

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2018.01.004

密闭直管内瓦斯爆炸温度和压力的实验研究^{*}

贾进章 冯路阳
辽宁工程技术大学安全科学与工程学院(辽宁阜新,123000)

[摘 要] 瓦斯爆炸是一个瞬间过程。为了分析瓦斯爆炸过程中的爆炸压力以及温度的变化规律,利用封闭的直管瓦斯爆炸实验系统,分别进行了瓦斯体积分数为6.5%~10.0%时的爆炸实验。研究表明:瓦斯的体积分数为9.5%时,管内爆炸温度最高,达到了1 292.27 K;管内达到最高爆炸温度所需要的时间最短,为351 ms;管内爆炸压力最大,达到了0.766 MPa;管内达到最大爆炸压力所需时间最短,用时208 ms。点火源附近的温度都是最高的,管道尾端的温度是最低的。

[关键词] 瓦斯;爆炸;温度;压力

[分类号] TD712

Experimental Study on Gas Explosion Temperature and Pressure in Closed Straight Tube

JIA Jinzhang, FENG Luyang
School of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University (Liaoning Fuxin,123000)

[ABSTRACT] Gas explosion is an instantaneous process. In order to analyze the rule of explosion pressure and temperature change during gas explosion, the gas explosion experiment with the volume fraction of 6.5% -10.0% was carried out by using a closed straight tube gas explosion experiment system. The results show that when the gas volume fraction is 9.5%, the explosion temperature reaches 1 292.27 K in the tube and the explosion pressure attains 0.766 MPa; meanwhile the time required to these highest temperature and maximum explosion overpressure shortens to the least, 351 ms and 208ms respectively. Temperature near the ignition source is the highest, and that at the end of the pipeline is the lowest.

[KEYWORDS] gas; experiment; temperature; overpressure

引言

煤矿井下地质条件复杂,巷道种类繁多,五大灾害(水、火、瓦斯、煤尘、顶板)事故时有发生^[1],给煤矿井下的工人生命安全和设备资产带来严重损失。据调查,在全国煤矿的特大型事故中,有七成以上都是由瓦斯爆炸引起的^[2]。因此,了解瓦斯爆炸的详细过程,分析对人员和设备造成最大威胁的压力冲击波以及火焰的传播过程,对煤矿井下的瓦斯爆炸事故的预防具有一定的参考意义。

国外学者Bielert^[3]和Wingerden^[4]等对火焰区的变化过程以及传播速度进行了研究;Gieras等^[5]研究了初始环境条件对爆炸压力上升速率的影响;

Phylacktou等^[6]经过实验发现,点火位置会影响瓦斯爆炸压力变化。国内学者对瓦斯爆炸压力以及不同管道模型(障碍物、分叉等)下的瓦斯爆炸过程进行了大量分析,但是,以往关于瓦斯爆炸一般着重于对爆炸超压值的研究^[7-8],或者针对不同管道模型(障碍物、分叉等)进行研究^[9-10],而深入分析不同浓度下瓦斯爆炸压力和温度变化规律的文献还比较缺乏。

笔者进行了体积分数为6.5%~10.0%时瓦斯的爆炸实验,确定了达到最大爆炸压力的瓦斯体积分数为9.5%;利用实验数据,分析了瓦斯爆炸的压力和火焰传播过程的一般规律,为以后的相关研究提供参考。

^{*} 收稿日期:2017-04-07
基金项目:国家自然科学基金(51374121)
作者简介:贾进章(1974-),男,博士,博导,教授,主要研究方向:安全信息工程,矿井通风与灾害防治。E-mail:jiajinzhang@163.com

1 实验系统

图 1 为实验装置,又称 1.2 m³ 爆炸罐,可容纳 1.2 m³ 的可燃气体,设计压力为 2.2 MPa,最高允许工作压力为 2.0 MPa,用于测试爆炸冲击波、火焰等特性。



