

文章编号: 0253-9993(2009)11-1479-04

超细 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体浓度对甲烷爆炸压力的影响

文 虎, 王秋红, 邓 军, 罗振敏

(西安科技大学 能源学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 采用 20 L 的球形不锈钢爆炸罐试验系统, 考察不同浓度 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 超细粉体抑制瓦斯爆炸的效果. 实验结果表明, 随着 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体浓度的增加, 甲烷最大爆炸压力先减小后增大, 即存在控制瓦斯爆炸的最佳的粉体浓度. 当甲烷浓度为 9.5% 时, 1.3 μm 超细粉体 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的最佳控爆浓度约为 250 g/m^3 , 此粉体浓度下的最大爆炸压力、最大压力上升速率、到达最大爆炸压力的时间分别为 0.583 MPa, 9.082 MPa/s, 190 ms; 当甲烷浓度为 7.0% 时的最佳控爆浓度约为 200 g/m^3 , 此粉体浓度下的最大爆炸压力、最大压力上升速率、到达最大爆炸压力的时间分别为 0.474 MPa, 3.76 MPa/s, 400 ms.

关键词: 超细粉体; $\text{Al}(\text{OH})_3$; 甲烷爆炸; 抑爆

中图分类号: TD712.7 **文献标识码:** A

Effect of the concentration of $\text{Al}(\text{OH})_3$ ultrafine powder on the pressure of methane explosion

WEN Hu, WANG Qiu-hong, DENG Jun, LUO Zhen-min

(School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: A trial system of 20 L spherical stainless explosion container was used to investigate the effect of $\text{Al}(\text{OH})_3$ ultrafine powder with different concentration suppressing gas explosion. The experimental results show that with the increase of the concentration of $\text{Al}(\text{OH})_3$ powder, the maximum explosion pressure of methane first decreases then increases, that is, existing the best concentration of powder which can control methane explosion. When the concentration of methane is 9.5%, the best concentration of $\text{Al}(\text{OH})_3$ ultrafine powder with 1.3 μm is about 250 g/m^3 , the maximum explosion pressure, the rise speed of maximum pressure and the time from collecting pressure to arriving the maximum explosion pressure is 0.583 MPa, 9.082 MPa/s, 190 ms respectively. When the concentration of methane is 7.0%, the best concentration is about 200 g/m^3 , the maximum explosion pressure, the rise speed of maximum pressure and the time from collecting pressure to arriving the maximum explosion pressure is 0.474 MPa, 3.76 MPa/s, 400 ms respectively.

Key words: ultrafine powder; $\text{Al}(\text{OH})_3$; methane explosion; explosion suppression

研究表明, 粉体材料能够有效地抑制瓦斯爆炸, 人为地控制爆炸的发展, 降低爆炸带来的危害. 范宝春等^[1]使用直径 0.7 m、长 25 m 的大型爆炸实验管进行实验, 得出相同粒度的抑爆剂, 浓度越大, 抑爆效果越明显, 且存在一个极限浓度, 低于该浓度时, 激波在抑爆区不会被安全抑制, 穿过抑爆区后会重新成

收稿日期: 2008-12-22 责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50704025); 国家自然科学基金资助项目 (50874088); 教育厅专项基金资助项目 (08JK351)

作者简介: 文 虎 (1972—), 男, 新疆石河子人, 教授, 博士后. Tel: 029-85583150, E-mail: wenh@xust.sn.cn

长. 邢晓江等^[2]使用内径 32 mm、长 4.4 m 的燃烧管进行实验, 考察不同浓度的碳酸钙抑制 $H_2 - O_2$ 混合物的效果, 发现碳酸钙浓度对激波的抑制有明显影响. 张景林、肖林等^[3]使用容积为 70 L 的爆炸罐进行实验, 研究了碳酸氢钠干粉抑制石油液化气爆炸, 得出在一定程度上提高抑制剂的用量可以增加抑爆效果, 使爆炸峰值压力和压力上升速率明显降低. 张辉^[4]使用内径 60 mm、长度 1 600 mm 的石英玻璃爆炸管道系统进行实验, 研究了 SiO_2 粉体抑制甲烷的爆炸, 结果表明, 随着粉体浓度的增大, 爆炸感应期时间延长, 点火能量增大.

