

600MW火电机组系列培训教材
第二分册（上）



单元机组设备运行

锅炉设备与运行

中国大唐集团公司 | 组编
长沙理工大学



中国电力出版社
www.cepp.com.cn





600MW火电机組系列培训教材

- 第一分册 单元机组集控运行
- 第二分册（上）单元机组设备运行 锅炉设备与运行
- 第二分册（中）单元机组设备运行 汽轮机设备与运行
- 第二分册（下）单元机组设备运行 电气设备与运行
- 第三分册 辅控集控设备及运行
- 第四分册 点检定修管理
- 第五分册 汽轮机设备检修
- 第六分册 电气设备检修
- 第七分册 锅炉设备检修
- 第八分册 热工控制系统及设备

ISBN 978-7-5083-9569-2



9 787508 395692 >

定价:121.00元(上、中、下册)

上架建议: 电力工程/火力发电

600MW火电机组系列培训教材
第二分册（上）

单元机组设备运行

锅炉设备与运行

中国大唐集团公司 组编
长沙理工大学
汪淑奇 文炼红 杨继明 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为确保 600MW 火电机组的安全、稳定、经济运行,提高 600MW 火电机组的生产运行人员、检修人员和技术管理人员的技术素质和管理水平,适应员工岗位培训工作的需要,中国大唐集团公司和长沙理工大学组织编写了《600MW 火电机组系列培训教材》。

本书是《600MW 火电机组系列培训教材》中的第二分册(上)《单元机组设备运行 锅炉设备与运行》。全书共十一章,内容包括锅炉的分类、组成与发展趋势,锅炉燃料,锅炉机组的热平衡,制粉系统,燃烧理论与燃烧设备,自然循环与控制循环锅炉的蒸发系统,直流锅炉的蒸发设备,过热器与再热器,省煤气与空气预热器,风烟系统与锅炉风机及锅炉运行调整。

本套教材适用于 600MW 及其他大型火电机组的岗位培训和继续教育,也可供从事 600MW 及其他大型火电机组设计、安装、调试、运行、检修的工程技术人员和管理人员阅读,并可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

单元机组设备运行. 上 / 中国大唐集团公司, 长沙理工大学
组编. —北京: 中国电力出版社, 2009.12

(600MW 火电机组系列培训教材: 2)

ISBN 978-7-5083-9569-2

I. 单… II. ①中…②长… III. 火电厂—单元机组—电力系统运行—技术培训—教材 IV. TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 191352 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

*

2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 58.625 印张 1435 千字

印数 0001—5000 册 上、中、下三册定价共 121.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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

《600MW 火电机组系列培训教材》
编 委 会

主	任	翟若愚					
副	主	任	刘顺达	钟俊	杨庆	王琳	蔡哲夫
			邹嘉华	胡绳木	熊皓	吴静	金耀华
常	务	委	员	武洪举	高智溥	洪源渤	
委	员		杨俊平	阮大伟	侯国力	雷鸣	赵丕友
			黄竹青	张健	王彤音	张成虎	

总 编 邹嘉华
副 总 编 武洪举 杨俊平
执行副总编 雷 鸣

编写工作组:

组 长 雷 鸣
副 组 长 张成虎 陈 荐
成 员 赵晓阳 刘 军 赵士杰 孙希瑾 戴曙光

前 言

近年来,为进一步深入落实实践科学发展观以及适应国家节能减排及环保的需求,大容量、高参数、高自动化的大型火力发电机组在我国日益普及。600MW火电机组因其具有大容量、高参数、低能耗、低污染、高可靠性等优点,现已成为我国火力发电厂的主力机型。为确保600MW火电机组的安全、可靠、经济及环保运行,600MW火电机组从业人员的岗位培训显得十分重要。

为适应这一形势发展的需要,中国大唐集团公司与长沙理工大学组织人员编写了《600MW火电机组系列培训教材》。本系列教材目前包括《单元机组集控运行》、《单元机组设备运行》、《辅控集控设备及运行》、《点检定修管理》、《汽轮机设备检修》、《电气设备检修》、《锅炉设备检修》、《热工控制系统及设备》共八册。今后还将根据电力技术发展情况,不断地充实完善。

