

高海拔对煤粉燃烧特性的影响研究

刘利军¹,张喜来²,刘家利²

(1. 青海神华低碳能源投资有限公司,青海 格尔木 816000;2. 西安热工研究院有限公司,陕西 西安 710054)

摘要:为掌握高海拔低气压环境下煤粉燃烧特性,指导高海拔地区大型燃煤锅炉设计,在试验台上模拟高海拔低气压环境,利用一维火焰炉、着火炉研究了煤粉在不同海拔高度下的着火、燃尽及NO_x排放特性。结果显示随着海拔的升高,煤粉的着火温度升高,燃尽性能有一定下降,而NO_x生成量变化不大。与低海拔地区类似,试验煤样煤粉变粗会使着火温度升高,但对燃尽率影响较小,氧含量对燃尽率和NO_x影响较大。综合考虑,高海拔地区锅炉设计应采用较细的煤粉细度、适当提高燃尽空间。

关键词:高海拔;燃烧特性;燃尽;着火;NO_x

中图分类号:TK16 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2016)05-0021-04

Effect of high altitude on combustion characteristics of pulverized coal

LIU Lijun¹,ZHANG Xilai²,LIU Jiali²

(1. Qinghai Shenhua Low-carbon Energy Investing Co., Ltd., Geermu 816000, China;2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract:In order to obtain combustion characteristics of pulverized coal in high altitude areas, and guide the design of large-scale coal-fired boilers in high altitude areas, the ignition temperature, burnout rate and NO_x generation of the pulverized coal at different altitude were studied by one-dimensional experiment furnace and ignition experiment furnace which could simulate the high altitude condition. The results showed that the coal ignition temperature increased and the burnout rate declined with the increase of altitude. However, the generation of NO_x was hardly influenced by the altitude. Like in low altitude areas, the ignition temperature of the testing pulverized coal increased with the decrease of coal fineness, while the burnout rate was barely impacted. Furthermore, the burnout rate and NO_x generation were influenced significantly by the combustion oxygen rate. Through synthetically consideration, the pulverized coal fineness should be lower and the burnout space should be enough while designing the boilers in high altitude areas.

Key words:high altitude; combustion characteristics; burnout; ignition; NO_x

0 引 言

随着经济的快速发展,青海电网面临电力供应严重不足的局面。为解决青海电网电源不足,缓解用电紧张局面,支持青海省经济社会发展,国家拟在青海地区规划建设多个火电项目。青海地区为典型高海拔地区,大气压力低,虽然空气中氧气体积分数与平原基本相同,但空气密度小,会导致燃料的燃烧特性发生变化^[1]。在云南、贵州和青海等高海拔地区已有

小型燃煤火电机组投运^[2-3],运行情况显示存在锅炉热效率低、厂用电率偏高、供电煤耗偏高等问题,给电厂运行安全性、经济性带来一定影响^[4-6]。已有研究提出高海拔地区锅炉在设备选型、系统设计等方面应采取针对性措施,如增大炉膛容积以增加煤粉停留时间、增大烟风道尺寸以保证气流合理流速、增大对流受热面传热面积以保证换热效果等^[7-9]。现有研究虽已提出高海拔低气压下煤粉的燃烧特性变差^[10],但仍属于定性结论,缺乏可靠的定量数据。本文在试

收稿日期:2015-12-03;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2016.05.004

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2015BAA04B01)

作者简介:刘利军(1968—),男,内蒙古包头人,高级工程师,现任青海神华低碳能源投资有限公司总工程师,从事高海拔地区火电厂建设前期研究工作。通讯作者:张喜来(1981—),男,工学博士,从事燃煤特性及其与锅炉设备适应性研究。E-mail:zhangxilai@tpri.com.cn

引用格式:刘利军,张喜来,刘家利.高海拔对煤粉燃烧特性的影响研究[J].洁净煤技术,2016,22(5):21-24.

