

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.03.009

# 遥控导爆管起爆系统的设计与应用<sup>\*</sup>

刘  庆<sup>①②</sup>  周桂松<sup>①</sup>  杜华善<sup>①</sup>  郝亚飞<sup>①</sup>  李俊杰<sup>①</sup>

①中国葛洲坝集团易普力股份有限公司(重庆,401121)

②武汉工程大学电气信息学院(湖北武汉,430205)

[摘  要]  利用 PIC 单片机与高可靠性的扩频无线控制技术,设计出包括无线遥控器、电子起爆器及配套电容式击发针的遥控导爆管起爆系统。现场试验结果表明,击发能量稳定性高,无线遥控起爆距离大于 400 m。遥控起爆系统的应用不仅解决了现有导爆管起爆方式中存在的击发起爆可靠性差和导爆管消耗量大等问题,还丰富与优化了导爆管起爆系统,极大地增强了现场操作的便捷性以及起爆的安全性和可靠性,达到了节能减排和降本增效的效果。

[关键词]  PIC 单片机;无线控制技术;遥控导爆管起爆系统;电容式击发针

[分类号]  TD235.2<sup>+</sup>2

## Design and Application of a Remote Detonation Tube Initiation System

LIU Qing<sup>①②</sup>, ZHOU Guisong<sup>①</sup>, DU Huashan<sup>①</sup>, HAO Yafei<sup>①</sup>, LI Junjie<sup>①</sup>

①Explosive Co., Ltd., China Gezhouba Group (Chongqing, 401121)

②School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology (Hubei Wuhan, 430205)

[ABSTRACT]  A remote detonation tube initiation system consisting of remote controller, electronic initiator and a new type of capacitive firing needle was designed using PIC microcontroller and high reliable spread spectrum wireless control technology. Test results show that the firing energy value has high stability, and the initiation distance of wireless remote control is greater than 400 meters. The system could not only solve the initiation mode problems in existing shock-conducting tubes such as poor initiating reliability and large consumption of shock-conducting tubes, but also enrich and optimize the shock-conducting tube initiation system, accordingly, contributing to the great enhancement of the convenience of site operation and blasting safety and reliability, and achieving the energy conservation, emissions reduction and cost decreasing and benefit increasing effect.

[KEYWORDS]  PIC microcontroller; wireless control technology; a novel detonation tube initiation system; condenser-type firing pin

## 引言

随着导爆管雷管的广泛应用,其爆破网路起爆的安全性、可靠性和经济性变得尤为重要。目前,国内最常用的导爆管雷管及网路起爆方式为高能脉冲击发起爆,爆破主线用电导线或导爆管<sup>[1]</sup>。从爆破现场实际的需求和安全性考虑,在爆破施工中会采用长的电导线引爆方式,而长电导线因电阻大会造成击发能量损失,直接影响了爆破网路起爆的安全可靠性,此外也会延长工时;特别是在大规模的矿山爆破中,需远离爆破现场几千米,如何在保证起爆安

全和稳定的同时,减少电导线长度也成为一个问题。因此,有必要研发新型导爆管起爆系统,进一步推进爆破服务。

本文中,设计了一种遥控导爆管起爆系统,涉及到遥控器、电子起爆器和电容式击发针的设计;并对遥控电子起爆器进行现场试验,检验其安全性和可靠性。

## 1  导爆管起爆系统的现状

高脉冲式导爆管起爆系统由高脉冲起爆器、起

<sup>\*</sup> 收稿日期:2019-02-25  
第一作者:刘庆(1990 - ),男,工程师,主要从事起爆器材相关技术与应用的研究。E-mail:liuq@expl.cn

爆主线、击发针和导爆管雷管组成。国内各厂家的高脉冲起爆器虽然名称不一,但原理大致相同,利用击发针尖端放电,实现导爆管高脉冲击发传爆。在爆破施工中,高脉冲起爆器和操作人员在一起,与导爆管雷管分立两端;起爆主线由电导线、击发针和导爆管连接而成。由于中深孔台阶爆破安全距离要求至少为 200 m<sup>[2]</sup>,实际施工中考虑地形影响和安全要求,安全起爆距离一般大于 300 m。所以,通常选用 300 m 以上导爆管,或选用 300 m 以上电导线作为爆破主线。如图 1 所示。

