

煤尘云最低引燃温度实验研究

邓军, 谢长春, 王秋红, 屈娇

西安科技大学能源学院, 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室, 西安 710054

摘要 利用HY16429粉尘云引燃温度实验装置, 测定不同煤种不同粒径煤尘云的最低引燃温度, 研究挥发分和煤尘粒径2种因素对煤尘云最低引燃温度的综合影响。结果表明, 同一煤种煤尘云最低引燃温度随粒径的减小而降低; 当煤尘粒径 $\geq 250 \mu\text{m}$ 时煤尘云出现火星的温度受挥发分含量的影响较小, 且不同煤种出现火星的最低温度相近; 煤尘粒径较小时煤尘云最低引燃温度随挥发分含量的增大而降低。

关键词 煤尘云; 最低引燃温度; 煤尘粒径; 挥发分

中图分类号 TD75

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.19.012

Experimental Study of Coal Dust Cloud Minimum Ignition Temperature

DENG Jun, XIE Changchun, WANG QiuHong, QU Jiao

Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention of Ministry of Education, School of Energy, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

Abstract Using the device for the HY16429 dust cloud minimum ignition temperature experiment, the minimum ignition temperatures for different kinds of coal dust clouds and different particle sizes are measured. The following results are obtained: The coal dust cloud minimum ignition temperature for a given kind of coal decreases with the decrease of the particle size; For different kinds of coal and with the coal dust particle size $\geq 250 \mu\text{m}$, the temperature for the coal dust clouds to generate sparks is not very much affected by the volatile content, and for the different kinds of coal, that temperature takes a value close to each other; when the coal dust particle size is small, the coal dust cloud minimum ignition temperature is reduced with the increase of the content of volatile content. Through analyzing the received coal dust cloud minimum ignition temperature characteristics, their relationship with the characteristics of coal dust and volatile is obtained.

Keywords coal dust clouds; the minimum ignition temperature; coal dust particle size; volatile

矿井煤尘是煤炭生产过程中的产物, 是影响矿井安全生产的主要灾害之一, 它不仅危害职工身体健康, 同时煤尘还具有爆炸性, 严重威胁着煤矿的安全。煤尘云是指弥散在空气中运动着的煤尘, 又称悬浮煤尘。煤尘云最低着火温度是指能够引燃煤尘云并维持火焰传播的最低温度。煤尘云着火是引起爆炸的初始阶段。当满足煤尘爆炸3要素(煤尘具有爆炸性、煤尘达到一定浓度和具有点火源)时, 就会发生煤尘爆炸^[1]; 由于煤尘很容易沉积在矿井中的任何角落, 在发生煤井

灾害事故时煤尘很容易参与其中, 发生二次灾害, 严重威胁煤矿工作人员生命安全, 并且给煤矿带来巨大经济损失。国内外学者对煤尘爆炸特性做了大量研究, 如 Continillo 等^[2]、Woskoboenko^[3]、Amytte 等^[4]对煤尘—空气的爆炸特性参数及其影响因素进行了大量的实验研究; 何朝远等^[5]研究了煤尘爆炸特性随挥发分含量变化的规律; 张茂增等^[6]研究了煤尘粒径与最低点火温度的关系; 王育德等^[7]、孟祥伟^[8]研究了煤尘浓度、粒度和灰分对煤尘爆炸特性的影响。这些研究为煤矿防治煤

收稿日期: 2014-02-12; 修回日期: 2014-05-12

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51134019); 陕西省重点科技创新团队项目(2012KCT-09); 中国博士后科学基金面上项目(2013M530430); 陕西省博士后基金项目([2013]10号-1-29)

作者简介: 邓军, 教授, 研究方向为安全技术及工程, 电子信箱: dengjun07@yahoo.cn; 谢长春(通信作者), 硕士研究生, 研究方向为安全科学与工程, 电子信箱: xiejizeng@126.com

引用格式: 邓军, 谢长春, 王秋红, 等. 煤尘云最低引燃温度实验研究[J]. 科技导报, 2014, 32(19): 73-76.

