

# 链条炉排加煤粉复合燃烧技术

杨明新 吴少华 孙绍增 李争起 孙恩召 (哈尔滨工业大学)

张建颖 (哈尔滨航天热能工程技术开发公司)

高喜强 池玉良 (黑龙江省劳动局)

〔摘要〕 本文介绍了链条炉排加煤粉的复合燃烧技术,即在同一锅炉炉膛内进行链条炉排上的火床燃烧和煤粉燃烧。介绍了复燃烧的机理、锅炉结构特点,以及新型 58 MW 复合燃烧热水锅炉。

关键词 复合燃烧 火床炉 煤粉炉

分类号 TK229.61 TK229.63

## 1 前言

链条锅炉是工业锅炉最常用的,国内已具有相当丰富的制造和运行经验,容量小于 35 t/h 的锅炉多数采用链条炉排作为燃烧设备。这种燃烧设备对负荷变化、间歇运行适应性强,符合小型锅炉负荷多变的供热特点。但是链条炉排的着火条件不好和区段性燃烧,限制了链条炉排的煤种适性和燃烧效率。链条炉排要靠合适的炉拱帮助着火,并要求煤在炉排行程内燃尽,这些都要求煤有较好的着火和燃尽性能,而且炉内应具有较高的温度。当燃用难着火、难燃尽的煤时,链条炉排上的燃烧工况就会恶化,造成炉内温度下降,煤在炉排上的着火和燃烧都很困难,导致锅炉出力和燃烧效率大幅度下降。

为了解决链条炉排着火性能不好,煤种适应性差的问题,国内一些单位采用了一些改进的炉拱结构,采用这种形式的二次风加强炉内气流的扰动和混合等措施。这些措施在一定程度上有助于提高煤种适应性,改善

着火和燃烧条件。但是,这些措施是针对某一固定煤种而设计的,具有一定的局限性,煤种适应性改变幅度不大,不能从根本上解决问题。

煤粉燃烧煤种适应性好,对于着火和燃尽性能比较差的煤可以达到较高的燃烧效率。在煤粉燃烧中,燃烧空间的高温和良好的混合特性是煤粉高效燃烧的保证。但是如果锅炉负荷降低,燃烧温度就会下降,使煤粉的燃烧稳定性变坏,负荷低到某一程度,可能会发生灭火现象。因此煤粉燃烧的负荷适应性不好,无法适应工业锅炉房负荷多变的情况。如果在链条炉排中加煤粉燃烧,煤粉燃烧火焰作为高温热源,为炉排上煤层的着火和燃烧提供保证,改善炉排上的着火和燃烧条件,将是最理想的措施之一。

## 2 复合燃烧的原理

链条炉排的着火性能不好,由于链条炉排上煤的着火主要靠炉内空间的高温烟气辐

收稿日期 1995-03-28

本文联系人 杨明新 男 60 副教授 150001 哈尔滨工业大学能源学院热能工程教研室

射加热,而链条炉中炉内温度不是很高,因此,必须在炉内设置炉拱来改善着火。这不仅使炉膛结构复杂,而且煤种适应性也不好。如果在炉排前部上方空间有煤粉燃烧形成的高温火焰存在,就会为炉排上煤层着火提供丰富的热源,改变链条炉主要依靠炉拱热辐射引燃的状况,大大改善链条炉排上新煤的着火和燃烧条件,使一些难以着火的煤也能在炉排上顺利着火,高效燃烧。同时,稳定燃烧的火床又是煤粉气流着火的可靠热源,这个热源的温度基本不随负荷变化,可以保证在多变的负荷下保证煤粉气流稳定地着火燃烧。这样就可以避免低负荷,或因操作不当,突然停电造成的打枪灭事故,使煤粉燃烧具有良好的安全可靠性能。

