

文章编号:0253-9993(2013)03-0361-06

煤矿巷道内 N_2 及 CO_2 抑制瓦斯爆炸的机理特性

贾宝山^{1,2}, 温海燕^{1,3}, 梁运涛⁴, 王小云¹

(1. 辽宁工程技术大学 安全科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室, 辽宁 阜新 123000; 3. 长春建筑学院 城建学院, 吉林 长春 130607; 4. 中国煤炭科工集团 沈阳研究院 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:为探求煤矿巷道内惰性气体(氮气及二氧化碳)对瓦斯预混合爆炸的影响,采用详细反应机理(包括53种组分、325个反应),运用化学动力学计算软件CHEMKin 3.7中PREMIX程序包,建立巷道内瓦斯爆炸过程的数学模型。通过数值计算,对比了 N_2 及 CO_2 对瓦斯爆炸过程中反应物、自由基、爆炸后产生的主要致灾性气体的浓度以及甲烷总消耗速率等变化的影响,分析 N_2 及 CO_2 对瓦斯爆炸反应过程影响的异同。计算结果表明,在相同体积分数下, CO_2 比 N_2 更能有效地降低体系中的活化中心浓度和爆炸中所生成致灾性气体CO,NO的浓度,因此 CO_2 在抑制瓦斯爆炸作用方面比 N_2 的效果更为明显。

关键词:煤矿巷道;瓦斯爆炸;机理特性;数值计算

中图分类号:TD712.7 **文献标志码:**A

Mechanism characteristics of CO_2 and N_2 inhibiting methane explosions in coal mine roadways

JIA Bao-shan^{1,2}, WEN Hai-yan^{1,3}, LIANG Yun-tao⁴, WANG Xiao-yun¹

(1. College of Safety Science & Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters & Control of Ministry of Education, Fuxin 123000, China; 3. Urban Institute, Changchun Architecture & Civil Engineering College, Changchun 130607, China; 4. State Key Laboratory of Coal Mine Safety Technology, Shenyang Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group Corp., Shenyang 110016, China)

Abstract: In order to determine the effect of inert gas (N_2 and CO_2) on the process of methane premixed explosion in coal mine roadways, the detailed reaction mechanisms (include 53 mixtures, and 325 reactions) were investigated in this study. The mathematical model of methane explosion in the coal mine roadway was developed using the PREMIX code of CHEMKin 3.7 chemical kinetics packages. Through numerical computation, the change currents of reactant and free radical concentration, catastrophic gases generated from methane explosion and total consumption rate of methane were compared, due to the effect of N_2 and CO_2 on methane explosions, and the similarities and differences were also analyzed. The results show that CO_2 is more effective than N_2 in lowering the concentration of activation center during the reaction system and main catastrophic gases of CO and NO resulting from methane explosion. Therefore, it concludes that: CO_2 is more effective than N_2 in inhibiting methane explosion.

Key words: coal mine roadway; methane explosion; mechanism characteristics; numerical computation

瓦斯爆炸就其本质来说,是一定浓度的甲烷和空气中的氧气在一定能量的作用下所发生的激烈氧化反应,是煤矿重大灾害之一。近年来,随着我国煤炭产量的增加,国民经济对于煤炭能源的需求越来越

大,瓦斯爆炸事故时有发生^[1]。研究瓦斯爆炸机理、探索瓦斯爆炸发展过程等,对于有效地防治矿井瓦斯爆炸事故的发生和煤矿安全生产具有十分重要的意义^[2-3]。

收稿日期:2012-03-05 责任编辑:张晓宁

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51174109,51074086)

作者简介:贾宝山(1972—),男,河北阜平人,教授,博士生导师,博士。Tel:0418-3350124, E-mail:jbs1972@126.com。通讯作者:温海燕(1986—),女,辽宁本溪人,硕士研究生。E-mail:wenhaiyanfly@163.com

