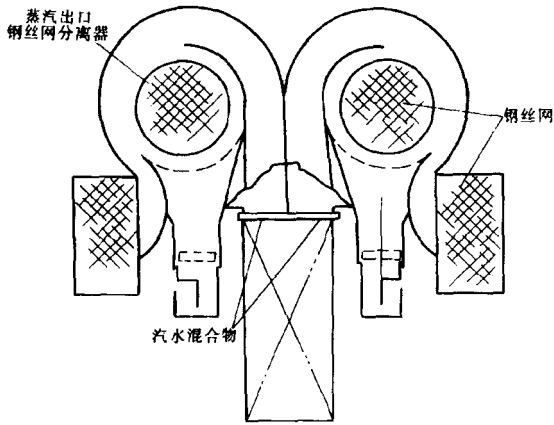


图 1-11 水平离心式分离器

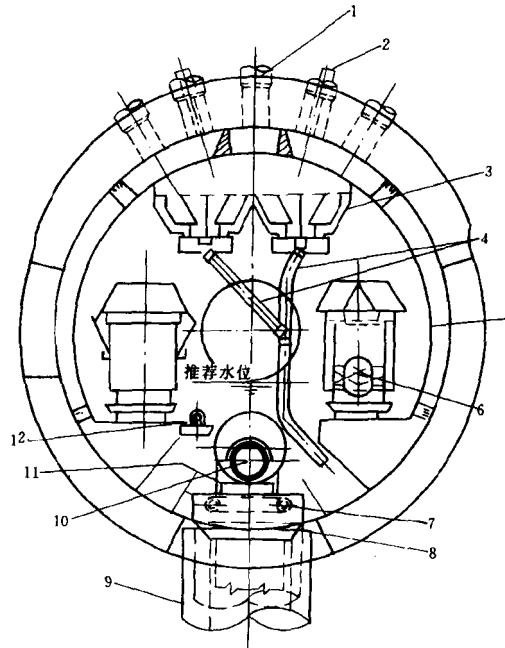


图 1-12 SG1025 t/h控制循环锅炉的汽包装置
 1—蒸汽引出管座;2—汽水混合物引入管座;3—波形板干燥器;4—疏水管;5—弧形衬套;6—涡轮分离器;
 7—下降管进口联箱;8—焊接十字架;9—下降管短管;
 10—给水管;11—给水管支架;12—连续排污管

第四节 超临界参数锅炉的典型布置

一、超临界参数锅炉的发展情况

超临界参数机组的最大优势是能够大幅度提高循环热效率，即能提高能量转换效率，降低发电煤耗，但相应地需要提高对金属材料的要求和金属部件的焊接工艺水平。目前，世界上超临界参数机组的蒸汽压力已经提高到 25~31MPa，蒸汽温度控制在 540~600℃。全世界主要的工业国家十分注重发展超临界机组，原苏联境内超临界机组数量及总容量居世界首位。美国、德国和日本等国家也有相当数量的超临界机组。日本是世界上超临界机组技术最先进的国家，技术先进的主要体现是发电煤耗量低，可实现变压运行。目前日本正在研究发展超超临界机组技术的高强度耐热金属材料，同时还在研究采用垂直管屏实现变压运行的新技术。中国从 90 年代以来开始引进超临界机组，上海石洞口第二电厂引进的 600MW 超临界机组，南京热电厂、天津盘山发电厂、内蒙古伊敏电厂和辽宁绥中电厂引进的 300MW、500MW 和 800MW 超临界机组已经或将要投入运行，标志着中国的电力工业开始跨入了世界先进技术水平的行列，并为实现超临界机组的国产化提供了良好的实践条件。石洞口第二发电厂的超临界参数 600MW 机组于 1992 年投入运行，在运行初期，

实际测得的发电煤耗为 281.2g/(kW·h) 热效率为 42%。而亚临界参数 600MW 机组的发电煤耗(将实际燃用煤折合为标准煤煤耗)为 330 g/(kW·h), 热效率为 37.3%。可见, 前者比后者的煤耗降低 15% 以上, 热效率提高了 4.7%, 显示出明显的经济效益。其实, 超临界机组的经济性早已被发现, 并于 50 年代第一台超临界机组在美国投入运行。但是, 此后的发展并不顺利。世界上超临界机组的发展在 70 年代曾经历过低谷时期, 主要是由于受当时的试验条件所限, 没有认识到超临界压力下工质的大比热特性对水动力特性以及传热特性的影响, 因而导致了炉膛辐射受热面多次爆管等影响锅炉可靠性的问题。经过专业研究工作者们在技术与理论方面的辛勤努力, 发现了超临界压力下的工质存在类膜态沸腾导致的传热恶化问题, 克服了技术发展的障碍, 同时, 随着金属材料工业的发展, 超临界机组获得了新的生命力。目前国内尚处在采用引进超临界参数机组技术设备的阶段, 这些设备主要采用了 80 年代以后世界上具有代表性的新技术。

