

·采 选·

# 立体结构障碍物不同阻塞比对火焰传播的影响

刘玉华<sup>1</sup>, 丁以斌<sup>2</sup>

(1. 长沙矿冶研究院, 湖南 长沙 410012; 2. 中国科技大学, 安徽 合肥 230026)

**摘要:**通过运用自行设计的火焰加速系统, 文章研究了立体结构障碍物对预混甲烷火焰传播过程中火焰传播速度和超压的影响。选用五种立体结构障碍物, 平板、长方体、三棱柱、四棱柱和圆柱, 其阻塞比分别有 20%、40% 和 60%。结果表明在相同阻塞比下, 平板、三棱柱对增加火焰传播速度和超压相对较大, 长方体居中, 圆柱、四棱柱影响相对有限。研究有助于对矿井瓦斯爆炸预防控制以及为工业安全设计提供参考。

**关键词:**火焰加速; 立体结构; 障碍物; 阻塞比; 火焰传播速度; 超压

**中图分类号:** TD7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5540(2008)01-0001-04

管道内火焰传播是一个涉及到气体流动、热交换和辐射的复杂过程, 影响因素较多。早在 1926 年, Chapman 等人<sup>[1]</sup>就已经研究了障碍物管道内火焰传播现象。此后, 由于障碍物导致火焰加速被大量研究。通过建立各种大小、形状不同实验管道, 人们主要研究了平面结构的障碍物如圆环、圆孔、平板和扇形板之间间距、阻塞比和障碍物数量对火焰传播过程的影响<sup>[2~9]</sup>。实验中得出了一些对预防可燃气体爆炸灾害发生有用的实验数据和结论。但是, 火焰传播方向上的障碍物常常具有立体结构。因此, 有必要研究立体结构障碍物对火焰传播的影响。本文研究了立体结构障碍物不同阻塞比对火焰传播的影响。研究结果对于预防气体爆炸和为工业安全设计提供参考必将有一定的现实意义。

## 1 实验系统

本文进行实验研究所采用的火焰加速管道为全透明的有机玻璃管道, 长 1 440 mm, 横截面 100 mm × 100 mm, 壁厚 12 mm, 点火端封闭, 另一端开口。和火焰加速管配套使用的有点火装置、配气装置以及火焰信号、压力信号采集记录装置(Hioki8841 存储记录仪)。使用了光电传感器、压力传感器等重要器件, 如图 1 所示。

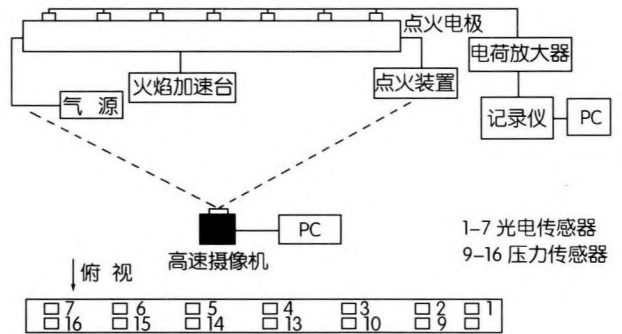


图 1 实验测试系统

实验中, 光电传感器距点火端水平距离依次为 51 mm、319 mm、589 mm、862 mm、1130 mm 和 1 405 mm, 在光电传感器的同一水平位置, 布置压力传感器(如图 1, 2~7, 9~16)。为了消除电火花打火瞬间对光电传感器信号干扰, 第一个光电传感器布置在与点火端水平距离 11 mm 处作为初始触发信号。

本文采用五种立体结构障碍物, 阻塞比有 20%、40% 和 60% 三种。阻塞比定义为火焰传播方向上障碍物的最大横截面积与管道截面积之比。障碍物的形状尺寸列于表 1。

表 1 障碍物形状尺寸大小

形状	长度/mm	宽 × 高/mm
平板	100	高 20、40 和 60
长方体	100	20 × 20、40 × 40 和 60 × 60
正三棱柱	100	23 × 20、46 × 40 和 69 × 60
正四棱柱	100	48 × 20、96 × 40 和 144 × 60
圆柱	100	直径 20、40 和 60

