



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

循环流化床单元机组 集控运行

韩 云 主 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

全国电力职业教育规划教材 职业教育电力技术类专业培训用书

电力机械基础	魏书印
电力生产概论	柏学恭
热工基础	李 诚
热能动力专业基础	唐复勇
锅炉运行	李增枝
循环流化床锅炉设备	牛 勇
▶ 循环流化床单元机组集控运行	韩 云
汽轮机运行	王志伟
发电厂动力设备	程翠萍
发电厂动力设备及运行	刘玉莲
火电厂热力系统	张灿勇
火电厂燃煤机组脱硫技术	周菊华
热工测量及仪表	张东风
火电厂热工检测技术	程 蓓
电厂金属材料	王进汝
燃料运输系统及设备	任永红
热力设备检修工艺基础（第二版）	赵鸿逵
汽轮机辅机检修	陈 晔
管阀及其检修	袁佩玉
泵与风机检修	柏学恭
火电厂运行、检修案例精选	唐复勇
核能及新能源发电技术	张灿勇
新能源发电技术	于国强

ISBN 978-7-5083-9011-6



9 787508 390116 >

定价：23.60 元



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

循环流化床单元机组 集控运行

主 编 韩 云
编 写 王东霞 岳建平 亢首名
主 审 柏学恭 孟庆文



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材, 主要介绍循环流化床单元机组的负荷控制方式、启动及停运、运行调节、事故处理等实用技术, 并配有相关的复习思考题。本书既有理论基础, 又有实践经验, 深入浅出、贴近实际、通俗易懂, 体现了循环流化床单元机组的控制发展新技术。

本书可用作职业教育电力技术类学校的教学用书, 也可用作循环流化床单元机组运行等方面技术人员的培训教材或参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

循环流化床单元机组集控运行/韩云主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5083-9011-6

I. 循… II. 韩… III. 流化床—循环锅炉—单元机组—集中控制—运行—职业教育—教材 IV. TK229.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 102218 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 358 千字

定价 23.60 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

前言

循环流化床 (Circulating Fluidized Bed, CFB) 燃烧技术是目前已基本实现大型化和商业化的洁净煤燃烧技术。由于具有燃烧效率高、污染小、煤种适应性好、负荷调节范围大等优点,该燃烧技术在世界各主要工业国家得到了大力发展和推广应用。在短短二十几年的时间内,国内外循环流化床单元机组最大单机容量已达到 300MW,国内循环流化床单元机组用户市场更是以几何数量级增长。目前,从事循环流化床单元机组运行的人员及师生迫切需要一本系统介绍循环流化床单元机组集控运行的专业教材和参考书,为满足师生和运行人员的迫切需求,特编写了本书。

本书立足于火力发电厂运行岗位,侧重培养操作技能,是以循环流化床单元机组运行和控制为研究对象的综合性、系统性、实用性较强的专业教材;在取材上尽量反映目前国内循环流化床单元机组运行的技术水平;本着强调基本理论、紧密联系生产实践、突出大型循环流化床发电机组的基本特征,编写时力求文字精练、通顺流畅。

本书由大同电力高级技工学校仿真高级指导教师韩云担任主编,第一、二、五章由韩云编写,第三章由王东霞高级讲师编写,第四、六章由岳建平高级讲师编写,第五章中的部分内容由亢首名讲师编写。本书编写过程中,得到了大同电力高级技工学校崔作让、杨宇松及热动教研室教师们的大力支持与帮助,并为本书提出了建设性建议,在此表示真诚的感谢!

本书由大同电力高级技工学校高级讲师柏学恭和山西大唐国际运城发电有限责任公司高级工程师孟庆文担任主审,他们仔细审阅了书稿,并提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢!

限于编者水平,加之现场工作经验不足,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2009 年 5 月

目 录

前言

第一章 循环流化床单元机组主机原理、结构及系统	1
第一节 单元制循环流化床锅炉原理、结构及系统	1
第二节 单元制汽轮机原理、结构及系统	11
第三节 单元制发电机原理、结构及系统	20
第四节 发电机主接线及厂用电系统	26
复习思考题	33
第二章 循环流化床单元机组的控制与保护系统	34
第一节 循环流化床单元机组自动控制系统的总体结构概述	34
第二节 循环流化床单元机组负荷控制系统	41
第三节 循环流化床单元机组炉膛安全监控系统	53
第四节 循环流化床单元机组的联锁保护	58
第五节 汽轮机数字电液调节系统 (DEH)	68
第六节 直接空冷控制系统 (ACC)	74
复习思考题	79
第三章 循环流化床单元制机组的状态特性	81
第一节 循环流化床锅炉启停中的热力特性	81
第二节 汽轮机启动状态的主要指标	84
第三节 汽轮机的热力特性	87
第四节 汽轮机热膨胀与热弯曲	93
第五节 发电机启动状态的主要指标及工作特性	102
复习思考题	110
第四章 循环流化床单元机组的启停	112
第一节 概述	112
第二节 循环流化床单元机组启停方式及旁路系统	113
第三节 循环流化床单元机组冷态滑参数启动	118
第四节 循环流化床单元机组热态滑参数启动	131
第五节 循环流化床单元机组冷态滑参数停机	135
第六节 循环流化床单元机组停后的保养	144
复习思考题	147
第五章 循环流化床单元机组的运行调节	149
第一节 循环流化床锅炉的运行调节	149
第二节 汽轮机运行监视与调整	167

