

文章编号: 1003-1480(2025)01-0027-05

# 工业电子雷管卡口部位防水性能研究

张西亚<sup>1</sup>, 葛立芳<sup>1</sup>, 任晓祥<sup>1</sup>, 樊保龙<sup>1</sup>, 张安邦<sup>2</sup>

(1. 安徽江南化工股份有限公司, 安徽 合肥, 230088; 2. 南京理工科技化工有限责任公司, 江苏 南京, 211151)

**摘要:** 为了解决工业电子雷管在含水炮孔的短路、半爆问题, 通过高压水罐对电子雷管进行了浸水试验, 同时探究了卡印状态、卡口尺寸和雷管管壳厚度对电子雷管防水性能的影响。研究发现: 卡口卡印处的褶皱是引起电子雷管进水的主要原因, 进水后会出现短路和半爆情况。在自动化产线对卡头瓣状直径进行了优化, 消除了卡印褶皱, 优化后的电子雷管产品防水性能良好, 满足 50 m 水深、72 h 的抗水性能要求; 并且, 当使用厚度为 0.40 mm、卡口尺寸为 5.60 mm 的铁质管壳时, 有助于提高卡口稳定性, 同时减少了人工剔除不良品的安全隐患, 有助于实现“人机隔离 机器换人 黑灯工厂”的安全生产模式。

**关键词:** 工业电子雷管; 防水性能; 卡口工序; 短路; 半爆

**中图分类号:** TJ45+2.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-1480.2025.01.005

## Research on Waterproof Performance of the Crimping Position of Industrial Electronic Detonators

ZHANG Xi-ya<sup>1</sup>, GE Li-fang<sup>1</sup>, REN Xiao-xiang<sup>1</sup>, FAN Bao-long<sup>1</sup>, ZHANG An-bang<sup>2</sup>

(1. Anhui Jiangnan Chemical Industry Co. Ltd., Hefei, 230088; 2. Nanjing Science and Technology Chemical Co. Ltd., Nanjing, 211151)

**Abstract:** In order to solve the problems of short circuit and half explosion of industrial electronic detonators in water-bearing blast hole, the immersion test was conducted on electronic detonators by using a high-pressure water tank. At the same time, the influence of crimping status, crimping size, and detonator shell thickness on the waterproof performance of electronic detonators was explored. The study found that the crimping wrinkle is the main reason for water ingress in electronic detonators, which can lead to short circuit and half explosion. By optimizing the diameter at the petal shape of the crimped head in automated production line, the crimping wrinkles have been eliminated. The optimized electronic detonator products have good waterproof performance, meeting the requirements of 50 meters and 72 hours for water resistance. And by use of an iron tube shell with a thickness of 0.40 millimeters and a crimping size of 5.60 millimeters, the stability of the crimping operation could be improved. At the same time, it reduces the safety hazards of manually removing defective products, which helps to realize the safe production mode of *unmanned factory*.

**Key words:** Industrial electronic detonators; Waterproof performance; Crimping operation; Short circuit; Half explosion

工业电子雷管作为爆破作业中的关键产品, 目前已被广泛应用于水利水电工程、露天矿山爆破<sup>[1]</sup>、隧道掘进爆破<sup>[2]</sup>、地下非煤矿山巷道掘进以及拆除爆破<sup>[3]</sup>等领域。对于大多数爆破作业现场, 当遇到下雨、工

作面积积水等情况时, 电子雷管内部容易受潮甚至进水, 导致模组短路或者元器件失效, 甚至会使药剂变潮湿, 降低雷管的起爆和传爆能力, 造成半爆和拒爆情况, 进而影响爆破效果和安全<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2024-03-28

作者简介: 张西亚(1996-), 女, 工程师, 主要从事工业雷管与爆破器材技术研究。

通讯作者: 樊保龙(1980-), 男, 正高级工程师, 主要从事民爆器材及工程爆破技术研究。

基金项目: 中国兵器民品开发费项目; 无线电子起爆系统关键技术研究与应用(JM2022030)。

引用本文: 张西亚, 葛立芳, 任晓祥, 等. 工业电子雷管卡口部位防水性能研究[J]. 火工品, 2025(1): 27-31.

