

文章编号:0253-9993(2009)03-0366-05

# Span80 在瓦斯吸收抑爆材料中的应用

张增志<sup>1,2</sup>, 谷 娜<sup>1,2</sup>, 张际飞<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国矿业大学(北京)生态功能材料研究所, 北京 100083)

**摘 要:** 设计了一种在雾化状态下快速吸收煤矿井下瓦斯气体, 降低瓦斯浓度和爆炸危险的水基瓦斯吸收材料. 该材料以水为载体, Span80 为瓦斯吸收剂, 无机盐为添加剂. 以瓦斯的主要成分甲烷作为瓦斯的模型气体, 采用顶空气相色谱法测定材料吸收甲烷的含量, 研究了 Span80 与无机盐添加剂  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaClO}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{KHCO}_3$  和  $\text{NaOH}$  复配后得到的吸收材料在雾化状态下对甲烷的吸收作用, 并用进行气体爆炸反应的爆炸罐作为模拟瓦斯爆炸的实验平台. 以爆炸后剩余甲烷的含量和爆炸过程中最高爆炸压力作为参数, 对吸收材料的抑爆效果进行初步研究. 结果表明: 该材料对甲烷的吸收效果比纯水好, 并且对甲烷与空气混合物的爆炸有一定的抑制作用; 碱性无机盐可以增加 Span80 在水中的分散性, 增加甲烷与吸收剂的接触面积, 其在水中形成的混合胶束可增溶甲烷.

**关键词:** Span80; 瓦斯; 雾化吸收; 抑爆材料; 表面活性剂

**中图分类号:** TD712 **文献标识码:** A

## The application of Span80 in methane absorption and explosion suppression material

ZHANG Zeng-zhi<sup>1,2</sup>, GU Na<sup>1,2</sup>, ZHANG Ji-fei<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Mine Safety, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Ecological and Functional Material, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** A kind of water-based absorption material was designed, which could decrease the concentration of mine gas by absorbing methane under atomization condition and reduce the explosion hazard. The material is composed of water as matrix, Span80 as methane absorbent, and inorganic salt as additive. Methane the main component of mine gas was used as a model of mine gas. The absorption of methane-absorption materials with different proportion of Span80 and inorganic salts such as  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaClO}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{KHCO}_3$  and  $\text{NaOH}$  were studied. And using head space gas chromatography to determine the content of methane absorbed. The explosion suppression effects of absorption materials were studied tentatively in explosion chamber using the maximum explosion pressure and residual methane content after explosion as parameters. The results indicate that the absorption material can absorb more methane than water and can partly inhibit the explosion of the mixture of methane and air; alkaline inorganic salt can improve the dispersion of Span80 in water, thus increasing the contact area of methane and Span80; Span80-inorganic salt mixed micelle can solubilize methane.

**Key words:** Span80; gas; atomization absorption; explosion suppression material; surfactant

目前防治瓦斯爆炸的关键是控制矿井各区域的瓦斯浓度, 使其远低于瓦斯爆炸极限<sup>[1]</sup>, 可采用强化

矿井通风技术和瓦斯抽放技术,或使用煤层注水等方法预防瓦斯突出<sup>[2-6]</sup>。另外可在可能发生瓦斯爆炸的区域,设置隔爆水槽棚和岩粉棚,作为抑制瓦斯爆炸灾难的辅助措施,当瓦斯爆炸冲击波经过时,其被爆炸波掀翻,棚中的水和惰性岩粉可吸收爆炸能量从而抑制爆炸火焰的传播<sup>[7-8]</sup>。隔爆抑爆装置或技术对于爆炸信号识别和响应的准确性是达到良好抑爆效果的必要条件,然而抑爆材料本身的性能及其抑爆作用机制也与抑爆效果密切相关。提出一种水基瓦斯阻爆材料的设计思想,该材料以水为基体,主要添加剂成分为瓦斯复合吸附剂和抑爆剂,当矿井下瓦斯突出或短时瓦斯超浓度时,瓦斯复合吸附剂可吸收瓦斯,降低瓦斯的浓度,而后与通风技术结合,最大限度地降低爆炸的可能性。

