

高炉喷吹用煤粉爆炸性影响因素分析

张春雷, 杨佳龙, 相东文, 杨乐彪

(安徽工业大学冶金工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

摘要: 为评价所选煤种的爆炸性, 采用长管式煤粉爆炸性能测定仪测定煤粉火焰长度, 并探讨煤粉预热、富氧、粒度、挥发分等对煤粉爆炸性的影响。试验研究表明: 煤粉未预热时属于中强爆炸性煤, 预热 300 ℃ 后爆炸性显著增强; 当介质含氧量在 2%~21% 时, 煤粉表现弱爆炸性, 当介质氧含量达到 25% 以上后, 煤粉燃烧产生返回火焰, 煤粉表现为强爆炸性; 粒度越细, 煤粉爆炸性越强烈; 挥发分含量越高, 其煤粉爆炸性越强烈, 以期为强化喷煤燃烧提供参考性的建议。

关键词: 煤粉; 预热; 富氧; 挥发分; 爆炸性

中图分类号: O389

文献标识码: A

文章编号: 1007-7677 (2016) 02-0064-04

Analysis of influence factors of explosiveness of pulverized coal used in Blast furnace injection

ZHANG Chun-lei, YANG Jia-long, XIANG Dong-wen, YANG Le-biao

(School of Metallurgy and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

Abstract: In order to evaluate the explosiveness of the coal type we selected, the long tube pulverized coal explosiveness analyzer was used to determine the flame length of pulverized coal, meanwhile, how the preheating of pulverized coal, enriched oxygen, size and volatile matter affected the explosiveness of pulverized coal was discussed. The experimental research showed that: when the pulverized coal were not preheated, it belonged to the medium-high explosiveness coal, when it was preheated to 300 ℃, the explosiveness increased dramatically; when the medium contained 2%~21% oxygen, the pulverized coal performed as week explosiveness; when the medium contained more than 25% oxygen, the pulverized coal combustion would produce return fire, the pulverized coal performed as strong explosiveness; the finer the granularity was, the stronger the explosiveness was, the higher the volatile matter content was, the stronger the explosiveness was.

Key words: pulverized coal; explosiveness; blast furnace injection; enriched oxygen; size; volatile matter; influencing factors

0 前言

煤粉爆炸及火焰传播特性历来是粉尘爆炸研究的焦点之一^[1~3], 高炉喷吹所用煤粉通过气力输送方式从煤仓贮煤罐、喷吹罐等经由管道送到高炉风口, 并由煤枪喷入高炉内。该过程中输送气体有氧气存在, 煤粉处于悬浮状态, 且涉及定容密闭的或部分密闭的空间。此过程很有可能发生爆炸, 因而人们对煤粉燃烧与爆炸特性的关注越来越高。

高炉喷煤工艺实现以煤代焦已成为国际炼铁行业的发展趋势, 由此要求对各类煤种的燃烧爆炸特性进行研究^[4], 以确保高炉安全、顺行。高炉现场喷煤防爆主要是控制煤粉的挥发分含量。一般认为, 当煤粉挥发分含量小于 10% 时, 煤粉表现为无爆炸性, 含量大于 10% 时为有爆炸性, 而含量大于 25% 时为强爆炸性^[5]。基于强化喷煤燃烧及工业安全因素, 在煤粉爆炸性试验装置上对高炉喷吹用烟煤的燃烧爆炸特性进行全面实验研究。以下

以国内高炉喷煤工艺典型煤种(神华烟煤)为对象, 从高炉喷煤工艺安全的角度出发, 对其爆炸特性进行了全面的实验测定和分析, 介绍预热、富氧、粒度、挥发分对煤粉爆炸性影响, 提供神华煤种的爆炸特性基本数据及确定输送气氛中氧气含量的上限, 以期对其他煤粉及工业粉尘的爆炸特性研究和测定具有参考意义。