在锅炉的结构上将链条炉排上的火床燃烧和煤粉燃烧在同一个炉膛中应用,就会得到上述的扬长避短,相互促进的作用。这就构成了链条炉排加煤粉的复合燃烧技术。

复合燃烧锅炉所需的煤粉可以由两种方法供应:一种是集中制粉,即在煤粉加工站,用大型磨煤机集中磨制煤粉,然后用罐车输送到各用户(各台锅炉);另一种是分散制粉,即在锅炉附近装设小型磨煤机,磨制煤粉直接送到附近锅炉燃烧。目前,绝大多数地区尚无集中制粉的条件,只好采用分散制粉的方法。在分散制粉条件下的复合燃烧,磨煤机是关键设备。复合燃烧锅炉,炉排是巨大的稳定的点火源,不必担心煤粉的灭火与打炮问题,因此对磨煤机制粉系统的连续供粉要求不严;同时对一次风煤粉浓度和温度要求也不严;一般的复合燃烧,供煤粉量约为总煤量的三分之一,因此供粉量较小磨煤量也较小,常用的磨煤机制粉系统磨制的煤粉粒度及均匀度都能满足要求;对煤粉分离器的要求也不严。在此基础上,还要求考虑结构简单、制造方便;占地小;制粉系统各部件及管道布置方便;制造成本低、经济性好;使用方便、耐久,

可靠性好;耗电省等。

### 3 复合燃烧锅炉的结构特点

复合燃烧锅炉的炉膛结构与普通链条锅炉相似,在炉膛下面布置链条炉排。但是在炉排上方的两侧墙布置有煤粉燃烧器,而且炉拱的结构要简单得多,只须保证煤粉燃烧器停止运行,在低负荷情况下只运行炉排时,保证火床稳定着火即可。炉膛上部空间与普通锅炉相同。

一般情况下,制粉用煤和炉排用煤共用一个煤斗。煤斗中煤一路由溜煤槽送到炉排上进行层状燃烧;一路由落煤管落到给煤机中,经给煤机根据负荷调整给煤量后,均匀地将煤送入风扇磨煤机中。风扇磨煤机具有干燥,制粉的功能,并且能够产生一定的压头,抽吸部分热炉烟和部分热风(或冷风)作为煤的干燥剂。并将磨制好的煤粉和干燥剂一起送出磨煤机,形成一次风煤粉气流。一次风和另供的二次风一起进入燃烧器。煤粉随一次风喷入炉膛区,与喷入的二次风合理混合,在火床上方形成高温的煤粉火焰。

煤粉燃烧器的型式及其布置方式根据炉膛结构及现场环境而确定。如前墙布置或两侧墙布置,多采用旋流式燃烧器。旋流式燃烧器又分叶片式和蜗壳式两种。如采用四角布置,宜采用直流式燃烧器。

给煤机要与磨煤机相配合,可用刮板给煤机、振动给煤机、圆盘给煤机或滚筒给煤机的任何一种。运行时可根据负荷需要调节给煤机的转速,从而控制磨煤量,为操作方便,在给煤机与磨煤机之间可建立电气联锁装置。

### 4 复合燃烧锅炉的经济效益比较

目前,由链条锅炉改造成复合燃烧锅炉的已有几十台,多为10 t/h、20 t/h、35 t/h的锅炉。根据已经运行的复合燃烧锅炉的运行情况看,确实取得了满意的效果。燃用的煤种由褐煤、烟煤、直至贫煤。在燃用劣质煤时,其优越性尤其突出,不仅可以达到甚至可以超过额定出力,比改造前的出力提高一倍左右。同时比链条锅炉有较高的燃烧效率。这是由于复合燃烧时燃烧的煤量增加,而炉膛水冷壁没有变化,因此炉膛温度提高了。实验证明,炉膛温度提高100—200℃,水平烟道的烟气温度提高50—100℃,排烟温度提高10—20℃。当炉膛温度提高后,燃烧条件改善,灰渣含碳量会减少,未完全燃烧损失会减少,如果空气量控制合适,过量空气系数、排烟损失可以维持不变或变小。综合起来,锅炉效率可以比改造前提高10%左右。实验证明,当燃用发热为14 630 kJ/kg的劣质烟煤时,也能取得令人满意的效果。