$Al(OH)_3$ 具有无毒、阻燃、不产生二次污染的优点, 并能作为阻燃剂广泛地使用^[5-6], 因此本实验研究选取微米级的 $Al(OH)_3$ 粉体作为抑爆材料, 考察超细粉体浓度对甲烷爆炸压力的影响.

1 实验装置

实验装置由 20 L 球形不锈钢爆炸罐、空气压缩机、真空泵、控制箱、吸尘器、计算机、打印机、压力传感器和电磁阀等构成, 如图 1 所示. 粉体扩散器安装在爆炸罐的底部, 并通过管路 with 0.6 L 的储粉罐相连通. 压力传感器安装在爆炸罐内壁, 并通过线缆与计算机相连, 点火电极通过线缆与控制箱内的喷粉点火时差控制器相连. 装置采用中心局部点火, 引爆甲烷后扩展到整体. 由于爆炸过程很快, 密闭容器中局部点火所形成的参数与定容爆炸参数很接近, 故可采用定容爆炸模型进行数据分析和处理^[7].

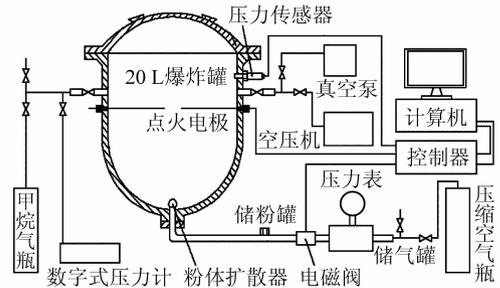


图 1 20 L 爆炸罐试验系统

Fig. 1 Trial system of 20 L spherical stainless explosion container

2 实验过程及结果分析

系统的实验过程是先用真空泵将球形爆炸罐内的空气抽出, 然后将可燃气体和空气按配比通入密闭爆炸罐中混合, 再用 1 MPa 的定量压缩空气将储粉罐内的 $Al(OH)_3$ 粉体喷入爆炸罐内, 达到常压, 静置 1 min 后点火, 测试相关爆炸参数, 安装在爆炸罐上的压力传感器和测试软件协同传输出爆炸传播过程中的压力变化曲线.

实验过程中, 首先测试出甲烷浓度分别为 9.5% 和 7.0% 时的爆炸压力变化曲线, 然后向此 2 种浓度的甲烷和空气混合气体中, 分别喷入质量 5 g、粒径 $1.3 \mu m$ 的 $Al(OH)_3$ 超细粉体后, 罐内粉体浓度达 $250 g/m^3$, 测试其爆炸压力变化曲线, 实验结果如图 2 所示.

曲线 a 的最大爆炸压力为 0.775 MPa, 最大爆炸压力上升速率为 37.109 MPa/s; 曲线 b 的最大爆炸压力为 0.586 MPa, 最大爆炸压力上升速率为 15.625 MPa/s; 曲线 c 的最大爆炸压力为 0.583 MPa, 最大爆炸压力上升速率为 9.082 MPa/s; 曲线 d 的最大爆炸压力为 0.487 MPa, 最大爆炸压力上升速率为 4.150 MPa/s.

改变 $Al(OH)_3$ 粉体浓度, 增减幅度为 $50 g/m^3$, 得到 $Al(OH)_3$ 粉体浓度与 9.5% 和 7.0% 甲烷爆炸的最大爆炸压力 p_m , 最大压力上升速率 $(dp/dt)_m$ 和到达最大爆炸压力的时间 t 的关系曲线, 见表 1 和图 3.