本系列教材适用于具有大中专及以上文化程度的600MW及其他大型火电机组生产人员和技术管理人员的岗位培训和继续教育,也可供从事600MW及其他大型火电机组设计、安装、调试、运行、检修的工程技术人员和管理人员阅读,以及高等院校相关专业师生参考。

《单元机组设备运行》是本系列培训教材中的第二分册。全书由锅炉设备与运行、汽轮机设备与运行和电气设备与运行三部分组成,详细介绍了大型电厂锅炉、汽轮机与发电机组及电气系统中的主要与辅助系统和设备的组成与工作原理,运行与操作方法,运行与操作中容易出现的问题及预防事故的措施,运行分析与故障分析方法,优化运行的方法。注重理论与实际的结合,由浅入深。并简要介绍大型电厂锅炉、汽轮机与发电机组及电气系统技术发展趋势、在线诊断、寿命管理等问题。

《单元机组设备运行 锅炉设备与运行》重点介绍了600MW自然循环汽包锅炉、600MW强制循环锅炉及600MW直流锅炉的结构与工作原理,各种因素对运行的影响,燃烧调整方法,参数调整方法,以及腐蚀、结渣、氧化皮等运行中的问题出现的原因与预防措施。

本书由长沙理工大学汪淑奇、文炼红、杨继明主编。《单元机组设备运行 锅炉设备与运行》第一、八、十、十一章、第六章第六节等由汪淑奇编写,第二、四章由周臻编写,第三章由徐慧芳编写,第五章由陈冬林编写,第六、七章由李立编写,第九章由田红编写。

本书由霍卢波、张家荣、常小卷、龙冠湘、张成虎担任编审。他们对本书进行了认真的审阅,提出了很多宝贵的意见与建议,在此谨表诚挚的谢意。

本书在编写过程中得到了大唐三门峡发电有限责任公司、浙江大唐国际乌沙山发电有限责任公司、大唐洛阳热电厂、大唐华银金竹山火力发电分公司、大唐国际发电股份有限公司

下花园发电厂、大唐湘潭发电有限责任公司等单位的大力支持，并参阅了相关电厂、制造厂、设计院、安装单位和高等院校的技术资料、说明书和图纸等，在此一并表示感谢。

本系列教材由长沙理工大学陈冬林教授负责统稿。

由于编者水平所限和编写时间紧迫，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2009 年 7 月

目 录

前言

第一章 锅炉的分类、组成与发展趋势	1
第一节 锅炉的作用、组成与型号	1
第二节 大型锅炉的分类	2
第三节 锅炉技术的发展	8
第四节 600MW 亚临界压力自然循环锅炉	16
第五节 600MW 多次强制循环锅炉	25
第六节 600MW 超临界压力直流锅炉	30
第七节 1000MW 超临界压力直流锅炉	38
第二章 锅炉燃料	40
第一节 煤的特性与分类	40
第二节 燃料成分对锅炉工作的影响	51
第三节 配煤与掺烧	55
第三章 锅炉机组的热平衡	67
第一节 锅炉机组的热平衡	67
第二节 锅炉效率及各项热损失	69
第三节 锅炉燃料消耗量	74
第四节 600MW 锅炉机组热平衡试验	75
第四章 制粉系统	85
第一节 煤粉的性质	85
第二节 制粉系统的形式及其组成	88
第三节 磨煤机的结构及工作原理	91
第四节 制粉系统其他部件	108
第五节 直吹式制粉系统的运行与调整	112
第五章 燃烧理论与燃烧设备	123
第一节 炉内空气动力特性	123

