

# 多孔材料阻隔爆效果评估方法

魏春荣<sup>1</sup>, 李晓光<sup>1</sup>, 孙建华<sup>1</sup>, 王树桐<sup>2</sup>, 李珺<sup>1</sup>

(1. 黑龙江科技学院 安全工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027;

2. 哈尔滨第一机械集团有限公司 哈尔滨北方特种车辆研究院, 黑龙江 哈尔滨 150056)

**摘要:**研究了多孔材料阻隔瓦斯爆炸效果的定量评估方法,分别建立了基于超压、火焰温度的评估数学模型.引入熄爆参数概念,结合衰减爆炸超压和衰减火焰温度评估方法,建立基于熄爆参数的多孔材料阻隔爆效果综合定量评估数学模型,并确定瓦斯爆炸理想阻隔爆效果区域.利用综合评估法中的乘积熄爆参数法对多孔材料瓦斯爆炸阻隔爆效果进行综合定量评估及优选,结果表明,综合定量评估算法模型既能反映抑制压力的效果,又能反映阻隔火焰的效果,可用于阻隔爆效果评估,为多孔材料在实验和工程应用过程中的性能评定提供科学依据.

**关键词:**多孔材料;阻隔爆;熄爆参数;综合定量评估

**中图分类号:**TD 724;TD 79+2

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-9102(2014)04-0001-06

## Research on evaluation method of suppression and isolation of explosion based on porous material

WEI Chunrong<sup>1</sup>, LI Xiaoguang<sup>1</sup>, SUN Jianhua<sup>1</sup>, WANG Shutong<sup>2</sup>, LI Jun<sup>1</sup>

(1. Department of Safety Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150027, China;

2. Harbin Institute of Northern Special Vehicles, Harbin First Machinery Manufacturing Company, Harbin 150056, China)

**Abstract:** By studying the quantitative evaluation methods of porous materials suppressing and isolating gas explosion, the evaluation mathematical model based on overpressure and flame temperature were proposed. Through introducing a concept of quenching parameter and combining evaluation methods of pressure inhibition and flame suppression, a new comprehensive quantitative evaluation mathematical model was proposed. The region of ideal suppression and isolation effect of gas explosion was determined. The product - quenching parameter evaluation method one of comprehensive quantitative evaluation model was used to quantitatively assess effect of inhibition and suppression and optimize porous materials. The results show that the effect of pressure inhibition and flame suppression are reflected in the model, which can be used to evaluate effect of gas explosion suppressing and isolating and provide scientific basis for porous material performance evaluation in the experiment and engineering applications.

**Key words:** porous material; suppression and isolation of explosion; quenching parameter; comprehensive quantitative assessment

探求新型阻隔瓦斯爆炸装置<sup>[1-3]</sup>,研究适合于煤矿使用的阻隔爆材料尤为重要.近10年来,多孔材料取得了较大的发展,已在屏蔽防护、吸能缓冲

减震、分离工程、消声、催化载体等领域得到广泛应用<sup>[4-6]</sup>.一些学者进行了多孔材料对瓦斯爆炸传播过程的影响研究<sup>[7-9]</sup>,研究中多孔材料阻隔爆效果

收稿日期:2013-11-20

基金项目:黑龙江研究生创新科研项目(YJSCX2011-176HLJ)

通信作者:魏春荣(1977-),女,黑龙江七台河人,博士,副教授,主要从事矿井阻隔爆、安全评价技术方面的研究. E-mail: wcrangel@163.com

的对比分析,是将衰减爆炸超压和阻隔-火焰温度效果分别进行对比选择<sup>[10-11]</sup>,而实际工程中阻隔爆材料的选取,既需要考虑衰减爆炸超压情况,又需要考虑火焰温度情况,所以需要综合方法进行评估;此外,多孔材料阻隔爆效果相近时,组与组之间很难比较效果优劣,难以进行准确评估和判断,对进一步研究造成了阻碍,所以需要定量方法进行评估.针对上述2个问题,本文提出阻隔爆效果综合定量评估算法,用以进行阻隔爆效果评估,为多孔材料在实验和工程应用中的性能评定提供科学依据,为多孔材料后续研究工作奠定理论基础.

