DOI: 10.11883/1001-1455(2017)05-0906-07

惰性气体 N_2/CO_2 抑制瓦斯爆炸实验研究*

张迎新[1],吴 强[1],刘传海[1],江丙友[2],张保勇[1]
(1.黑龙江科技大学安全工程学院,黑龙江 哈尔滨 150022;
2.安徽理工大学能源与安全学院,安徽 淮南 232001)

摘要:为探究惰性气体(N_2 和 CO_2)对瓦斯气体爆炸影响,采用中型尺寸瓦斯爆炸实验装置,在 N_2 及 CO_2 体积分数为 0%、9%、14%工况下开展了瓦斯爆炸实验研究,获取了 N_2 和 CO_2 对矿井瓦斯抑爆特性的影响规律,并针对瓦斯爆炸过程中惰性气体 N_2 和 CO_2 对爆炸超压变化的影响及爆炸抑制效果进行了对比分析。结果表明:随着初始混合气体中惰性气体 N_2 或 CO_2 含量的升高,瓦斯爆炸超压均明显降低,CO_2 的抑爆效果优于 N_2;N_2 和 CO_2 对较高浓度瓦斯气的抑爆效果更为显著。

关键词:瓦斯爆炸;惰性气体;抑爆;爆炸超压
中图分类号:O381;TD75 **国标学科代码**:13035 **文献标志码**:A

瓦斯爆炸是煤矿安全的主要隐患,一旦发生,将造成大量的人员伤亡和巨大的经济损失[1],因此,对瓦斯爆炸抑制技术的研究具有重要意义。目前,研究者已经对水雾[2]、惰性气体[3-6]、泡沫陶瓷[7-8]、粉体抑制剂($KHCO_3$、$NaHCO_3$、Na_2CO_3、$NH_4H_2PO_4$、KCl、NaCl、$CaCO_3$、$CO(NH)_2$、SiO_2)等[9-11]抑制瓦斯爆炸进行了大量的研究工作;另一方面,通过充注惰性气体抑制矿井瓦斯爆炸的方法也一直备受关注[12]。由于 CO_2 和 N_2 具有来源广、生产成本低等优势,因此,国内外学者普遍将其作为理想的惰性气体应用于瓦斯爆炸抑制方面的研究。

丛北华等[6]、M. Bundy 等[13]研究了惰性气体 CO_2、N_2 及三氟甲烷对爆炸火焰的抑制程度,得到了惰性气体抑制火焰的临界体积分数;刘玉泉等[3]、邓军等[4]、邱雁等[14]通过充注 CO_2、N_2 研究惰性气体对瓦斯爆炸极限的影响,并利用实验证明了充注惰性气体降低开采区氧气浓度的办法是切实可行的;周福宝等[15]提出了采用含惰性气体 N_2 三相泡沫抑制火源,从而预防瓦斯爆炸的新方法。然而,上述研究多集中于惰性气体对瓦斯爆炸火焰、爆炸极限及支链反应的抑制效果方面。本文中,通过研究惰性气体 N_2 及 CO_2 对瓦斯爆炸超压变化的影响,得出 N_2 及 CO_2 对矿井瓦斯抑爆特性的影响规律,以期为增强抑爆救灾能力提供相应的参考[16-17]。

1 实验系统与方法

1.1 实验设备

瓦斯爆炸模拟实验系统如图 1 所示。该系统主要由爆炸腔体、扩散管路、抽真空装置、配气装置、点火装置及数据采集装置构成,其中爆炸腔体参数为∅300 mm×1 500 mm,容积为 109 L,安全系数为 6。单个扩散管参数为∅125 mm×2 200 mm,安全系数为 6。为实现爆炸腔体内配气、抽真空的需要,采用塑料薄膜将燃爆腔体与扩散管隔开并实现密封,扩散管路出口连接空气,内部充满空气,其初始状态为静止无紊流,爆炸管为开口容器。图 1 中已注明各爆炸超压测点位置。

1.2 实验材料

本实验瓦斯爆炸超压的采集精度为 1 Pa,反应时间为 1 ms;泄爆膜材料为聚四氟乙烯材质,实际厚

* **收稿日期**:2015-12-30;**修回日期**:2016-07-08
基金项目:国家自然科学基金重点项目(51334005);国家自然科学基金项目(51274267,51404102,51404103);
黑龙江科技大学国家级专业中心实验室开放课题项目(HKDGH-20140002,HKDGH-20140006)
第一作者:张迎新(1978—),男,副教授;**通信作者**:刘传海,liuchuanhai0429@126.com。