第二节	煤粉气流的着火与燃烧	138
第三节	燃烧设备与系统	155
第四节	低 NO _x 燃烧技术	171
第五节	锅炉结渣与沾污	181
第六节	高温腐蚀	191
第七节	煤粉炉的点火装置	197
第六章	自然循环与控制循环锅炉的蒸发系统	209
第一节	自然循环基本原理	209
第二节	提高循环安全性的措施	215
第三节	锅炉水循环系统与水冷壁	218
第四节	汽包	221
第五节	蒸汽净化与汽包内部装置	225
第六节	控制循环锅炉的蒸发系统	232
第七章	直流锅炉的蒸发设备	240
第一节	国产 600MW 超临界锅炉水冷壁	240
第二节	直流锅炉的水动力不稳定性	249
第三节	直流锅炉蒸发受热面中流体的脉动	253
第四节	直流锅炉蒸发受热面的热偏差	254
第五节	超临界锅炉蒸发受热面的传热恶化与超温防止	256
第六节	超临界锅炉的启动旁路系统	261
第八章	过热器与再热器	268
第一节	锅炉过热器系统与结构	268
第二节	锅炉再热器系统与结构	272
第三节	汽包锅炉影响蒸汽温度的因素	273
第四节	直流锅炉影响蒸汽温度的因素	275
第五节	蒸汽温度调节装置	278
第六节	过热器的热偏差及防止措施	281
第七节	超临界机组设备氧化皮形成、脱落及治理	286
第九章	省煤器与空气预热器	294
第一节	省煤器	294
第二节	空气预热器	297
第三节	受热面的飞灰磨损	315
第四节	受热面的低温腐蚀	317

第十章 风烟系统与锅炉风机	320
第一节 风烟系统.....	320
第二节 风机的工作原理.....	323
第三节 风机的调节.....	324
第四节 风机的运行.....	331
第五节 风机的失速、喘振与抢风.....	333
第十一章 锅炉运行调整	337
第一节 锅炉的变工况运行.....	337
第二节 汽包锅炉的参数调整.....	343
第三节 直流锅炉的参数调整.....	349
第四节 锅炉的燃烧调节.....	358
参考文献	374

第一章

锅炉的分类、组成与发展趋势

单元制机组中炉—机—电构成一个整体。炉—机—电的运行与调整是相互联系、相互影响的，但是各环节的工作有其各自不同的特点：锅炉侧重于调整，汽轮机侧重于监视，电气侧重于与单元机组的其他环节以及与外界电网的联系。锅炉产生高温高压蒸汽，汽轮发电机使用高温高压蒸汽。锅炉的运行与调整比汽轮机和电气要复杂得多，锅炉运行水平的高低决定着整个电厂运行的安全性和经济性水平的高低。要做好锅炉的运行调整，运行操作人员必须首先弄清锅炉的工作原理和工作特性，了解锅炉的工作特点。

第一节 锅炉的作用、组成与型号

一、锅炉的作用

燃料在锅炉中燃烧放出热量产生高温烟气，再将高温烟气的热量传给工质（水），产生具有一定压力、温度和品质（指蒸汽中杂质的含量）的蒸汽。

锅炉所产生的蒸汽被引入汽轮机，膨胀做功，将热能转变为转子旋转运动的机械能，带动发电机转子，将机械能转变为电能。

锅炉燃煤的煤质变化（其中尤其是挥发分的变化）、负荷变化、运行方式等对燃烧状况、结渣情况、蒸汽温度、锅炉的效率等有很大的影响。锅炉具有一定的调节手段，在允许的变化范围内可以保证锅炉安全经济运行。

二、锅炉的组成

锅炉设备包括锅炉本体设备和锅炉辅助设备。

锅炉本体包括燃烧系统（炉）、汽水系统（锅）、锅炉墙体构成的烟道和钢架构件与平台楼梯。

锅炉的燃烧系统包括燃烧室（炉膛）、燃烧器和点火装置。

锅炉的汽水系统包括蒸发设备和对流受热面。蒸发设备主要由汽包（直流锅炉的分离器）、下降管和水冷壁等组成。对流受热面是指布置在锅炉对流烟道内的过热器、再热器和省煤器。

锅炉的辅助设备主要包括空气预热器、通风设备（送风机、一次风机、引风机、烟囱）、给水设备（给水泵）、燃料运输设备、制粉设备（煤仓、粉仓、给煤机、给粉机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉机等）、除灰设备（除尘器）、除渣设备（捞渣机、碎渣机、灰渣泵等）和锅炉附件（如安全门、水位计）等。

