

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.03.023

## 木薯淀粉爆炸下限的实验研究\*

张睿冲<sup>1,2</sup>, 邓越洋<sup>2</sup>, 邓红卫<sup>1</sup>, 陈庆发<sup>2</sup>, 程贵海<sup>2</sup>

(1 中南大学 资源与安全学院, 长沙 410083; 2 广西大学 资源环境与材料学院, 南宁 530004)

**摘要:** 为预防木薯淀粉在生产经营中爆炸, 特研究木薯淀粉爆炸下限, 采用 20 L 球罐粉尘云爆炸参数测试装置, 对木薯淀粉的爆炸下限进行实验研究。分别研究了点火头能量、喷吹压力、质量浓度对木薯淀粉爆炸下限的影响。结果表明: 随着点火能量的增加, 木薯原淀粉的爆炸下限降低, 木薯淀粉爆炸下限浓度最小值为 25 ~ 35 g/m<sup>3</sup>; 在不同的喷吹压力条件下, 随着点火延迟时间的增加, 木薯淀粉的爆炸下限呈现减少后增加的特征; 不同的点火延迟时间条件下, 部分延迟时间段, 木薯淀粉的爆炸下限呈现减少后增加的特征, 另外的延迟时间段, 木薯淀粉的爆炸下限呈现波动的无规律的特征。

**关键词:** 木薯原淀粉; 爆炸下限; 爆炸下限影响因素

**中图分类号:** X932 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)03-0134-07

## Experimental Study on Lower Limit of Tapioca Starch Explosion

ZHANG Rui-chong<sup>1,2</sup>, DENG Yue-yang<sup>2</sup>, DENG Hong-wei<sup>1</sup>, CHEN Qing-fa<sup>2</sup>, CHENG Gui-hai<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. College of Resources Environment and Materials, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** To prevent the explosion of tapioca starch in its production and operation, a 20 L spherical tank dust cloud explosion parameter test device was used to conduct experimental research on the lower explosion limit of tapioca starch. The effects of ignition energy, injection pressure and mass concentration on the lower explosion limit of tapioca starch were studied. The results showed that with the increase of ignition energy, the lower explosion limit of tapioca starch decreased, and the minimum concentration of tapioca starch explosion was 25 ~ 35 g/m<sup>3</sup>. Under different injection pressure, with the increase of ignition delay time, the lower explosion limit of tapioca starch showed a V type variation tendency. For some of the delay time periods, the lower explosion limit of tapioca starch showed a V type variation tendency. Whereas for the other delay time periods, the lower explosion limit of tapioca starch fluctuated irregularly.

**Key words:** tapioca starch; lower explosion limit; influence factors of lower explosion limit

粉尘云爆炸下限是粉尘爆炸中一个非常重要的概念, 简单来说, 就是点火源能够使粉尘爆炸的最小浓度。大于爆炸下限的粉尘云在点火源的作用下就有可能造成严重的人员伤亡及财产损失。我国分别于 2010 年和 2014 年发生过玉米淀粉爆炸造成的重大伤亡事

故和铝粉尘的粉尘爆炸造成的特大伤亡事故<sup>[1,2]</sup>。

国内外的学者对粉尘的爆炸下限进行相关的研究。如, 周从章等利用粉尘爆炸装置对石松子粉、煤粉、铝粉、玉米粉进行实验测试研究<sup>[3,4]</sup>, 表明: 粉尘最低爆炸下限与燃烧持续时间、测试用点火具压有关。陈成<sup>[5]</sup>、汪建平, 刘庆明等<sup>[6]</sup>、Fawaz K Sweis 研究表明<sup>[7]</sup>: 爆炸下限随粒径的减小而呈现逐渐减小的趋势, 同时, 粉尘粒径越小越容易发生爆炸。胡维西、汪涛等<sup>[8]</sup>、袁帅<sup>[9]</sup>、Jingjie Yuan 等研究表

收稿日期: 2020-04-02

作者简介: 张睿冲(1972-), 男, 博士研究生, 从粉尘爆炸及防护研究, (E-mail) zhangruichong2002@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(51464005); 广西安全生产科技项目(gxaj201506)