二、超临界参数锅炉的容量和参数

超临界参数锅炉的容量与参数见表 1-3。

表 1-3 超临界参数锅炉的容量和参数

电厂名称	石洞口第二发电厂	盘山发电厂	绥中电厂
机组功率 (MW)	600	500	800
过热蒸汽流量 MCR	1900	1650	2650
再热蒸汽流量 (t/h)	1613	1481	2151.5
过热蒸汽压力 (MPa)	25.4	25.0	25.0
再热蒸汽压力 (MPa)	4.77/4.57	4.15/3.92	3.86/3.62
过热蒸汽温度 (℃)	541	545	545
再热蒸汽温度 (℃)	338/566	295/545	283/545
给水温度 (℃)	286	267	277
燃煤量 (t/h)		208	336.5
燃烧方式	四角燃烧	对冲燃烧	对冲燃烧
水冷壁形式	螺旋管圈	垂直管屏	垂直管屏
制造厂	瑞士苏尔寿	俄波多尔斯克	俄塔干罗格

超临界参数机组的循环热效率见表 1-4。

表 1-4 国外超临界参数机组的循环热效率

蒸汽压力 (bar)	250	250	250	290	305
一次/二次汽温 (℃)	540/540	540/540	560/560	582/580/580	582/600
凝汽器压力 (mbar)	27	27	23	23	
给水温度 (℃)	260	280	275	300	
电站热效率 (%)	42	43.5	45	47	49

注 1bar = 10⁵Pa

三、超临界压力 600MW 锅炉的整体布置

600MW 超临界压力锅炉为 II 型布置，如图 1-13 所示。炉膛下部螺旋管圈水冷壁，炉膛上部布置垂直管屏水冷壁。炉膛宽度、深度分别为 18.816m、16.576m，冷灰斗转角至炉顶的高度为 53m，水冷壁下联箱至炉膛顶棚管的高度为 62.125m，燃烧器上层一次风喷口至屏底的距离为 20m。BMCR 时的炉膛断面热负荷为 $4.8 \times 10^6 \text{W/m}^2$ ，炉膛容积热负荷为 $127 \times 10^3 \text{W/m}^3$ ，燃烧器区域的壁面热负荷为 $1.039380 \times 10^6 \text{W/m}^2$ 。燃用烟煤，采用四角切圆燃烧方式。