表面活性剂因其增溶作用和良好润湿性能在瓦斯治理方面有重要的应用,目前主要应用在瓦斯水合物的合成<sup>[9-12]</sup>和煤层注水防止瓦斯突出<sup>[4-6]</sup>的研究。本文对快速瓦斯吸收材料进行初步研究,提出了以表面活性剂为吸收材料的主要成分,以无机盐作为添加剂材料的设计思想。由于瓦斯的主要成分为甲烷,因此以甲烷作为瓦斯的模型气体,研究了雾化 Span80 复合吸收材料对甲烷的吸收效果,并在爆炸罐中以甲烷和空气混合物的爆炸来模拟瓦斯爆炸,对 Span80 复合材料的抑爆效果进行了初步研究。

## 1 实验部分

### 1.1 实验装置

#### 1.1.1 雾化吸收装置

为了使瓦斯吸收材料与瓦斯充分接触,增加吸收效率,需把瓦斯吸收材料雾化后喷射在充满瓦斯的容器内。因此设计了简易雾化吸收装置,如图1所示。通过泵抽取盛液容器中的溶液同时对液体进行加压,压力液体通过雾化喷嘴喷射在密闭的充满甲烷气体的容器内进行吸收实验。甲烷吸收容器是体积为2.5 L的玻璃瓶,用于液体加压的压力泵的型号是1WZB-65A型漩涡自吸电泵,雾化喷嘴为空心圆锥喷嘴,型号为1/4PZ05100KZ,喷射角为100°,流量计的型号为LZB-6型。

#### 1.1.2 爆炸装置

爆炸装置主要由进气、爆炸罐、点火、压力数据采集和雾化装置5部分组成,其构成如图2所示。主要爆炸装置为20 L钢质爆炸罐,如图3所示,火花塞点火系统密封安装在爆炸罐中心部位,产生电火花引爆混合气体。压力数据采集系统由压力传感器、数据采集及记录系统组成。传感器选用昆仑海岸生产的JYB-KP系列防爆型压力传感器,供电电源为24 V,分析精度为0.5%,压力量程为0~2 MPa,数据采集卡为北京阿尔泰生产的PCI2300。

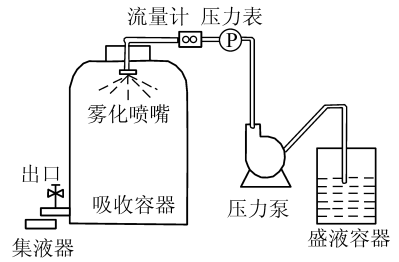


图1 雾化吸收装置

Fig. 1 The atomization absorption apparatus



图2 爆炸装置

Fig. 2 The explosion apparatus



图3 爆炸罐

Fig. 3 Laboratory explosion chamber

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 吸收试验

根据试验要求制备所需浓度的吸收材料,试验时将配制好的吸收材料置于盛液容器中,压力泵抽取吸

收材料经喷嘴得到雾化吸收材料；调节管路中流体的流量为 50 L/h，当喷雾状态稳定后，向充满甲烷的容器中喷射吸收液，喷雾时间为 15 s，吸收甲烷后的液体从排液口流出，并由集液器收集，对液体进行气相色谱分析，分析吸收液中甲烷的含量。每次试验时管路中具有相同的流量，并且喷雾吸收时间相同，以便比较不同配比吸收材料的吸收效果。

### 1.2.2 爆炸试验

利用爆炸罐装置在实验室中模拟瓦斯爆炸。利用流量计通过控制时间使爆炸罐中形成甲烷浓度约为 12.5% 的爆炸性混合气体，然后向罐内喷射一定量的吸收材料，30 s 后点燃。通过压力数据采集系统，记录爆炸过程中的压力变化，爆炸完成后采集爆炸罐中反应后的气体，进行气相色谱分析，分析剩余气体中甲烷的含量。