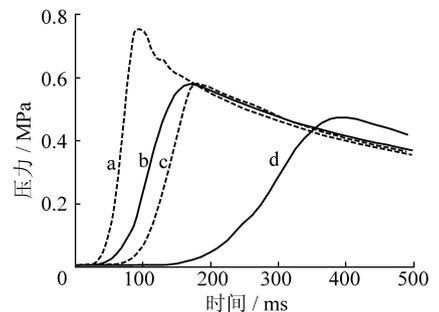


图 2 甲烷爆炸压力随时间的变化曲线

Fig. 2 The change curves of pressure of methane explosion with time

曲线 a: 甲烷浓度 9.5%; 曲线 b: 甲烷浓度 7.0%;

曲线 c: 充粉浓度 $250 g/m^3$, 甲烷浓度 9.5%;

曲线 d: 充粉浓度 $250 g/m^3$, 甲烷浓度 7.0%

表 1 实验数据
Table 1 The experimental data

喷入 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 罐内形成粉体的质量/g	罐内形成粉体的浓度/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	p_m/MPa		$\frac{dp}{dt}/(\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1})$		t/ms	
		$c(\text{CH}_4) = 9.5\%$	$c(\text{CH}_4) = 7.0\%$	$c(\text{CH}_4) = 9.5\%$	$c(\text{CH}_4) = 7.0\%$	$c(\text{CH}_4) = 9.5\%$	$c(\text{CH}_4) = 7.0\%$
0	0	0.775	0.586	37.109	15.625	96	172
2	100	0.686	0.522	14.209	5.420	150	230
3	150	0.654	0.511	13.428	5.176	160	260
4	200	0.638	0.474	11.816	3.760	180	400
5	250	0.583	0.487	9.082	4.150	190	310
6	300	0.606	0.517	10.156	4.639	180	300
7	350	0.623	0.554	12.744	7.617	180	260

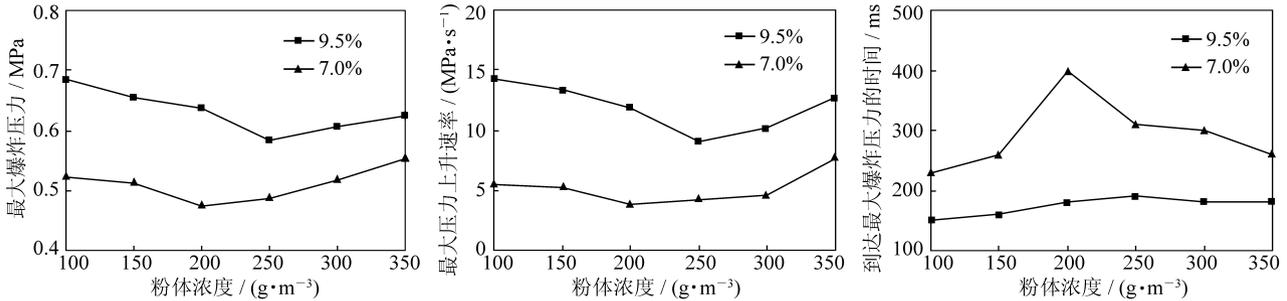


图 3 粉体浓度与最大爆炸压力、最大压力上升速率、到达最大爆炸压力时间的关系曲线

Fig. 3 The relationship among the concentration of powder and the maximum explosion pressure of methane, the rise speed of maximum pressure, the time from collecting pressure to arrive the maximum explosion pressure

从上述图表中可以看出:

(1) 无论甲烷浓度是 9.5% 还是 7.0%，最大爆炸压力、最大压力上升速率都随粉体浓度的增加先降低后升高，也就说明粉体抑爆和气体抑爆是不同的，惰性气体抑爆是随惰性气体量的加大，爆炸压力一直降低，直到不再爆炸，达到抑爆目的，而粉体抑爆是在一定量的粉体浓度内，爆炸压力随粉体浓度的增加而降低，一旦超过某个值，爆炸压力会随粉体浓度的增加而升高，即存在一个控制瓦斯爆炸的最佳粉体浓度。这个现象是因为超细粉体粒度小，具有极高的比表面积，与分散介质存在巨大的相界面和界面能，这种高度分散的多相体系属于热力学不稳定体系，极易产生自发凝并，表现出强烈的团聚特性，不论在气相中还是在液相中均易生成粒径较大的二次粉体^[8-9]。往固定容器内充入的粉体浓度越大，颗粒与颗粒相互碰撞的几率增大，颗粒间会团聚成更大的颗粒而沉降，导致实际 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体浓度是减小的，抑爆作用就弱了，表现出爆炸压力增大。

