

文章编号: 1003-1480 (2021) 01-0009-03

# 数码电子雷管抗静电性能研究

杨文<sup>1,2</sup>, 岳彩新<sup>2</sup>, 宋家良<sup>2</sup>, 张阳光<sup>1,2</sup>

(1.煤炭科学研究总院, 北京, 100013; 2.中煤科工集团淮北爆破技术研究院有限公司, 安徽 淮北, 235000)

**摘要:** 为了研究数码电子雷管的抗静电性能, 采用静电感应仪, 对数码电子雷管以脚-脚和脚-壳放电方式进行不同电压的静电试验, 分析静电放电形式、放电位置和放电次数对数码电子雷管性能的影响。研究发现, 以脚-脚形式放电时, 静电会导致数码电子雷管芯片失效, 但不会导致雷管发火; 脚-壳形式放电时, 只有形成静电放电通道才会对雷管造成损伤, 芯片失效率因放电位置不同而差异较大, 多次的静电作用会增加芯片失效率。

**关键词:** 数码电子雷管; 抗静电; 芯片失效; 放电位置

中图分类号: TJ45<sup>+</sup>2.3 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2021.01.003

## Research on Antistatic Performance of Digital Electronic Detonator

YANG Wen<sup>1,2</sup>, YUE Cai-xin<sup>2</sup>, SONG Jia-liang<sup>2</sup>, ZHANG Yang-guang<sup>1,2</sup>

(1.China Coal Research Institute, Beijing, 100013; 2.HuaiBei Blasting Technology Research Institute Co. Ltd., CCTEC, HuaiBei, 235000)

**Abstract:** In order to study the antistatic performance of the digital electronic detonator, electrostatic tests of digital electronic detonators based on the foot-foot and foot-shell discharge methods at different voltages were performed, by use of an electrostatic sensitivity meter. The impacts of discharge method, discharge position and times on the performance of digital electronic detonator were mainly studied. Research show that foot-foot discharge method will cause the chip to fail, while not cause the detonator to ignite; The foot-shell discharge method will damage the detonator only when an electrostatic discharge channel is formed, the failure rate of the digital electronic detonator chip varies greatly due to different discharge positions, and repeated electrostatic action will increase the chip failure rate.

**Key words:** Digital electronic detonator; Antistatic; Chip failure; Discharge position

数码电子雷管采用电子芯片为核心部件组成电延期发火元件, 以取代工业电雷管的化学延期体和电发火元件, 具有延期时间任意设定、延期精度高等优点<sup>[1]</sup>。其通过内置密码和身份码技术, 实现对电子雷管爆破作业的远程监控<sup>[2]</sup>, 成为我国工业雷管更新换代产品, 已在我国矿山开采、基础设施建设等爆破工程中得到了广泛应用<sup>[3]</sup>。数码电子雷管显著减少了爆破震动危害, 改善了爆破效果, 但在实际应用和发展过程中, 也暴露出许多亟待研究和解决的产品性能问题,

如小断面爆破丢炮率高、抗电磁干扰、抗静电等。静电对工业电雷管的危害以及抗静电性能的重要性众所周知, 由于数码电子雷管在结构和发火原理上与原工业电雷管有很大差异, 因此建立在工业电雷管基础上的抗静电研究结果不能很好地适用于数码电子雷管, 而目前有关数码电子雷管抗静电方面的研究报道较少。因此, 本文针对脚-脚放电和脚-壳放电两种主要放电途径<sup>[4-5]</sup>, 研究静电放电对数码电子雷管的危害, 为数码电子雷管的应用提供技术支持。

收稿日期: 2020-09-11

作者简介: 杨文 (1995-), 男, 硕士研究生, 从事爆炸安全与技术研究。

### 1 数码电子雷管工作原理

数码电子雷管主要由专用脚线、专用封口塞、电子延期体、基础雷管 4 部分组成<sup>[6]</sup>，如图 1 所示。

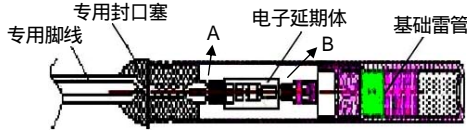


图 1 数码电子雷管构成图

Fig.1 Composition of the digital electronic detonator

起爆系统由编程器、编程指示器和起爆器组成。编程器能够实现连接检测、延时时间设置、雷管状态检测等功能；编程指示器用于辅助电子雷管编程器，接收并显示电子雷管组网状态；起爆器则用于起爆数码电子雷管<sup>[7]</sup>。

