

粉尘云电火花最小点火能的统计分析^{*}

李 磊, 刘庆明, 高克平, 汪建平

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 基于统计分析的 Logistic 回归模型, 应用以概率表示粉尘云最小点火能的计算方法, 在容积为 1.28 L 的 Mike 3 管内对不同浓度的烟酸粉尘-空气混合物进行了最小点火能测试实验, 利用 SPSS 软件计算得到了各浓度下烟酸粉尘云点火成功概率为 10% 和 50% 时的最小点火能。结果表明, 烟酸粉尘云最小点火能随浓度的增大呈现先减小后增大的趋势, 最后保持在一定的能量范围内。与其他标准的计算结果相比, 这种方法给出的结果更符合实际情况, 也能满足不同生产环境对安全控制的需要。

关键词: 粉尘爆炸; 最小点火能; Logistic 回归; 点火成功概率; 点火测试标准; 烟酸粉尘云

中图分类号: O389; TQ560.7 **文献标志码:** A

doi: 10.11858/gywlxb.2014.05.011

1 引 言

随着现代工业生产规模的扩大, 精细化程度的要求愈高, 粉尘、空气混和物的爆炸危险性也愈大。典型事故如煤矿瓦斯煤尘爆炸、谷物纺织物在生产和储存时发生的燃烧爆炸以及制药和化学工业中的粉尘爆炸等, 都是危及人民生命财产安全的常见问题。可燃固体粉尘、空气混合物的最小点火能 (Minimum Ignition Energy, MIE) 对于民用工业、航空和兵器工业的生产安全性均是极其重要的指标, 准确地确定粉尘云的最小点火能并采取相应的防护措施, 是预防粉尘爆炸的有效方法。因此从实验和理论两个方面系统地研究粉尘云的最小点火能及其影响因素, 相对精确地测试最小点火能, 并获得比较符合实际的数据, 能够为工业粉尘防爆提供一定的理论参考依据。

目前, 国内外研究者对于粉尘云最小点火能的实验测试和计算标准等问题, 已进行了大量的研究并取得了各自适用的结果。在测试装置方面, 早期使用较多的是容积为 1 m³ 或 20 L 的标准爆炸罐, 近年来则普遍使用符合 IEC (International Electrotechnical Commission) 标准^[1] 的 Hartmann 管。2002 年法国产业环境和风险研究所 (INERIS) 在对 Hartmann 管进行改进的基础上, 研制出符合 EN 标准^[2] 的 Mike 3 管。2007 年 Cesana 等人^[3] 对如何应用 Mike 3 管测试最小点火能进行了详细介绍, 并且简单提到了影响所测粉尘云最小点火能的各种因素。2006 年 Janes 等人^[4] 通过实验比较得出, 在所测能量处于 1~10 mJ 和大于 100 mJ 时, Mike 3 管可以更准确地表述物质的最小点火能。

从计算方法和定量标准方面而言, 各国的标准存在一定差异, 但都是以某能量下点火是否成功为依据给出最小点火能。Bane 等人^[5-6] 近几年在对 H₂、O₂ 等气体混合物进行临界点火能研究时提出, 点火结果应看作是一个概率事件, 而不是把简单的能否点燃当作最后确定最小点火能的标准, 这个观点在粉尘云点火能的研究方面是比较新颖的, 可以考虑加入点火测试标准。2010 年 Bernard 等人^[7] 从一般统

^{*} 收稿日期: 2012-09-30; 修回日期: 2013-01-08

基金项目: 科技部 973 项目 (2011CB706900); 爆炸科学与技术国家重点实验室重点课题基金 (YBKT 11-03)

作者简介: 李 磊 (1988—), 男, 硕士研究生, 主要从事爆炸测试与安全技术研究. E-mail: nm.nj.lei@163.com

通讯作者: 刘庆明 (1963—), 男, 博士, 教授, 主要从事多相燃烧与爆轰理论及实验研究. E-mail: qmlu@bit.edu.cn

计规律和对数统计规律两方面研究了粉尘云最小点火能,认为可以提供一个特定点火发生概率下的能量值。同年 Ngo^[8]在对可燃气体混合物最小点火能的研究中,系统地应用 Logistic 回归分析方法,得到了不同浓度的丙烷-空气混合物最小点火能的概率分布曲线,进一步验证了这种表示方法的可行性。

