

文章编号: 1006-9941(2018)05-0426-06

碳化硅导电胶对电火工品性能的影响

白颖伟, 李慧, 陈震, 任炜, 褚恩义

(陕西应用物理化学研究所应用物理化学国家级重点实验室, 陕西 西安 710061)

摘要: 为了研究碳化硅导电胶中碳化硅与环氧树脂胶配比对电火工品静电防护、绝缘电阻及发火感度等性能的影响, 调节了碳化硅与环氧树脂胶的配比, 制备了 10 种不同配比的碳化硅导电胶材料, 按照 GJB5309.6-2004《火工品试验方法》规定的静电放电试验、绝缘电阻测定方法, 测试了未涂敷碳化硅导电胶和涂敷不同配比碳化硅导电胶条件下某制式电火工品的最高静电防护电压、脚壳绝缘电阻以及发火性能参数, 获得了碳化硅导电胶对电火工品性能的影响规律。结果表明, 碳化硅与环氧树脂胶配比为 1.25:1 时, 该电火工品的最高静电电压防护能力达到 30 kV, 能够满足测试电压低于 100 V 时绝缘电阻值 >20 MΩ 的要求, 又不影响产品的发火性能。

关键词: 电火工品; 人体静电; 碳化硅导电胶; 发火感度; 绝缘电阻

中图分类号: TJ45

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.05.009

1 引言

火工品是弹药中感度最高, 最危险的部分, 自 20 世纪 60 年代以来, 由于美国在研制破甲弹用压电引信配用的高瞬发、高敏感性电雷管中出现过多次由于人体静电引发的偶然事故, 促使人们认识了电火工品的静电安全性问题^[1]。静电危害产生的环境有两种: 一是操作火工品过程中的人体带电。在电火工品的生产、储存、运输、装配、使用等过程中, 操作者的很多行为会使其本身带上静电, 这就存在人体静电危害问题; 二是武器装备使用中产生的静电环境。一般情况下, 武器装备的静电环境靠武器总体设计时, 采取综合防护措施解决, 人体带电除了靠在生产操作过程中的技安防护措施, 还要在电火工品设计中增加必要的防静电设计以降低静电感度。电火工品受静电放电的危害模式有两类: 一是脚与脚间, 其静电感应主要决定于总体所给的电火工品发火能量; 二是脚与壳间, 其静电击发属于火花式击穿^[2]。目前国内外相关标准明确对部分火工品静电感度提出了具体要求, 规定的最严酷的人体静电电压极端值为 25 kV^[3-6]。因此, 为了

满足电火工品对静电安全性要求, 通常采用防护套、附加滤波器、增加危险通道的绝缘强度、设置泄放通道和提高火工药剂静电发火阈值等方法^[7-9]。

与常规方法相比, 采用碳化硅导电胶是一种简单、有效、成本低廉的静电环境适应性方法^[10], 主要采用的碳化硅是一种半导体材料, 其电阻率为 $10^2 \sim 10^{12} \Omega \cdot m$, 由于碳化硅的导电性随电场强度的增大而迅速提高, 因此其呈现低电压时处于高阻值、高电压时处于低阻值状态的电性能特性。利用碳化硅独特的电性能, 将其与环氧树脂胶配合形成碳化硅导电胶, 涂于存在静电危害的电火工品脚线与壳体间。在人体静电作用于火工品脚壳时, 会由于碳化硅高电压时低阻值特点, 形成优良静电泄放通道。目前, 该方法已在电火工品防静电设计中获得应用^[9], 具有结构简单, 成本低和可实施性强等优点。

根据碳化硅导电胶的作用原理及其在火工品中的应用实施工艺分析, 影响其静电防护等性能的主要因素为碳化硅与环氧树脂胶的配比, 若配比不当, 可能会出现碳化硅导电胶静电等高电压下不能导通或绝缘电阻不符合要求等问题, 进而影响防护效果或导致火工品意外作用。因此, 十分有必要针对不同配比的碳化硅导电胶对火工品性能的影响开展相关研究。