**作者简介:**刘玉华(1980-), 男, 主要从事爆炸及安全技术方面的研究工作。

障碍物放置距点火端 241 mm 处,为障碍物中心所在平面与点火端之间的水平距离。障碍物在实验管道中的摆放方式如图 2 所示。

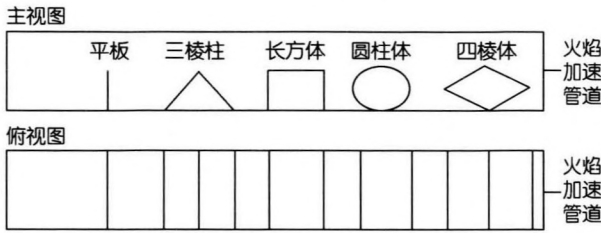


图 2 障碍物放置方式

## 2 实验影响

### 2.1 障碍物不同阻塞比对火焰传播速度的影响

图 3 是甲烷浓度为 8.46% 的同一立体结构不同阻塞比障碍物对火焰传播速度的影响。分析图 3 曲线,在本实验条件下,有障碍物下管道内火焰传播速度比无障碍物管道情形大,而且障碍物后火焰传播的加速度很大。

障碍物阻塞比对火焰传播的初始状态影响较小,测点 2、3 的火焰传播速度,除了阻塞比 20% 长方

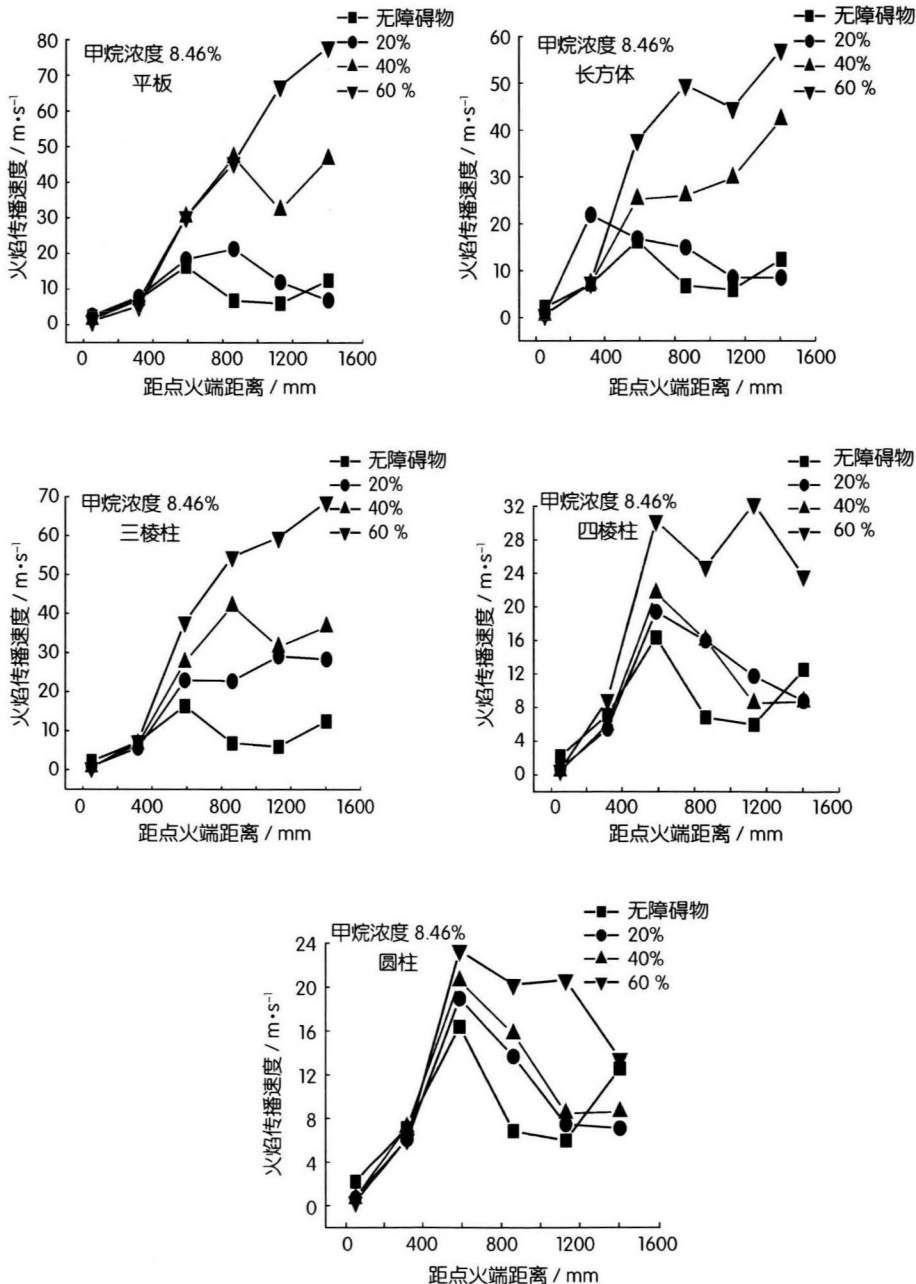


图 3 障碍物不同阻塞比对火焰传播速度的影响

体障碍物外,变化不明显。测点 2、3 布置在离点火位置分别为 51 mm、319 mm 处,障碍物对火焰的加速作用还没有显现出来。

对于图 3,管道中放置较大阻塞比(60%)障碍物条件下,测点 2 火焰传播速度反而比无障碍物管道内火焰传播的速度低。究其原因:

管道中障碍物在火焰传播过程中,存在两种作用形式:一种是激励作用,另一种是阻碍作用。当火焰面越过障碍物时,障碍物使火焰面扭曲变形,火焰传播状态由缓慢的层流状态变为湍流状态,增大了燃烧面积,加快分子间输运,使燃烧速度  $\mu$  和管道气体流动速度  $v$  都有所增加。而火焰传播速度  $V = \mu + v$ ,其结果使火焰传播速度变大。在火焰面从点火端向障碍物传播过程中,障碍物表面形成较高的压力梯度,而压力是一个标量,必然造成火焰在向障碍物方向传播过程中也受到障碍物表面形成的较高压力梯度的阻碍作用,使火焰阵面向开口方向的流动变慢,从而减慢火焰传播速度。