度为 0.3 mm，其爆破压力为 90 kPa；实验中所用惰性气体 CO_2 和 N_2 的纯度均为 99.99%。3 种瓦斯气样 G1、G2、G3 的构成分别为：G1（7.00%CH_4-19.53%O_2-73.47%N_2）、G2（9.40%CH_4-19.03%O_2-71.57%N_2）、G3（10.20%CH_4-18.86%O_2-70.94%N_2），其中数字表示相应组分的体积分数。气样均购置于哈尔滨通达特种气体有限公司。

1.3　实验方法

本系列实验均在 20 ℃、101.325 kPa 的条件下进行，主要步骤如下：(1) 对测试系统进行调试和校准，并标定和安装压力传感器；(2) 在实验装置中布置点火头并进行封膜；(3) 配制瓦斯-惰性气体混合气体；(4) 将爆炸腔体抽真空至 −0.1 MPa，然后充入预配后的瓦斯-惰性气体混合气体；(5) 启动数据采集系统和瓦斯爆炸点火系统。

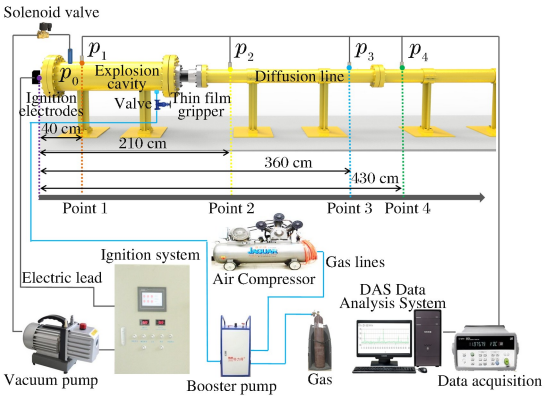

图 1　瓦斯爆炸实验系统

Fig. 1　Experimental device of mine explosion

2　实验结果与分析

2.1　N_2 对瓦斯爆炸超压的影响

针对瓦斯气样 G1、G2、G3，分别在工况 1～工况 3 下开展了 9 组瓦斯爆炸实验，其瓦斯气体组分见表 1。与工况 1（未加入 N_2）相比，工况 2 和工况 3 中原始瓦斯气样组分均发生了改变，其中 CH_4、O_2 的浓度有所降低，N_2 浓度升高。利用数据采集系统测量可得各测点处的瓦斯爆炸超压。

随着瓦斯气样 G1～G3 中注入 N_2 体积分数的增加，各测点的瓦斯爆炸超压均有明显的下降，说明 N_2 抑制瓦斯爆炸的效果良好，如图 2～4 所示。设 d 为距点火端的水平距离，可以看出：当 $d<210$ cm 时，瓦斯爆炸超压逐渐降低；$d=210$～360 cm 为瓦斯爆炸波传播段，爆炸超压值逐渐增强，但始终低于测点 1 处的超压值；当 $d=360$～430 cm 时，瓦斯爆炸超压又逐渐降低，并最终达到最小值。