明<sup>[10]</sup>:火能量对爆炸下限的影响很大,一般规律为粉尘爆炸下限浓度随点火能量的增加总体呈下降趋势,4~6 kJ 是各种粉尘爆炸下限最合适的能量范围,10 kJ 点是不易点燃的粉尘的出现爆炸下限合适能量。另外王者鹏<sup>[11]</sup>、喻健良、纪文涛等<sup>[12]</sup>、甘波、高伟等分别研究了瓦斯和煤尘混合物、甲烷/石松子粉尘混合体系、甲烷/PMMA 粉尘混合体系的爆炸下限的变化规律<sup>[13]</sup>。袁博云研究了硫化矿尘云的爆炸下限<sup>[14]</sup>,表明含硫量越高,爆炸下限浓度越低。李润之研究了瓦斯煤尘混合物在不同条件、状态下爆炸下限<sup>[15]</sup>。王琼慧研究了糖粉的爆炸下限、爆炸压力以及爆炸指数之间的影响关系<sup>[16]</sup>。

木薯淀粉是生产及使用量第二大淀粉类,在食品、化工、药品等领域中广泛应用,目前,针对木薯淀粉爆炸特性的研究基本没有,研究木薯淀粉的爆炸下限,对研究粮食粉尘火灾爆炸的是一种有益的补充,同时对木薯淀粉的生产经营中预防及减少火灾爆炸风险具有借鉴的意义。

## 1 实验

### 1.1 实验装置、方法及爆炸判断

由吉林市宏源科学仪器有限公司生产的 HY16426C 特殊条件下 20 L 球型气体/粉尘/液雾爆炸参数测试装置。见图 1。



图 1 20 L 球型粉尘爆炸参数测试装置

Fig. 1 20 L ball type dust explosion parameter testing device

根据 GB/T16425—1996,木薯粉尘是否爆炸以点火头点燃后的球体内的压力是否大于等于 0.15 MPa 为判断标准<sup>[17]</sup>。

### 1.2 原料与环境条件

以球形木薯淀粉原粉作为实验样品。由广西某生化公司提供,样品的粒径分布、实物图片及电镜样如图 2~图 6。

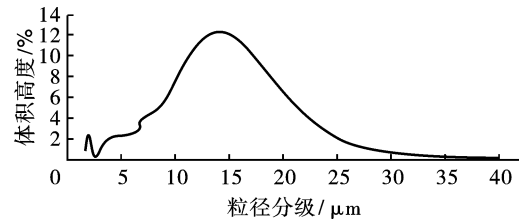


图 2 木薯原淀粉的粒径分布图

Fig. 2 The particle size distribution of tapioca raw starch



图 3 木薯原淀粉的实物图

Fig. 3 Physical diagram of Tapioca raw starch

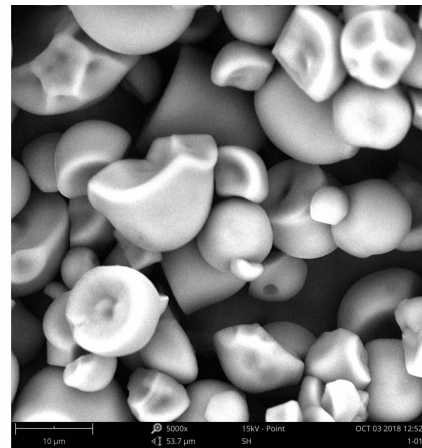


图 4 木薯原淀粉的电镜样图

Fig. 4 Electromicroscopic diagram of Tapioca raw starch

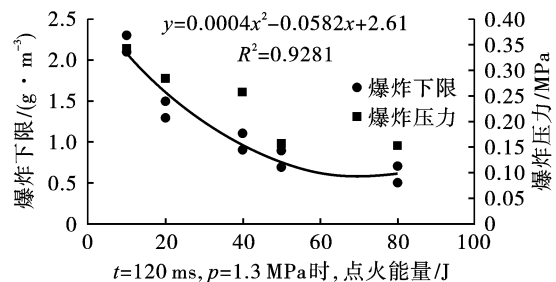


图 5  $t = 120 \text{ ms}$ 、 $P = 1.3 \text{ MPa}$  时,点火能量与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 5 Diagram of the relationship between ignition energy and the lower explosion limit of tapioca starch when the ignition delay time is 120 ms and the powder pressure is 1.3 MPa

