

# 环境温度对多相混合物爆炸特性影响的实验研究

白春华, 张成均, 刘楠, 姚宁

(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:** 为了研究环境温度对以铝粉、乙醚、硝基甲烷为原料的气液固多相混合物爆炸特性的影响, 利用 20 L 球型爆炸罐, 在不同环境温度 (20~50 °C) 下, 实验研究了温度变化对混合物的爆炸超压、最大爆炸压力上升速率和爆炸下限的影响。结果表明: 实验工况下, 乙醚的爆炸特性参数随温度升高而降低; 铝粉的爆炸特性参数受温度影响较小; 气液固多相混合物的爆炸压力随温度升高略微下降, 最大爆炸压力上升速率先升后降, 存在一个最佳浓度配比使爆炸威力最佳; 气液固多相混合物的爆炸下限随温度升高而下降, 在绝大部分易挥发物质汽化后, 混合物下限趋于稳定。

**关键词:** 环境温度; 爆炸特性; 爆炸下限; 多相混合物

**中图分类号:** X932

**文献标识码:** A

随着现代工业的发展和国防装备 FAE 武器的研制, 金属粉末和易燃、易爆、易挥发性液体的使用越来越广泛, 生产工艺流程中难免会在车间空气中积聚悬浮粉尘和易燃易爆气体, 形成极具爆炸性的粉尘云团, 国内外发生的粉尘爆炸事故屡见不鲜。不同的材料、配比和复杂的生产环境等多种工况需要考虑若干种影响因素, 如王振刚<sup>[1]</sup>、代濠源<sup>[2]</sup>、Yu<sup>[3]</sup>和 Kalman<sup>[4]</sup>等研究了粉尘粒径、初始温度、含水量、粉尘质量浓度、含氧量对粉尘爆炸特性的影响。粉尘爆炸的爆炸特性主要看最大爆炸压力和最大压力上升速率两个参数, 粉尘爆炸不像气体爆炸那样具有普遍意义, 不同种类的粉尘也有不同的爆炸特性。袁然<sup>[5]</sup>得出随着镁铝合金粉浓度的增加, 最大爆炸压力呈现出先逐渐增大后逐渐减小的趋势。田甜<sup>[6]</sup>证明了随着初始压力增大, 最大爆炸压力和最大压力上升速率大致与之成正比增长。何宁等<sup>[7]</sup>研究了硝基甲烷蒸气与空气中铝粉粉尘所形成的爆炸性混合物云团的燃爆特征及规律, 认为硝基甲烷蒸气浓度越高, 爆炸超压峰值越大。罗艾民等<sup>[8]</sup>根据热渗透理论分析了在液相硝基甲烷爆炸热作用下铝粉颗粒的温度响应。曹卫国等<sup>[9]</sup>证明了在相同的实验条件下, 煤粉-甲烷-空气混合物的爆炸强度均高于煤粉-空气混合物的爆炸强度, 气相爆炸物的存在对混合物爆炸威力存在加成作用。蒋丽等<sup>[10]</sup>得到了铝粉、乙醚和空气三相混合物燃烧转爆轰过程的宏观规律以及三相混合物燃爆性能随质量浓度变化的规律。国内外研究人员对多相混合物爆炸特性的各种影响因素进行了大量研究, 但针对环境温度的研究还不够全面。

本研究重点关注环境温度对粉尘、气液、气液固多相混合物爆炸特性的影响, 实验物料使用铝粉、乙醚和硝基甲烷。铝粉、乙醚单质与空气的混合物的研究已有不少, 将其混合并加上硝基甲烷与空气混合是本研究的新颖之处, 具有重要的军事应用背景。实验主要内容是在一定温度范围内, 研究环境温度对粉尘、气液、气液固多相混合物最大爆炸压力和最大爆炸压力上升速率的影响规律, 分析环境温度对气液固多相混合物形成的粉尘云团的爆炸特性参数的影响以及气液固多相混合物的爆炸下限随环境温度的变化规律。

\* 收稿日期: 2018-10-10; 修回日期: 2019-01-02

基金项目: 国家自然科学基金 (11732003)

作者简介: 白春华 (1959—), 男, 博士, 教授, 主要从事多相云雾爆轰理论研究与应用。

E-mail: [chbai@bit.edu.cn](mailto:chbai@bit.edu.cn)