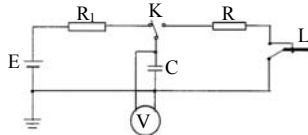
### 2 试验部分

#### 2.1 试验器材

JG-50EN 静电感度测试仪，西安军潮机电设备有限公司生产；未装起爆药和猛炸药的数码电子雷管；预处理的雷管壳（对直径约 6.87mm 的钢质发蓝壳进行剪裁）；对数码电子雷管进行检测、起爆的智能控制器。

#### 2.2 试验方案

本次试验的静电感度仪采用电容为 2 000pF，试验串联电阻为 0Ω，每个电压下测试 10 发样品。静电感度测试仪的工作原理如图 2 所示。



注：C 为储能电容；K 为真空开关；V 为静电电压表；E 为直流高压电源；R<sub>1</sub> 为充电电阻；R 为串联电阻；L 为数码电子雷管。

图 2 静电感度测试仪工作原理图

Fig.2 Working principle diagram of electrostatic sensitivity meter

放电能量计算采用公式 (1)：

$$A = \frac{1}{2} C V^2 \tag{1}$$

式 (1) 中：C 为放电电容；V 为静电电压。

试验前用控制器检测样品芯片是否正常，连接好样品，调节电压至设定值，进行放电测试，观察样品

是否发火；是否产生静电火花，并标记静电火花位置；测试完成后，用控制器再次检测样品芯片是否失效。

#### 2.3 试验结果与分析

在脚-壳放电时，静电火花主要在芯片的上下部位，即图 1 的 A、B 部位产生，因为这两处裸露的焊接部分容易和管壳之间形成泄放通道。在脚-脚放电时，不会和管壳间形成泄放通道产生静电火花。2 种放电方式测试结果如表 1~2 所示。脚-壳放电时，芯片失效率与电压的关系如图 3 所示。

表 1 脚-壳静电放电测试数据

Tab.1 Test data of foot-shell discharge method

电压 /kV	试验数量 /发	发火数量 /发	静电火花数/个		芯片失效数/个	静电能量 /mJ	发火率 /%	芯片失效率 /%
			A 部位	B 部位				
2	10	0	2	0	0	4	0	0
3	10	0	8	2	4	9	0	40
4	10	0	7	3	9	16	0	90
8	10	0	6	4	10	64	0	100
10	10	1	7	3	10	100	10	100

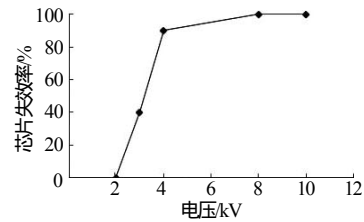


图 3 脚-壳放电芯片失效率与电压关系

Fig.3 Voltage vs chip failure rate of foot-shell discharge method

表 2 脚-脚静电放电测试数据

Tab.2 Test data of foot-foot discharge method

电压 /kV	试验数量/发	发火数量/发	芯片失效数/个	发火率 /%	静电能量 /mJ	芯片失效率 /%
0.1	10	0	3	0	0.01	30
0.2	10	0	10	0	0.04	100
0.7	10	0	10	0	0.49	100
1.0	10	0	10	0	1.00	100
8.0	10	0	10	0	64.00	100
10.0	10	0	10	0	100.00	100

从表 1~2 测试结果可知，在静电电压 8kV 时，脚-脚和脚-壳放电都没有出现发火；在 10kV 时，脚-脚放电也没有出现发火，脚-壳放电出现发火。

数码电子雷管受静电作用后容易导致芯片失效而无法再正常起爆。脚-脚放电在静电电压 0.1kV 时，芯片开始出现失效，0.2kV 时芯片失效率达到 100%；脚-壳放电时，芯片在 2kV 之后开始出现失效，失效率增长速度在 4kV 之前较快，4kV 时失效率达到 90%，8kV 时失效率达到 100%。对比表 1、表 2 可知，脚-壳放电形式下致使数码电子雷管芯片失效的电压远大于脚-脚形式下的电压，但都远低于现国标规定的 8kV 静电试验电压。

为了研究在图 1 中 A、B 部位静电放电对电子雷管的影响,对管壳进行相应处理,强制在相应位置进行放电,其结果如表 3~4 所示,芯片失效率与电压的关系如图 4 所示,静电次数对电子雷管芯片失效率的影响如表 5 所示。

