

文章编号:1671-251X(2016)10-0052-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.10.012

张伟光,任晓东,蔡昌宣.巷道拐弯角度变化情况下瓦斯爆炸火焰传播规律模拟实验研究[J].工矿自动化,2016,42(10):52-56.

巷道拐弯角度变化情况下瓦斯爆炸 火焰传播规律模拟实验研究

张伟光¹, 任晓东², 蔡昌宣²

(1.新疆工程学院 采矿工程系, 新疆 乌鲁木齐 830091;

2.乌苏四棵树煤炭有限责任公司, 新疆 乌苏 833300)

摘要:为了研究煤矿井下发生瓦斯爆炸事故后,火焰在巷道中的传播规律,设计了瓦斯爆炸实验系统,采用不同拐弯角度的管道来模拟井下巷道变化,通过实验方法分析了管道内瓦斯爆炸火焰传播速度与管道拐弯角度和瓦斯填充长度的关系。实验结果表明,瓦斯填充长度越大,火焰传播速度越大;火焰传播速度在管道水平段中呈稳步增大趋势,在拐弯点处迅速减小,经过拐弯点后又迅速增大;在瓦斯填充长度一定的情况下,管道拐弯角度越大,火焰传播速度越快;随着管道拐弯角度的增加,火焰传播速度突变系数呈先减小、后增大的趋势,改变瓦斯填充长度对突变系数影响不大。

关键词:瓦斯爆炸;火焰传播规律;管道拐弯角度;瓦斯填充长度

中图分类号:TD712

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Simulation experiment study on flame propagation regulation of gas explosion
with roadway bend angle varying

ZHANG Weiguang¹, REN Xiaodong², CAI Changxuan²

(1.Department of Mining Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Wulumuqi 830091, China;

2.Wusu Four Trees Mining Co., Ltd., Wusu 833300, China)

Abstract:In order to study flame propagation regulation after gas explosion accidents in coal mine, a gas explosion experiment system was designed and pipelines with different bend angles were used to simulate underground roadway varying. Relationship between flame propagation velocity in pipelines and pipeline bend angle or gas filling length was researched by experimental method. The experimental results show that the longer gas filling length is, the larger flame propagation velocity is; flame propagation velocity increases in horizontal section, quickly decreases at bend point and increases after bend point; with the same gas filling length, the larger turning angle is, the larger flame propagation velocity is; flame propagation velocity varying coefficient decreases firstly and then increases with pipeline bend angle increases, and gas filling length has no significant influence on the flame propagation velocity varying coefficient.

Key words:gas explosion; flame propagation regulation; roadway bend angle; gas filling length

收稿日期:2016-04-22;修回日期:2016-08-20;责任编辑:李明。

基金项目:新疆工程学院科研基金资助项目(2015xgy341712)。

作者简介:张伟光(1986—),男,河南商丘人,讲师,硕士,主要从事采矿工程方面的教学与科研工作,E-mail:weiguang1228@126.com。

0 引言

瓦斯爆炸事故是最严重的煤矿事故之一。历年在煤矿重特大事故中,因瓦斯事故而导致的死亡人数是最多的^[1]。瓦斯是一种易燃易爆气体,当瓦斯浓度积聚到爆炸界限时,接触点火源即发生爆炸,然后快速传播,在传播过程中对矿井内设备及人身安全产生危害^[2-3]。掌握煤矿瓦斯爆炸后的火焰波传播规律,有利于针对矿井实际条件推测其爆炸发生条件、传播面积及产生的损失,从而制定有效的防爆、抑爆措施,减小爆炸产生的损失;可对预防瓦斯爆炸事故和研究抑爆新技术提供理论指导,研究出性能稳固、安全可行的防爆设施;有利于科学地判断爆炸源的位置、事故类型、爆炸波及范围等,找出爆炸事故发生的原由和产生的损失。