1 原料及研究方法

1.1 实验原料

实验喷吹用煤取自神华烟煤, 用球磨机磨制成粉, 筛分后作为实验用煤样, 配合煤样用永城无烟煤。实验喷吹煤粉的工业分析见表 1。

表 1 实验煤粉的工业分析 %

分析项目	神华	永城
A_{ad}	4.85	11.48
V_{ad}	32.69	7.76
FC_d	58.06	79.88
M_{ad}	4.40	0.88

1.2 实验装置

实验采用长管式煤粉爆炸性能测定仪测定煤粉火焰长度,以此评价所选煤种的爆炸性。并对原有的煤粉爆炸性测试仪进行了改进,该煤粉爆炸性测试仪简图如图1所示。

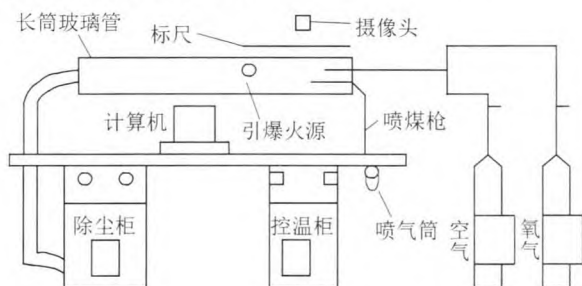


图1 煤粉爆炸性试验装置示意图

1.3 研究方法

煤粉的爆炸性特征参数较多,测定煤粉爆炸性的方法也很多,本实验采用观察返回火焰长度来判别煤粉爆炸性强弱。一般认为,当煤粉引爆后形成的返回火焰长度大于600 mm,可认定煤粉具有强爆炸性;火焰长度400 mm~600 mm则煤粉具有中强度爆炸性,火焰长度小于400 mm则煤粉具有弱爆炸性;若仅在火源处出现稀少火星或无火星的属于无爆炸性煤^[6,7]。

实验开始前需先对煤粉干燥1 h以上,并将干燥好的煤粉放入干燥皿中。启动引爆火源的电源开关,升温至设定温度(1 050 ℃),空喷3次清理喷枪,启动除尘装置抽尘约1 min。调节气体流量计,按实验要求向玻璃管内通入所需气体,保证通气时间,确保实验气氛。将1 g干燥后的煤粉装入喷枪中,当引爆火源温度稳定在1 050 ℃时,启动计算机录像装置,拉动枪栓将煤粉喷出至引爆火源上,观察引爆效果确定煤粉爆炸性强度。待喷吹结束后,启动除尘装置除尘。

2 试验结果与分析

2.1 预热对煤粉爆炸性的影响

杜钢^[7]等认为煤粉预热有利于减轻喷煤对热风的冷却效应、加速煤粉的燃烧过程,从而提高煤粉的利用率。神华烟煤未预热时,火焰长度为740 mm,属于强爆炸性煤;而在250 ℃预热后火焰长度大于1 195 mm,属于易燃高强爆炸性煤,其爆炸性显著增强,如图2所示。

由图2可知,神华烟煤在未预热时爆炸也相当

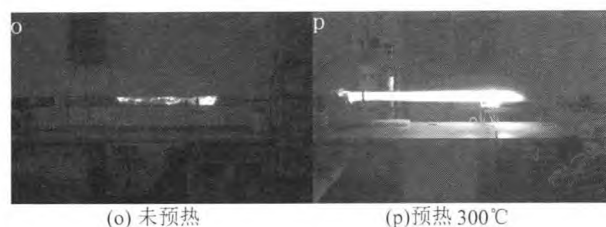


图2 神华煤粉的爆炸

激烈。分析认为,挥发分比较高的烟煤是变质程度较低的煤,挥发分较高的煤种受热后首先析出、燃烧,致使煤的着火时间提前,到达爆炸性所需条件提前,燃烧时间加长。预热可增强煤粉的爆炸性,即预热可增加煤粉初始温度^[8],预热烟煤使毛细水、结晶水析出,且挥发分提前析出,温度变化导致煤的热应力增加,进一步扩展了裂隙结构^[9]。高挥发分烟煤煤粒一旦进入高温环境且快速被加热,则有可能产生爆裂,出现自动细化现象。

