

文章编号: 1003-1480 (2021) 02-0016-03

静电放电对某电火工品电阻值的影响分析

姚则武¹, 成 语², 江海洋¹

(1. 海装广州局, 广东 广州, 510000; 2. 四川华川工业有限公司, 四川 成都, 610000)

摘 要:针对某型电火工品在多次静电放电试验后电阻值大幅降低的问题,通过分析及计算该型电火工品结构参数,统计历史数据以及对工艺过程开展研究,获得了导致静电放电试验后电阻值异变的主要原因为桥丝与上电极片非正常接触,使桥丝有效长度变短,造成电阻值下降,并提出了预防和解决措施。

关键词: 电火工品; 静电放电; 桥丝; 电阻

中图分类号: TJ45*2.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-1480.2021.02.005

Analysis on the Effect of Electrostatic Discharge on the Resistance Value of Some Electric Explosive Device

YAO Ze-wu¹, CHENG Yu², JIANG Hai-yang¹

(1. Guangzhou Military Representation Bureau of NAVFEC Department, Guangzhou, 510000; 2. Sichuan Huachuan Industries Co. Ltd., Chengdu, 610000)

Abstract: Aimed at the problem that the resistance value of some electric explosive device(EED) was greatly decreased after repeated electrostatic discharge tests, based on the analysis and calculation of the structural parameters of this type of EED, the historical data counting and the product process exploration, the main reason for the resistance value change caused by electrostatic discharge test was obtained, which is the improper contact between bridge-wire and upper electrode slice. The improper contact leads to the shortened effective length of bridge-wire, so the resistance value is decreased. Therefore, the preventive and solution measures were proposed.

Key words: EED; ESD; Bridge-wire; Resistance

火工品从生产到使用要经历储存、运输、装配、勤务、检测等过程。在其全寿命周期内,火工品可能会经历多次静电放电的冲击^[1],如果火工品经历静电放电冲击后性能发生较大变化或者意外发火,将会对弹药的安全性和可靠性产生重大影响。

某型电火工品按照 GJB 5309.14 火工品试验方法-静电放电试验^[2]的要求进行静电放电,试验后该产品电阻值由静电试验前的 1.22Ω 变化为 0.66Ω 。统计该批 120 发产品静电试验前后电阻值变化情况,结果变化范围在 $0.1 \sim 0.3\Omega$ 有 36 发,变化范围在 $0.30 \sim 0.66\Omega$ 有 3 发。虽然静电放电试验并未导致试验样品出现发

火现象,但是其电阻值发生异常变化且超出产品设计要求,势必导致产品作用不可靠等问题^[3-5],因而该问题必须引起足够重视,并对其进行探究及改进。

1 失效现象及原因分析

该型电火工品属于 6J20 Ni-Cr 桥丝式电火工品,由壳体、发火件、装药组件等组成,其结构图如图 1 所示。

出现桥丝电阻异常的产品静电放电试验方式为“脚-脚”模式,即静电放电作用对象为桥丝。因此,

收稿日期: 2020-12-20

作者简介: 姚则武(1972-),男,工程师,主要从事装备监造。

导致产品电阻突变的原因有桥丝特性发生重大变化、短路、电路出现非正常接触等。由该型电火工品结构、作用原理，以及产品静电放电试验方式可知，研究静电放电试验使产品电阻值大幅降低的主要原因，应从两个方面着手：一是静电放电对桥丝特性的影响；二是静电放电后桥丝非正常接触的可能性^[6-8]。

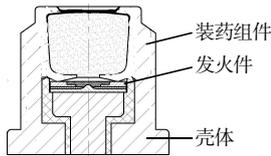


图1 某火工品结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the structure of EED

通过查阅该型电火工品 2017 年以前约 5 000 余发产品的静电放电试验后电阻数据，发现约有 1% 的产品存在电阻值大幅度降低现象，电阻值降低在 0.3 ~ 0.7Ω 之间，这些产品静电试验前电阻值皆大于 1.1Ω，部分变化较大的产品在静电试验前电阻值大于 1.5Ω。通过反复试验发现，静电冲击后两个焊点间桥丝有变直的趋势，桥丝由弯曲变直，焊点间桥丝变短。该型电火工品桥丝焊接如图 2 所示，桥丝与上电极拐角处距离较近，若桥丝发生变直变短现象，桥丝很可能搭接在上电极拐角处形成非正常接触，见图 3，使桥丝有效长度发生明显变短，造成电阻值变化。

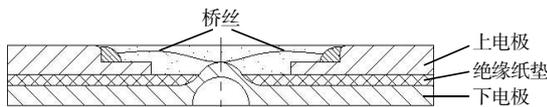


图2 桥丝焊接结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of bridge-wire welding structure

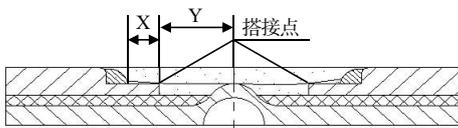


图3 两根桥丝搭接电极示意图

Fig.3 Schematic diagram of two bridge-wires overlapping the electrode slice

通过研究该型电火工品结构可知，桥丝距离上电极较近，桥丝在静电放电作用下会变形，可能导致在上电极拐角处形成非正常接触，从而使桥丝有效长度变短，造成电阻减小。当静电放电前电阻较小时，原桥丝的有效长度较短，搭接的可能性也较小，即使产生非正常接触，其电阻值变化率也较小。因此，只要控制好内控指标（下限电阻值 0.9Ω），即使产生非正常接触也能够保证设计电阻大于 0.5Ω。

