

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2021.03.010

某型电子雷管在隧道控制爆破中的应用^{*}

周慈亮 汤有富 郑 琪 严宜豪 夏 峯 李劲松
浙江物产光华民爆器材有限公司(浙江衢州,324400)

[摘 要] 分析了电子雷管的概念、主要功能及在隧道控制爆破中的优势。以新建某工程顾山隧道为例,详细介绍了某型电子雷管在隧道控制爆破中的应用。在隧道控制爆破工程中,采用该电子雷管可以明显改善破碎块度、增加抛掷距离、减少爆破振动、降低爆破噪音、有效地降低爆破单耗、减少钻孔数量、提高爆破作业的安全性、简化起爆网路的施工操作程序。提供了一份具体的爆破施工案例数据,以此来推广电子雷管在爆破工程中的应用。

[关键词] 电子雷管;隧道控制爆破;微电子技术

[分类号] TQ565⁺.2;TD235.2⁺2;TJ45⁺2

Application of an Electronic Detonator in Tunnel Controlled Blasting

ZHOU Ciliang, TANG Youfu, ZHENG Qi, YAN Yihao, XIA Yin, LI Jinsong
Zhejiang Products Guanghua Civil Explosive Equipment Co., Ltd. (Zhejiang Quzhou, 324400)

[ABSTRACT] Concept, main functions and advantages of electronic detonator used in tunnel controlled blasting were analyzed. Taking Gushan Tunnel as an example, the application of a certain type of electronic detonator in tunnel controlled blasting is introduced in detail. The use of electronic detonators in tunnel controlled blasting engineering can obviously improve the fragmentation, increase the throwing distance, reduce the blasting vibration and blasting noise. It can also effectively reduce the blasting single consumption and the number of boreholes, improve the safety of blasting operations, and simplify the construction operation of the blasting network. A concrete example material of blasting construction was provided, so as to improve the application of electronic detonator technology in blasting engineering.

[KEYWORDS] digital electronic detonator; tunnel controlled blasting; microelectronics technology

引言

电子雷管是 20 世纪 80 年代初出现的一种精确毫秒延期雷管,即采用电子控制模块对起爆过程进行控制的电雷管^[1]。

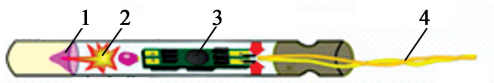
隧道控制爆破^[2-8]中,使用雷管数量较多。但一般爆破区域,特别是地铁隧道爆破施工区域,离城区较近。因此,对爆破振动及爆破作业的安全性要求较高,必须优化掏槽方案,确保减振和进尺双效益。

1 某型电子雷管的结构、芯片工作原理及其起爆系统

1.1 结构

电子雷管的核心部件是电子控制模块,采用微

电子技术、加密技术等实现延时、通信、加密、控制等功能,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。某型电子雷管的具体结构如图 1 和图 2 所示。



1 – 起爆药;2 – 点火药;3 – 电子控制模块;4 – 脚线。

图 1 某型电子雷管结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of an electronic detonator

1.2 芯片工作原理

电子雷管采用供电线和通信线复合使用的方式。为提高电子雷管的使用可靠性,保证在爆破过程中,当供电线路由于某种原因出现故障时,仍能按设定的延期时间完成爆破操作,采用储能电容 C_1 和

^{*} 收稿日期:2020-04-30
第一作者:周慈亮(1993 -),男,助理工程师,主要从事火工品技术的研究。E-mail:1669655478@qq.com
通信作者:汤有富(1991 -),男,硕士研究生,工程师,主要从事爆破技术及电子雷管的研究。E-mail:184682601@qq.com

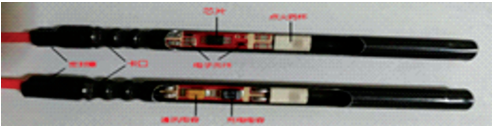


图 2 某型电子雷管内部芯片正、反两面实物图
Fig. 2 Picture of front and back sides of the internal chip of an electronic detonator

