

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.05.013

压敏电阻用于 SCB 火工品静电安全性研究*

刘德虎^① 周 彬^② 左成林^②

①安徽红星机电科技有限公司(安徽合肥,231135)

②南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

[摘 要] 为了提高半导体桥(SCB)火工品的静电安全性,利用贴片式压敏电阻优良的钳位电压能力对 SCB 火工品进行静电加固。恒流激励下发火试验结果显示,080C 型压敏电阻对 SCB 火工品发火时间和爆发时间无显著影响;静电国军标条件下,SCB 火工品均未发火,在静电美军标下全发火;080C 型压敏电阻防护后,SCB 火工品在美军标条件下均未发火,静电安全性得到了显著提高。因此,在不影响 SCB 火工品正常发火性能条件下,080C 型压敏电阻能够显著提高 SCB 火工品的抗静电能力。

[关键词] 半导体桥;压敏电阻;静电安全性

[分类号] TJ450

引言

半导体桥(SCB)火工品是利用半导体桥膜作为点火元件的电起爆装置^[1]。作为第三代电火工品,相比于桥丝式火工品,SCB 桥膜体积减小为桥丝的三十分之一,发火能量小于 5 mJ,发火时间为微秒级,安全性较好^[2]。虽然 SCB 火工品具有一定的抗静电能力,但是在受到比人体静电更高的电压及静电能量的冲击时,SCB 火工品仍将受到静电危害而导致性能变化,甚至出现意外发火的情况,影响其作用可靠性。因此,SCB 火工品的静电安全性的提高就显得十分必要。国内外对电火工品的静电安全性进行了多年的研究^[3-4],主要通过增加静电泄放通道^[5]和利用 TVS 二极管^[6]、并联电容^[7]和齐纳二极管^[8]等防护器件对电火工品进行静电加固。本文主要利用贴片式压敏电阻^[9]对 SCB 火工品进行静电加固,研究加固前后 SCB 火工品静电安全性变化规律。

1 试验样品

压敏电阻是一种对电压敏感的非线性电压保护半导体元件,具有电阻值与电压呈非线性变化特性,将其并联于被保护电路,当脉冲电压高于压敏电阻击穿电压时,压敏电阻瞬间被击穿,转为低阻抗保护通道,将过载及时吸收,有效地保护电路免遭损坏。

笔者选取 080C(SFI0603ML080C-LF)型号贴片式压敏电阻对 SCB 火工品进行静电防护。该型号压敏电阻为多层片式结构;封装尺寸为 1.60 mm

(L)×0.80 mm(W)×0.80 mm(H);工作温度范围为 -40~125℃;响应时间可达到 1~5 ns;击穿电压在 8 V 左右,在击穿前,电阻高达兆欧级,击穿后,电阻瞬间降为毫欧级水平;外观如图 1 所示。



图 1 试验用压敏电阻外观图

Fig. 1 Appearance of the varistor used in tests

080C 型压敏电阻具有体积小、快速响应、优良的钳位电压能力和静电泄放能力以及优异的安装可靠性^[10]等优点,利用 080C 型压敏电阻优异的抗静电能力对 SCB 火工品进行静电加固。将压敏电阻与 SCB 火工品并联,在常态下,压敏电阻相当于断路状态,对 SCB 火工品正常发火无显著的影响;当静电过电压高于压敏电阻击穿电压时,压敏电阻瞬间响应,由初始高电阻值断路状态转为毫欧级静电泄放通道,迅速分走大量静电能量,对 SCB 火工品起到有效的防护作用,显著提高半导体桥火工品静电安全性。

SCB 尺寸为 100 μm(L)×400 μm(W)×2 μm

* 收稿日期:2016-01-29

作者简介:刘德虎(1972-),男,工程师,主要从事火工品及弹药技术研究。E-mail:liuhuustc@126.com

(H),电阻约为 $1.0\ \Omega$,全发火能量约为 $5\ \text{mJ}$ 。通过环氧树脂和银浆将压敏电阻安装在SCB底端的凹槽,与SCB形成并联结构,将斯蒂芬酸铅(LTNR)涂覆在半导体桥芯片上,制成SCB火工品样品,如图2所示。



图2 试验用SCB火工品外观图

Fig.2 Appearance of SCB explosive device used in tests

2 试验原理及装置

试验仪器主要为JGY-50Ⅲ静电感度测试仪、储能电容、防爆箱等。试验条件为 $500\ \text{pF}$ 、 $25\ \text{kV}$,所用药剂为LTNR,采用脚脚静电加载方式。