用充注惰性气体的方法来抑制矿井火区瓦斯爆炸一直以来得到人们的广泛关注^[4],成为解决这个问题有效的技术途径。实践证明,现场技术人员对惰性气体抑制瓦斯爆炸技术的理解缺乏基本的理论指导,仅凭借经验往往会导致失败。因此,研究惰性气体抑制矿井瓦斯爆炸的机理,对提高惰性气体的抑爆技术水平,增强抑爆救灾的能力具有实际意义^[5-6]。因此对瓦斯爆炸反应动力学的探究已成为国内外关注的重点。如林柏泉等^[2,7-8]对瓦斯爆炸的反应机理及其热力学特性进行了理论和实验研究。本文从瓦斯爆炸过程的化学反应动力学机理方面,对氮气^[9]和二氧化碳在瓦斯爆炸过程中的抑制机理^[10]进行研究对比,为从反应机理方面^[11-12]预防和抑制瓦斯爆炸提供理论参考。

1 数学模型

为方便计算,从实际出发,可忽略巷道内组分与能量的径向扩散,仅对瓦斯爆炸时沿轴向方向的温度、各组分浓度的变化趋势进行计算^[13-14],控制方程如下:

$$\dot{M} = \rho u A \quad (1)$$

$$\dot{M} \frac{dT}{dx} - \frac{1}{c_p} \frac{d}{dx} \left(\lambda A \frac{dT}{dx} \right) + \frac{A}{c_p} \sum_{i=1}^{k_g} \rho Y_i V_i c_{pi} \frac{dT}{dx} + \frac{A}{c_p} \sum_{i=1}^{k_g} \dot{w}_i h_i W_i = 0 \quad (2)$$

$$\dot{M} \frac{dY_i}{dx} + \frac{d}{dx} (\rho A Y_i V_i) - A \dot{w}_i W_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, k_g) \quad (3)$$

其中,反应速度 \dot{w}_i 满足

$$\dot{w}_i = \sum_{k=1}^{N_g} v_{ik} k_{fk} \prod_{j=1}^{k_g} (X_j)^{\nu_{jk}} \quad (i = 1, 2, \dots, k_g) \quad (4)$$

化学反应速率常数 k_{fk} 为

$$k_{fk} = A_k T^{\beta_k} \exp\left(\frac{-E_{ak}}{RT}\right) \quad (k = 1, 2, \dots, N_g) \quad (5)$$

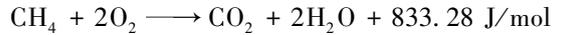
$$\rho = \frac{p \bar{W}}{RT} \quad (6)$$

式中, \dot{M} 为质量流率, kg/s; T 为温度, K; Y_i , W_i , h_i , V_i , \dot{w}_i 分别为第 i 种组分的质量分数(%), 摩尔质量(g/mol)、比焓(J/kg)、扩散速率(kmol/(m²·s))、反应速率(mol/(cm³·s)); λ , c_p 分别为混合物导热系数、定压比热容(J/(kg·k)); u , ρ 分别为混合物流体流速(m/s)、密度(kg/m³); A 为包围火焰的管道横截面积, m²; v_{ik} 为第 i 种组分在第 k 个基元反应中逆反

应与正反应的化学当量系数之差, $v_{ik} = v_{ik}'' - v_{ik}'$, v_{ik}' , v_{ik}'' 为 v_{ik} 的一阶和二阶导数; X_j 为第 j 组分的摩尔浓度; A_k , β_k 及 E_{ak} 为第 k 反应步中的指前因子(s⁻¹)、温度指数及反应活化能(J/mol); k_g , N_g 分别为组分总数和反应步总数; p 为压力, Pa; \bar{W} 为混合物平均分子量, g/mol; R 为通用气体常数, J/(mol·k)。