三、锅炉的参数

锅炉参数用来简要表明锅炉的特征，主要有锅炉容量和蒸汽参数。锅炉容量常以每小时

能供应蒸汽的吨数来表示,单位为 t/h。锅炉容量分为额定蒸发量、经济蒸发量、最大连续蒸发量。铭牌容量指锅炉的最大连续蒸发量。

最大连续蒸发量(BMCR)是蒸汽锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度和使用设计燃料长期连续运行时所能达到的最大蒸发量,单位是 t/h。锅炉 BMCR(Boiler Maximum Continuous Rate)工况一般对应于汽轮机 VWO(Valve Whole Open)工况。最大连续蒸发量通常为额定蒸发量的 1.03~1.2 倍,国产及引进型机组常为偏大值,而进口机组常为偏小值。

额定蒸发量(BRL)是蒸汽锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度、使用设计燃料并保证效率时所规定的蒸发量,单位是 t/h。锅炉 BRL(Boiler Rating Load)工况一般对应于汽轮机 TRL(Turbine Rating Load)工况。

经济蒸发量(ECR)是锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度、使用设计燃料并且锅炉效率最高时的蒸发量。锅炉 ECR(Economic Rating Load)工况一般对应于汽轮机 THA(Turbine Heat-consumption Assessment)工况。

蒸汽参数指锅炉过热器出口蒸汽的压力和温度,以及再热器进出口蒸汽的压力和温度。额定蒸汽压力和额定蒸汽温度合称为额定蒸汽参数。额定蒸汽压力是锅炉在规定的给水压力和负荷范围内长期连续运行时应予以保证的蒸汽压力,而额定蒸汽温度是蒸汽锅炉在规定负荷范围、额定给水温度下长期连续运行所必须保证的出口蒸汽温度。额定参数指锅炉设计时规定的参数。

水的临界状态参数为 22.115MPa、374.15℃,在水的参数达到该临界点时,水的完全汽化会在一瞬间完成,即在临界点时,在饱和水和饱和蒸汽之间不再有汽、水共存的二相区存在,汽化潜热为 0,饱和水与饱和汽的密度差为 0。当机组参数高于这一临界状态参数时,通常称其为超临界参数机组。由于在临界参数以上饱和水和饱和蒸汽之间不再有汽、水共存的二相区存在,故超临界锅炉只能采用直流锅炉。

四、锅炉的型号

电站锅炉型号由三部分组成,各部之间用短横线相连。第一部分用两个汉语拼音字母表示制造厂,例如 HG、SG、WG、DG 分别表示哈尔滨锅炉厂、上海锅炉厂、武汉锅炉厂、东方锅炉厂。第二部分表示锅炉基本参数,斜线左边的数字表示最大连续蒸汽量(t/h),斜线右边的数字表示锅炉出口过热蒸汽压力(工作压力,表压,MPa)。第三部分也是数字,斜线两边分别表示过热蒸汽和再热蒸汽出口温度,单位为℃。第四部分中,符号表示燃料代号,数字表示设计序列编号。

例如:DG-2950/26.25-/600/600-YM2 表示东方锅炉厂制造,锅炉最大长期连续蒸发量为 2950t/h,过热蒸汽压力 26.25MPa,过热蒸汽和再热蒸汽出口温度均为 600℃,设计煤种为烟煤,设计序号 2。

第二节 大型锅炉的分类

按照不同的方法,大型电站锅炉可以分为不同的类型。

一、按燃烧方式的不同分类

按燃烧方式不同,可以分为悬浮燃烧(室燃)、流化床燃烧等。

1. 悬浮燃烧(室燃)

在很大的炉膛空间(燃烧室)内进行燃烧,燃料随空气一起运动,两者间基本没有相对

运动。燃烧各个阶段均在悬浮状态下进行, 悬浮燃烧的锅炉称室燃炉。对于固体燃料必须将其磨制成一定颗粒度的粉, 以保证其与空气充分混合与接触。悬浮燃烧方式的特点是燃料在炉内的停留时间短 (一般不超过 2s), 燃料被烟气完全携带, 燃料与空气的接触面积大, 燃烧速度快, 燃烧效率高, 适合于大容量的锅炉。