图 1 实验装置
Fig. 1 Experimental device

图 2 是爆炸火焰温度、压力测试系统,是用于测试爆炸冲击波、火焰等特性和数据的基础实验装置。



图 2 抗爆本体辅助设备
Fig. 2 Auxiliary equipment of anti explosive device

2 测试方法

实验采用的瓦斯爆炸测试系统抗爆本体包括 1.2 m³ 的抗爆罐和 5 段长为 2 m 的抗爆管道,管道直径为 159 mm,末端封闭。实验共布置了 6 个 C2-1-K 型温度传感器和 6 个 2300V1 型压力传感器。传感器布置如图 3 所示, $P_1 \sim P_6$ 为压力传感器, $T_1 \sim T_6$ 为温度传感器。压力监测点每隔 0.5 ms 记录一次数据,共记录了 4 000 步;温度监测点每隔 1.0 ms 记录一次数据,共记录了 2 000 步。实验的环境温度约为 24 ~ 26 ℃,初始压力为 101 325 Pa,瓦斯的体积分数分别为 6.5%、7.0%、8.0%、9.0%、9.5% 及 10.0%。点火位置设置在抗爆罐中心,采用电点火头点火,点火能量约为 10 J。

如图 3 所示,实验中共设置了 6 个监测点用来记录瓦斯爆炸温度和压力参数。由于火焰传播后期速度较慢,耗时较长,所以文中不再列出监测点 T_6 处的温度参数。6 处监测点距离设备最左端的位置分

别为 0.6、2.2、4.2、6.2、8.2、10.2 m。

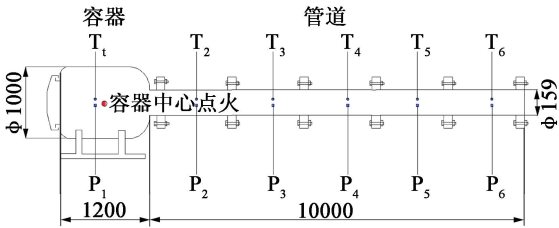


图 3 瓦斯爆炸实验系统(单位:mm)
Fig. 3 Gas explosion experiment system(unit:mm)

3 结果与分析

图 4 是瓦斯爆炸火焰的最高温度与瓦斯体积分数的关系。从图 4 中可以看出,瓦斯的体积分数在 6.5% ~ 9.5% 之间,随着体积分数的增大,火焰最高温度逐渐升高,在 9.5% 时达到最高,为 1 292.27 K;当体积分数超过 9.5% 之后,随着瓦斯体积分数的增加,火焰最高温度降低。说明燃料浓度越接近瓦斯爆炸最大威力浓度当量比,火焰燃烧的最高温度越高。这是因为,管内燃料越接近最佳当量比,火焰燃烧就越充分,放出的热量就越多,所以温度就会越高。

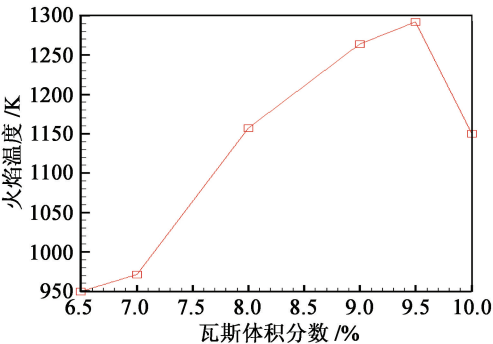


图 4 爆炸火焰最高温度与瓦斯体积分数的关系
Fig. 4 Relationship between the highest explosion flame temperature and gas concentration

图 5 为瓦斯爆炸火焰温度达到最高的时间与瓦斯体积分数的关系。从图 5 可以看出,瓦斯体积分数在 6.5% ~ 9.5% 之间,随着瓦斯体积分数的增大,爆炸火焰温度达到最高所需要的时间越来越短,最短为 0.351 5 s。说明瓦斯体积分数在 8.0% ~ 9.5% 范围内时,爆炸氧化反应最为激烈,瓦斯在较短的时间内快速且充分燃烧,释放出大量热量,释放出的大量热量又促进瓦斯的进一步燃烧爆炸,这是正反馈机制;瓦斯体积分数在 9.5% 时,该反馈能力基本达到最大化,所以不管之后瓦斯体积分数增加