第三节	电气运行监视与调整	171
第四节	循环流化床单元机组的负荷调节与变工况运行	174
第五节	循环流化床单元机组辅机顺序控制及运行维护	177
第六节	循环流化床单元机组的寿命管理	189
第七节	循环流化床单元机组的经济运行	191
	复习思考题	195
第六章	循环流化床单元机组的事故处理	197
第一节	单元机组的事故特点和处理原则	197
第二节	循环流化床锅炉故障处理	198
第三节	汽轮机故障处理	213
第四节	电气故障处理	225
	复习思考题	228
	参考文献	229

循环流化床单元机组主机原理、结构及系统

第一节 单元制循环流化床锅炉原理、结构及系统

火力发电厂中,单元制机组是指锅炉与汽轮发电机组之间一一对应,形成锅炉—汽轮机—发电机纵向联系的独立单元;锅炉产生的蒸汽直接进入对应的汽轮机做功,带动发电机旋转切割磁力线发电;此外,锅炉和汽轮发电机组共同维持外部负荷需要,共同确保内部运行参数的稳定。就负荷控制而言,锅炉和汽轮机发电机组是一个不可分割的整体,是一个联合的被控对象。循环流化床锅炉具有燃烧适应性好、燃烧效率高、对大气污染小、负荷调节性能好、灰渣综合利用等突出优点而得到了广泛的应用。近年来,我国投产的循环流化床锅炉发电机组主要有 50、135MW 及 300MW 等机组,由于配套的循环流化床锅炉容量、参数(主蒸汽压力、温度)及燃用的燃料(煤种)不同,其工作原理及结构也有所不同。

一、300MW 机组循环流化床锅炉的原理、结构及系统

(一) 锅炉工作原理

如图 1-1 所示,300MW 循环流化床锅炉可分为两个部分。第一部分由炉膛(流化床燃烧室)、气固分离设备(分离器)、固体物料再循环设备(返料装置、返料器)和外置换热器等组成,上述部件形成了一个固体物料循环回路;第二部分为尾部对流烟道,布置有过热器、再热器、省煤器和空气预热器等,与常规燃烧锅炉相近。

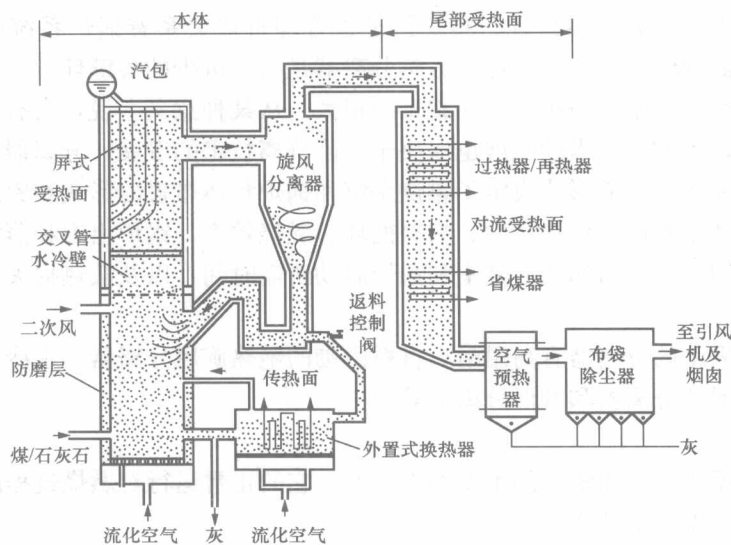


图 1-1 300MW 循环流化床锅炉示意

1. 炉膛

炉膛的燃烧以二次风入口为界分为两个区。二次风入口以下为大粒子还原气氛燃烧区;二次风入口以上为小粒子氧化气氛燃烧区。燃料的燃烧过程、脱硫过程、 NO_x 和 N_2O 的生成及分解过程主要在燃烧室内完成。燃烧室内布置有受热面,它完成大约 50% 燃料释热量

的传递过程。流化床燃烧室既是一个燃烧设备，也是一个热交换器及脱硫、脱氮装置，集流化过程、燃烧、传热与脱硫、脱硝反应于一体。所以，流化床燃烧室是流化床燃烧系统的主体。

2. 分离器

循环流化床分离器是循环流化床燃烧系统的关键部件之一，其主要作用是将大量高温固体物料从气流中分离出来，送回燃烧室，以保证燃料和脱硫剂多次循环、反复燃烧和反应。从运行机理上讲，只有当分离器完成了含尘气流的气固分离，并连续地把收集下来的物料回送至炉膛，实现灰平衡及热平衡后，才能保证炉内燃烧的稳定与高效。

循环流化床的气固分离器必须满足下列几个要求：①能够在高温情况下正常工作；②能够满足极高浓度载粒气流的分离；③具有低阻特性；④具有较高的分离效率；⑤与锅炉整体上适应，使锅炉结构紧凑。

目前，循环流化床锅炉使用的分离器主要分为两大类：旋风分离器和惯性分离器。一般来说，旋风分离器效率较高、体积大，而惯性类分离器效率稍为逊色，但尺寸小，使锅炉结构较为紧凑。按使用条件不同，分离器又可分为三大类：高温分离器（800℃左右）、中温分离器（400~600℃）和低温分离器（200~300℃）。从对锅炉性能的影响上看，高温分离较为优越，原因是被烟气夹带的颗粒可以不间断燃烧，从而提高煤的燃尽程度；另外，循环流化床炉膛内的固体物料浓度较高，会造成炉内的气相混合较差，CO 浓度较高，而高温分离器内的二次燃烧可降低 CO 浓度，且二次燃烧造成的升温还有利于 N₂O 的还原，以降低 N₂O 的排放浓度。按布置方式不同，分离器还可分为内循环分离器、炉外循环分离器和夹道循环分离器。