2 化学反应机理

瓦斯爆炸是一个极其复杂的过程,在瞬间可产生和积聚大量能量,从而形成高温、高压爆源,并以极快的速度向外传播,该过程本质上是一种热-链式连锁反应过程^[15]。瓦斯爆炸的最终化学反应式可表示为



计算采用美国 Lawrence Livermore 国家实验室的甲烷燃烧化学动力学的详细反应机理 GRI-Mech 3.0^[16],其中包括 53 种组分,325 个反应,该反应机理是国际上公认的、可靠的甲烷燃烧详细机理。该机理针对当量比 0.1 ~ 5.0、温度 1 000 ~ 2 000 K、压力 1.333 ~ 1.01×10³ kPa 等范围内的甲烷燃烧做了专门的优化^[17]。

利用上述的详细化学反应机理,采用 CHEMKIN 软件包中的 PREMIX 子程序对瓦斯预混气体进行计算。PREMIX 程序可以对系统质量守恒、能量守恒以及组分守恒方程联立求解,其采用有限差分法,其中使用 CHEMKIN 软件包中的数据库和子程序库处理化学反应动力学机理与流动计算中涉及到的热力学参数、输运参数、有限反应速率等,程序流程如图 1 所示。

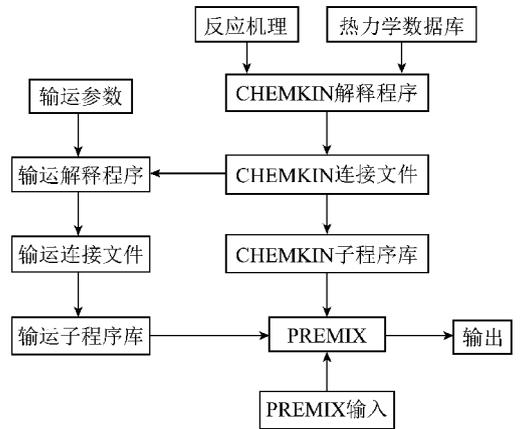


图 1 PREMIX 程序流程

Fig. 1 PREMIX program flow

3 计算结果与分析

瓦斯爆炸必须具备以下 3 个条件^[16,18]:

(1) 瓦斯浓度。瓦斯爆炸的浓度界限为 5% ~

16%。

(2) 引火温度,即点燃瓦斯所需的最低温度。瓦斯的引火温度一般为 650~750℃。

(3) 足够的含氧量。混合气体中含氧量低于 12% 时,瓦斯就会失去爆炸性。

本文采用巷道外增设高温层代替高温热源,设定测点间的距离为 4 cm,用 X 表示,其温度变化趋势如图 2 所示。

对巷道中瓦斯爆炸的 3 种工况进行数值计算,见表 1。在计算中,利用提高混合气体初始温度的方法来代替高温热源,工况 1 为正常的瓦斯-空气混合物(即没有充注额外的惰性气体),混合气体体积设为整体 1,根据瓦斯爆炸的浓度界限,首先设 CH₄ 的体积分数为定值 0.090, O₂ 和 N₂ 的体积分数按照空气

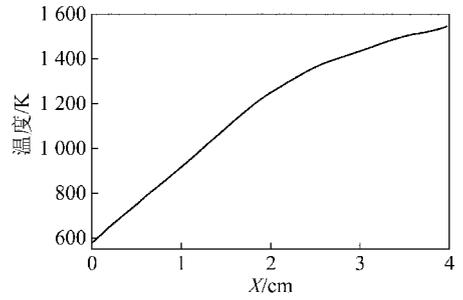


图2 巷道外高温层温度变化趋势

Fig. 2 Temperature changing trend of high temperature layer outside the roadway

中的体积比 21:78 求得;工况 2 为混合气中增加了 10% 的 N₂;工况 3 为混合气中增加了 10% 的 CO₂, O₂ 和 N₂ 的体积分数则始终按照体积比 21:78 求得,并依次计算出 CH₄ 的体积分数,如图 2 所示。