目前关于电子雷管防水性研究集中于脚线和接头方面。刘庆等<sup>[5]</sup>通过提供一种抗弯折脚线,减少或消除注塑塞的卡口部位和把手部位因弯曲形成的间隙,从而提高电子雷管的防水性能。姚方明等<sup>[6]</sup>发明了一种电子雷管防水接头,采用压缩空气和遇水膨胀的O型橡胶圈双防水措施,有效封堵接头漏水点,解决了电子雷管在潮湿、水下,特别是深水区因接头进水造成的盲炮问题。宋磊等<sup>[7]</sup>公开了一种电子雷管防水装置,其利用橡胶圈弹性压缩达到防水功能。周朝海等<sup>[8]</sup>公开了一种电子雷管脚线防水装置,所设计的底座组件有双隔水室,配合密封圈组件能够有效提高装置防水效果,避免进水短路,提升作业的安全性。

据某爆破作业现场反馈,某批次电子雷管在含水炮孔准备组网起爆期间,有水渗入雷管内部,出现电流过大和短路等漏电现象,造成半爆和拒爆的问题。在实际操作时,尽管使用胶带缠绕卡口处以减少电子雷管漏电情况,但未从根本上解决防水问题。对该批电子雷管进行外观检测,发现约有40%雷管的卡口卡印处存在微小褶皱。目前对于电子雷管卡口处防水性能研究较少,本文通过优化卡口工序,消除了因卡口卡印处褶皱导致电子雷管进水的情况,并成功应用于自动化产线。

## 1 试验

为探索卡口卡印状态对电子雷管防水性能的影响,分别选择有/无褶皱两种卡口卡印形态的样品,利用高压水罐模拟深水作业环境,通过控制水罐压力和浸水时长,研究电子雷管的防水性能,探究引起工业电子雷管在含水炮孔的短路和半爆原因。通过优化卡口工序卡口机头的尺寸,彻底消除卡口卡印褶皱,同时验证卡口尺寸(卡口处雷管管壳外径)、雷管管壳厚度对电子雷管卡口部位防水性能的影响,为提升电子雷管质量可靠性提供依据。

### 1.1 试验方案

在同一自动化产线上挑选出若干卡口卡印处有褶皱和无褶皱的电子雷管样品,分类做好标记,并记录卡口尺寸;经单发检测合格后置于高压水罐中,通

过控制罐体压力,模拟深水作业环境。在设定压力下,达到规定时长后,将电子雷管取出,再次单发检测。若单发检测不合格,随即使用解剖工装对电子雷管进行解剖分析;若单发检测合格,则将合格样品连入同一爆破网络,插入爆破区域,并将雷管周围土壤压紧,做好个人防护后,使用专用起爆器进行起爆,起爆5 min后进入场地查看,记录起爆情况;若单发检测合格,组网检测异常,则使用二分法进行排查,即把连入网络中的电子雷管从中间位置分为两部分,分别检测网络状态,将结果异常的二分之一网络再次均分并检测,重复上述操作,直至找到问题电子雷管,取下该电子雷管,依次进行单发检测、组网检测和起爆流程,若有异常情况出现,则进行解剖分析。试验流程如图1所示。

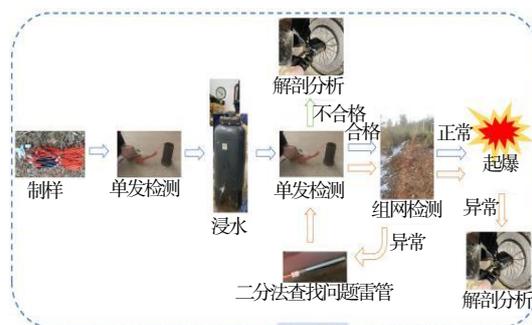


图1 电子雷管浸水试验测试流程

Fig.1 Test process for immersion test of electronic detonators

### 1.2 主要试验仪器与材料

电子雷管样品为国内某民爆企业提供,其电子控制模块使用钽电容,贴片式电阻;管壳材质为铁质,管壳长度为90 mm;电子雷管单发检测、组网检测及起爆流程均通过专用起爆器完成;高压水罐为 $\Phi$  0.5 m $\times$ 1.4 m、壁厚10 mm的铁质水罐,设置压力范围为0~1.0 MPa。

## 2 结果与分析

### 2.1 电子雷管内部进水的原因分析

准备卡口卡印处有褶皱和无褶皱的电子雷管样品各80发,所有样品浸水前单发检测均合格。按照试验条件分批投入高压水罐中,通过设定水罐压力,模拟深水作业环境;通过控制浸水时长,模拟产品长