## 1 常用多孔材料阻隔爆效果单因素评估方法

### 1.1 衰减爆炸超压效果评估方法

矿井瓦斯爆炸时,衰减瓦斯爆炸冲击波强度和抑制火焰传播的关键在于限制并销毁化学反应自由基和中间体,破坏其化学反应进程,降低化学反应速度.瓦斯爆炸发生时,因为存在爆炸释放热量 $Q$ 的变化,所以已燃高温燃烧产物焓值及温度增大,燃烧气体产物的火焰波能量和动能增加,使瓦斯爆炸传播过程得以持续并呈现出一系列的行为变化特征.爆炸冲量是爆炸破坏能力的量化指标,定义为最大管道超压值与持续时间的乘积<sup>[12-13]</sup>,所以在爆炸瞬间,管道超压是爆炸膨胀做功的表征指标,沿管道各点的超压分布能近似表达出爆炸过程中释放能量的情况,最大超压值的衰减也反应了多孔材料对爆炸能量的控制能力.

#### 1) 最大超压衰减率评估法

多孔材料对瓦斯爆炸阻隔爆效果可通过最大超压衰减率进行判定.

定义最大超压的衰减率 $\zeta$ ,

$$\zeta = \left( \frac{P_{\max k} - P_{\max i}}{P_{\max k}} \right) \times 100\%. \quad (1)$$

式中, $P_{\max k}$ 为无障碍物条件下管道出现的最大超压值,kPa; $P_{\max i}$ 为相同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后管道内出现的最大超压值,kPa; $\zeta$ 为最大超压衰减率,多孔材料对最大超压的消减控制能力.

#### 2) 测点*i*最大超压衰减率评估法

$\zeta$ 是对管道内最大超压值的评估,当管道内各测点超压衰减规律不一致时,即距离-超压整体曲线变化呈不稳定状态时,可以通过放置在管道中的某测点传感器最大测量值衰减率进行评估和辅助评估.

定义测点*i*最大超压的衰减率 $\zeta_i$ ,

$$\zeta_i = \left( \frac{P_{\max ik} - P_{\max i}}{P_{\max ik}} \right) \times 100\%. \quad (2)$$

式中, $P_{\max ik}$ 为无障碍物条件下管道测点*i*出现的最大超压值,kPa; $P_{\max i}$ 为相同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后管道测点*i*出现的最大超压值,kPa; $\zeta_i$ 为测点*i*最大超压衰减率,表示多孔材料结构对测点*i*最大超压的消减控制能力.

#### 3) 超压判定指标*X*评估法

当多孔材料阻隔爆效果相近,依据单个测点衰减率很难判定组与组之间的效果优劣时,可赋予一个可比性的指标*X*来量化其阻隔爆效果<sup>[12-13]</sup>,以管道上超压分布来近似表示瓦斯爆炸后的能量状态,结合管道测点最大超压的衰减率来综合考虑多孔材料的吸能衰波效果,多孔材料衰减爆炸超压判定指标*X*的建立如下所述:

①定义管道各测点的超压值之和表示某一时刻管内的能量状态*P*:

$$P_k = \sum P_{ki}; P = \sum P_i. \quad (3)$$

式中, $P_k$ 为无障碍物条件下某一时刻管内的能量状态,kPa; $P$ 为相同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后某一时刻管内的能量状态,kPa; $P_{ki}$ 为无障碍物条件下该时刻管道内各测点的超压值,kPa,实验中用各测点的超压值表示; $P_i$ 为相同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后该时刻管道内各测点的超压值,kPa,实验中用各测点的超压值表示.