表 1 初始计算工况

Table 1 Initial computation conditions

工况	初始温度/K	最高温度/K	CH ₄ 体积分数	O ₂ 体积分数	N ₂ 体积分数	CO ₂ 体积分数	质量流量/(g·(cm ² ·s) ⁻¹)
1	575	1 550	0.090	0.191	0.719	0	4.63×10 ⁻³
2	575	1 550	0.081	0.172	0.747	0	4.63×10 ⁻³
3	575	1 550	0.081	0.172	0.647	0.1	4.63×10 ⁻³

3.1 N₂ 及 CO₂ 对反应物浓度变化的影响

从图 3 可以看出,3 种工况下,在距离入口 1.3 cm 左右, O₂ 与 CH₄ 的摩尔分数均急剧下降,同时在距离巷道入口处 2.1 cm 左右时, CH₄ 摩尔分数下降为 0。在距离巷道入口处 2.3 cm 左右时,氧气摩尔分数下降到 1% 左右并保持不变,由此可见, N₂ 及 CO₂ 的存在对瓦斯爆炸过程中的反应物摩尔分数的影响较小。

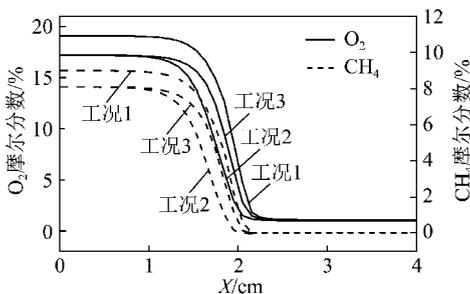


图3 N₂ 及 CO₂ 对反应物摩尔分数的影响

Fig. 3 Effect of N₂ and CO₂ on the changing trend of reactant mole fraction

3.2 N₂ 及 CO₂ 对自由基浓度变化的影响

在表 1 给定的计算工况下,爆炸前瞬间,体系内的反应物将解离出高活性的自由基 H, O 等。这些自由基在热-链式反应中形成了化学反应的活化中心,

其浓度变化直接影响瓦斯爆炸及其强度,因此,控制活化中心的浓度能够对瓦斯爆炸起到抑制作用并降低爆炸强度。

从图 4 可以看出,在瓦斯发生爆炸前的瞬间, H, O 自由基的摩尔分数急速上升,形成极高浓度的反应活化中心,最后导致瓦斯爆炸。瓦斯爆炸后,反应的部分链载体被销毁, H, O 自由基的摩尔分数急速下降。当瓦斯混合气中含有 10% 的 N₂ (工况 2) 时,与工况 1 相比, H, O 自由基的摩尔分数大幅下降;当瓦斯混合气中含有 10% 的 CO₂ (工况 3) 时,与工况 1 相比, H, O 自由基相比同样大幅降低,并且对比工况 2 也有一定幅度的下降。可知,在工况 2 及工况 3 条件下, CO₂ 与 N₂ 相比,能够更大程度地降低化学反应中的活化中心浓度,提高瓦斯爆炸的难度,并降低爆炸强度。

3.3 N₂ 及 CO₂ 对主要致灾性气体生成的影响

由图 5 可知,在工况 1 条件下,爆炸后致灾性气体 CO, NO 的摩尔分数分别为 2.83% 和 8×10⁻⁷;当初始混合气中含 10% 的 N₂ (工况 2) 时,爆炸后 CO 摩尔分数上升为 2.9%, NO 摩尔分数下降为 4.1×10⁻⁷;当瓦斯混合气中含有 10% 的 CO₂ (工况 3) 时,瓦斯爆炸后的致灾性气体 CO, NO 的摩尔分数分别降低为 2.58% 和 4.1×10⁻⁷,较工况 1 分别下降了 0.25% 和

