

魏亚玲. 不同燃烧压力下煤粉富氧燃烧特性试验研究[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(3): 29-32.

文章编号: 1008-4495(2018)03-0029-04

不同燃烧压力下煤粉富氧燃烧特性试验研究

魏亚玲

(中国矿业大学银川学院, 宁夏银川 750000)

摘要: 为了研究不同燃烧压力下煤粉的富氧燃烧特性及烟气成分, 运用加压固定床燃烧反应试验系统对不同燃烧压力下的煤粉进行了富氧燃烧试验, 结果表明: 随着燃烧压力的增大, 燃烧中心的温度也随之增大, 当燃烧压力大于 3.0 MPa 时燃烧中心的最高温度不再明显增大, 维持在 750 ℃ 左右; 随着燃烧压力的增大, 煤粉的着火时间不断缩短, 煤粉的燃尽时间先减小后增加, 当燃烧压力大于 3.0 MPa 时, 煤粉的着火时间与燃尽时间随着压力的增大不再发生明显的变化; 随着煤粉的燃烧, O₂ 浓度先下降后上升, 最后达到进气浓度, 当燃烧压力大于 3.0 MPa 时, O₂ 浓度在前 3 min 内的降速较快, 说明在此工况下的煤粉燃烧剧烈; CO₂ 浓度先下降后上升再下降达到进气浓度; CO 浓度先上升后下降, 随着燃烧压力的增加, 燃烧过程中产生的 CO 浓度降低。

关键词: 煤粉; 燃烧压力; 富氧燃烧; 加压固定床; 燃烧特性; 烟气成分

中图分类号: TK229.6 **文献标志码:** A

Experimental Study on Characteristics of Oxygen-enriched Combustion of Pulverized Coal under Different Combustion Pressures

WEI Yaling

(China University of Mining and Technology Yinchuan College, Yinchuan 750000, China)

Abstract: In order to study the characteristics of oxygen-enriched combustion of pulverized coal and smoke compositions under different combustion pressure, the oxygen-enriched combustion test of pulverized coal under different combustion pressure was carried out by using pressurized fixed bed combustion reaction test system. The results showed that the temperature of combustion center increased with the increase of combustion pressure, when the combustion pressure was more than 3.0 MPa, the maximum temperature of the combustion center no longer increased significantly, it maintained at about 750 ℃; with the increase of pressure, the ignition time of pulverized coal was shortened, the burning time decreased at first and then increased, when the combustion pressure was more than 3.0 MPa, the ignition time and burning time of pulverized coal were no longer change significantly with the increase of combustion pressure; with the burning of pulverized coal, the concentration of O₂ decreased at first and then increased, and finally reached the intake air concentration, when the combustion pressure was more than 3.0 MPa, the concentration of O₂ decreased rapidly in the first 3 min, indicating that the pulverized coal burned vigorously under such circumstances; the concentration of CO₂ decreased at first, then increased and then decreased to reach the intake concentration; the concentration of CO increased at first and then decreased, and with the increase of combustion pressure, the concentration of CO produced during combustion decreased.

Keywords: pulverized coal; combustion pressure; oxygen-enriched combustion; pressurized fixed bed; characteristics of combustion; smoke composition

在我国发电机组消耗能源中, 煤炭作为最主要能源的基本格局在较长时间内不会发生改变, 而富

氧燃烧技术作为一种环境友好型燃煤方式被广泛应用于燃煤发电机组中, 是近几年研究中最有可能实现燃煤零排放的技术之一^[1]。

关于富氧煤燃烧的研究大多是在常压条件下进行的, 而加压条件下的研究相对较少。美国 Thermo Energy 公司提出加压富氧燃烧整体化发电的概念, 与煤的常规空气燃烧及富氧燃烧技术相比, 具有明显的

收稿日期: 2017-07-26; 2017-09-13 修订

基金项目: 宁夏回族自治区自然科学基金项目 (NZ16238)

作者简介: 魏亚玲 (1985—), 女, 甘肃皋兰人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为化学工程与工艺煤化工。E-mail: phueht17@163.com。