时间浸泡状态。试验环境温度范围为-7~2℃，设置水罐压力和浸水时长的试验条件分别为：0.15 MPa、8 h；0.15 MPa、24 h；0.30 MPa、8 h；0.30 MPa、24 h，每种试验条件下有褶皱和无褶皱的电子雷管样品各20发，管壳厚度为0.30 mm，浸水试验参数及结果如表1所示。

表1 有/无褶皱电子雷管样品浸水试验参数及结果  
Tab.1 Parameters and results of immersion test of electronic detonator samples with and without wrinkles

卡口卡印状态	压力 /MPa	时间 /h	卡口尺寸 均值/mm	浸水后 单发检测	起爆情况
无褶皱	0.15	8	5.63	20 发合格	正常
		24	5.66		
	0.30	8	5.61		
		24	5.64		
有褶皱	0.15	8	5.67	20 发合格	正常
		24	5.68	14 发合格, 6 发电流偏大。	12 发正常, 2 发半爆。
	0.30	8	5.69	14 发合格, 6 发电流偏大。	10 发正常, 4 发半爆。
		24	5.67	12 发合格, 8 发电流偏大。	10 发正常, 2 发半爆。

从表1可知，所有电子雷管样品的卡口尺寸均值分布在5.61~5.69 mm。卡口卡印处无褶皱的样品在0.15, 0.30 MPa水压下，分别放置8, 24 h，均能正常起爆，在4种试验条件下该电子雷管样品都具有良好的抗水性能。

对于卡口卡印处有褶皱的20发电子雷管样品，在15 m水深(0.15 MPa)放置8 h后，单发检测合格，且能正常起爆。增加浸水深度和时间后，使用起爆器进行单发检测，部分样品出现“电流偏大，通讯错误”的提示，表明电子雷管内部进水，引起电流异常。同时单发检测合格的样品在组网起爆后，出现一定概率的半爆情况。将单发检测不合格的电子雷管取出，进行目视观察，发现各样品卡口卡印的褶皱处均有鼓包，且连成一条线，水容易顺着该缝隙进入管内。对其解剖后发现，样品管壳内均有水进入，且3道卡口卡印处都含水，水顺着管壁流出，药头也均有水滴附着，如图2所示。



图2 单发检测电流偏大电子雷管样品解剖图  
Fig.2 Anatomical diagram of electronic detonator sample with high single shot detection current

当浸水深度一定时，随着时长增加，电子雷管内部进水概率增加。以水罐压力为0.30 MPa，浸水时长为8 h和24 h为例，对于有褶皱的电子雷管样品，浸水时间由8 h延长至24 h时，单发检测异常的概率增加了10%。当浸水时间相同时，随着浸水深度增加，单发检测电流偏大的电子雷管数目增加，且检测合格的样品中出现半爆的情况增多。出现半爆的原因是管壳内部进水后，造成起爆药钝化，起爆能力下降，因而未能完全引爆炸药。例如当浸水时间24 h、压力0.30 MPa的样品单发检测通讯错误的概率比0.15 MPa样品高10%，且单发检测正常样品中出现半爆的概率更高(0.15 MPa: 14%; 0.30 MPa: 17%)。电子雷管正常起爆后管壳完全炸裂呈喇叭状，如图3所示；出现半爆的电子雷管管壳内有残余起爆药和炸药，如图4所示。



图3 电子雷管正常起爆后状态  
Fig.3 The state of electronic detonators after normal detonation



图4 电子雷管半爆后状态  
Fig.4 The state of electronic detonators after half explosion

基于上述试验结果，可以得出卡口卡印处有褶皱，且褶皱鼓包连成一条线，是导致电子雷管内部进水的主要原因，随着浸水时间和水深的增加，电子雷管内部更易进水，出现单发检测电流偏大和半爆的情况越多。

## 2.2 卡口工序的卡头结构优化

为从根源上消除卡口卡印处褶皱，对卡口工序的卡口机头进行了结构优化。卡口机头由卡头、卡套、底板和支撑板组成<sup>[9]</sup>，其中卡头是将管壳与注塑塞进行卡口固定的核心部件。卡头顶部分为以圆周均匀分布的瓣状结构，瓣状头部呈折钩状，内部设有齿牙。卡头结构如图5所示。