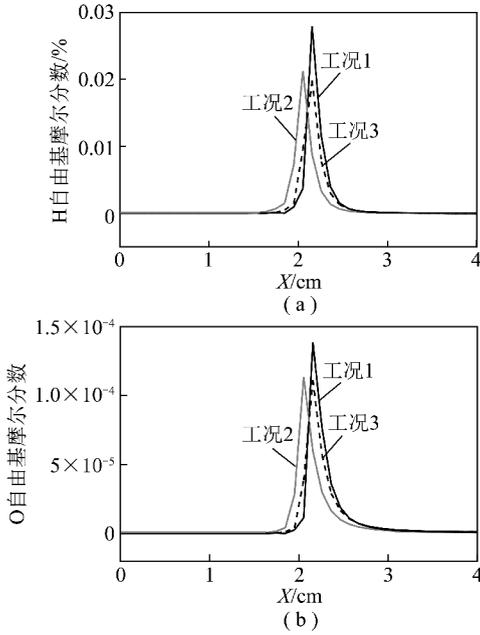


图4 N₂ 及 CO₂ 对 H 和 O 自由基摩尔分数的影响

Fig. 4 Effect of N₂ and CO₂ on the changing trend of free radical (H and O) mole fraction

3.9×10^{-7} , 较工况 2, CO 摩尔分数下降了 0.32%, NO 的摩尔分数保持不变。因此,在瓦斯混合气中充注 N₂ 虽在一定程度上抑制了 NO 的生成,却促进了 CO 的生成,而初始混合气中的 CO₂ 在一定程度上抑制了爆炸后致灾性气体 CO 及 NO 的生成,与 N₂ 相比,其抑制作用更为明显。

3.4 影响瓦斯爆炸的关键反应基元步

从图 6 可以看出,巷道内瓦斯爆炸区域主要为距离入口 1.4~2.3 cm 区域。当距离入口 1.4 cm 时,甲烷的消耗速率开始急剧加快,在 2 cm 处时达到峰值,然后,随着与入口距离的加大,消耗速率开始快速下降,2.3 cm 处时总的消耗速率基本下降为 0。

由图 6~8 可知,甲烷主要通过反应基元步 $\text{OH} + \text{CH}_4 \rightleftharpoons \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H} + \text{CH}_4 \rightleftharpoons \text{CH}_3 + \text{H}_2$ 、 $\text{O} + \text{CH}_4 \rightleftharpoons \text{OH} + \text{CH}_3$ 消耗;而通过反应步 $\text{H} + \text{CH}_3(+\text{M}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(+\text{M})$ 、 $\text{CH}_3 + \text{CH}_2 \rightleftharpoons \text{HCO} + \text{CH}_4$ 生成。

由图 6 可见,甲烷总消耗速率在 2 cm 处时达到峰值,为 $6.2 \times 10^{-5} \text{ mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$,当初始混合气中含 10% 的 N₂(工况 2)时,甲烷总消耗速率在 2 cm 处时达到峰值,为 $4.4 \times 10^{-5} \text{ mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$,较工况 1 下降了 $1.8 \times 10^{-5} \text{ mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$;当初始混合气中含 10% 的 CO₂(工况 3)时,甲烷总消耗速率在 1.9 cm 处时达到峰值,为 $3.4 \times 10^{-5} \text{ mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$,较工况 1 和工况 2 分别下降了 $2.8 \times 10^{-5} \text{ mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$ 和 $1 \times$