尘灾害提出了很多有效建议,保证了煤矿安全生产。

煤尘爆炸特性包括:最小点火能、最低引燃温度、最大爆炸压力、最大压力上升速度等,之前的研究多是单一因素对煤尘云爆炸特性的影响。本研究旨在通过选用多种煤尘样本和对煤尘粒径的细分,进行煤尘云最低引燃温度的对比实验,研究和分析煤尘挥发分和粒径2种因素对煤尘云最低引燃温度的综合影响,进而了解煤尘云燃烧的机理。

1 实验装置

使用吉林宏源科学仪器有限公司依据国家标准 GB/T 16429—1996^[9]加工生产的 HY16429 粉尘云引燃温度试验装置(图1)。仪器装置由控制箱、加热炉、观察室组成;以先进的高性能单片微型计算机为核心构成嵌入式控制系统;应用智能 PID 温度控制系统,控温精确;喷尘压力精密数控,试验重复性好,实现试验过程的自动控制。仪器主要指标为:测温范围 0~1000℃,温度分辨率 0.25℃;测温传感器 K 型热电偶;喷尘压力 0~0.1 MPa。检测方式目测,显示 128×64 图形点阵单色 LCD 汉字显示。操作方式:程序启动(操作简单),功耗 2000 W,电源 AC(220±22) V, (50±1) Hz。使用环境:温度 15~40℃;相对湿度 30%~80%。

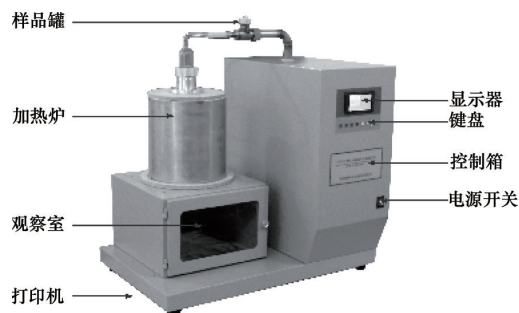


图1 HY16429 粉尘云引燃温度试验装置外观
Fig. 1 HY16429 dust cloud ignition temperature testing device

实验方法步骤参考国家标准 GB/T 16429—1996,根据规定,测试时将炉温控制在某一恒定温度,将粉尘喷入后,与炉内壁接触的粉尘首先着火。有火焰喷出说明煤尘云着火,如有火星喷出而没有火焰则不算着火。使用此方法测定煤尘云最低着火温度,若炉温 $\geq 300^\circ\text{C}$ 应减去 20℃,若炉温 $< 300^\circ\text{C}$ 应减去 10℃。

2 实验煤样

选用褐煤、烟煤(包括不粘煤、瘦煤)、无烟煤作为实验煤样进行工业分析。在国家标准中,煤的工业分析包括煤的水分(Mad)、灰分(Aad和Ad)、挥发分(Vad和Vd)和固定碳(Fcad和Fcd)等指标的测定,分析结果见表1。从表1可以看出各种煤尘挥发分的含量不同,褐煤的挥发分含量最高,无烟煤的挥发分含量最少,各实验煤样的固定碳含量相近。

表1 煤样工业分析

Table 1 Analysis of coal sample

煤样	Mad/%	Aad/%	Ad/%	Vad/%	Vd/%	Fcad/%	Fcd/%
褐煤	10.53	5.62	6.28	37.25	41.63	46.6	52.07
不粘煤	3.76	22.33	23.2	26.52	27.56	47.39	49.24
瘦煤	1.05	30.25	30.57	18.58	18.77	50.12	50.56
无烟煤	2.11	35.83	36.6	13.59	13.88	48.47	49.52

将不同煤尘样品用标准筛进行筛分,取不同粒径范围内煤尘作为实验样品。粒径筛分范围:550~250 μm 、250~150 μm 、150~109 μm 、109~75 μm 、75~48 μm 、48~25 μm 、 $< 25 \mu\text{m}$ 。实验前用恒温干燥箱将煤尘样品在 60℃、常压条件下干燥 12 h。

3 结果

煤尘云在不同的分散压力、煤样重量及不同炉体温度下的着火频率不同^[9]。为保证出现着火现象的频率最大和着火现象明显易于观察,尽可能地保证实验精度,本次煤尘云最低引燃温度实验使用喷尘压力为 100 kPa,煤尘实验样品质量为 0.5 g。

由于实验现象靠目测观察,所以每种煤尘样本的实验现象的判断,都是多个实验观察者讨论分析 10 次实验得到。当粒径较大(即 $\geq 150 \mu\text{m}$)时除褐煤煤尘在粒径为 250~150 μm 出现国家标准 GB/T 16429—1996 中描述的着火现象外,其他的煤尘样品都只是在一定温度出现火星或者无现象。当粒径较小(即 $< 150 \mu\text{m}$)时各煤种煤尘云都出现着火现象。同种煤尘粒径越小出现着火现象的温度越低,着火现象越明显,火光越明亮。大粒径时虽然没有着火现象但出现火星,在煤矿地下开采易燃环境条件下依然很危险,有可能引发火灾或者爆炸。本研究对于大粒径煤尘讨论出现火星的最低温度;对于小粒径煤尘讨论最低引燃温度,实验结果见表 2 和图 2。