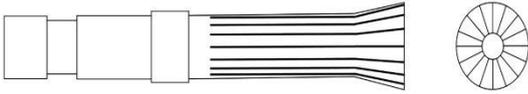


图5 卡口工序的卡头结构

Fig.5 The core structure of the crimping operation

针对电子雷管生产线上出现卡口卡印处有褶皱的情况，对卡口工序的卡头进行分析。卡头瓣状直径与预设卡口直径有关，瓣状直径较小时，在机械误差允许范围内，会导致卡口位置靠前或管壳位置紧靠卡槽内侧，使管壳在卡印槽中被过分挤压，形成褶皱。于是通过增大卡头瓣状直径，即由  $(29.0 \pm 0.02)$  mm 增大至  $(29.2 \pm 0.02)$  mm，以此避免雷管在卡槽中因过分挤压形成褶皱的问题。优化后的卡头已成功用于自动化产线，能满足卡口尺寸设定在 5.20~5.90 mm 范围内的要求，并且产品卡口卡印处无褶皱。

## 2.3 卡口尺寸对电子雷管防水性能的影响

电子雷管脚线完成注塑后，与电子控制模块铆焊接，通过卡口工艺与基础雷管相接，使注塑塞包裹在管壳内部。卡口工艺在管壳口部形成3道卡印，其中第2道卡印卡口尺寸最小，被视为影响电子雷管抗脱落和防水性能最关键的一道卡印，通常所说的卡口尺寸即为第2道卡印卡口处的管壳外径。电子雷管卡口前后的结构示意图如图6所示。

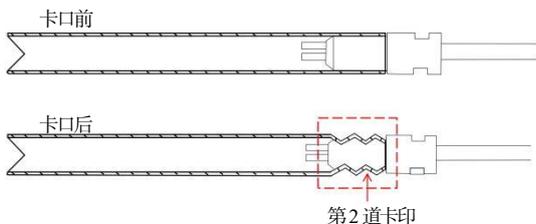


图6 电子雷管卡口前后结构图

Fig.6 The structural diagram before and after the crimping operation

基于结构优化后的卡头，探索卡口尺寸大小对电子雷管防水性能的影响。以第2道卡口尺寸分别为

5.20, 5.60, 5.90 mm 的工艺标准制备电子雷管样品各40发，管壳厚度为普通(0.30 mm)和较厚(0.40 mm)2种，样品卡口卡印处均无褶皱；且注塑塞外径尺寸均值为6.12 mm，极差不大于0.07 mm；浸水前电子雷管样品单发检测均合格。

为验证优化后的电子雷管抗水性能，进行了浸水试验，试验中水深为50 m、浸水时间为72 h。为保持压力稳定，每隔4 h进行压力补充，使水罐压力维持在0.50 MPa。不同卡口尺寸的电子雷管样品浸水试验参数及结果如表2所示。

表2 不同卡口尺寸和管壳厚度的电子雷管样品浸水试验参数及结果

Tab.2 The immersion test parameters and results of electronic detonator samples with different crimping sizes and shell thicknesses								
外壳状态	压力 /MPa	浸水时间 /h	管壳厚度 /mm	卡口尺寸设定值 /mm	卡口尺寸均值 /mm	卡口尺寸标准差 /mm	浸水后单发检测	起爆情况
无褶皱	0.50	72	0.30	5.20	5.19	0.046	合格	正常
				5.60	5.61	0.041		
				5.90	5.87	0.054		
			0.40	5.20	5.18	0.047		
				5.60	5.62	0.026		
				5.90	5.84	0.058		

某民爆生产企业关于电子雷管卡口尺寸工艺要求为5.30~5.90 mm，尺寸过小会过度挤压脚线内芯，造成破皮，引起电子雷管通讯短路的情况发生；尺寸过大，注塑塞易与基础雷管分离，使电子雷管不具备抗拉及抗水性能。本试验设定卡口尺寸为5.20, 5.60, 5.90 mm，在该批次样品中卡口尺寸最小为5.07 mm，最大为6.03 mm。同时，所有样品均进行了抗拉性能测试，满足在78.4 N静拉力下维持1 min的要求，并且注塑塞未发生目视可及的损坏和移动情况。