②多孔材料衰减爆炸超压的判定指标*X*:

$$X = \zeta \frac{P_k - P}{P_k} = \frac{P_{\max k} - P_{\max}}{P_{\max k}} \times \frac{\sum P_{ki} - \sum P_i}{\sum P_{ki}}. \quad (4)$$

式中,*X*为衰减爆炸超压判定指标,综合表征多孔材料的吸能和衰减爆炸超压能力,既考虑能量衰减率,又考虑最大超压衰减率,*X*值越大说明多孔材料衰减爆炸超压效果越好.

### 1.2 阻隔火焰效果评估方法

#### 1) 最大火焰温度衰减率评估法

多孔材料对瓦斯爆炸阻隔爆效果可通过最大火焰温度衰减率进行判定,定义最大火焰温度的衰减率 $\eta$ :

$$\eta = \left( \frac{W_{\max k} - W_{\max i}}{W_{\max k}} \right) \times 100\%. \quad (5)$$

式中, $W_{\max k}$ 为无障碍物条件下管道内出现的最大火焰温度值,℃; $W_{\max i}$ 为相同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后管道内出现的最大火焰温度值,℃; $\eta$ 为最大火焰温度的衰减率,多孔材料对最大火焰

温度的消减控制能力.

## 2) 测点 $i$ 最大火焰温度衰减率评估法

$\eta$  是对管道内最大火焰温度值的评估,当管道内各测点火焰温度衰减规律不一致时,即距离-温度整体曲线变化呈不稳定状态时,通过放置在管道中的某测点火焰温度最大衰减率进行评估和辅助评估.

定义测点  $i$  的最大火焰温度衰减率  $\eta_i$ :

$$\eta_i = \left( \frac{W_{\max ik} - W_{\max i}}{W_{\max ik}} \right) \times 100\%. \quad (6)$$

式中,  $W_{\max ik}$  为无障碍物条件下管道内测点  $i$  出现的最大火焰温度值,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $W_{\max i}$  为相同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后管道内测点  $i$  出现的最大火焰温度值,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\eta_i$  为测点  $i$  最大火焰温度衰减率, 多孔材料对测点  $i$  火焰温度的消减控制能力.

## 3) 火焰温度判定指标 $Y$ 评估法

赋予一个可比性指标  $Y$  来量化多孔材料阻隔火焰温度效果<sup>[12-13]</sup>, 多孔材料阻隔火焰温度判定指标  $Y$  建立如下:

①用管道内各测点的温度值之和表示某时刻管道内的能量状态  $W$

$$W_k = \sum W_{ki}; W = \sum W_i. \quad (7)$$

式中,  $W_k$  为无障碍物条件下某一时刻管道内的能量状态,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $W$  为同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后某一时刻管道内的能量状态,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $W_{ki}$  为无障碍物条件下该时刻管道内各测点的温度值,  $^{\circ}\text{C}$ , 实验中用各测点的温度值表示;  $W_i$  为相同气体浓度爆炸条件下加多孔材料后该时刻管道内各测点的温度值,  $^{\circ}\text{C}$ , 实验中用各测点的温度值表示.

②多孔材料衰减火焰温度的判定指标  $Y$

$$Y = \eta \frac{W_k - W}{W_k} = \frac{W_{\max k} - W_{\max}}{W_{\max k}} \times \frac{\sum W_{ki} - \sum W_i}{\sum W_{ki}}. \quad (8)$$

式中,  $Y$  为阻隔火焰温度判定指标, 综合表征多孔材料结构的防火能力, 既考虑能量衰减率, 又考虑最大火焰温度衰减率,  $Y$  值越大说明多孔材料阻隔火焰温度效果越好.