表2 各实验煤样最低反应温度与粒径对照

Table 2 Comparisons of lowest reaction temperature and coal dust size

粒径/ μm	温度/ $^\circ\text{C}$			
	褐煤	不粘煤	瘦煤	无烟煤
550~250	900	900	900	超出量程
250~150	860	870	880	930
150~109	620	730	830	920
109~75	555	658	805	930
75~48	495	628	733	900
48~25	460	600	710	860
< 25	440	597	680	845

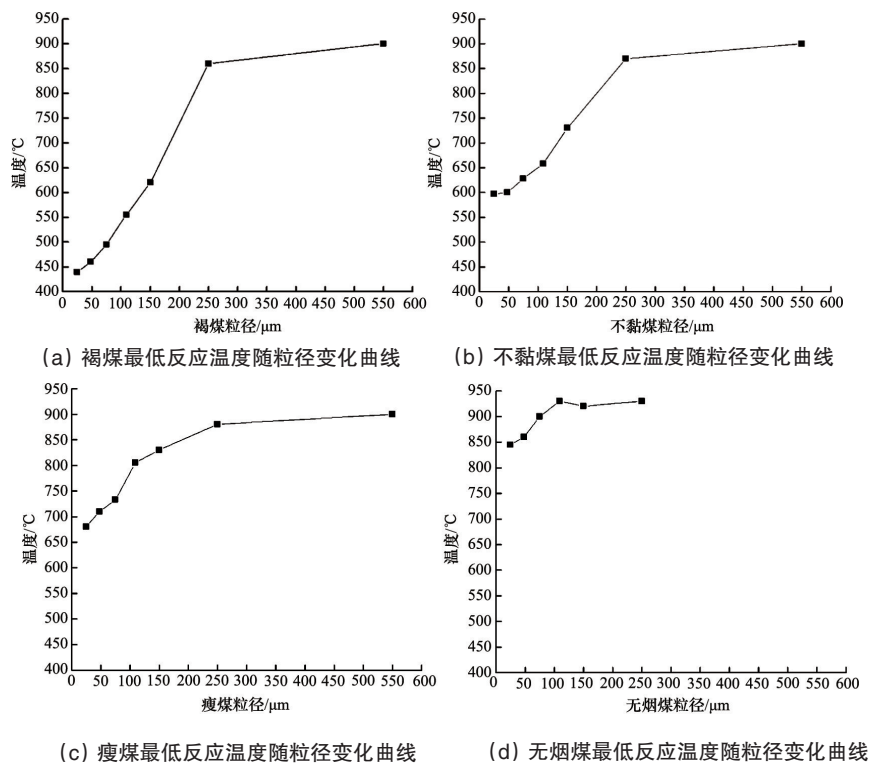


图2 各实验煤种样品最低反应温度随粒径变化曲线

Fig. 2 Lowest reaction temperature of each experimental sample of coal varying with the particle size

4 讨论

煤炭颗粒被加热时,总有一部分气态物质解析出,析出的气态物质称为挥发分,剩余的称为焦炭。挥发分遇到一定量的空气且达到足够的温度时,就会发生燃烧。由于焦炭比挥发分难于着火,所以焦炭燃烧一般是在挥发分部分或者全部燃烧后才开始。因此煤的燃烧过程可以分成以下3步:首先,煤被加热挥发分开始解析出,当温度足够高且与氧气接触,挥发分就会燃烧;其次,挥发分在煤的表面燃烧过程中焦炭被加热;然后,在氧气充足且接触充分的条件下,焦炭发生剧烈氧化开始燃烧,即为煤的燃烧^[10]。

1) 如图2所示,煤尘云出现火星温度和最低引燃温度总体是随着粒径的减小而降低。实验装置采用面加热,煤尘云喷入实验炉内煤炭颗粒与加热面接触析出挥发分与氧气发生氧化反应,当煤尘云粒径较大时由于挥发分析出的含量少,氧化反应放出的热量就少,且煤炭颗粒与氧气的接触面积较小,不能引燃煤炭颗粒中的焦炭成分,故只是有火星出现;当粒径减小时加大了煤尘与加热面的接触面积,挥发分越易解析出,且煤尘粒径越小与氧气的接触面积越大越容易氧化,因此煤尘粒径越小越容易着火。