就系统结构而言，分离器设计、布置得是否合理直接关系着锅炉系统制造、安装、运行、维修等各方面的经济性与可靠性。虽然分离器是必不可少的一环，但它又具有相对的独立性和灵活性，在结构与布置上回旋余地很大。从某种意义上说，没有分离器也就没有循环流化床锅炉，其燃烧技术的发展也取决于气固分离技术的发展，分离器设计上的差异标志着不同的技术流派。它的形式决定了燃烧系统和锅炉整体布置的形式和紧凑性，它的性能对燃烧室的空气动力特性、传热特性、物料循环、燃烧效率、锅炉出力和蒸汽参数、石灰石的脱硫效率和利用率、负荷的调节范围和锅炉启动所需时间，以及散热损失和维修费用等均有重要影响。

国内外普遍采用的分离器有高温耐火材料内砌的绝热旋风分离器、水冷或汽冷旋风分离器、各种形式的惯性分离器和方形分离器等。

3. 返料装置

返料装置是循环流化床锅炉的重要部件之一。它的正常运行对燃烧过程的可控性及锅炉的负荷调节性能起着决定性作用。

返料装置的作用是将分离器收集下来的物料送回流化床循环燃烧，并保证流化床内的高温烟气不经过返料装置短路而流入分离器。返料装置既是一个物料回送器，也是一个锁气器。如果这两个作用失常，物料的循环燃烧过程建立不起来，则锅炉的燃烧效率将大为降低，燃烧室内的燃烧工况变差，锅炉将达不到设计蒸发量。

流化床燃烧系统中常用的返料装置是非机械式的。设计中采用的返料器主要有两种类型：一种是自动调整型返料器，如流化密封返料器；另一种是阀型返料器，如“L”阀等。

自动调整型返料器能随锅炉负荷的变化自动改变返料量,不需调整返料风量;阀型返料器要改变返料量则必须调整返料风量,也就是说,随锅炉负荷的变化必须调整返料风量。

4. 外置换热器

大型循环流化床锅炉采用外置换热器。外置换热器的作用是,使分离下来的物料部分或全部(取决于锅炉的运行工况和蒸汽参数)通过它,并将其冷却到 500°C 左右,然后通过返料器送至床内再燃烧。外置换热器不是循环流化床锅炉的必备部分,其本身的功能是一个受热面或者兼有回送功能的受热面。一般,在外置式换热器内按温度的不同布置不同形式的受热面,各受热面之间可以用隔墙隔开,可布置省煤器、蒸发器、过热器、再热器等受热面。

外置换热器的实质是一个细粒子鼓泡流化床热交换器,流化速度为 $0.3\sim 0.45\text{m/s}$,并具有传热系数高、磨损小的优点。采用外置换热器的优点如下:①可解决大型循环流化床锅炉床内受热面布置不下的困难;②为过热蒸汽温度和再热蒸汽温度的调节提供了很好的手段;③增加循环流化床锅炉的负荷调节范围;④增加同一台锅炉对燃料的适应性;⑤节约锅炉受热面的金属消耗量。其缺点是它的采用使燃烧系统、设备及锅炉整体布置方式比较复杂。

外置换热器的受热面设计中,必须注意的两个问题是:管束的夹持和防磨。

(二) 300MW 机组循环流化床锅炉的结构及系统

1. 锅炉本体

如图1-1所示,1025t/h亚临界自然循环、一次中间再热的循环流化床锅炉,与300MW等级汽轮发电机组相匹配,可配合汽轮机定压或滑压启动和运行。该炉主要由单炉膛、4台高温绝热旋风分离器、4台回料阀、4台外置式换热器、尾部对流烟道、4台冷渣器和1台回转式空气预热器等组成。

单炉膛采用裤衩腿、双布风板结构,炉膛内蒸发受热面采用膜式水冷壁及水冷壁延伸墙结构。采用水冷布风板、大直径钟罩式风帽,具有布风均匀、防堵塞、防结焦和便于维修等优点。在炉膛上部左右两侧各布置有两个高温绝热旋风分离器,外壳由钢板制造,内衬绝热材料及耐磨耐火材料,分离器上部为圆筒形,下部为锥形。

每个高温绝热分离器回料腿下布置1个回料阀和1个外置式换热器,分离器分离下来的循环物料分别进入回料阀和外置式换热器,再分别以高温物料和“低温”物料的状态返回炉膛,从而实现床温调节和再热汽温调节的目的。回料阀为气力式自平衡型,流化风用高压风机供给。回料阀外壳由钢板制成,内衬保温材料 and 耐磨耐火材料。耐磨材料和保温材料采用拉钩、抓钉和支架固定。每个回料阀一侧与炉膛相连,另一侧与一个外置式换热器相连。分离器分离下来的高温物料一部分直接返送回炉膛,另一部分进入外置式换热器;外置换热器入口设有锥形阀,通过调整锥形阀的开度来控制外置换热器和回料阀的循环物料分配。