在 $500\ \text{pF}$ 、 $500\ \Omega$ 、 $25\ \text{kV}$ 和 $500\ \text{pF}$ 、 $5\ \text{k}\Omega$ 、 $25\ \text{kV}$ 条件下对防护前后SCB火工品进行静电感度试验,试验原理如文献[10]所示。

3 试验结果与讨论

3.1 电爆试验结果

采用贴片式压敏电阻对SCB火工品静电加固时,须考虑压敏电阻对SCB火工品电爆性能的影响。因此,对防护前后的SCB火工品进行恒流激励条件下的发火试验,分析压敏电阻对SCB火工品发火性能影响规律。

电爆试验仪器为高速恒流起爆电源,高速数字存储示波器。

试验条件:恒流电流 $5\ \text{A}$,恒流持续时间 $10\ \text{ms}$ 。

试验样品:080C型压敏电阻防护后的SCB火工品、未加防护的SCB火工品各5发。两种样品各在试验条件下发火,结果如表1所示。

将两种火工品恒流爆发时间和发火时间进行 t 检验,比较两种火工品的爆发时间和发火时间是否具有显著性差异,所得结果如表2、表3所示。水平 $\alpha=0.05$,样本量 $n_1=5$ 、 $n_2=5$,查 t 检验分布表可得 $t_{1-\alpha/2}\{n_1+n_2-2=8\}=2.306$ 。

综合表2和表3结果,并联080C型压敏电阻后,SCB火工品的爆发时间稍有下降,发火时间均值略有增大, t 检验结果显示无显著性差异。080C型压敏电阻在击穿前处于高阻值断路状态,与SCB火工品并联后不会影响其正常发火性能,试验结果表明,080C型压敏电阻对SCB火工品发火性能无显

表1 防护前后SCB火工品电爆性能

Tab.1 Ignition parameters of two kinds of SCB explosive device

类型	编号	爆发时间/ μs	发火时间/ μs	爆发时间均值/ μs	发火时间均值/ μs
SCB火工品	D ₁	62	161	70.2	124
	D ₂	77	108		
	D ₃	77	94		
	D ₄	77	173		
	D ₅	73	84		
SCB火工品+压敏电阻	8D ₁	67	117	65.8	121
	8D ₂	61	119		
	8D ₃	65	117		
	8D ₄	71	121		
	8D ₅	65	131		

表2 防护前后SCB火工品发火时间 t 检验结果

Tab.2 t -test results for ignition time of two kinds of SCB explosive device

比较项	5发平均发火时间/ μs	标准差	与D型 t 检验值
SCB火工品	124	40.39	
SCB火工品+压敏电阻	121	5.83	$0.164 < 2.306$

表3 防护前后SCB火工品爆发时间 t 检验结果

Tab.3 t -test results for outbreak time of two kinds of SCB explosive device

比较项	5发平均爆发时间/ μs	标准差	与D型 t 检验值
SCB火工品	70.2	6.50	
SCB火工品+压敏电阻	65.8	3.63	$0.862 < 2.306$

著影响。

3.2 静电试验结果

对压敏电阻防护前后的典型SCB火工品,在国军标($500\ \text{pF}$ 、 $5\ \text{k}\Omega$ 、 $25\ \text{kV}$)和美军标($500\ \text{pF}$ 、 $500\ \Omega$ 、 $25\ \text{kV}$)静电条件下进行发火试验,得到试验结果如表4所示。

表4 防护前后SCB火工品静电试验

Tab.4 ESD results of two kinds of SCB explosive device

样品类型	试验条件	样品数	发火数
SCB火工品	$500\ \text{pF}$ 、 $5\ \text{k}\Omega$ 、 $25\ \text{kV}$	10	0
SCB火工品	$500\ \text{pF}$ 、 $500\ \Omega$ 、 $25\ \text{kV}$	10	10
SCB火工品+压敏电阻	$500\ \text{pF}$ 、 $500\ \Omega$ 、 $25\ \text{kV}$	10	0

表 4 结果表明, SCB 火工品在国军标静电条件下均未发火,体现出了一定的抗静电能力;在美军标静电条件下全发火,主要是由于美军标条件下的静电能量更高,放电更加迅速,SCB 火工品难以承受此条件下静电冲击;压敏电阻加固后的 SCB 火工品在美军标条件下均未发火,说明压敏电阻对 SCB 火工品起到了有效的静电防护作用,显著提高了 SCB 火工品的静电安全性。

