

聚碳硅烷粉尘火灾爆炸特性参数测试及安全性分析

李燕勇 高舒珊 王凯 徐旭东 陈 浪

(航天材料及工艺研究所, 北京 100076)

文 摘 为确保聚碳硅烷粉尘作业安全,避免发生火灾爆炸事故,本文按照相应国家测试标准,采用标准测试仪器,对聚碳硅烷粉尘的最小点火能、最低着火温度、爆炸下限浓度3个火灾爆炸特性参数进行了测试。结果表明:聚碳硅烷粉尘最小点火能 $1.5 \text{ mJ} < E_{\min} < 2 \text{ mJ}$,最低着火温度 $\text{MIT}=320 \text{ }^\circ\text{C}$,爆炸下限浓度 $12 \text{ g/m}^3 < C_{\min} < 13 \text{ g/m}^3$ 。结合常见涉爆粉尘火灾爆炸特性参数范围比对分析,结果表明:聚碳硅烷粉尘最低着火温度和最小点火能均较低、爆炸下限浓度也小,说明该粉尘极易被引爆,安全风险较高。

关键词 聚碳硅烷粉尘,火灾爆炸特性,参数测试,安全性分析

中图分类号:TD714.5

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2019.03.014

Fire and Explosion Characteristic Parameter Test and Safety Analysis of Polycarbosilane Dust

LI Yanyong GAO Shushan WANG Kai XU Xudong CHEN Liang

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract To ensure polycarbosilane work safely, according to relevant national testing standards and instruments, three fire and explosion characteristic parameters of polycarbosilane dust were tested, including minimum ignition energy, minimum ignition temperature and minimum explosion concentration using the standard instrument. The results show that minimum ignition temperature is $320 \text{ }^\circ\text{C}$, the minimum ignition energy is $1.5 \text{ mJ} < E_{\min} < 2 \text{ mJ}$, minimum explosion concentration is $12 \text{ g/m}^3 < C_{\min} < 13 \text{ g/m}^3$. Combined with the fire and explosion characteristics of common explosive dust, the minimum ignition energy is low and the minimum explosion concentration is small, indicating that the polycarbosilane dust is easy to be detonated.

Key words Polycarbosilane dust, Fire and explosion characteristics, Parameter test, Safety analysis

0 引言

聚碳硅烷(PCS)是以硅碳键为主链的有机硅聚合物^[1],用于制备特种纤维(如SiC纤维)和复相陶瓷的有机先驱体^[2-4],是应用于航天、航空等尖端技术中的高性能新型材料之一^[5]。

PCS以固态块状常见,较难燃烧。由于其脆性很大,强度极低,易粉碎制备成超细粉末,应用在某些产品的试验、生产过程中^[6]。处于粉末状态的PCS,比表面积成倍增加,其火灾爆炸危险性显著增大,给试验、生产过程带来一定的火灾爆炸安全风险^[7]。我国目前PCS还处于实验室的小规模生产阶段^[8],对于PCS粉尘的火灾爆炸特性还未有相关研究。为确保PCS粉尘作业安全,避免发生火灾爆炸事故,造成人员伤亡和财产损失,本文按照相应国家测试标准,采用标准测试仪器,对PCS粉尘的最小点火能、最低着

火温度、爆炸下限浓度3个火灾爆炸特性参数进行测试^[9-12],并进行安全性分析,拟为PCS粉尘作业场所安全防护设施的设计、相关制造设备选型及安全管理措施的采取提供依据^[13]。

1 实验

1.1 样品处理

测试样品为PCS粉尘,测试前取原始粉尘样品过 $75 \mu\text{m}$ 标准筛进行筛选,采用真空干燥箱在 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下干燥 24 h。

1.2 测试分析

1.2.1 最小点火能

采用国际通用的标准哈特曼管完成测试,执行 GB/T16428—1996 粉尘云最小着火能量测定方法。测试利用高压脉冲放电延迟 60 ms 点火,通过调节高压脉冲放电能量来调节点火能量,调节精度为 0.5

收稿日期:2018-12-21

第一作者简介:李燕勇,1970年出生,高级工程师,主要从事安全、职业卫生、环保、消防管理等工作。E-mail:leey2008@163.com

mJ。

在本实验测试前已完成PCS粉尘最大爆炸压力测试实验,得到该粉尘的爆炸敏感浓度为 240 g/m^3 。通常爆炸敏感浓度附近的粉尘云点火能量最低,因此选定230、240和 250 g/m^3 三个浓度的PCS粉尘开展实验。测试时环境湿度为55.5%~58.5%,温度为 $26\sim 28\text{ }^\circ\text{C}$ 。