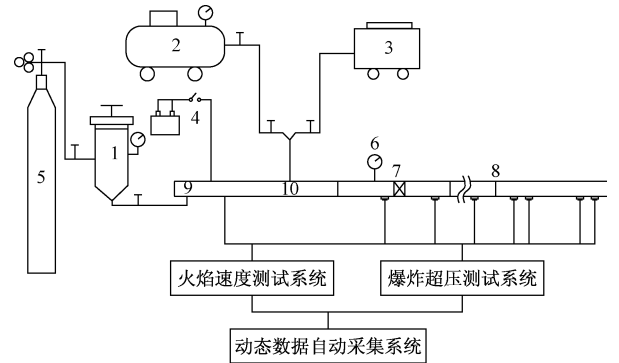
国内外学者对瓦斯爆炸火焰传播规律做了大量的研究工作。黄文祥、仇锐来等^[4-5]分别通过实验室及数值模拟研究的方法探讨了不同点火能量对瓦斯爆炸火焰传播特征的影响。聂百胜等^[6]在实验室研究了无障碍物条件下瓦斯爆炸火焰传播规律和泡沫陶瓷对其的影响。王从银等^[7]对水平管道中瓦斯爆炸传播火焰的厚度进行了实验研究,得到了火焰厚度变化的基本规律。林柏泉等^[8]分析了瓦斯爆炸在分叉管道中的传播规律。王成等^[9]利用实验管道研究了障碍物形状对瓦斯爆炸火焰传播过程的影响。李鑫等^[10-11]首先通过实验室实验的手段来研究管道弯曲角度这一因素对瓦斯爆炸火焰传播规律的影响,然后以数值模拟研究为主要方法探讨了多个因素对瓦斯爆炸火焰传播规律的影响。事实上,煤矿井下并非全都是长直巷道,弯曲巷道随处可见;巷道不同地点的瓦斯积聚程度不一,影响瓦斯爆炸后火焰传播规律的因素多样。参考文献^[10]未涉及瓦斯填充量(长度)这个重要影响因素,参考文献^[11]中通过数值模拟研究所得的结论仍需实验室实验等其他手段来验证其合理性。本文通过实验室实验方法,研究不同的瓦斯填充量(长度)及管道拐弯角度变化对瓦斯爆炸火焰传播规律的影响,具有一定的现实意义。

1 实验系统及方案

1.1 实验系统

实验以中国矿业大学设计制作的水平管道式气体爆炸装置为基础,自行设计并加工新的匹配管件,与原设备用螺栓紧固连接,模拟煤矿井下拐弯巷道。

瓦斯爆炸实验系统包括火焰产生与传播系统(瓦斯仓、空气压缩机、真空泵、点火系统、高压储气瓶、真空表、阀门、瓦斯爆炸传播管道系统、瓦斯喷嘴、瓦斯填充区)、火焰速度测试系统、爆炸超压测试系统、动态数据自动采集系统,如图1所示。



1—瓦斯仓;2—空气压缩机;3—真空泵;4—点火系统;
5—高压储气瓶;6—真空表;7—阀门;8—瓦斯爆炸传播管道系统;
9—瓦斯喷嘴;10—瓦斯填充区

图1 瓦斯爆炸实验系统

火焰产生与传播系统模拟瓦斯爆炸火焰的产生及其在井下不同拐弯角度巷道中的传播情况,通过火焰速度测试系统及爆炸超压测试系统测量火焰在管道中传播的相关参数。动态数据自动采集系统实时存储实验参数,并对实验结果进行分析说明。

1.2 实验方案

瓦斯爆炸传播管道选取 80 mm×80 mm 的方形管道。实验所配瓦斯浓度为理论上最强烈的爆炸浓度 9.5%。实验管道由瓦斯填充管道与火焰传播管道连接而成。瓦斯填充管道长度为 4,5,6 m;火焰传播管道总长 11 m,由长 10 m 的水平部分与长 1 m 的拐弯部分无缝焊接而成,管道长径比保持不变,有 30°,45°,60°,90°,120°,135°,150°共 7 种拐弯角度。实验管道布置如图 2 所示。

图 2 中测点 1 距起始点(起始传播位置,即爆炸源处)7.0 m,测点 1 与测点 2 间距 2 m,测点 2 与测点 3、测点 3 与测点 4 间距均为 0.3 m,测点 4 距拐弯点 0.4 m,测点 5 距拐弯点 0.6 m,测点 5 与测点 6 间距 0.3 m。将 2 个测点的中点位置设为当量测点,测点 1—测点 6 的当量测点依次定义为 A—E,则测点位置分布情况见表 1。