通信作者: 张成均 (1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事多相爆轰理论基础研究. E-mail: [874523657@qq.com](mailto:874523657@qq.com)

## 1 实验系统和方法

多相混合物以铝粉为主, 粉尘的爆炸特性测试按照国家标准 GB/T 16426-1996 中规定, 使用粉尘爆炸参数测试装置的体积可为  $1 \text{ m}^3$  和  $20 \text{ L}$ , Proust<sup>[1]</sup> 证明了  $20 \text{ L}$  爆炸装置的点火效率高于  $1 \text{ m}^3$ 。本研究使用定浓度、变温度的方法, 讨论环境温度的改变对该浓度的混合物爆炸特性的影响。基于此, 使用对喷式喷头的  $20 \text{ L}$  球型罐, 二次脉冲气动喷雾多相爆炸测试系统由王悦等<sup>[2]</sup> 设计, 并证明该设计具有良好的分散效果, 如图 1 所示。实验系统主要包括  $20 \text{ L}$  的爆炸罐体、配气系统、点火系统、加热系统、数采系统 5 部分, 配气系统提供  $0.4 \text{ MPa}$  的气动压力。经过大量准备实验探索, 为避免不同工况下因点火能量不够影响点火, 且考虑到点火器的稳定重复供能最大值为  $90 \text{ J}$ , 将点火能量定为  $90 \text{ J}$ 。多相混合物产生最大爆炸压力的质量浓度在  $500 \sim 700 \text{ g/m}^3$  之间, 设定多相混合物实验质量浓度为  $600 \text{ g/m}^3$ 。采用罐体中心点点火方式, 经数值计算和实验考量, 点火延迟时间设置为  $90 \text{ ms}$ 。储料室存放称量好的物料并进行预混, 电磁阀开启时长  $50 \text{ ms}$ , 混合物在高压气体  $50 \text{ ms}$  的气动作用下通过喷头进入爆炸罐, 铝粉颗粒、液相和在分散过程中挥发的气相部分在罐体中持续分散  $90 \text{ ms}$  形成多相混合物。加热系统控制罐体内部温度在  $20 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$  之间, 因系统升温快降温慢, 经测试在温度区间内罐体内部平均每  $20 \text{ s}$  自然下降  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 喷入混合物后球罐内部几乎没有温差变化, 视混合物形成的瞬间温度与设定温度一致。数采系统压力传感器采集壁面压力变化数据, 并输出文件。

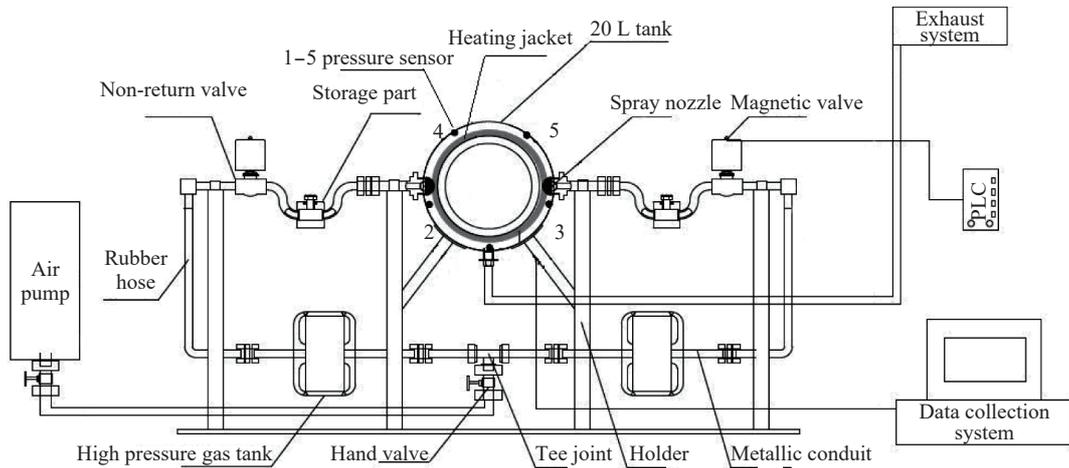


图 1  $20 \text{ L}$  球罐爆炸系统

Fig. 1  $20 \text{ L}$  spherical explosion system

由于粉尘爆炸重复性差, 且实验设备的质量浓度精度控制在  $5 \text{ g/m}^3$ , 误差在  $2\% \sim 3\%$ , 根据标准 ASTM E2079-07, 若某一浓度连续 3 次均不发生爆炸, 且浓度增加  $5 \text{ g/m}^3$  的梯度差后即可发生爆炸, 则可以认为该浓度是该温度下粉尘的爆炸下限值。