本研究采用 Mike 3 管,对不同浓度的烟酸粉尘-空气混合物进行最小点火能测试,采用统计分析的 Logistic 回归模型对测试数据进行计算分析,验证此方法的准确性和实用性。

2 实验装置与原理

2.1 实验测试系统

关于粉尘云点火能量的测试方法,各个国家的测试标准大体一致,本研究选用 Mike 3 管为测试装置,如图 1 所示,相应的电火花发生装置和喷粉扩散装置均按照国标 GB/T 16428—1996^[9]之规定进行设置。图 1 中,1 处为放电电极,电极材料为钨,直径 3 mm,电极尖端角度大约 30°;2 处为电磁阀,控制高压气体喷入实验装置中;3 处为压力表,用以显示喷粉压力的大小;4 处为石英玻璃管,便于观察粉尘燃爆情况,其直径 72 mm,高 314.5 mm,体积为 1.28 L,其底部装有伞状扩散器用以粉尘扩散。

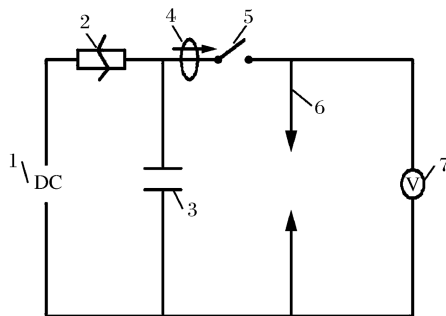
图 2 为实验测试系统的点火电路,电容放电产生的电流和电压分别用电流线圈 4 和高压探头 7 进行测量,实际操作中电极间隙保持在 6 mm 不变。



1. Tungsten electrodes; 2. Electromagnetic valve;
3. Pressure gauge; 4. Quartz glass tube

图 1 粉尘爆炸测试装置(Mike 3 管)

Fig. 1 Photograph of dust explosion test apparatus (Mike 3 tube)



1. Direct current power source; 2. Current limiting resistor;
3. Storage capacitance; 4. Current detector;
5. Switch; 6. Tungsten electrodes;
7. High-voltage detector

图 2 粉尘爆炸测试装置点火电路

Fig. 2 Igniting circuit of dust explosion test apparatus

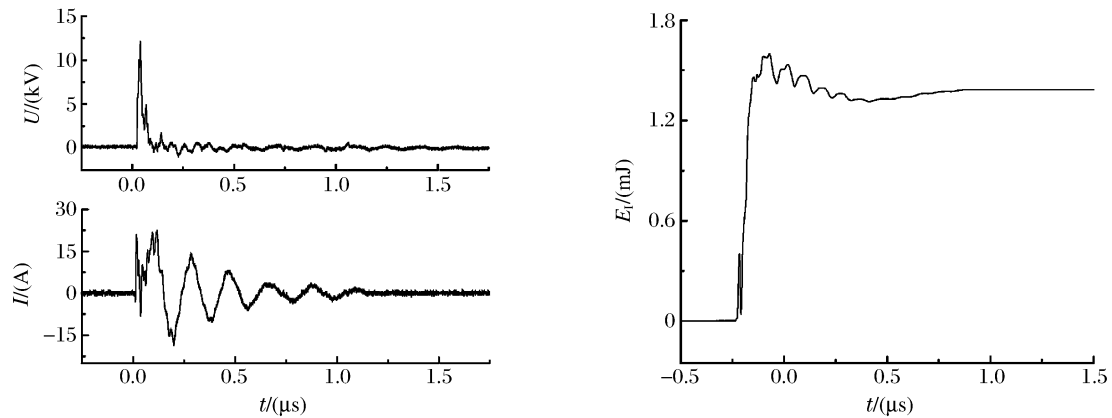
2.2 电容放电能量计算

通常认为电容中储存的总电能($E = CU^2/2$, C 为电容, U 为电压)为作用于粉尘-空气混合物的点火能量,但是由于电容放电不能完全放净,以及电路中的能量损失等原因,因此真正作用于点火的能量小于电容的储存能量。为了精确地确定点燃粉尘的点火能量,采用电压与电流乘积的积分形式进行计算