表 1 当量测点布置位置

当量测点	A	B	C	D	E
当量测点位置/m	8.00	9.15	9.45	10.10	10.75

为减少实验误差,每组实验在相同工况下需进行 3 次,数据相对差异较小时才认为实验成功。同

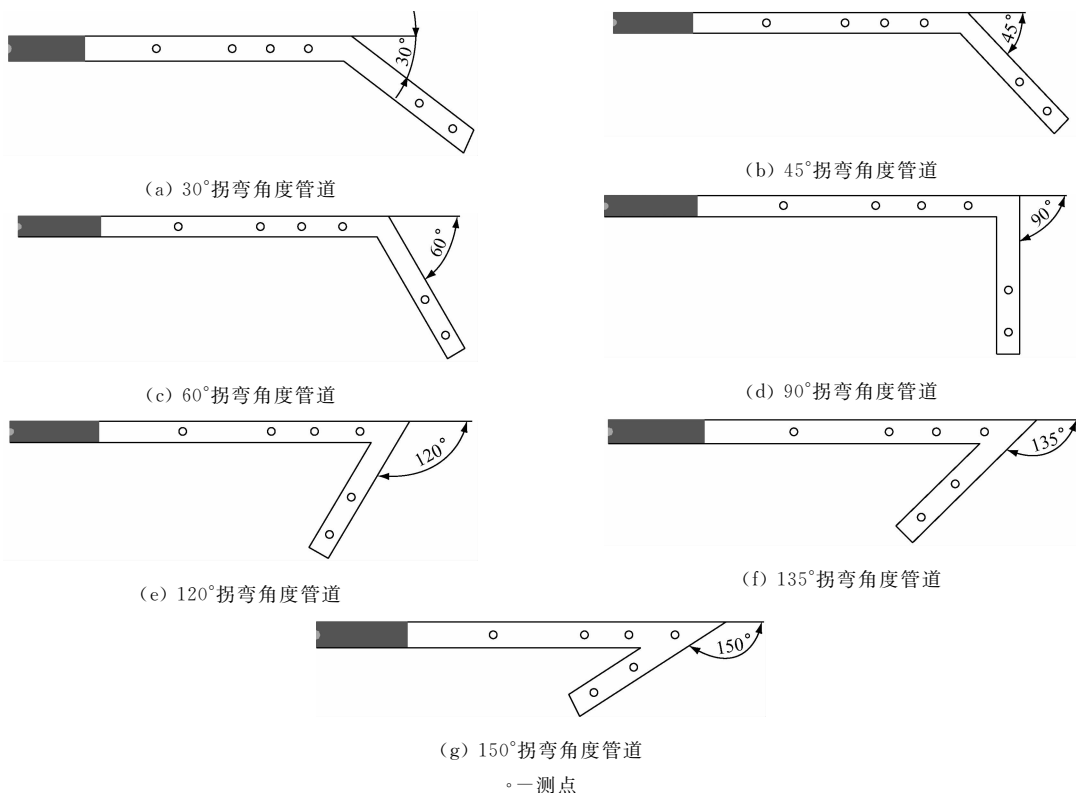


图 2 实验管道布置示意

一拐弯角度下,充填 4,5,6 m 这 3 种不同长度的瓦斯气体,分别重复 3 次(共 9 次)成功爆炸实验,完成一种拐弯角度下的测试。拐弯管道共有 7 种角度,需进行 63 次成功实验。