## 2 基于熄爆参数的多孔材料阻隔爆效果综合定量评估方法

上述多孔材料阻隔爆效果评估方法都是针对爆炸超压或者火焰温度单个因素考虑的, 但实际工程应用中阻隔爆材料的选取, 既需要考虑衰减爆炸超压情况, 又需要考虑衰减火焰温度情况, 需要依

据定量标准选取综合性能好的多孔材料作为阻隔爆优选材料, 因此需要研究多孔材料阻隔爆效果综合定量评估方法.

### 2.1 基于乘积熄爆参数的综合定量评估方法

#### 1) 基于乘积熄爆参数的综合定量评估算法

定义熄爆参数  $T$  为爆炸超压  $P$  与火焰温度  $W$  的乘积<sup>[14-15]</sup>.

$$T = PW. \quad (9)$$

式中,  $T$  为熄爆参数;  $P$  为爆炸超压,  $\text{kPa}$ ;  $W$  为火焰温度,  $^{\circ}\text{C}$ .

#### 2) 乘积熄爆参数物理意义及理想阻隔爆区域确定

熄爆参数  $T$  为爆炸超压  $P$  与火焰温度  $W$  的乘积, 物理意义代表瓦斯爆炸危害损毁影响面积,  $T$  越小则损毁影响面积越小, 说明多孔材料阻隔爆效果越好. 根据有关研究表明, 当超压在达到  $400 \text{ kPa}$  及以上时人的死亡率是  $100\%$  摧毁, 达到  $650 \text{ kPa}$  时巷道设备完全损坏, 高温火焰烧毁完全, 且冲击波吹起巷道煤尘遇高温火焰, 易引起二次爆炸. 瓦斯爆炸引火源最低点燃温度  $595 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 因此设定  $650 \text{ kPa}$  为压力相对安全界限, 温度  $595 \text{ }^{\circ}\text{C}$  为温度相对安全界限, 设定相对理想阻隔爆区域面积范围如图 1 所示. 放置多孔材料后爆炸超压数值和火焰温度数值在相对理想阻隔爆区域内, 则视为相对安全, 认为达到理想阻隔爆效果, 能够有效阻隔一次爆炸并抑制连续爆炸.

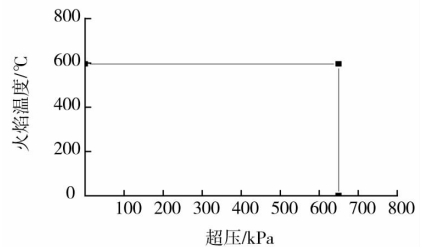


图 1 理想阻隔爆效果区域

#### 3) 乘积熄爆参数衰减率计算

依据式(1)~式(9), 推导乘积熄爆参数衰减率计算公式如下:

$$\varphi = \zeta \eta. \quad (10)$$

式中,  $\varphi$  为最大乘积熄爆参数衰减率;  $\zeta$  为最大超压的衰减率;  $\eta$  为最大火焰温度的衰减率.

$$\varphi_i = \zeta_i \eta_i. \quad (11)$$

式中,  $\varphi_i$  为测点  $i$  乘积熄爆参数衰减率;  $\zeta_i$  为测点  $i$  最大超压衰减率;  $\eta_i$  为测点  $i$  最大火焰温度衰减率.

$$\psi = XY. \quad (12)$$

式中,  $\psi$  为熄爆参数指标的衰减率;  $X$  为衰减爆炸超压综合判定指标;  $Y$  为阻隔火焰温度综合判定指标.

## 2.2 基于加权求和熄爆参数的综合定量评估方法

1) 基于加权求和熄爆参数的综合定量评估方法

$$T = AW/m + BP/n. \quad (13)$$

式中,  $T$  为加权求和熄爆参数;  $W$  为火焰温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $m$  为单位温度,  $^{\circ}\text{C}$ , 取单位温度为  $1^{\circ}\text{C}$ ;  $P$  为爆炸超压,  $\text{kPa}$ ;  $n$  为单位超压,  $\text{kPa}$ , 取单位超压为  $1\text{ kPa}$ ;  $A, B$  为加权系数,  $A + B = 1$ .