星光机器厂的20 t/h蒸汽锅炉,设计煤种为优质烟煤,煤低位发热量大于20 900 kJ/kg,现改烧煤种以低质烟煤为主,部分有劣质烟煤,煤低位发热量一般在16 700 kJ/kg左右。改造后,锅炉实际出力从14 t/h提高到20 t/h,提高出力42%,热效率从70%提高到78%左右,每年可节煤6000多吨。瓦房店轴承厂对该厂四台20 t/h蒸汽链条锅炉进行改造,该厂锅炉设计煤种为优质烟煤(煤低位发热量>20 900 kJ/kg),改烧煤种为劣质煤,发热量仅在14 600 kJ/kg左右,改造前烧劣质煤时锅炉出力只有7—8 t/h,改造后锅炉出力提高到20 t/h(试验时达到24 t/h),出力提高1.5倍以上。炉渣含碳量过去高达(30—40)%,现一般在13%以下,比改造前降低2/3多,锅炉热效率高达84%左右,每年节煤8360多吨。

复合燃烧的改造比较简单,只是增加磨煤机及其给煤机、风道、热烟通道、落煤管和

输粉管道等制粉系统,还有煤粉燃烧器。其它设备都不改动。增加上述装置,其成本占原来链条锅炉的(10—18)%。但是,复合燃烧提高了出力,结果吨每小时所占成本反而降低约30%。同时,增加煤粉制备及其系统设备,耗电量增加了,一般比链条炉多20%,但是对应吨每小时来说,耗电量反而降低20%左右。

## 5 复合燃烧锅炉的消烟除尘问题

链条炉一般不冒黑烟,煤粉炉运行正常时也可以不冒黑烟。因此复合燃烧锅炉,经过运行调整一般不冒黑烟。排烟的颜色在林格曼一级以下,可以满足国家环境保护要求。

复合燃烧锅炉排烟含尘较多,除尘负担较重。排烟含尘量介于链条炉与煤粉炉之间,其原始排烟含尘浓度虽然比链条炉(约为2000~4000毫克/标米<sup>3</sup>)高一些,但是比煤粉炉(约为10000~30000毫克/标米<sup>3</sup>)要小得多。其原因如下:

5.1 飞灰浓度不大,一般情况下链条炉的飞灰份额为0.2,即灰分中有20%是飞灰,而煤粉炉的飞灰份额为0.95。若按煤粉量占总燃煤量为30%计算,则复合燃烧的飞灰份额为:

$$0.3 \times 0.95 + 0.7 \times 0.2 = 0.425$$

即综合飞灰份额为0.425,约为链条炉一倍,当煤的灰分较大时,锅炉的原始排烟含尘浓度才会超过10000毫克/标米<sup>3</sup>。

5.2 复合燃烧锅炉其煤粉较粗,例如,烟煤一般取 $R_{90} = (40 \sim 60)\%$ 即可,而煤粉炉为(20~40)%。由于煤粉颗粒较粗,沉降容易,分离下来的份额大,所以在实际运行中,其飞灰份额还会低于0.425。

5.3 在煤质较好情况下,煤粉占燃煤比例小

于30%，锅炉原始排烟含尘浓度还会降低。

5.4 由于飞灰颗粒比较粗，干式除尘器效率也会大幅度提高。

由于上述原因，按本技术改造后的复合燃烧锅炉，采用较好的干式除尘器就可以使排烟含尘浓度 $<400$ 毫克/标米<sup>3</sup>。例如，星光机械厂改造复合燃烧锅炉，煤粉占燃煤的比例较大，而且煤的灰分又较多，测得原始排烟的含尘浓度为17908.5毫克/标米<sup>3</sup>，除尘器的效率高达98%，最终烟气含尘浓度为358毫克/标米<sup>3</sup>。

如果采用湿式除尘器或其它高效除尘器，其排出烟气含尘浓度可以达到200毫克/标米<sup>3</sup>以下，完全可以达到国家环境保护标准。

## 6 新型复合燃烧锅炉

由链条炉排锅炉或往复炉排锅炉加上煤粉燃烧而改造的复合燃烧锅炉，由于受到原有锅炉本身结构和场地等条件限制，总有这样的不合理之处。新设计的复合燃烧锅炉可以充分发挥其长处，避免其短处。现在新型的14 MW复合燃烧热水锅炉已安装完毕，新型58 MW的复合燃烧热水锅炉已在工厂投产。