## 2 环境温度对爆炸超压的影响

实验中的主要实验参数是最大爆炸压力  $p_{\max}$  和最大爆炸压力上升速率  $(dp/dt)_{\max}$ , 使用粉尘爆炸的立方根定律, 即

$$(dp/dt)_{\max} \cdot V^{1/3} = K_{st} \quad (1)$$

式中:  $K_{st}$  称为粉尘爆炸威力指数常数, 主要取决于粉尘种类, 而与容器体积无关, 在比较最大压力上升速率时具有普遍意义;  $V$  为爆炸球的体积 ( $0.02 \text{ m}^3$ )。

### 2.1 实验结果

在  $20 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$  温度范围内分别测得铝粉 ( $300 \text{ g/m}^3$ )、铝粉/乙醚 (铝粉和乙醚的质量浓度比 =  $1 : 1$ , 共  $600 \text{ g/m}^3$ )、铝粉/乙醚/硝基甲烷 (铝粉 : 乙醚 : 硝基甲烷 =  $2 : 1 : 1$ )、乙醚 ( $600 \text{ g/m}^3$ ) 4 种组别的最大爆

炸压力, 经数据处理得到环境温度与最大爆炸压力  $p_{\max}$ 、最大爆炸压力上升速率  $(dp/dt)_{\max}$  和爆炸威力指数  $K_{st}$  之间的对应关系, 如表 1、表 2、表 3 和表 4 所示。

表 1 铝粉/空气混合物爆炸参数

Table 1 Explosion parameters of aluminum powder/air mixture

Temperature/°C	Ignition energy/J	$p_{\max}$ /MPa	$(dp/dt)_{\max}/(\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1})$	$K_{st}$
21.7	90	0.858	62.659	17.008
24.4	90	0.817	65.625	17.813
31.0	90	0.861	62.705	17.020
35.0	90	0.856	68.205	18.513
37.2	90	0.912	71.910	19.519
40.0	90	0.791	67.469	18.314
45.0	90	0.812	75.292	20.437
50.0	90	0.773	71.381	19.375

表 2 铝粉/乙醚混合物爆炸参数

Table 2 Explosion parameters of aluminum powder/ether mixture

Temperature/°C	Ignition energy/J	$p_{\max}$ /MPa	$(dp/dt)_{\max}/(\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1})$	$K_{st}$
21.7	90	0.971	106.616	28.939
25.0	90	0.943	109.204	29.642
30.0	90	0.946	120.792	32.788
32.9	90	0.924	124.851	33.889
34.0	90	0.919	126.464	34.327
35.0	90	0.918	127.204	34.528
40.0	90	0.914	124.704	33.849
48.0	90	0.910	113.233	30.736
50.0	90	0.923	106.087	28.796

表 3 铝粉/乙醚/硝基甲烷混合物爆炸参数

Table 3 Explosion parameters of aluminum powder/ether/nitromethane mixture

Temperature/°C	Ignition energy/J	$p_{\max}$ /MPa	$(dp/dt)_{\max}/(\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1})$	$K_{st}$
21.7	90	1.114	108.675	29.498
25.0	90	1.199	105.969	28.764
30.2	90	1.189	112.852	30.632
35.0	90	1.161	134.557	36.524
41.6	90	1.129	132.174	35.877
45.4	90	1.090	116.910	31.734
50.0	90	0.996	110.454	29.948

## 2.2 最大爆炸压力随温度变化规律

实验中, 球形爆炸罐采用中心点火的方式, 压力传感器分布在罐壁上, 因此爆炸前沿接近罐壁后的压力峰值即可作为最大爆炸压力  $p_{\max}$ , 最大爆炸压力  $p_{\max}$  变化曲线如图 2 所示。

