

大型循环流化床锅炉 运行优化及改进

杨建球 曾庭华 李焕辉 编著
陈伟球 卢炼区 李 劲



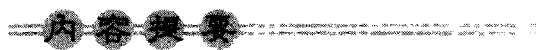
中国电力出版社
www.cepp.com.cn

大型循环流化床锅炉 运行优化及改进

杨建球 曾庭华 李焕辉 编著
陈伟球 卢炼区 李 劲



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



本书在介绍典型循环流化床锅炉的基础上,针对运行过程中常见的点火(助燃)油量大、炉内及返料器内结焦、给煤系统堵塞、冷渣器故障频频、石灰石粉系统及床料系统堵塞、锅炉受热面管子磨损严重、耐火材料损坏、风帽磨损与漏渣、锅炉效率偏低(飞灰含碳量大、排烟温度高等)、过热器和再热器超温爆管、机组厂用电率高等影响循环流化床锅炉机组可靠性、经济性的问题,总结了国内众多大型循环流化床锅炉在启停操作、给煤系统、冷渣器系统、石灰石粉系统及床料系统、锅炉的磨损及防磨、锅炉的燃烧优化及节能等各个方面的优化改造经验。全书内容丰富新颖,附有大量的现场数据及彩色图片,实用性很强,对我国大型循环流化床锅炉的设计和安全经济运行都有很好的参考价值。

本书特别适合从事循环流化床锅炉运行、维修和管理工作的工程技术人员以及从事大型循环流化床锅炉研究、设计工作的科研人员阅读使用,对高等院校相关专业研究生、大学生也有很好的参考作用。



图书在版编目(CIP)数据

大型循环流化床锅炉运行优化及改进/杨建球等编著. —北京:中国电力出版社, 2010

ISBN 978-7-5083-9451-0

I. 大… II. 杨… III. 流化床—循环锅炉 IV. TK229.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第168586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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年1月第一版 2010年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.75印张 507千字

印数0001—3000册 定价 55.00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



序

Foreword

近年来,大型循环流化床锅炉以其燃料适用性广、环保性能优异等特点,在我国得到了飞速发展,但对循环流化床锅炉运行中出现的问题进行全面、系统总结和梳理的书籍还很少,《大型循环流化床锅炉运行优化及改进》一书弥补了这一不足。

该书以广东省连州电厂 135MW 循环流化床锅炉的运行优化及改进为主线,综合国内外大量 135~300MW 循环流化床锅炉的实际运行经验,重点论述了大型循环流化床锅炉给煤系统、排渣系统、石灰石系统和床料系统的运行优化及改进,对锅炉启停节油操作、防止锅炉结焦操作、锅炉燃烧优化调整方法、“四管”防磨措施等方面的成功经验也进行了详细、深入的介绍。书中引用了大量宝贵的现场图片、现场数据和改造案例,选材恰当,十分难得。全书脉络清楚,语言简练,表述清晰准确,分析透彻,有一定的理论深度,同时具有很好的实际应用价值。

该书的作者都来自生产一线,长期从事循环流化床锅炉的运行、检修、维护及管理工作,对循环流化床锅炉系统设备的优化改造、节能减排及燃烧调整等,具有十分丰富的实践经验。通过对这些现场成功实践的总结和提炼,形成了《大型循环流化床锅炉运行优化及改进》一书。该书适合从事大型循环流化床锅炉设计、调试、运行、维护、生产管理工作的有关人员阅读使用,对相关专业的大学、研究生等也具有很大的参考价值,对我国大型循环流化床锅炉的发展具有一定的借鉴意义。

刘润华

2009 年 10 月

前言

Preface

循环流化床锅炉因其燃料适用性广、负荷调节性强以及环保性能优良而得到了越来越多的重视。近年来,在能源与环境的双重压力下,循环流化床锅炉在我国得到了快速发展。我国现有不同容量的循环流化床锅炉近3000台,约63000MW投入商业运行,占电力行业锅炉总台数的三分之一以上,其中410~480t/h(100~150MW)等级循环流化床锅炉超过150台。截至2008年底,已投运的300MW循环流化床锅炉机组达13台,在建和拟建的300MW循环流化床锅炉机组也达到50台以上,超过了世界上其他国家的总和;我国自主设计制造的最大容量为330MW的循环流化床机组已于2009年1月投入商业运行;在“十一·五”期间,煤炭行业还将建设20GW装机容量的煤矸石资源综合利用循环流化床锅炉机组,主要是300MW等级;四川内江白马电厂600MW超临界循环流化床锅炉机组已开工建设,计划于2010年前后投产。因此,可以预见,循环流化床锅炉将会在我国得到更大发展。

装备大量循环流化床锅炉机组,对于优化我国电力结构、改善电力供应品质、提高我国整体资源利用效率以及降低污染物排放,发挥了不可替代的作用。但因为大型循环流化床锅炉出现较晚,所以对它的设计、运行规律掌握得不够彻底,在运行过程中出现了许多影响锅炉安全稳定运行及机组经济性等问题,例如锅炉点火(助燃)油量大、炉内及返料器内结焦、给煤系统堵塞、冷渣器故障频频、石灰石粉系统及床料系统堵塞、锅炉受热面管子磨损严重、耐火材料大量损坏、风帽磨损与漏渣、锅炉效率偏低(飞灰含碳量大、排烟温度高等)、过热器和再热器超温爆管、机组厂用电率高等,造成机组的可靠性、经济性逊于煤粉炉。鉴于此,本书以广东省连州电厂440t/h循环流化床锅炉的整体优化改进为主线,参阅了大量135~300MW等级的循环流化床锅炉文献资料,总结了国内多个电厂在循环流化床锅炉各个系统的运行优化、设备改造等方面的实践经验,重点分析了大型循环流化床锅炉运行存在的问题及进行的各种有效的改进措施。连州电厂的2台循环流化床锅炉,经过多年的整体优化改造,其整体运行情况及各项经济指标都有了较大幅度的提高,多次在全国135MW级循环流化床机组竞赛中获奖,表明锅炉的整体优化达到了国内领先水平,其所取得的成功经验已在全国广泛应用,为我国大型循环流化床锅炉的推广和进一步大型化作出了贡献。