2.2 富氧对神华烟煤爆炸性的影响

高炉喷煤工艺中控制喷吹系统内部气氛中氧的含量是防止爆炸的关键,在氧气浓度低于一定值时,爆炸就可以避免发生。实验研究了在富氧2%、4%、6%、8%、10%、12%、16%、20%情况下的火焰长度,其富氧量可转化为含氧量,例如富氧2%即为含氧量23%,以空气和氧气混合配比为输送介质,由于流量计使用的空气流量计,要对输送氧气的空气流量计进行校准,即设富氧空气总体积流量不变,而富氧空气中的氧浓度发生变化,计算过程如下:

设定氧气瓶氧气的出口压力为0.15 MPa(绝对压力),氧气瓶出来的纯氧与一定流量的空气进行混合,空气的压力设为0.10 MPa(绝对压力),体积流量保持在5.00 Nm³/h,以氧气含量为23%为例,计算步骤如下。

设 V_a 是氧气的体积流量, V_b 为普通空气的体积流量,则有:

$$V_a + V_b = 5 \quad (1)$$

$$P_a V_a = n_a R T, P_b V_b = n_b R T \quad (2)$$

$$\frac{n_b \cdot 21\% + n_a}{n_b + n_a} = 23\% \quad (3)$$

$$\text{则: } V_a = 0.38 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_b = 4.62 \text{ m}^3/\text{h}$$

因为纯氧气的压力和密度与标准状态下的空气不一致,应根据转子流量计修正公式^[10]进行修正。

$$V_a = q_v = c_p c_p c_T q_{v0} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} \sqrt{\frac{P_0}{P}} \sqrt{\frac{T}{T_0}} q_{v0} \quad (4)$$

式中, q_{v0} 为转子流量计上读取流量读数, L/h; q_v 为被测气体的实际流量值, L/h; T_0 为流量计在标定状态的热力学温度, K; P_0 为流量计在标定状态的绝对压力, MPa; ρ_0 为转子流量计标定用气体(空气)在标准状态(T_0 , P_0)下的密度, kg/m³; ρ 为被测气体在标准状态的密度, kg/m³; T 为被测气体在工作状态下的温度, K; P 为被测气体在工作状态下的压力, MPa; c_p 为流量的密度修正系数; c_p 为压力修正系数; c_T 为温度修正系数。

则氧气的显示流量:

$$q_{v0} = 0.41 \text{ m}^3/\text{h}$$

同理可计算其他氧浓度的流量配比情况。输送气氧含量对喷吹用神华烟煤的爆炸性影响的实验结果见表2。

富氧可以提高火焰温度, 随着氧浓度的增加, 理论火焰温度提升幅度逐渐减少^[11]。由表2可看出, 当介质含氧量由21%增至25%后, 煤粉的

表2 输送气氧含量对煤粉爆炸性的影响

输送介质气氧含量/%	神华烟煤火焰长度/mm
2~21	0
23	490
25	510
27	650
29	1 010
31	1 180
33	1 210
37	1 250
41	1 310

火焰长度有所增加, 此时煤粉具有强爆炸性; 当含氧量持续增加后, 其爆炸性越来越强烈, 如图3所示, 说明含氧量对煤粉的爆炸性影响很大。富氧后的煤粉其挥发分初析温度等会向低温区发生转移; 此外, 氧气浓度的升高也缩短了氧气扩散到煤粉表面的时间。附着在煤粉表面及空隙的量增加, 均可加速煤粉的着火燃烧。富氧浓度不宜过高, 因为当氧浓度超过25%时, 其爆炸性剧烈, 则安全系数降低。