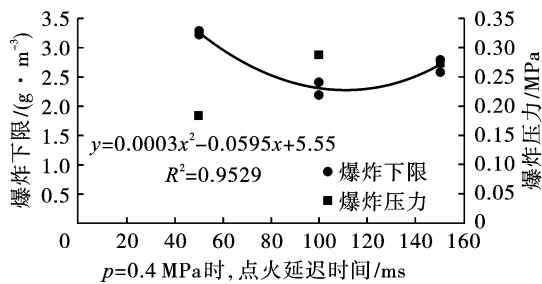


图 6  $P=0.4$  MPa 时,点火延迟时间与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 6 Diagram of the ignition delay time and the lower limit of tapioca starch explosion when the powder pressure is 0.4 MPa

表 1 不同点火能时木薯原淀粉的爆炸下限

Table 1 Lower explosion limit of cassava raw starch at different ignition energies

点火能量/J	点火延迟时/ms	喷粉压力/MPa	粉尘质量/g	爆炸压力/MPa			
				第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
10	120	1.3	2.1	0.09	0.105	0.108	0.101
			2.3	0.345	0.360	0.321	0.342
20	120	1.3	1.3	0.104	0.119	0.139	0.120
			1.5	0.278	0.294	0.286	0.284
40	120	1.3	0.9	0.146	0.141	0.135	0.140
			1.1	0.278	0.258	0.238	0.258
50	120	1.3	0.7	0.101	0.112	0.124	0.112
			0.9	0.156	0.158	0.162	0.158
80	120	1.3	0.5	0.102	0.113	0.09	0.101
			0.7	0.152	0.155	0.153	0.153
100	120	1.3	0.5	0.103	0.112	0.108	0.105
			0.7	0.152	0.155	0.153	0.153

由表 1 可知,随着点火能量的增加,木薯原淀粉的爆炸下限降低,原因是点火能量的增大可以使着火点为中心更大范围内粉尘颗粒被点燃,产生更多的热量,更加容易形成有效燃烧爆炸。同时随着粉尘质量的下降,能够爆炸产生的爆炸压力下降,而没有达到爆炸标准的呈现出来的爆炸压力是一种无规律的状态,主要和当时状态下部分粉尘随机参与爆炸所产生。当点火能量增加到 80 j、100 j 时,0.5 g 的木薯淀粉没被点燃爆炸,说明木薯淀粉的爆炸下限大概在 0.5 g 到 0.7 g 之间,所以得出木薯淀粉爆炸下限浓度最小值为 25 ~ 35 g/m<sup>3</sup>。

## 2.2 点火延迟时间对木薯淀粉粉尘云爆炸下限的影响

点火头的点火能量为 10 J,设置点火延迟时间为 50 ms、100 ms、150 ms,在这三个点火延迟时间条件下分别试验当喷粉压力为 0.4 MPa、0.8 MPa、1.2 MPa、1.6 MPa 时木薯淀粉的爆炸下限值。试验的结果如表 2、3、4、5、6 所示,将表中的数据绘制成曲线,如图 5、6、7、8、9。

在实验室湿度为 40% ~ 60%、温度为 25 ~ 35℃ 的情况下进行试验,木薯淀粉在实验前进烘箱 60℃ 干燥 24 h。

## 2 结果与分析

### 2.1 点火头能量对木薯淀粉粉尘云爆炸下限的影响

设置点火头能量分别为 10 J、20 J、40 J、50 J、80 J、100 J 时,固定点火延迟时间 120 ms,喷吹压力 1.3 MPa 时木薯淀粉的爆炸下限值,试验的结果如表 1 所示。

表 2 喷粉压力为 0.4 MPa 时不同点火延迟时间条件下木薯原淀粉的爆炸下限值

Table 2 Lower limit of explosion of cassava raw starch under different ignition delay time when the dusting pressure is 0.4 MPa

点火延迟时/ms	粉尘质量/g	爆炸压力/MPa			
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
50	3.2	0.105	0.104	0.108	0.106
	3.3	0.178	0.168	0.212	0.186
100	2.2	0.098	0.102	0.105	0.102
	2.4	0.309	0.278	0.284	0.290
150	2.6	0.071	0.133	0.080	0.095
	2.8	0.293	0.274	0.256	0.274

从图 6、7、8、9 可以直观地看出,当压力固定时,随点火延迟时间的增大,爆炸下限先减少后增加;点火能为 10 J。在延迟时间 100 ms、喷吹压力为 1.2 MPa 时实验的爆炸下限最小值为 90 ~ 95 g/m<sup>3</sup>;喷吹压力为 0.4 MPa、0.8 MPa、1.2 MPa、1.6 MPa 时,图 6、7、8、9 的拟合公式与曲线的优和度  $R^2 > 0.9$ ,拟合效果良好;在在延迟时间 50 ms、喷吹压力