本书共分7章。第一章主要介绍了循环流化床锅炉的工作原理、基本构成及典型的循环流化床锅炉实例。第二章至第七章,依次总结了循环流化床锅炉在启停操作、给煤系统、冷渣器系统、石灰石粉及床料系统、锅炉磨损及防磨、锅炉燃烧优化及节能等各个方面的优化改进经验。全书理论介绍较少,而代之以大量的循环流化床锅炉优化改进实例、现场数据及图片,实用性很强,对提高我国大型循环流化床锅炉的整体安全经济运行水平、优化循环流化床锅炉的设计等都有很好的参考价值。

限于经验和水平,书中不足之处,敬请各位专家和读者批评指正。

作者

2009年10月

目 录

Contents

序	
前言	
第一章 绪论	1
第一节 循环流化床锅炉工作原理	1
第二节 循环流化床锅炉基本构成	3
第三节 大型循环流化床锅炉实例	7
第二章 循环流化床锅炉启动、停炉操作优化	28
第一节 风道燃烧器烧坏	28
第二节 循环流化床锅炉结焦	30
第三节 循环流化床锅炉冷态启动操作优化	45
第四节 循环流化床锅炉停炉操作优化	55
第三章 循环流化床锅炉给煤系统优化改造	88
第一节 连州电厂循环流化床锅炉给煤系统改造	88
第二节 循环流化床锅炉给煤系统问题与对策	95
第三节 循环流化床锅炉给煤系统设计探讨	113
第四章 循环流化床锅炉冷渣器系统优化改造	122
第一节 连州电厂循环流化床锅炉冷渣器改造	122
第二节 梅县电厂循环流化床锅炉冷渣器改造	134
第三节 其他循环流化床锅炉冷渣器改造和应用	141
第四节 循环流化床锅炉冷渣器选择探讨	154
第五章 循环流化床锅炉石灰石粉系统及床料系统的优化改造	174
第一节 连州电厂石灰石粉系统的改造	174
第二节 其他石灰石粉系统改造实例	181
第三节 循环流化床锅炉床料系统的改造	186
第四节 循环流化床锅炉启动床料系统的设计探讨	188
第六章 循环流化床锅炉的磨损及防磨改进	194
第一节 循环流化床锅炉磨损概述	194
第二节 循环流化床锅炉金属件的磨损	202
第三节 循环流化床锅炉耐火材料的磨损及防磨	211
第四节 循环流化床锅炉的防磨优化改进	216

第七章 循环流化床锅炉的燃烧优化及节能改造	257
第一节 循环流化床锅炉热效率的影响因素及改进	257
第二节 循环流化床锅炉过热器等超温和爆管的改进	280
第三节 循环流化床锅炉节能改造	289
第四节 风帽改造	301
第五节 循环流化床锅炉的热工控制逻辑优化改造	315
参考文献	322

绪论

第一节 循环流化床锅炉工作原理

循环流化床燃烧技术是以流态化技术为基础，在鼓泡流化床的基础上发展而来的。流态化是固体颗粒在流体作用下表现出类似流体状态的一种现象，固体颗粒、流体以及完成流态化的设备统称为流化床。流体作为流化介质，一般有气体和液体两大类，在锅炉燃烧中，流化介质为气体，固体煤颗粒以及煤燃烧后的灰渣（床料）被流化，称为气固流态化。流化床锅炉与其他类型燃烧锅炉的根本区别在于燃料处于流态化运动状态，并在流态化过程中进行燃烧。当气体通过颗粒床层时，该床层随着气流速度的变化会呈现不同的流动状态。随着气流速度的增加，固体颗粒分别呈现出固定床、起始流态化、鼓泡流态化、湍流流态化、快速流态化及气力输送等状态，如图 1-1 所示。

随着气流速度的增加，固体颗粒分别呈现出固定床、起始流态化、鼓泡流态化、湍流流态化、快速流态化及气力输送等状态，如图 1-1 所示。

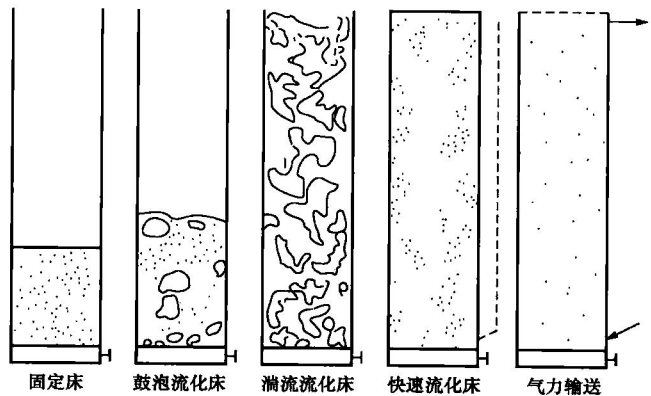


图 1-1 不同气流速度下固体颗粒床层的流动状态

(1) 固定床。在流速较低时，气流仅是在静止颗粒的缝隙中流过，这时床层称为固定床。

(2) 起始流态化。当气体速度增加到一定值时，颗粒被上升的气流托起，床层开始松动，气体对颗粒的作用力与颗粒的重力相平衡，通过床层任意两个截面的压力降与在此两截面间单位面积上颗粒和气体的重力之和相等，这时床层处于临界流化状态，对应的气流速度称为最小流化速度或临界流态化速度 u_{mf} 。

(3) 鼓泡流化床。当气流速度超过最小流化速度时，除了非常细而轻的颗粒床会均匀膨胀外，一般床料内还将出现大量气泡，气泡不断上移，聚集成较大的气泡穿过料层并破裂，此时气-固两相强烈混合，犹如水被加热至沸腾状，这样的床层称为鼓泡流化床（沸腾床）。鼓泡流态化状态下，整个流化床分为两个区域：一个是下部的密相区（又称沸腾段），它有明显的床层表面；另一个是上部的稀相区（床层表面至流化床出口区域），称为自由空间或悬浮段。