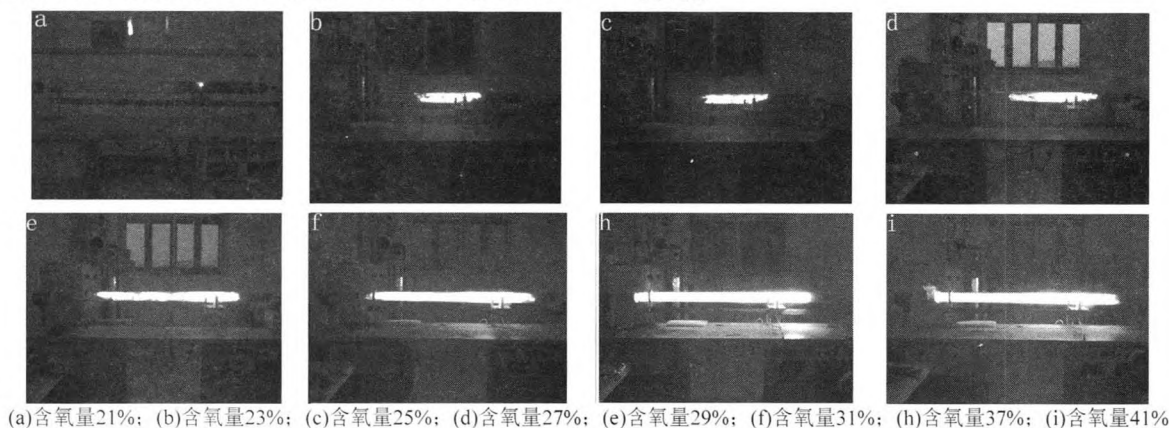


图3 神华煤粉的爆炸

2.3 粒度对神华煤爆炸性的影响

采用振动筛筛分出不同粒度的煤粉。空气条件下对不同粒度的煤粉进行爆炸性试验, 其结果详见表3。

表3 粒度对煤粉爆炸性的影响

粒度/ μm	火焰长度/mm
98~75	60
75~58	230
58~45	820
<45	980

为了更好地观察粒度对煤粉爆炸性的影响, 为

此根据表3做出图表格式, 如图4所示。

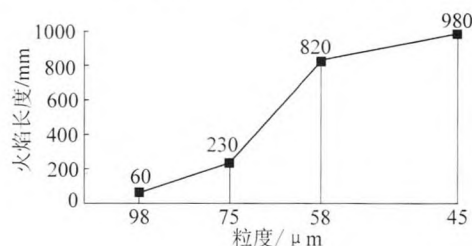


图4 粒度对煤粉爆炸性的影响

由图4可看出, 粒度越细, 其爆炸性越强。该种情况的产生说明煤粉爆炸性与粒度有很大的关系, 即煤粉粒度磨得越细, 则越容易爆炸。究其原因

因,是因为煤粉的粒度越细,其与氧气接触表面积就越充分,则更容易燃烧。因此,烟煤煤粉的粒度只要能满足高炉冶炼和喷吹的要求,其粒度尽量磨粗则对减少或消除爆炸性是有利的。

3.3 挥发分对神华煤爆炸性的影响

试验需配出不同挥发分的混合煤。选取神华烟煤、永城无烟煤作为配合煤,在空气条件下配比出挥发分含量为15%、20%、24%、28%、32%的混合煤。其试验结果如图5及图6所示。