新设计的复合燃烧锅炉具有如下特点：

### 6.1 有较好的煤种适应性

这种燃烧方式可根据煤质好坏调节炉内燃烧状况，煤质好时可直接采用单一炉排燃烧，如果煤质不好或遇雨天煤潮湿时可采用炉排加煤粉复合燃烧。这种燃烧方式不仅能燃用优质烟煤，特别是能燃用高水分高灰分的褐煤、烟煤以及挥发分比较低的贫煤、无烟煤。煤种适应性较广。

### 6.2 能保证锅炉出力与热效率

链条锅炉加煤粉复合燃烧，能强化炉内燃烧过程，大大提高炉膛温度水平，锅炉出力

能够得以保证。与链条炉相比，在同样燃用优质烟煤时，锅炉出力可提高(15—20)%，在同样燃用低(劣)质煤时，锅炉出力可提高0.5—1.5倍。煤中灰分对锅炉效率影响很大，当煤中灰分大于30%时燃烧效率很差，链条炉热效率一般不超过60%，如果采用链条炉加煤粉复合燃烧后热效率可达75%左右，运行较好的热效率可达80%以上。由于新设计的复合燃烧锅炉的炉膛可以大一些，煤粉燃烧器的形式与布置更加合理。因此，更容易保证锅炉出力和热效率。

### 6.3 负荷变化适应性强

炉排和煤粉运行时可根据负荷大小随时改变，负荷小时单独用炉排，甚至可降为零，即用压火备用。负荷大时随时供煤粉，负荷调节幅度大、速度快，大约10分钟即可达到稳定的复合燃烧。

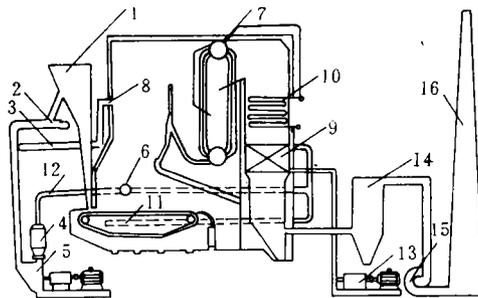


图1 链条锅炉加煤粉复合燃烧流程系统图

- 1—煤斗 2—给煤机 3—抽烟管 4—粗粉分离器  
5—风磨磨煤机 6—喷燃器 7—锅炉 8—抽烟口  
9—空气预热器 10—省煤器 11—炉排送风管  
12—煤粉管道 13—鼓风机 14—除尘器  
15—引风机 16—烟囱

### 6.4 投资省

虽然包括有两种燃烧设备，炉排和煤粉燃烧器，以及相应的给煤机和磨煤机。但是设备投资不会增加，因为煤粉燃烧火焰改善了炉排的燃烧条件，提高了炉排利用率；同时，煤粉燃烧可以带一部分负荷，降低了炉排的热负荷，这两方面都可使炉排面积减小，另

外,由于煤粉燃烧提高了火焰充满度,以及简化了炉拱结构,也提高了炉膛受热面的利用率,节约受热面钢材。当锅炉容量大于 20 t/h (含 14 MW 的热水锅炉)时,这些设备投资的减少,要多于煤粉燃烧设备的投资。因此,复合燃烧锅炉的设备投资要小于相同容量链条锅炉的设备投资。

### 6.5 操作方便运行稳定

具有较好的安全可靠性能,在这种燃烧方式中,将煤粉悬浮燃烧与炉排火床燃烧相结

合共用一台炉上,运行中彼此影响,互相利用,扬长避短,煤粉运行时有炉排作稳燃,保持炉膛较高温度,不致因“投”、“停”煤粉或煤粉浓度不够,突然中断煤粉而出故障。炉排上的火床也由于有煤粉火焰存在而不致断火或燃烧不透。