(4) 快速流化床。当气流速度达到一定数值，颗粒将被夹带流动，此时对应的气流速度称为该颗粒的终端速度。气流速度进一步增加时，气流携带颗粒急剧增加，需要依靠连续加料或颗粒循环来不断补充物料，以避免床中颗粒被全部吹空，此时床层称为快速流化床。在鼓泡流态化和快速流态化之间有湍流流态化的过渡流型，在该状态下，床内呈现较强烈的气

固运动，床层表面有大量的气泡破裂，床层的压力降快速地脉动，大量床料颗粒被抛入床层上方的悬浮空间，床层仍有表面但已相当弥散。

(5) 气体输送流化床。当气流速度进一步增大，颗粒就由气体均匀带出床层，这种状态称为颗粒气体输送流化床。此时气流速度大于颗粒的终端速度，床内颗粒浓度上下基本均匀分布。

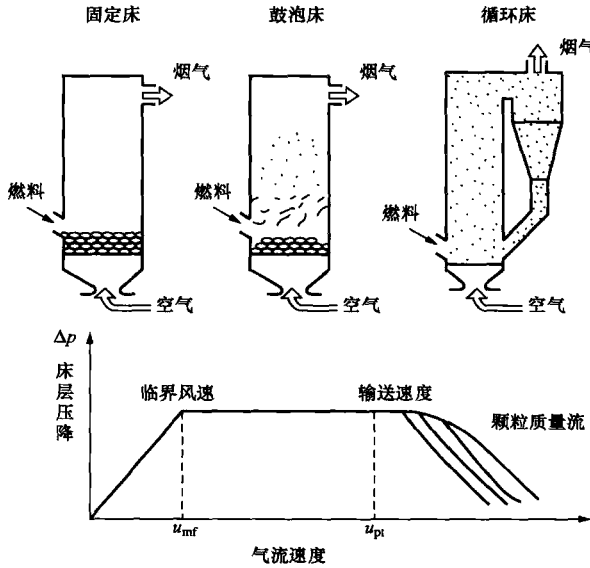


图 1-2 流化床流态转化过程

上述流态化状态是仅仅对单一尺寸颗粒而言的。对于燃煤流化床锅炉，由于床内为一定尺寸范围的宽筛分颗粒，在床的下部形成主要由较大颗粒组成的湍流流化床，而较细颗粒则由气流携带进入输送状态，经分离器和返料器构成颗粒的外循环。另外，某些小颗粒在上行过程中产生凝聚、结团，以及与壁面的摩擦碰撞而沿壁面回流，从而形成循环流化床的内循环。图 1-2 表明了随着气流速度的增加，床层压降的变化规律及鼓泡流化床转变为循环流化床的工作状态。

从直观形态看，宽筛分颗粒流态化时的流体动力特性与处于沸腾状态的液体非常相像，并且在许多方面具有与液体一样的特性，如图 1-3 所示，主要有以下几点：

- (1) 在任一高度的静压近似于在此高度以上单位床截面内固体颗粒的重量。
- (2) 无论床层如何倾斜，床表面总是保持水平，床层的形状也保持容器的形状。
- (3) 床内固体颗粒可以像流体一样从底部或侧面的孔口中排出。
- (4) 密度高于床层表观密度（如果把颗粒间的空体积也看作是颗粒体积的一部分，这时单位体积的燃料质量就称为表观密度）的物体在床内会下沉，密度小的物体会浮在床面上。
- (5) 床内颗粒混合良好，因此，当加热床层时，整个床层的温度基本均匀。

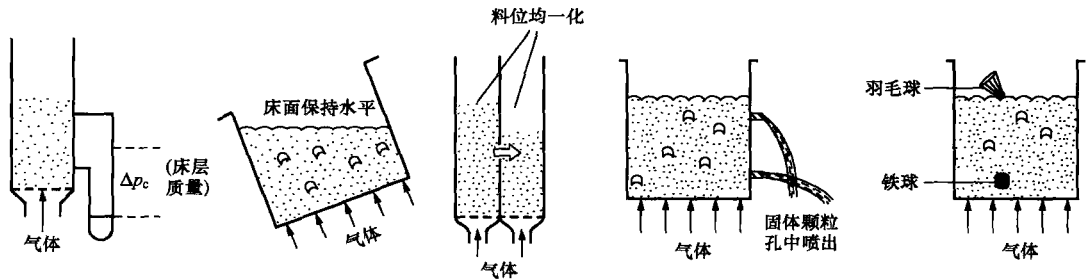


图 1-3 固体颗粒流态化的流体特性



第二节 循环流化床锅炉基本构成

流化床燃烧是床料在流化状态下进行的一种燃烧，其燃料可以为化石燃料、工农业废弃物和各种生物质燃料。一般粗重粒子在燃烧室下部燃烧，细粒子在燃烧室上部燃烧。被吹出燃烧室的细粒子采用各种分离器收集下来之后，送回床内循环燃烧。图 1-4 给出了燃煤循环流化床锅炉的基本组成。