$$E_1 = \int_0^t I(t)U(t)dt \quad (1)$$

式中: E_1 为点火能, $I(t)$ 为放电时实际测得的电火花电流(A), $U(t)$ 为放电时实际测得的电火花电压(kV), t 为从电容开始放电到结束放电的时间(μs)。

以 120 pF 的电容为例,当充电电压为 8 kV 时,电极两端有放电电火花,示波器实测数据如图 3(a)所示。数据处理过程以最大电压所对应的时间 t_0 为起点,取电流震荡降为零点的时刻 t 为终点,对以上时间内的电压、电流值的乘积进行积分,计算确定点火能。图 3(b)为 8 kV 充电电压下的放电能量积分曲线,当电容放电完成后其释放的电火花能量为 1.38 mJ。



(a) Voltage and current signal during the discharge process

(b) Energy integration curve

图3 120 pF 电容 8 kV 电压下的放电输出信号与能量积分曲线

Fig. 3 The output signal and energy integration curve during the discharge process when the capacitance is 120 pF and the charging voltage is 8 kV

2.3 最小点火能计算分析方法

在最小点火能的计算标准方面,不同的标准给出的形式也不一致,有的给出的是一个能量范围,也有的给出一个特定的能量值。下面是确定粉尘云最小点火能 3 种比较成熟的方法。

(1) 按照国际电工协会(IEC)标准 IEC 61241-2-3^[1],中国国家标准 GB/T 16428—1996^[9]和美国材料试验协会(ASTM)标准 E2019—02^[10]等 3 个标准进行分析计算。在给定的粉尘浓度下,以一个能可靠点燃粉尘云的能量值开始,通过调节电容和(或)充电电压,逐次减半降低电火花能量,依次找到 E_1 (点火 20 次内均未出现着火的最大能量值)和 E_2 (点火 20 次内均出现着火的最小能量值),得到的粉尘最小能量是一个范围 $E_1 < E_{\min} < E_2$ 。

(2) 按照欧盟标准 EN13821:2002^[2],根据不同浓度粉尘点火成功与否的次数及 E_1 (各浓度下均未点燃粉尘的最大能量)和 E_2 (不同浓度下能点燃粉尘的最小能量)确定粉尘的最小点火能量是一个统计值 E_s ,这个统计值的计算公式如下

$$E_s = 10^{\lg E_2 - \left[\frac{I_{E_2} \cdot (\lg E_2 - \lg E_1)}{I_{E_2, \text{tot}} + 1} \right]} \quad (2)$$

式中: I_{E_2} 是能量 E_2 在不同浓度下点火成功的次数, $I_{E_2, \text{tot}}$ 是实验中所用不同粉尘浓度的点火总次数,利用这种方法确定的粉尘云最小点火能是一个确切的值,可以定量地为工业粉尘的防爆提供有益的指导。Cesana等^[3]在世界范围内组织的 Mike 3 管装置测试标定的活动中即采用此方法。

(3) 将点火结果视作概率事件,并采用 Logistic 回归统计方法对所得数据进行分析,可以得到不同点火能量下的点火成功概率曲线,这种方法能更形象地研究最小点火能。

Logistic(逻辑)回归^[11]模型是一种概率模型,它以某种结果发生与否的概率为因变量、以影响结果发生的因素为自变量建立回归模型。它与多元回归分析的最大差异^[12]在于因变量性质的不同,使得二者在参数的估计与假设上有所不同。Logistic 回归分析的假设是,样本在因变量上的概率分布呈 S 型分布,特别称为 Logistic 分布;其次,在参数估计方面是基于使因变量观察次数的概率极大化原则,通过最大似然法,得到自变量参数的最佳估计值。