2. 流化床燃烧

流化燃烧是一种介于层状燃烧和悬浮燃烧之间的一种燃烧方式。具有一定颗粒度的煤粒在炉床上保持一定的煤层厚度, 空气以适当的速度从底部通过床层, 将煤粒吹起, 煤粒悬浮于床层上一定高度范围, 上下翻腾。采用流化燃烧方式的锅炉称为流化床锅炉。

二、按工质在锅炉内的流动方式的不同分类

工质是指在汽水系统内用来吸热、冷却受热面的工作介质, 指水和蒸汽。工质在单相受热面中总是强制流动方式, 但在蒸发受热面中可以进行强制流动, 也可以进行自然循环。按照工质在锅炉内部不同的流动方式, 锅炉可分为自然循环锅炉、多次强制循环汽包锅炉、低倍率循环锅炉、直流锅炉和复合循环锅炉。

1. 自然循环锅炉

适用于亚临界压力锅炉。锅炉蒸发受热面 (水冷壁) 内工质依靠下降管中的水与上升管中汽、水混合物之间的密度差进行循环。随着压力的提高, 饱和水和饱和汽的密度差逐渐减少, 到临界压力时, 其密度差将为零, 即运动压头随着压力提高逐渐减小直到零。

自然循环锅炉的主要特点是有一个汽包, 将省煤器、过热器和蒸发受热面的分隔开来, 给水的预热、蒸发和蒸汽过热等各个受热面有明显的分界; 汽包中装有汽水分离装置, 从水冷壁进入汽包的汽水混合物在汽包中进行汽水分离, 减少饱和蒸汽带水; 锅炉的水容量及其相应的蓄热能力较大。因此, 当负荷变化时, 汽包水位及蒸汽压力的变化速度较慢, 对机组调节的要求可以低一些。但由于水容量大, 加上汽包壁较厚, 因此在锅炉受热或冷却时都不易均匀, 使锅炉的启、停速度受到限制; 水冷壁管子出口的含汽率相对较低, 可以允许稍大的锅水含盐量, 而且可以排污, 因而对给水品质的要求可以低些; 汽包锅炉的金属消耗量较大, 成本较高。

2. 多次强制循环汽包锅炉

多次强制循环锅炉有汽包, 在循环回路下降管系统中设置了循环泵, 工质在炉膛受热面内循环流动的动力主要为循环泵的压头。适用于亚临界压力锅炉。

强制循环锅炉是在自然循环锅炉基础上发展起来的, 在结构和运行特性方面都与自然循环锅炉有相似之处。其主要差别是: 自然循环主要依靠水、汽密度差使蒸发受热面内工质自然循环, 随着工作压力的提高, 水、汽密度差减少, 自然循环的可靠性降低, 但强制循环锅炉, 由于主要依靠锅水循环泵使工质在水冷壁中作强迫流动, 不受锅炉工作压力的影响, 既能增大流动压头, 又能控制各个回路中的工质流量, 如图 1-1 (a) 所示。

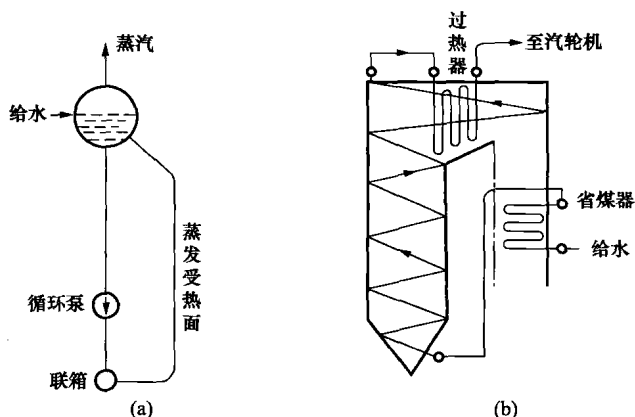


图 1-1 多次强制流动锅炉和直流锅炉

(a) 强制循环锅炉; (b) 直流锅炉



强制循环锅炉虽然比自然循环锅炉只多用了几台(600MW 锅炉一般用 3 台)锅水循环泵,但是却给锅炉的结构和运行带来一系列重大的变化。在结构上,蒸发受热面就不一定采用垂直上升的形式,可以更自由地布置;在运行上,由于在低负荷或启动时可以利用水的强制流动,使各承压部件得到均匀加热,因此可以大大提高启动及升、降负荷时的速度。