技术与经济优势^[2]。葛学利等^[3]以300 MW电站锅炉为研究对象,对燃烧过程的反应机理、物性参数和换热模型进行了修正,采用数值模拟方法对空气燃烧和富氧燃烧条件下炉膛的温度场和煤粉含碳量进行了对比研究。李先春等^[4]用Aspen Plus软件对某600 MW富氧燃煤电厂褐煤的干燥过程进行模拟分析,研究了干燥介质、烟气温度、流量、烟气中CO₂浓度和H₂O含量对褐煤干燥特性的影响。孙晨亮等^[5-6]为了研究煤粉在O₂/N₂气氛下的着火特性,自制了双炉膛加压热重分析仪,分析了着火温度受压力、氧气分压和挥发分含量等因素的影响。Saastamoinen等^[7]在加压携带流反应器中进行了实验,结果表明当氧浓度固定时,煤炭颗粒的温度随总压的升高而升高,而燃烧时间变短。雷鸣等^[8]通过加压富氧燃烧系统研究了压力对煤燃烧特性的影响。

国内外关于不同压力下的煤粉富氧燃烧技术的研究多停留在数值模拟,以及通过热重试验技术来研究煤粉的燃耗与燃尽特性,而对于煤粉在不同压力下的富氧燃烧过程及烟气特性研究较少。笔者为研究不同燃烧压力下煤粉的富氧燃烧特性及烟气成分,运用加压固定床燃烧反应试验系统,对不同压力下的煤粉富氧燃烧特性及烟气成分进行试验,分析不同压力下富氧燃烧中心温度,煤粉着火及燃尽时间,燃烧烟气中的O₂、CO₂、CO成分变化规律,为加压富氧燃烧的研究提供一定的试验依据。

1 不同燃烧压力下煤粉富氧燃烧试验

1.1 试验系统

加压固定床燃烧反应试验系统^[9]主要由燃烧供气系统、燃烧反应炉、气液分离系统、烟气分析系统等部分组成,系统各部分连接如图1所示。

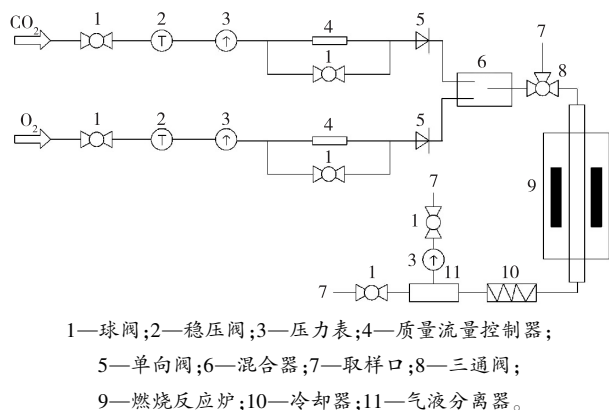


图1 加压固定床燃烧反应试验系统连接图

由图1可以看出,加压固定床燃烧反应试验系统的燃烧供气系统由进气管、稳压阀、压力表、质量

流量控制器、单向阀、混合器等构成。进气管处接有气体压力瓶,通过稳压阀及压力表可以控制进气压力;质量流量控制器可以控制及监测气体的质量和流量,单向阀可防止气体发生逆向流动,混合器将2条输入管路的气体充分混合。燃烧反应炉主要由可编程控制的温度控制系统、加热设备和炉体构成。温度控制系统可以控制反应炉内的加热设备,使其达到试验要求的温度,加热设备最高可以将反应炉内的温度加热到1 000 ℃。气液分离系统主要由冷却器、气液分离器组成。冷却器主要是将燃烧之后的气体冷却变成常温液体与气体;气液分离器主要是将燃烧后产生的水、焦油等液体与气体分离。烟气分析系统主要包括气相色谱仪设备,用气相色谱仪通过气相色谱法可以将煤粉燃烧后生成的复杂气体分离并进行分析。

1.2 试验条件

本次富氧燃烧试验所使用的煤为宁煤集团红柳煤矿井下提取的煤块,在实验室中研磨成粉并干燥。本试验主要研究不同压力下煤粉的富氧燃烧特性及烟气成分,因此煤粉直接在富氧条件下燃烧,选用O₂和CO₂2种气体,且其纯度均为99.9%。通过文献得知^[10-11],当O₂与CO₂的体积比为3:7时,碳燃尽率可以达到较高水平,且可达到正常燃烧方式下的膛炉温度600 ℃。因此,本试验O₂与CO₂的体积比选为3:7,燃烧压力分别设定0.1、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 MPa等6个试验工况,有关试验方案及参数见表1。