2) 加权求和熄爆参数的意义及权重的确定

加权求和熄爆参数  $T$  是一个量化指标数值, 将爆炸超压和火焰温度数据进行无量纲化处理, 然后加权求和得到熄爆参数  $T$ . 与乘积熄爆参数相比, 加权求和熄爆参数  $T$  的优点是引入了权重的概念, 考虑了爆炸超压和火焰温度对多孔材料阻隔爆效果影响的重要程度.

对瓦斯爆炸理论和煤矿瓦斯爆炸事故案例分析可知, 瓦斯爆炸产生的火焰可以严重灼烧工人, 是瓦斯连续爆炸和煤尘爆炸的主要诱因, 因此, 从爆炸危害角度来看, 笔者认为火焰温度权重应略高于冲击波超压权重, 在咨询并综合其他专家意见后本文中设定温度权重  $A$  为  $0.6$ , 超压权重  $B$  为  $0.4$ , 则由式(13)推导可得:

$$T = 0.6W/m + 0.4P/n. \quad (14)$$

3) 加权求和熄爆参数衰减率计算

由式(1)~式(8)及式(12)~式(13), 推得加权求和熄爆参数衰减率计算公式如下:

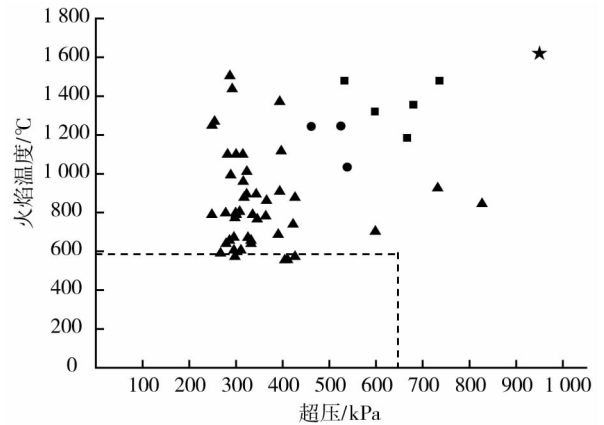
$$\varphi = [(0.6 W_{\max k}/m + 0.4 P_{\max k}/n) - (0.6 W_{\max}/m + 0.4 P_{\max}/n)] / (0.6 W_{\max k}/m + 0.4 P_{\max k}/n). \quad (15)$$

$$\varphi_i = [(0.6 W_{\max ik}/w + 0.4 P_{\max ik}/n) - (0.6 W_{\max i}/m + 0.4 P_{\max i}/n)] / (0.6 W_{\max ik}/w + 0.4 P_{\max ik}/n). \quad (16)$$

式中,  $\varphi$  为加权求和熄爆参数衰减率;  $\varphi_i$  为测点  $i$  加权求和熄爆参数衰减率.

## 3 多孔材料阻隔爆效果综合定量评估实例

利用综合定量评估算法中的乘积熄爆参数法对金属丝网、泡沫陶瓷及泡沫铁镍金属阻隔瓦斯爆炸效果进行综合定量评估及优选. 依据金属丝网、泡沫陶瓷及泡沫铁镍金属对管道内瓦斯爆炸阻隔爆的最大超压、最大火焰温度数据, 计算金属丝网、泡沫陶瓷及泡沫铁镍金属的乘积熄爆参数(见表1), 绘出金属丝网、泡沫陶瓷和泡沫铁镍金属对管道内瓦斯爆炸的阻隔爆效果图(见图2)