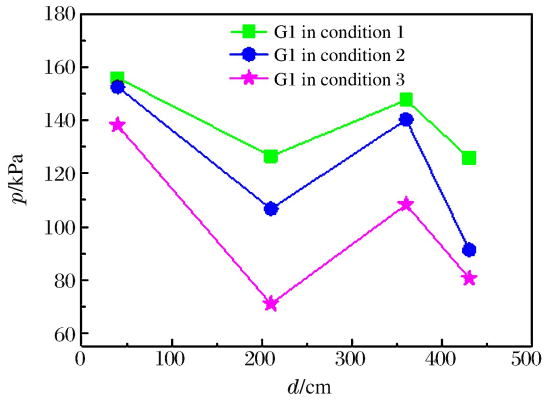

图 2　N_2 对瓦斯气样 G1 爆炸超压的影响

Fig. 2　Influence of N_2 on explosion overpressure of mine gas G1

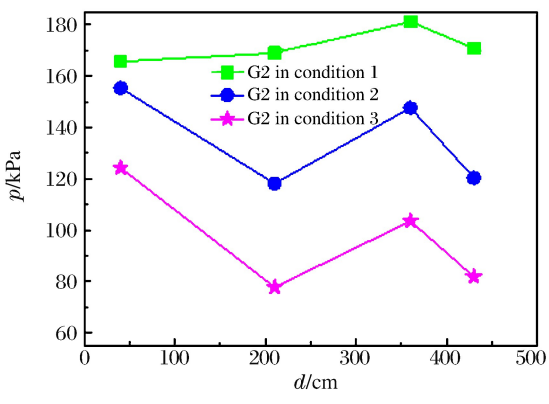

图 3　N_2 对瓦斯气样 G2 爆炸超压影响

Fig. 3　Influence of N_2 on explosion overpressure of mine gas G2

表 1　在气样 G1、G2、G3 充入不同比例 N_2 后瓦斯气体组分

Table 1　Gas composition after filling different proportion of N_2 in samples G1, G2, G3

编号	工况 1	工况 2	工况 3
G1	7.00%CH_4-19.53%O_2-73.47%N_2	6.42%CH_4-17.92%O_2-75.66%N_2	6.14%CH_4-17.13%O_2-76.73%N_2
G2	9.40%CH_4-19.03%O_2-71.57%N_2	8.62%CH_4-17.46%O_2-73.92%N_2	8.25%CH_4-16.55%O_2-75.20%N_2
G3	10.20%CH_4-18.86%O_2-70.94%N_2	9.36%CH_4-17.30%O_2-73.34%N_2	8.95%CH_4-16.54%O_2-74.51%N_2

与工况 1 下的瓦斯爆炸超压相比，瓦斯气样 G1～G3 各测点的瓦斯爆炸超压均在工况 3 条件下降至最低。其中气样 G1 的爆炸超压分别下降了 17.84、55.55、39.36、45.15 kPa，降幅分别为 11.44%、43.91%、26.67%、35.91%；气样 G2 的爆炸超压分别下降了 41.37、91.27、77.71、89.09 kPa，降幅分别为 24.97%、54.01%、42.88%、52.13%；气样 G3 的瓦斯爆炸超压分别下降了 29.56、130.95、98.91、126.45 kPa，降幅分别为 20.51%、90.54%、73.13%、97.40%。通过对爆炸超压值降低量及降幅的分析可知，本实验体系中，N_2 对气样 G3 爆炸的抑制效果最为明显。

图 5 为瓦斯气样 G1～G3 在工况 2 下的瓦斯爆炸超压曲线。从图 5 可以看出，当瓦斯气样中 CH_4 浓度由 7.00%提高到 9.40%时，各测点处的瓦斯爆炸超压均有明显的上升。其中测点 4(d=430 cm)处超压值的增加量最大，其值为 29.19 kPa，升幅为 32.01%；测点 1(d=40 cm)处超压值的增加量最小，其值为 2.79 kPa，升幅为 1.83%。而当瓦斯气样中 CH_4 浓度为 10.20%时，各测点处的瓦斯爆炸超压均显著下降(相比于 CH_4 浓度为 7.00%的情况)。其中测点 2(d=210 cm)处爆炸超压降低了 15.90 kPa，降幅为 14.92%；测点 3(距离点火端水平距离为 360 cm)处超压值降低 16.04 kPa，降幅为 11.44%。图 6 为瓦斯气样 G1～G3 在工况 3 下的瓦斯爆炸超压曲线。由图 6 可知，当瓦斯气样中 CH_4 浓度由 7.00%提高到 9.40%时，除测点 2 外，瓦斯爆炸超压均有下降，但降幅较小；但当瓦斯气样中 CH_4 浓度为 10.20%时，爆炸超压均显著下降。