1.3 实验方法

在测点 1—测点 6 各布置 1 个火焰探测器,测量火焰到达各测点的时间,通过计算求取火焰在各当量测点处的传播速度及其突变系数。

2 实验结果与分析

2.1 当量测点处火焰传播速度

实验过程中,火焰探测器只能探测火焰到达时间,按照速度计算公式,仅能得到火焰在 2 个测点之间传播的平均速度。将该平均速度近似视为当量测点处的速度,则火焰在 5 个当量测点处的速度依次为 V_A, V_B, V_C, V_D, V_E 。以 V_A 为例,其计算公式为

$$V_A = L_1 / (T_2 - T_1) \quad (1)$$

式中: L_1 为测点 1、测点 2 的间距; T_1 为火焰到达测点 1 的时刻; T_2 为火焰到达测点 2 的时刻。

V_B, V_C, V_D, V_E 计算公式与式(1)类似。

不同瓦斯充填长度情况下,火焰传播管道中的火焰传播速度如图 3 所示。

2.2 火焰传播速度突变系数

火焰传播速度突变系数 λ 定义为当量测点 E 与

当量测点 C 处的火焰速度之比,反映了火焰沿管道传播过程中的速度变化情况,是速度突变的一种定量化表示方法。 λ 越大,表示火焰传播速度的波动越大, $\lambda > 1$ 说明拐弯后火焰传播速度是增大的,且 λ 越大,火焰拐弯后速度增大的程度越大。

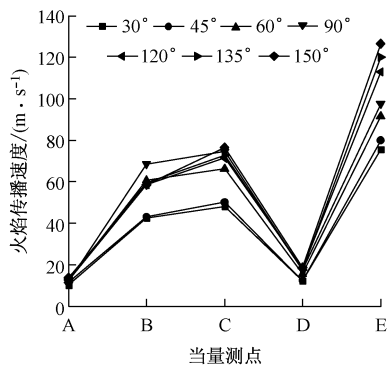
火焰传播速度突变系数与管道拐弯角度的关系如图 4 所示。

2.3 实验结果分析

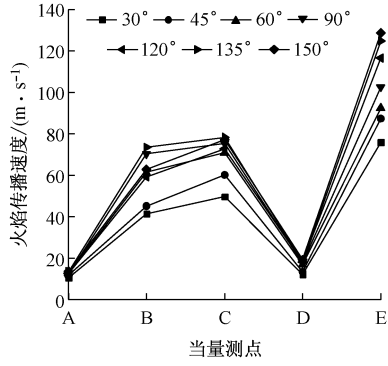
分析图 3、图 4 可得出瓦斯爆炸火焰传播受瓦斯填充长度及管道拐弯角度的影响规律。

(1) 当管道拐弯角度为 30° ,瓦斯填充长度分别为 4,5,6 m 时,当量测点 A 处的火焰传播速度分别为 10.23,10.57,11.17 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,火焰传播速度随瓦斯填充长度的增大而增大。其他瓦斯填充长度、管道拐弯角度的管道,各当量测点处的瓦斯传播速度具有类似规律。可见管道拐弯角度一定时,若瓦斯填充长度不同,则火焰传播速度不同,且瓦斯填充长度越长,管道内瓦斯爆炸火焰传播速度越大。

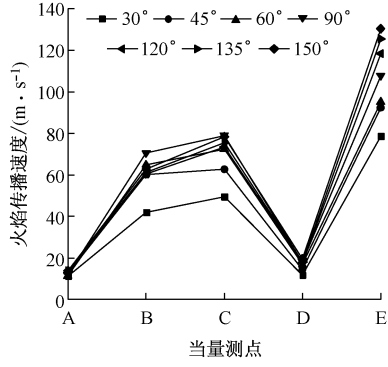
(2) 瓦斯爆炸火焰在管道中传播有明显的规律性。在水平管道中,由于瓦斯气体不断燃烧,火焰传播速度呈稳步增大趋势;在管道拐弯点处,火焰传播速度迅速减小,原因是火焰经过管道拐弯点处时,主流区气流及携带的未燃瓦斯被管道壁面反弹产生涡团,引入了较大的总阻力,阻碍了火焰传播,导致火



(a) 瓦斯填充长度为 4 m



(b) 瓦斯填充长度为 5 m



(c) 瓦斯填充长度为 6 m

图 3 火焰传播管道中的火焰传播速度曲线

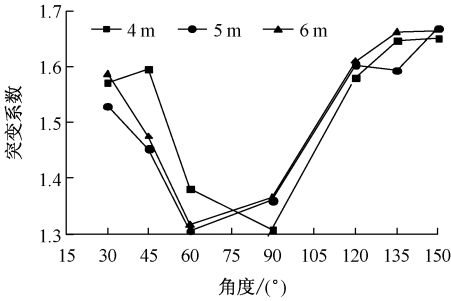


图 4 火焰传播速度突变系数与管道拐弯角度的关系
焰传播速度突然降低;经过拐弯点后,火焰传播速度迅速增大,主要原因是涡流作用使火焰阵面发生湍流,火焰面积急剧增大,瓦斯气体与氧气接触更加充分,使瓦斯燃烧传播速度增大,热释放速率增加,火