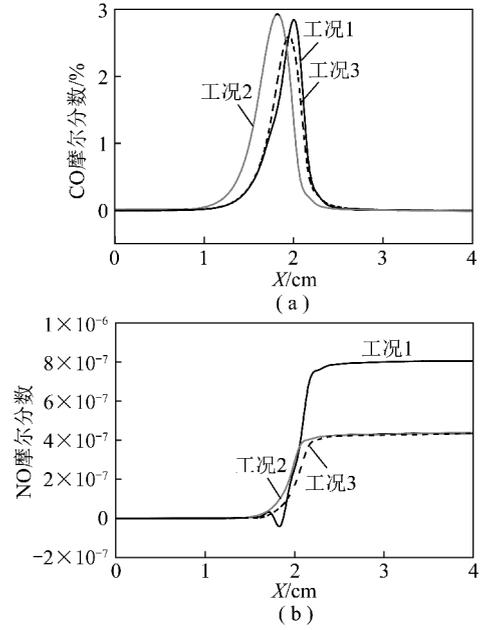


图5 N₂ 及 CO₂ 对 CO 和 NO 摩尔分数的影响

Fig. 5 Effect of N₂ and CO₂ on the changing trend of CO and NO mole fraction

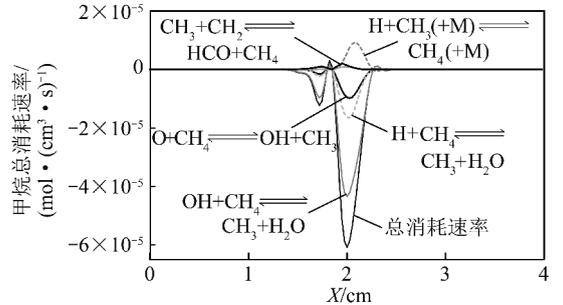


图6 影响瓦斯爆炸的关键反应基元步

Fig. 6 Effect of key reactions on the methane explosion

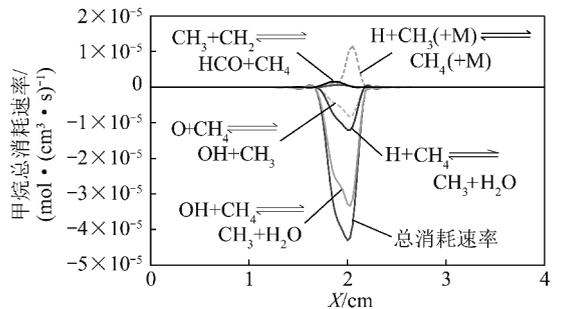


图7 N₂ 影响瓦斯爆炸的关键反应基元步

Fig. 7 Effect of N₂ on key reactions of the methane explosion $10^{-5} \text{ mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$ 。甲烷的总消耗速率得到抑制的主要原因是混合气中的 N₂ 及 CO₂ 对上述促进瓦斯爆炸的 3 个主要反应基元步抑制作用较为明显,从而降低了总的消耗速率。因此,从上述分析可以看出,混合气中含有 N₂ 及 CO₂ 时,会在一定程度上抑制瓦

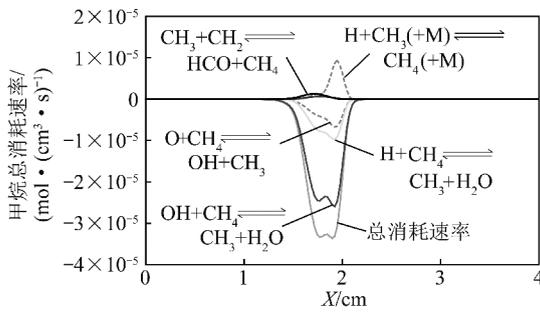


图8 CO₂ 影响瓦斯爆炸的关键反应基元步

Fig. 8 Effect of CO₂ on key reactions of the methane explosion

斯爆炸的发生,CO₂ 较 N₂ 的抑制作用更为明显。

何昆^[18]利用搭建的瓦斯爆炸试验平台,实验研究了 CO₂ 及 N₂ 对瓦斯爆炸的抑制作用,结果表明,在纯氧或空气环境中,CO₂ 的抑爆三角形面积比 N₂ 的抑爆三角形面积小,证明 CO₂ 的抑爆性能优于 N₂,这与本文的计算结果相一致。