(2) 同一密闭容器内，同一实验条件下，抑制不同浓度甲烷爆炸，最佳粉体浓度不同。用相同浓度的粉体分别抑制 9.5% 和 7.0% 甲烷爆炸，得到的 9.5% 甲烷爆炸压力总比 7.0% 甲烷的爆炸压力大。这与甲烷占混合气的比例有关，9.5% 的甲烷爆炸威力比 7.0% 的爆炸威力大，相应所使用的抑爆剂量就要增加。

(3) 当甲烷浓度为 9.5% 时，250 g/m^3 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体浓度下对应的最大爆炸压力、最大压力上升速率值最小，为 0.583 MPa，9.082 MPa/s，到达最大爆炸压力的时间最大，为 190 ms；当甲烷浓度为 7.0% 时，200 g/m^3 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体浓度下对应的最大爆炸压力、最大压力上升速率值最小，为 0.474 MPa，3.76 MPa/s，到达最大爆炸压力的时间最大，为 400 ms。

3 结 论

(1) 在同一粒度条件下, 随 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体浓度的增加, 最大爆炸压力先减小后增大. 即在一定浓度范围内, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体能够起到减轻爆炸危害程度的作用, 而超过这一浓度范围, 最大爆炸压力增大.

(2) 同一密闭容器内, 同一实验条件下, 抑制不同浓度甲烷爆炸的最佳粉体浓度范围不同.

(3) 平均粒径 $1.3 \mu\text{m}$ $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粉体抑制 9.5% 甲烷爆炸的最佳粉体浓度约为 250 g/m^3 , 抑制 7.0% 甲烷爆炸的最佳粉体浓度约为 200 g/m^3 .

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 邢晓江, 范宝春, 杨宏伟. 管内粉尘抑爆效果的实验研究 [J]. 弹道学报, 2000, 12 (4): 72 - 76.
Xing Xiaojiang, Fan Baochun, Yang Hongwei. The experiment research on explosion suppression of fine powder in tube [J]. Journal of Ballistics, 2000, 12 (4): 72 - 76.
- [3] 张景林, 肖 林, 寇丽平, 等. 气体爆炸抑制技术研究 [J]. 兵工学报, 2000, 21 (3): 261 - 263.
Zhang Jinglin, Xiao Lin, Kou Liping, et al. A study on the suppression of gas-explosion hazards [J]. Acta Armamentarii, 2000, 21 (3): 261 - 263.
- [4] 张 辉. 矿井瓦斯爆炸控制材料的实验研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2005.
Zhang Hui. Experiment research on the material controlling gas explosion in underground coal mine [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2005.
- [5] 黄 东, 南 海, 吴 鹤. 氢氧化铝的阻燃性质与应用研究 [J]. 材料开发与应用, 2004, 19 (3): 33 - 37.
Huang Dong, Nan Hai, Wu He. Flame retardancy property and application of $\text{Al}(\text{OH})_3$ [J]. Material Exploiture and Application, 2004, 19 (3): 33 - 37.
- [6] 李少康. 无机镁铝阻燃剂及其应用发展趋势浅析 [J]. 无机盐工业, 2003, 35 (3): 11 - 12.
Li Shaokang. Applicaton trend of inorganic $\text{Mg}(\text{OH})_2 - \text{Al}(\text{OH})_3$ flame retardant [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2003, 35 (3): 11 - 12.
- [7] 赵衡阳. 气体和粉尘爆炸原理 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
Zhao Hengyang. The theory of the explosion of gas and dust [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1996.
- [8] 盖国胜. 超微粉体技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
Gai Guosheng. The technology of ultrafine powder [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [9] 魏诗榴. 粉体科学与工程 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
Wei Shiliu. The science and engineering of powder [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006.

重要启事

为提高本刊刊登论文的质量, 禁止抄袭、伪造、剽窃、不当署名、一稿多投等学术不端行为在本刊的出现, 《煤炭学报》编辑部从 2009-01-01 正式启用“科技期刊学术不端文献检测系统”对投到本刊的论文进行检测, 如发现存在以上现象的论文, 编辑部将进行严肃处理.