由链条炉排加上煤粉燃烧的复合燃烧技术不仅获得了国家专利,而且还获得了部科技进步一等奖。最近被列为国家科委重点科技推广项目。

## 标准联合循环装置的价格

“Gas Turbine World 1995 Hanbook”报导了标准联合循环装置的价格。该价格是指平均的基本装置的价格,以 1995 年美元计算,包括下列设备的购置费用:燃气轮发电机组(燃烧天然气);不补燃的多压余热锅炉;凝汽式多压气轮发电机组;水冷式排热系统;标准的控制装置;起动系统;电厂的辅机。

通常燃气轮机具有干、低 NO<sub>x</sub> 燃烧室。取决于设备的范围、现场的具体要求、地理位置和市场竞争情况,这些价格会有很大变化。交钥匙总承包安装的电站价格在这些设备费用的基础上可能再增加 50%—100%。

1995 年部分标准联合循环装置的价格

装置 型号	ISO 基本负荷净 输出(MW)	净效率 (%)	燃机 台数	汽轮机 台数	预算价格 (\$)	单价 (\$/kW)
CC1-1600	18.7	49.7	1×LM1600	1×5.3 MW, 2P	10 190 000	545
CC1-2500	30.9	49.8	1×LM2500	1×8.4 MW, 2P	15 675 000	507
FT8	32.3	48.7	1×FT8	1×7.6 MW, 2P	16 000 000	495
KA10-1	35.5	50.5	1×GT10	1×12 MW, 2P	18 900 000	532
FT8 Twin	65.3	49.2	2×FT8	1×16 MW, 2P	33 830 000	518
S-260	105.0	52.4	2×LM6000	1×30 MW, 3P	39 900 000	380
S-206B	119.5	49.1	2×Fr 6B	1×46 MW, 3P	37 000 000	310
S-107EA	128.7	50.2	1×Fr7EA	1×48 MW, 3P	38 000 000	295
KA13D-1	147.1	48.6	1×GT13D	1×53 MW, 2P	46 000 000	313
KA11N2-1	163.8	51.3	1×GT11N2	1×58 MW, 2P	42 300 000	258
GUD 1S. 84. 3	227.0	54.3	1×V84. 3	1×83 MW, 3P	48 100 000	212
KA26-1	361.5	56.9	1×GT26	1×128 MW, 3P	94 500 000	262
GUD2. 94. 3	643.0	53.6	2×V94. 3	1×225 MW, 2P	149 900 000	233
KA13E2-3	737.3	53.4	3×GT13E2	1×260 MW, 3P, R	188 000 000	255

(学牛 供稿)

涡轮导叶轴向弯曲对其气动性能影响的研究(三维粘流数值分析)=A Study on the Axial Skewing Effect of Turbine Stator Blades on Their Aerodynamic Characteristics(Three-dimensional Viscous Flow Numerical Analysis [刊/中]/Chen Naixing, Zhou Qian, Huang Weiguang(Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(1). -1~8

Recent years have seen the application of computational fluid mechanics to turbomachinery with a significant contribution being rendered to the three-dimensional computation method and the simultaneous initiation of a transition from academic study to industrial use. Over the recent two decades the Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences had been engaged in the development of a variety of three-dimensional flow computational methods for turbomachinery. The present paper presents the method developed by the authors, its application in the study and analysis of the flow phenomena occurring in a typical turbine stator with a high aspect ratio, and the axial skewing effect on its aerodynamic characteristics. Also given are some study results and the authors suggestions. Key words: numerical analysis of three-dimensional viscous flow, axial skewing of turbine stator blades, turbine aerodynamic characteristics

内循环流化床锅炉燃烧机理及有关热工参数的确定=The Combustion Mechanism of an Internal Circulation Fluidized Boiler and the Determination of Related Thermotechnical Parameters[刊/中]/Wang Huaibin, Dong Yong, Quan Wentao(Harbin Institute of Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(1). -9~14