在炉膛两侧下部对称布置4个外置式换热器。外置式换热器外壳由钢板制成,内衬绝热材料和耐磨耐火材料。靠近炉前的2个外置式换热器内布置高温再热器和低温过热器。这两个外置式换热器主要用来调节再热蒸汽温度;靠近炉后的2个外置式换热器内布置中温过热器Ⅰ和中温过热器Ⅱ,这两个外置式换热器则主要用来调节床温。外置式换热器外壳、顶板和布风板均由碳钢材料制成,内衬绝热材料和耐磨耐火材料。布置有高温再热器和低温过热器的2个外置式换热器分别由3个分室组成,第一室为空室,第二室布置有高温再热器,第三室则布置低温过热器,各室之间的隔墙为水冷隔墙。布置有中温过热器Ⅰ和中温过热器Ⅱ

的2个外置式换热器分别由2个分室组成，第一室为空室，第二室布置有中温过热器Ⅰ和中温过热器Ⅱ，各室之间的隔墙为水冷隔墙。每个分室都布置有布风板和风箱，流化风由高压流化风机供给。外置式换热器解决了随着锅炉容量增大，受热面布置困难的矛盾，使锅炉受热面的布置更灵活。炉膛、分离器、回料阀和外置式换热器构成了循环流化床锅炉的核心部分——物料热循环回路。

煤与石灰石在燃烧室内完成燃烧及脱硫反应，产生的烟气分别进入4个分离器进行气固两相分离，经过分离器净化过的烟气进入尾部烟道。尾部对流烟道中依次布置高温过热器、低温再热器、高温省煤器、低温省煤器，最后进入回转式空气预热器。过热蒸汽温度由布置在各级过热器之间的三级喷水减温器调节。减温器分别布置在低温过热器与中温过热器Ⅰ之间、中温过热器Ⅰ与中温过热器Ⅱ之间，以及中温过热器Ⅱ与高温过热器之间；减温水来自锅炉给水（给水泵出口高压加热器前）。再热汽温通过布置有高温再热器的2个外置式换热器来调节。同时，在低温再热器入口处还布置有事故喷水减温器。外置式换热器实现了床温和再热蒸汽温度分开调节的目标，更方便灵活，有利于锅炉的低负荷稳燃，避免了再热器喷水调温影响整个机组热经济性的弊端。高温过热器、低温再热器和高温省煤器区烟道采用的包墙过热器为膜式壁结构，低温省煤器区烟道则采用护板结构。

锅炉过热蒸汽流程如图1-2所示。



图 1-2 300MW 循环流化床锅炉过热蒸汽流程

燃烧室与尾部烟道包墙均采用水平绕带式刚性梁，以防止内外压差作用造成的变形。锅炉设有膨胀中心，各部分烟气、物料的连接管之间设置性能优异的膨胀节，以解决由热位移引起的三向膨胀问题；各受热面穿墙部位均采用国外成熟的密封技术设计，确保锅炉的良好密封。循环流化床燃烧用风分级送入燃烧室，以降低 NO_x 的生成量，除从布风板送入的一次风外，还从燃烧室下部锥段分两层不同高度引入二次风。脱硫剂采用石灰石，以气力输送方式分8点送入回料阀斜腿，分4路进入炉膛。

锅炉启动采用床上床枪和床下启动燃烧器结合的启动方式，以节省启动用油。床下布置有2只启动燃烧器（热烟发生器），床上则布置8只启动床枪。

锅炉除在燃烧室、分离器、回料阀、冷渣器和外置式换热器等有关部位设置非金属耐火防磨材料外，还在尾部对流受热面、燃烧室和外置式换热器等有关部位采取了金属材料防磨措施，以有效保障锅炉的安全连续运行。

锅炉钢构架采用高强螺栓连接,按Ⅶ度基本地震裂度设计。

锅炉采用支吊结合的固定方式,分离器筒体、冷渣器、外置式换热器和空气预热器为支撑结构,回料阀为支吊结合,其余均为悬吊结构。

锅炉的蒸汽系统为汽轮机提供满足压力和温度要求的蒸汽,包括高压蒸汽系统和中压蒸汽系统。高压蒸汽系统包括省煤器、汽包、水冷壁和过热器;中压蒸汽系统包括低温再热器和高温再热器。

2. 锅炉辅机系统

(1) 给煤系统。系统布置2台煤二级破碎机(1运1备)、4台皮带给煤机、4台刮板给煤机,采用12点给煤。炉前煤斗里的煤经刮板式给煤机送至位于炉膛两侧回料装置的回料管线上,共8个给煤口,即每个回料阀返料腿上有2个给煤点,给煤随循环物料一起分4点进入炉膛;给煤管线上有冷二次风作为给煤密封风,以防止炉内正压烟气返窜入给煤机;另外,从每个给煤机上再分别引出一根给煤管线,分别送到两侧墙,每2根给煤线分别供2个侧墙上给煤点送入炉膛,并引入热一次风作为吹扫风,以保证给煤在炉内的均匀扩散;给煤管线上均有冷一次风作为给煤密封风,以防止炉内正压烟气返窜入给煤机。

(2) 石灰石供给系统。为满足锅炉环保排放要求,需向燃烧室内添加石灰石作为脱硫剂。石灰石既用于脱硫,又起到循环物料的作用。由于煤灰中CaO含量较高,自脱硫能力较强,因此在采用较低Ca/S比(<2)的情况下就可以达到较高的脱硫效率。采用2套石灰石系统,每套输送系统由石灰石输送风机通过石灰石输送管道将石灰石输送到4个回料阀的返料管线上,从炉膛前后分4点送入炉膛。每个石灰石给料管线上均有热二次风作为正压密封风,以防止炉内正压烟气返窜。