从图 2 中的曲线 A1 可以看出, 在实验温度范围 (20~50 °C) 内, 纯铝粉 (300 g/m<sup>3</sup>) 的最大爆炸压力  $p_{\max}$  在 0.77~0.91 MPa 之间, 温度区间前后相对平均压力 0.835 MPa 有 9% 的上下浮动, 可以看作铝粉

表4 乙醚/空气爆炸参数  
Table 4 Explosion parameters of ether/air mixture

Temperature/°C	Ignition energy/J	$p_{\max}$ /MPa	$(dp/dt)_{\max}$ /(MPa·s <sup>-1</sup> )
21.7	90	1.140	107.351
25.0	90	0.975	51.469
26.4	90	0.957	76.469
33.0	90	0.856	73.528
35.0	90	0.862	61.763
40.0	90	0.801	30.881
50.0	90	0.777	33.087

的  $p_{\max}$  与温度变化无关。这是因为实验温度区间属于低温区间, 铝粉沸点高达 2000 °C, 温度变化对铝粉表面化学反应的速度没有明显促进作用, 根据吴建星等<sup>[13]</sup>的研究可推知, 在实验温度范围内铝粉颗粒蒸发速率不会加剧, 铝粉表面的活化分子也不会增加多少, 反应物总量不变, 产生的  $p_{\max}$  不会有规律的变化。

由曲线 Ether 可以看出, 纯乙醚 (600 g/m<sup>3</sup>) 的  $p_{\max}$  在 0.80~1.15 MPa 之间, 随温度升高而降低, 呈明显的非线性关系。乙醚的沸点在 35 °C 左右, 在 20~35 °C 之间乙醚的  $p_{\max}$  下降幅度为 24.9%, 35~50 °C 之间  $p_{\max}$  下降幅度为 9.2%, 主要是因为: 沸点前乙醚挥发量大, 其气相比例增速快; 而在沸点后乙醚大部分气化完成, 气相比例趋于稳定。根据 Ott<sup>[14]</sup>的研究, 可燃液体云雾的  $p_{\max}$  大于其相应纯气相和空气混合物的  $p_{\max}$ 。由此可知, 乙醚的  $p_{\max}$  随温度变化较大的原因是气相比例的变化导致的。

由曲线 Al/Ether 可以看出, 铝粉: 乙醚=1:1(共 600 g/m<sup>3</sup>) 的  $p_{\max}$  在 1.1~1.2 MPa 之间, 随温度升高仅有 4.9% 的下降幅度。相比纯铝粉的曲线可以看出, 乙醚的存在提供了混合物 7.0%~19.4% 的爆炸压力, 且相对纯铝粉粉尘云爆炸压力变化情况而言, 减轻了粉尘云爆炸压力忽高忽低的现象。气相乙醚的存在促进了点火瞬间火焰的传播范围, 增加了瞬间发生表面反应的铝粉颗粒数量, 且削弱了由铝粉分散不均匀造成的偏差, 一定程度上增强了粉尘云爆炸的稳定性。

由曲线 Al/Ether/Nitromethane 可以看出, 铝粉: 乙醚: 硝基甲烷=2:1:1(共 600 g/m<sup>3</sup>) 的  $p_{\max}$  在 1.05~1.20 MPa 之间, 温度的升高使爆炸压力下降幅度 11.9%。硝基甲烷的沸点是 100 °C, 可以看作纯液相, 由以上曲线可以看出, 作为液体炸药的硝基甲烷大大增加了混合物的最大爆炸压力, 乙醚主要增强铝粉粉尘云起爆的稳定性。

### 2.3 最大爆炸压力上升速率随温度变化规律

按照粉尘爆炸立方根定律处理得到的爆炸最大压力上升速率  $(dp/dt)_{\max}$ , 得到 4 组  $(dp/dt)_{\max}$  随温度变化的曲线, 如图 3 所示。

根据图 3 中曲线 Al 的走势可以看出, 纯铝粉 (300 g/m<sup>3</sup>) 的最大爆炸压力上升速率  $(dp/dt)_{\max}$  在温度区间 (20~50 °C) 内有 8% 的起伏, 可以看作与温度无关, 爆炸威力指数在 18.4 左右。