本研究通过对环氧树脂胶和碳化硅进行不同比例的配置, 形成不同配比碳化硅导电胶, 制备涂覆不同配比导电胶的电火工品样品, 并对不同配比导电胶的火

收稿日期: 2017-04-25; 修回日期: 2017-06-19

作者简介: 白颖伟(1972-), 男, 研究员, 博士研究生, 主要从事高新火工品技术研究。e-mail: baiyw@126.com

通信联系人: 李慧(1987-), 女, 工程师, 硕士研究生, 主要从事高新火工品仿真研究。e-mail: lihuilingshi@163.com

工品脚壳能耐受的最大静电值、绝缘电阻和火工品的发火感度进行分析,以获得碳化硅导电胶对电火工品性能的影响规律,为碳化硅导电胶在电火工品中的应用提供理论指导。

2 试验

2.1 试验材料及试件

原材料:碳化硅(SiC),200目,西安高压电瓷厂;81-3改性环氧树脂粘合剂,西安化工研究所。

某制式电火工品:外径3.85 mm,极距0.78 mm,桥丝为直径10 μm 的铂钨丝。为便于后续分析,实验样品仅涂装斯蒂芬酸铅进行实验。

碳化硅导电胶的配制:保持环氧树脂胶不变,改变碳化硅添加量,使碳化硅与环氧树脂粘合剂的配比为(0.25,0.5,0.75,1,1.25,1.5,1.75,2,2.25,2.5):1,将两种材料搅拌均匀后,涂抹在电火工品管壳和电极塞接缝处,制备每种配比的试件10发,试件外形如图1所示。全部样品均首先进行电阻和脚壳绝缘电阻的测试,其后进行人体静电感度和发火感度的测试。

2.2 电火工品电阻和绝缘电阻测试

为对比分析涂敷和未涂敷碳化硅导电胶以及不同配比碳化硅导电胶(配比是指碳化硅和胶的质量比)对火工品试件的性能影响。首先,对研究用电火工

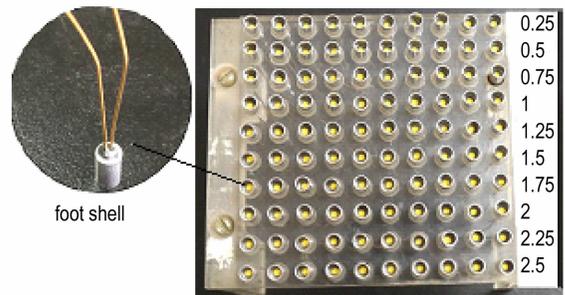


图1 涂敷不同配比导电胶的电火工品试件

Fig. 1 The electropyrotechnic specimen coated by conductive adhesive with different proportions

品试件在未涂敷碳化硅导电胶前进行静电感度、发火感度及电阻测试,结果如下:其0.01%、50%和99.99%静电感度分别为3.15,4.55 kV和5.95 kV;50%发火感度为215 mA;平均电阻为7.30 Ω ,500 V电压下绝缘电阻均大于20 M Ω 。

然后,按照GJB5309.4-2004《火工品试验方法第4部分:桥路直流电阻测定》及GJB5309.6-2004《火工品试验方法第6部分:绝缘电阻测定》规定的方法测试涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的电阻和绝缘电阻,施加的直流电压为50,100,250,500 V,测试时间为2 min。结果见表1~表5。

表1 涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的电阻测试结果

Table 1 Testing results of resistance for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions

ratio of SiC and gum	0.25 : 1	0.5 : 1	0.75 : 1	1 : 1	1.25 : 1	1.5 : 1	1.75 : 1	2 : 1	2.25 : 1	2.5 : 1
resistance/ Ω	7.24	7.75	7.12	7.28	7.00	7.24	7.37	7.46	7.16	7.39

表2 涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的绝缘电阻测试结果(50 V)

