

文章编号:1671-251X(2014)08-0030-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.08.008
刘贞堂,郭汝林,喜润泽.煤尘爆炸特征参数影响因素研究[J].工矿自动化,2014,40(8):30-33.

煤尘爆炸特征参数影响因素研究

刘贞堂^{1,2}, 郭汝林^{1,2}, 喜润泽^{1,2}

- (1. 煤矿瓦斯与火灾防治教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116;
2. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:采用 20 L 球形爆炸装置研究了煤尘粒径、浓度、点火能量对煤尘爆炸最大压力、爆炸最大压力上升速率的影响。研究表明,在煤尘粒径一定的条件下,随着煤尘浓度的增大,爆炸最大压力及爆炸最大压力上升速率先增大后减小,煤尘浓度在 $400\sim 480\text{ g/m}^3$ 之间取得爆炸最大压力最大值 0.94 MPa 、爆炸最大压力上升速率最大值 28.79 MPa/s ;在煤尘浓度一定的条件下,爆炸最大压力不随煤尘粒径的减小而单调变化,爆炸最大压力上升速率随煤尘粒径的减小而逐渐增大;随着点火能量的增大,爆炸最大压力及爆炸最大压力上升速率明显增加。

关键词:煤尘爆炸;球形爆炸装置;煤尘浓度;煤尘粒径;点火能量;爆炸特征参数;爆炸最大压力;爆炸最大压力上升速率

中图分类号:TD714.5 文献标志码:A 网络出版时间:
网络出版地址:

Research of influence factors on characteristic parameters of coal dust explosion

LIU Zhentang^{1,2}, GUO Rulin^{1,2}, XI Runze^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Gas and Fire Control for Coal Mines, Xuzhou 221116, China;
2. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Influence of particle size, concentration and ignition energy of coal dust on the maximum pressure and its rising rate of coal dust explosion were researched by use of 20 L spherical explosion equipment. The research results show that under the condition of certain particle size of coal dust, the maximum pressure and its rising rate of coal dust explosion will increase firstly and then decrease along with increasing of concentration of coal dust. When concentration of coal dust is in $400\sim 480\text{ g/m}^3$, the maximum pressure and its rising rate of coal dust explosion achieve the maximal value of 0.94 MPa and maximum 28.79 MPa/s respectively. Under the condition of certain concentration of coal dust, the maximum pressure of coal dust explosion will not change in a similar tendency and its rising rate will increase along monotone with decreasing of particle size of coal dust. The maximum pressure and its rising rate of coal dust explosion will increase significantly along with increasing of ignition energy.

Key words: coal dust explosion; spherical explosion equipment; concentration of coal dust; particle size of coal dust; ignition energy; characteristic parameter of explosion; the maximum explosion pressure; rising rate of the maximum explosion pressure

收稿日期:2013-12-03;修回日期:2014-06-20;责任编辑:李明。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51174200)。

作者简介:刘贞堂(1963—),男,辽宁建平人,教授,博士,研究方向为矿山通风与安全、安全科学、含瓦斯煤岩动力灾害监测及防治等,E-mail: lztsafety@126.com。

0 引言

在采矿业中,煤尘爆炸事故频出。1949年以来,中国共发生24起死亡人数超过100人的煤矿事故,其中12起爆炸事故有煤尘参与,9起爆炸事故有瓦斯和煤尘共同参与。

煤尘爆炸的发生必须满足3个条件:煤尘本身具有可燃性;煤尘粒径大小和空间分布满足一定要求;有点火源。张奇等对煤尘爆炸的相关研究方法、装置、点火系统、压力发展过程以及爆炸的预防和控制做了详细介绍^[1]。Chapman和Wheeler进行了管道内火焰传播试验,发现火焰不断加速的现象及存在障碍物情况下管道内火焰传播速度和爆炸压力增大的现象^[2]。司荣军在大型实验巷道内研究了瓦斯-煤尘混合爆炸时火焰及冲击波的传播特性^[3]。杨书召利用爆炸实验管道进行了管道和巷道内煤尘爆炸传播特性的物理对比实验,得出不同尺寸巷道内煤尘爆炸存在尺度效应的结论^[4]。蔡周全等在大型模拟实验巷道内对瓦斯-煤尘爆炸过程中冲击波的能量、传播速度、衰减规律及其灾害波及范围进行了研究^[5]。曹卫国等对煤尘爆炸的最低引燃温度进行了研究,获得了不同条件下煤尘的最低引燃温度^[6]。李庆钊等对不同煤质煤尘及煤尘-瓦斯混合物的爆炸特性进行了研究,获得了不同条件下的煤尘爆炸特征参数^[7]。周同龄利用长12 m、截面为80 mm×80 mm的方管对瓦斯-煤尘混合爆炸火焰流场进行了实验观测,通过理论分析验证了气-粒两相爆炸火焰高内聚力的存在^[8]。李元等对瓦斯-煤尘混合物爆炸初始压力进行了研究,得出不同煤质和点火能量对初始压力的影响^[9]。刘贞堂对瓦斯-煤尘混合爆炸后的气固残留物进行了研究,得出了不同煤尘含量下残留物成分的变化趋势^[10]。