★空管, ■金属丝网, ●泡沫陶瓷, ▲泡沫铁镍金属

图2 金属丝网、泡沫陶瓷和泡沫铁镍金属阻隔爆效果综合评估

表1 放置金属丝网、泡沫陶瓷及泡沫铁镍金属后管道内超压和温度数据表

道超压组别	管道内最大超压/kPa	管道最大超压衰减率	管道内最大火焰温度/ $^{\circ}\text{C}$	管道最大温度衰减率	乘积熄爆参数
空管	950.11	—	1 620.11	—	950.11 $\times$ 1 620.11
丝网 0.59 mm 30 层	736.25	0.225	1 478.28	0.088	736.25 $\times$ 1 478.28
丝网 0.59 mm 40 层	680.25	0.284	1 354.37	0.164	680.25 $\times$ 1 354.37
丝网 0.42 mm 20 层	666.75	0.298	1 183.79	0.269	666.75 $\times$ 1 183.79
丝网 0.42 mm 30 层	597.81	0.371	1 320.00	0.185	597.81 $\times$ 1 320.00
丝网 0.42 mm 40 层	532.75	0.439	1 478.43	0.087	532.75 $\times$ 1 478.43
氧化铝大孔 5 cm	538.53	0.433	1 033.34	0.362	538.53 $\times$ 1 033.34
碳化硅大孔 5 cm	461.47	0.514	1 242.73	0.233	461.47 $\times$ 1 242.73
氧化铝大孔 7 cm	525.00	0.447	1 244.62	0.232	525.00 $\times$ 1 244.62
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 1/9, 10 ppi	827.10	0.129	845.18	0.478	827.10 $\times$ 845.18
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 2/8, 10 ppi	598.39	0.370	702.37	0.566	598.39 $\times$ 702.37

续表1

道超压组别	管道内最大超压/kPa	管道最大超压衰减率	管道内最大火焰温度/℃	管道最大温度衰减率	乘积爆炸参数
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 3/7, 10 ppi	363.87	0.617	781.44	0.518	363.87 × 781.44
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 1/9, 20 ppi	732.16	0.229	925.82	0.429	732.16 × 925.82
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 2/8, 20 ppi	390.39	0.589	686.49	0.576	390.39 × 686.49
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 3/7, 20 ppi	365.61	0.615	861.30	0.468	365.61 × 861.30
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 1/9, 30 ppi	410.78	0.568	556.07	0.657	410.78 × 556.07
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 2/8, 30 ppi	426.44	0.551	877.51	0.458	426.44 × 877.51
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 3/7, 30 ppi	317.56	0.666	877.51	0.458	317.56 × 877.51
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 1/9, 10 ppi	323.53	0.659	1 010.85	0.376	323.53 × 1 010.85
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 2/8, 10 ppi	396.72	0.582	1 116.73	0.311	396.72 × 1 116.73
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 3/7, 10 ppi	282.03	0.703	1 099.26	0.321	282.03 × 1 099.26
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 1/9, 20 ppi	323.00	0.660	893.82	0.448	323.00 × 893.82
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 2/8, 20 ppi	300.00	0.684	1 099.26	0.321	300.00 × 1 099.26
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 3/7, 20 ppi	315.67	0.668	959.36	0.408	315.67 × 959.36
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 1/9, 30 ppi	287.06	0.698	1 504.37	0.071	287.06 × 1 504.37
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 2/8, 30 ppi	254.47	0.732	1 269.37	0.216	254.47 × 1 269.37
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 3/7, 30 ppi	345.44	0.636	765.62	0.527	345.44 × 765.62
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 1/9, 10 ppi	299.13	0.685	797.30	0.508	299.13 × 797.30
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 2/8, 10 ppi	288.90	0.696	993.52	0.387	288.90 × 993.52
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 3/7, 10 ppi	393.80	0.586	1 371.75	0.153	393.80 × 1 371.75
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 1/9, 20 ppi	314.63	0.669	1 099.26	0.321	314.63 × 1 099.26
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 2/8, 20 ppi	248.66	0.738	1 249.10	0.229	248.66 × 1 249.10
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 3/7, 20 ppi	393.78	0.586	909.26	0.439	393.78 × 909.26
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 1/9, 30 ppi	291.84	0.693	1 436.74	0.113	291.84 × 1 436.74
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 2/8, 30 ppi	310.66	0.673	605.93	0.626	310.66 × 605.93
0.3 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 3/7, 30 ppi	295.84	0.689	605.93	0.626	295.84 × 605.93
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 1/9, 20 ppi	422.53	0.555	739.47	0.544	422.53 × 739.47
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 2/8, 20 ppi	297.81	0.687	772.25	0.523	297.81 × 772.25
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 3/7, 20 ppi	300.75	0.683	788.45	0.513	300.75 × 788.45
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 1/9, 30 ppi	248.41	0.739	788.45	0.513	248.41 × 788.45
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 2/8, 30 ppi	335.41	0.647	788.45	0.513	335.41 × 788.45
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 3 cm, 3/7, 30 ppi	307.69	0.676	804.55	0.503	307.69 × 804.55
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 1/9, 20 ppi	404.69	0.574	555.55	0.657	404.69 × 555.55
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 2/8, 20 ppi	285.91	0.699	655.93	0.595	285.91 × 655.93
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 3/7, 20 ppi	332.41	0.650	639.47	0.605	332.41 × 639.47
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 1/9, 30 ppi	295.81	0.689	672.25	0.585	295.81 × 672.25
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 2/8, 30 ppi	278.97	0.706	639.47	0.605	278.97 × 639.47
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 6 cm, 3/7, 30 ppi	332.47	0.650	655.93	0.595	332.47 × 655.93
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 1/9, 20 ppi	278.03	0.707	797.30	0.508	278.03 × 797.30
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 2/8, 20 ppi	267.13	0.719	589.47	0.636	267.13 × 589.47
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 3/7, 20 ppi	325.50	0.657	670.56	0.586	325.50 × 670.56
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 1/9, 30 ppi	426.41	0.551	572.86	0.646	426.41 × 572.86
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 2/8, 30 ppi	297.84	0.687	572.86	0.646	297.84 × 572.86
0.8 g/cm <sup>3</sup> , 8 cm, 3/7, 30 ppi	343.31	0.639	893.82	0.448	343.31 × 893.82