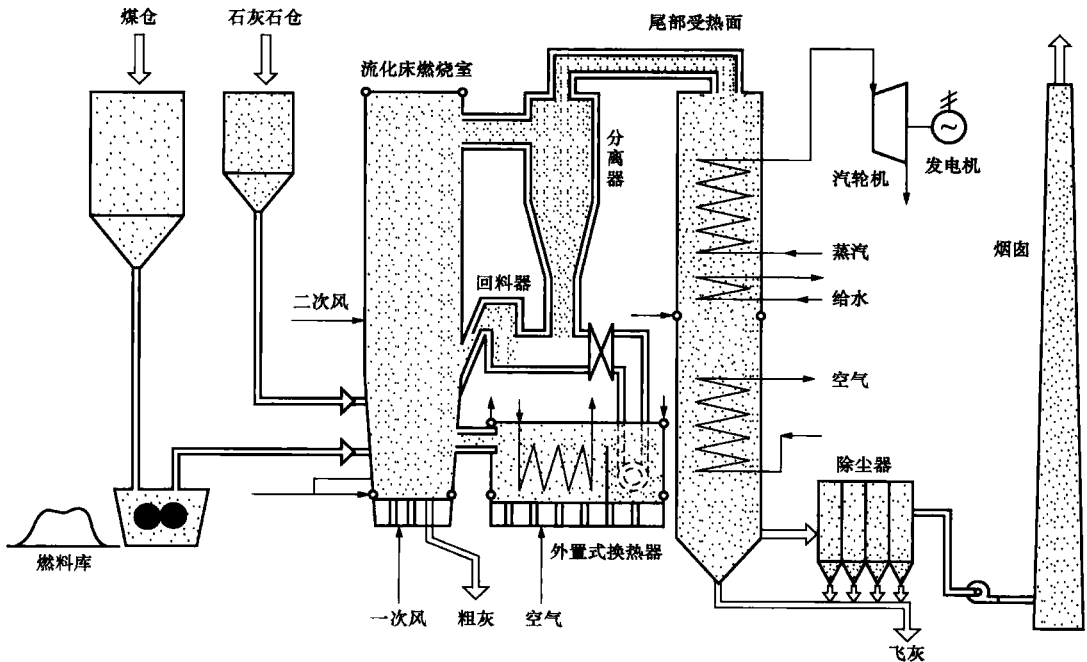


图 1-4 循环流化床锅炉的组成

在燃煤循环流化床锅炉的燃烧系统中，燃料煤首先被加工成一定粒度范围的宽筛分煤，然后由给料机经给煤口送入炉膛下部流化床密相区进行燃烧，其中许多细颗粒物料将进入稀相区继续燃烧，并有部分随烟气飞出炉膛，燃烧所需的一次风和二次风分别从炉膛的底部和侧墙送入。炉膛四周布置有水冷壁，大型炉膛内还布置有双面水冷壁、屏式过热器和屏式再热器，用于吸收燃烧所产生的部分热量。由气流带出炉膛的大部分固体物料在分离器内被分离和收集，通过返料装置送回炉膛，进行多次循环燃烧。燃烧过程中产生的大量高温烟气流经过热器、再热器、省煤器、空气预热器等受热面，进入除尘器进行除尘，最后由引风机排至烟囱进入大气。循环流化床锅炉的汽水系统与一般的煤粉炉无异。

由上可知，循环流化床锅炉可分为两大组成部分。一部分由布风装置、炉膛（流化床燃烧室）、气固分离收集设备（分离器）、固体物料再循环设备（返料装置、返料器）和外置式换热器（有些流化床锅炉设置）等组成，上述部件形成了一个固体物料外循环回路。另一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，与常规煤粉锅炉相近。

一、布风装置

布风装置主要由风室、布风板和风帽等组成，主要作用是支撑床料并均匀分配进入燃烧

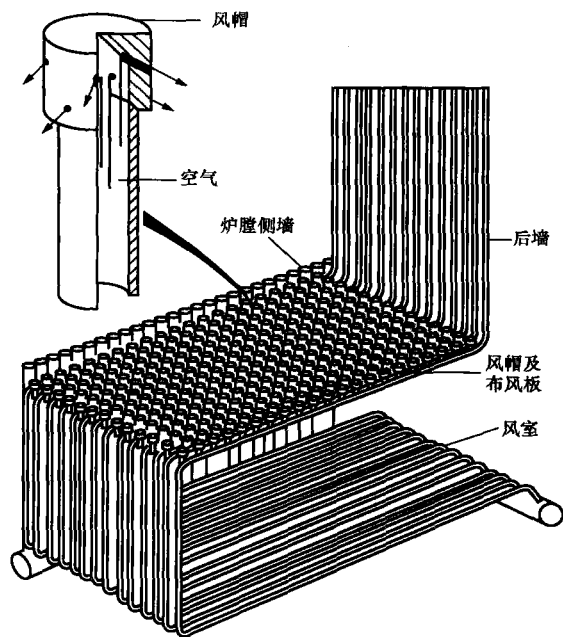


图 1-5 水冷布风板

室的流化空气，保证良好的床料流化质量。另外，还要防止床料漏入风室。布风装置有水冷型和非水冷型两种，图 1-5 给出了水冷布风板的结构，整个风室四周、底部以及花板都由膜式水冷壁弯制而成，两侧是侧墙水冷壁的一部分，风帽则安装在花板上。风帽形式有许多种，不同的锅炉制造厂采用不同形式的风帽，图 1-6 为一些典型的流化床风帽。

二、燃烧室（炉膛）

循环流化床锅炉燃烧室以二次风口为界分为两个区：二次风口以下是以大粒子为主的还原气氛燃烧区，二次风口以上是以小粒子为主的氧化气氛燃烧区。燃烧室下部布置有加煤口、返料口、人孔门及各种观测孔。燃烧室各面布置有水冷壁受热面，在 440t/h 以上的大型循环流化床锅炉燃烧室内还布置有附加受热面（没有外部

流化床换热器的循环流化床锅炉）。燃料的燃烧过程、石灰石的脱硫过程、 NO_x 和 N_2O 的生成及分解过程主要在燃烧室内完成，床料和受热面之间的传热过程大部分也在燃烧室内完成。燃烧室既是一个流化设备、燃烧设备、热交换设备，也是一个脱硫、脱硝设备。燃烧室是流化床锅炉的主体，对燃烧室流化速度的选取和高度的确定是燃烧室设计中最重要的问题。

