

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.02.009

PHED-1 型电子雷管在露天深孔爆破中的应用^{*}

张万斌^① 李玉景^① 张 华^② 张宝亮^① 滕昭威^① 王付景^① 倪吉伦^①

①贵州开源爆破工程有限公司(贵州贵阳,551400)

②贵州省公安厅治安警察总队(贵州贵阳,550000)

[摘 要] 以瓮福磷矿下属的穿岩洞矿为例,详细介绍了 PHED-1 型电子雷管在露天深孔爆破中的应用情况。经过近两年的使用,该电子雷管在瓮福磷矿所属的各矿山累计使用量达 4 万多发,使用炸药 2 000 多 t,单次起爆的雷管数量最多达到 800 多发;爆破效果良好,且未发生任何安全事故。通过将 PHED-1 型电子雷管与我国早期的电子雷管相比较,分析了 PHED-1 型电子雷管在改善爆破效果、减轻爆破振动、提高施工安全性、做好公共安全监管等方面具有的独特优势。PHED-1 型电子雷管的以上优势和成功的应用案例,说明该电子雷管在露天深孔爆破中具有好的应用前景。

[关键词] PHED-1 型电子雷管;露天深孔爆破;矿山爆破

[分类号] TQ565⁺2

Application of PHED-1 Electronic Detonator in Open-pit Deep Hole Blasting

ZHANG Wanbin^①, LI Yujing^①, ZHANG Hua^②, ZHANG Baoliang^①, TENG Zhaowei^①, WANG Fuming^①, NI Jilun^①

①Guizhou Kaiyuan Blasting Engineering Co., Ltd. (Guizhou Guiyang, 551400)

②Public Security Police Corps, Guizhou Provincial Public Security Department (Guizhou Guiyang, 550000)

[ABSTRACT] The application of PHED-1 electronic detonator in open-pit deep hole blasting of the underground rock tunnel of Wengfu Phosphate Mine was introduced. After nearly two years of use, the accumulative use of the electronic detonator in the mines of Wengfu Phosphate Mine reached more than 40,000 rounds, and more than 2,000 tons of explosive was consumed. The number of detonators in a single detonation was up to more than 800. Its blasting effect was proven good, and no accident was recorded. By comparing PHED-1 electronic detonator with the early electronic detonator in China, the unique advantages of PHED-1 type electronic detonator in improving blasting effect, reducing blasting vibration, improving construction safety, and performing superiorly in public safety supervision were analyzed. The above advantages and successful application cases of PHED-1 electronic detonator indicate that the electronic detonator has a good application prospect in open-pit deep hole blasting.

[KEYWORDS] PHED-1 electronic detonator; open-pit deep hole blasting; mine blasting

引言

电子雷管,又称数码电子雷管、数码雷管或工业数码电子雷管,即采用电子控制模块对起爆过程进行控制的电雷管。电子雷管的研发始于 20 世纪 80 年代,当时诸如澳大利亚 Orica 公司、南非 AEL 公司、瑞典 Dynamit Nobel 公司等世界著名制造商和企业都研制开发出了新型电子雷管^[1]。我国从 1985 年开始研制电子延期超高精度雷管,1988 年完成

了我国第一代电子雷管^[2]。2006 年,我国在长江三峡围堰拆除爆破工程中第一次将电子雷管应用到工程爆破中^[3-5]。此后,电子雷管在我国逐步发展,2009 年,德兴铜矿采用隆芯 1 号数码电子雷管,在德兴铜矿铜矿采区和富家坞采区成功进行了多次爆破作业,标志着具有我国自主知识产权的电子雷管在露天矿爆破应用中取得了圆满成功^[6]。研究和应用实践表明,使用电子雷管可以降低爆破振动,在隧道爆破、城镇爆破中有明显优势^[7-9]。2015 年,赵根等将电子雷管应用于岩塞爆破中,有效地控制了