最大火焰传播速度随阻塞比的变化如图 4 所示。分析图 4 曲线,管道内最大火焰传播速度随阻塞比增加而增大,阻塞比低于 20% 时,火焰传播速度增长缓慢。一旦阻塞比再增加,火焰传播速度随阻塞比增加明显。再来分析一下每条曲线的变化趋势,随着阻塞比变大,对于同一立体结构障碍物,最大火焰传播速度相邻两点之间的线段斜率在变大,即说明火焰传播速度不是与阻塞比成线性关系,而是存在一个正的加速度。对于平板,阻塞比 20%、40% 和 60% 三者的最大火焰传播速度基本在一条直线上,而其它四种障碍物不在一条直线上,不过都有向线性变化的趋势。据此分析得出,低阻塞比下,由于火焰传播速度较低,与阻塞比的增长幅度相比,火焰传播速度增长趋势大。较高阻塞比时,火焰传播速度随阻塞比增长接近线性关系。

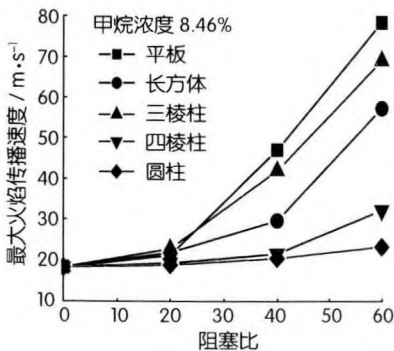


图 4 最大火焰传播速度随阻塞比变化

## 2.2 障碍物不同阻塞比对火焰传播过程中超压的影响

障碍物不同阻塞比对火焰传播过程中超压的影响如图 5 所示。

分析图 5 曲线,与火焰传播速度随阻塞比呈单调递增不同,管道内最大峰值超压随阻塞比增大先变大,后变小。分析其原因,障碍物在火焰传播过程中,当压力波传播到障碍物后,气流受到障碍物阻碍作用,由于障碍物的节流作用,障碍物易形成很高的局部压力。则火焰面越过障碍物后,火焰面由于受局部高压作用,运动较快,可能发生障碍物后滞留大量未燃可燃气体未被点燃之前,火焰已经很快向前传播。障碍物后大量的未燃气体,对管道中火焰传播来说,是一种压力损失。火焰传播速度的增加,它能导致压力的增加。阻塞比变化过程中,开始阶段障碍物阻塞比引起火焰加速导致超压增加值大于障碍物后大量未燃气体引起的压力损失值。随着阻塞比不断增加,火焰传播速度的增加导致超压增加有限,压力损失值就会大于障碍物引起的压力增加值。

管道中超压的变化是由障碍物导致压力损失和火焰传播速度增加导致的压力升高这两种因素共同决定的。由于障碍物既有增加又有减少超压作用,所以,三种阻塞比下最大超压在数值上差异都不太大,基本在两个大气压左右。而且从图 5 中可以看出,障碍物的阻塞比达到 20% 时,管道中超压是无障碍物的两倍,其值变化较大。但超压值在此后随阻塞比变化不大。可见,即使障碍物阻塞比较小,对增强管道内超压作用也比较明显。