### 1.3 分析方法

使用美国安捷伦 HP-7694E 顶空自动进样器及美国安捷伦 HP-6890 气相色谱仪配备氢火焰离子化检测器 (FID) 测量甲烷吸收试验吸收液中甲烷的浓度。顶空进样器加热箱温度为 40 °C，阀箱温度为 120 °C，管路温度为 100 °C (3.0 min)。气相色谱仪使用 HP-FFAP 弹性毛细管柱 (30 m × 0.32 mm, 0.25 μm)，柱温为 50 °C 恒温。色谱操作条件：汽化室温度 100 °C，检测室温度 120 °C，空气流量 450 mL/min，H<sub>2</sub> 流量 50 mL/min，进样量 1 mL，N<sub>2</sub> 流量 40 mL/min。使用北京东西电子生产的 GC4000A 气相色谱仪测量爆炸后气体组分中甲烷的含量，汽化温度和氢焰温度均设为 150 °C。

## 2 试验结果及讨论

### 2.1 雾化 Span80 复合吸收材料吸收甲烷的试验结果

#### 2.1.1 Span80 与添加剂复配吸收甲烷的效果

制备了添加剂浓度为 1%，不同质量分数的 Span80 与添加剂的复合吸收材料，进行吸收甲烷的实验。试验分别用 NaHCO<sub>3</sub>，NaClO，CH<sub>3</sub>COONa，KHCO<sub>3</sub> 和 NaOH 与 3 种浓度 Span80 制备了复合吸收材料，并进行吸收试验，添加剂与表面活性剂复配的实验结果如图 4 所示。

由实验数据看出，Span80 与添加剂复配后得到的复合材料对甲烷的吸收效果好于纯水吸收甲烷的效果。添加剂与 Span80 复配的效果为 NaClO > NaHCO<sub>3</sub> > CH<sub>3</sub>COONa > KHCO<sub>3</sub> > NaOH。此结果表明，用添加剂与表面活性剂复配来设计瓦斯吸收材料具有一定的可行性。

#### 2.1.2 吸收甲烷原理分析

表面活性剂 Span80 属于油溶性表面活性剂，在水中以分散状态存在，根据“相似相溶”的原理，油溶性 Span80 对甲烷的吸收能力比纯水强，因而水中加入 Span80 后对甲烷的吸收能力增强。试验中发现在 Span80 水溶液中加入无机盐后，Span80 在水溶液中的分散趋于均匀化，与甲烷的接触面积变大，因而吸收甲烷的能力增强。当 Span80 在水溶液中的分散性增强后，有可能形成胶束，胶束的疏水内核具有增溶甲烷的能力。另外通过状态实验发现，Span80 在碱性无机盐溶液中的分散状态好于其在中性无机盐中的分散状态，因此，笔者推测 Span80 在碱性条件下发生部分水解，在溶液中形成了水解产物与 Span80 的混合胶束，对甲烷具有较好的吸收作用。从图 4 的试验数据可看出，碱性较强的 KHCO<sub>3</sub> 和 NaOH 与 Span80 的复配对甲烷的吸收效果反而没有与其它的盐复配吸收效果好，因此，对于 Span80 与盐复配后得到的水基材料的微观状态和吸收甲烷的原理，还有待进一步研究。

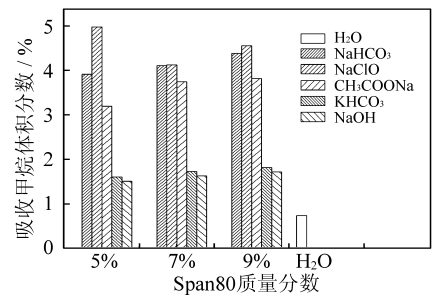


图 4 添加剂对吸收甲烷的影响

Fig. 4 Effect of inorganic salt on methane absorption

## 2.2 Span80 复合吸收材料抑爆实验结果

上述实验结果表明,由 Span80 和无机盐复配得到的水基瓦斯吸收材料可有效地吸收甲烷.因此,如将瓦斯吸收材料喷入充满瓦斯的空问,可以降低瓦斯的浓度,从而对瓦斯爆炸有一定的抑制作用.本文在实验室中使用爆炸罐模拟瓦斯爆炸,研究瓦斯吸收材料的抑爆效果,以爆炸后剩余甲烷的浓度和爆炸最高压力作为表征爆炸效果的参数,分别使用复配吸收试验中的吸收材料及纯水雾进行抑爆试验,并与不使用吸收材料时的爆炸试验进行比较.本文仅选取了吸收效果较好的  $\text{NaClO}$ ,  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{CH}_3\text{COONa}$  与 Span80 复配得到的吸收材料进行了抑爆试验,试验编号见表 1.