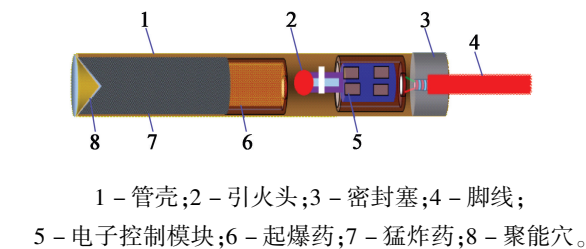
^{*} 收稿日期:2018-08-09
第一作者:张万斌(1982 -),男,硕士,初级爆破工程师,主要从事露天深孔爆破。E-mail:21143596@qq.com
通信作者:李玉景(1975 -),男,高级爆破工程师,主要从事工程爆破方向工作与研究。E-mail:312997137@qq.com

爆破的有害效应^[10]。

1 PHED-1 型电子雷管及其起爆系统

目前,每个厂家生产的电子雷管需要与自己生产的起爆系统配套使用。早期的电子雷管起爆系统有 Orica 公司的 I-konTM、AEL 公司的 DigiShotTM、北京邦杰的隆芯 1 号起爆系统等。近年来,电子雷管在国内迅速发展,并形成了一些自主研发的电子雷管起爆系统,如 JL 系统^[11]、CHDL-I 系统^[12]、SF-A 系统^[13]、PHED-1 系统等。

PHED-1 型电子雷管的核心组件是数码电子雷管模组,采用自主设计的专用芯片,具有计时电路和储能元件,当接收到起爆指令后,能够独立工作并按设定的延期时间引爆雷管。PHED-1 型电子雷管的结构如图 1 所示,该电子雷管延时范围可以在 0 ~ 16 000 ms 内设置任意整数毫秒。PHED-1 型电子雷管的起爆系统由电子雷管、母线(两根铜芯绝缘导线)和起爆器组成。所有雷管全部并联在母线上,母线再与起爆器连接,起爆系统的示意图见图 2。



1 - 管壳;2 - 引火头;3 - 密封塞;4 - 脚线;
5 - 电子控制模块;6 - 起爆药;7 - 猛炸药;8 - 聚能穴。

图 1 PHED-1 型电子雷管结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of PHED-1
electronic detonator

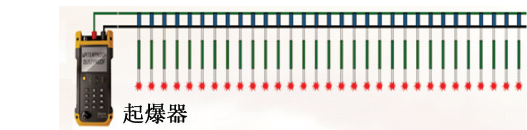


图 2 PHED-1 型电子雷管起爆系统示意图
Fig. 2 Schematic diagram of initiation
system of PHED-1 electronic detonator

该起爆系统可以在雷管起爆完成后,自动获取雷管的有关信息(如雷管编码、起爆时间、起爆点经纬度、登记的项目名称与施工单位名称),并将其上传至网上监管平台。

2 爆破应用

矿山爆破是工程爆破中的一个重要部分。在大

型露天矿山,一般都采用深孔爆破来实现覆岩的松动爆破。穿岩洞矿位于贵州省瓮安县,是隶属于瓮福磷矿公司的一座超大型露天磷矿山。从 2016 年开始,该矿山使用 PHED-1 型电子雷管作为爆破起爆器材。本文中,以一次具体的爆破工程为例,介绍 PHED-1 型电子雷管在该矿山的使用情况。

2.1 穿孔与装药参数

本次爆破为覆岩剥离爆破,使用的炸药为现场混装铵油炸药,使用起爆具作为中继起爆器材,用于制作起爆药包。设计炮孔总数 234 个,装药总量约 50 t,主要的穿孔与装药参数如表 1 所示。

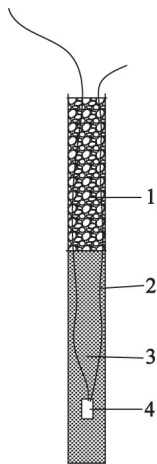
表 1 爆破参数

Tab. 1 Blasting parameters

台阶高度/m	底盘抵抗线/m	倾角/(°)	超深/m	孔深/m	单耗/(kg·m ⁻³)
12	6.5	90	1.5	13.5	0.38
孔距/m	排距/m	装药长度/m	堵塞长度/m	单孔装药/kg	
7	6	5.5	8	215	