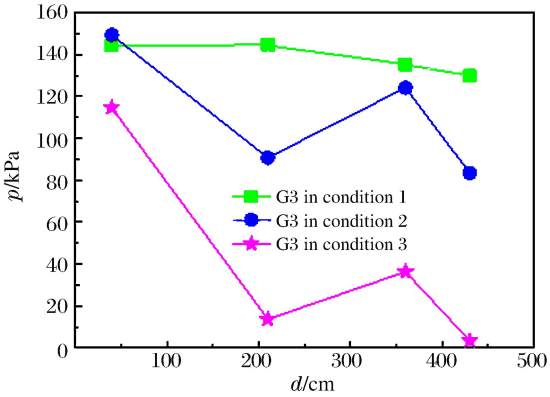

图 4 N_2 对瓦斯气样 G3 爆炸超压影响

Fig. 4 Influence of N_2 on explosion overpressure of mine gas G3

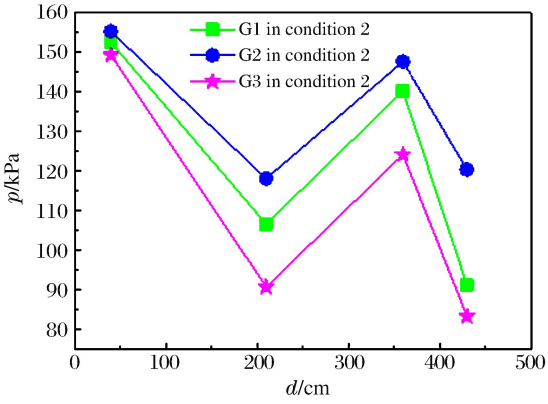

图 5 工况 2 条件下瓦斯爆炸超压

Fig. 5 Explosion overpressure of mine gas in condition 2

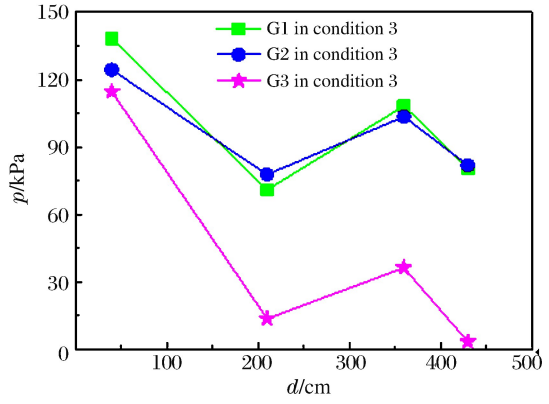

图 6 工况 3 条件下下瓦斯爆炸超压

Fig. 6 Explosion overpressure of mine gas in condition 3

分析认为，在工况 2 条件下，瓦斯气样 G1、G2 充入惰性气体 N_2 后，CH_4 和 O_2 浓度受到的影响较小，CH_4 与 O_2 等反应物仍处于较活跃的氧化反应体系中，链式反应中仍有充足的 O_2 分子和 O 基参加，因此瓦斯爆炸超压不降反升。而在工况 3 条件下，瓦斯爆炸超压除测点 2 外均下降，主要原因是注入的惰性气体 N_2 量相对工况 2 更多，较显著地影响了 CH_4 及 O_2 的浓度；并且与 G2 相比，由于 CH_4 浓度的提高，体系中 O_2 浓度相对较小，使反应中的 O_2 的体积分数减少，不能产生足够的 O 基，链式反应中有 O_2 分子和 O 基参加的支链反应数目减少，从而导致瓦斯爆炸超压明显降低。

2.2 CO_2 对瓦斯爆炸超压的影响

应用瓦斯气样 G1、G2、G3，分别在工况 1、工况 4、工况 5 条件下开展 9 组瓦斯爆炸实验，加入 CO_2

后瓦斯气体组分见表 2。与工况 1(未加入 CO_2)条件下相比，工况 4 和工况 5 条件下，原始瓦斯气样不仅浓度发生了变化，其组分也由 3 种气体变成 4 种，并且 CH_4、O_2、N_2 浓度均有所降低。

表 2 在气样 G1、G2、G3 充入不同比例 CO_2 后瓦斯气体组分

Table 2 Gas composition after filling different proportion of CO_2 in mine gas G1, G2, G3

编号	工况 1	工况 4	工况 5
G1	7.00%CH_4-19.53%O_2-73.47%N_2	6.42%CH_4-17.92%O_2-67.40%N_2-8.26%CO_2	6.14%CH_4-17.13%O_2-64.45%N_2-12.28%CO_2
G2	9.40%CH_4-19.03%O_2-71.57%N_2	8.62%CH_4-17.46%O_2-65.66%N_2-8.26%CO_2	8.25%CH_4-16.55%O_2-62.92%N_2-12.28%CO_2
G3	10.20%CH_4-18.86%O_2-70.94%N_2	9.36%CH_4-17.30%O_2-65.08%N_2-8.26%CO_2	8.95%CH_4-16.54%O_2-62.23%N_2-12.28%CO_2