Proceeding from the combustion mode specific to an internal circulation fluidized bed boiler, the authors analysed the mechanism of fuel particle combustion and presented a method for determining several major thermotechnical parameters in the thermodynamic calculation. Key words: fluidized bed, internal circulation, combustion mechanism, thermodynamic calculation, thermotechnical parameters

PFBC 高温炉渣连续排放与冷却系统的冷态试验研究=Cold-state Experimental Study of a PFBC High-temperature Boiler Slag Continuous Disposal and Cooling System [刊/中]/Rong Degang, Yang Yaping, Wang Shuangqun (Southeastern University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(1). -15~19

This paper briefly describes a cold-state test plant of boiler slag disposal and cooling for a home-made PFBC-CC intermediate test electric power station as well as its working principle and related operation test conditions. The test results have shown that the slag disposal and cooling system based on the use of a pneumatically controlled non-mechanical valve for controlling slag disposal rate and the cooling of slag through a shallow bed fluidized mode is characterized by a good regulation performance under a pressurized environment, low air consumption and adequate adaptability to large granules. Because of the foregoing the said system is expected to find application in an intermediate test plant to realize the continuous disposal and cooling of PFBC high-temperature boiler slag. Key words: pressurized fluidized bed, boiler slag, disposal, cooling system

链条炉排加煤粉复合燃烧技术=A Combustion Technique Featuring the Combination of a Travelling Grate and Pulverized Coal Firing[刊,中]/Yang Mingxin, Wu Shaohua, Sun Shaozeng,

Li Zhongqi, Sun Enzhao (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(1). -20~24

Described in this paper is a combustion technique involving a combination of travelling grate and pulverized coal firing, i. e., the travelling grate firing and the pulverized coal firing take place in one and the same boiler furnace. Briefly discussed are the mechanism of such a kind of combustion technique and the related boiler structural design features along with a description of a new type of 58 MW hot water boiler incorporating the combined firing technique. Key words; combined firing, grate stoker, pulverized coal fired boiler

污泥流化床焚烧技术研究和环境影响分析 = A Study on Fluidized Bed Sludge Combustion Technology and Analysis of Environmental Impacts [刊/中]/Yan Jianhua, Jiang Xuguang, Chi Yong, Zeng Tinghua, Ni Mingjiang, Cen Kefa (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(1). -25~29

On the basis of analysing the various methods for the disposal of sludge, such as agricultural land filling, throwing into sea and burning in revolving kilns, the authors have come up with a new type of sludge heterospecific-gravity based fluidized bed combustion technology with emphasis on the analysis of sludge energy utilization. An experimental investigation is performed of the sludge caking and ignition characteristics when burned in the fluidized bed. Also analysed and tested are the emissions of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , fluorine, chlorine and heavy metals following the combustion of sludge, which show that the sludge combustion in the fluidized bed is technically feasible and the emissions of pollutants are within the limits demanded by environmental protection requirements with no risk of secondary pollution arising therefrom. One can therefore conclude the above-mentioned technology can be advantageously applied for the disposal of sludge. Key words; sludge disposal, fluidized bed, combustion technology, environment

论发展超临界参数锅炉 = On the Development of Boilers of Supercritical Parameters [刊, 中]/Li Zhiwang, Sun Qingfu, et al (Heilongjiang Electric Power Test Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(1). -30~32

Based on the operation practice and performance of home made 600 MW boilers of supercritical and subcritical steam conditions the authors have analysed the reliability and economics resulting from the use of power generating unit of supercritical parameters. The merit of a lower steel consumption enjoyed by supercritical pressure boilers as compared to subcritical pressure ones testifies to the great significance of developing supercritical pressure boilers. Key words; supercritical pressure, steel consumption, reliability, economics

垃圾的焚烧处理 = Garbage Disposal by way of incineration [刊, 中]/He Weical, Xuan Yinong, Lu Naixuan (Guangzhou Design Institute under the Ministry of Light Industry) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(1)-33~36

This paper gives a brief account of the new developments in garbage disposal by way of incineration and related incineration technology. Key Words; garbage, disposal by incineration

HAT 循环的一种改型—CHAT 循环 = CHAT Cycle-A Modified Version of Humid Air Turbine Cycle