由曲线 Ether 可以看出, 纯乙醚 (600 g/m<sup>3</sup>) 的最大爆炸压力上升速率  $(dp/dt)_{\max}$  在温度区间 (20~50 °C) 内随着温度上升有明显的下降趋势, 区间内降幅达 72%。在 20~35 °C 之间下降幅度平缓, 平均

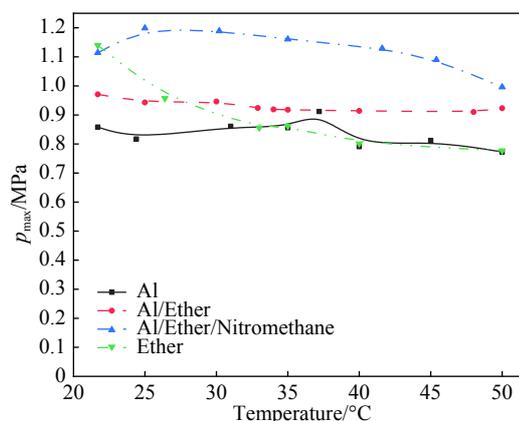


图2 最大爆炸压力随温度变化曲线

Fig. 2 Maximum explosion pressure vs. temperature

每摄氏度下降 3.3 MPa/s, 而 35~40 °C 之间平均每摄氏度下降 6.2 MPa/s, 40 °C 之后便不再有明显变化。结合其爆炸压力随温度变化规律可以得出, 对于气液混合物爆炸, 气相比比例占比越大, 其爆炸压力越低, 爆炸上升速率越低。

由曲线 Al/Ether 可以看出, 铝粉/乙醚混合物(铝粉:乙醚=1:1,共 600 g/m<sup>3</sup>)的最大爆炸压力上升速率  $(dp/dt)_{max}$  在温度区间(20~50 °C)内随着温度上升有明显的先升后降的趋势。在 35 °C 前后发生转折, 前后变化幅度相当, 约每摄氏度增减 1.4 MPa/s, 最大爆炸威力指数在 34.5 左右。

由曲线 Al/Ether/Nitromethane 可以看出, 铝粉/乙醚/硝基甲烷混合物(铝粉:乙醚:硝基甲烷=2:1:1)的最大爆炸压力上升速率  $(dp/dt)_{max}$  在温度区间(20~50 °C)内随着温度上升有明显的下降趋势, 在 37 °C 前后发生转折。在 20~30 °C 区间平均每摄氏度增加 0.4 MPa/s, 30~37 °C 区间平均每摄氏度增加 3.3 MPa/s, 37~50 °C 区间平均每摄氏度减小 1.9 MPa/s, 最大爆炸威力指数在 36.5 左右。由此可以得出, 对于气液固三相混合物, 在总质量浓度不变的情况下, 存在一个特定的气相比比例使混合物整体爆炸威力达到最大, 对于不同物质配比该比例不同。

综合上述结论可以看出, 环境温度的增加对铝粉的爆炸特性影响不大, 对易挥发性液滴云雾的爆炸特性存在明显的削弱现象, 对含有易挥发性液滴的粉尘云团最大爆炸压力上升速率的影响是一个先增后降的过程, 混合物中气相比比例的增加对爆炸压力起削弱作用。总质量浓度相同的情况下, 多相混合物中加入硝基甲烷比同质量浓度的乙醚爆炸威力大。

### 3 环境温度对爆炸下限的影响

由于粉尘爆炸较气体爆炸更为剧烈和不稳定, 所以爆炸罐出现火花即认为发生爆炸, 连续 3 次不爆即可认为该浓度不爆, 连续实验中最大的不爆浓度可定为该温度的爆炸下限。

本实验针对气液固三相混合物, 使用铝粉:乙醚:硝基甲烷=2:1:1(质量浓度比)混合物进行实验, 测定其在不同温度下的爆炸下限(Lower Explosion Limit, LEL), 见表 5, 并根据表 5 中的数据绘制了爆炸下限随温度变化的曲线, 如图 4 所示。

表 5 爆炸下限数据

Table 5 Lower explosion limit data

Temperature/°C	LEL/(g·m <sup>-3</sup> )
21.7	180
24.3	175
27.8	160
33.2	155
37.5	150
42.5	150
51.0	150