## 3 结 论

1. 有障碍物下管道内火焰传播速度比无障碍物管道情形大,而且障碍物后火焰传播的加速度很大。

2. 管道中障碍物在火焰传播过程中,存在两种作用形式:一种是激励作用;另一种是阻碍作用。

3. 低阻塞比下,由于火焰传播速度较低,与阻塞比的增长幅度相比,火焰传播速度增长趋势大。较高阻塞比时,火焰传播速度随阻塞比增长接近线性关系。

4. 管道内最大峰值超压随阻塞比增大先变大,后变小。

5. 管道中超压的变化是由障碍物导致压力损失和火焰传播速度增加导致的压力升高这两种因素共同决定的。

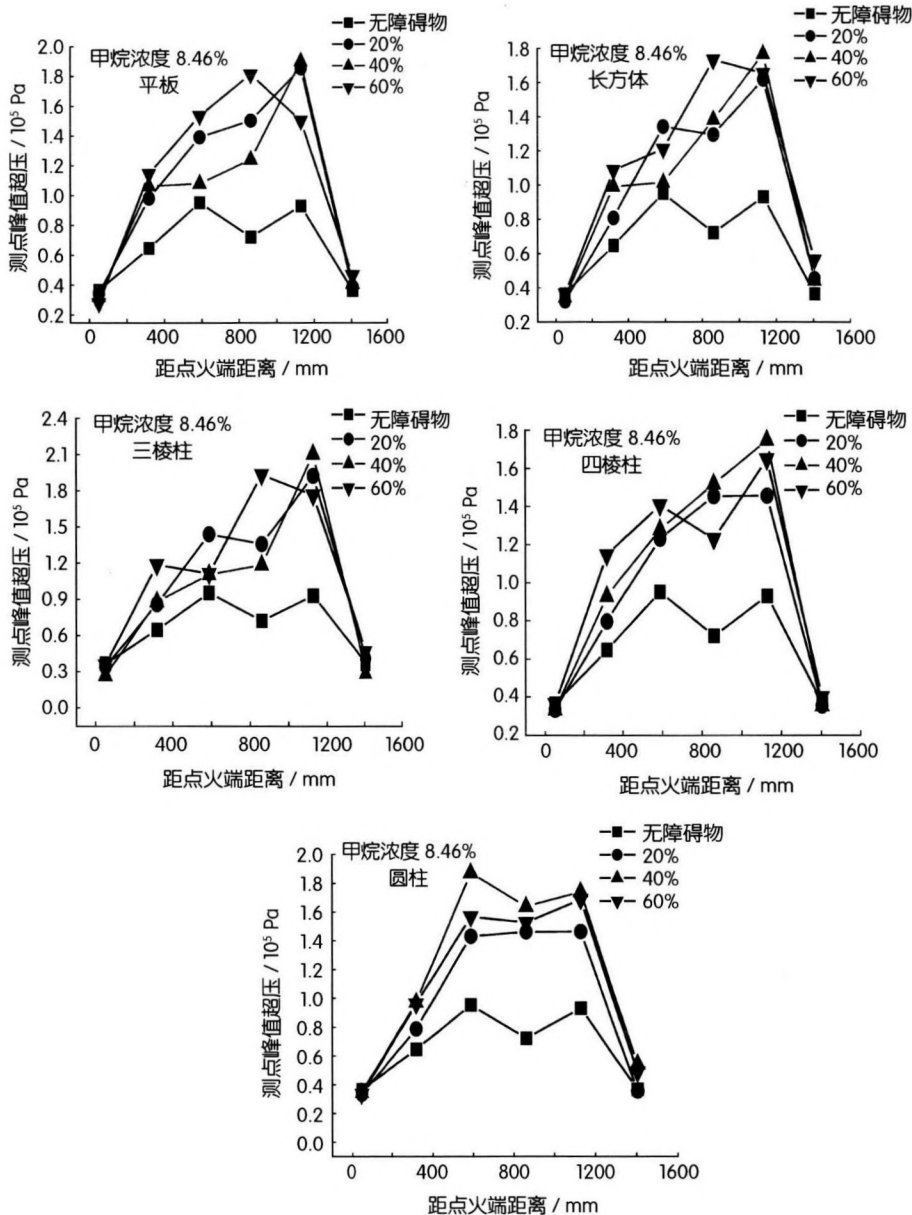


图 5 障碍物不同阻塞比对超压的影响

6. 即使障碍物阻塞比较小,对增强管道内超压作用也比较明显。

#### 参考文献:

- [1] 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]. J Chem Soc, 1926, 21: 39 - 47.
- [2] I. O. Moen, M. Donato, R. Knystautas, et al. Flame acceleration due to turbulence produced by obstacles[J]. Combustion and Flame, 1980, 39(1): 21 - 32.
- [3] M. Fairweather, G. K. Hargrave, S. S Ibrahim, et al. Studies of premixed flame propagation in explosion tubes[J]. Combustion and Flame, 1999, 116(4): 504 - 518.
- [4] M. Fairweather, S. S. Ibrahim, H. Jagers, et al. Turbulent premixed flame propagation in a cylindrical vessel[C]. Twenty - sixth Symposium International on Combustion, 1996, 26(1): 365 - 371.
- [5] L. X. Yu, W. C. Sun, C. K. Wu. Flame acceleration and overpressure development in a semiopen tube with repeated obstacles [C]. Proceedings of the Combustion Institute, 2002, 29(1): 21 - 327.
- [6] G. Ciccarelli, J. L. Boccio. Detonation wave propagation through a single orifice plate in a circular tube [C]. Symposium International on Combustion, 1998, 27(2): 2233 - 2239.
- [7] Ritsu Dobashi. Experimental study on gas explosion behavior in enclosure[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 1997, 10(2): 83 - 89.

(下转第 64 页)

- [4] 郑宽明,何宁.企业资源计划——理论·实践[M].北京:科学出版社,2004.
- [5] 肖福坤,康健,张迎新,等.矿山企业实施 ERP 系统方案研究[J].中国矿业,2004,13(12):20-23.
- [6] 贾明涛.基于 B/S 模式矿山管理信息系统构建技术研究[J].湖南有色金属,2003,19(4):46-49.

收稿日期:2007-12-20

## Study on Developing Enterprise Resources Planning(ERP) System Patterns for Metal Mine

ZHAN Jin<sup>1</sup>, WU Ling<sup>2</sup>, WU He-pin<sup>2</sup>,  
ZHOU Zhi-yong<sup>2</sup>, YANG Li-bing<sup>2</sup>, ZHANG Han<sup>2</sup>

(1. Xinfeng Mining of Zijin Mining Group Co., Ltd, Anhua 413524, China;

2. Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Aiming at researching the construct of enterprise resource plan(ERP) to enhance the competitiveness of metal mine, the particularity and theory of ERP in metal mines are analyzed and studied deeply. Based on the integrative plan, including the prerequisite of ERP, system model frame and information of mine enterprises, the overall construct system also is investigated for implementing enterprise resource plan in metal mine. Meanwhile, it put forward its application model.

**Key words:** metal mine; ERP; plan; key technique

(上接第 4 页)

- [8] D. Dunn - Rankin, M. A. McCann. Overpressures from nondetonating, baffle - accelerated turbulent flames in tubes [J]. Combustion and Flame, 2000, 120(4): 504 - 514.
- [9] G. Ciccarelli, C. J. Fowler, M. Bardon. Effect of obstacle size and spacing on the initial stage of flame acceleration in a rough tube [J]. Shock Waves, 2005, 14(3): 161 - 166
- [10] A. R. Masri, S. S. Ibrahim, N. Nehzat, et al. Experimental study of premixed flame propagation over various solid obstructions [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2000, 21(1 - 3): 109 - 116.

收稿日期:2008-01-15

## Effect of Different Blockage Ratios of Solid Structure Obstacles on Flames Transmission

LIU Yu-hua<sup>1</sup>, DING Yi-bin<sup>2</sup>

(1. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy, Changsha 410012, China;

2. University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** By via of applying self - designed experimental system for flame acceleration and choosing five different solid structure obstacles, the paper investigated solid structure obstacles effect on flame speed and overpressure of premixed methane. Plates, cuboids, triple prisms, quadruple prisms, cylinders were adopted with three kinds of blockage ratios, 20%, 40% and 60%. To the same blockage ratios, results show plates and triple prisms increase flame speed and overpressure much larger; cuboids are intermediate; effects of quadruple prisms and cuboids are comparatively limited. The results are expected to have some help on preventing and controlling methane explosive in mine and providing reference for industry safety design.

**Key words:** flame acceleration; solid structure; obstacles; blockage ratios; flame speed; overpressure