

CFBC 锅炉炉内多重内循环 燃烧技术研究与应用

闫 澈 姜秀民 孙 键

王 擎 张靖波 李学恒

(东北电力学院)

[摘要]本文论述了由 CFBC 锅炉炉膛下部密相区内循环燃烧技术与炉膛上部稀相区空间循环燃烧技术所构成的炉内多重内循环燃烧技术的原理与结构。应用本技术所设计完成的循环流化床锅炉,具有效率高、体积小、成本低、磨损轻、动力消耗低、运行稳定、操作方便、负荷调节范围广、煤种适应性强等优点,是工业循环流化床锅炉的理想炉型。长期的运行实践证明,炉内多重内循环燃烧技术是适用于矮小燃烧空间的工业循环流化床锅炉的理想技术之一。

关键词 .CFBC 燃烧技术 循环燃烧 结构优化

分类号 TK223.2

0 引言

循环流化床锅炉经历了一个由小型工业锅炉向大型电站锅炉的发展过程。由于工业锅炉本身特性的限制,其燃烧的组织比大型循环流化床锅炉更加复杂。国外所流行的循环流化床锅炉燃烧技术,如德国 Lurgi 公司的 Lurgi 型循环流化床锅炉、Babcock 公司的 Circofluid 型循环流化床锅炉、芬兰 Ahstrom 公司的 Pyroflow 型循环流化床锅炉应用外置旋风分离器和瑞典 Studsvik 公司、德国 Steimmuller 公司利用惯性分离器所建立起来的循环燃烧系统很难在小型工业锅炉上直接应用^[1-3]。这是因为在锅炉运行中,在燃烧流化床操作速度下,相当部分的燃料由于达到第二临界速度而逸出床层进入燃烧室上部空

间。同时大量的可燃气体在床内来不及燃尽也进入燃烧室上部空间。而小型工业锅炉受容量、造价和锅炉房造价的限制燃烧室高度较低,这些逸出的颗粒和可燃气体在炉内的停留时间短,难以燃尽,从而造成很大的机械不完全燃烧损失(q_4)和化学不完全燃烧损失(q_3)。

作者多年来致力于工业循环流化床锅炉的研究与开发,不断地探索、完善,研究出炉内多重内循环燃烧技术,并已经通过了技术鉴定,见图 1。该技术用于 20 t/h 工业循环流化床锅炉收到了满意效果。长期的运行实践证明,炉内多重内循环燃烧技术是适用于矮小燃烧室空间的工业循环流化床锅炉的理想技术之一。