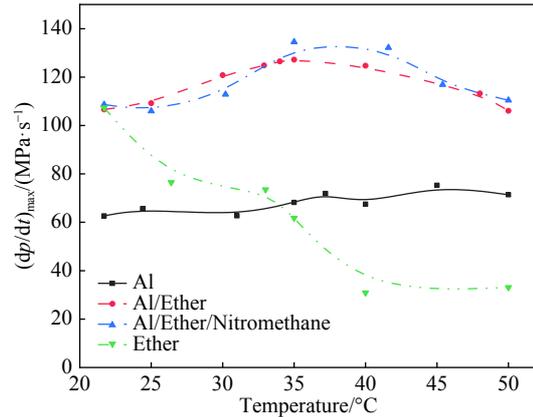


图 3 爆炸上升速率随温度变化曲线  
Fig. 3 Explosion pressure rise rate vs. temperature

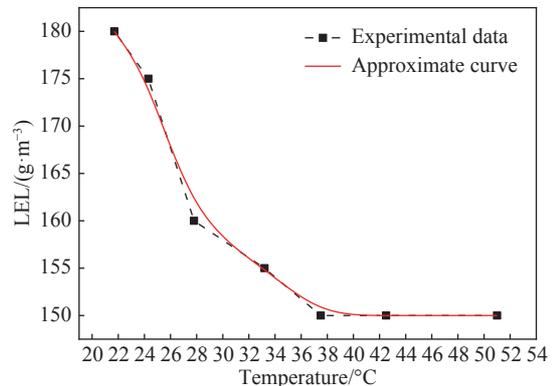


图 4 爆炸下限随温度变化曲线  
Fig. 4 Lower explosion limit vs. temperature

由图 4 中实验值和近似值可以看出, 在温度变化区间内, 混合物的爆炸下限随温度升高整体降低, 降幅达 16.7%, 且到 37 °C 以后就不再发生明显变化。对比实验值和近似曲线可以认为, 由于实验精度

的问题,质量浓度存在 1.39%~1.67% 的误差。因为乙醚的沸点约 35 °C,在 37 °C 之后,气相比不再增加,对点火的促进作用不再增加,所以爆炸下限也相应地趋于不变。

由此可以看出,对于生产中使用易燃、易爆、易挥发的液体和溢散到空气中的粉尘,会在工厂车间中混合成具有爆炸性的粉尘云,冬夏、昼夜温差以及设备产热导致环境温度的改变,会使生产车间的危险系数不断变化。因此,要合理规划安全生产流程和安全规章制度,特别注意高温高压操作环境中的安全问题,着重注意环境温度的变化带来的影响。

## 4 结 论

(1)环境温度(20~50 °C)的增加对铝粉的爆炸威力影响不大,对易挥发性液滴云雾的爆炸威力存在明显的削弱现象,达到液相燃料沸点之后,温度对其爆炸威力的影响变弱。

(2)随着环境温度的升高,含易挥发相的气液固多相混合物的最大爆炸压力有逐步减小的趋势,其最大爆炸压力上升速率表现为先升后降。总质量浓度不变的情况下,存在一个特定的气、液、固质量浓度比使整体爆炸威力指数达到最大,且气相爆炸性物质的存在对混合物的爆炸威力存在一定的加成作用。

(3)气液固多相混合物的爆炸下限随温度增加而减小,达到液相燃料沸点之后温度对其爆炸威力的影响变弱,主要受易挥发液相燃料挥发的物质的量的影响。

(4)对于生产中使用易燃、易爆、易挥发性液体和不同种类含能粉末的企业,应重视环境温度改变带来的危险,提高安全阈值,加强通风,提高厂房泄压能力。研究结果可为国防、民爆、石化行业的工业灾害事故的预防、控制及军事领域 FAE 武器的发展应用提供参考。