为 0.8 MPa 时,实验出现最大爆炸压力为 0.404 MPa;在不同的压力条件下,拟合曲线达到最小爆炸下限的延迟时间不同,0.4 MPa、0.8 MPa、1.2 MPa、1.6 MPa 时,达到最小爆炸下限的延迟时间分别为 99 ms、107.5 ms、96.6 ms、97.5 ms。

表 3 当喷粉压力为 0.8 MPa 时不同点火延迟时间条件下木薯淀粉粉的爆炸下限值

Table 3 Lower limit of explosion of tapioca starch powder under different ignition delay time when the dusting pressure is 0.8

点火延迟 时/ms	粉尘 质量/g	爆炸压力/MPa			
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
50	2.7	0.107	0.104	0.082	0.098
	2.8	0.422	0.414	0.378	0.404
100	2.2	0.121	0.108	0.115	0.115
	2.4	0.244	0.232	0.258	0.243
150	2.8	0.092	0.105	0.108	0.101
	3.0	0.339	0.287	0.319	0.315

表 4 当喷粉压力为 1.2 MPa 时不同点火延迟时间条件下木薯淀粉粉的爆炸下限值

Table 4 Lower limit of explosion of tapioca starch powder under different ignition delay time when the dusting pressure is 1.2 MPa

点火延迟 时/ms	粉尘 质量/g	爆炸压力/MPa			
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
50	2.6	0.098	0.108	0.125	0.110
	2.7	0.325	0.318	0.286	0.309
100	1.8	0.106	0.096	0.118	0.106
	1.9	0.192	0.214	0.186	0.197
150	2.4	0.086	0.134	0.112	0.110
	2.5	0.234	0.198	0.276	0.236

表 5 当喷粉压力为 1.6 MPa 时不同点火延迟时间条件下木薯淀粉粉的爆炸下限值

Table 5 Lower limit of explosion of tapioca starch powder under different ignition delay time when the dusting pressure is 1.6 MPa

点火延迟 时/ms	粉尘 质量/g	爆炸压力/MPa			
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
50	3.0	0.137	0.142	0.127	0.135
	3.1	0.368	0.324	0.286	0.332
100	2.4	0.122	0.098	0.108	0.109
	2.5	0.226	0.234	0.237	0.232
150	2.7	0.094	0.113	0.123	0.110
	2.8	0.275	0.312	0.258	0.281

2.3 喷吹压力对薯淀粉粉尘云爆炸下限的影响

设置点火头的点火能量为 10 kJ,设置喷粉压力为 0.4 MPa、0.8 MPa、1.2 MPa、1.6 MPa 在这四个

喷粉压力条件下分别通过试验得到点火延迟时间为 50 ms、100 ms、150 ms 时木薯粉尘的爆炸下限值。试验的结果如表 6、7、8 所示,将表中的数据绘制成曲线,如图 10、11、12。

表 6 当点火延迟时间为 50 ms 时

不同喷粉压力条件下木薯淀粉粉的爆炸下限值

Table 6 Lower limit of explosion of tapioca starch powder under different dusting pressure conditions when ignition delay time is 50 ms

喷粉 压力/MPa	粉尘 质量/g	爆炸压力/MPa			
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
0.4	3.2	0.105	0.104	0.108	0.106
	3.3	0.178	0.168	0.212	0.186
0.8	2.7	0.107	0.104	0.082	0.098
	2.8	0.422	0.414	0.378	0.404
1.2	2.6	0.098	0.108	0.125	0.110
	2.7	0.325	0.318	0.286	0.309
1.6	3.0	0.137	0.142	0.127	0.135
	3.2	0.368	0.324	0.286	0.332

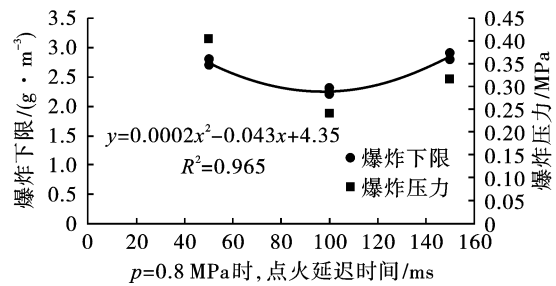


图 7 P = 0.8 MPa 时,点火延迟时间与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 7 Diagram of the ignition delay time and the lower limit of tapioca starch explosion when the powder pressure is 0.8 MPa