由图2可以清晰看出泡沫铁镍金属对瓦斯爆炸阻隔爆效果明显优于金属丝网和泡沫陶瓷,空管瓦斯爆炸时管道内最大超压和最大火焰温度在远

离相对安全阻隔爆区域外,放置金属丝网后管道内最大超压和最大火焰温度开始靠近相对安全阻隔爆区域,放置泡沫陶瓷后管道内最大超压和最大火

焰温度与相对安全阻隔爆区域距离变小,放置多孔泡沫铁镍金属后管道内最大超压和火焰温度数值接近相对安全阻隔爆区域,其中  $0.3 \text{ g/cm}^3, 3 \text{ cm}, 1/9, 30 \text{ ppi}; 0.8 \text{ g/cm}^3, 6 \text{ cm}, 1/9, 20 \text{ ppi}; 0.8 \text{ g/cm}^3, 8 \text{ cm}, 2/8, 20 \text{ ppi}; 0.8 \text{ g/cm}^3, 8 \text{ cm}, 1/9, 30 \text{ ppi}; 0.8 \text{ g/cm}^3, 8 \text{ cm}, 2/8, 30 \text{ ppi}$  5组参数泡沫铁镍金属对管道内瓦斯爆炸阻隔爆效果在相对安全阻隔爆区域内,说明阻隔瓦斯爆炸效果综合性能比较好,可作为工程应用材料进一步进行研究。

#### 4 熄爆参数综合定量评估方法优点

对压力参数法、温度参数法及熄爆参数法的优缺点进行比较,如表2所示。

表2 多孔材料阻隔爆性能评价方法

方法	压力	温度	优点	缺点
压力参数法	评价	忽略	能够反映多孔材料抑制压力的效果。	未知材料结构抑制火焰温度效果。对应的衰减火焰温度 $Y$ 未知
温度参数法	忽略	评价	能够反映多孔材料淬熄火焰温度的效果。	未知材料结构抑制压力的效果,对应的淬熄压力 $X$ 未知
熄爆参数法	评价	评价	既能反映抑制压力效果,又能反映衰减火焰温度效果,评价全面。	—