(3) 锅炉排渣。锅炉采用4台风水联合式冷渣器作为灰渣冷却设备,布置在炉膛的下部,同时采用4只锥形阀作为排渣控制设备,排渣控制简单可靠,并能实现连续排渣。

(4) 配风系统。锅炉采用并联配风系统,共设有2台一次风机、2台二次风机、5台高压风机、2台石灰石输送风机和2台引风机。

一次风由2台风机供给,一次冷风一部分直接送到两侧墙给煤管线上,作为给煤密封风;其余进入回转式空气预热器内加热后,通过一次热风道,经床下启动燃烧器,分别进入2个裤衩腿下部的水冷风室内,再由布风板进入炉内,从而保证炉内物料的流化,并将部分小颗粒物料提升起来;另外,从热一次风道上分别引出4股风。其中,2股作为两侧墙给煤的播煤风,以保证给煤在炉内的均匀扩散和分布,从而有利于保证床温的均匀性;另外2股作为外置换热器的吹扫风,以保证锅炉能安全运行。

二次风由2台二次风机供给,一部分二次冷风直接送到回料腿的给煤管线上,作为给煤密封风;其余均进入空气预热器内加热,然后由二次热风道送到炉前,再由多只二次风管分两层不同高度进入炉内,从而起到补充燃烧和输送床料的作用,并实现分级送风,以降低 NO_x 排放。另外,从二次热风道引出一部分送到石灰石管线上,作为石灰石密封风和冷却风。

5台高压流化风机(4运1备)分别为冷渣器、外置式换热器、回料阀提供流化风、床枪和启动燃烧器冷却风。

石灰石风机为石灰石输送提供介质,以减少石灰石仓堵塞的可能性。

锅炉采用平衡通风方式,压力平衡点设在炉膛出口。

(5) 点火系统。为加快启动速度,节省燃油,实际中采用了床上和床下结合的启动方式。2只床下启动燃烧器布置在水冷风室后的一次风道上(每只裤衩腿1只);在布风板上还布置有8只床枪(每只裤衩腿4只)。锅炉启动时,首先投入床下2只燃烧器,将床温加热到 470°C 以上后,再分别投入床枪,将床温加热到煤的着火温度。2只床下启动燃烧器配有点火装置和火检,以保证锅炉点火的安全性。

床下启动燃烧器:对称布置左右各1只,每只内布置2只油枪。床枪:炉膛下部对称布置,左右腿各4只,共8只油枪。

(6) 加料系统。锅炉启动前,应向炉内添加物料,而且由于燃用煤质中灰量较小,根据锅炉的实际运行情况,有可能需要向炉内补充床料,为此设计有物料添加系统。该系统主要由床料斗、输送管道及阀门等构成;床料由料斗排出,由压缩空气经输送管道分别输送到二次风管及外置式换热器加料点上。

二、135MW 机组循环流化床锅炉的结构及系统

图1-3所示为465t/h超高压自然循环、一次中间再热的循环流化床锅炉。该炉与135MW等级汽轮发电机组相匹配,可配合汽轮机定压或滑压启动和运行,其主要特点如下:①采用高温分离器,分离器采用入口烟道下倾、中心筒偏置、旋风筒呈圆形的结构,使旋风筒的分离效率提高;②由于煤中含灰量较高,因此采用带受热面的风水联合式冷渣器;③采用钟罩式风帽,每个风帽由较小直径的内管和较大直径的外罩组成,外罩与内管之间用螺纹连接;该风帽具有流化均匀、不堵塞、不磨损、安装及维修方便的优点;④为加快启动速度,节省燃油,燃油点火采用了床上和床下结合的方式。

锅炉主要由炉膛、高温绝热分离器、自平衡U形回料阀和尾部对流烟道组成。采用床上床下联合启动点火方式,冷渣器采用风水联合冷渣器,由锥形阀控制排渣。炉膛内的蒸发受热面采用膜式水冷壁,同时布置了双面水冷壁。屏式Ⅱ级过热器和屏式热段再热器布置在燃烧室内,炉膛壁面和受热面的易磨损部位均采取了防磨措施。炉膛底部是水冷布风板,其上布有布风均匀、防堵塞、防结焦的大直径钟罩式风帽。高温绝热分离器、回料腿、自平衡U形回料阀构成了循环物料的返料系统。配风分一、二次风,并由各自的风机供风,采用分级配风。一次风经布风板给入,二次风喷口布置于炉膛密相区,给煤、石灰石系统的密封风均取自二次风。尾部对流烟道中布置了Ⅲ级、Ⅰ级过热器,冷段再热器,省煤器和空气预热器。过热蒸汽、再热蒸汽均采用喷水减温的方式调节汽温;过热器系统布置二级喷水,再热器系统布置一级。油燃烧器共8只。其中,床上4只,床下4只。床上油枪为简单机械雾化油枪,床下油枪为回油式机械雾化油枪,各燃烧器燃用0号轻柴油。由锥形阀控制排渣,冷渣器冷却灰渣。冷渣器内布置水冷管束,流化风由冷渣器高压风机供风。配有飞灰再循环系统,以利用回灰来补充床料,并回收没有反应的石灰石,从而减少石灰石的添加量。

1. 锅炉循环回路

该锅炉采用循环流化床燃烧方式,在设计燃料、额定负荷下,燃烧室内燃烧温度为 917°C 。为保证水循环安全可靠,水冷壁采用多个水循环回路。

两侧水冷壁各有一个下集箱和一个上集箱,水经集中下降管和分配管进入下集箱,然后经侧水冷壁至上集箱,再由汽水引出管将汽水混合物引至汽包。前、后水冷壁各有2个下集箱,共有2个上集箱,水经集中下降管和分配管分别进入前水下集箱和后水下集箱;前水冷