4 结 论

(1)在瓦斯混合气中充注 N₂ 或 CO₂ 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,从而在一定程度上降低了瓦斯爆炸的强度,对瓦斯爆炸的发生起到一定的抑制作用。与 N₂ 相比,相同体积分数的 CO₂,将更大程度地降低体系中的活化中心浓度,增加瓦斯爆炸发生的难度,并降低其爆炸强度。

(2)在对爆炸后致灾性气体生成方面,同体积分数 CO₂ 比 N₂ 的抑制效果更为显著。瓦斯混合气中含有 CO₂ 时,爆炸过程中 CO,NO 的生成量比初始混合气不含 N₂ 和 CO₂ 时有明显降低,比含相同体积分数的 N₂ 时也有一定幅度的降低。

(3)促进瓦斯爆炸的主要反应基元步为:OH+CH₄ ⇌ CH₃+H₂O、H+CH₄ ⇌ CH₃+H₂、O+CH₄ ⇌ OH+CH₃;当初始混合气中含有 N₂ 及 CO₂ 时,甲烷总消耗速率得到抑制,其主要原因是 N₂ 及 CO₂ 对上述3个主要反应基元步的抑制效果比较明显,从而降低了化学反应的总消耗速率。瓦斯混合气中含有 N₂ 及 CO₂ 时,将在一定程度上抑制瓦斯爆炸的发生,且 CO₂ 的抑制作用较 N₂ 更为明显。

参考文献:

[1] 冯明,宫辉力,陈力.煤层瓦斯形成的构造地质条件及瓦斯灾害预防[J].自然灾害学报,2006,15(2):115-120.
Feng Ming, Gong Huili, Chen Li. Tectonic conditions and disaster prevention of coal-bed gas[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(2):115-120.

[2] 邓军,李会荣,杨迎,等.瓦斯爆炸微观动力学及热力学分

析[J].煤炭学报,2006,31(4):488-491.

Deng Jun, Li Huirong, Yang Ying, et al. Microcosmic dynamics and thermodynamics analysis of fire damp explosion[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(4):488-491.

[3] 李增华,林柏泉,张兰君,等.氢气的生成及对瓦斯爆炸的影响[J].中国矿业大学学报,2008,37(2):147-151.

Li Zenghua, Lin Baiquan, Zhang Lanjun, et al. Effects of hydrogen production on gas explosion[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(2):147-151.

[4] 王连聪,陈洋.封闭空间水及 CO₂ 对瓦斯爆炸反应动力学特性的影响分析[J].煤矿安全,2011,42(7):16-20.

Wang Liancong, Chen Yang. Analysis of the impact of water and CO₂ on reaction kinetic for gas explosion in enclosure space[J]. Safety in Coal Mines, 2011, 42(7):16-20.

[5] 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 suppression by water[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(4):417-420.

[6] 王华,葛岭梅,邓军.惰性气体抑制矿井瓦斯爆炸的实验研究[J].矿业安全与环保,2008,35(1):4-7.

Wang Hua, Ge Lingmei, Deng Jun. Experimental study for the inhibition of inert gas on gas explosion[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2008, 35(1):4-7.

[7] 林柏泉,翟成.煤炭开采过程中诱发的瓦斯爆炸机理及预防措施[J].采矿与安全工程学报,2006,23(1):19-22.

Lin Baiquan, Zhai Chen. Mechanism of gas explosion in coal explosion and its preventive measures[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2006, 23(1):19-22.

[8] 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):8-11.

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):8-11.

[9] 江丙友,林柏泉,朱传杰,等.瓦斯爆炸过程中火焰瞬时传播规律研究[J].中国安全科学学报,2010,20(8):96-101.

Jiang Bingyou, Lin Baiquan, Zhu Chuanjie, et al. Instantaneous flame propagation law of gas explosion[J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(8):96-101.

[10] 贾宝山,李艳红,曾文,等.定容体系中氮气影响瓦斯爆炸反应的动力学模拟[J].过程工程学报,2011,11(5):87-94.