3. 低倍率循环锅炉

循环倍率 $K=1.5$ (循环倍率 K 指上升管进口的循环水量与上升管出口产生的蒸汽量的比值),循环水量少。没有大直径的汽包,只有置于炉外的汽水分离器,循环倍率低。适用于亚临界压力锅炉。

4. 直流锅炉

直流锅炉没有汽包,给水在给水泵压头的作用下,顺序流过热水段、蒸发段和过热段受热面,一次将给水全部变成过热蒸汽,蒸发区循环倍率 $K=1$ 。直流锅炉在省煤器、水冷壁和过热器之间没有固定不变的分界点,水在蒸发受热面中全部转变为蒸汽,沿工质整个行程的流动阻力均由给水泵来克服。直流锅炉适用于亚临界及超临界参数。与汽包锅炉相比,直流锅炉具有节省钢材、启停时间短、能适用于各种容量和参数的优点,如图 1-1 (b) 所示。

5. 复合循环锅炉

复合循环包括低循环倍率复合循环和部分负荷复合循环两种。没有汽包,代之以简单的汽水分离器。在省煤器和水冷壁之间装设循环泵、混合器和分配器等,依靠锅水循环泵压头将蒸发受热面出口的部分或全部工质进行再循环,蒸发系统中除直流流量外,还有循环泵提供的循环流量。用控制阀进行循环方式的切换,在负荷较低时按再循环方式运行,负荷高时按直流方式运行。保证低负荷下必需的工质质量流速;降低高负荷下的流动阻力。部分负荷复合循环锅炉适用于亚临界及超临界参数。

复合循环锅炉运行时的最低负荷几乎没有限制,而一般直流炉最低负荷不小于 20%~30%。由于强制流动水冷壁内工质流动可靠,减少了水冷壁爆管的可能性。另外,旁路系统简单,机组启动时热损失较小。由此可见,如果循环泵能保证在高温高压下工作可靠,那么复合循环锅炉是适用于亚临界压力和超临界压力的一种比较理想的锅炉形式。不同形式锅炉的特点见表 1-1。

表 1-1 不同形式锅炉运行特点比较表

项 目	自然循环锅炉	强制循环锅炉	直 流 锅 炉
蒸发受热面水循环	依靠工质水、汽的重度差形成自然循环。 给水泵所需的压头较小,耗功较小。 循环倍率在 4~5 之间。负荷低时,水循环的可靠性也将下降	炉水的循环主要依靠装设在下降管出口处的炉水循环泵。 水循环在各种负荷下都能得到保证,循环倍率在 2 左右	循环倍率为 1。 靠给水泵的压头使水、汽在系统中流动,阻力较大。给水泵耗功较大。 蒸发受热面内工质流动的稳定性主要取决于各管屏间及同屏各管间流量分配的合理性
启动速度	由于厚壁汽包的存在,升温升压速率将受到限制,因而启动速度较慢	汽包容积小,相对壁厚较薄,启动速度介于两者之间	无汽包等厚壁部件,允许有较大的升温升压速率
适应负荷变化的能力及可控性	蓄热能力大,抗外扰能力强,可控性较好。 但对负荷变化的适应能力稍差,1%~2%/min	介于自然循环汽包炉和直流炉之间	蓄热能力小,自行保持参数的能力差。对参数调节的要求高。 对负荷变化的适应能力较强,3%~5%/min