LIU Lijun,ZHANG Xilai,LIU Jiali. Effect of high altitude on combustion characteristics of pulverized coal[J]. Clean Coal Technology,2016,22(5):24-24.

验台上模拟高海拔低气压工况,研究了煤粉在此条件下的燃烧特性,为高海拔地区煤粉锅炉设计及后期运行调整提供基础性数据支持。

1 试验

1.1 试验煤样

选择了3个煤样进行试验,各煤样的主要煤质参数见表1。

1.2 试验模拟工况

以青海格尔木地区为典型研究对象,海拔标高

取2 900 m。以昆明和西安为对比地区,海拔高度分别取1 891 m和414 m。

随着海拔的升高,大气压力不断降低,但大气中各组分的相对含量基本维持不变,因此可以在平原地区通过降低密闭的舱室内压力的方法来模拟高海拔地区的低气压环境。试验时根据需要用真空泵将密封舱内的空气部分抽出,调节密封舱内部气压大小,形成试验所需的不同气压环境,表2列出了试验所需的不同代表性区域的气压值。

表1 试验煤样主要煤质特性

Table 1 Main characteristics of experimental coals

煤样	工业分析/%				元素分析/%					$Q_{\text{net,ar}}/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
	M_t	M_{ad}	A_{ar}	V_{daf}	$w(\text{C}_{\text{ar}})$	$w(\text{H}_{\text{ar}})$	$w(\text{N}_{\text{ar}})$	$w(\text{O}_{\text{ar}})$	$w(\text{S}_{\text{t,ar}})$	
煤样1	15.60	7.00	22.05	39.48	47.95	3.10	0.67	9.92	0.71	17.48
煤样2	12.50	4.50	28.38	42.84	44.68	3.21	0.72	9.62	0.89	16.61
煤样3	15.70	7.46	26.55	39.87	44.29	2.86	0.58	9.34	0.68	15.90

表2 试验所选定的大气压

Table 2 Experimental atmospheric pressure

地点	海拔高度/m	大气压/kPa
西安	414	96.43
昆明	1 891	80.57
格尔木	2 900	71.01

1.3 试验装置

图1为高海拔低气压模拟试验台原理。试验台由密封舱、真空泵及放置于密封舱内的一维火焰炉与煤粉气流着火炉组成。试验时真空泵不但作为抽气装置,形成并维持密封舱负压,而且还在燃烧系统中充当引风机。通过真空泵将一维火焰炉尾部烟道压力和密封舱的压差维持在50 Pa左右。在燃烧器顶部开有气压平衡孔,保持一维火焰炉内的气压和密封舱的压力相等。试验时,试验人员进入密封舱,关闭舱门后启动真空泵,抽取舱内空气,直至舱内气压值达到指定值。随后开启烟气系统阀门,启动送风机,按要求调整一、二次风量,然后投入煤粉。待燃烧稳定后,开始测量。

2 试验结果与讨论

2.1 煤粉着火特性

2.1.1 海拔高度对着火特性影响

对3个试验煤样进行了不同气压下的煤粉气流

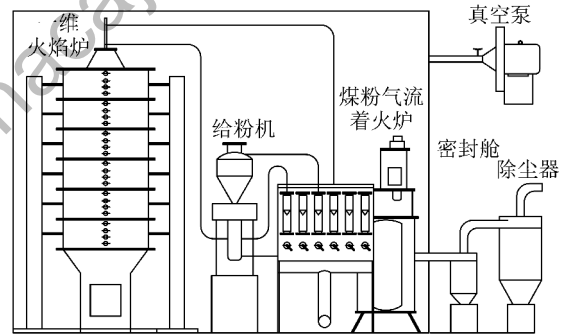


图1 高海拔、低气压燃烧试验台

Fig. 1 Combustion test bench at high altitude and low pressure
着火温度测试,结果如图2所示。由图2可知,随着海拔的升高,煤粉气流着火温度升高30~80℃,显示低气压环境抑制了煤粉燃烧的反应速度,延长了着火时间,着火温度升高。