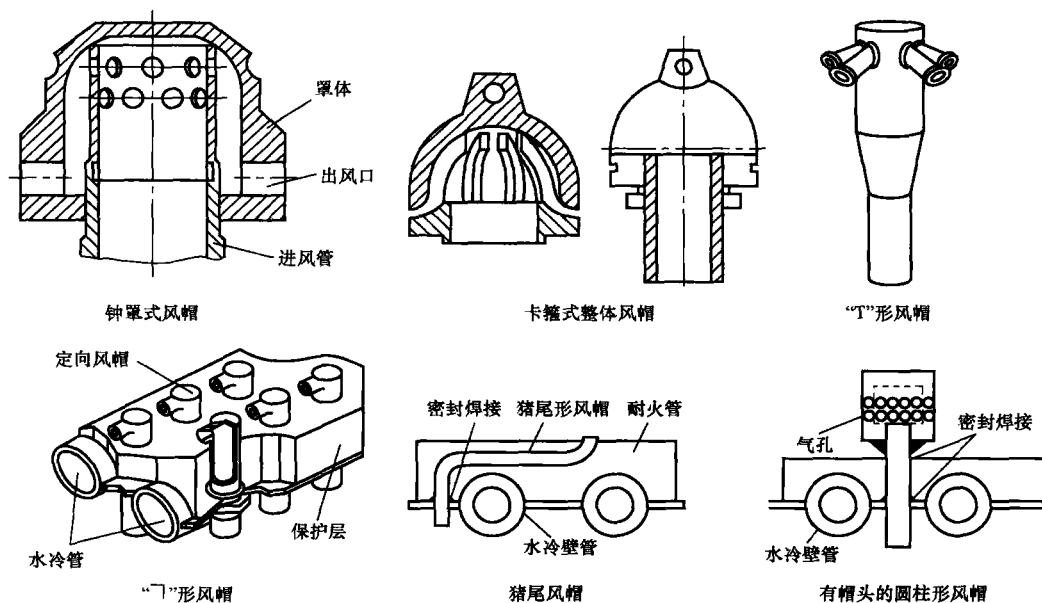


图 1-6 典型的流化床风帽

三、气固分离收集装置（分离器）

循环流化床锅炉气固分离收集装置是燃烧系统的关键部件之一，是循环流化床锅炉的“心脏”。分离器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气动力特性、传热特性、燃烧特性，飞灰循环流量、燃烧效率和飞灰含碳量，锅炉出力和蒸汽参数，石灰石的利用率和脱硫效率，负荷的调节范围和锅炉启动所需的时间，受热面的磨损，锅炉散热损失和维修费用等均有重要影响。

国外普遍采用的气固分离收集装置是高温耐火材料内砌的旋风分离器、水冷或汽冷旋风分离器，如图 1-7 所示。国内除采用上述旋风分离器之外，还开发了下排气中温旋风分离器、方形水冷分离器、炉内卧式旋风分离器等。某些惯性分离器，如槽形分离器、带落灰腔的分离器在小型循环流化床锅炉上也有应用。从分离效率上来看，上排气高温旋风分离器收集效率高，下排气旋风分离器、方形水冷旋风分离器次之，各种惯性形式的分离器最低。惯性分离器一般与其他分离器组合成复合式分离器，很少单独采用。提高循环流化床锅炉分离器的收集效率，特别是开发 600MW 飞灰分离收集装置，是循环流化床锅炉发展过程中被普遍重视的研究课题。

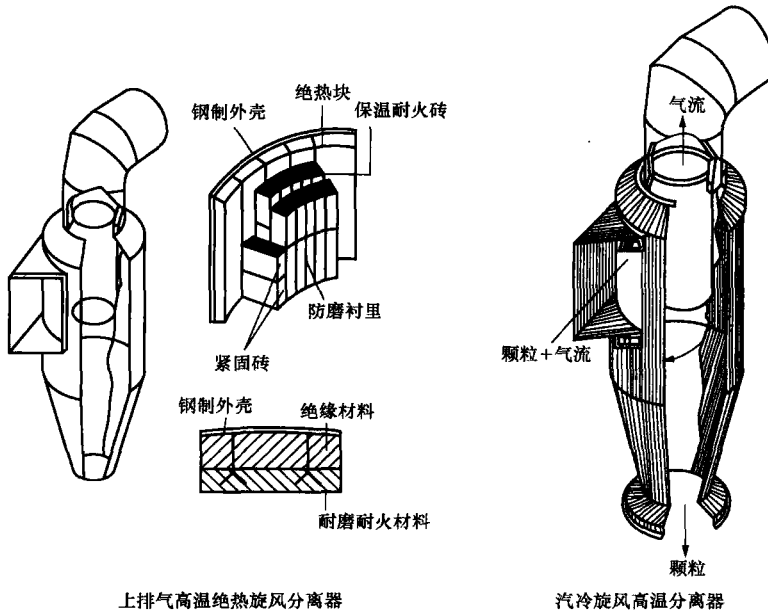


图 1-7 两种典型的分离器

对飞灰分离收集装置的基本要求是分离效率高、阻力损失小、体积小、质量轻、耐磨性能好、便于维修且维修费用低、启动性能好。

四、飞灰回送装置（返料器）

飞灰回送装置也是循环流化床锅炉的重要部件之一，作用是将分离器收集下来的飞灰可控地送入燃烧室内，实现循环燃烧。对飞灰回送器的基本要求：有自动调节送灰量的功能，即来灰多，送入多；来灰少，送入少。维持料腿中料柱在一定高度波动，既防止回送装置被吹空，也不产生收集飞灰自流现象。飞灰回送装置内不发生超温结渣，飞灰不

漏入送灰器的风室。飞灰回送装置既是一个飞灰回送器，也是一个锁气器，如果这两者中任何一个作用失常，飞灰循环燃烧过程就建立不起来，循环流化床锅炉就变成了一个鼓泡床锅炉，达不到设计蒸发量，其燃烧效率会大大降低。图 1-8 是典型的循环流化床返料器系统。