Logistic 回归模型特别适用于因变量为两值或多值的问题。对于两值问题($Y=0$ 表示某事件 A 不发生, $Y=1$ 表示其发生),记为

$$P\{Y=1\} = P$$

式中: P 的取值在 0 与 1 之间变化,所以简单地将概率 P 表示为自变量 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的线性函数是不合适的。在统计学中解决这一问题的常用做法是对概率 P 做以下的 Logit 变换

$$\text{Logit}(P) = \ln \frac{P}{1-P} \quad (3)$$

当 P 在 $(0,1)$ 中变化时, $\text{Logit}(P)$ 在 $(-\infty, \infty)$ 中变化。这时利用 Logit 变换即可将属性变量取某个值的概率 P 表示为自变量的线性函数, 即

$$\text{Logit}(P) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_m x_m \quad (4)$$

该模型就称为 Logistic 回归模型。

Logistic 回归模型用于分析最小点火能是其最简单的情况: 只含点火能 E_1 一个自变量, 而点火成功概率 P 为因变量, 由 (3) 式和 (4) 式可得

$$P(E_1) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 E_1)} \quad (5)$$

利用 SPSS 软件可以计算得到 β_0, β_1 , 这时对于一定的点火概率 $P(E_1)$, 其对应的点火能量值 E_1 可由 (6) 式得到

$$E_1 = \frac{\ln\left[\frac{P(E_1)}{1-P(E_1)}\right] - \beta_0}{\beta_1} \quad (6)$$

但是当 $P(E_1)=1$ 时得不到 E_1 的数值, 因此对一定概率下的点火能量 E_1 可由 (7) 式得到相应的置信上限^[8] (E_{UCL}) 和置信下限 (E_{LCL})。

$$E_{\text{UCL}}/E_{\text{LCL}} = E_1 \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_{00} + 2E_1\sigma_{01} + E_1^2\sigma_{11}}{\beta_1^2}} \quad (7)$$

式中: σ_{00}, σ_{11} 是 β_0 和 β_1 的方差, σ_{01} 是 β_0 和 β_1 的协方差, $Z_{\alpha/2}$ 为标准正态分布曲线的上 $\alpha/2$ 分位点, 当取置信度为 0.95 时, $\alpha = 1 - 0.95 = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$; 由标准正态分布表可以查出 $Z_{\alpha/2} = 1.960$, $\sigma_{01} = \rho(\sigma_{00} \cdot \sigma_{11})^{1/2}$, ρ 是相关系数, 通过 SPSS 软件可以得出 $\rho, \sigma_{00}, \sigma_{11}, \beta_0$ 和 β_1 。本工作主要基于上述统计方法, 对粉尘云的最小点火能进行研究。

3 实验测试及结果分析

以烟酸(维生素 B₃, C₆H₅NO₂) 粉尘为研究对象, 经粉碎、研磨和筛分烘干后, 得到粒径为 96~113 μm 的烟酸粉尘样品, 分别使用质量为 0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10.0、20.0、30 g 的烟酸在 Mike 3 管内进行最小点火能测试; 由于粉尘在喷扬过程中存在壁面吸附、向管外飘逸等现象, 因此对喷粉效率一一进行校核, 进而确定粉尘的实际浓度, 结果详见表 1。

利用 2.1 节中所述的实验系统进行测试, 具体的实验条件为: 喷粉压力 0.7 MPa, 喷粉时间 110 ms, 点火延迟时间 130 ms, 经考核证明这是保证喷扬效率较高、粉尘与空气混合较均匀的条件。对于同一浓度的烟酸粉尘, 最多重复喷扬、点火 10 次, 如果 10 次内均未发生燃烧和爆炸, 则认为该点火能量不能引起点火。