对煤样1进行了煤粉气流着火温度测试,试验时煤粉细度 R_{90} (未通过90 μm筛上的煤粉质量占试样质量的百分数)为16.0%,可见海拔高度对煤粉着火温度的影响基本呈线性关系。

2.1.2 煤粉细度对着火温度的影响

在低海拔地区,煤粉细度对煤粉气流着火温度的影响较为明显。为了分析高海拔下煤粉细度对着火温度的影响,在海拔414、1 891和2 900 m下,分别测试了煤样1煤粉细度 R_{90} 为16%、20%和30%时的煤粉气流着火温度,结果如图3所示。

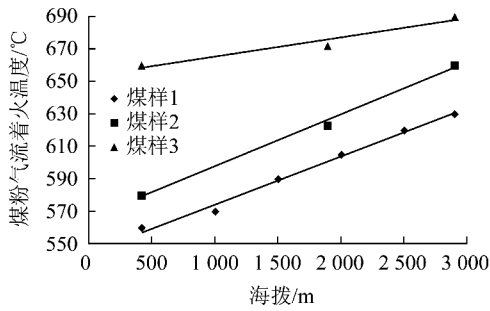


图2 海拔高度对煤粉气流着火温度的影响

Fig. 2 Influence of altitude on ignition temperature of pulverized coal

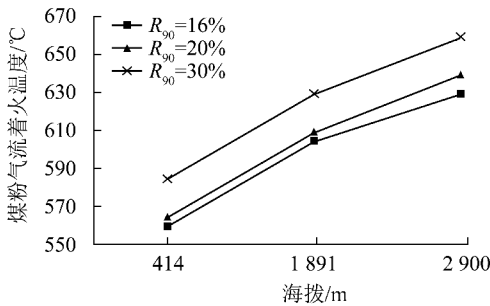


图3 不同海拔下煤粉细度对气流着火温度影响
Fig. 3 Influence of pulverized coal fineness on ignition temperature at different altitude

由图3可知,随着煤粉变粗,煤粉气流着火温度呈升高趋势,但 R_{90} 在16%~20%时着火温度变化较小。考虑到高海拔低气压使煤粉气流着火特性变差,高海拔地区电厂锅炉应选用较细的煤粉细度,以利于煤粉着火。

2.2 煤粉燃烬特性

2.2.1 海拔高度对煤粉燃烬性能的影响

图4为试验煤样在不同海拔下的燃烬率比较。可见随着海拔升高,煤粉的燃烬率呈下降趋势,海拔由414 m升高到2900 m,燃烬率下降1%左右。

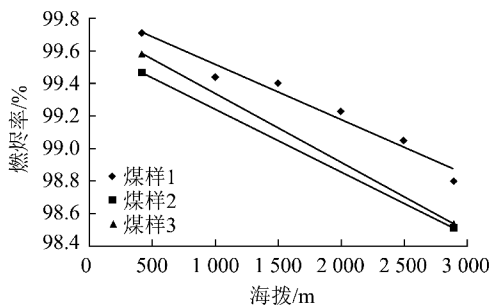


图4 海拔高度对煤粉燃烬率的影响

Fig. 4 Influence of altitude on burnout rate of pulverized coal

对煤样1煤粉细度 R_{90} 为16.0%时不同海拔下

的燃烬率进行了测试,可见燃烬率与海拔高度的关系近似呈线性关系。高海拔地区锅炉设计时,需考虑高海拔对煤粉燃烬性的不利影响,应适当提高燃烬空间,保证燃烧经济性。

2.2.2 高海拔下煤粉细度对燃烬性能的影响

煤粉细度对燃烬性能有较大的影响,在高海拔环境下对煤样1进行了不同煤粉细度下的燃烬率测试,结果如图5所示。可见随着煤粉细度增大,煤粉的燃烬率呈下降趋势,但因试验煤样燃烬性能优良,煤粉细度对燃烬性影响较小。即使在2900 m的海拔高度下,煤粉细度 R_{90} 为30%时煤粉的燃烬性能仍能达到98%以上,为易燃烬等级。