目前针对煤尘爆炸机理及爆炸特征参数的研究较多,但对爆炸特征参数影响因素的研究不足。本文采用20 L球形爆炸装置研究了煤尘浓度、粒径、点火能量等对煤尘爆炸特征参数的影响。

1 实验系统

实验系统采用标准20 L球形爆炸装置,由装置本体、喷粉装置、点火系统、爆炸控制系统、数据采集系统组成,如图1所示。该装置可用于测试煤尘的爆炸极限(下限)、爆炸最大压力、爆炸最大压力上升速率和极限氧体积分数,也可用于测试煤尘是否具有爆炸性。



图1 实验系统

2 实验样品

根据MT/T 934—2005《煤矿许用炸药煤尘——可燃气安全度试验方法及判定》,实验所选用的煤尘粒径分别为 >150 , $48 \sim 75$, $38 \sim 48$, $<25 \mu\text{m}$ 。煤尘均在实验前置于 50°C 恒温干燥箱中干燥24 h以上,实验室环境湿度 $<0.001\%$ 。

实验主要通过改变煤尘浓度、粒径以及点火能量,分析爆炸最大压力及其上升速率的变化规律,研究煤尘浓度、粒径以及点火能量对煤尘爆炸特征参数的影响。点火能量分别为5, 8, 10, 15 kJ。

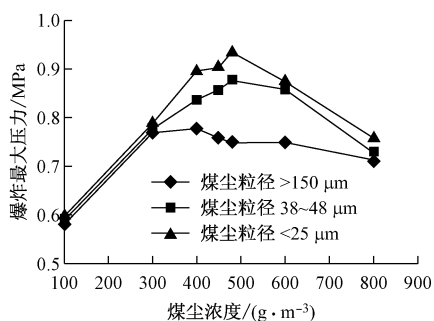
3 实验结果及分析

3.1 煤尘浓度对爆炸特征参数的影响

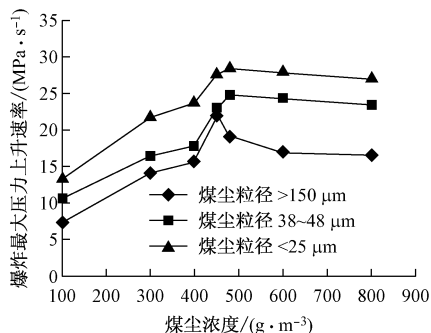
为了研究不同煤尘浓度对爆炸特征参数的影响,在点火能量为10 kJ条件下,分别加入浓度为100, 300, 400, 450, 480, 600, 800 g/m³的煤尘进行爆炸实验,结果如图2所示。

从图2可看出,随着煤尘浓度的增加,爆炸最大压力及其上升速率的变化趋势是一致的,均为先增大后减小。以煤尘粒径 $<25 \mu\text{m}$ 的情况为例,煤尘浓度为100 g/m³时测得爆炸最大压力为0.6 MPa,爆炸最大压力上升速率为13.67 MPa/s;煤尘浓度增大到480 g/m³时,测得爆炸最大压力上升为0.94 MPa,爆炸最大压力上升速率为28.79 MPa/s;煤尘浓度增大到800 g/m³时,测得爆炸最大压力下降为0.76 MPa,爆炸最大压力上升速率为27.33 MPa/s。在煤尘粒径 $<25 \mu\text{m}$ 情况下,爆炸最大压力及其上升速率在煤尘浓度为480 g/m³时测得最大值。在煤尘粒径 $>150 \mu\text{m}$ 情况下,爆炸最大压力在煤尘浓度为400 g/m³时测得最大值,为0.78 MPa,爆炸最大压力上升速率在煤尘浓度为