收稿日期 1994-02-23 修改定稿 1994-11-02

本文联系人 姜秀民 男 38 副教授 132012 吉林市长春路

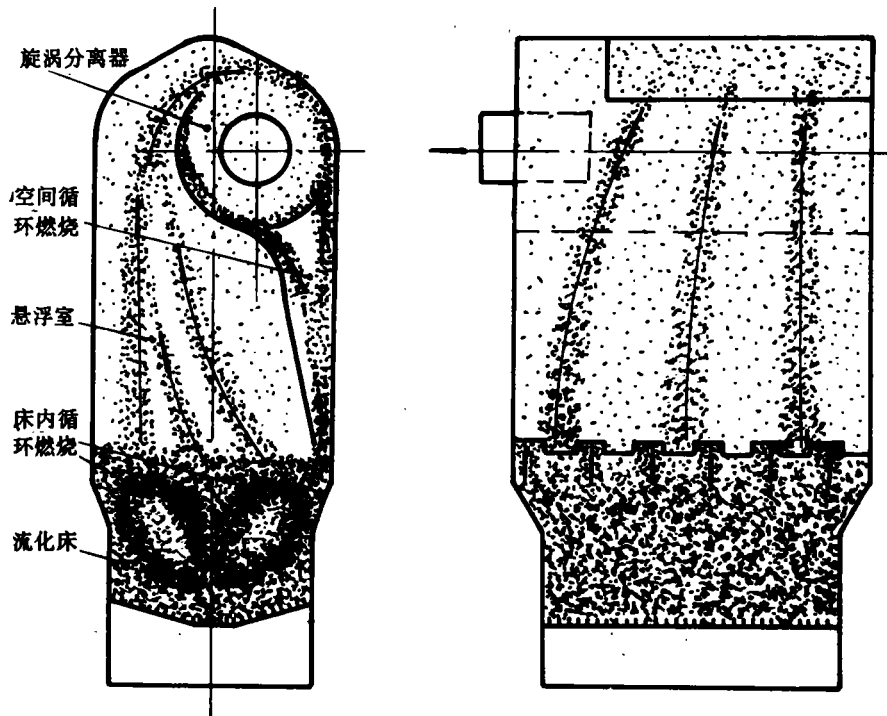


图1 炉内多重内循环燃烧技术示意图

1 床内循环燃烧技术

工业流化床锅炉一般燃用0~10 mm宽筛分煤。在设定的操作速度下,相当数量份额的细小颗粒逸出床层,(流态化技术中称之为扬析和夹带)致使投入的新燃料中的部分细小颗粒在床内停留时间很短而不利于其燃尽。当采用零压和负压给煤时这种现象更趋严重。此外,为了简化给煤系统,工业流化床锅炉投煤点设置不多,一般10 t/h以下容量的流化床锅炉只设一个给煤口。由于常规流化床横向混合能力差,造成给煤点附近区域床料中可燃物含量过于集中,不利于燃烧与燃尽。为解决这两个方面问题,延长细小颗粒在床内的停留时间和强化流化床的横向混

合,凹型布风板分隔风室,设置床内构件,倾斜式布风板等技术不同程度地得到应用^[4,5]。但总的看来,结构比较复杂,实际效果不甚理想。在布风装置设计中,我们打破布风均匀的设计常规,将均匀布风改为规律不均等布风,同时配之以梯台形流化床结构,利用空气动力特性的差异而形成稳定的床内循环流动。从而强化了床料的横向混合,增强了新燃料在床内的停留时间,这对于床料中细小颗粒的一次燃尽是非常重要的。

2 空间循环燃烧技术

进入悬浮室的细小颗粒与可燃气体的燃尽是提提高锅炉效率的关键。根据设计燃料的特性在悬浮室上部设置由燃尽、分离、回输

装置构成的炉内空间循环燃烧系统。燃烧产物以 17 ~ 22 m/s 的速度从悬浮室上部切向进入燃尽分离装置,在装置内作强旋流运动。气固两相流中的固相颗粒,在离心力的作用下向边壁浓集。这部分高浓度气固两相流经预留间隙进入分离回输室,最后返回密相区内实现含碳粒子的循环燃烧。烟气中的细小颗粒与可燃气体在燃尽分离装置内作高速旋转运动,结果延长了气体与灰颗粒的行程,强化了扰动和混合,从而达到理想的燃尽程度。这种技术实现了细小颗粒与可燃气体的一次燃尽和粗颗粒的循环燃烧,在矮小燃烧空间获得高的燃烧效率。

3 物料颗粒特性研究

采用循环燃烧技术必然涉及到物料的提升、分离、回输、流化参数的确定、颗粒的停留时间、颗粒的燃尽时间和分离器的特性等一系列问题。而这些问题的综合考虑和妥善解决则依赖于掌握所燃用燃料的特性、燃烧后床料的变化特性及在确定的操作风速下循环物料的粒度分布特性等。

褐煤采用锤击式破碎机系统破碎所得宽筛分燃料颗粒特性曲线回归分析数学模型为:

$$Y_1 = 100\exp(-0.2516d^{1.4409})$$

燃烧后床料颗粒特性曲线回归分析数学模型为:

$$Y_2 = 100\exp(-0.2938d^{2.1045})$$

循环物料的粒度分布数学模型为:

$$Y_3 = 100\exp(-0.4243d^{1.7720})$$

Y_1 、 Y_2 、 Y_3 为循环物料筛余量值%; d 为筛孔直径 mm。

研究结果分析表明:入炉燃料、床料与循环物料颗粒特性之间存在很大差异,掌握这个变化特性与规律,是进行循环流化床锅

炉设计的关键,亦使循环流化床锅炉设计更趋合理与完善^[6]。

4 结构特点

从强化燃烧、经济燃烧、环境保护、煤种适应性及负荷调节特性方面出发,锅炉在物料的提升、分离、燃尽、回输和循环等诸方面有创造性发展。

4.1 总体结构

工业性试验锅炉为双锅筒横置式自然循环水管锅炉,其燃烧系统主要由气体分布装置、流化床、悬浮室、炉内分离、燃尽和回输系统构成。流化床的操作速度为 4 m/s 左右。流化床中逸出的固体颗粒受烟气携带进入悬浮室,并在准梯台形悬浮室中加速,以增大气固两相流的相对滑移速度。经加速的气固两相流由悬浮室上部均匀切向进入侧置的分离、燃尽装置。在气流旋转的离心力作用下,颗粒向筒壁浓集,由预留缝进入下部分离回输室,以避免二次携带。分离下来的颗粒沿分离室下部均匀分布的回料孔回输至流化床而实现循环燃烧。可燃气体则在由耐火砖所构成的准绝热的高温燃尽分离室内剧烈混合而燃尽。合理布置悬浮室受热面,使其温度在 870 ~ 950 °C 之间,以利于完善空间燃烧条件。锅炉管束、省煤器等按常规布置。合理的布风装置结构与参数可保证锅炉在 (30 ~ 100)% 负荷下稳定运行,连续压火时间长达 24 小时以上。其煤种适应性好,亦可有效燃用油页岩、煤矸石、低热值烟煤等劣质燃料。且具有调节方便、启停迅速、产汽升压快、燃烧效率高的特点。

4.2 炉内复合循环燃烧系统

规律不均等配风的梯台型流化床装置所构成的炉膛下部密相区内循环燃烧与炉内分离、燃尽、回输系统构成的炉膛上部稀相区

空间循环燃烧的有机结合而形成炉内多重内循环燃烧系统。此系统可实现细小颗粒与可燃气体的一次燃尽和粗颗粒的循环燃烧,从而获得高的燃烧效率。

4.3 配有组合式气流分布器的布风装置

流化床燃烧过程稳定与否,取决于气流分布装置的结构与特性。它对于流化床中气泡的直径和生成频率都有直接影响。采用配有组合式气流分布器的布风装置,可使气流分布器喷射出来的高速气流所具有的动能有效地作用于炉料颗粒,为大颗粒的初始流化创造了有利条件,拓宽了燃料颗粒的适应范围。特殊的流化床结构与规律不均等配风技术所形成的床内旋涡流动强化了颗粒的横向扩散,有利于燃烧与燃尽,同时有利于底部大颗粒冷渣的排放。布风板上设有冷渣管,约 1.5 m^2 设置一个,其规格为 $\phi 133 \times 4 \sim 172 \times 4 \text{ mm}$ 。为避免局部“死区”的形成和冷渣的排放,每个冷渣管上设置一个大风帽。气流分布器开孔直径为 $\phi 4 \sim 8 \text{ mm}$ 不等。

床温下的流化速度为 $3.5 \sim 4.2 \text{ m/s}$,流化数为 $3 \sim 4.35$,气流的喷射速度为 $32 \sim 43 \text{ m/s}$,布风板与料层压降比 α 值为 $0.2 \sim 0.4$ 。合理的流化床结构与参数的结合,使其具有良好的流化质量和负荷调节特性。

4.4 受热面的耐磨技术

流化床中受热面浸没在剧烈运动的气固两相流中,如设置不当磨损很快,影响锅炉安全运行,所以磨损问题具有很大的隐患。影响流化床埋管受热面磨损的因素很多,流化速度对磨损也有直接的影响。Dorroliver 和 Lurgi 都注意到,如果流化速度低于 2 m/s ,磨损现象消失,超过这个速度,便可观察到磨损现象^[7]。一般燃烧流化床均高于这个速度。在结构处理上,我们采用倒梯台式流化床结构,将竖埋管受热面沿墙壁布置,避开底部射流影响区。这样,可避免床料颗粒对埋管受热面的直接正面冲刷,大大减少了埋管受热面的