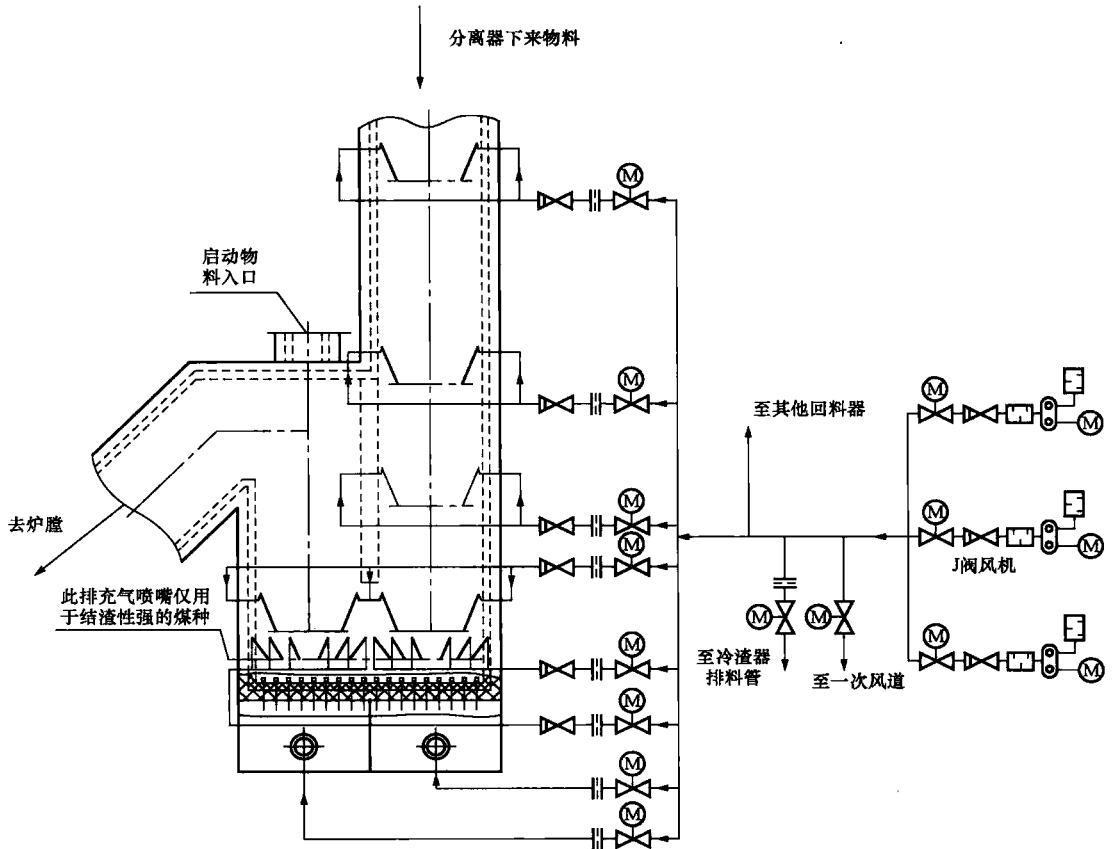


图 1-8 循环流化床返料器系统

五、外置式换热器

大型循环流化床锅炉有两大流派：一种是采用外部流化床热交换器（外置式换热器）的循环流化床锅炉，如德国 Lurgi 型，燃烧室内没有布置附加受热面，分离器收集下来的飞灰分两路，一路直接从返料器送入燃烧室内循环燃烧，另一路经控制进入外置式换热器，将其冷却到 500°C 左右，然后通过送灰器送入燃烧室内循环燃烧。另一种是不带外置式换热器的循环流化床锅炉，如 Ahlstrom 型，循环流化床燃烧系统由布风装置、燃烧室、高温旋风分离器、飞灰回送装置组成，对高压、大型循环流化床锅炉燃烧室内布置有附加受热面。

外置式换热器实质上是一个细粒子鼓泡流化床热交换器，作用是解决高压大型循环流化床锅炉燃烧室包覆面上受热面布置不下的问题。外置式换热器内有几个区，不同区内布置有蒸发受热面、过热器和再热器受热面。外置式换热器的流化速度为 $0.3\sim 0.45\text{m/s}$ ，床料与



埋管之间的传热系数高,为 $398\sim 568\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$,床料对埋管的磨损小。另外,外置式换热器的应用为燃烧室温度、过热蒸汽温度、再热蒸汽温度的调节提供了很好的手段,加大了锅炉的负荷调节范围和对燃料的适应性。带外置式换热器的循环流化床锅炉的缺点(与不带外置式换热器比)是系统、设备及整体布置比较复杂,锅炉造价比较高。我国第一台 300MW 机组引进的循环流化床锅炉以及云南红河电厂、小龙潭电厂、河北秦皇岛电厂等早期消化吸收引进技术的国产 300MW 循环流化床锅炉都采用了外置式换热器。东方锅炉厂、上海锅炉厂自主开发的 300MW 循环流化床锅炉都没有采用外置式换热器,国内 300MW 容量以下的循环流化床锅炉绝大多数也没有采用外置式换热器。

第三节 大型循环流化床锅炉实例

循环流化床锅炉具有煤种适应性广、燃烧效率高、环境性能好、负荷调节范围大和灰渣综合利用等优点,近十年来在工业锅炉、电站锅炉、旧锅炉改造和燃烧各种固体废弃物等领域得到迅速的发展。全球 100~300MW 级的各种类型的大型循环流化床锅炉有 300 多台在运行中,600MW 循环流化床锅炉的方案设计已完成并正在建设中。

一、哈尔滨锅炉厂 440t/h 循环流化床锅炉

哈尔滨锅炉厂(简称哈锅)于 1992 年与大连化学工业公司一起引进美国原 PPC 公司的 220t/h 高压循环流化床锅炉技术,哈锅分包了锅炉本体有关部件的生产制造。1999 年,哈锅引进 GEC-Alstom 公司 220~440t/h(含中间再热)循环流化床锅炉技术,在吸收、消化引进技术的基础上,优化设计,开发了 410、420、440、465、480t/h 系列循环流化床锅炉。首台 440t/h 循环流化床锅炉于 2003 年 2 月在河南新乡电厂投入运行。

连州电厂二期 $2\times 135\text{MW}$ 机组,锅炉为 HG-440/13.7-L.WM9 型超高压中间再热循环流化床锅炉,这是哈锅采用美国 Alstom 公司技术生产的国内首次燃用无烟煤的 135MW 等级的循环流化床锅炉,2 套机组分别于 2004 年 2 月和 2004 年 5 月通过 72h+24h 试运行。