3.1 Logistic 回归模型确定最小点火能 ($E_{\min}$)

以称量质量为 2 g 的烟酸粉尘为例, 经校核其实际浓度为 1085 g/m³。按 Logistic 回归模型的计算公式 (6) 式及 (7) 式, 利用 SPSS 软件得到 $\beta_0 = -2.945$, $\beta_1 = 0.569$, 得出点火成功概率及 95% 置信区间能量值的分布曲线如图 4 所示。图 4 中“★”表示实验数据(数值为 0 表示未点燃, 数值为 1 表示点燃), 实线表示点火概率, 虚线表示 95% 的置信区间(左侧为置信下限, 右侧为置信上限)。计算得到此时烟酸点火成功概率为 10% 的最小点火能 ($E_{\min}$) 是 1.32 mJ, 点火成功概率为 50% 的最小点火能是 5.18 mJ。其他浓度时的数据分析均同理, 图 4 是其中几组实验所得的点火成功概率曲线。实验所用不同质量的烟酸粉尘及其实际浓度见表 1, 表中还列出了基于 Logistic 回归模型、通过 SPSS 统计分析软件求得的参数 β_0, β_1 的值, 以及点火成功概率为 10% 和 50% 时的最小点火能量 $E_{\min}$ 。

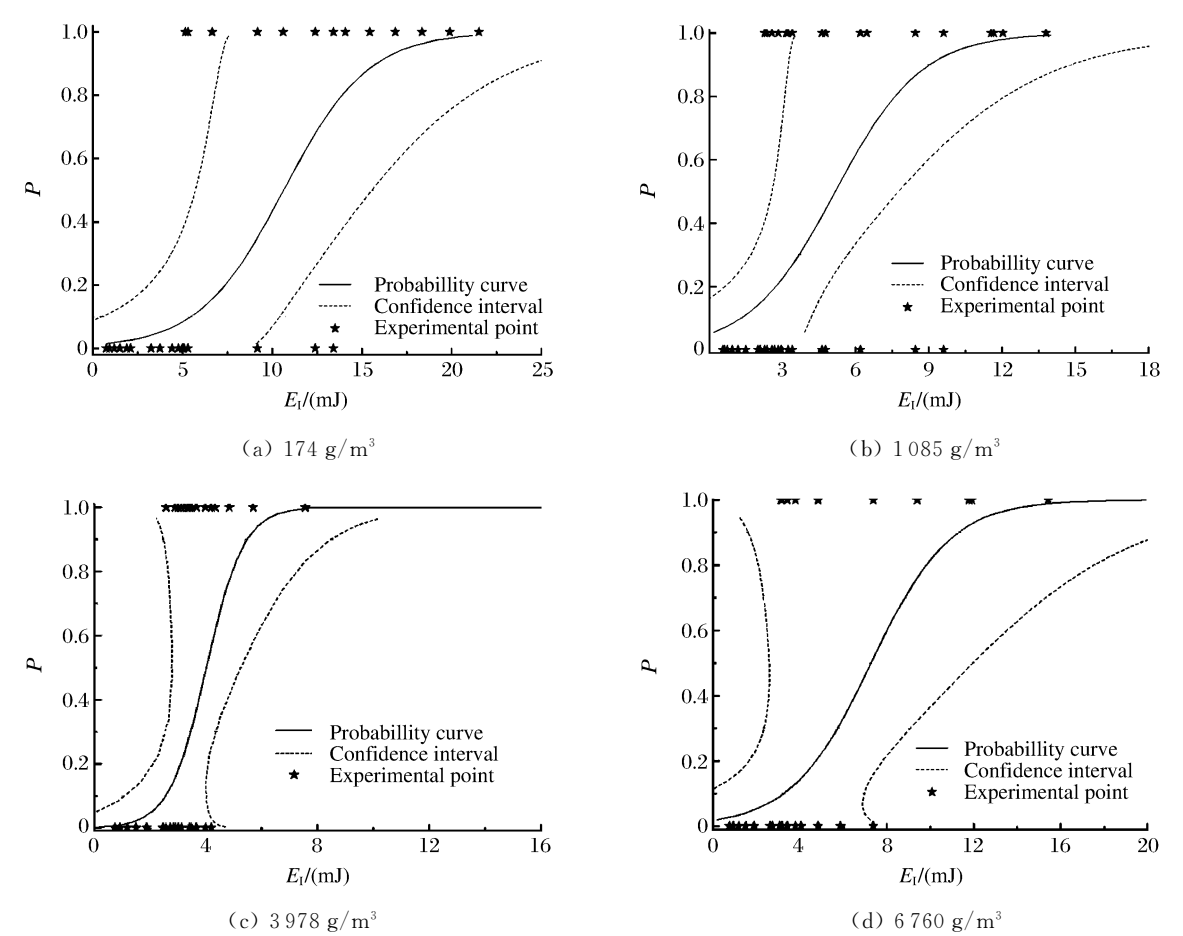


图 4 不同浓度烟酸粉尘云最小点火能概率分布曲线

Fig.4 Probability distribution of the minimum ignition energy for different concentrations of nicotinic acid dust cloud

表 1 不同浓度烟酸粉尘云最小点火能计算结果

Table 1 Calculation results of the minimum ignition energy for different concentrations of nicotinic acid dust cloud					
$\rho/(g)$	Concentration/(g/m ³)	β_0	β_1	$E_{min}(P=10\%)/(mJ)$	$E_{min}(P=50\%)/(mJ)$
0.5	174	-4.518	0.425	5.47	10.63
1.0	462	-3.519	0.340	3.92	10.35
1.5	671	-2.843	0.419	1.55	6.79
2.0	1085	-2.945	0.569	1.32	5.18
3.0	1207	-2.710	0.343	1.50	7.90
4.0	2585	-2.962	0.441	1.75	6.72
5.0	3026	-3.263	0.679	1.58	4.81
6.0	3978	-6.088	1.513	2.57	4.02