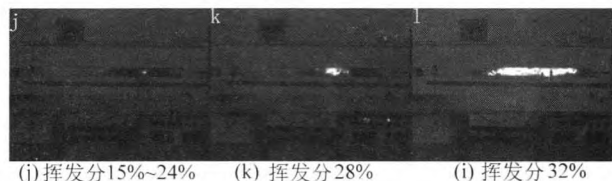


图5 神华与永城混合煤粉的爆炸

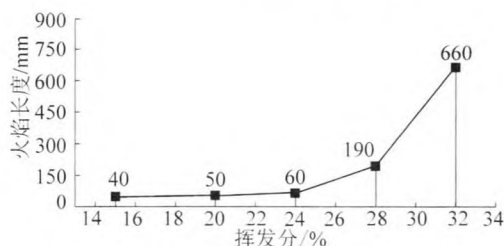


图6 挥发分对煤粉爆炸性的影响

由图6可知:挥发分含量为15%~24%时,其火焰出现火星,体现出无爆炸性;当挥发分含量为28%时,其火焰长度为190 mm,体现出弱爆炸性;当挥发分含量为32%时其火焰长度为660 mm,体现出强爆炸性;高挥发分煤种受热后比低挥发分煤种在同等时间内析出更多的挥发分,达到着火点时间其高挥发分会较短,可认为其挥发分含量对煤粉爆炸性有很大的影响。

4 结 论

(1) 煤粉未预热时属于中强爆炸性煤,预热300℃后爆炸性显著增强。

(2) 当介质含氧量在2%~21%时,煤粉表现弱爆炸性,当介质氧含量达到25%以上后,煤粉燃烧产生返回火焰,煤粉表现为强爆炸性。

(3) 粒度越细,煤粉爆炸性越强烈。

(4) 挥发分含量越高,其煤粉爆炸性越强烈。

参考文献:

[1] Yan Wie, Gu Fei. Experimental Study on Explosive

Properties of Bituminous Coal Powder For Blast Furnace Injection [J]. Kang Tieh/iron and Steel (Pe-king), 1981, 16 (2): 7-12.

- [2] 贾军萍,朱耀平,周自本. 煤粉尘爆炸特性和煤自燃倾向性的定量分析 [J]. 吉林电力, 2003, 168 (5): 17-21.
- [3] 浦以康,胡俊,贾复. 高炉喷吹用烟煤煤粉爆炸特性的实验研究 [J]. 爆炸与冲击, 2000, 20 (4): 303-312.
- [4] 浦以康,沈红标. 烟煤爆炸特性研究 [R]. 上海: 宝山钢铁(集团)公司炼铁室, 1996.
- [5] 王国维,王铁,沈满峰,等. 现代高炉粉煤喷吹 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 249-264.
- [6] 金龙哲,金岩辉,张俊燕,等. 高炉喷吹用潞安贫瘦煤爆炸下限与火焰长度的试验研究 [J]. 中国安全科学学报, 2005, 15 (11): 61-64.
- [7] 杜钢,应自伟. 预热对混合煤粉爆炸性的影响 [J]. 中国冶金, 2007, 17 (6): 9-12.
- [8] 刘然,王杏娟,梁春潮,等. 预热对煤粉燃烧特性的影响 [J]. 钢铁钒钛, 2014.
- [9] Zhang Jun, Yuan Weijian, Xu Yiqian. The changes of porosity structure of coal's macerals during heating [J]. Coal Conversion, 1999, 22 (1): 23-26.
- [10] 王志奎,段兴潮. 转子流量计气体流量校正公式的推导和讨论 [J]. 工业仪表与自动化装置, 1988.
- [11] 王松雪. 膜分离技术及应用. 科学出版社, 1994.

作者简介: 张春雷 (1988-), 男, 河南淮阳人, 安徽工业大学冶金与资源学院研究生。

(收稿日期: 2016-03-15)

(上接第71页)

- [2] 闫锐敏,丁光耀,王兴兴,等. 3GHMC1500/1100型无压给料三产品重介质旋流器的工艺指标分析 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2015 (7): 3-7.
- [3] 李栋,吴朝荡,许成谱,等. 大型无压给料三产品重介质旋流器在贺西煤矿选煤厂的工艺指标 [J]. 煤质技术, 2015 (3): 67-71.
- [4] 庾朝富,王传金,石郡,等. 3GHMC1500/1100型无压给料三产品重介质旋流器分选潘一选煤厂极难选煤的工艺效果研究 [J]. 选煤技术, 2014 (6): 24-29.

作者简介: 张贤贤 (1983-), 女, 山东兖州人, 工程师, 现任北京国华科技集团有限公司选煤设计研究院(北京所)所长。

(收稿日期: 2016-01-04)