Table 2 Testing results of insulation resistance for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions (50 V)

ratio of SiC and gum	0.25 : 1	0.5 : 1	0.75 : 1	1 : 1	1.25 : 1	1.5 : 1	1.75 : 1	2 : 1	2.25 : 1	2.5 : 1
insulation resistance at 50 V voltage/M Ω	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20

表3 涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的绝缘电阻测试结果(100 V)

Table 3 Testing results of insulation resistance for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions adhesive (100 V)

ratio of SiC and gum	0.25 : 1	0.5 : 1	0.75 : 1	1 : 1	1.25 : 1	1.5 : 1	1.75 : 1	2 : 1	2.25 : 1	2.5 : 1
insulation resistance at 100 V voltage/M Ω	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20

表 4 涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的绝缘电阻测试结果(250 V)

Table 4 Testing results of insulation resistance for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions (250 V)

ratio of SiC and gum	insulation resistance at 250 V voltage/MΩ
0.25 : 1	>20, 1 recovery after the breakdown
0.5 : 1	2 breakdown<1, rest>20
0.75 : 1	4 breakdown<1, 1 recovery, rest>20
1 : 1	3 breakdown<1, 1 recovery, rest>20
1.25 : 1	4 breakdown<1, 2 recovery, rest>20
1.5 : 1	all<20, all>1
1.75 : 1	all<20, all>1
2 : 1	all<20, 5 sample >1
2.25 : 1	1 sample>20, 4 sample>1
2.5 : 1	1 sample>20, 4 sample>1

表 5 涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的绝缘电阻测试结果(500 V)

Table 5 Testing results of insulation resistance for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions (500 V)

ratio of SiC and gum	insulation resistance at 500V voltage/MΩ
0.25 : 1	1 breakdown<1, rest>20
0.5 : 1	5 breakdown<1, rest >20
0.75 : 1	9 breakdown<1, 1 sample>20
1 : 1	9 breakdown<1, 1 sample>20
1.25 : 1	7 breakdown<1, 3 sample>20
1.5 : 1	8 breakdown<1, 2 sample>20
1.75 : 1	9 breakdown<1, 1 sample>20
2 : 1	all breakdown<1
2.25 : 1	all breakdown<1
2.5 : 1	all breakdown<1

2.3 电火工品人体静电放电感度测试

按照 GJB5309.14-2004《火工品试验方法第 14 部分: 静电放电试验》测试涂敷不同导电胶后火工品试件脚壳间的人体静电放电感度, 结果见表 6。测试条件: 电容为 (500±25) pF, 串联放电电阻为 (5000±250) Ω, 电压为 (25±0.5) kV。

静电放电测试^[11-15], 首先测试电火工品脚壳间静电放电时, 不能形成稳定的泄放通道情况下引起电火工品意外作用的阈值。根据所选电火工品特性, 试验时先对试件加一个 5.0 kV 较低静电值, 试件不作用的情况下, 以 5.0 kV 为步长增加静电值, 直至 30 kV 或试件发火, 试件发火说明未形成稳定泄放通道, 30 kV

不发火说明形成了稳定的泄放通道。每组配比得到 5 发有效数据后开始下一组试验。表 6 为涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件静电放电测试结果。

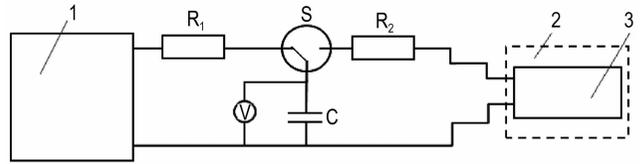


图 2 人体静电测试原理示意图

1—电源, 2—安全防护装置, 3—试样

Fig. 2 Schematic diagram of electrostatic test principle of human body

1—power source, 2—safety protection device, 3—sample

表 6 涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的人体静电放电感度测试结果

Table 6 Testing results of electrostatic discharge of human body for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions

ratio of SiC and gum	resistance /Ω	electrostatic test results/kV	ignition sensitivity/mA
0.25 : 1	7.24	10 kV all ignition	213
0.5 : 1	7.75	30 kV 2 ignition	220
0.75 : 1	7.12	30 kV 2 ignition	218
1 : 1	7.28	30 kV all not ignition	197
1.25 : 1	7.00	30 kV all not ignition	228
1.5 : 1	7.24	30 kV all not ignition	246
1.75 : 1	7.37	30 kV all not ignition	243
2 : 1	7.46	30 kV all not ignition	253
2.25 : 1	7.16	30 kV all not ignition	225
2.5 : 1	7.39	30 kV all not ignition	220

2.4 电火工品发火感度测试

采用动态斜坡法^[16]进行试件发火感度测试, 其优势为利用较少的产品即可得到精确地测试结果, 运用图 3 动态斜坡发生器系统, 测试涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的发火感度。此次电火工品发火感度测试, 动态斜坡法斜升率为 2A/s, 以平均发火电流和标准偏差的变化来判定涂敷不同配比碳化硅导电胶对电热火工品的性能影响, 结果见表 7。

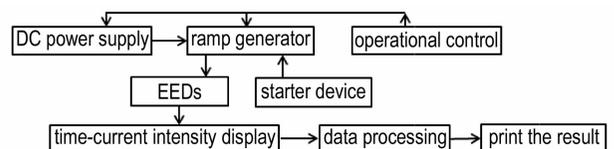


图 3 动态斜坡发生器系统

Fig. 3 Dynamic slope generator system

表 7 涂敷不同配比碳化硅导电胶后火工品试件的发火敏感度测试结果

Table 7 Testing results of ignition sensitivity for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions

ratio of SiC and gum	resistance/ Ω	ignition sensitivity/ mA
0.25 : 1	7.24	213
0.5 : 1	7.75	220
0.75 : 1	7.12	218
1 : 1	7.28	197
1.25 : 1	7.00	228
1.5 : 1	7.24	246
1.75 : 1	7.37	243
2 : 1	7.46	253
2.25 : 1	7.16	225
2.5 : 1	7.39	220

3 分析与讨论

对比未涂敷碳化硅导电胶火工品试件及涂敷不同配比碳化硅导电胶火工品试件的电性能测试结果见表 1,碳化硅导电胶配比对火工品电阻并无显著影响;表 2~表 5 为 50、100、250、500 V 不同测试电压下,涂敷不同配比碳化硅导电胶对火工品绝缘性能的测试结果,表明:①在 50 V 和 100 V 较低测试电压下,火工品试件的绝缘电阻均大于 20 M Ω ,碳化硅导电胶配比对绝缘电阻性能影响不显著,但在 250 V 和 500 V 较高测试电压下,碳化硅导电胶配比对绝缘电阻性能影响显著;②相同碳化硅导电胶配比,以 1.25 : 1 配比如例,在不同测试电压下,其绝缘电阻性能及击穿情况与所施加测试电压直接相关,即随着测试电压的升高,绝缘电阻性能下降,试件击穿数量增加。综合分析表明:由于碳化硅材料的加入使得火工品试件的绝缘电阻性能发生变化,尤其在较高测试电压下影响更为显著;并且随着碳化硅比例的增加试件击穿数量也相应增多。

根据上述测试结果,分析认为,由于碳化硅导电胶存在低电压高阻值、高电压低阻值特性,使得在低电压条件下碳化硅导电胶的加入对火工品试件电阻几乎没有影响,但在高电压条件下,随着碳化硅比例增大,火工品试件的绝缘电阻性能随之降低,250 V 和 500 V 高电压下均不能满足绝缘电阻 >20 M Ω 的要求。试验还发现经高电压测试击穿后的试样在过一段时间后,部分试件绝缘电阻能恢复至 >20 M Ω 的要求。主要是由于绝缘电阻测试未使碳化硅导电胶配比发生改变,