随着瓦斯气样 G1～G3 中 CO_2 体积分数的增加，各测点的瓦斯爆炸超压均有明显的下降，说明 CO_2 抑制瓦斯爆炸的效果良好，如图 7～9 所示。瓦斯爆炸超压值随距点火端水平距离的变化规律与注入 N_2 的情况极其相似。与工况 1 条件下的瓦斯爆炸超压相比，瓦斯气样 G1～G3 各测点的瓦斯爆炸超压均在工况 5 下降至最低。其中气样 G1 的爆炸超压分别下降了 27.45、54.60、55.03、73.78 kPa，降幅分别为 17.60%、43.17%、37.28%、58.68%；气样 G2 的爆炸超压分别下降了 27.56、99.36、64.37、113.53 kPa，降幅分别为 16.64%、58.80%、35.52%、66.43%；气样 G3 的爆炸超压分别下降了 138.66、104.34、47.62、113.36 kPa，降幅分别为 96.20%、72.14%、35.21%、87.31%。通过对爆炸超压降低量及降幅分析可知，本实验中，CO_2 对瓦斯气样 G3 发生爆炸时的抑制效果最为明显。

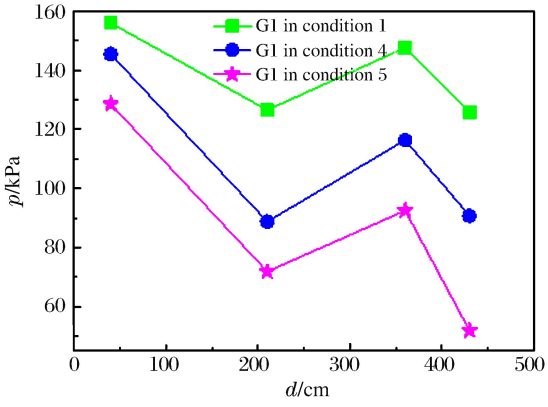

图 7 CO_2 对瓦斯气样 G1 爆炸超压的影响

Fig. 7 Influence of CO_2 on explosion overpressure of mine gas G1

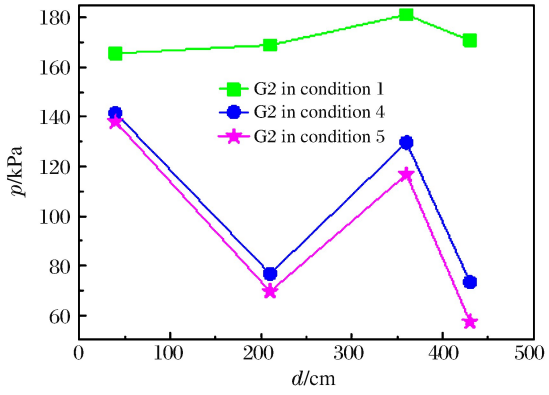

图 8 CO_2 对瓦斯气样 G2 爆炸超压的影响

Fig. 8 Influence of CO_2 on explosion overpressure of mine gas G2

图 10 给出了瓦斯气样 G1～G3 在工况 4 条件下的瓦斯爆炸超压曲线。从图 10 可以看出，当瓦斯气样中 CH_4 浓度由 7.00%增大到 10.20%时，除测点 3 处瓦斯爆炸超压上升以外，其余各测点的爆炸超压均有明显的下降，与充入 N_2(工况 2)的作用效果不同，进一步证明了 CO_2 对瓦斯爆炸的抑制效果强于 N_2，该结论与文献[5]中结论相同。略有不同的是，文献[5]中主要研究 N_2 与 CO_2 混合气体对甲烷爆炸的影响，而本文中则分别研究了惰性气体 N_2 及 CO_2 对瓦斯爆炸超压的影响，所得数据更加直接，说服力更强。

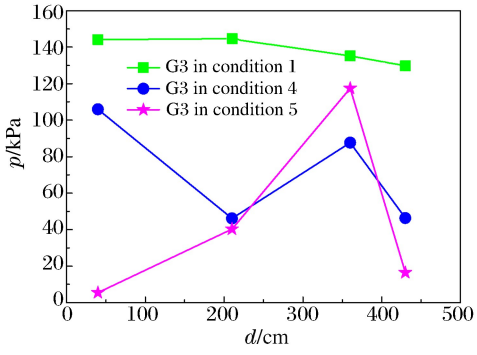

图 9 CO_2 对瓦斯气样 G3 爆炸超压的影响

Fig. 9 Influence of CO_2 on explosion overpressure of mine gas G3

图 11 为瓦斯气样 G1～G3 在工况 5 下的瓦斯爆炸超压曲线。可以看出:当瓦斯气样中 CH_4 浓度由 7.00%提高到 9.40%时,瓦斯爆炸超压均略有上升,但上升幅度远小于工况 2 中的情况;当瓦斯气样中 CH_4 浓度为 10.20%时,除测点 3 外,瓦斯爆炸超压均明显下降,作用效果与工况 2 类似。