还是减少,火焰温度达到最高所需要的时间变化并不明显。

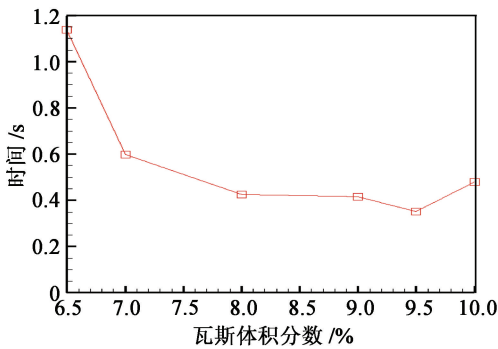


图 5 火焰温度达到最高的时间与瓦斯体积分数的关系

Fig. 5 Relationship between time to reach the highest flame temperature and volume fraction of gas

图 6 为瓦斯爆炸最高火焰温度与火焰传播距离的关系。从图 6 中可以明显地看出,随着传播距离的增大,最高火焰温度总体变化趋势是减小的。其中,在 0~4.2 m 范围内,最高火焰温度随着传播距离的增大而显著减小;4.2~10.2 m 范围内温度减小幅度趋于平缓,且管道末尾处(即 8.2 m 处)的温度最低。由此可以推知,各浓度瓦斯的直管道爆炸实验中,点火源附近的温度都是最高的,管道尾端的温度是最低的。这是因为,爆炸前期燃料比较充足,放出的热量较多;反应中后期由于卷吸效应以及生成物的增多,导致燃料浓度与初始状态相比逐渐下降,因此放出的热量也会减少。

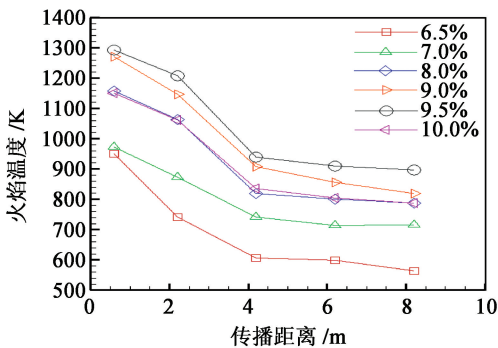


图 6 瓦斯爆炸最高火焰温度与传播距离的关系

Fig. 6 Relationship between the highest flame temperature in gas explosion and flame propagation distance

图 7 为瓦斯爆炸最大压力与瓦斯体积分数的关系。可以看出,在瓦斯体积分数为 6.5% 时,压力最小,为 0.386 MPa; 瓦斯体积分数为 6.5%~7.0% 时,瓦斯爆炸最大压力上升趋势不明显; 瓦斯体积分数为 7.0%~8.0% 时,瓦斯爆炸最大压力显著提升,并在 9.5% 时达到最大值 0.766 MPa; 随后,随着瓦斯体积分数的增大,爆炸最大压力开始减小。

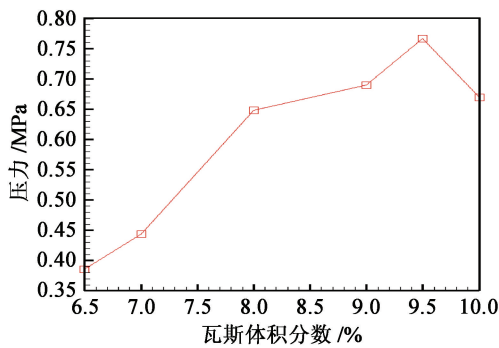


图 7 瓦斯爆炸最大压力与瓦斯体积分数的关系

Fig. 7 Relationship between the maximum pressure in gas explosion and volume fraction of gas

图 8 为瓦斯爆炸达到最大压力的时间与瓦斯体积分数的关系。从图 8 中可以看出,随着瓦斯体积分数的增加,管道达到最大爆炸压力所需要的时间逐渐减少后又缓慢增大。体积分数为 6.5% 时,爆炸达到最大压力所需要的时间最长,为 1.138 s; 体积分数为 9.5% 时,达到最大压力所需要的时间最短,为 0.208 s; 前者比后者达到最大压力所用时间多出了 5.47 倍。