### 2.2.1 Span80 复合吸收材料对爆炸后剩余甲烷浓度的影响

爆炸后气体中剩余甲烷浓度的差别,反映了爆炸消耗甲烷量的多少,剩余的甲烷多,说明爆炸反应消耗甲烷少,爆炸威力降低,因此可将剩余甲烷浓度作为衡量抑爆效果的一个参数.试验通过收集爆炸后的气体并进行气相色谱分析,比较了爆炸后剩余气体中甲烷的浓度.图 5 (a) 为各次试验爆炸后剩余甲烷浓度的趋势图.从图 5 (a) 可看出,在点燃气体混合物前,向爆炸罐中喷入一定量雾化状态的纯水或 Span80 复合吸收材料后进行爆炸试验,其剩余甲烷含量均比直接点燃气体混合物时剩余甲烷含量多,且使用雾化 Span80 复合吸收材料时比使用纯水雾时剩余甲烷浓度高.说明纯水雾和雾化 Span80 吸收材料均有一定抑制爆炸的效果,且 Span80 吸收材料的抑爆效果优于纯水雾.

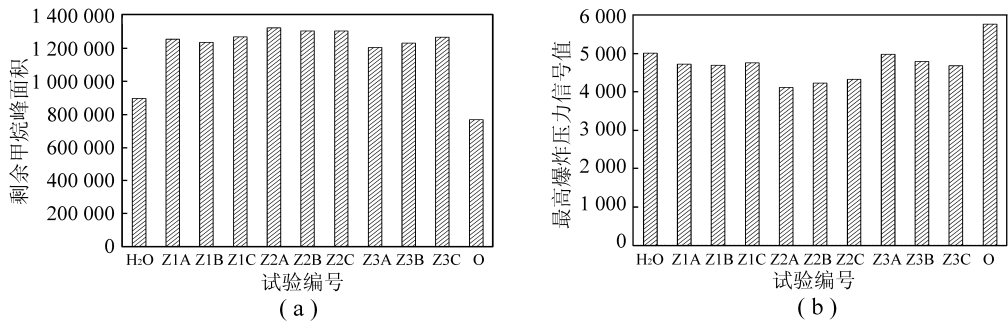


图5 甲烷和空气混合物爆炸剩余甲烷浓度和最高压力的对比

Fig.5 Comparison of methane concentration and explosion pressure after methane explosion

O 代表直接点燃甲烷和空气混合物实验

### 2.2.2 Span80 复合吸收材料对爆炸压力的影响

爆炸压力波信号输出值即爆炸压力波强可以反映爆炸的威力,爆炸压力波信号输出值越小,爆炸压力波越弱,说明爆炸的威力越小,因此爆炸压力可以作为衡量抑爆效果的参数,爆炸压力低说明抑爆效果好.实验通过压力数据采集系统获得了爆炸时最高压力数据的趋势图如图 5 (b) 所示.由图 5 (b) 可以看出,在点燃前使用雾化 Span80 复合吸收材料或纯水雾后,其最高爆炸压力均比直接点燃气体混合物时低,且使用雾化 Span80 复合吸收材料的最大爆炸压力比使用纯水雾时低,说明纯水雾和雾化 Span80 复合吸收材料均有一定抑制爆炸的效果,且雾化 Span80 复合吸收材料的抑爆效果优于纯水雾.

## 3 结 论

(1) Span80 溶液中添加一定碱性盐类添加剂可提高其对甲烷气体的吸收作用,5 种添加剂与同浓度 Span80 复配的效果为  $\text{NaClO} > \text{NaHCO}_3 > \text{CH}_3\text{COONa} > \text{KHCO}_3 > \text{NaOH}$ .因此以 Span80 作为瓦斯吸收材料的主要成分,以盐作为添加剂的设计方案具有可行性.

(2) 碱性无机盐可以增加 Span80 在水中的分散性, 增加甲烷与吸收剂的接触面积, 从而增加吸收甲烷的量, 在碱性盐的作用下吸收甲烷的机理可能是 Span80 和其部分水解产物形成混合胶束, 对甲烷起到增溶作用.