续表

项 目	自然循环锅炉	强制循环锅炉	直 流 锅 炉
温度控制范围及主汽温调节手段	主汽温：50%~100%。 再热汽温：75%~100%。 主汽温调节的主要手段是喷水减温，辅助手段是烟气侧调节。 正常情况下给水流量的变化不影响汽温，汽温调节简单	同自然循环锅炉	主汽温：35%~100%。 再热汽温：50%~100%。 主汽温调节的主要方式是调节燃料量与给水量之比，辅助手段是喷水减温或烟气侧调节。给水流量和燃料量的变化直接影响汽温，汽温调节比较复杂
RB 稳定性	不稳定（汽包水位）	不稳定（汽包水位）	稳定
水处理方式	加磷酸盐处理，可以通过连续排污排除盐分	加磷酸盐处理，可以通过连续排污排除盐分	OWT。凝结水进行 100% 的除盐处理，要求的给水品质高
化学清洗间隔	约 4 年	约 4 年	不需要或约 20 年
对设备和操作的要求	操作较简单，参数易于控制	操作较简单，参数易于控制	需要专门的启动旁路系统，启停操作和正常运行调节稍复杂

三、按排渣方式分类

按炉膛排渣方式的不同，可以分为固态排渣锅炉和液态排渣锅炉。

1. 液态排渣

燃料燃烧后生成的灰渣呈液态从炉膛底部的渣口流出。飞灰份额较小，可减轻受热面的磨损；燃烧温度高，有利于稳燃；适于灰熔点较低的燃料。但由于采用这种燃烧方式生成的氮氧化物太多等不足，从 20 世纪 70 年代起已较少采用。

2. 固态排渣

燃料燃烧后生成的灰渣（大约占燃料灰分的 5%~10%）呈固态由炉膛底部排出，是现在电厂广泛采用的方式。

四、按锅炉的参数分类

大型电站锅炉按锅炉工作压力的高低，可以分为亚临界压力锅炉、超临界压力锅炉和超超临界压力锅炉。

1. 亚临界压力锅炉

出口工质压力为 15.7~19.6MPa 的锅炉，最常用的蒸汽参数为 16.7MPa/538℃/538℃。

2. 超临界压力锅炉

出口工质压力超过临界压力的锅炉，即出口蒸汽压力大于 22.1MPa（水的临界压力）的锅炉。常用的蒸汽参数为 23.5~26.5MPa，538~543℃/538~566℃。

3. 超超临界压力锅炉

在超临界参数的基础上采用更高的压力和温度，以进一步提高机组的热效率，是提高参数的超临界锅炉（也可称为优化的高效的超临界锅炉）。其蒸汽参数一般为压力大于或等于 24.2~28MPa，过热汽温和再热汽温大于或等于 580~600℃。

五、按燃烧器的布置方式分类

1. 直流燃烧器单炉膛四角切圆

燃烧器布置在炉膛四角，燃烧器喷口中心线与炉膛中间一个假想圆相切，四个角上煤粉一次风气流有互相点燃的作用，在炉膛中形成旋转向上流动的气流结构，燃尽条件好。但在大型锅炉中，炉膛出口左右两侧烟速、烟温偏差大，1000MW 锅炉左右两侧烟温偏差可能达到 200℃以上，易引起过热器超温爆管，需要采取其他配合措施（如锅炉整体布置用塔式布