这两种爆破主线连接方式各有特点。前者使用较长的导爆管连接,可以保证起爆效果稳定,但需消耗比较长的导爆管,增加了起爆成本和劳动量;后者使用较长的电导线连接,虽减少了导爆管用量,但受

技术限制,必须使用电阻小的铜线,同时,击发能量在长距离传输过程中有损失,在施工时容易出现多次放电却无法起爆的现象,降低了起爆可靠性,增加了起爆安全风险和劳动量。

## 2 遥控导爆管起爆系统的模块及功能

针对现有导爆管起爆方式中存在的问题,研制的遥控导爆管起爆系统模块如图 2 所示<sup>[3]</sup>,制作设计及功能要求如表 1。

该系统主要由遥控器、电子起爆器、电容式击发针和导爆管雷管组成,具备本地有线控制操作与无线遥控控制操作功能。此系统的设计不仅可以通过有线的方式有效控制电容式击发针电路,完成远距

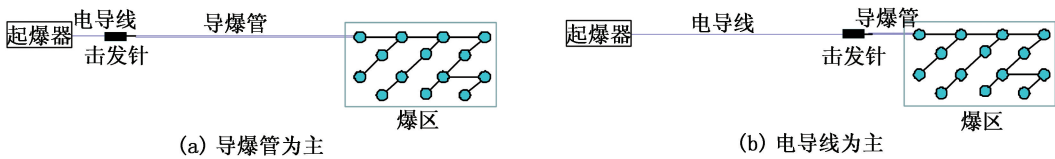


图 1 两种爆破主线连接方式  
Fig. 1 Two connecting types of initiation truckline

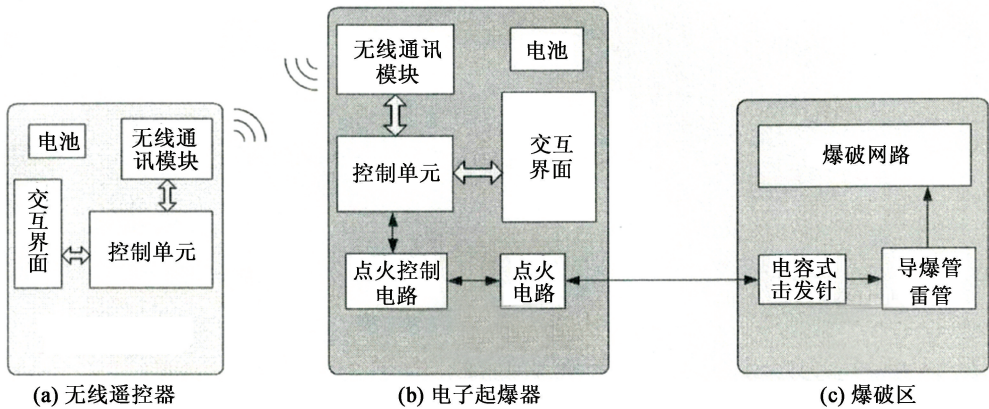


图 2 遥控导爆管起爆模块  
Fig. 2 A sketch map of new type shock-conducting tube system

表 1 遥控导爆管起爆系统设计及功能

Tab. 1 Design functions and requirements

模块	制作设计	功能要求
无线控制	制作基于扩频技术的无线数据收发系统	在无线通信距离内满足爆破安全规程要求
数据采集	采集电压参数	指令执行、对应显示灯亮
控制电路	制作单片机控制模块	闭环控制
装置外壳	制作 ABS 塑料外壳	便携式
电容式击发针	内置电路结构,定制加工制作击发针	满足导爆管可靠击发