8.0	5709	-9.017	2.195	3.11	4.11
10.0	6760	-3.977	0.547	3.27	7.27
20.0	14064	-3.719	0.511	2.98	7.28
30.0	21049	-4.598	0.617	3.90	7.45

3.2 浓度对最小点火能的影响

根据表 1 给出的实验数据,可以绘制出烟酸-空气混合物在不同点火成功概率下的最小点火能随浓

度的变化曲线,如图 5 所示。可见当粉尘云浓度很小时最小点火能较大,之后随着粉尘云浓度逐渐增大其所需的最小点火能呈现先减小后增大的趋势。当点火成功概率为 10% 时,测得其最小点火能为 1.32 mJ,对应的烟酸质量浓度为 1 085 g/m³,当烟酸粉尘云浓度达到 6 760 g/m³ 后,最小点火能的数值稳定在 3 mJ 左右不变;当点火成功概率为 50% 时,其最小点火能为 4.02 mJ,此时烟酸浓度为 3 978 g/m³,当粉尘浓度达到 6 760 g/m³ 后,最小点火能量稳定在 7.3 mJ 附近。

对于上述实验现象,Nifuku 等人^[13]提出了以下理论解释:点火区域内粉尘云颗粒之间的距离要足够小,使燃烧颗粒的火焰传播速度较大,以有利于点火的发生;但是当浓度达到一定程度后,粉尘云颗粒的间距减小,参与燃烧的颗粒数目增多,每个颗粒从点火源平均获得的能量减小,因此不利于点火,相应的最小点火能较大。

3.3 不同最小点火能计算方法的比较

结合本次实验所得的实验数据,对前文所述的 3 种最小点火能分析标准进行了分别的计算和分析,结果如下。

按照国际电工协会(IEC)标准 IEC 61241-2-3、国标 GB/T 16428—1996、美国材料试验协会标准 ASTM E2019-02e1 等 3 个标准提出的最小点火能确定方法,当烟酸质量浓度为 1 085 g/m³ 时,最小点火能范围为 2.09 mJ< $E_{\min}$ <2.28 mJ。

按照欧盟标准 BS EN 13821:2002,取点火 10 次内均未出现点火的能量值 $E_1=1.88$ mJ,取点火 10 次内出现点火的能量值 $E_2=3.12$ mJ 时,得到 $E_s=2.27$ mJ,详见表 2。

$$E_s=10[\lg E_{21}-5(\lg E_{21}-\lg E_1)/(7+1)]=2.273\,990$$

表 2 按 BS EN 13821:2002 标准得到的粉尘云最小点火能量统计值

Table 2 Statistical results of the minimum ignition energy of nicotinic acid dust cloud based on the standard of BS EN 13821:2002