本实验中,瓦斯爆炸超压峰值在爆源点相对较高,随后逐渐下降,然后在沿管道传播过程中逐渐增大,之后又开始下降。主要原因如下:点火源引爆瓦斯后,在爆源点附近形成球面波,在向前传播时受到管壁和薄膜限制,冲击波发生反射和叠加,导致爆炸压力急剧上升;随着冲击波冲破薄膜向前移动,反射波能量的衰减大于前驱冲击波波阵面的能量增加,压力峰值呈现短暂的下降趋势;之后,由于混合气体不断燃烧释放热量,并且放热量大于与壁面接触损失的热量,压力峰值又逐渐增大;随后,压力峰值又表现出不同程度的衰减趋势,但衰减幅度相对较小。

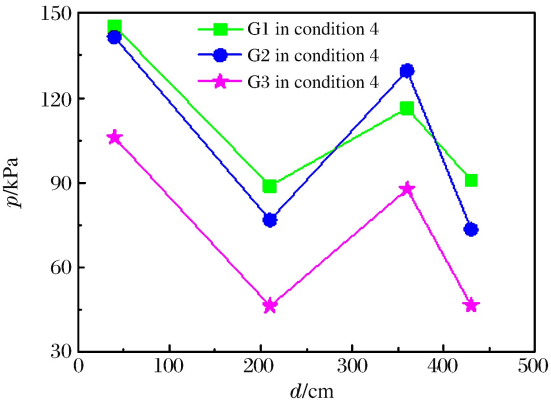

图 10 工况 4 条件下 CO_2 对瓦斯爆炸超压的影响

Fig. 10 Influence of CO_2 on explosion overpressure in condition 4

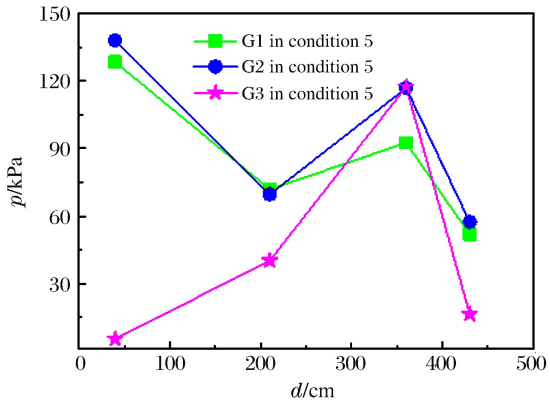

图 11 工况 5 条件下 CO_2 对瓦斯爆炸超压的影响

Fig. 11 Influence of CO_2 on explosion overpressure in condition 5

2.3 N_2 及 CO_2 抑制瓦斯爆炸的机理分析

瓦斯爆炸是甲烷与氧剧烈氧化放热反应[18],是一种复杂的"热-链式"反应,其主要反应基元步为[12]:$OH+CH_4 \rightleftharpoons CH_3+H_2O$,$H+CH_4 \rightleftharpoons CH_3+H_2$,$O+CH_4 \rightleftharpoons OH+CH_3$。在瓦斯气体中充注惰性气体,代替部分可燃气体,可以使瓦斯气体处于较低的浓度范围,这样在氧化反应中 CH_4 等可燃气体的浓度不足,不能产生足够的自由 CH_3 基和 H 基,从而使反应链的数目减小,CH_4 的氧化反应速率降低,爆炸反应不易发生。另外,惰性气体充入瓦斯气体后,瓦斯气体中 O_2 的体积分数降低,使得单位体积反应物中 O_2 分子数目的减小,同时也不能产生足够的 O 基,链式反应中有 O_2 分子和 O 基参加的支链反应数目减少,反应速率降低。

根据现代燃烧学[19]理论,惰性气体分子可作为第三体参与链式反应中三元碰撞。在较大的爆炸压力下,三元碰撞频率高于二元碰撞频率,使支链反应的活化中心浓度大大降低,大量的自由基或自由原子的能量转移到惰性气体分子上,系统反应能力降低,从而抑制爆炸传播。CO_2 密度较 N_2 大,故当其参与三元碰撞时,自由基或自由原子所携带的能量更多转移到 CO_2 分子上。此外,CO_2 还不同程度地参与其他链式反应,而 N_2 则完全不参与其他链式反应,导致二者的抑爆能力有所不同[20]。具体来说,CO_2 主要通过基元反应 $OH+CO \rightleftharpoons H+CO_2$ 参与链式反应,消耗大量的 H 自由基,同时生成大量的 CO,导致 CH_4 燃烧更加不完全,放热量减少。