从表2可以看出，当电子雷管卡口卡印处无褶皱时，对于卡口尺寸设定在5.20~5.90 mm的样品，浸水后单发检测均合格，组网检测无异常，且正常起爆，如图7所示。

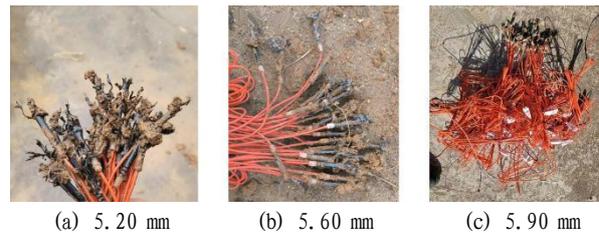


图7 3种卡口尺寸样品起爆结果  
Fig.7 The detonation results of samples with three kinds of crimping size

## 2.4 管壳厚度对电子雷管防水性能的影响

管壳硬度与管壳厚度相关,管壳越厚则越软,硬度不同的管壳材质,经卡口机头在同一设定参数处理下,卡印尺寸略有不同。

从表2中可以看出,当使用0.40 mm厚度的管壳,在卡口卡印不出现褶皱的情况下,于50 m水深浸泡72 h后单发检测、组网检测和起爆过程均正常,即优化后的电子雷管满足50 m水深、72 h的抗水性能要求。且当卡口尺寸设定为5.60 mm时,标准差最小,表明各发电子雷管样品卡口卡印值更接近平均值,数据一致性较好,从管壳厚度为0.30 mm的样品中也能得到相同规律。同时相较于普通管壳,厚质管壳在5.60 mm设定卡口尺寸下,标准差更小。因此建议在自动化产线中,使用厚质管壳,并将卡口工艺参数调整为卡口尺寸5.60 mm,更有助于提高卡口尺寸数值稳定性和一致性要求。

## 3 结论与展望

(1) 卡口卡印处的褶皱是电子雷管在含水炮孔进水的主要原因,进水后会出现短路和半爆情况;同时随着浸水深度和时间的延长,电子雷管出现上述情况的概率增加。

(2) 通过优化卡口工序的卡头瓣状直径,从源头上消除了卡口卡印褶皱问题,杜绝了电子雷管卡口处进水现象。

(3) 在电子雷管自动化卡口工序,使用厚度为0.40 mm的铁质管壳,卡口尺寸设定为5.60 mm,卡口稳定性和一致性更高,有助于提升电子雷管质量可靠性。

本文优化卡口工序的方法已成功用于自动化产线,具有应用价值和推广可行性,解决了电子雷管生

产厂家因产品防水性能不佳的困扰,减少或消除了人工处理不良品的安全隐患,同时提高了生产效率和产品质量;对爆破作业的用户而言,提升了电子雷管在含水炮孔的爆破效果,降低了电子雷管因半爆和拒爆带来的安全隐患,减少了二次爆破造成的经济损失,提高了自身的使用体验。

电子雷管防水性能制约着爆破作业使用效果,未来还需要探索影响电子雷管防水性能的其他因素,如卡印数量、线卡、脚线与注塑塞材质的粘合力等,以进一步提高电子雷管的质量可靠性,推动民爆行业高质量发展。

## 参考文献:

- [1] 刘庆,张程娇,郝亚飞,等.数码电子雷管在某露天矿爆破中的应用[J].工程爆破,2019,25(2):67-72.
- [2] 傅洪贤,沈周,赵勇,等.隧道电子雷管爆破降振技术试验研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(3):597-603.
- [3] 周浩仓.电子雷管在异型楼房拆除爆破中的应用[J].工程爆破,2019,25(6):44-50.
- [4] 阮喜清,饶帝军,史秀志,等.地下矿山电子雷管应用存在的问题及应对措施[J].采矿技术,2020,20(6):86-89.
- [5] 刘庆,陈文基,李宏兵,等.抗弯折脚线及抗弯折防水型电子雷管:中国,202221186910[P].2022-05-18.
- [6] 姚方明,蒙煌辉,戴金横,等.一种数码电子雷管防水接头及其使用方法:中国,202110603477.9[P].2021-05-31.
- [7] 宋磊,杨飞,宋春江.一种电子雷管防水装置:中国,202021990380.5[P].2020-09-11.
- [8] 周朝海,王松.一种工业数码电子雷管脚线防水装置及使用方法:中国,202111607733.8[P].2021-12-27.
- [9] 杨祖一.工业雷管群发卡口机头:中国,200920158188.7[P].2010-03-31.