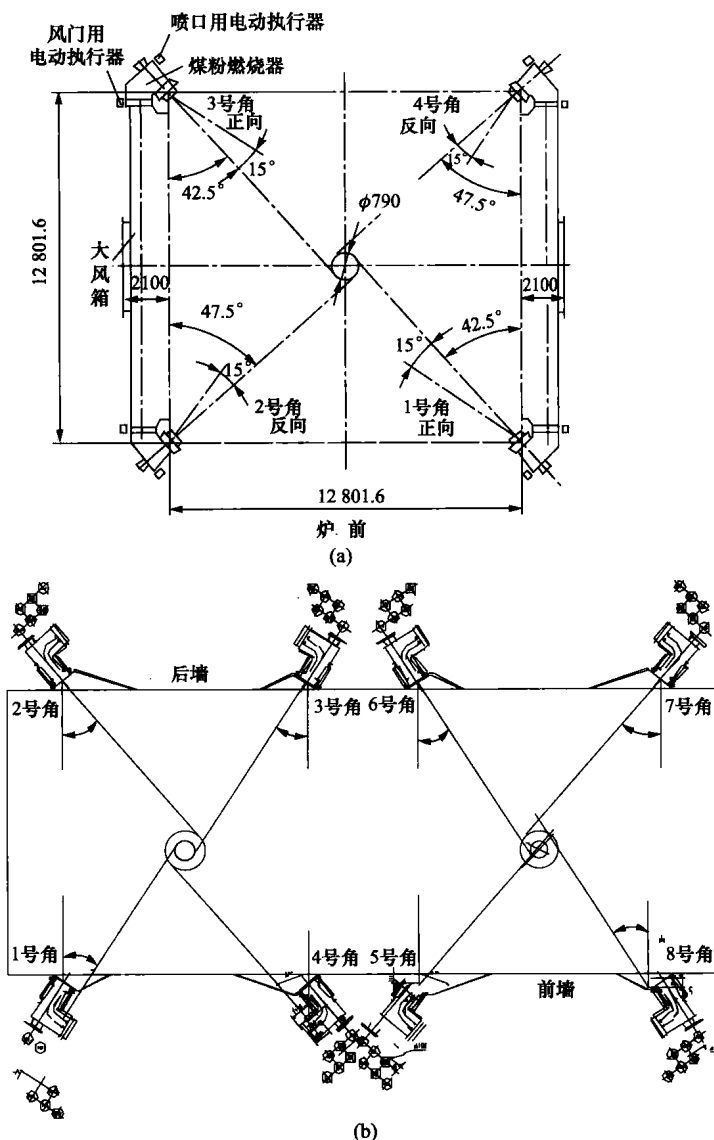


图 1-2 切圆燃烧

(a) 四角切圆燃烧; (b) 单炉膛八角双切圆燃烧

置或单炉膛八角双切圆等)。

2. 直流燃烧器单炉膛八角双切圆

直流燃烧器的布置采用了 2 个相对独立的反向切圆燃烧方式, 每层布置 8 组燃烧器, 这样, 在大型锅炉中燃烧器的高度不会增加过多, 延长了燃料在炉膛停留时间, 如图 1-2 所示。偏差大大降低, 成为 Π 型布置的超大容量切圆燃烧锅炉解决烟温偏差的最佳途径。采用这种燃烧方式可使炉膛四周水冷壁出口工质温度的偏差值控制在 40°C 以下。这种布置中如果有起分隔作用的水冷壁, 由于它双面受热, 将会导致严重的结焦问题; 如果不布置起分隔作用的水冷壁, 由于燃烧系统的不平衡和负荷的变化, 双火球的位置容易发生浮动, 引起不均衡的通风和不均衡的热负荷分布, 同时细小煤粉颗粒容易冲刷水冷壁。

3. 旋流燃烧器前后墙布置

对于旋流燃烧器, 在炉膛的前后墙布置燃烧器, 火炬相互穿插, 炉内火焰的混合和充

满情况比较好。燃烧区域温度较均匀。随锅炉容量增大, 炉膛深度可维持不变, 仅宽度相应增加, 燃烧器个数相应增加, 600MW 与 1000MW 锅炉在结构形式及总体布置上均相似。炉膛左右两侧有均衡的燃烧性能, 可以有效地减少炉膛出口左右两侧烟温偏差。边排燃烧器距侧水冷壁距离合适, 避免火焰直接刷墙。燃尽风一般采用优化的双气流结构, 即在中央部位的气流采用非旋转的气流, 它直接穿透进入炉膛中心, 补充燃尽所需空气; 边上的风口则采用旋转气流, 在水冷壁面形成氧化性气氛, 可有效防止高温腐蚀和结渣。如图 1-3 所示。

4. W 型火焰燃烧

目前国内主要有两种技术流派的 W 火焰锅炉, 即以美国 F&W 公司为代表和以美国 B&W 公司为代表的 W 火焰锅炉, 区别主要在于燃烧器和配风方式的不同。目前国内锅炉制造厂家已经自行独立研发制造这两种类型 600MW 等级超临界参数的 W 火焰锅炉。