使得部分样品测试后能够恢复或接近原有的绝缘电阻性能,且碳化硅配比越小对绝缘电阻性能影响越不显著。因此,涂敷碳化硅导电胶火工品试件在进行绝缘电阻性能考核时,建议采用较低测试电压,以降低试验测试对样品性能的影响。

为获得静电放电作用对涂敷不同配比碳化硅导电胶火工品绝缘电阻性能的影响,针对经过 30 kV 静电试验后的产品,进行了 50 V 电压下的绝缘电阻测试,结果见表 8。需要指出的是绝缘电阻的测试采用 50 V 电压是为了避免高电压测试对测试结果的影响,主要考察静电试验后产品脚壳绝缘性能是否降低。结果表明:对于经过静电冲击的试件,其绝缘电阻在 50 V 电压下都出现绝缘电阻不能大于 20 M Ω 的情况,静电试验使产品脚壳绝缘性能降低。

表 8 30 kV 静电放电下涂敷不同配比碳化硅导电胶火工品试件的绝缘电阻测试结果

Table 8 Testing results of insulation resistance for the electric-explosive device specimen coated by SiC conductive adhesive with different proportions under 30 kV electrostatic discharge

ratio of SiC and gum	resistance / Ω	insulation resistance at 50V voltage/M Ω	
		before electrostatic test	after electrostatic test
0.25 : 1	7.24	>20	-
0.5 : 1	7.75	>20	5 breakdown<1,5 sample>20
0.75 : 1	7.12	>20	6 breakdown<1,4 sample>20
1 : 1	7.28	>20	6 breakdown<1,4 sample>20
1.25 : 1	7.00	>20	6 breakdown<1,4 sample>20
1.5 : 1	7.24	>20	7 breakdown<1,3 sample>20
1.75 : 1	7.37	>20	all breakdown<1
2 : 1	7.46	>20	all breakdown<1
2.25 : 1	7.16	>20	all breakdown<1
2.5 : 1	7.39	>20	all breakdown<1

在静电防护性能方面,对比表 2~表 6 的测试结果表明,当配比为 0.25 : 1 时,没有试件能达到 25 kV 的静电适应性要求,配比为 0.5 : 1 和 0.75 : 1 时,均有部分试件出现发火的情况。由表 6 可知,在配比高于 1 : 1 时,进行脚壳静电试验时,静电电压大于 30 kV 的情况下未出现试件静电情况下发火的情况。结合表 1 测试结果,当配比在 1.75 : 1 及以上时,电火工品的绝缘电阻不能满足高电压(500 V)下绝缘电阻值 >20 M Ω 要求的问题,同时导电胶被击穿后绝缘电阻不能恢复到较大值。

表7的测试结果表明,在发火性能方面,由于碳化硅导电胶的低电压高阻值、高电压低阻值特性,火工品发火电压低,在低电压条件下碳化硅导电胶的对比对电火工品发火感度没有影响。

4 结 论

(1)为不改变火工品的绝缘电阻性能,对涂敷碳化硅导电胶的电火工品进行绝缘电阻测试时,将测试电压控制到低于100 V,既能够满足绝缘电阻值 $>20\text{ M}\Omega$ 要求,又不会影响产品发火性能。

(2)为达到25 kV的静电适应性要求,碳化硅导电胶配比控制在1:1~1.75:1,其中以1.25:1综合性能最优,即静电电压大于30 kV,且不影响产品的电阻与发火性能,同时能够满足100 V以下测试电压下绝缘电阻值 $>20\text{ M}\Omega$ 的要求,高电压测试对产品绝缘电阻性能影响较其它配比要小。