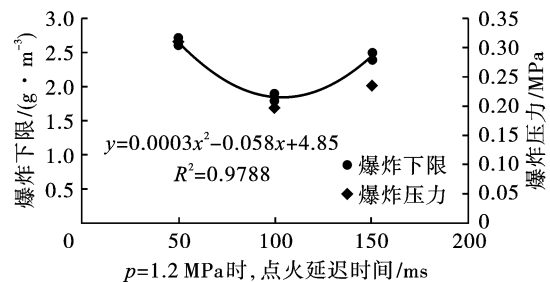


图 8 P = 1.2 MPa 时,点火延迟时间与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 8 Diagram of the ignition delay time and the lower limit of tapioca starch explosion when the powder pressure is 1.2 MPa

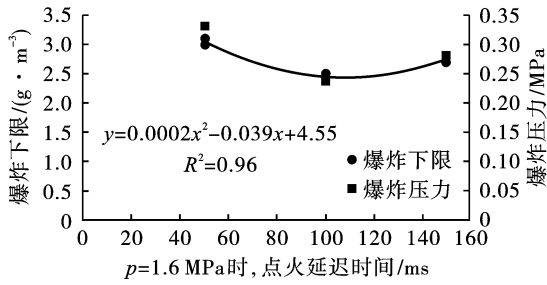


图 9  $P=1.6$  MPa 时,点火延迟时间与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 9 Diagram of the ignition delay time and the lower limit of tapioca starch explosion when the powder pressure is 1.6 MPa

表 7 当点火延迟时间为 100 ms 时不同喷粉压力条件下木薯淀粉粉的爆炸下限值

Table 7 Lower limit of explosion of tapioca starch powder under different dusting pressure conditions when ignition delay time is 100 ms

喷粉压力/MPa	粉尘质量/g	爆炸压力/MPa				平均值
		第 1 次	第 2 次	第 3 次		
0.4	2.2	0.098	0.102	0.105	0.102	
	2.3	0.309	0.278	0.284	0.290	
0.8	2.2	0.121	0.108	0.115	0.115	
	2.3	0.244	0.232	0.258	0.243	
1.2	1.8	0.106	0.096	0.118	0.106	
	1.9	0.192	0.214	0.186	0.197	
1.6	2.4	0.122	0.098	0.108	0.109	
	2.5	0.226	0.234	0.237	0.232	

表 8 当点火延迟时间为 150 ms 时不同喷粉压力条件下木薯淀粉的爆炸下限值

Table 8 Lower limit of explosion of tapioca starch powder under different dusting pressure conditions when ignition delay time is 150 ms

喷粉压力/MPa	粉尘质量/g	爆炸压力/MPa				平均值
		第 1 次	第 2 次	第 3 次		
0.4	2.6	0.071	0.133	0.08	0.095	
	2.8	0.293	0.274	0.256	0.274	
0.8	2.8	0.092	0.105	0.108	0.101	
	3.0	0.339	0.287	0.319	0.315	
1.2	2.4	0.086	0.134	0.112	0.110	
	2.5	0.234	0.198	0.276	0.236	
1.6	2.7	0.094	0.113	0.123	0.110	
	2.8	0.275	0.312	0.258	0.281	

从图 10、11 可以直观地看出,当点火延迟时间固定时,随喷吹压力的增大,爆炸下限先减少后增加;点火能为 10 J,在延迟时间 100 ms、喷吹压力为 1.2 MPa 时实验的爆炸下限最小值为  $90 \sim 95 \text{ g/m}^3$ ;点火延迟时间为 50 ms、100 ms 时,图 10、图 11 的拟

合公式与曲线的优和度  $R^2 > 0.9$ ,拟合效果良好;在不同的压力条件下,拟合曲线达到最小爆炸下限的喷吹压力在 50 ms、100 ms 时,达到最小爆炸下限的喷吹压力分别为 1.046 MPa、0.989 MPa;点火延迟时间为 150 ms 时,图 12 中显示,随着喷吹压力的增大,爆炸下限出现波动的特征。如果进行拟合,拟合公式与曲线的优和度  $R^2 < 0.9$ ,拟合效果很差,爆炸下限呈现无规律的起伏状态。