2 改进方案设计

2.1 结构设计分析

由于桥丝不能高出上电极上平面，因此按照上电极（图 4）凹坑深度尺寸（ 0.29 ± 0.05 ）mm，减去桥丝直径，得到桥丝与上电极拐角处易非正常接触点的直线距离最大约为 0.3mm，实际焊接时该值比 0.3mm 更小。桥丝长度（不含焊点）约 1.25mm，两焊点间直线距离为 1.2 mm，通过计算，桥丝与上电极凹坑非正常接触点最大距离可以达到 0.5mm，因此，桥丝与上电极产生非正常接触在理论上是可能的。

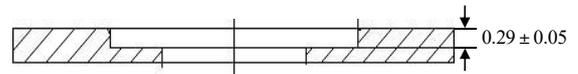


图4 上电极尺寸图

Fig.4 Schematic diagram of upper electrode slice

2.2 工艺过程分析

（1）火工品装配过程中出现绝缘纸垫刷胶量不足、电极片未清洗干净、粘接工装使用弹簧抗力变小时，将会出现上下电极分层、不牢固等现象，如图 5 所示。上下电极若出现分层、不牢固等缺陷都将导致桥丝与上电极间的距离减小。

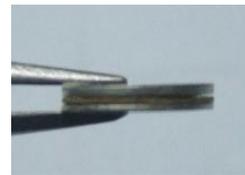


图5 上下电极分层现象

Fig.5 Delamination of upper and lower electrode slice

（2）该型电火工品装配过程中，要将发火件、装药组件和壳体装配在一起后收口，由图 6 产品收口压力示意图可以发现，产品收口后上电极会产生轻微凸起变形的现象，该变形也会使桥丝与上电极间的距离减小。

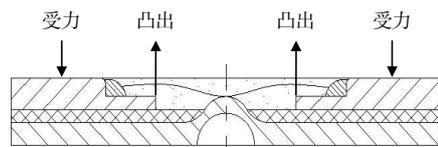


图6 产品收口时发火件受力示意图

Fig.6 Schematic force analysis of igniter as shell nosing

统计近年来产品装配收口后的废品情况，每批产品约有 1% ~ 2% 在收口后电阻不能满足要求；将收口

后电阻值不合格产品解剖，之后对发火件测试电阻，电阻值又恢复到合格状态。其原因是收口后受力变形导致间距变小，桥丝与上电极产生非正常接触。

2.3 改进方案

通过分析发火件结构及工艺过程，提出以下改进措施：

(1) 保持发火件桥丝与上电极焊接后的间距。首先，控制发火件粘接质量，通过改进粘接工装，使发火件粘接过程中持续受力，保证粘接牢固紧密；其次，增加发火件粘接质量检查要求，剔除发火件分层、翘边等缺陷；最后，控制收口压力，发火件、装药组件和壳体装配后的收口压力以能保证产品尺寸的最小压力为宜。

(2) 电阻内控值。按照双桥搭接理论计算数据，内控下限电阻为 0.9Ω ，可保证静电试验后电阻大于 0.5Ω 要求。采取上述措施后，统计近两年来 1 000 余发产品静电放电试验后电阻值，结果表明电阻值变化均小于 0.3Ω 。

3 结论

通过分析静电放电对桥丝特性、结构、绝缘层的影响，计算在单桥丝、双桥丝搭接条件下阻值变化情况，以及对近几年生产、验收过程的统计，得到导致静电放电试验后电阻大幅降低原因，并提出相应的改进措施，结论如下：

(1) 桥丝式电热火工品桥丝在静电放电条件下产生变形、拉直，与上电极形成非正常接触，使桥丝有效长度变短，是导致静电放电试验后电阻大幅降低的直接原因。

(2) 为避免桥丝与上电极间非正常接触，产品设计时桥丝与上电极间应留有足够空间，实际装配过

程中若出现上下电极分层、不牢、受力变形，均会使桥丝与上电极间距变小，从而出现静电放电试验后电阻降低现象。

(3) 为预防静电放电后因非正常接触导致电阻突变，可将电阻值内控到 0.9Ω ，确保因静电搭接导致电阻值低于设计要求的故障不再发生。

(4) 制造工艺上应尽量采取预防桥丝与电极间距变小的相关措施，如上下电极粘接应尽量不留间隙，收口压力应均衡。由于静电放电后桥丝发生变形无法避免，因此在后续同类型产品设计上建议采取无意外搭接等方式。

参考文献：

- [1] GJB 5309.14 火工品实验方法[S]. 国防科学技术工业委员会, 2004.
- [2] 张光明. 桥丝式电雷管电阻变化问题初探[J]. 火工品, 1994(4): 1-6.
- [3] 魏光辉, 国海广, 孙永卫. 电火工品静电安全性评价方法研究[J]. 火工品, 2005(2): 21-25.
- [4] 王凯民, 温玉全. 军用火工品设计技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [5] 范文韬. 静电放电对爆炸桥丝火工品作用性能影响研究[J]. 化工管理, 2017(9): 62.
- [6] 李志鹏, 张攀军, 吕子剑, 等. 爆炸桥丝火工品的高压静电放电响应[J]. 含能材料, 2015(6): 22-26.
- [7] 穆丽军, 高俊国, 张玉令. 静电放电对火工品作用机理分析与试验研究[J]. 工业安全与环保, 2010(5): 39-40.
- [8] 刘存礼, 郑会志, 李宇明, 等. 钝感电火工品静电敏感度试验研究[J]. 军械工程学院学报, 2011(3): 35-38.
- [9] 白瑞祥, 严楠. 静电放电对电火工品桥丝影响的试验研究[J]. 火工品, 2012(3): 9-13.