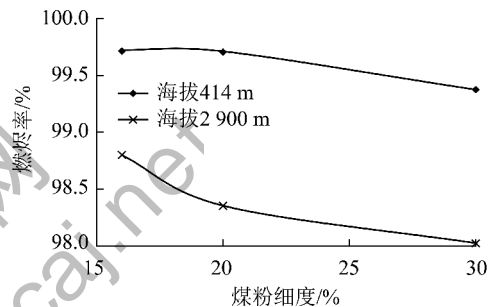


图5 不同海拔下煤粉细度对燃烬率的影响

Fig. 5 Influence of pulverized coal fineness on burnout rate at different altitude

2.2.3 高海拔下氧含量对煤粉燃烬性能的影响

在海拔2900 m条件下,测试了不同燃烧氧含量时煤样1的一维火焰炉燃烬率,结果如图6所示。可见高海拔下燃烧氧含量对煤的燃烬率影响较大,当氧含量在3.5%以上时,煤样的燃烬性能优良,均能达到极易燃烬等级,而当氧含量降低到2.5%以后,燃烬率下降明显,燃烬率由98.81%下降到97.77%。

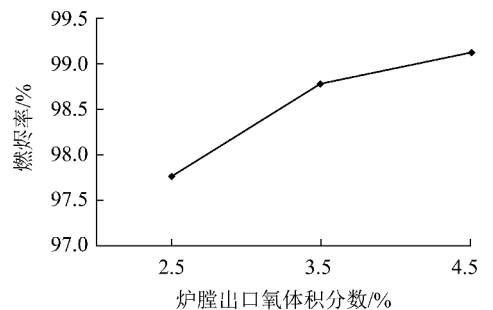


图6 高海拔下燃烧氧含量对燃烬率的影响

Fig. 6 Influence of oxygen concentration on burnout rate at high altitude

图7为一维火焰炉各级取样点的燃烬率比较,

可见氧含量降低后一维炉六级取样点的燃烬率均有不同程度的下降。考虑到目前锅炉普遍采用低氮燃烧,燃烧器区的过剩空气系数控制在0.8~0.9,对煤粉燃烬的影响较大,因此锅炉设计时应留有足够的燃烬空间,保证煤粉在低氮燃烧条件下的燃烬性能。

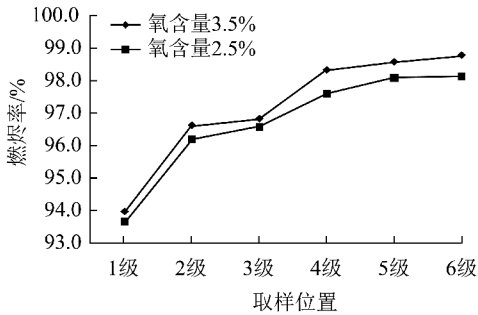


图7 氧含量对不同位置的燃烬率的影响

Fig. 7 Influence of oxygen concentration on burnout rate at different position

2.3 海拔高度对NO_x生成量的影响

以煤样1为例,在O₂体积分数6%和干态状况下,测试了氧含量为3.5%、2.5%时海拔高度对NO_x生成量的影响,结果如图8所示。整体上看,海拔从1000 m升高到2900 m,NO_x生成量略有升高,但幅度不大,显示海拔高度对NO_x生成量影响不明显,低于氧含量对NO_x的影响程度。