测试得出在喷尘压力为0.2 MPa条件下,三个浓度的PCS粉尘最小着火能测试结果见表1。由表中数据得出,浓度为 250 g/m^3 时,PCS粉尘在最小点火能2 mJ的条件下发生过燃爆,在1.5 mJ的条件下未发生燃爆,因此可确定聚碳硅烷粉尘最小点火能量 $1.5\text{ mJ} < E_{\min} < 2\text{ mJ}$ 。

表1 最小点火能量测试结果¹⁾

Tab. 1 Test results of the minimum ignition energy

粉尘浓度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	点火能量/mJ	是否燃爆
230	2.5	+
230	2	-
240	2.5	+
240	2	-
250	2	+
250	1.5	-

注:1)“+”表示爆炸,“-”表示20次实验均未爆炸。

1.2.2 最低着火温度

采用国际通用的标准粉尘云最低着火温度测试装置完成测试,执行GB/T16429—1996粉尘云最低着火温度测定方法。首先在温度 $500\text{ }^\circ\text{C}$,测试得出PCS粉尘燃爆最为猛烈的敏感质量、敏感喷尘压力为 $m=0.5\text{ g}$ 、 $p=50\text{ kPa}$ 和 $m=1.0\text{ g}$ 、 $p=50\text{ kPa}$,然后在这两种敏感条件下,以 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 为起点,通过改变温度来确定最低着火温度。测试时环境湿度为35%~37%,温度为 $18.5\sim 19\text{ }^\circ\text{C}$ 。PCS粉尘在两种敏感条件下最低着火温度测试结果见表2。

表2 最低着火温度测试结果

Tab. 2 Test results of the minimum ignition temperature

粉尘质量/g	试验温度/ $^\circ\text{C}$	是否着火 (着火:火焰直接喷出或火焰滞后喷出。 未着火:未见火焰,或只有火星)
0.5	350	着火
0.5	340	未着火
1	340	着火
1	320	未着火

由表中数据得出,当 $m=0.5\text{ g}$ 时,着火的最低实验温度为 $350\text{ }^\circ\text{C}$,根据测定标准中的修正方法,得出此条件下粉尘最低着火温度为 $330\text{ }^\circ\text{C}$;当 $m=1.0\text{ g}$ 时,着火的最低实验温度为 $340\text{ }^\circ\text{C}$,根据测定标准中

的修正方法,得出此条件下粉尘最低着火温度为 $320\text{ }^\circ\text{C}$ 。因此,最终确定PCS粉尘的最低着火温度 $\text{MIT}=320\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.2.3 爆炸下限浓度

采用国际通用的20 L球形粉尘爆炸测试实验系统完成,执行GB/T16425—1996粉尘云爆炸下限浓度测定方法。在点火能量10 kJ,喷尘压力为2 MPa的条件下,初次以 10 g/m^3 的浓度进行实验,通过改变PCS粉尘浓度,观察是否发生爆炸,确定其爆炸下限浓度。测试时环境湿度为36.5%~38.5%,温度为 $18\sim 19.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

PCS粉尘爆炸下限浓度测试结果见表3。由表中数据得出,PCS粉尘浓度 $\geq 13\text{ g/m}^3$ 的情况均发生了爆炸,浓度 $\leq 12\text{ g/m}^3$ 的情况均未发生爆炸,因此,可确定PCS粉尘爆炸下限浓度为 $12\text{ g/m}^3 < C_{\min} < 13\text{ g/m}^3$ 。

表3 爆炸下限浓度测试结果¹⁾

Tab. 3 Test result of minimum explosion concentration

粉尘浓度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	是否爆炸
14	+
13	+
12	-

注:1)“+”表示爆炸,“-”表示未爆炸。

2 结果分析

2.1 最小点火能分析

PCS粉尘最小点火能 $1.5\text{ mJ} < E_{\min} < 2\text{ mJ}$,对照《工贸行业重点可燃性粉尘目录(2015)版》中常见的45种可燃易爆粉尘相关信息,其中最小点火能最小的粉尘为果糖粉和奈粉,最小点火能 $E_{\min} < 1\text{ mJ}$,其次为镁粉,最小点火能 $E_{\min} < 2\text{ mJ}$,其他42种粉尘的最小点火能均 $\geq 3\text{ mJ}$,褐煤/无烟煤(80:20)粉尘最小点火能最大, $E_{\min} \geq 4000\text{ mJ}$ 。PCS粉尘最小点火能量 $1.5\text{ mJ} < E_{\min} < 2\text{ mJ}$,据此可得出,PCS粉尘最小点火能处于较低的水平。