1. 锅炉主要设计参数

电厂燃煤主要来自湖南临武、宜章、嘉禾、白沙等地产的无烟煤以及连州本地地产的无烟煤,湖南煤和连州煤按一定比例混合后送入锅炉燃烧。2005 年底,广东省的煤矿全部关闭,目前电厂的燃煤全部来自湖南产的煤。设计煤质情况见表 1-1,煤的最大允许粒径不大于 7mm, d_{50} 为 0.6mm,粒径小于 0.35mm 的不大于 10%;锅炉技术规范见表 1-2,锅炉基本尺寸见表 1-3。下面即将介绍的广东阳山电厂、梅县电厂 440t/h 循环流化床锅炉燃煤数据也一同列入。

表 1-1

设计煤质特性

名称	符号	单位	连州电厂	阳山电厂	梅县电厂
			设计煤种/校核 1/校核 2	设计煤种/校核	设计煤种
收到基水分	M_{ar}	%	7.5/8.0/9.0	8.00/8.50	8.80
收到基碳	C_{ar}	%	53.0/60.77/60.0	37.05/35.41	58.60
收到基氢	H_{ar}	%	1.2/1.84/1.8	1.00/0.98	0.70

续表

名称	符号	单位	连州电厂	阳山电厂	梅县电厂
			设计煤种/校核 1/校核 2	设计煤种/校核	设计煤种
收到基氧	O _{ar}	%	3.3/2.14/2.62	2.96/2.36	2.21
收到基氮	N _{ar}	%	1.35/0.68/0.8	0.37/0.36	0.54
收到基硫	S _{t,ar}	%	1.5/2.44/0.85	2.45/2.05	0.76
收到基灰分	A _{ar}	%	32.15/24.13/24.93	48.17/50.34	28.39
干燥无灰基挥发分	V _{daf}	%	5.5/9.1/5.6	5.00/4.67	6.83
低位发热量	Q _{net,ar}	kJ/kg	18 840/22 190/20 093	13 772/12 767	19 887
		kcal/kg	4500/5300/4800	3290/3050	4751

表 1-2

锅炉技术规范

序号	项 目	连州电厂	阳山电厂	梅县电厂
1	锅炉型号	HG-440/13.7-L.WM9	DG-440/13.7-II 6	SG-440/13.7-M566
2	过热蒸汽流量 (t/h)	440(BMCR)	440(BMCR)	440(BMCR)
3	过热蒸汽出口压力 (MPa)	13.7(表压)	13.7(表压)	13.7(表压)
4	过热蒸汽出口温度 (°C)	540	540	540
5	再热蒸汽流量 (t/h)	367.3	359	365.6
6	再热蒸汽进/出口压力 (MPa)	2.83/2.61(表压)	2.72/2.55	2.70/2.56
7	再热蒸汽进/出口温度 (°C)	325/540	323.9/540	324/540
8	给水温度 (°C)	249	247	247
9	汽包压力 (MPa)	15.07	14.9	14.93
10	锅炉排烟温度 (°C)	139	140	139
11	保证热效率 (%)	89	86.5	89.20
12	脱硫效率 (%)	91(Ca/S=2.4)	—	90(Ca/S=2.4)
13	燃料量 (t/h)	73.6	104	68.045

表 1-3

锅炉基本尺寸

mm

项 目	连州电厂	阳山电厂	梅县电厂
炉膛宽度 (两侧水冷壁中心线距离)	13 700	15 240	13 373.1
炉膛深度 (前后水冷壁中心线距离)	7220	6705.6	7683.4
汽包中心线标高	46 250	47 500	47 000
锅炉运转层标高	9000	9000	9000
锅炉最高点标高 (顶板上标高)	54 500	54 300	52 900

2. 锅炉整体布置

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，炉膛

内布置大直径钟罩式风帽。该型风帽具有布风均匀、防堵塞、防结焦和便于维修等优点。炉膛内布置双面水冷壁来增加蒸发受热面，布置屏式Ⅱ级过热器和屏式热段再热器，以提高整个过热器系统和再热器系统的辐射传热特性，使锅炉过热器和再热器汽温具有良好的调节特性。锅炉采用2个内径为7.72m的高温绝热分离器，布置在炉膛与尾部对流烟道之间，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。防磨绝热材料采用拉钩、抓钉、支架固定。

经过分离器净化的烟气进入尾部烟道，尾部对流烟道中布置Ⅲ级、Ⅰ级过热器、冷段再热器、省煤器、空气预热器。烟道采用的包墙过热器为膜式壁结构，省煤器、空气预热器烟道采用护板结构。炉膛与尾部烟道包墙均采用水平绕带式刚性梁来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、物料的连接烟道之间设置性能优异的非金属膨胀节，解决由热位移引起的密封问题，各受热面穿墙部位均采用国外成熟的密封技术设计，确保锅炉的密闭性。锅炉钢构架采用高强螺栓连接，按7度地震裂度设计。锅炉采用支吊结合的方式，除分离器筒体、冷渣器和空气预热器为支撑结构外，其余均为悬吊结构。图1-9是哈锅440t/h循环流化床锅炉的总体结构。

3. 锅炉主要系统

(1) 给水系统与自然循环回路。

机组采用2台100%电动调速给水泵，经给水系统供至省煤器系统。为缩短锅炉的启动时间，在炉膛底部装设有邻炉加热装置，提高水循环可靠性。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。额定负荷下，给水温度可达243℃，给水进入省煤器吸收部分热量后引入汽包。水经汽包底部引出6根下水管，其中4根 $\phi 426 \times 40$ mm集中下降管，向下引至分配箱，再通过48根 $\phi 133 \times 13$ mm分散下水管向前墙、后墙以及两侧墙水冷壁下集箱供水，其余2根 $\phi 325 \times 35$ mm下水管与双面水冷壁下集箱相连接，单独向双面水冷壁供水。膜式双面水冷壁布置在燃烧室中上部与前墙垂直，贯穿炉膛深度，由99根管子组成，管子直径 $\phi 60 \times 6.5$ mm，材料为20G。双面水冷壁下部表面覆盖有耐磨浇注料。