Ignition energy/ (mJ)	Dust concentration/(g/m ³)							Ignition probability <i>P</i>
	1 085	2 585	3 026	3 978	5 709	6 760	21 049	
$E_2=3.12$	NI	I	I	I	I	I	NI	5/7
$E_1=1.88$		NI	NI	NI	NI	NI		

根据 Logistic 回归模型,可以得到一系列点火成功概率分布曲线,取 10% 对应的能量值为 1.32 mJ,取 15% 对应的能量值为 2.13 mJ,取 50% 对应的能量值为 5.18 mJ。

表 3 对比了用 3 种方法得到的最小点火能量值,可见这几种方法所得的结果完全一致:其中使用国标 GB/T 16428—1996 等方法给出的能量范围包括了由欧盟标准 BS EN 13821:2002 计算得到的 E_s ;而运用 Logistic 回归模型得到的最小点火能可以将几种结果按不同的点火成功概率对应起来,具体来看,按照国标 GB/T 16428—1996 和欧盟标准 BS EN 13821:2002 中的方法,所得的最小点火能是以 15% 的点火成功概率为前提的。

在实际应用中,出于不同的目的对所用物质燃爆性能的实现期望有所不同。例如从工业生产安全的角度讲,应尽可能地避免粉尘爆炸事故的发生,这时可以根据较低的点火成功概率(如 10%)来制定生产空间的防护标准和安全措施;而作为弹药和推进剂等军用产品,则希望其中的燃料组分尽可能敏

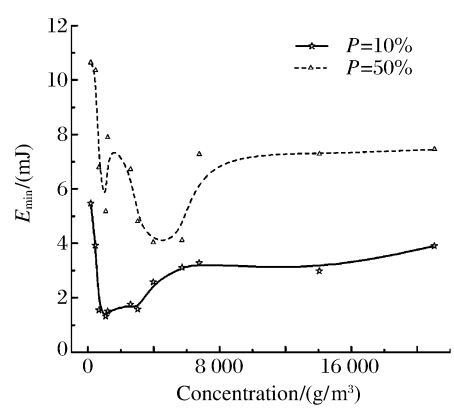


图 5 不同浓度烟酸粉尘云最小点火能变化曲线

Fig. 5 Changes of the minimum ignition energy for different concentrations of nicotinic acid dust cloud

感,以达到可靠引爆、高效毁伤的作用,其最小点火能的参考标准可以取点火成功概率大于 50% 甚至更高的条件。

表 3 烟酸粉尘云最小点火能分析结果对比

Analysis method	Minimum ignition energy/(mJ)	Remark
GB/T 16428—1996	$2.09 < E_{\min} < 2.28$	Ignition within 10 times
BS EN 13821:2002	2.27	
Logistic regression model	1.32/2.13/5.18	Ignition probability is 10%, 15% and 50%

综上所述,按 Logistic 统计分析方法计算、以特定点火成功概率为前提给出的最小点火能结果更符合实际情况,而且能满足不同产品对燃爆特性和生产环境安全防护的需要。

4 结 论

在容积为 1.28 L 的 Mike 3 管内对不同浓度的烟酸粉尘-空气混合物进行了最小点火能测试实验,利用 SPSS 软件计算得到了各浓度下烟酸粉尘云点火概率为 10% 和 50% 时的最小点火能,结果表明:

- (1) 将粉尘云能否成功点火看作是概率事件并应用统计分析方法进行研究,基于 Logistic 回归模型建立的粉尘云最小点火能计算方法,能更准确地描述粉尘云在特定概率下的最小点火能;
- (2) 粒径为 96~113 μm 的烟酸粉尘-空气混合物的最小点火能随烟酸浓度的增大呈出现先减小后增大的趋势,当粉尘浓度达到一定程度后,其最小点火能稳定在一个能量范围内;
- (3) 按不同计算标准得到的烟酸粉尘云最小点火能结果一致,按 Logistic 回归模型得到的最小点火能以点火成功概率为前提,更符合实际情况,而且能满足不同生产环境对安全控制的需要。

References:

[1] IEC 61241-2-3. Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust—Part 2: Test methods—Section 3: Method for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures [S]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 1994.