Jia Baoshan, Li Yanhong, Zeng Wen, et al. Kinetic simulation for the effect of N₂ content on gas explosion in a constant volume system[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2011, 11(5):87-94.

[11] 梁运涛,曾文.封闭空间瓦斯爆炸与抑制机理的反应动力学模拟[J].化工学报,2009,60(7):1700-1706.

Liang Yuntao, Zeng Wen. Kinetic simulation of gas explosion and inhibition mechanism in enclosed space[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2009, 60(7):1700-1706.

[12] 贾宝山,李艳红,曾文,等.受限空间瓦斯爆炸链式反应机理的敏感性分析[J].环境工程,2011,29(S):318-323.

Jia Baoshan, Li Yanhong, Zeng Wen, et al. Sensitive analysis of

- chain reaction mechanism of gas explosion[J]. Environmental Engineering, 2011, 29(S): 318-323.
- [13] 王东武, 杜春志. 巷道瓦斯爆炸传播规律的试验研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(4): 476-481.
Wang Dongwu, Du Chunchi. Experimental study on gas explosion and propagation in a test gallery[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2009, 26(4): 476-481.
- [14] Troinai G. Effect of velocity inflow conditions on the stability of a CH₄/air jet-flame[J]. Combustion and Flame, 2009, 156(2): 539-542.
- [15] Andrew E L, Robert J K, James A M. Senkin; a fortran program for predicting homogeneous gas phase chemical kinetics with sensitivity analysis[R]. Sandia National Laboratory, 1988.
- [16] Rodat S, Abanades S, Coulie J, et al. Kinetic modeling of methane decomposition in a tubular solar reactor[J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 146(1): 120-127.
- [17] 曾文, 解茂昭. 催化燃烧中表面反应-气相反应间相互作用及其对均质压燃发动机着火特性的影[J]. 化工学报, 2006, 57(12): 2878-2884.
Zeng Wen, Xie Maozhao. Interactions between surface reactions and gas phase reactions in catalytic combustion and their influence on ignition of HCCI engine[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2006, 57(12): 2878-2884.
- [18] 何昆. 二氧化碳抑爆性能试验研究[J]. 消防科学与技术, 2011, 30(6): 476-495.
He Kun. Experiment research on the carbon dioxide controlling gas explosion[J]. Fire Science and Technology, 2011, 30(6): 476-495.

欢迎订阅 2013 年《Journal of Coal Science & Engineering (China)》杂志

《Journal of Coal Science & Engineering (China)》(煤炭学报英文版)是由中国煤炭学会主办、面向国内外公开发行的英文版煤炭科学技术方面的综合性学术刊物。主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护、煤炭经济研究等方面的科研成果和学术论文。

《Journal of Coal Science & Engineering (China)》是向世界传播我国煤炭科技的重要媒体,对加强中外科学技术交流,宣传我国煤炭科技成就,提高我国煤炭科学技术的国际地位将起到重要的作用。2009 年与国际著名的出版商德国 Springer 公司正式进行版权合作,由其独家代理海外发行。本刊被英国机电工程师学会(IEE)出版的 INSPEC 文摘数据库收录(Ei InspecWeb, 工程索引网络版),也被 Elsevier 公司的二次文献数据库 Scopus 收录。2012 年获中国科协“学会能力提升专项优秀国际科技期刊奖”资助。

《Journal of Coal Science & Engineering (China)》和《煤炭学报》是中国煤炭学会主办的两个学术刊物,它们具有不同的刊登内容和各自的特点。《Journal of Coal Science & Engineering (China)》为季刊,每期 112 页,每册国内订价 28 元,全年总订价 112 元。订阅者可直接和本编辑部联系,编辑部随时办理订阅手续。

本刊地址:北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码:100013

联系电话:(010)84262930-806

联系人:王婉洁

E-mail:mtxbwwj@tom.com, mtxb@vip.163.com