磨损。同时在局部易磨损部位设置防磨装置,确保安全运行。运行实践证明,其使用寿命在 30 000 小时以上。

4.5 整体结构优化

利用悬浮室水冷壁管和特制异形耐火砖,构成燃尽、分离、回输装置实现循环燃烧。将有效的燃烧技术与悬浮室受热面的设计巧妙地溶于一体,使空间循环燃烧系统结构简单、紧凑、容易施工、造价低廉、检修方便、动力消耗低、运行安全可靠。所形成的准梯台形炉膛结构,亦进一步强化了两相流中气固相的相对滑移速度,有利于燃烧。

根据燃烧特性,部分炉墙由水冷壁管挂耐火砖组成。既保证了锅炉运行时有合理的悬浮室温度,又可作为调节受热面增加燃料适应能力,且强化了炉墙结构。这种将燃烧技术和受热面设置与炉墙结构综合考虑的方法及措施,实现了锅炉整体结构的优化。

5 运行实绩

采用炉内多重内循环燃烧技术的工业循环流化床锅炉的主要测定数据如下^[8]:

锅炉容量 $D = 20 \text{ t/h}$;

燃煤应用基水份 $W^y = 21.78 \%$;

燃煤应用基灰份 $A^y = 37.38 \%$;

燃煤可燃基挥发份 $V^r = 56.73 \%$;

燃煤应用基低位发热量 $Q_{w, \text{net}} = 9840 \text{ kJ/kg}$;

锅炉热效率 $\eta = 90.04 \%$;

锅炉燃烧效率 $\eta_c = 98.93 \%$ 。

锅炉可在 30% 超低负荷下长期稳定运行,其测定指标为:

锅炉负荷 $D = 6.278 \text{ t/h}$;

锅炉热效率 $\eta = 79.58 \%$ 。

实践证明采用炉内多重内循环燃烧技术的工业循环流化床锅炉能达到一定的经济

(下转 185 页)

有效地提高传感器的使用率。另外传感器经过较长时间的使用如果发现传感器磁性减弱,可将其进行充磁以弥补其磁性,待恢复正常使用状态时方可使用。

4 结束语

1. 由于圆柱型传感器内部采取固化方式,外壳采用隔磁材料,从而使它抗干扰能力强,能在恶劣环境下工作。

2. 安装采用可拆装结构,对测试、调试、维护使用均很方便。

3. 可根据需要随时可以自制,其成本费用低廉,可以节省经费。

参 考 文 献

- 1 黎廷云. 磁电式转速传感器的电压特性与应用. 自动化仪表, 1989(9)
- 2 严钟豪, 谭祖根. 非电量电测等. 机械工业出版社, 1983. 6

(接 161 页)

指标,是工业循环流化床锅炉的理想炉型。

6 结论

1. 规律不均等布风配之以梯台形流化床装置所形成的床内循环燃烧技术与旋风分离、燃尽、回输系统所形成的空间循环燃烧技术所构成的炉内多重内循环燃烧技术,是适用于矮小燃烧室空间的工业循环流化床锅炉的理想燃烧技术之一。

2. 依据本技术所开发出来的循环流化床锅炉体积小,成本低、磨损轻、动力消耗低、运行稳定、操作方便、负荷调节范围大、煤种适应性好,具有广阔的应用和发展前景,是工业循环流化床锅炉的理想炉型。

3. 所提出的循环流化床锅炉炉内多重内循环燃烧技术,可广泛用于现有的普通低效泡床锅炉及其它燃烧方式低效锅炉的技术改造,且施工容易、材料消耗量少,改造工程量小,投资少,周期短、见效快、易推广。

4. 物料的颗粒特性是循环流化床锅炉设计中最为重要的基础数据之一。文中给出的回归分析数学模型,可用于褐煤循环流化床锅炉的燃烧、传热、分离器等的设计和流化床设计参数的确定,使循环流化床锅炉设计更趋合理。