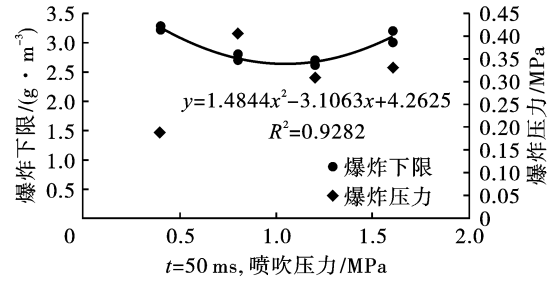


图 10  $t=50$  ms 时,喷吹压力与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 10 Diagram of the relationship between the injection pressure and the lower limit of tapioca starch explosion when the ignition delay time is 50 ms

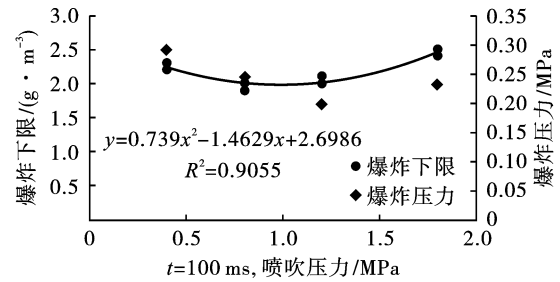


图 11  $t=100$  ms 时,喷吹压力与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 11 Diagram of the relationship between the injection pressure and the lower limit of tapioca starch explosion when the ignition delay time is 100 ms

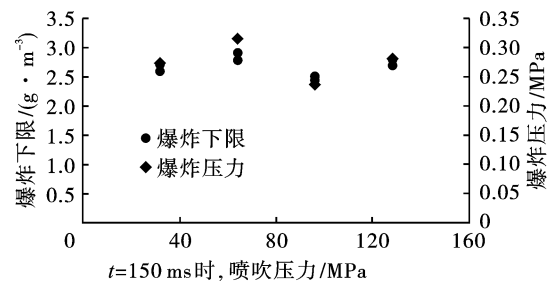


图 12  $t=150$  ms 时,喷吹压力与木薯淀粉爆炸下限关系图

Fig. 12 Diagram of the relationship between the injection pressure and the lower limit of tapioca starch explosion when the ignition delay time is 150 ms

### 3 结论

(1) 点火能对木薯淀粉的爆炸下限影响非常

大,随着点火能的提高,木薯淀粉的爆炸下限降低,同时下降到一个极限值时就保持不变。木薯淀粉的最小爆炸下限大约  $25 \sim 35 \text{ g/m}^3$ ,火灾爆炸危险性很大。

(2)点火延迟时间对木薯淀粉的爆炸下限影响较大,随着点火延迟时间的增加,木薯淀粉粉尘云爆炸下限先减少后增加。

(3)点喷吹压力对木薯淀粉的爆炸下限也有影响,随着喷吹压力的增加,在某些点火延迟时间段,木薯淀粉粉尘云爆炸下限呈先减少后增加的特征,而另外的点火延迟时间段,木薯淀粉粉尘云爆炸下限呈波动反复无规律的特征。