3 结 论

(1) 本实验中,N_2 和 CO_2 均对较高浓度瓦斯气抑爆效果更为显著。

(2) 与 N_2 相比,CO_2 的抑爆性能更好,可使瓦斯爆炸超压显著降低,最大降幅可达 96.20%。

(3) 在瓦斯气样中充注 N_2 或 CO_2,可以降低反应物浓度,抑制自由基的解离,降低反应活化中心的浓度,从而降低瓦斯爆炸的剧烈强度。

参考文献：

[1] 景国勋，乔奎红，王振江，等. 瓦斯爆炸中的火球伤害效应[J]. 工业安全与环保，2009，35(3)：37-38.
Jing Guoxun，Qiao Kuihong，Wang Zhenjiang，et al. The fireball effect of injury in gas explosion[J]. Industrial Safety and Environmental Protection，2009，35(3)：37-38.

[2] 余明高，梁栋林，徐永亮，等. 荷电细水雾抑制瓦斯爆炸实验研究[J]. 煤炭学报，2014，39(11)：2232-2238.
Yu Minggao，Liang Donglin，Xu Yongliang，et al. Experimental study on inhibiting the gas explosion by charged water mist[J]. Journal of China Coal Society，2014，39(11)：2232-2238.

[3] 刘玉泉，林树山，韩宝东. 小距离煤层注氮防火抑爆技术[J]. 煤炭技术，2004，23(4)：66-67.
Liu Yuquan，Lin Shushan，Han Baodong. Technology of fire prevention and restrain blast with injecting nitrogen used in small distance seam[J]. Coal Technology，2004，23(4)：66-67.

[4] 邓军，程超，吴晓春. 煤矿可燃性气体爆炸氧浓度的实验研究[J]. 煤矿安全，2007，38(6)：5-7.
Deng Jun，Cheng Chao，Wu Xiaochun. Experimental study on explosive oxygen concentration of coal mine combustive gases[J]. Safety in Coal Mines，2007，38(6)：5-7.

[5] 钱海林，王志荣，蒋军成. N_2/CO_2 混合气体对甲烷爆炸的影响[J]. 爆炸与冲击，2012，32(4)：445-448.
Qian Hailin，Wang Zhirong，Jiang Juncheng. Influence of N_2/CO_2 mixture on methane explosion[J]. Explosion and Shock Waves，2012，32(4)：445-448.

[6] 丛北华，齐飞，廖光煊，等. 三氟甲烷抑制 CH_4/O_2 低压预混平面火焰的实验研究[J]. 科学通报，2005，50(16)：1789-1793.
Cong Beihua，Qi Fei，Liao Guangxuan，et al. Experimental study on the suppression of CH_4/O_2 low pressure premixed planar flame by fluoroform[J]. Chinese Science Bulletin，2005，50(16)：1789-1793.

[7] 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.
Nie Baisheng，He Xueqiu，Zhang Jinfeng，et al. Effect of foam ceramics upon gas explosion flame propagation[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology，2008，28(7)：573-576.

[8] 聂百胜，何学秋，张金锋，等. 泡沫陶瓷对瓦斯爆炸过程影响的实验及机理[J]. 煤炭学报，2008，33(8)：903-907.
Nie Baisheng，He Xueqiu，Zhang Jinfeng，et al. The experiments and mechanism of foam ceramics affecting gas explosion process[J]. Journal of China Coal Society，2008，33(8)：903-907.

[9] 蔡周全，张引合. 干粉灭火剂粒度对抑爆性能的影响[J]. 矿业安全与环保，2001，28(4)：14-16.
Cai Zhouquan，Zhang Yinhe. The effect of granularity of dry powder fire extinguishing agent on the explosion suppression performance[J]. Mining Safety and Environmental Protection，2001，28(4)：14-16.

[10] 范宝春，谢波，张小和，等. 惰性粉尘抑爆过程的实验研究[J]. 流体力学实验与测量，2001，15(4)：20-25.
Fan Baochun，Xie Bo，Zhang Xiaohe，et al. Experimental research on explosion suppression by inert particles[J]. Experiments and Measurements in Fluid Mechanics，2001，15(4)：20-25.