壁中一部分水经该壁进入上集箱，另一部分水经水冷布风板的管子进入后水下集箱，与后水下集箱的水会合后经后水冷壁、顶棚管流至前、后水上集箱，再由汽水引出管引至汽包。双面水冷壁有独立的循环回路及单独的下降管和引出管。

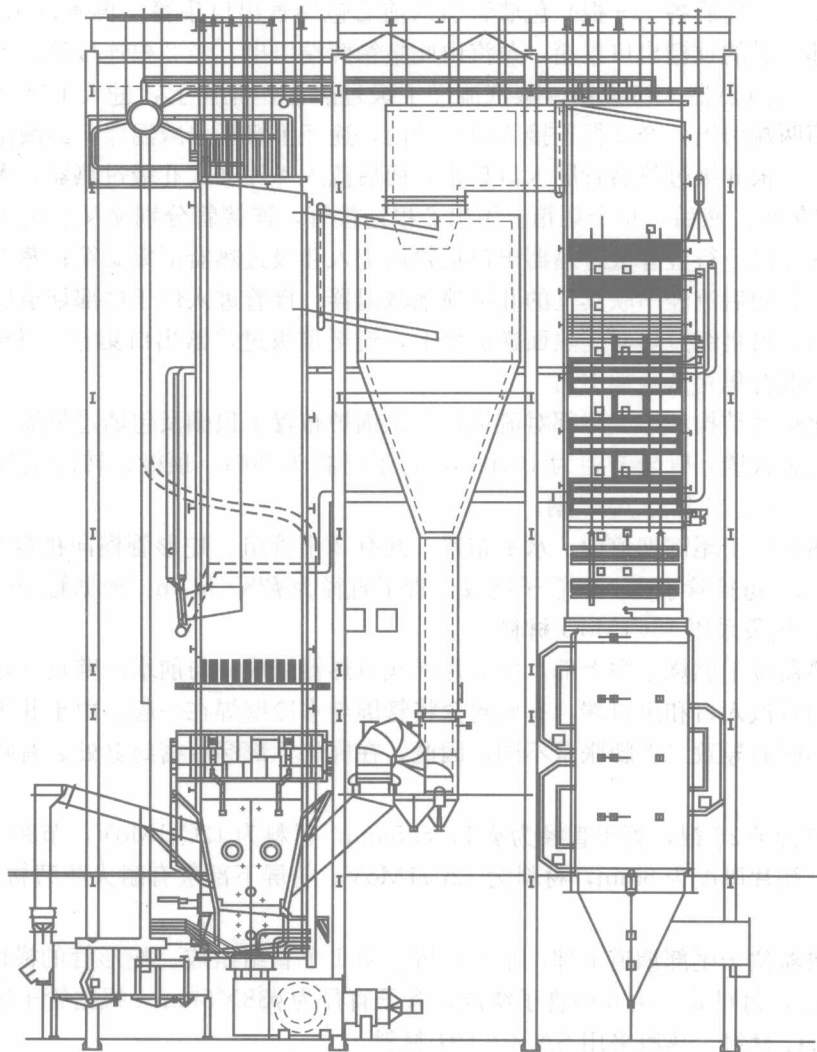


图 1-3 465t/h 超高压一次再热循环流化床锅炉

该锅炉汽水分离采用单段蒸发系统，汽包内部装有旋风分离器、梯形波形板分离器、清洗孔板、顶部多孔板和顶部波形板等设备。它们的作用在于保证蒸汽中的含盐量在标准以下。来自省煤器的给水进入汽包，再进下降管到汇合集箱，而后进入水冷壁下集箱，经水冷壁吸热，产汽，汽水混合物进入上集箱，经导汽管进入汽包，流经旋风分离器进行汽水分离，蒸汽由汽包顶部进入过热器系统，水则流回汽包的水空间。

连续排污时，连排的炉水经管道进入连排扩容器降压，产生的蒸汽至除氧器回收，浓缩炉水则经管道进入定排扩容器。定排的炉水和锅炉各集箱的疏水也进入定排扩容器。由此产生的蒸汽排入大气，污水则经水封排入污水井。

2. 过热蒸汽系统

饱和蒸汽自汽包顶部由 8 根连接管分别引入两侧包墙上集箱，每侧 4 根，然后经 116 根（每侧 58 根）侧包墙管下行至侧包墙下集箱。再分别引入前后包墙下集箱。蒸汽由前后包墙下集箱沿 238 根（前后各 119 根）包墙管引入前后包墙管出口集箱，再通过 13 根立管，将蒸汽送入尾部烟道的顶棚出口集箱，蒸汽由此集箱两端引出，经 2 根连接管向下流入位于后包墙下部的Ⅰ级过热器入口集箱。蒸汽流经Ⅰ级过热器逆流而上，进入Ⅰ级过热器出口集箱，再自集箱两端引出，经 2 根连接管引向炉前，途经Ⅰ级喷水减温器，经减温后的蒸汽由分配集箱进入 4 根Ⅱ级过热器管屏入口集箱，而后流入 4 片屏式Ⅱ级过热器，再向上进入此 4 片屏的中间集箱。然后，每个集箱上引出 2 根连接管，连接管分别交叉后引入其余 4 个中间集箱，过热蒸汽下行至Ⅱ级过热器出口集箱后进入Ⅱ级过热器汇集集箱；蒸汽从集箱两侧引出，经连接管向后流经串联其上的Ⅱ级喷水减温器，接着进入位于尾部烟道后部的Ⅲ级过热器入口集箱，沿Ⅲ级过热器受热面逆流而上，流至Ⅲ级过热器出口集箱，达到 540℃ 的过热蒸汽最后经混合集箱从两端引出。