离的起爆操作;同时,与遥控器配合使用,可实现远程无线起爆功能。

3 遥控导爆管起爆系统的设计

3.1 遥控电子起爆器

为了可以智能化控制整个起爆过程,遥控电子起爆器采用 PIC 系单片机作为核心控制单元,4 个 8 段数码管作为显示部分,构成了系统最核心的控制及显示单元<sup>[4]</sup>。系统具有回路通断状态检测和击发能量检测的功能;通过闭环控制,可以保证击发能量在额定范围内才进入起爆阶段;通过电源管理电路,系统电源部分采用可充聚合物锂电池,实现高效可靠供电;内置无线控制模块,实现无线起爆功能。通过系统授权登入、状态检测、信号处理与显示和安全连锁等功能设计,保证操作人员、设备及整个起爆过程的安全性和可靠性<sup>[5]</sup>。

3.2 无线控制技术

露天矿山中存在各种射频及电磁干扰,若使用无线控制起爆技术,其可靠性尤为重要。因此,遥控器与遥控电子起爆器之间为双向无线控制通信,资源统一调配;采用先进的扩频技术,传输距离与穿透能力比传统频移键控(FSK, frequency-shift keying)提升 1 倍以上,使用前向纠错算法(FEC, forward error correction)和加密计算,能主动纠正被干扰的数据包,使通讯距离更远,抗干扰能力更强<sup>[6]</sup>,无线控制的可靠性更高。

同时,在操作方面,结合现场人员操作习惯,遥控电子起爆器与遥控器设置为三键式起爆操作和多重指令确认功能,实现安全连锁,极大地增强了现场无线控制起爆的安全性和可靠性。

3.3 电容式击发针

电容式击发针内置控制电路、泄能电路和击发电路,与遥控电子起爆器配套使用。遥控电子起爆器通过检测、匹配,然后控制电容式击发针二次升压击发,有效地提高了起爆的发火可靠性。

4 遥控导爆管起爆系统的可靠性测试

遥控导爆管起爆系统能否在露天矿山爆破中得以应用,其击发的可靠性与无线控制的可靠性最为关键。

4.1 击发可靠性

普通击发针属于尖端放电,当击发电压迅速升高到合理范围时,击发针两极之间的空气将被击穿,产生火花放电,从而激发导爆管,起爆爆破网路。一定的放电温度和放电时间,决定了放电瞬间的功率大小,亦决定了电火花形成冲击波的强弱,这也是导爆管可靠击发的关键因素<sup>[7]</sup>。

为研究遥控起爆系统击发导爆管的可靠性,根据爆破主线的规格、结构尺寸及导体直流电阻<sup>[8]</sup>,将现有高脉冲起爆器与普通击发针、遥控电子起爆器与电容式击发针在不同规格的爆破主线上进行击发导爆管试验,数据见表 2。

试验结果表明:选择高脉冲起爆器与电阻相对较小的细铜起爆线时,线长 300 m 比 200 m 时的击发成功率要低。在一定放电时间内,系统电阻越大,电流衰减越快<sup>[9]</sup>,所以击发能量损失相对较大,造成起爆不可靠和拒爆。因此在同等情况下,高脉冲起爆器如果选择细铁起爆线,起爆将更加不可靠。在遥控电子起爆器和电容式击发针起爆时,系统采用起爆电容二次升压控制方式,有效地避免了中间能量损失,保证了起爆的击发能量和发火率。

4.2 无线起爆可靠性

4.2.1 不同地形环境下无线信号的可靠性

遥控电子起爆器与遥控器之间无线信号的传播形式主要有点对点和非点对点两种方式,为了检测露天矿山不同地形环境下无线信号的可靠性,选择了几种露天矿山常见地形(图 3),对遥控起爆系统的无线发射信号与接收信号进行测试,并采用激发导爆管方式验证起爆的可靠性,测试结果见表 3。

结果表明,无线控制技术可应用于多种露天矿

表 2 遥控电子起爆器与现有高脉冲起爆器击发导爆管对比  
Tab. 2 Comparison with shock-conducting tube ignited by existing high pulse initiator

起爆器	起爆线		米电阻/ ( $\Omega \cdot \text{m}^{-1}$ )	击发针	距离/ m	总电阻/ $\Omega$	击发 1 m 导爆 管次数	击发成 功率/%
	材质	直径/mm						
高脉冲 起爆器	细铜	0.45	0.119	普通	200	47.6	200	84
					300	71.4	200	62
遥控电子 起爆器	细铁	0.52	0.600	电容式	300	360.0	200	100
					1 000	1 200.0	200	100