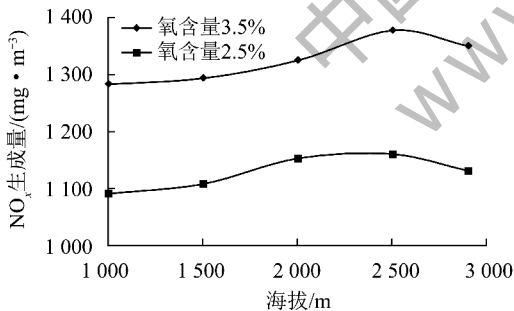


图8 海拔高度对NO_x生成量的影响

Fig. 8 Influence of altitude on NO_x generation rate

3 结 论

1)随着海拔高度的升高,煤粉的着火温度升高,着火特性变差,高海拔地区锅炉设计时必须考虑此因素;

2)海拔升高对煤粉的燃烬也有不利影响,考虑到新建机组一般需要采用低氮燃烧措施,锅炉设计时应留有足够的燃烬空间,以提高燃烧经济性;

3)对于试验煤种,与常规海拔高度下的规律类似,煤粉细度对着火温度有较明显影响,但对燃烬影响不明显,综合考虑仍应选用较细的煤粉细度;

4)海拔高度对NO_x生成影响较小,氧含量仍是NO_x生成量和燃烬率的主要影响因素,高海拔地区机组设计时可参考常规海拔机组设计。

参考文献 (References):

- [1] 袁颖,姚伟,相大光,等.高海拔对煤粉燃烧炉膛的影响[J].热力发电,2000(4):16-20.
Yuan Ying, Yao Wei, Xiang Daguang, et al. Influence of high altitude on the pulverized coal burned boiler[J]. Thermal Power Generation, 2000(4):16-20.
- [2] 赵应团,杨昆民,何佩瑶,等.高海拔低气压对循环流化床锅炉燃烧的影响[J].云南电力技术,2002,30(2):17-18.
Zhao Yingtuan, Yang Kunmin, He Peiyao, et al. Effect of high altitude on the combustion in CFB boilers[J]. Yunnan Electric Power, 2002, 30(2):17-18.
- [3] 王天伟. CFB锅炉的特点及其在高海拔地区的运行[J].青海电力,2005,24(2):44-47.
Wang Tianwei. The feature of CFB boiler and its running in high elevation area[J]. Qinghai Electric Power, 2005, 24(2):44-47.
- [4] 吴仲贤.燃煤火力发电机组在高海拔地区运行经济性探讨[J].青海电力,2001,20(1):18-22.
Wu Zhongxian. On economy of coal-fired generating unit in high altitude area[J]. Qinghai Electric Power, 2001, 20(1):18-22.
- [5] 刘建华,王刚.海拔高度对锅炉煤粉燃烧及排烟温度的影响[J].国际电力,2005(3):26-28.
Liu Jianhua, Wang Gang. Orthometric elevation will affect the boiler combustion and flue gas temperature[J]. International Electric Power For China, 2005(3):26-28.
- [6] 刘荣李.高海拔地区锅炉经济运行方式的优化调整[J].青海电力,2007,26(4):67-69.
Liu Rongli. Optimization and adjustment of boiler economic operation mode on high altitude areas[J]. Qinghai Electric Power, 2007, 26(4):67-69.
- [7] 张洪岩,刘瑞凤.高海拔地区对锅炉设计的影响[J].锅炉制造,2011(3):28-29.
Zhang Hongyan, Liu Ruifeng. Influence of height above sea level to design of the boiler[J]. Boiler Manufacturing, 2011(3):28-29.
- [8] 张农林.青海油田锅炉选型分析[J].青海石油,2008(2):69-72.
- [9] 黄必重,郝宝乾.哈锅高海拔、高灰分烟煤660 MW超临界锅炉的设计[J].锅炉制造,2011(2):6-9.
Huang Bizhong, Hao Baoqian. HBC's design of the 660 MW supercritical high-ash-bituminous fired boiler with high elevation[J]. Boiler Manufacturing, 2011(2):6-9.
- [10] 刘峰.高海拔低压煤粉燃烧特性的热重实验研究[D].武汉:华中科技大学,2009:16-28.