(2) 过热器系统。

过热器系统由包墙过热器，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级过热器组成。在Ⅰ级过热器与Ⅱ级过热器之间、Ⅱ级过热器与Ⅲ级过热器之间管道上，分别布置有一、二级喷水减温器。饱和蒸汽自锅筒顶部引入两侧包墙，再分别引入前后包墙，之后蒸汽送入尾部烟道的顶棚出口集箱，向下流入位于后包墙下部的Ⅰ级过热器，再流入4片屏式Ⅱ级过热器，蒸汽从Ⅱ级过热器出口集箱两侧引出进入位于尾部烟道后部的Ⅲ级过热器，沿Ⅲ级过热器受热面逆流而上，达到540℃的过热蒸汽最后经混合集箱从两端引出。

(3) 再热器系统。

再热器系统由冷段过热器和热段再热器组成。冷段再热器位于尾部烟道中，水平布置，共有3个管组。热段再热器位于炉膛中上部，由6片屏式再热器组成，与前水冷壁垂直布置，管下部敷有耐火防磨材料，以防磨损。喷水减温器调节蒸汽温度，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，用事故喷水紧急降温，以保护再热器，喷水水源为给水泵中间抽头，减温器采用笛形管式。

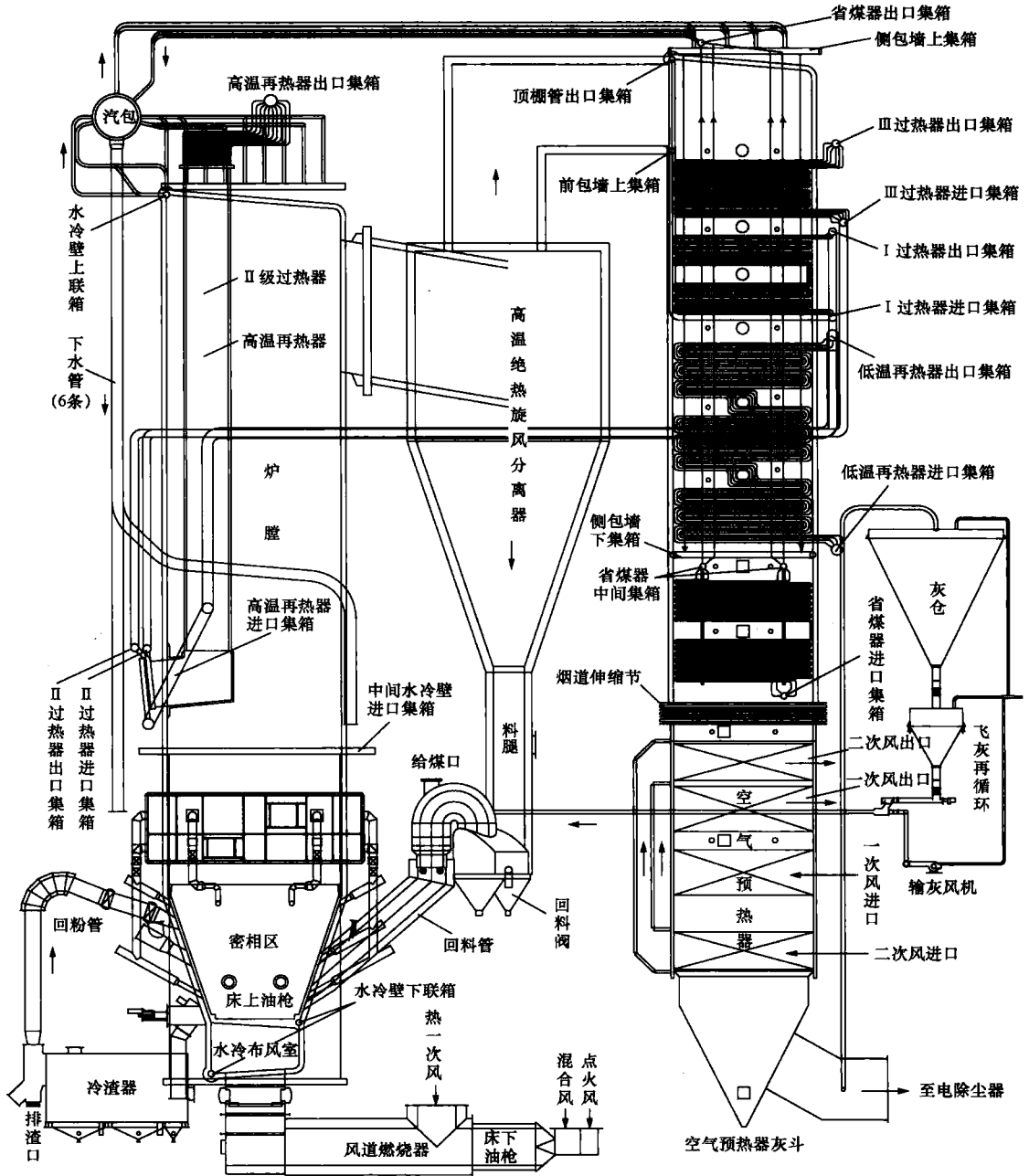


图 1-9 哈锅 440t/h 循环流化床锅炉总体结构

(4) 给煤和燃烧系统。

锅炉设有两级破碎设备。第一级为环锤破碎机，进料尺寸小于等于 300mm，出料尺寸小于等于 50mm，出力 450t/h 左右；第二级为可逆锤击式细碎机，进料尺寸小于等于 30mm，出料尺寸小于等于 7mm，出力 550t/h。输煤系统为双路布置，系统参数为 $B=800\text{mm}$ 、 $V=1.6\text{m/s}$ 、 $Q=300\text{t/h}$ ，采用程序控制方式。给煤系统为三级后墙给煤，原煤从