表1 不同压力下煤粉的富氧燃烧试验方案及具体参数

方案 编号	O ₂ 流量/ (L·min ⁻¹)	CO ₂ 流量/ (L·min ⁻¹)	燃烧压力/ MPa	燃烧温度/ ℃
1	0.3	0.7	0.1	600
2	0.3	0.7	1.0	600
3	0.3	0.7	2.0	600
4	0.3	0.7	3.0	600
5	0.3	0.7	4.0	600
6	0.3	0.7	5.0	600

1.3 试验步骤

1)将煤样研磨,并将研磨好的煤粉放到干燥箱内干燥2 h,干燥箱温度设置为120 ℃。

2)将干燥好的煤粉运用不同孔径的筛网进行筛分^[12],将煤粉粒径控制在0.2~1.0 mm。

3)将煤粉平均分成6份,每份质量为1 kg,用于不同工况下的燃烧试验。

4) 将煤粉放入燃烧反应炉内, 密闭试验系统, 通过控制压力瓶压力与流量使反应炉内气体压力与体积比满足试验工况要求, 并持续通气 5 min, 然后将系统启动。

5) 运用气体采样袋每隔 1 min 对燃烧产生的气体采样, 并运用烟气分析系统分析气体成分。

2 不同燃烧压力下煤粉富氧燃烧试验结果及分析

2.1 煤粉富氧燃烧特性分析

本试验采用的煤粉燃烧方法为强迫着火, 即将煤粉持续加热直到其燃烧^[13]。设置反应炉内加热温度为 600 ℃, 将炉内温度加热到 200 ℃ 时开始计时, 作为试验的零点^[14], 绘制不同燃烧压力下燃烧中心温度与燃烧时间之间的关系曲线, 如图 2 所示。

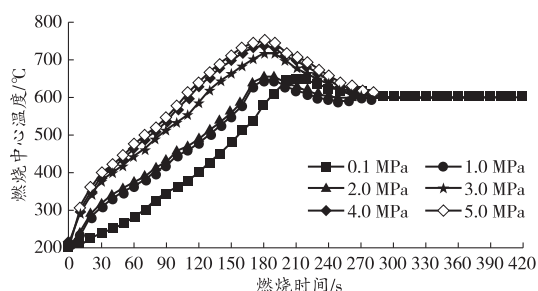


图2 不同燃烧压力下燃烧中心温度与燃烧时间的关系曲线

由图 2 可以看出, 不同燃烧压力下, 燃烧中心的温度都是先增大再减小, 燃烧中心温度在 285 s 时都稳定在 600 ℃ 左右, 说明此时的燃烧反应已经结束; 随着燃烧压力的增加, 燃烧中心的最高温度也随之增加, 且达到最高温度的时间也随之减小, 温度增加速率明显加快; 当燃烧压力小于等于 2.0 MPa 时, 燃烧中心的最高温度在 650 ℃ 左右, 当燃烧压力为 3.0 MPa 时, 燃烧中心的最高温度为 720 ℃ 左右, 之后随着燃烧压力的增大, 燃烧中心的最高温度不再明显增大, 维持在 750 ℃ 左右。

煤粉着火时间、燃尽时间与燃烧压力的关系曲线如图 3 所示。

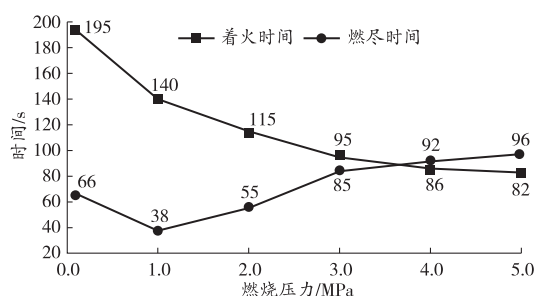


图3 煤粉着火时间、燃尽时间与燃烧压力的关系曲线

由图 3 可以看出, 随着燃烧压力的增加, 煤粉的着火时间不断缩短, 当燃烧压力高于常规压力时, 煤粉着火时间明显缩短, 由 195 s 减小到 140 s; 当燃烧压力位于 1.0 ~ 3.0 MPa 时, 随着压力的增加, 煤粉着火时间缩短速率缓慢; 当燃烧压力大于 3.0 MPa 时, 煤粉着火时间随着压力的增加不再发生明显的变化。随着燃烧压力的增加, 煤粉的燃尽时间先减小后增加, 当燃烧压力高于常规压力时, 煤粉燃尽时间明显减小, 由原来的 66 s 减小到 38 s; 当燃烧压力处于 1.0 ~ 5.0 MPa 时, 随着压力的增加, 煤粉的燃尽时间不断地增加, 且在 1.0 ~ 3.0 MPa 间的增长速率大于 3.0 ~ 5.0 MPa 间的增长速率。