为了简化炉墙结构和形成尾部对流烟道，该锅炉布置了顶棚及包墙过热器，它是由管子与扁钢焊制成膜式壁，管子节距为 100mm，管子材料为 20G，顶棚、转向室及上部包墙处的鳍片为 15CrMo，其余为 20 号钢。

Ⅰ级过热器位于尾部烟道中，水平布置，共有 2 个管组。蛇形管横向排数为 118，横向节距为 100mm，每排管子由 3 根管子绕成，管子直径为 $\phi 38 \times 5\text{mm}$ 。根据管子壁温，冷段采用 20G 材料，热段采用 15CrMoG 材料。

Ⅱ级过热器位于燃烧室中上部，由 8 片屏式过热器组成，与前水冷壁垂直布置，下部穿前墙处为屏的蒸汽入口和出口端，有密封盒将管屏与水冷壁焊在一起。由于Ⅱ级过热器与前水冷壁壁温不同而导致二者膨胀量不同，因此，在屏的上部穿墙密封盒处装有膨胀节，以补偿膨胀差。

每片屏有管子 26 根，管子直径为 $\phi 51 \times 5.5\text{mm}$ ，材料为 12Cr1MoV，节距为 70mm。管屏为膜式壁，鳍片厚度为 5mm，材料为 12Cr1MoV。管屏下部敷有耐火防磨材料及堆焊层，以防磨损。

Ⅲ级过热器位于尾部烟道上部，水平布置，由 1 个管组组成。蛇形管的横向排数为 59，节距为 200mm，每排管子由 6 根管子绕成，管子直径为 $\phi 38 \times 5\text{mm}$ 。根据管子壁温，冷段采用 12Cr1MoVG 材料，热段采用 SA213-T91 材料。

过热蒸汽温度的调节应满足：锅炉定压运行时，保证在 70%B-MCR~B-MCR 负荷内过热蒸汽温度能达到额定值；滑压运行时，保证在 50%B-MCR~B-MCR 负荷内过热蒸汽温度能达到额定值，允许偏差为 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。蒸汽温度的调节采用二级喷水减温器，分别位于Ⅰ、Ⅱ级过热器之间的管道上和Ⅱ、Ⅲ级过热器之间的管道上。喷水水源为给水泵出口、高压加热器前，减温器采用筒形管式。

在设计煤种 B-MCR 工况下，Ⅰ级减温器喷水量为 12.3t/h，将蒸汽温度从 414.5℃ 降至 397.2℃；Ⅱ级减温器喷水量为 8.2t/h，将蒸汽温度从 489.4℃ 降至 472.9℃。

3. 再热蒸汽系统

来自汽轮机高压缸的蒸汽由两端进入再热器入口集箱，而后引入位于尾部对流烟道的冷段再热器蛇形管，蒸汽逆流而上进入冷段再热器出口集箱，再自集箱两端引出，经 2 根连接

管引向炉前，途经喷水减温器，经减温后的蒸汽由分配集箱进入 6 根热段再热器管屏入口集箱，流入 6 片屏式再热器后向上进入热段再热器出口集箱，达到 540℃ 的再热蒸汽最后由两端引出，进入汽轮机中压缸。

冷段再热器位于尾部烟道中，水平布置，共有 3 个管组。蛇形管的横向排数为 118，横向节距为 100mm，每排管子由 4 根管子绕成，管子直径为 $\phi 51 \times 4\text{mm}$ ，采用 15CrMoG 材料。

热段再热器位于燃烧室中上部，由 6 片屏式再热器组成，与前水冷壁垂直布置，下部穿前墙处为屏的蒸汽入口端，有密封盒将管屏与水冷壁焊在一起。由于热段再热器与前水冷壁壁温不同而导致二者膨胀量不同，因此，在屏的上部穿墙密封盒处装有膨胀节，以补偿膨胀差。

锅炉定压运行时，保证在 70%B-MCR~B-MCR 负荷内再热蒸汽温度能达到额定值；滑压运行时，保证在 50%B-MCR~B-MCR 负荷内再热蒸汽温度能达到额定值，允许偏差为 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。蒸汽温度的调节采用喷水减温器，位于冷段和热段再热器之间的管道上。当由于各种原因引起再热器超温而危及再热器安全时，应用事故喷水紧急降温，以保护再热器。喷水水源为给水泵抽头，减温器采用笛形管式。

在设计煤种额定负荷工况下，再热器喷水量为 5.44t/h，将蒸汽温度从 446.1℃ 降至 429.2℃。

4. 燃烧系统

原煤从原煤斗下落至电子称重式给煤机（给煤量通过控制转速调节），而后进入风煤混合器，经播煤风送入炉膛参与燃烧。

一次风机供风分两路。第一路经空气预热器加热后成为热风进入炉膛底部的布风板上；第二路未经预热的冷风直接进入风道燃烧器。

二次风机供风分五路。第一路未经预热的冷风作为给煤机密封用风；第二路经空气预热器加热后的热风直接经炉膛上部的二次风箱送入炉膛；第三路热风作为密封风引至给煤口；第四路热风作为密封风引至石灰石口；第五路热风作为密封风引至循环灰回灰口。