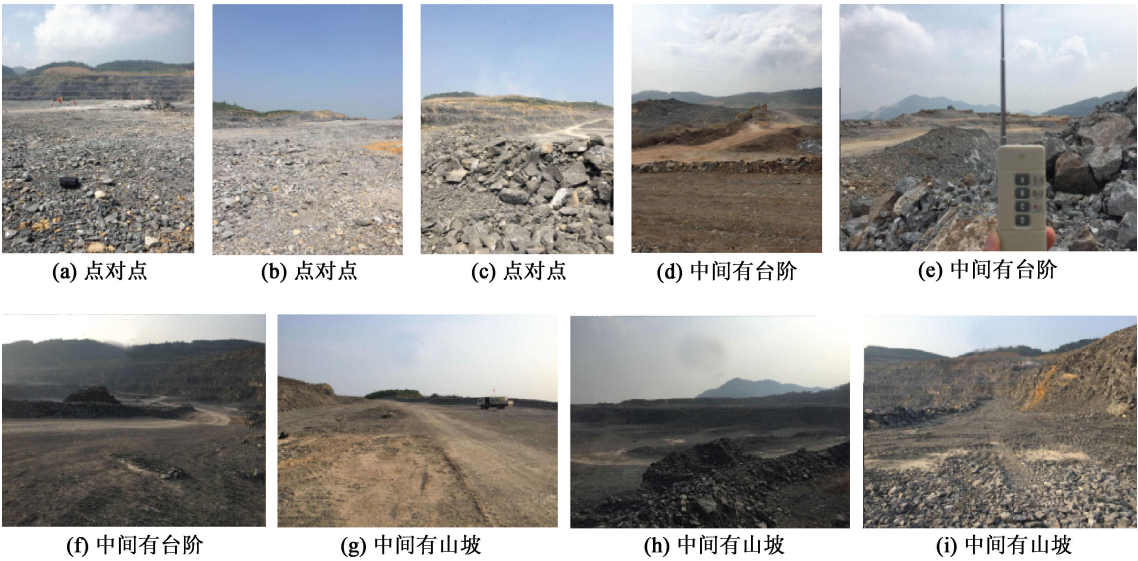


图 3 不同露天矿山地形下无线起爆可靠性的测试

Fig. 3 Detection of the reliability of wireless initiation in different open-pit mines

表 3 不同矿山地形条件下无线信号发射与接收情况

Tab. 3 Radio signal transmitting and receiving in different mine terrain conditions

地理环境	无线距离/ m	充电信号	充电完成信号	起爆信号	起爆情况
(a)点对点	300	✓	✓	✓	✓
(b)点对点	600	✓	✓	✓	✓
(c)点对点	1 000	✓	✓	✓	✓
(d)中间有台阶	200	✓	✓	✓	✓
(e)中间有台阶	400	✓	✓	✓	✓
(f)中间有台阶	600	✓	✓	✓	✓
(g)中间有山坡	200	✓	✓	✓	✓
(h)中间有山坡	400	✓	✓	✓	✓
(i)中间有山坡	600	✓	✓	✓	✓

山地形环境,其中,点对点有效控制距离约 1 000 m,非点对点有效控制距离约 600 m。

4.2.2 不同干扰因素条件下无线信号的可靠性

采用手机和对讲机对遥控导爆管起爆系统的无线通信进行干扰,按爆破安全规程要求设定无线起爆距离为 400 m,结果如表 4 所示。

试验结果表明,手机信号对无线信号基本无干扰;而遥控器附近对讲机的发射信号对无线信号干扰较大,当这种类型的干扰存在时,会影响遥控器接收不到回传信号,但不影响其发送指令。因此,在使用无线控制起爆时,需保持遥控器周围对讲机处于不通话状态。