上述研究只是针对碳化硅与环氧树脂的对比对电火工品性能的影响,而关于碳化硅导电胶击穿后的恢复性能及对伏安特性的影响尚待展开进一步研究。

致 谢 本文涉及人体静电感度测试试验是在应用物理化学国家级重点实验室电磁环境实验室姚洪志高工、赵团高工和纪向飞高工等人支持下完成的,在此向他们表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 许碧英, 谢高第. 国外兵器火工烟火技术发展现状、趋势和我们的对策[R]. 西安: 陕西应用物理化学研究所, 1995.
XU Bi-ying, XIE Gao-di. How to deal with the development trend of Initiator and pyrotechnics[R]. Xi'an. Shaanxi Applied Physics-Chemistry Research Institute, 1995.
- [2] 马宏萱, 王宗舜. 氧化锌压敏电阻在电火工品防静电中的应用[J]. 兵工学报, 1980, 2(1): 32-36.
MA Hong-xuan, WANG Zong-shun. The application of zinc oxide pressure-sensitive resistance to antistatic electricity of electric pyrotechnics[J]. *Acta Armamentarii*, 2(1): 32-36.
- [3] 任晓雪, 彭翠枝. 国外新型火工药剂技术发展研究[J]. 爆破器材, 2012, 41(2): 20-23.
REN Xiao-xue, PENG Cui-zhi. Research on the development of new pharmaceutical technology in foreign countries[J]. *Explosive Material*, 2012, 41(2): 20-23.
- [4] GJB5309.14-2004, 火工品试验方法第14部分: 静电放电试验[S]. 2004.
GJB5309.14-2004 Test methods of initiating explosive devices-Part 14: Electrostatic discharge test[S]. 2004.
- [5] MIL-DTL-23659F-2010, Detail Specification Initiator, Electric, General Design Specification[S]. Department of Defense, 2010.
- [6] GBT8031-2005, 工业电雷管[S]. 北京: 中国标准出版社 2005.
GBT8031-2005 Electric detonators[S]. Beijing: Standards Press of China 2005.
- [7] 陈亚洲, 魏光辉. 电火工品的静电感度与防护措施[J]. 火工品, 1998(3): 40-44.
CHEN Ya-zhou, WEI Guang-hui. Electrostatic sensitivity of EED and anti-electrostatic measures[J]. *Initiator & Pyrotechnics*, 1998(3): 40-44.
- [8] 白瑞祥, 严楠. 静电放电对电火工品桥丝影响的实验研究[J]. 火工品, 2012(3): 9-12.
BAI Rui-xiang, YAN Nan. Experimental study on the Effect of ESD on EED bridgewire[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2012(3): 9-12.
- [9] 周胜利. 碳化硅防静电塞子的研究[R]. 西安: 陕西应用物理化学研究所. 1987.
ZHOU Sheng-li. Study on Anti-electrostatic electrode plug made of Silicon Carbide[R]. Xi'an: Shaanxi Applied Physics-Chemistry Research Institute. 1987.
- [10] 李志敏, 张同来, 杨利. 火炸药静电性能研究进展[J]. 科技导报, 2011, 29(26): 74-78.
LI Zhi-min, ZHANG Tong-lai, YANG Li. Progress on electrostatic performances of explosive[J]. *Science & Technology Review*, 2011, 29(26): 74-78.
- [11] 赵团, 姚洪志, 纪向飞. 火工品高频段射频频阻测试技术[J]. 爆破器材, 2016, 45(4): 61-64.
ZHAO Tuan, YAO Hong-zhi, JI Xiang-fei. Test technique of RF impedance of EED in high frequency[J]. *Explosive Materials*, 2016, 45(4): 61-64.
- [12] 李志鹏, 张攀军. 爆炸桥丝火工品的高压静电放电响应[J]. 含能材料, 2015, 23(6): 578-582.
LI Zhi-peng, ZHANG Pan-jun. Response to high voltage electrostatic discharge for exploding bridgewire detonators[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2015, 23(6): 578-582.
- [13] 封青梅, 关翔云, 刘红利. 电火工系统、引信300 kV静电放电试验系统研究[J]. 火工品, 2007(1): 51-53.
FENG Qing-mei, GUAN Xiang-yun, LIU Hong-li. Research on 300 kV electrostatic sensitivity test system for EED and fuze[J]. *Initiator & Pyrotechnics*, 2007(1): 51-53.
- [14] 温玉全, 张利敏, 洪东跑. 基于感度的火工品发火可靠性试验数据分析[J]. 兵工学报, 2010, 31(11): 1498-1501.
WEN Yu-quan, ZHANG Li-min, HONG Dong-pao. Analysis on reliability for explosive initiator based on sensitivity[J]. *Acta Armamentarii*, 2010, 31(11): 1498-1501.
- [15] 李便花, 金利民, 和海亮, 等. 静电感度试验发火分析及工艺改进[J]. 新技术新工艺, 2013(7): 85-88.
LI Bian-hua, JIN Li-min, HE Hai-liang. Firing analysis and process improvement of electrostatic sensitivity test[J]. *New Technol and Echnology and Process*, 2013(7): 85-88.
- [16] 白颖伟, 蒋庄德, 褚恩义. 火工品感度测试动态斜坡法与升降法比较研究[J]. 含能材料, 2006, 14(3): 200-204.
BAI Ying-wei, JIANG Zhuang-de, CHU En-yi. Study on ramp current method and up-down method for sensitivity testing methods of initiating device[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2006, 14(3): 200-204.