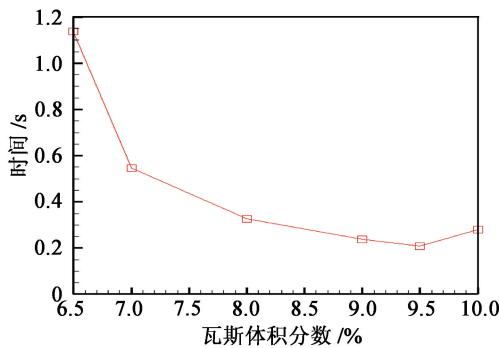


图 8 达到最大爆炸压力的时间与瓦斯体积分数的关系

Fig. 8 Relationship between time to reach the maximum explosion pressure and volume fraction of gas

4 结论

通过实验研究,分析了瓦斯爆炸压力与温度变化的一般规律,得出了以下结论:

1) 瓦斯体积分数在 6.5%~9.5% 范围内,随着瓦斯体积分数的增大,管道内爆炸最高温度越来越高,最高为 1 292.27 K,管道内达到最高温度所需要的时间越来越短,最少用时 351 ms; 当体积分数超过 9.5% 之后,随着瓦斯体积分数的增加,爆炸最高温度逐渐降低,达到最大爆炸温度所需要的时间越来越长。

2) 瓦斯体积分数在 6.5%~9.5% 范围内,随着

瓦斯体积分数的增大,管道内最大爆炸压力越来越大,最大为 0.766 MPa,管道内达到最大压力所需要的时间越来越短,最短用时 208 ms;当瓦斯体积分数超过 9.5% 之后,随着瓦斯体积分数的增加,爆炸压力逐渐减小,达到最大爆炸压力所需要的时间越来越长。

3)爆炸过程的卷吸效应以及后期反应产物的增多,导致燃料浓度不断降低,所以随着火焰传播距离的增大,爆炸最高温度逐渐降低,因此点火源附近的温度总是最高的,管道末端的温度总是最低的。

4)由于瓦斯爆炸浓度的化学当量比是 9.5%,所以瓦斯的体积分数为 9.5% 时,爆炸最高温度最高,压强最大,且温度和压强的上升速率最快,证明瓦斯爆炸威力最大时的体积分数是 9.5%。

参 考 文 献

[1] 刘文华. 煤矿五大灾害再析[J]. 陕西煤炭,2006,25(4):75-76.

[2] 叶青,林柏泉. 受限空间瓦斯爆炸传播特性[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2012.

[3] BIELERT U, SICHEL M. Numerical simulation of premixed combustion processes in closed tubes[J]. Combustion & Flame, 1998, 114(3/4):397-419.

[4] WINGERDEN K V, BJERKETVEDT D, BAKKE J R. Detonations in pipes and in the open[M]//Nuclear weapons and in ternational law. Изд-во Иностранной лит, 1962,10(174):775-783.

[5] GIERAS M, KLEMENS R, RARATA G, et al. Determination of explosion parameters of methane-air mixtures in the chamber of 40 dm³ at normal and elevated temperature

[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006, 19(2):263-270.

[6] PHYLAKTU H, ANDREWS G E. Gas explosions in linked vessels [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 1993, 6(1):15-19.

[7] 尉存娟,谭迎新,张建忠,等. 不同间距障碍物下瓦斯爆炸特性的实验研究[J]. 中北大学学报(自然科学版),2015,36(2):188-190,196.

YU C J, TAN Y X, ZHANG J Z, et al. Experimental research on blast characters of methane under obstacle with different distance[J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2015,36(2):188-190,196.

[8] 高娜,胡毅亭,张延松. 初始温度对甲烷-空气爆炸压力影响的试验研究[J]. 爆破器材,2016,45(3):26-30.

GAO N, HU Y T, ZHANG Y S. Experimental research on methane-air mixtures explosion pressure under normal and elevated initial temperatures[J]. Explosive Materials, 2016,45(3):26-30.

[9] 杨凡,陶刚,张礼敬,等. 障碍物对气体爆炸压力场影响数值模拟[J]. 中国安全生产科学技术,2013,9(2):59-63.

YANG F, TAO G, ZHANG L J, et al. Numerical simulation on sinfluence of obstacle on the pressure field of combustible gas explosion[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2013,9(2):59-63.

[10] 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.

LIN B Q, YE Q, ZHAI C, et al. The propagation rule of methane explosion in bifurcation duct[J]. Journal of China Coal Society, 2008,33(2):136-139.

声 明

1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权,并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。

2、本刊文章版权所有,未经书面许可,不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部