石灰石输送风系统不可调，输入炉膛的石灰石量通过石灰石旋转阀调节。石灰石进入风粉混合器与石灰石风机输入风混合后，进入炉膛参与燃烧脱硫。

该锅炉装有 2 台风水联合式冷渣器，位于炉前。冷渣器呈矩形，内衬耐磨、耐火材料，共分 3 个室。第一室没有布置受热面，主要利用流化风冷却热渣；第二、第三室内装有蛇形管束。一、二室相通，二、三室由风冷隔墙隔开，冷渣器底部有布风板和风箱。每台冷渣器有 1 个进渣管，位于第一室侧面；第三室后有 1 个排渣口和 1 个返料口，排渣口与排渣系统相连接，返料口则与炉膛相连。

当炉膛下部床压升高时，底渣通过炉膛前墙底部的 2 个出渣口经锥形阀从侧面进入冷渣器第一室内，在流化风的作用下，首先在第一室内得到冷却，再经过第二室溢流到第三室。底渣不断被风和水冷管束冷却，冷却后的底渣再溢流到排渣口，继而进入排渣系统；流化空气及所携带的细灰通过返料管重新送回炉膛。每个高温绝热分离器料腿下端装有 1 只返料装置，用以回路密封，并将分离器分离下来的固体物料返回燃烧室，继续参与循环与燃烧。在返料装置的底部装有布风板和风箱，来自高压密封风机的风通过风箱和布风板上的风帽来流化、输送物料。返料装置外壳由碳钢材料制成，内衬保温、耐火耐磨材料。分离器分离下来的物料从回料管下来，在流化风的作用下，流过回料弯管，再经回料斜管流入炉膛。

5. 尾部烟道系统

省煤器布置在尾部对流烟道内,呈逆流、水平、顺列布置,为检修方便,省煤器的蛇形管分成2个管组。省煤器蛇形管由 $\phi 32 \times 4\text{mm}$,材料为20G的管子组成,蛇形管为2绕,横向节距为66.5mm,共178排。省煤器的给水由入口集箱两端引入,经省煤器受热面逆流而上,进入2个省煤器中间集箱,然后通过2排共118根吊挂管引至省煤器上集箱,再从省煤器出口集箱通过12根 $\phi 108 \times 12\text{mm}$ 的连接管引至汽包。烟气自上而下流过省煤器;给水自下而上流经省煤器。省煤器再循环门通过管道与汽包相连。

管式空气预热器采用卧式布置,沿烟气流程一、二次风交叉布置,共有4个行程。该锅炉采用卧管式空气预热器,并将压头不同的一、二次风分开布置。该布置方式有利于密封。烟气自上而下从管外流过,空气从管内流过,与烟气呈逆流布置。为便于吹灰器清扫,空气预热器采用顺列布置,并分成4组。

空气可由一次风机导入口、高压流化风或冷渣风进入,在一次风机出口混合。其中,一部分引出至床下燃烧器;另一部分经一次风空气预热器加热后,一路引至给煤口作为播煤风,另一路引至床下燃烧器作为点火风。

空气由二次风机导入口进入,经暖风器加热后,在二次风机出口混合。其中,一部分引出至给煤机密封;另一部分经二次风空气预热器加热后引至各用风设备。

在炉膛中燃烧生成的烟气,从炉膛出口经水平烟道先后流经Ⅲ级过热器、Ⅰ级过热器、冷再热器、省煤器、二次风空气预热器和一次风空气预热器,最后经除尘器、引风机到达烟囱而排向大气。

三、循环流化床锅炉的特点

1. 燃料适应性广

由于大量灰粒的稳定循环,新加入循环流化床锅炉的燃料(煤)将只占床料的很少份额。循环流化床的特殊流体动力特性,使其中的质量和热量交换非常充分,这就为新加入燃料的预热、着火创造了十分有利的条件。而未燃尽的煤粒子通过多次循环既可增加其炉内停留时间,又可多次参与床层中剧烈的质量交换和热量交换,十分有利于其燃尽。这就使循环流化床锅炉不仅可高效燃用烟煤、褐煤等易燃煤种和无烟煤等难燃煤种,还可高效燃用各种低热值、高灰分或高水分的矸石、固体垃圾等废弃物。

2. 污染物排放少

可利用脱硫剂进行炉内高效脱硫是循环流化床锅炉的突出优点。常用的脱硫剂是石灰石。通常,循环流化床锅炉的床温保持在 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$,而这一区间正是脱硫反应效率最高的温度区间。因而,在适当的钙硫比和石灰石粒度下,可得高达 $80\% \sim 90\%$ 的脱硫率。同样,由于燃烧温度较低,加以分级送风,因此循环流化床锅炉燃烧时产生的 NO_x 也远低于煤粉锅炉。这样,燃煤循环流化床锅炉的 SO_2 和 NO_x 排放量远低于不加烟气脱硫的煤粉炉,可轻易地控制到低于标准允许排放量的水平。与常规煤粉锅炉相比, SO_2 、 NO_x 的排放可减少 50% 以上,较采用煤粉锅炉加净化装置节约投资 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 锅炉负荷适应性好

循环流化床锅炉中床料绝大部分是高温循环灰,这就为新加入燃料的迅速着火和燃烧提供了稳定的热源。因而,循环流化床锅炉的负荷可以很低,如额定负荷的 30% 左右,无需辅助的液体燃料,也不会发生煤粉锅炉难于保持燃烧甚至熄火的情况。