2.2 装药结构与起爆网路

采用柱状连续耦合装药,用 2 发雷管与一个起爆具制作起爆药包,起爆药包置于炮孔靠近底部的地方,装药结构如图 3 所示。



1 - 堵塞部分;2 - 雷管脚线;
3 - 铵油炸药;4 - 起爆药包。

图 3 装药结构图

Fig. 3 Charge diagram

电子雷管起爆网路不需要地表管,网路延时全部由孔内管设置,时间设置灵活,试用过的延时网路有以下几组:孔间 43 ms,排间 61 ms;孔间 45 ms,排间 70 ms;孔间 71 ms,排间 113 ms;等等。本次爆破延时网路采用孔间 71 ms,排间 184 ms,如图 4 所示。图 4 中,圆圈表示炮孔,旁边的数字表示该炮孔

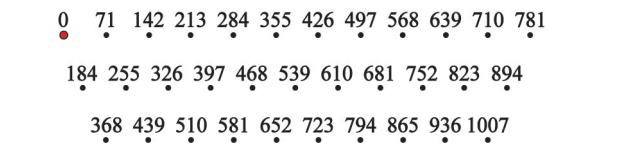


图4 网络延时示意图(单位:ms)

Fig.4 Network delay diagram (unit:ms)

的延期时间。延期时间设置在雷管注册时完成。

2.3 施工流程

施工流程如图5所示。雷管入孔后先注册,给雷管赋延期时间,待装药、填塞完成后,即可进行网路连接,只需要将所有雷管用一条母线(主线)连接起来,再将母线拉到起爆点即可,如图6所示。在起爆点将母线与起爆器进行连接,警戒完成后,即可进行组网检测。如果在雷管注册过程中,有雷管漏注册,或者在网路连接中,有雷管漏连,在组网检测中均会发现。组网检测成功后,即可进行充电起爆。起爆成功后,用起爆器将起爆信息上传至网上信息系统,便于公安部门对雷管流向信息的监管。

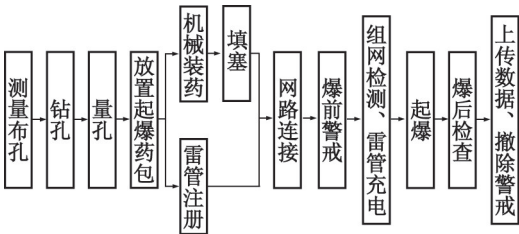
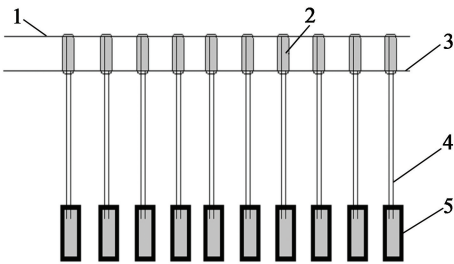


图5 施工流程图

Fig.5 Construction flow diagram



1-接起爆器;2-连接卡口;3-网路主线;
4-雷管脚线;5-电子雷管。

图6 电子雷管网路连接示意图

Fig.6 Schematic diagram of electronic
detonator network connection

在施工中,有以下注意事项:

1)雷管注册时,要防止漏注册,同时还要注意延期时间的设置要与设计的一致。为了防止出现这两个问题,可以一边注册,一边用纸条写上已经注册的雷管的信息(包括该雷管注册在第几排、第几个孔、延期时间是多少等),然后将纸条放置在炮孔的

旁边。

2)控制单台起爆器带载的雷管数量。单台起爆器可带载的雷管数量在300发左右。但是当爆区水孔较多时,应适当减少单台起爆器带载的雷管数量,如果需要起爆的雷管数量较多,可以用多台起爆器级联模式。

3)如果使用机械装药,要防止装药车辆碾压损坏雷管脚线。

4)用起爆器上传雷管数据时,要确保起爆器内的网卡有足够的费用,如果欠费,则数据上传无法完成。上传数据时尽量将起爆器放置于空旷的地方,不要在室内、车内上传,否则可能因为信号不好而上传失败。

3 效果与分析

本次爆破取得圆满成功,无盲炮、无飞石、无大块,爆破效果良好,见图7。爆破中,实际装药炮孔234个,使用起爆具234发,电子雷管468发,铵油炸药49.75 t,完成爆破方量约12万m³。