[11] 谢波，范宝春. 大型管道中主动式粉尘抑爆现象的实验研究[J]. 煤炭学报，2006，31(1)：54-57.
Xie bo，Fan Baochun. Study on active explosion suppression by powder in large scale duct[J]. Journal of China Coal Society，2006，31(1)：54-57.

[12] 贾宝山，温海燕，梁运涛，等. 煤矿巷道内 N_2 及 CO_2 抑制瓦斯爆炸的机理特性[J]. 煤炭学报，2013，38(3)：361-366.
Jia Baoshan，Wen Haiyan，Liang Yuntao，et al. Mechanism characteristics of CO_2 and N_2 in habiting methane explosions in coal mine roadways[J]. Journal of China Coal Society，2013，38(3)：361-366.

[13] Bundy M，Hamins A，Lee K Y. Suppression limits of low strain rate non-premixed methane flames[J]. Combustion and Flame，2003，133(3)：299-310.

[14] 邱雁，高广伟，罗海珠. 充注惰气抑制矿井火区瓦斯爆炸机理[J]. 煤矿安全，2003，34(2)：8-9.
Qiu Yan，Gao Guangwei，Luo Haizhu. Mechanism of pumping inert gas into mine fire area for inhibition of methane explosion[J]. Safety in Coal Mines，2003，34(2)：8-9.

[15] 周福宝，王德明，章永久，等. 含氮气三相泡沫惰化火区的机理及应用研究[J]. 煤炭学报，2005，30(4)：443-446.
Zhou Fubao，Wang Deming，Zhang Yongjiu，et al. Study on mechanism and application nitrogen fixation of three-

phase foam[J]. Journal of China Coal Society, 2005,30(4):443-446.

[16] 陆守香,何杰,于春红,等.水抑制瓦斯爆炸的机理研究[J].煤炭学报,1998,23(4):417-420.
Lu Shouxiang, He Jie, Yu Chunhong, et al. Mechanism of gas explosion supperssion by water[J]. Journal of China Coal Society, 1998,23(4):417-420.

[17] 贾宝山,温海燕,李宗翔.煤矿巷道内 N_2 及 H_2O 抑制瓦斯爆炸的机理特性研究[J].自然灾害学报,2013,22(5):269-276.
Jia Baoshan, Wen Haiyan, Li Zongxiang. Study on mechanism characteristic of N_2 & H_2O on inhibiting gas explosion in coal mine tunnel[J]. Journal of Natural Disasters, 2013,22(5):269-276.

[18] Andrew E L, Robert J K, James A M. SENKIN: A Fortran program for predicting homogeneous gas phase chemical kinetics with sensitivity analysis: SAND-87-8248 [R]. Livermore: Sandia National Laboratory, 1988.

[19] 严传俊,范玮.燃烧学[M].西安:西北工业大学出版社,2005.

[20] 李成兵,吴国栋,周宁,等.$N_2/CO_2/H_2O$ 抑制甲烷燃烧数值分析[J].中国科学技术大学学报,2010,40(3):288-293.
Li Chengbing, Wu Guodong, Zhou Ning, et al. Numerical analysis of methane combustion suppression by $N_2/CO_2/H_2O$[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2010,40(3):288-293.

Experimental study on coal mine gas explosion suppression with inert gas N_2/CO_2

Zhang Yingxin[1], Wu Qiang[1], Liu Chuanhai[1], Jiang Bingyou[2], Zhang Baoyong[1]

(1. *School of Safety Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin* 150022, *Heilongjiang, China*;
2. *School of Mining and Safety Engineering, Anhui University of Science and Technology, huainan* 232001, *Anhui, China*)

Abstract: To determine the effect of inert gas (N_2 and CO_2) on the process of mine gas explosion, we carried out mine gas explosion experiments in a medium-size pipe with the volume fractions of N_2 or CO_2 filled in three components of mine gas samples which were respectively 0%, 9% and 14%, and successfully obtained the explosion suppression characteristics of N_2 and CO_2. Then we conducted comparative analysis of the explosion overpressure histories and explosion suppression capacity of inert gas N_2 and CO_2 in the gas explosion process. The results show that the gas explosion overpressure decreases significantly with the increase of N_2 or CO_2 volume fraction in the mixed gases, and the explosion suppression capacity of CO_2 is better than that of N_2. Moreover, the explosion suppression effect of N_2 and CO_2 is much more obvious when the gas sample has a higher CH_4 concentration.

Keywords: gas explosion; inert gas; explosion suppression; explosion overpressure

(责任编辑 王玉锋)