焰传播速度加快。

(3) 瓦斯填充长度为 4 m 时,30°,45°,60°,90°,120°,135°,150°拐弯角度管道中当量测点 E 的火焰传播速度分别为 75.57,79.95,91.53,97.53,112.83,120.07,126.57 m/s,火焰传播速度大致随管道拐弯角度的增加而增大。瓦斯填充长度为 5,6 m 时,具有类似规律。可见瓦斯填充长度固定时,管道拐弯角度越大,火焰传播速度越大;经过拐弯点时火焰传播速度发生突变,管道拐弯角度越大,测点处的瓦斯传播速度越高,主要原因是管道的拐弯角度对火焰湍流有影响,随着拐弯角度增大,湍流效应被加强,使得火焰传播速度加快。

(4) 火焰传播速度突变系数 λ 与管道拐弯角度关系密切。随着管道拐弯角度增大, λ 呈现先减小后增大的趋势, $\lambda=1.3\sim1.7$ 。对于不同瓦斯填充长度的管道, λ 整体规律一致,说明瓦斯填充长度对 λ 的影响不大。

3 结论

(1) 瓦斯填充长度越大的管道,瓦斯爆炸火焰在其中传播的速度越大。

(2) 在水平管道中,火焰传播速度呈稳步增大趋势;在拐弯点处,火焰传播速度发生突变,迅速减小;经过拐弯点后,火焰传播速度迅速增大。

(3) 瓦斯填充长度固定时,管道拐弯角度越大,火焰传播速度越快。

(4) 随着管道拐弯角度的增加,火焰传播速度突变系数呈先减小后增大的趋势,瓦斯填充长度的改变对突变系数影响不大。

(5) 煤矿井下瓦斯体积、巷道拐弯程度对瓦斯爆炸后火焰传播速度都有极大的影响。在设计矿井巷道时,应尽量避免瓦斯气体聚集及拐弯巷道,以降低瓦斯爆炸的可能性,减小瓦斯爆炸后火焰传播过程造成的损失。

参考文献:

[1] 陈娟,赵耀江. 近十年来我国煤矿事故统计分析及其启示[J]. 煤炭工程,2012(3):137-139.
[2] 贾真真,林柏泉. 管内瓦斯爆炸传播影响因素及火焰加速机理分析[J]. 矿业工程研究,2009,24(1):57-62.
[3] 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.
[4] 黄文祥,李树刚,李孝斌,等. 不同点火能量作用下管道内瓦斯爆炸火焰传播特征[J]. 煤矿安全,2011,

42(8):7-10.

[5] 仇锐来. 点火能量对瓦斯爆炸传播的数值模拟研究[J]. 煤矿安全, 2011, 42(1): 5-8.

[6] 聂百胜, 何学秋, 张金锋, 等. 泡沫陶瓷对瓦斯爆炸火焰传播的影响[J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(7): 573-576.

[7] 王从银, 何学秋. 瓦斯爆炸火焰厚度的实验研究[J]. 爆破器材, 2001, 30(2): 28-32.

[8] 林柏泉, 叶青, 翟成, 等. 瓦斯爆炸在分岔管道中的传播规律及分析[J]. 煤炭学报, 2008, 33(2): 136-139.

[9] 王成, 回岩, 胡斌斌, 等. 障碍物形状对瓦斯爆炸火焰传播过程的影响[J]. 北京理工大学学报, 2015, 35(7): 661-665.

[10] 李鑫, 景国勋, 许胜铭, 等. 不同角度管道瓦斯爆炸火焰传播规律试验研究[J]. 中州煤炭, 2014(4): 49-50.

[11] 李鑫. 管道拐弯角度变化情况下瓦斯爆炸火焰传播规律研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2014.