(a)近距离



(b)远距离

图7 爆后效果图

Fig.7 Outcome after explosion

3.1 PHED-1型电子雷管的优越性

与我国早期的电子雷管相比较,PHED-1型电子雷管及其起爆系统主要有以下6个创新点:

1)雷管采用双电容设计,一个是工作电容,另

一个是起爆电容。检测、注册时采用工作电容供电,供电电压为 6 V,低于雷管的起爆发火电压,确保施工中的安全;起爆时由起爆电容供电,供电电压 12 V,保证起爆能量。

2)采用 4 级防护设计,起爆电路设有充电开关、放电开关、起爆开关和充电限流电路,保证非正常情况下不误爆,保障人员安全。

3)设有温度自校准电路,保证 $-40 \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内延时精度。

4)设计了微电流桥丝通断测试电路,保证生产检测过程中不发火、不误爆。

5)设有干扰防护电路,有效消除杂散电流、静电等干扰,保证在生产作业环节不误爆,在隧道、矿山等复杂环境下电子雷管稳定、可靠地起爆。

6)该雷管所配置的起爆系统,具有自动获取雷管信息并上传的功能。这可以让公安部门在雷管的流向管理中,实现闭环管理,具体流程如下:爆破作业单位申请使用雷管→公安部门审批→雷管出库(出库时登记雷管数量及编码)→雷管在工地被起爆→雷管起爆信息被上传至网上信息系统。上传至网上的信息包含项目名称、施工单位名称、雷管编码、起爆时间、起爆点经纬度、起爆状态(正常或异常)等。信息上传后,系统会自动将收到的信息与雷管出库时的信息进行比对,一旦发现异常,系统就会自动预警,严重时系统会自动锁闭。比如,在一起爆破施工中,雷管出库时登记的数量为 100 发,而在起爆完成后,上传至网上的信息中只有 99 发雷管的信息,则系统就会立即出现预警。

3.2 存在的问题

虽然 PHED-1 型电子雷管在试用中总体表现优异,但是仍然存在一些不足,需要进一步改进。

1)单台起爆器的起爆能力需要提高。目前,单台起爆器最多可以起爆的雷管数量在 300 发左右,如果一次需要起爆更多的雷管,就需要使用多台起爆器级联的模式,给施工带来不便。对于大多数的市政、公路等工程爆破,一次起爆的雷管数量都少于 300 发,但是对于一些大型露天矿山,一次起爆的雷管数量会超过 300 发。因此,需要开发出具有更大能力的起爆器,以更好地满足大型露天矿山的爆破需求。

2)探索更加合理的延时网路。不同的延时网路对于爆破效果、振动控制都有一定的影响,而电子雷管的延期时间可以任意设置,这为不断优化延时网路提供了可能。因此,今后需要不断探索更加合理的延时网路,达到改善爆破效果、降低炸药单耗、

减小爆破振动的目的。

4 结语

PHED-1 型电子雷管及其起爆系统,既具有传统电子雷管的优点,如可检测性、延时设置灵活等,又有很多创新,如采用双电容设计、起爆系统具有自动获取雷管信息并上传的功能等。这些优点使得它在改善爆破效果、减轻爆破振动、提高施工安全性、做好公共安全监管等方面具有独特的优势。