450 g/m³ 时测得最大值,为 21.43 MPa/s。



(a) 爆炸最大压力



(b) 爆炸最大压力上升速率

图2 不同煤尘浓度下的爆炸实验结果

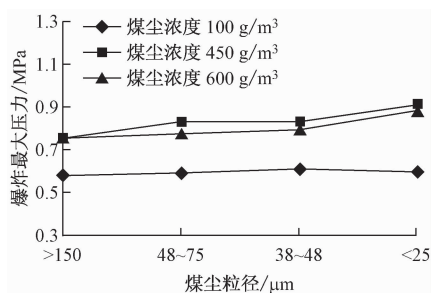
根据煤尘爆炸相关理论^[11-12],分布在密闭空间的煤尘吸收一定的热量后分解、挥发,挥发出来的气体和空气形成可燃混合气体,在此基础上才会发生燃烧和爆炸。当爆炸空间一定时,改变煤尘浓度首先会引起单个煤尘粒子吸收的点火能量发生变化,煤尘粒子的热分解反应速率也会不同;其次在氧含量一定的情况下,每个粒子所得到的氧含量也会不同。因此存在一个最佳的煤尘浓度,在该煤尘浓度下,单位空间内粒子数和点火能量以及空间内氧含量达到最佳匹配,从而产生最大的爆炸强度。

煤尘浓度的增加会造成剩余的未反应的煤尘颗粒大量增加。在爆炸过程中,这些煤尘颗粒通过吸热、碰撞以及气固两相间能量交换等方式,大量损耗爆炸反应产生的能量,导致爆炸最大压力及其上升速率值随煤尘浓度的增加而逐渐下降。

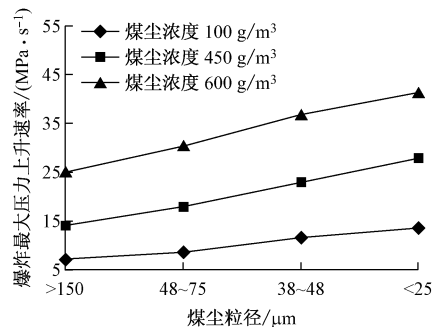
3.2 煤尘粒径对爆炸特征参数的影响

为了研究不同煤尘粒径对爆炸特征参数的影响,在点火能量为 10 kJ,煤尘浓度分别为 100, 450, 600 g/m³ 条件下,分别加入粒径 >150, 48~75, 38~48, <25 μm 的煤尘进行爆炸实验,结果如图 3 所示。

从图 3 可看出,在确定的煤尘浓度条件下,煤尘粒径对爆炸最大压力的影响较为明显。在煤尘浓度



(a) 爆炸最大压力



(b) 爆炸最大压力上升速率

图3 不同煤尘粒径下的爆炸实验结果

为 450 g/m³ 情况下,爆炸最大压力由煤尘粒径 >150 μm 时的 0.76 MPa 增大到煤尘粒径 <25 μm 时的 0.91 MPa;在煤尘浓度为 600 g/m³ 情况下,煤尘粒径 <25 μm 时的爆炸最大压力比煤尘粒径 >150 μm 时大 0.13 MPa;煤尘浓度为 100 g/m³ 情况下,爆炸最大压力并没有随煤尘粒径的减小而单调增加,煤尘粒径 <25 μm 时的爆炸最大压力较煤尘粒径为 38~48 μm 时减小了 0.01 MPa。

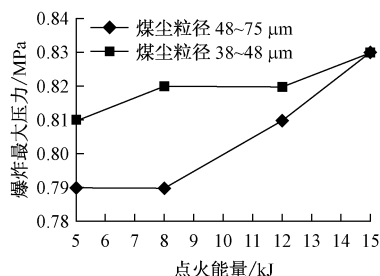
在煤尘浓度一定的条件下,爆炸压力上升速率随煤尘粒径的减小明显增大。煤尘浓度为 100 g/m³ 时,爆炸最大压力上升速率由煤尘粒径 >150 μm 时的 7.32 MPa/s 增大到煤尘粒径 <25 μm 时的 13.67 MPa/s。煤尘浓度为 600 g/m³ 时,爆炸最大压力上升速率由粒径 >150 μm 时的 25.4 MPa/s 增大到煤尘粒径 <25 μm 时的 41.32 MPa/s。

随着煤尘粒径的减小,同质量条件下煤尘的比表面积呈指数增加。一定浓度的煤尘分布在腔体内,可以充分利用点火能量加速粒子的分解,挥发可燃气体,而较大的比表面积与氧气接触更充分,所以当煤尘粒径减小时爆炸最大压力会增大,爆炸最大压力上升速率也逐渐升高。由煤尘爆炸机理^[13]可知,粒径越小的煤尘越容易挥发出可燃气体,但当粒径小到一定程度时,由于爆炸前煤尘的处理过程(煤尘的保存、过筛、恒温干燥处理等)造成煤尘氧化、挥发分大量逸散等,煤尘中残留了大量的可抑制