5 现场应用

2018 年,在重庆某露天石灰石矿山爆破中,进

行了多次遥控导爆管起爆系统应用试验,遥控电子起爆器击发能量设计为 1 500 V,通过遥控器、遥控电子起爆器和电容式击发针配合使用,分别对起爆距离为 200、300 m 和 500 m 的导爆管起爆系统进行了无线控制起爆测试,并记录击发能量和导爆管击发情况,具体如表 5。现场应用中,系统稳定可靠,击发能量足够,导爆管遥控起爆安全、高效。

6 结论

通过多次工程应用试验验证,遥控导爆管起爆系统能远程、可靠地起爆导爆管爆破网路,可以在露天爆破中进行推广使用,主要有以下优点:

遥控导爆管起爆系统功能丰富,同时具备远程有线和无线可靠起爆功能,在有线起爆方式中,爆破主线可为铁质电导线,取材方便;在无线起爆方式

表 4 不同干扰因素条件下无线信号的可靠性  
Tab. 4 Effects of different interference factors on wireless signals

模拟干扰因素	操作指令	无线遥控器 指示灯	遥控电子起爆器	
			工作状态	击发状态
手机开机	准爆 + 起爆	红灯,红灯一闪一闪	红-绿灯	正常
对讲机打开,不通话	准爆 + 起爆	红灯,红灯一闪一闪	红-绿灯	正常
对讲机打开,通话	准爆	红灯,后续无反应	红-绿灯	—
对讲机打开,通话	准爆 + 起爆	红灯,后续无反应	红-绿灯	正常

表 5 无线起爆击发能量测试  
Tab. 5 Wireless initiation energy test

遥控距离 /m		击发能量/V					测试结果
200	1 450;	1 460;	1 490;	1 470;	1 450;	1 490	正常起爆
300	1 480;	1 486;	1 478;	1 476;	1 450;	1 469;	正常起爆
	1 473;	1 484;	1 475;	1 483;	1 480;	1 478	
500	1 480;	1 478;	1 489;	1 490;	1 495;	1 485;	正常起爆
	1 475;	1 478;	1 470;	1 480;	1 476;	1 490	

中,不需现场敷、收线,操作便捷、节省劳动力;同时,系统能满足不同爆破安全距离要求,稳定可靠,更加智能化和安全。

参 考 文 献

[1] 李和太,刘国庆. 导爆管击发器的试验及应用[C]//第十三届中国石灰石白云石矿业年会暨交流大会论文集. 2009.

[2] 国家安全生产监督管理局. 爆破安全规程:GB6722—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.

State Administration of Work Safety. Safety regulations for blasting:GB6722—2014[S]. Beijing:Standards Press of China, 2014-03-16.

[3] 刘庆,王滔,彭送斌,等. 一种无线起爆导爆管雷管爆破网路装置:CN207113734U[P]. 2018-03-16.

[4] 张毅刚. 单片机原理及应用[M]. 北京:高等教育出版社,2010.

[5] 刘庆,陈文基,陈姗姗. 远程电子起爆器:CN106052495A[P]. 2017-08-25.

[6] 曾一凡,李晖. 扩频通信原理[M]. 北京:机械工业出

版社,2005.

[7] 刘大斌,杨栋,蒋荣光,等. 导爆管起爆器瞬态电火花温度的光谱法测定[J]. 光谱学与光谱分析,2002,22(4):670-672.

LIU D B, YANG D, JIANG R G, et al. Spectroscopic determination of the dynamic electrical spark temperature of nonel tube igniter[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2002,22(4):670-672.

[8] 中国电器工业协会. 电雷管引爆用聚氯乙烯绝缘电线:GB/T 18014—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

China Electrical Equipment Industrial Association. PVC insulated wire for ignition of electric detonators:GB/T 18014—2008[S]. Beijing:Standards Press of China, 2008.

[9] 韩克华,任西,周密,等. 高压脉冲电容器性能参数优选实验方法研究[J]. 爆破器材, 2011, 40(3):22-25.

HAN K H, REN X, ZHOU M, et al. Study on the characteristics parameters optimization experiment with measurement method for high voltage pulsed power capacitor[J]. Explosive Materials,2011, 40(3):22-25.