2.2 煤粉富氧燃烧烟气成分分析

在煤粉燃烧试验过程中, 运用气体采样袋每隔 1 min 对烟气取一次气样^[15], 燃烧试验持续 7 min, 6 组试验中共取气样 42 袋, 通过烟气分析系统对其进行成分分析。通过分析得知, 烟气中主要存在 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 CO 、 CH_4 等 5 种气体, 笔者主要研究 O_2 、 CO_2 、 CO 在不同压力下煤粉富氧燃烧时所生成的浓度 (体积分数), 将烟气分析系统测得的不同气体浓度与不同燃烧时间的关系绘制成图, 分别展开分析。

不同燃烧压力下 O_2 浓度与燃烧时间的关系曲线见图 4。由图 4 可以看出: 随着煤粉的燃烧, O_2 浓度先迅速降低, 之后 O_2 浓度逐渐上升, 最后达到燃烧之前的进气 O_2 浓度; 当燃烧压力为 0.1、1.0 MPa 时, O_2 浓度在前 3 min 内的降低速度较慢, 说明在此工况下的煤粉在前 3 min 内燃烧不剧烈; 当燃烧压力为 2.0、3.0、4.0、5.0 MPa 时, O_2 浓度在前 3 min 中的降低速度较快, 说明在此工况下的煤粉在前 3 min 内燃烧剧烈, 且 3 种工况下的 O_2 浓度变化速率相近; 燃烧结束后, 燃烧压力为 5.0 MPa 时 O_2 浓度为 23.9% 左右, 其余燃烧压力下的 O_2 浓度为 28.0% 左右。

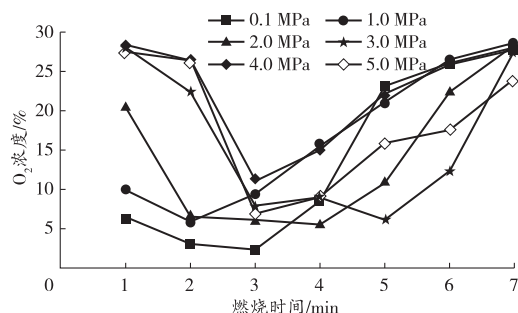


图4 不同燃烧压力下 O_2 浓度与燃烧时间的关系曲线

不同燃烧压力下 CO_2 浓度与燃烧时间的关系曲

线见图5。由图5可以看出:CO₂浓度随着燃烧时间增加先下降后上升再下降达到燃烧之前的进气CO₂浓度;燃烧压力为2.0、3.0、4.0、5.0 MPa时,CO₂浓度变化速率较缓和,燃烧压力为0.1、1.0 MPa时,CO₂浓度变化较剧烈;燃烧结束后,燃烧压力为5.0 MPa时CO₂浓度为72%左右,其余燃烧压力下的CO₂浓度为65%~70%。

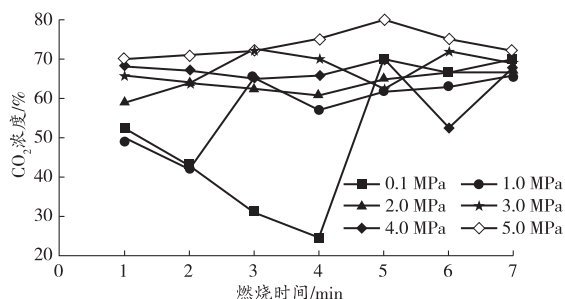


图5 不同燃烧压力下CO₂浓度与燃烧时间的关系曲线

不同燃烧压力下CO浓度与燃烧时间的关系曲线见图6。由图6可以看出:CO浓度随着燃烧时间增加先上升后下降,且只有在燃烧压力为0.1、1.0 MPa时,CO浓度变化较明显;随着燃烧压力的增加,燃烧过程中产生的CO浓度降低;燃烧结束后,烟气中的CO浓度几乎为0。