2.2 最低着火温度分析

PCS粉尘最低着火温度 $\text{MIT}=320\text{ }^\circ\text{C}$,对照《工贸行业重点可燃性粉尘目录(2015)版》中常见的45种可燃易爆粉尘相关信息,其中最低着火温度最低的粉尘为硫磺粉,最低着火温度为 $280\text{ }^\circ\text{C}$,其次为大米粉,最低着火温度为 $360\text{ }^\circ\text{C}$,其他43种粉尘的最低着火温度均 $\geq 375\text{ }^\circ\text{C}$ 。PCS粉尘最低着火温度为 $320\text{ }^\circ\text{C}$,位于硫磺粉及大米粉最低着火温度之间,据此可得出,PCS粉尘最低着火温度是较低的。

2.3 爆炸下限浓度分析

PCS粉尘爆炸下限浓度为 $12\text{ g/m}^3 < C_{\min} < 13\text{ g/}$

m^3 ,对照《工贸行业重点可燃性粉尘目录(2015)版》中常见的45种可燃易爆粉尘相关信息,其中爆炸下限浓度最小的粉尘为奈粉,爆炸下限浓度为 15 g/m^3 ,其次为镁粉,爆炸下限浓度为 25 g/m^3 。PCS粉尘爆炸下限浓度为 $12\text{ g/m}^3 < C_{\min} < 13\text{ g/m}^3$,比奈粉的爆炸下限浓度还小,据此可得出,PCS粉尘爆炸下限浓度是很小的。

3 结论

(1)PCS粉尘最小点火能 $1.5\text{ mJ} < E_{\min} < 2\text{ mJ}$,最低着火温度 $\text{MIT}=320\text{ }^\circ\text{C}$,爆炸下限浓度 $12\text{ g/m}^3 < C_{\min} < 13\text{ g/m}^3$,结合常见涉爆粉尘火灾爆炸特性参数范围比对分析,该粉尘最低着火温度和最小点火能均较低、爆炸下限浓度也很小,说明该粉尘形成的粉尘云极易被引爆,安全风险较高。

(2)在进行粉尘云最低着火温度测试过程中,高温炉内的燃爆火焰回传至喷尘弯管中,这种回火的现象在常见可燃粉尘实验测试中均未出现过,说明该粉尘云燃爆速度很大,因此针对该粉尘的爆炸阻隔技术措施是有必要考虑的,建议可做进一步研究。

(3)在进行粉尘云最小点火能测试过程中,该粉尘在一端开口的石英管内燃爆后可听见爆炸声响,推测是该粉尘云燃爆后迅速产生超压,高速气流伴随火焰从石英管顶端喷出发出的声音。说明该粉尘云在受限空间爆炸后压力上升速度很快,因此针对该粉尘的爆炸泄压措施也是有必要考虑的,建议可做进一步研究。

参考文献

- [1] 薛金根,楚增勇,冯春祥,等. PDMS直接裂解重排合成PCS[J]. 国防科技大学学报,2001,23(5):36.
- [2] 宋永才,王岭,冯春祥. 聚碳硅烷的合成与特性研究[J]. 高分子材料科学与工程,1997,13(4):30.
- [3] 卡恩R W,哈森P,克雷默E J. 材料科学与技术丛书第13卷[M]. 北京:中国科技出版社,1999.
- [4] Takeda. Current Status and Future Directions of Nippon Carbon company [A]. Fiber Technology National Materials Advisory Bound. National Research Council, Cocoa Beach, Florida, 1997.
- [5] 杨一明,冯春祥. 聚碳硅烷在新材料研制中的应用[J]. 宇航材料工艺,1988(5):24-29.
- [6] 宋麦丽. 高性能陶瓷材料的研究现状和应用展望[C]//景德镇:景德镇材料技术国际会议,2006.
- [7] 姜涛. 粉尘加工安全隐患及管理应用对策[J]. 中国金属通报,2018,8(1):55.
- [8] 宋麦丽,傅利坤. SiC先驱体—聚碳硅烷的应用研究进展[J]. 中国材料进展,2013,32(4):243-248.
- [9] 郭汉彦,陈立红. 粉尘爆炸研究方向初探[J]. 中国安全科学学报,1991,1(1):29-34.
- [10] 蒯念生,黄卫星,袁旌杰,等. 点火能量对粉尘爆炸行为的影响[J]. 爆炸与冲击,2012,32(4):432-438.
- [11] 曾国良,肖秋平,周健. 不同实验标准对几种常见阻燃剂粉尘可燃性影响研究[J]. 中国安全生产科学技术,2018,14(3):168-173.
- [12] 李明菊,李晓泉,丁莉英等. 蔗糖粉尘最小点火能实验研究[J]. 工业安全与环保,2018,44(3):13-15.
- [13] 钱松. 粉尘爆炸危险场所防爆安全的思考[J]. 电气防爆,2018,3(1):24-26.