#### 5 结论

1)研究了多孔材料阻隔瓦斯爆炸超压效果的定量评估方法,建立了最大超压衰减率评估法,测点  $i$  最大超压衰减率评估法,超压判定指标  $X$  评估法。

2)研究了多孔材料阻隔瓦斯爆炸火焰温度效果的定量评估方法,建立了最大火焰温度衰减率评估法,测点  $i$  最大火焰温度衰减率评估法,火焰温度判定指标  $Y$  评估法。

3)引入了熄爆参数概念,在此基础上,将衰减爆炸超压和阻隔火焰温度评估方法相结合,建立了基于乘积熄爆参数和加权求和熄爆参数的综合定量评估算法数学模型,确定了瓦斯爆炸理想阻隔爆区域。

4)利用综合定量评估算法中的乘积熄爆参数法对金属丝网、泡沫陶瓷、泡沫铁镍金属阻隔瓦斯爆炸效果进行综合定量评估。评估结果表明:综合定量评估算法既能反映抑制压力的效果,又能反映

淬熄火焰温度的效果,可用于多孔材料阻隔瓦斯爆炸效果评估,为多孔材料在实验和工程应用过程中的性能评定提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] Jiang B Y, Lin B Q, Shi S L, et al. Numerical analysis on propagation characteristics and safety distance of gas explosion [J]. Procedia Engineering, 2011 (26): 271-280.
- [2] Jiang B Y, Lin B Q, Shi S L, et al. Theoretical analysis on the attenuation characteristics of strong shock wave of gas explosion [J]. Procedia Engineering, 2011 (24): 422-425.
- [3] Liang Y T, Zeng W, Hu E J. Experimental study of the effect of nitrogen addition on gas explosion [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2013, 26(1): 1-9.
- [4] Yang Y, He X Q, Luo G, et al. Effect of meshy obstacle on methane gas explosion [J]. Procedia Engineering, 2011 (26): 70-74.
- [5] Furukawa J. Flame front configuration of turbulent premixed flames [J]. Combustion and Flame, 1998 (112): 293-301.
- [6] 王振成, 小川辉繁. 金属网阻火器设计参数的优化选择 [J]. 中国安全科学学报, 1995(5): 176-182.
- [7] Eder A, Brehmn N. Analytical and experimental insights into fast deflagrations, detonations and deflagration to detonation transition process [J]. Heat and Mass Transfer, 2001 (37): 543-548.
- [8] 吴征艳, 蒋曙光, 程国平, 等. 抑制煤矿瓦斯爆炸传播的新技术设想 [J]. 工业安全与环保, 2007, 33(1): 1-3.
- [9] 张铨鈞, 赵隆茂. 非均匀泡沫金属材料在冲击载荷下的变形模拟 [J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(1): 33-38.
- [10] 王永刚, 胡时胜, 王礼立. 爆炸荷载下泡沫铝材料中冲击波衰减特性的实验和数值模拟研究 [J]. 爆炸与冲击, 2003, 23(6): 516-522.
- [11] 王海富, 冯顺山. 爆炸荷载下聚氨酯泡沫材料中冲击波压力特性 [J]. 爆炸与冲击, 2001, 21(2): 81-88.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 喻健良, 胡春明, 李江涛, 等. 平板阻火单元温度变化对火焰淬熄的影响 [J]. 燃烧科学与技术, 2007, 13(1): 1-4.
- [15] 喻健良, 陈鹏. 惰性气体对爆燃火焰淬熄的影响 [J]. 燃烧科学与技术, 2008, 14(3): 193-198.