表 3 强制在 A 部位静电放电测试数据  
Tab.3 Forced discharge test data at part A

电压/kV	试验数量/发	发火数量/发	静电火花数/个	芯片失效数/个	发火率/%	芯片失效率/%
2.0	10	0	2	0	0	0
2.5	10	0	5	2	0	20
3.0	10	0	10	4	0	40
4.0	10	0	10	5	0	50
5.0	10	0	10	10	0	100

表 4 强制在 B 部位静电放电测试数据  
Tab.4 Forced discharge test data at part B

电压/kV	试验数量/发	发火数量/发	静电火花数/个	芯片失效数/个	发火率/%	芯片失效率/%
2.0	10	0	0	0	0	0
2.5	10	0	5	5	0	50
3.0	10	0	8	8	0	80
4.0	10	0	10	10	0	100

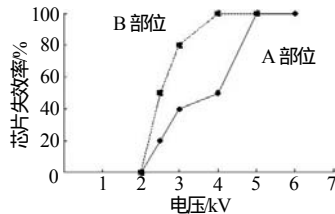


图 4 A、B 部位放电芯片失效率与电压关系

Fig.4 Relationship between the chip failure rate vs voltage of discharge at part A and B

表 5 脚-壳放电形式下静电次数对电子雷管的影响  
Tab.5 Influence of electrostatic discharge times on electronic detonator in the form of foot-shell discharge

静电放电部位	电压/kV	一次静电芯片失效率/%	二次静电芯片失效率/%
A 部位	2.5	20	30
B 部位	2.5	50	80

从图 4 可知,在 2~5kV 之间,相同静电电压下,B 部位放电致使芯片的失效率远高于 A 部位放电。因为在 A 部位放电,静电能量在芯片之前可以得到部分泄放,减少了对芯片的损伤;在 B 部位放电,静电能量全部经过芯片,芯片失效率更高。由表 1 也可知,静电火花更容易在 A 部位产生,说明芯片模块对静电电荷有阻隔作用,可以降低药头部位放电概率。

通过表 5 可知,多次的静电作用会增加芯片失效率,静电在 B 部位形成泄放通道,芯片静电损伤会叠加。通常情况下人体的静电能为 0.45mJ,远超出脚-脚静电放电时芯片完全失效的静电能 0.04mJ;在干燥的环境下,人体静电可高达数百毫焦耳<sup>[8]</sup>,在脚-壳放电时,不但会导致数码电子雷管芯片失效无法正常起

爆,还存在静电引爆数码电子雷管的安全风险。

### 3 结论

(1) 静电对数码电子雷管以脚-脚形式放电时会导致芯片失效,不会导致雷管发火。

(2) 静电对数码电子雷管以脚-壳形式放电时,只有在形成静电放电通道时才会对雷管造成损伤。

(3) 脚-壳形式放电时,数码电子雷管芯片失效率因放电位置不同而差异较大,致使芯片 50%失效率的放电电压:A 点为 4kV,B 点为 2.5kV。

(4) 脚-壳形式放电时,静电对芯片的损伤具有叠加效应,B 部位比 A 部位更明显。

静电对数码电子雷管的损坏不容忽视,虽然静电导致数码电子雷管爆炸的风险低于工业电雷管,但导致雷管失效的概率远高于工业电雷管。所以,现行标准 WJ 9085 工业数码电子雷管中,用是否发火来评价数码电子雷管抗静电能力是不全面的。

#### 参考文献:

- [1] 高文乐,罗衍涛,周奥博,等.新型延时起爆控制系统的应用研究[J].火工品,2016(1): 34-36.
- [2] 颜景龙.中国电子雷管技术与应用[J].中国工程科学,2015,17(1): 36-40.
- [3] 唐跃,曹跃,罗明荣,郭艳礼.高精度数码雷管在爆破施工降振中的应用[J].爆破,2011,28(1): 107-109.
- [4] 陈之林,董吉孝,宋家良.工业电雷管抗静电能力的研究与回顾[J].煤矿爆破,1995(1): 17-21.
- [5] 殷鹤华,陆守香,陈杰恒.工业电雷管抗静电性能的研究[J].淮南工业学院学报,2000(1): 23-25.
- [6] 张英豪,张泽楠.数码电子雷管应用问题探讨[J].火工品,2018(4): 55-57.
- [7] 莫福荣.数码电子雷管实践应用优劣经验阐述[J].中国矿业,2019,28(1): 104-106.
- [8] 付军霞.人、机静电对炸药生产危害的研究[D].山西:中北大学,2007.