2) 从表2和图3可知,粒径 $\geq 250 \mu\text{m}$ 时不同煤尘样品出现火星的温度相近;而粒径较小时不同煤种煤尘云的最小引燃温度相差较大。粒径较大时煤炭颗粒受热表面积小,加热到一定温度后不论煤尘样品的挥发分含量大小,析出的挥发

分都较少,出现的火星实际是包围在煤炭颗粒周围的挥发分氧化反应出现的现象。煤尘云出现火星或者引燃的最低温度受挥发分和粒径的双重影响,当粒径较大时需要较高温度,挥发分析出的量才能形成火星,此时煤尘云出现火星的最低温度主要受粒径的影响;当粒径较小时煤尘云最低引燃温度受挥发分和粒径的影响都比较明显。

3) 从图2分析得出,在粒径范围 $75 \sim 250 \mu\text{m}$,挥发分含量较高的煤尘(褐煤、不粘煤)反应温度随煤尘粒径的减小降低的幅度较明显;而挥发分含量较低的煤尘(瘦煤、无烟煤)反应温度随粒径的减小降低的程度整体较平缓。这是因为挥发分含量高的煤尘在粒径 $75 \mu\text{m} \sim 250 \mu\text{m}$ 范围内,随粒径减小挥发分受热解析出的含量变化大;而挥发分含量较低的煤尘,受热分解挥发分析出达到燃烧浓度后随粒径减小挥发分析出的含量的变化量较小,故出现上述结果。从图3可知粒径 $< 75 \mu\text{m}$ 煤尘云的最低引燃温度变化趋于平稳,这是因为粒径小到一定程度,挥发分受热析出的量趋于稳定。

综合分析实验结果得出,煤尘粒径大小影响煤尘受热后挥发分的析出,煤尘挥发分的含量和受热析出量的多少影响煤尘云最低引燃温度的大小;且煤尘粒径的大小决定煤尘与空气的接触面积和受热情况,能够影响煤尘云持续燃烧。因此不同煤种煤尘最低引燃温度主要受煤尘挥发分和煤尘粒径的综合影响。