[2] BS EN 13821:2002. Potentially explosive atmospheres-explosion prevention and protection-determination of minimum ignition energy of dust/air mixtures [S]. Brussels: European Committee for Standardization, 2002.

[3] Cesana C, Siwek R. MIKE 3. Minimum ignition energy 3.3 [EB/OL]. <http://scholar.googleusercontent.com>, 2012-06-23.

[4] Janes A, Chaîneaux J, Carson D, et al. MIKE 3 versus HARTMANN apparatus: Comparison of measured minimum ignition energy (MIE) [J]. Hazard Mater, 2008, 152(1): 32-39.

[5] Bane S P M, Ziegler J L, Boettcher P A, et al. Investigation of spark ignition in hydrogen, hexane, and kerosene: Experiment and simulation [C]//The 8th International Symposium on Hazards, Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions (ISHPMIE). Yokohama, 2010: ISH075.

[6] Bane S P M, Shepherd J E, Kwon E, et al. Statistical analysis of electrostatic spark ignition of lean H₂/O₂/Ar mixtures [J]. Int J Hydrogen Energy, 2011, 36(7): 2344-2350.

[7] Bernard S, Lebecki K, Gillard P, et al. Statistical method for the determination of the ignition energy of dust cloud experimental validation [J]. J Loss Prevent Proces Indust, 2010, 23(1): 404-411.

[8] Ngo M. Determination of the minimum ignition energy (MIE) of premixed propane/air [D]. Norway: University of Bergen, 2009.

[9] GB/T 16428—1996. Determination of the minimum ignition energy of dust cloud [S]. Beijing: Coal Industry Press, 1996. (in Chinese)

GB/T 16428—1996. 粉尘云最小着火能测定方法 [S]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.

- [10] ASTM E2019-02e1. Standard test method for minimum ignition energy of a dust cloud in air [S]. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 2002.
- [11] He N, Wu L B, Teng C. Statistical Analysis System SAS and SPSS [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2008: 155-157. (in Chinese)
何 宁, 吴黎兵, 滕 冲. 统计分析系统 SAS 与 SPSS [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 155-157.
- [12] Wang B J. Multi-Variable Analysis: Statistical Software and Data Analysis [M]. Beijing: Peking University Press, 2007: 378-380. (in Chinese)
王保进. 多变量分析: 统计软件与数据分析 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2007: 378-380.
- [13] Nifuku M, Katoh H. Incendiary characteristics of electrostatic discharge for dust and gas explosion [J]. J Loss Prevent Process Indust, 2001, 14(6): 547-551.

Statistical Analysis of Minimum Electrostatic Spark Ignition Energy of Dust Cloud

LI Lei, LIU Qing-Ming, GAO Ke-Ping, WANG Jian-Ping

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: According to the logistic regression model based on statistical analysis, the experiments on the minimum ignition energy of different concentrations of nicotinic acid dust-air mixtures have been conducted in the Mike 3 tube by the calculation method of the minimum ignition energy of dust cloud which represented by probability, the volume of Mike 3 tube is 1.28 L. Utilizing SPSS software, the minimum ignition energy of various concentrations of nicotinic acid dust cloud when the ignition probabilities are 10% and 50% has been calculated. The results show that the minimum ignition energy of nicotinic acid dust cloud has a tendency to first decrease and then increase with increasing concentrations, finally maintain at a certain energy range. Compared with other standard calculations, the viewpoint of ignition as a statistical phenomenon appears to be more consistent with the test data in engineering, it can also meet the needs of different production environments for security control.

Key words: dust explosion; minimum ignition energy (MIE); logistic regression; ignition probability; standard of measuring ignition energy; nicotinic acid dust cloud