近两年时间累计使用 PHED-1 型电子雷管近 4 万发,使用炸药 2 000 多 t,爆破效果良好。单次起爆的雷管数量,最多的一次达到 800 多发。使用期间没有出现任何安全事故,获得了业主方和公安部门的高度认可。PHED-1 型电子雷管在瓮福磷矿的成功应用,说明该雷管在露天深孔爆破中具有较好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 刘谦. 诺兰达公司利用电子雷管进行地下矿山的大型卸压爆破[J]. 工程爆破, 2002, 8(1): 50-52.
LIU Q. A large-scale underground distress mass blast with electronic detonators carried out in Noranda's brunswick mine[J]. Engineering Blasting, 2002, 8(1): 50-52.
- [2] 李晓虎, 尚亿军, 王威, 等. 电子雷管起爆法的安全技术探讨[J]. 工程爆破, 2011, 17(2): 70-72, 42.
LI X H, SHANG Y J, WANG W, et al. Discussion on the security technology of electronic detonator initiation [J]. Engineering Blasting, 2011, 17(2): 70-72, 42.
- [3] 颜景龙. 中国电子雷管技术与应用[J]. 中国工程科学, 2015(1): 36-41.
YAN J L. Technology and application of Chinese electronic detonator [J]. Engineering Sciences, 2015(1): 36-41.
- [4] 赵根, 张正宇, 吴新霞, 等. 三峡工程三期上游 RCC 围堰拆除爆破设计与实施[J]. 湖北水力发电, 2006(3): 21-25.
ZHAO G, ZHANG Z Y, WU X X, et al. Design & implementation of blasting operation for dismantling III-phase upstream RCC cofferdam of TGP [J]. Hubei Water Power, 2006(3): 21-25.
- [5] 赵根, 吴新霞, 陈敦科, 等. 数码雷管起爆系统在三峡三期碾压混凝土围堰拆除爆破中的应用[J]. 工程爆破, 2007, 13(4): 72-75.

[5] BLANKENHAGEL P, WEHRSTEDT K D, MISHRA K B. et al. Thermal radiation assessment of fireballs using infrared camera[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2018,54:246-253.

[6] Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)[Z]. 6th Rev ed. 2015.

[7] WILRICH C, BRANDES E, MICHAEL-SCHULZ H, et al. UN-GHS-Physical hazard classifications of chemicals: A critical review of combinations of hazard classes[J]. Journal of Chemical Health and Safety, 2017,24(6): 15-28.

肖秋平^① Wim Mak^② Marcus Malow^③ Klaus-Dieter Wehrstedt^③
①上海化工研究院有限公司
②荷兰应用科学研究所
③德国联邦材料研究所

(上接第 50 页)

ZHAO G, WU X X, CHEN D K, et al. Application of digital detonators energy control system to blasting demolition of TGP's III-Phase upstream RCC cofferdam [J]. Engineering Blasting, 2007,13(4): 72-75.

[6] 张乐, 颜景龙, 李凤国, 等. 隆芯 1 号数码电子雷管在露天采矿中的应用[J]. 工程爆破, 2010,16(4): 73-76.

ZHANG L, YAN J L, LI F G, et al. Application of No. 1 digital electronic detonator in an open pit mining [J]. Engineering Blasting, 2010,16(4): 73-76.

[7] 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.

FU H X, SHEN Z, ZHAO Y, et al. Experimental study of decreasing vibration technology of tunnel blasting with digital detonator[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012,31(3): 597-603.

[8] 田振农, 孟祥栋, 王国欣. 城区隧道电子雷管起爆错相减震机理分析[J]. 振动与冲击, 2012, 31(21): 108-111.

TIAN Z N, MENG X D, WANG G X. Mechanism analysis of fault-phase vibration reduction for tunnel blasting initiated by electronic detonators in city area[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012,31(21): 108-111.

[9] 张力. 数码电子雷管的发展及应用研究[J]. 采矿技术, 2014(5): 68-69, 165.

[10] 赵根, 吴新霞, 周先平, 等. 电子雷管起爆系统及其在岩塞爆破中的应用[J]. 爆破, 2015, 32(3): 91-94, 149.

ZHAO G, WU X X, ZHOU X P, et al. Electronic detonator initiation system and application in rock plug blasting [J]. Blasting, 2015,32(3): 91-94, 149.

[11] 陈辉峻. 电子雷管起爆系统研究[J]. 煤矿爆破, 2012(2): 8-11.

CHEN H J. Research on initiation system of electronic detonator [J]. Coal Mine Blasting, 2012(2): 8-11.

[12] 蔡国成, 陈俊杰, 李创新, 等. 电子雷管在露天矿山施工中的应用[J]. 现代矿业, 2013,29(8): 143-144.

[13] 杨岳阳. 电子雷管远程起爆系统在铜坑矿的应用[J]. 采矿技术, 2017,17(2): 88-90.