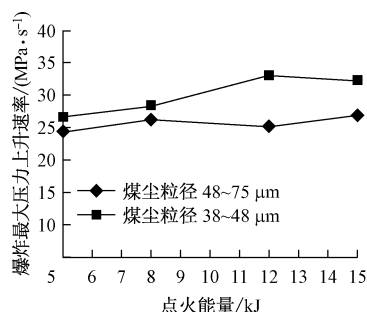
爆炸传播的灰分,导致煤尘浓度较低时,粒径小的煤尘其爆炸最大压力反而降低。

3.3 点火能量对爆炸特征参数的影响

采用浓度为 450 g/m^3 , 粒径分别为 $38 \sim 48$, $48 \sim 75 \mu\text{m}$ 的煤尘,用不同能量的点火头引爆煤尘,实验结果如图4所示。



(a) 爆炸最大压力



(b) 爆炸最大压力上升速率

图4 不同点火能量下的爆炸实验结果

从图4可看出,随着点火能量的增大,煤尘爆炸最大压力及其上升速率都呈现逐渐增大的趋势。在煤尘粒径及浓度一定的情况下,增大点火能量即增大了每个煤尘粒子吸收的热量,加速了煤尘粒子的分解、挥发。释放出的大量可燃气体与空气形成可燃混合气体并发生气相反应,反应热引燃混合气体。点火能量越大,挥发出的可燃气体越多,气相反应越剧烈,测得的爆炸最大压力及其上升速率越大。

4 结论

(1) 在煤尘粒径一定的条件下,随着煤尘浓度的增大,爆炸最大压力及其上升速率先增大后减小。煤尘浓度在 $400 \sim 480 \text{ g/m}^3$ 范围内可测得爆炸最大压力及其上升速率的最大值。

(2) 在煤尘浓度一定的情况下,随着煤尘粒径的减小,爆炸最大压力上升速率逐渐升高。煤尘浓

度为 100 g/m^3 时,随着煤尘粒径的减小,爆炸最大压力先逐渐增大,当煤尘粒径 $< 25 \mu\text{m}$ 时,爆炸最大压力比煤尘粒径为 $38 \sim 48 \mu\text{m}$ 时低,表明存在一个最佳粒径范围,该范围内爆炸最大压力及其上升速率达到最大值。

(3) 随着点火能量的增大,爆炸最大压力及其上升速率都呈现逐渐增大的趋势。

参考文献:

- [1] 张奇,白春华,梁慧敏.燃烧与爆炸基础[M].北京:北京理工大学出版社,2007.
- [2] CHAPMAN W R, WHEELER R V. The propagation of flame in mixtures of methane and air; Part IV. The effect of restrictions in the path of the flame[J]. Journal of the Chemical Society (Resumed), 1926, 129:2139-2147.
- [3] 司荣军. 矿井瓦斯煤尘爆炸传播实验研究[J]. 中国矿业, 2008, 17(12):81-84.
- [4] 杨书召. 受限空间煤尘爆炸传播及伤害模型研究[D]. 焦作:河南理工大学,2010.
- [5] 蔡周全,罗振敏,程方明. 瓦斯煤尘爆炸传播特性的实验研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(7):938-941.
- [6] CAO Weiguo, HUANG Liyuan, ZHANG Jianxin. Research on characteristic parameters of coal-dust explosion[J]. Procedia Engineering, 2012, 45: 442-447.
- [7] 李庆钊,翟成,吴海进,等. 基于20 L球形爆炸装置的煤尘爆炸特性研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(增刊1): 119-124.
- [8] 周同龄. 瓦斯-煤尘云爆炸火焰内部流场结构的实验研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2004.
- [9] LI Yuan, XU Hongli, WANG Xishi. Experimental study on the influence of initial pressure on explosion of methane-coal dust mixtures [J]. Procedia Engineering, 2013, 62:980-984.
- [10] 刘贞堂. 瓦斯(煤尘)爆炸物证特性参数实验研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2010.
- [11] 陈莹. 工业防火与防爆[M]. 北京:中国劳动出版社, 1993.
- [12] 卢鉴章. 工业煤尘防爆与治理[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1990.
- [13] 赵衡阳. 气体和粉尘爆炸原理[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1996.