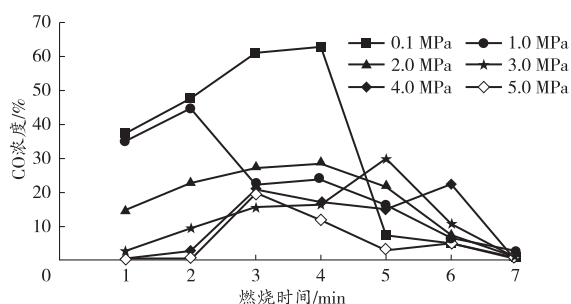


图6 不同燃烧压力下CO浓度与燃烧时间的关系曲线

3 结论

1)随着燃烧压力的增大,煤粉富氧燃烧中心的温度也随之增加,而当燃烧压力等于3.0 MPa时,燃烧中心的最高温度为720℃左右,之后随着燃烧压力的增大,燃烧中心的最高温度不再明显增大,维持在750℃左右。

2)随着燃烧压力的增加,煤粉的着火时间不断缩短,当燃烧压力大于3.0 MPa时,煤粉着火时间随着压力的增加不再发生明显的变化;随着燃烧压力的增加,煤粉的燃尽时间先减小后增加,当燃烧压力大于3.0 MPa时,煤粉燃尽时间随着压力的增加不再发生明显的变化。

3)随着煤粉的燃烧,O₂浓度先迅速降低,之后O₂浓度逐渐上升,最后达到燃烧之前的进气O₂浓度;当燃烧压力大于3.0 MPa时,O₂浓度在前3 min内的降速较快,说明在此工况下的煤粉燃烧剧烈。

4)随着煤粉的燃烧,CO₂浓度随着燃烧时间增加先下降后上升再下降达到燃烧之前的进气CO₂浓度。

5)随着煤粉的燃烧,CO浓度随着燃烧时间增加先上升后下降,且只有在燃烧压力为0.1、1.0 MPa时,CO浓度变化较明显;随着燃烧压力的增加,燃烧过程中产生的CO浓度降低。

参考文献:

- [1] 梁化鑫.煤粉在加压富氧条件下的燃烧特性研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [2] HONG J, FIELD R, GAZZINO M, et al. Operating pressure dependence of the pressurized oxy-fuel combustion power cycle[J]. Energy, 2010,35(12): 5391-5399.
- [3] 葛学利,乌晓江,张建文,等.富氧燃烧条件下炉内数值模拟研究[J].动力工程学报,2016,36(3):172-177.
- [4] 李先春,任海飞,余江龙,等.富氧燃煤电厂褐煤干燥过程的数值模拟[J].煤炭转化,2014,37(3):38-41.
- [5] 孙晨亮,章名耀.压力下各种因素对煤粒着火温度的影响[J].燃烧科学与技术,1999,5(3):313-318.
- [6] 蔡磊,邹春,贾汇桥,等.煤粉在O₂/N₂和O₂/H₂O气氛下着火的实验研究[J].工程热物理学报,2015,36(5):1139-1142.
- [7] SAASTAMOINEN J J, AHO M J, HAMALAINEN J P, et al. Pressurized pulverized fuel combustion in different concentrations of oxygen and carbon dioxide[J]. Energy & Fuels, 1996,10(1):121-133.
- [8] 雷鸣,王春波,阎维平,等.大同烟煤增压富氧燃烧的热重实验研究[J].中国电机工程学报,2012,32(5):21-26.
- [9] 康建东.适于煤矿乏风催化燃烧的高性能催化剂制备方法实验研究[J].矿业安全与环保,2016,43(6):1-4.
- [10] 许杨杨.富氧煤粉燃烧试验系统的数值模拟及优化[D].上海:上海交通大学,2013.
- [11] 纪磊,张安明,田勇.振动床逆流低温富氧褐煤干燥系统煤粉着火爆炸危险性分析及控制技术[J].矿业安全与环保,2013,40(6):90-93.
- [12] 王广伟,张建良,左海滨,等.粒径对煤粉燃烧特性的影响及动力学分析[J].冶金能源,2014,33(2):49-53.
- [13] 张大兴.国内典型煤种在富氧条件下的燃烧性能[J].洁净煤技术,2018,24(2):90-95.
- [14] 唐昭帆,卢玫,王克,等.210 MW煤粉炉燃烧系统改进的数值模拟[J].能源工程,2016,12(6):58-64.
- [15] 景涛,肖业俭,周志安,等.基于测试的烟气循环燃烧工艺[J].中国冶金,2016,26(9):42-47.

(责任编辑:逢锦伦)