参 考 文 献

- 1 能源部西安热工研究所. 循环流化床燃烧技术译文集, 1989
- 2 能源部西安热工研究所. 常规火电站燃烧技术, 1990
- 3 林昭奎等. 欧州循环流化床技术发展的现状, 动力工程, 1992, 12(5)
- 4 Howard J R. Fluidized beds combustion and application, London, Applied Science Publishers, 1983
- 5 温龙等. 大颗粒低速浅循环床流化特性的实验研究, 第三届全国流态化会议论文集, 1984
- 6 姜秀民等. 褐煤循环流化床锅炉研究, 第六届全国流态化会议论文集, 1993
- 7 Dasu P. Fluidized bed boilers design and application, Toronto, Pergamon Press, 1983
- 8 吉林省节能技术服务中心. 锅炉热工试验报告, 1992. 11

Based on the measured data of a circulating fluidized bed combustion boiler of various capacity and previous study results, the authors propose an equation for calculating the distribution of pressure drop along the furnace height, thus making it possible to calculate the distribution of solid concentration along the bed height, which can serve as a direct basis for the furnace design. Key words: circulating fluidized bed boiler, pressure drop distribution, axial solid concentration

煤热解的反应动力学研究 = A Study on Coal Pyrolysis Reaction Dynamics [刊, 中] / Xu Yuenian (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(3). -154-157

A great deal of experimental research work on coal pyrolysis was performed by using a TGA92 thermoanalyser of French make. The factors affecting coal pyrolysis were discussed. On the basis of the thermal analysis results the equation of coal pyrolysis dynamics and its relevant parameters were determined. finally, an in-depth exploratory study was conducted of the pyrolysis reaction rate, a key factor for the pyrolysis furnace productivity. Key words: thermogravimetry, derivative thermogravimetry, differential thermal analysis

CFBC 锅炉内多重内循环燃烧技术研究与应用 = The Research and Application of Multiple In-furnace Circulating Combustion Technology for a CFBC Boiler [刊, 中] / Jiang Xiumin, et al (Northeastern Institute of Electric Power Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(3). -158-161, 185

The principle and structure of multiple in-furnace circulating combustion technology of a CFBC boiler comprising inner circulating combustion technology of furnace lower portion dense-phase region and circulating combustion technology of furnace upper portion rare-phase region are discussed in the present paper. The circulating fluidized bed boiler, based on the above-cited technology, has the following advantages: high efficiency, small space, low cost, light wear, low power consumption, stable and simple operation and a wide range of load adjustment capability as well as a high adaptability to the burning of various coals. In view of the foregoing it pertains to an ideal type of industrial circulating fluidized bed boiler. Its long-term operation has proved that the multiple in-furnace circulating combustion technology is ideally suited for industrial circulating fluidized bed boilers of small and low-height combustion space. Key words: CFBC boiler, combustion technology, circulating combustion, structural optimization

加旋流化床颗粒扬析规律的试验研究 = An Experimental Study of the Elutriation Mechanism of Vortexing Fluidized Bed Particles [刊, 中] / Liu Kunlei, Jin Baosheng, Zhao Changsui, et al (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(3). -162-167

With the fly-ash falling off from a fluidized bed serving as test material a systematic study of the elutriation mechanism of fluidized bed particles was conducted on a vortexing fluidized bed test stand with a cross-section area of $0.285\text{m} \times 0.285\text{m}$, a height of 6 m and heat input of 0.3 MW. The test results have shown that the elutriation rate constant of the particles in the vortexing fluidized bed is considerably lower than that of a conventional bubble bed. However, there exists a great difference between the elutriation behavior of fly-ash in the vortexing fluidized bed of rectangular section and that of glass balls in a vortexing bed of circular section. Under the same particle size and operating conditions the former has a significantly greater elutriation constant than the latter. The separation characteristics of the secondary air in the vortexing fluidized bed suspension space is also somehow different from that in a cyclone separator. Key words: fluidized bed boiler, coal, particle, elutriation rate

关于齿轮磨合运转工况的研究 = A Study on the Running-in Operating Mode of Gears [刊, 中] / Zhao Jianping, Du Hongjia (Harbin Shipbuilding University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(3). -168-174