螺旋管圈水冷壁通过焊接在鳍片管上的拉力板悬吊在炉顶钢架上，螺旋管圈水冷壁的重量负载传递给拉力板，再由拉力板把重量负载均匀地传递给炉膛上部的垂直管屏，从而

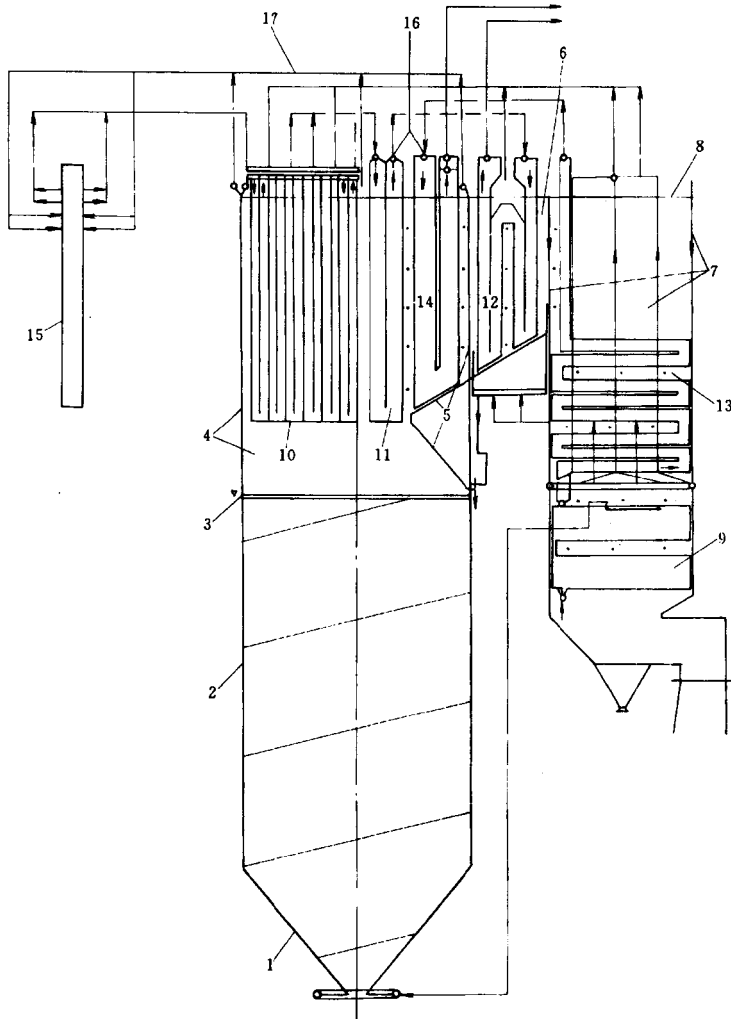


图 1-13 600MW 超临界锅炉整体布置图

- 1—炉膛灰斗；2—螺旋水冷壁；3—过渡件；4—垂直水冷壁；5—折焰角及管屏；
6—延伸侧墙；7—尾部包覆管及管屏；8—炉顶管；9—省煤器；10—大屏过热器；
11—后屏过热器；12—末级过热器；13—一级再热器；14—末级再热器；15—汽水
分离器；16—集箱；17—连接导管

实现了螺旋管圈水冷壁的悬吊。刚性梁拉力板的结构如图 1-14 所示。

600MW 超临界锅炉水冷壁实现了全悬吊结构，因而可自由向下膨胀。下辐射区和上辐射区水冷壁的连接部位称为过渡段。过渡段的结构比较复杂，见图 1-15。

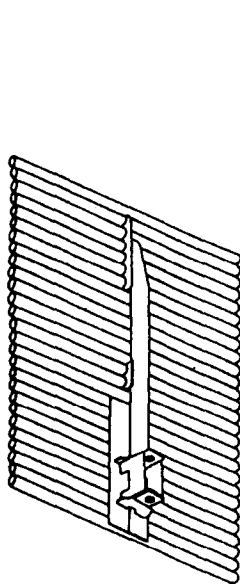


图 1-14 刚性梁拉力板的结构

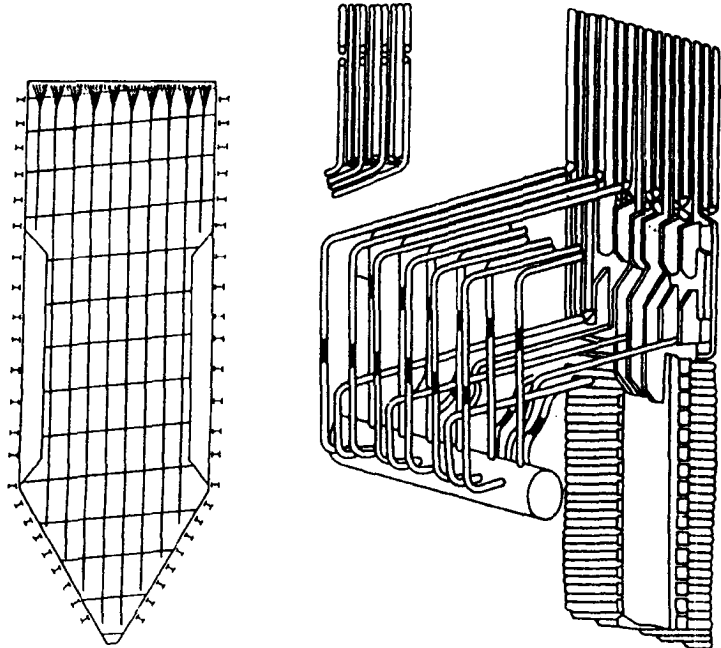


图 1-15 过渡段的联箱连接结构

沿烟气流程方向布置有前屏过热器、后屏过热器、高温再热器、高温过热器、低温再热器、省煤器和两台三分仓式空气预热器。

600MW 超临界参数锅炉的过热器和再热器的吸热比例比较大，约占工质总吸热量的 46% 左右，需要较多的过热器和再热器受热面。为了增强摆动式燃烧器调节再热汽温的效果并增强传热，高温再热器受热面布置在靠近炉膛的部位。过热汽温的调节是由煤水比进行粗调，两级喷水减温进行细调。此外，对于本台锅炉，多层燃烧器的不同组合运行，也能调节过热汽温和再热汽温。

各受热面的金属材料 and 允许的工作温度见表 1-5。

表 1-5 受热面的金属材料和允许的工作温度

受热面	管子材料	允许温度 (°C)
螺旋管圈水冷壁	13CrMo44 (15CrMo)	560
垂直管屏水冷壁	15Mo3 (16Mo)	530
屏式过热器	10CrMo910 (12Cr2Mo)	580
高温过热器	X20CrMoV121	630~650
高温再热器	X20CrMoV121	630~650
	X8CrMiNb16B (1Cr19Ni11Nb)	650
低温再热器	10CrMo910	580
省煤器	15MiCuMoNb5	500

注 括号内的钢号为相应的中国钢种号。