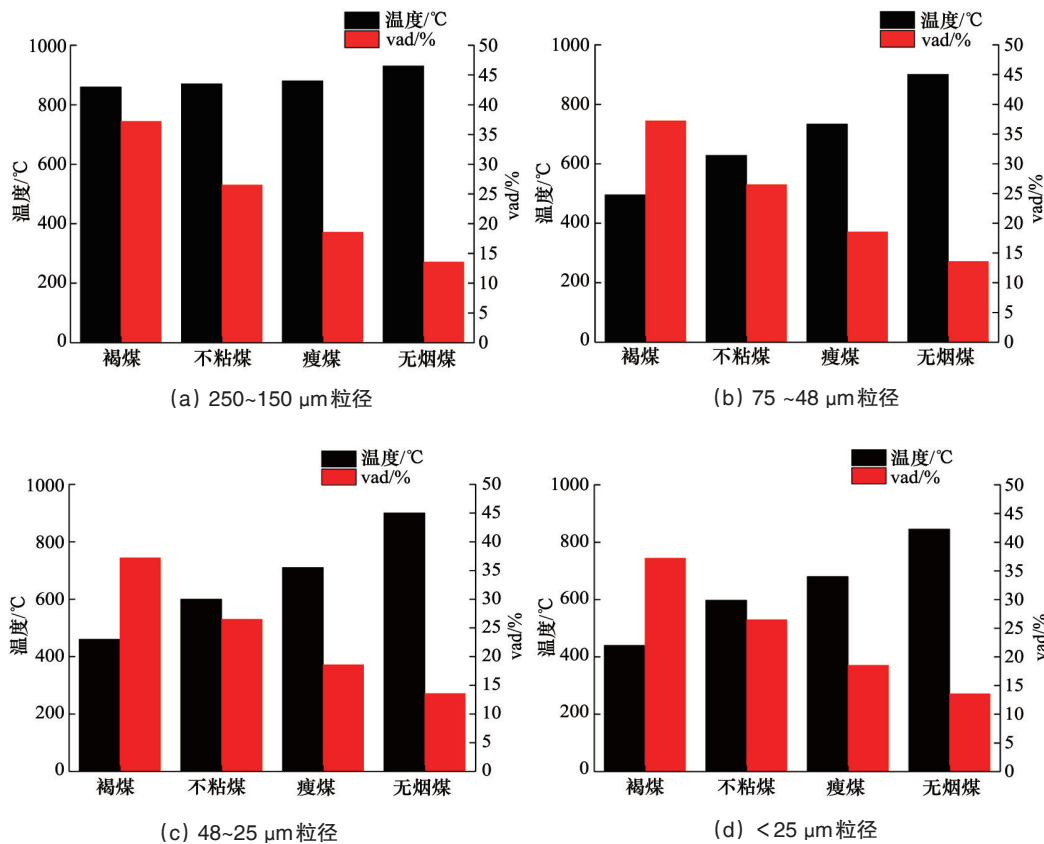


图3 不同煤尘粒径挥发分和最低反应温度对照

Fig. 3 Coal dust particle size volatiles and the minimum temperature

5 结论

1) 煤尘云最低引燃温度随粒径减小而降低。煤尘云粒径 $\geq 150 \mu\text{m}$ 时,除褐煤在250~150 μm 时出现着火现象外均出现火星,随着粒径的增大煤尘云出现火星的温度升高并逐渐趋于稳定,且不同煤种出现火星的温度相近;粒径 $< 150 \mu\text{m}$ 时煤尘云出现着火现象,最低引燃温度随粒径的减小而降低且逐渐趋于平缓,且不同煤种最小引燃温度相差较多。

2) 当煤尘粒径较大即 $\geq 250 \mu\text{m}$ 时,粒径大小对煤尘云出现火星的最低温度起主要作用而挥发分对其影响较小;当煤尘粒径较小时挥发分含量对煤尘云的最低引燃温度影响较大而粒径大小对其影响较小,即挥发分含量越高煤尘云最低引燃温度越低。

参考文献(References)

[1] 李文民. 煤尘爆炸的特征及控制初探[J]. 山西煤炭, 2005(3): 6-8.
Li Wenming. Discussion on the characteristics and control of coal dust explosion[J]. Shanxi Coal, 2005(3): 6-8.

[2] Continillo G, Crescitelli S, Fumo E, et al. Coal dust explosions in a spherical bomb[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 1991(4): 223-229.

[3] Woskoboenko F. Explieability of victorian brown coal dust[J]. Fuel, 1988 (67): 1062-1068.

[4] Amyotte P R, Mintz K J, Pegg M J, et al. Laboratory investigation of the dust explicability characteristics of three Nova Scotia coals[J].

Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 1991(4): 102-109.

[5] 何朝远, 张引合. 煤尘爆炸特性与挥发分的关系[J]. 工业安全与防尘, 1997(11): 24-27.
He Zhaoyuan, Zhang Yinhe. Volatile coal dust explosion characteristics and relationship[J]. Industrial Safety and Dust Control, 1997(11): 24-27.

[6] 张茂增, 马尚权, 王德明. 煤尘粒径与最低着火温度的关系研究[J]. 煤, 2009(8): 5-7.
Zhang Maozeng, Ma Shangquan, Wang Deming. Study of relations between coal dust size and minimum ignition temperature[J]. Coal, 2009 (8): 5-7.

[7] 王育德, 曲志明. 煤尘浓度和粒度对煤尘燃烧爆炸特性影响的实验研究[J]. 中国矿业, 2013(8): 136-140.
Wang Yude, Qu Zhiming. Experimental study on the impact of coal dust concentration and particles on combustion and explosion characteristics[J]. China Mining Magazine, 2013(8): 136-140.

[8] 孟祥伟. 浅析煤中灰分对煤尘爆炸的影响[J]. 科技风, 2009(12): 198.
Meng Xiangwei. Analyses the effect of coal ash content of coal dust explosion[J]. Technology Trend, 2009(12): 198.

[9] 国家技术监督局. GB/T 16429—1996 粉尘云最低着火温度测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
State Bureau of Technical Supervision. GB/T 16429—1996 Determination of the minimum ignition temperature of dust cloud[S]. Beijing: Standards Press of China, 1996.

[10] 张英华, 黄志安. 燃烧与爆炸学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 256-260.
Zhang Yinghua, Huang Zhian. Combustion and explosion[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010: 256-260.

(编辑 陈华姣)