Effect of Silicon Carbide Conductive Adhesive on the Performance of Electric-explosive Device

BAI Ying-wei, LI Hui, CHEN Zhen, REN Wei, CHU En-yi

(State Key Laboratory of Applied Physics and Chemistry, Shaanxi Applied Physics-Chemistry Research Institute, Xi'an 710061, China)

Abstract: To study the effect of ratio of silicon carbide to epoxy resin in SiC conductive adhesive on the performances of electrostatic protection, insulation resistance and ignition sensitivity for electric-explosive device, the ratio of silicon carbide to epoxy resin was adjusted, ten kinds of silicon carbide conductive adhesive materials with different proportions were prepared. According to an electrostatic discharge test and a method for measuring insulation resistance prescribed in GJB5309.6-2004 "Test methods for initiating explosive devices", the highest electrostatic protection voltage, the insulation resistance of the foot and shell and the ignition performance parameters for a standard initiating explosive device under the condition that the SiC conductive adhesive is not coated and the SiC conductive adhesive is coated with different proportions were measured. The influence law of SiC conductive adhesive on the performance of electric was obtained. Results shows that when the ratio of silicon carbide to epoxy resin is 1.25 : 1. the highest electrostatic voltage protection capability of the initiating explosive device reaches 30 kV, and when the test voltage is less than 100 V, it can meet the requirement of insulation resistance value $>20 \text{ M}\Omega$, at the same time it does not affect the ignition performance of the product.

Key words: electric-explosive device; human body static electricity; SiC conductive adhesive; ignition sensitivity; insulation resistance

CLC number: TJ45

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.05.009



《含能材料》实现单篇网络首发

为了以规范的网络期刊出版方式更快更好地确立作者的科研成果首发权,全面提高学术论文的传播效率和利用价值,《含能材料》与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司(简称电子杂志社)签署了《CAJ—N 网络首发学术期刊合作出版协议》,通过《中国学术期刊(网络版)》(CAJ—N)进行《含能材料》单篇网络首发。

自 2018 年 5 月起,凡经《含能材料》审定录用的稿件将在《中国学术期刊(网络版)》(CAJ—N)上网络首发,后视编排情况发布整期汇编定稿,并印刷出版。

为规范网络首发版式,请投稿作者登录本刊网站,仔细阅读本刊投稿须知,并依据投稿模板中相关要求认真撰写论文。录用定稿网络首发之后,在后续整期汇编定稿网络版和印刷版中,不得修改论文题目、作者署名及排序、作者单位以及其主要学术内容,只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

欢迎作者投稿本刊。欢迎读者通过中国知网、本刊网站阅读并使用 DOI 引用本刊最新录用论文。

《含能材料》编辑部