### 参考文献 (References)

- [1] 张海洲,齐志高. 粉爆之灾,警钟长鸣:“2·24”淀粉粉尘爆炸事故的原因、过程及教训[J]. 粮食流通技术, 2010,15(2):24-28.
- [1] ZHANG Hai-zhou, QI Zhi-gao. The cause, process and lesson of "2·24" starch dust explosion[J]. Grain Circulation Technology, 2010,15(2):24-28. (in Chinese)
- [2] 陈俊宇. 35名地方党政人员被追责江苏昆山粉尘爆炸事故75人死185人伤[J]. 法律与生活, 2015(1):11.
- [2] CHEN Jun-yu. 35 local party officials blamed for dust explosion in kunshan, jiangsu, 75 dead, 185 injured[J]. Law and Life, 2015(1):11. (in Chinese)
- [3] 周从章,张瑞萍. 关于粉尘云爆炸下限浓度的讨论[J]. 中国安全科学学报, 1995,5(3):39-42.
- [3] ZHOU Cong-zhang, ZHANG Rui-ping. Discussion on the lower limit concentration of dust cloud explosion[J]. Chinese Journal of Safety Science, 1995,5(3):39-42. (in Chinese)
- [4] 周从章,曾庆轩. 工业粉尘云爆炸下限的实验研究[J]. 火工品, 2002(2):19-21.
- [4] ZHOU Cong-zhang, ZENG Qing-xuan. Experimental study on lower explosive limit of industrial dust cloud[J]. Pyrotechnics, 2002(2):19-21. (in Chinese)
- [5] 陈成. 铝粉及TNT粉尘的最小点火能和爆炸下限研究[D]. 太原:中北大学, 2013.
- [5] CHEN Cheng. Study on minimum ignition energy and lower explosion limit of aluminum powder and TNT dust[D]. Taiyuan: North University of China, 2013. (in Chinese)
- [6] 汪建平,刘庆明. 基于 Logistic 统计方法的煤粉爆炸下限研究[J]. 煤炭学报, 2015,40(1):128-134.
- [6] WANG Jian-ping, LIU Qing-ming. Study on lower limit of explosion of pulverized coal based on Logistic statistical method[J]. Acta Coal Sinica, 2015,40(1):128-134. (in Chinese)
- [7] FAWAZ K Sweis. The effect of admixed material on the minimum explosible concentration of oil shale[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006, 19(6):701-704.
- [8] 胡维西,汪涛. 点火能量对粉尘爆炸下限浓度的影响[J]. 工业安全与环保, 2018,44(10):13-14.
- [8] HU Wei-xi, WANG Tao. Influence of ignition energy on lower limit concentration of dust explosion[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2018,44(10):13-14. (in Chinese)
- [9] 袁帅. 玉米淀粉燃烧爆炸特性及其惰化实验研究[D]. 大庆:东北石油大学, 2018.
- [9] YUAN Shuai. Experimental study on combustion and explosion characteristics of corn starch and its inerting[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2018. (in Chinese)
- [9] YUAN Shuai. Experimental study on combustion and explosion characteristics of corn starch and its inerting[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2018. (in Chinese)
- [10] YUAN Jing-jie, HUANG Wei-xing, DU Bing. An extensive discussion on experimental test of dust minimum explosible concentration[C]//International Symposium on Safety Science and Engineering in China 2012; Beijing, China, 7-9 November:343-347.
- [11] 王者鹏. 低浓度瓦斯对煤尘爆炸下限的影响研究[J]. 煤矿安全, 2017,48(2):26-28. (in Chinese)
- [11] WANG Peng. Influence of low concentration of gas on lower limit of coal dust explosion[J]. Coal Mine Safety, 2017,48(2):26-28. (in Chinese)
- [12] 喻健良,纪文涛. 甲烷/石松子粉尘混合体系爆炸下限的变化规律[J]. 爆炸与冲击, 2017,37(6):924-929.
- [12] YU Jian-liang, JI Wen-tao. Variation of lower explosive limit of methane/lycopodil dust mixed system[J]. Explosion and Impact, 2017,37(6):924-929. (in Chinese)
- [13] 甘波,高伟. 甲烷浓度对PMMA/甲烷混合爆炸下限及预热区厚度的影响[J]. 爆炸与冲击, 2019,39(2):188-195.
- [13] GAN Bo, GAO Wei. Influence of methane concentration on lower limit of PMMA/methane mixed explosion and thickness of preheating zone[J]. Explosion and Impact, 2019,39(2):188-195. (in Chinese)
- [14] 袁博云. 硫化矿尘云爆炸强度与爆炸下限浓度试验研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2016.
- [14] YUAN Bo-yun. Experimental study on explosion intensity and lower limit concentration of sulfide mine dust cloud[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2016. (in Chinese)
- [15] 李润之. 瓦斯煤尘共存条件下的煤尘云爆炸下限[J]. 爆炸与冲击, 2018,38(4):913-917.
- [15] LI Run-zhi. Lower limit of coal dust cloud explosion under gas and coal dust coexistence[J]. Explosion and Im-

- pact, 2018, 38(4):913-917. (in Chinese)
- [16] 王琼慧. 糖粉粉尘爆炸特性研究[D]. 成都:西南石油大学, 2016.
- [16] WANG Qiong-hui. Explosion characteristics of powdered sugar dust[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2016. (in Chinese)
- [17] 国家技术监督局. GB/T16425—1996 粉尘云爆炸下限浓度测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 1997.
- [17] National Bureau of Technical Supervision. GB/T16425—1996 Method for determination of lower limit concentration of dust cloud explosion[S]. Beijing: China standard press, 1997. (in Chinese)