SCB 火工品在未防护前,其抗静电能力是有限的;压敏电阻防护后,当静电过电压高于压敏电阻击穿电压时,压敏电阻瞬间被击穿,由初始高阻值断路状态迅速响应为低阻值静电泄放通道,分走大量静电能量,有效地保护了 SCB 火工品,试验结果进一步验证了压敏电阻的抗静电能力。

4 结 论

利用压敏电阻优异的抗静电能力对 SCB 火工品进行静电防护,主要得到以下结论:

1)5 A 恒流发火试验结果表明,并联压敏电阻后,SCB 火工品的发火时间和爆发时间均无显著性变化。

2)SCB 火工品本身具有一定的抗静电能力,在国军标(500 pF、5 k Ω 、25 kV)下均未发火,但是在美军标(500 pF、500 Ω 、25 kV)下全发火。

3)080C 型压敏电阻对 SCB 火工品起到了有效的静电防护作用,防护后的 SCB 火工品在美军标条件下均未发火,显著提高了 SCB 火工品的静电安全性。因此,080C 型压敏电阻可以作为 SCB 火工品抗静电的一种有效方式。

参 考 文 献

- [1] BICKES Jr R W, SCHWARZ A C. Semiconductor bridge (SCB) igniter:US4708060[P]. 1987-11-24.
- [2] BICKES R W, SCHLOBOHM S L. Transformer coupled semiconductor bridge igniter for low voltage ignition from

a high voltage source[R]. SAND 90-0001C, 1990.

- [3] MONK D, WOODBURY M B, HANSEN D D. Inflator initiator with zener diode electrostatic discharge protection:US5672841[P]. 1997-09-30.
- [4] 周彬, 王林狮, 秦志春, 等. 一种半导体桥火工品抗静电技术[J]. 火工品, 2010(2): 5-7.
ZHOU B, WANG L S, QIN Z C, et al. A method of anti-electrostatic discharge for semiconductor bridge initiator [J]. Initiators and Pyrotechnics, 2010(2): 5-7.
- [5] 赵文虎. 某导弹用点火具防静电技术研究[J]. 火工品, 2001(3): 24-27.
ZHAO W H. Antistatic technology study on an electric igniter which used a missile [J]. Initiators and Pyrotechnics, 2001(3): 24-27.
- [6] 陈飞, 周彬, 秦志春, 等. 半导体桥火工品的防静电和防射频技术[J]. 爆破器材, 2010, 39(3): 28-32.
CHEN F, ZHOU B, QIN Z C, et al. Anti-electrostatic and anti-RF technology of semiconductor bridge explosive devices [J]. Explosive Materials, 2010, 39(3): 28-32.
- [7] NOVOTNEY D B, WELCH B M, EVICK D W. Semiconductor bridge development for enhanced ESD and RF immunity[R]. AIAA99-2417, 1999.
- [8] KING T L, WILLIAM T W. Pin-to-pin electrostatic discharge protection for semiconductor bridges [R]. SAND 2002-2213, 2002.
- [9] 赵鸣. ZnVSb 基压敏电阻陶瓷的低温烧结及电性能研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
ZHAO M. The low temperature sintering and electrical property study of ZnVSb based varistor ceramic [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007.
- [10] 左成林, 周彬, 杜伟强. TVS 二极管用于半导体桥静电安全性研究[J]. 爆破器材, 2016, 45(3): 62-64.
ZUO C L, ZHOU B, DU W Q. Electrostatic safety of semiconductor bridge with external TVS diodes [J]. Explosive Materials, 2016, 45(3): 62-64.

Research on the Electrostatic Safety of Semiconductor Bridge (SCB) Explosive Device with Varistor

LIU Dehu^①, ZHOU Bin^②, ZUO Chenglin^②

①Anhui Hongxing Mechanical and Electrical Technology Co., Ltd. (Anhui Hefei, 231135)

②School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

[ABSTRACT] In order to improve the electrostatic safety of semiconductor bridge (SCB), the SMD varistor with excellent clamping voltage ability was used to reinforce SCB explosive device. Results under constant current excitation show that the ignition time and outbreak time of SCB with 080C Varistor have no significant changes. There is no ignition for SCB explosive device on the condition of electrostatic GJB, while full-ignition occurs on the condition of electrostatic MJB. SCB explosive device with 080C Varistor has no ignition on the condition of electrostatic MJB, which indicates that static safety of SCB explosive device has been improved significantly. Therefore, 080C Varistor could improve the antistatic ability of SCB explosive device when it has no impact on SCB normal ignition performance.

[KEYWORDS] semiconductor bridge (SCB); varistor; electrostatic safety