(3) Span80 与盐复配得到的瓦斯吸收材料, 对于甲烷和空气混合物的爆炸有一定的抑制作用. 但吸收材料吸收甲烷的量与其抑爆效果并不成正比, 这可能由于加入的无机盐本身对爆炸有一定影响, 复合吸收材料对爆炸的抑制作用是吸收作用和添加剂共同作用的结果.

(4) 由于表面活性剂种类繁多, 特性各异, 不同的浓度表面活性剂和不同种类盐复配会产生不同的性能. 通过对各类表面活性剂性能进行深入细致的研究, 采用正交试验等方法更加科学地设计试验方案, 可以筛选出具有优良抑爆效果的瓦斯吸收材料.

## 参考文献:

- [1] 林柏泉, 崔恒信. 矿井瓦斯防治理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998: 1-50.  
Lin Baiquan, Cui Hengxin. Mine gas control theory and technology [M]. Xuzhou: China University of Mining & Technology Press, 1998: 1-50.
- [2] 孙文标, 刘 辉, 赵宏伟. 煤层注水在煤矿安全中的应用及效果浅析 [J]. 煤矿安全, 2004, 35 (12): 24-25.  
Sun Wenbiao, Liu Hui, Zhao Hongwei. Application and effect analysis of seam water injection in coal mine safety [J]. Safety in Coal Mines, 2004, 35 (12): 24-25.
- [3] 聂百胜, 何学秋, 王恩元, 等. 煤吸附水的微观机理 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (4): 379-383.  
Nie Baisheng, He Xueqiu, Wang Enyuan, et al. Micro-mechanism of coal adsorbing water [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2004, 33 (4): 379-383.
- [4] 王惠宾, 汪远东, 卢 平. 煤层注水中添加湿润剂的研究 [J]. 煤炭学报, 1994, 19 (2): 151-160.  
Wang Huibin, Wang Yuandong, Lu Ping. Addition of wetting agent in seam water injection [J]. Journal of China Coal Society, 1994, 19 (2): 151-160.
- [5] 缪学玉, 刘 晖, 陈金玉. 用表面活性剂水溶液处理突出煤层 [J]. 江苏煤炭, 2004 (1): 10-11.  
Miao Xueyu, Liu Hui, Chen Jinyu. Treating outburst in coal seam by surfactant solution [J]. Jiangsu Coal, 2004 (1): 10-11.
- [6] 程 燕, 蒋仲安, 陈仲秋, 等. 煤层注水中添加表面活性剂的研究 [J]. 煤矿安全, 2006, 37 (3): 9-12.  
Cheng Yan, Jiang Zhongan, Chen Zhongqiu, et al. Study of surfactant in seam water injection [J]. Safety in Coal Mines, 2006, 37 (3): 9-12.
- [7] 费国云, 周奠邦. 新型隔爆棚抑制弱爆炸的研究 [J]. 煤炭工程师, 1998 (3): 7-9.  
Fei Guoyun, Zhou Dianbang. Development of a new type of barrier to suppress weak explosions [J]. Coal Engineer, 1998 (3): 7-9.
- [8] Ye J F, Chen Z H, Fan B C, et al. Suppression of methane explosions in a field-scale pipe [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2005, 18: 89-95.
- [9] Wu Qiang, He Xueqiu. Preventing coal and gas outburst using methane hydration [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2003, 13 (1): 7-10.
- [10] Wu Q, Huang G. Feasibility discussion on preventing [A]. Wang Yuehan, Ge Shirong, Guo Guangli. Mining Science and Technology [C]. Holland: A. A. Balkema Publishers, 2004: 233-237.
- [11] 吴 强, 李成林, 江传力. 瓦斯水合物生成控制因素探讨 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (3): 283-287.  
Wu Qiang, Li Chenglin, Jiang Chuanli. Discussion of on the control factors of forming gas hydrate [J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30 (3): 283-287.
- [12] 张保勇, 吴 强. 表面活性剂在瓦斯水合物生成过程中动力学作用 [J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36 (4): 478-481.  
Zhang Baoyong, Wu Qiang. Dynamic effect of surfactant on gas hydrate formation process [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2007, 36 (4): 478-481.