英文编辑:何松

(上接第102页)

(1)承台、台帽、联系梁、桥墩地系梁以上部分完全破碎,大桥主体部分完全塌落;(2)连续梁在每一跨台帽处全部断裂;(3)个别爆破飞石控制在50 m以内,桥梁两边的树木培育地也只有少量飞石,树苗基本没有损坏;(4)经监测距离大桥北面的民房处的爆破振动速度最大为0.12 m/s,符合《爆破安全规程》规定,建筑物没有任何损伤;(5)通过后期检测,爆破和桥梁主体塌落没有对桥梁地系梁及以下保留桩基造成任何损伤;(6)周边通信线路、输电线路、生活饮用水管等均未受到任何影响;(7)确保了在1 h内S305临时线路畅通。通过本次新建钢筋混凝土连续梁桥的成功爆破,为大结构、高标号、高质量构筑物爆破拆除积累了经验,但桥面和连续梁在空中解体不够充分,给后期处理带来了一定的难度,需进一步优化爆破网路设计使桥梁主体部分解体更加充分。

### 参考文献 (References)

- [1] 张勤彬,程贵海,刘思远. 跨航道桥梁的爆破拆除[J]. 爆破, 2018, 35(4):78-83.
- [1] ZHANG Qin-bin, CHENG Gui-hai, LIU Si-yuan. Explosive demolition technology of bridge crossing navigation channel[J]. Blasting, 2018, 35(4):78-83. (in Chinese)
- [2] 林中原. 城市特大型立交桥爆破拆除网路[J]. 工程爆破, 2017, 23(1):55-58.
- [2] LIN Zhong-yuan. Initiation network for blasting demolition of super-large urban interchange overpass[J]. Engineering Blasting, 2017, 23(1):55-58. (in Chinese)
- [3] 蔡小虎. 大型立交桥中深孔爆破钻孔施工控制[J]. 爆破, 2016, 33(2):113-116.
- [3] CAI Xiao-hu. Drilling control of deep hole blasting in large cross bridge[J]. Blasting, 2016, 33(2):113-116. (in Chinese)
- [4] 张北龙,邢光武. 复杂环境剪力墙结构楼房折叠爆破及安全研究[J]. 爆破, 2016, 33(1):96-99.
- [4] ZHANG Bei-long, XING Guang-wu. Research on folding blasting and safety demolition of shear wall structure building in complex environment[J]. Blasting, 2016, 33(1):96-99. (in Chinese)
- [5] 王守伟. 复杂环境下钢筋混凝土箱型拱桥的爆破拆除[J]. 爆破, 2018, 35(3):98-120.
- [5] WANG Shou-wei. Blasting demolition of reinforced concrete box arch bridge under complex environment[J]. Blasting, 2018, 35(3):98-120. (in Chinese)
- [6] 季衫,王桂玲,谢伟平,等. 高架桥爆破坍塌全过程数值模拟与分析[J]. 爆破, 2014, 31(4):76-81.
- [6] JI Shan, WANG Gui-ling, XIE Wei-ping, et al. Analysis and numerical simulation of whole process of blasting and collapse of viaduct[J]. Blasting, 2014, 31(4):76-81. (in Chinese)
- [7] 赵明生,龙渊,贾永胜,等. 预应力混凝土连续梁桥控制爆破拆除[J]. 爆破, 2015, 32(4):103-109.
- [7] ZHAO Ming-sheng, LONG Yong, JIA Yong-sheng, et al. Control blasting technology for bridge with prestressed continuous concrete beams[J]. Blasting, 2015, 32(4):103-109. (in Chinese)
- [8] 魏忠义,邵鹏. 沛城东风桥爆破拆除[J]. 爆破, 2014, 31(2):115-118.
- [8] WEI Zhong-yi, SHAO Peng. Explosive demolition of peicheng dongfeng bridge[J]. Blasting, 2014, 31(2):115-118. (in Chinese)
- [9] 高黎,张英才,袁绍国. 连霍高速天桥爆破拆除技术[J]. 爆破, 2014, 31(3):110-113.
- [9] GAO Li, ZHANG Ying-cai, YUAN Shao-guo. Explosive demolition of Lian-huo highway overpass bridge[J]. Blasting, 2014, 31(3):110-113. (in Chinese)

英文编辑:陈东方