## 参考文献:

- [1] 王振刚,张帆,赵琳,等. 硫磺粉尘燃爆危险性研究 [J]. 无机盐工业, 2015, 47(2): 56-59.  
WANG Z G, ZHANG F, ZHAO L, et al. Study on sulphur dust explosive hazard [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2015, 47(2): 56-59.
- [2] 代濠源,樊建春,孙莉,等. 初始温度对湿法成型硫磺燃烧爆炸特性影响的试验研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(3): 24-28.  
DAI H Y, FAN J C, SUN L, et al. Experimental study on influence by initial temperature to combustion and explosion characteristics of wet-granulation sulfur [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(3): 24-28.
- [3] YU Y Q, FAN J C. Research on explosion characteristics of sulfur dust and risk control of the explosion [C]//2014 International Symposium on Safety Science and Technology. Beijing, 2014: 449-459.
- [4] KALMAN J, GLUMAC N G, KRIER H. Optical measurements of dispersion and ignition effects on particle concentration in constant volume dust explosion experiments [C]//Central States Section of the Combustion Institute Spring Technical Meeting 2014, Combustion Fundamentals and Applications. Tulsa, OK, 2014.
- [5] 袁然. 镁铝合金粉爆炸特性分析 [D]. 成都: 西南石油大学, 2016: 45-46.
- [6] 田甜. 密闭空间镁铝粉尘爆炸特性的实验研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2006: 75-76.
- [7] 何宁,向聪,李伟,等. 硝基甲烷与铝粉混合物燃爆特性实验研究 [J]. 兵工学报, 2018, 39(1): 111-117.  
HE N, XIANG C, LI W, et al. Experimental study on deflagrating characteristics of nitromethane-aluminum powder [J]. *Acta Armamentarii*, 2018, 39(1): 111-117.
- [8] 罗艾民,张奇,白春华,等. 爆炸热作用所致的铝粉颗粒温度响应 [J]. 火炸药学报, 2005, 28(1): 35-38.  
LUO A M, ZHANG Q, BAI C H, et al. Temperature response of aluminum particle heated by thermal effects of explosive detonation [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005, 28(1): 35-38.
- [9] 曹卫国. 褐煤粉尘爆炸特性实验及机理研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2016: 110-111.
- [10] 蒋丽,白春华,刘庆明. 气/固/液三相混合物燃烧转爆轰过程实验研究 [J]. 爆炸与冲击, 2010, 30(6): 588-592.  
JIANG L, BAI C H, LIU Q M. Experimental study on DDT process in 3-phase suspensions of gas/solid particle/liquid mist

- mixture [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2010, 30(6): 588–592.
- [11] PROUST C. A few fundamental aspects about ignition and flame propagation in dust clouds [J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2006, 19(2/3): 104–120.
- [12] 王悦, 白春华. 乙醚云雾场燃爆参数实验研究 [J]. *爆炸与冲击*, 2016, 36(4): 497–502.  
WANG Y, BAI C H. Experimental research on explosion parameters of diethyl ether mist [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2016, 36(4): 497–502.
- [13] 吴建星, 龚友成, 金湘. 环境温度对粉尘爆炸参数的影响 [J]. *工业安全与环保*, 2007, 33(11): 32–33.  
WU J X, GONG Y C, JIN X. Influences of the environment temperature on dust explosion parameters [J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2007, 33(11): 32–33.
- [14] OTT E E. Effects of fuel slosh and vibration on the flammability hazards of hydrocarbon turbine fuels within aircraft fuel tanks: AFAPL-TR-70-65 [R]. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Air Force Aero Propulsion Laboratory, 1970.

## Experimental Study on the Effects of Ambient Temperature on Explosion Characteristics of Multiphase Mixtures

BAI Chunhua, ZHANG Chengjun, LIU Nan, YAO Ning

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

**Abstract:** In order to explore the influence of ambient temperature on the explosion properties of aluminium/ether/nitromethane gas-fluid-solid multiphase mixtures, we use a 20 L spherical explosion tank to experimentally obtain the effect of temperature on the mixture explosion over pressure, the maximum explosion pressure rise rate and the lower explosive limit. The results show that: under the experimental condition, the explosive characteristic parameters of ether decrease with the increase of temperature. The explosion characteristic parameters of aluminum powder are less affected by the changing temperature. The explosion pressure of gas-liquid-solid polyphase mixture decreases slightly with the increase of temperature, and the maximum explosion pressure rises first and then decreases. There is an optimum concentration ratio for the optimum explosion power. The lower explosive limit of gas-liquid-solid polyphase mixture decreases with the increase of temperature, and the lower limit of mixture tends to be stable after gasification of most volatile substances.

**Keywords:** ambient temperature; explosion characteristics; lower explosion limit; multiphase mixture