和 C_2 分别储存和控制芯片工作及点火药头所需的能量。为提高电子雷管的抗干扰(静电、射频、杂散电流干扰等)能力,提高电子雷管的安全性,采用电子开关 K_1 控制对起爆能(电能)的充电,使其只有在起爆准备(连接、检测、延期时间设定等)完成后,才处于待起爆状态。在达到延期时间后,电子开关 K_3 工作,把 C_2 的储能释放到点火药上,从而完成电子雷管的起爆工作。在紧急情况下,需要终止爆破操作时,由电子开关 K_2 接通,把 C_2 的储能释放。电子雷管芯片控制原理示意图见图 3。

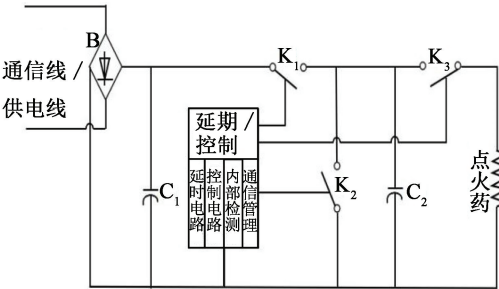


图 3 芯片控制原理示意图
Fig. 3 Schematic diagram of chip control principle

整流电桥 B: 用来实现脚线和爆破母线的无极性连接;

开关 K_1 : 控制对电容 C_2 的充电, 充电前, K_1 为打开状态;

开关 K_2 : 对电容 C_2 安全保护, 非充电时, 开关 K_2 闭合, 短路保护, 确保电容无法充电;

开关 K_3 : 点火开关, 把电容 C_2 的能量释放到点火药上, 从而引爆雷管;

电容 C_1 : 存放芯片工作的能量, 确保雷管可靠起爆;

电容 C_2 : 存放雷管的点火能量, 确保点火可靠。

1.3 起爆系统

该电子雷管的起爆系统主要包括起爆器、爆破母线和爆破管理 APP。考虑生产厂家检验的方便性, 有专门的蓝牙密钥代替爆破管理 APP, 简化操作步骤。在雷管起爆完成后, 起爆系统自动上传雷管的相关信息(雷管编码、芯片 UID 码、起爆时间、起爆点经纬度、爆破员、作业任务、使用的起爆器的编

号及雷管使用状态等), 并将其上传至民爆信息系统网络服务平台。

起爆系统示意图如图 4。

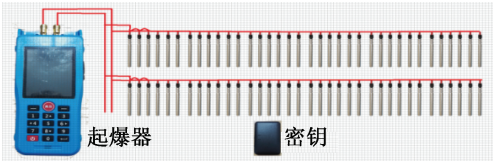


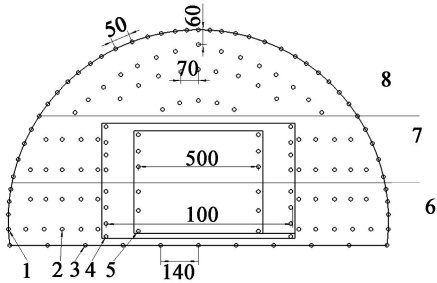
图 4 起爆系统示意图
Fig. 4 Schematic diagram of detonating system

2 爆破应用

顾山隧道位于浙江省绍兴市上虞区长塘镇境内, 进口端里程为 DK33 + 72, 出口端里程为 DK37 + 179, 全长 4 107 m。以其中一次具体的爆破工程为例, 详细介绍某型电子雷管在该隧道中的实际应用情况。

2.1 布孔和爆破参数

采用掏槽爆破、光面爆破和毫秒爆破组合的爆破方法, 使用的炸药为乳化炸药。布孔示意图如图 5 所示。



- 1 - 周边孔; 2 - 辅助孔; 3 - 底孔; 4 - 二级掏槽孔;
- 5 - 一级掏槽孔; 6 - 钻孔台车三架平台;
- 7 - 钻孔台车二架平台; 8 - 钻孔台车一架平台。

图 5 布孔示意图(单位: cm)
Fig. 5 Diagram of blast hole layout (Unit: cm)

为方便现场施工人员操作, 对雷管进行分组。每组电子雷管用记号笔写上段别。以往导爆管雷管是按照段别分发入孔, 现在线卡子上按照每组雷管注册顺序写上段别, 前期使用阶段工人较容易掌握, 不容易出错, 大大节省了施工时间。爆破参数如表 1 所示。

设计炮孔总数 183 个, 单耗 0.85 kg/cm^3 , 最大单响药量 48.00 kg, 起爆药量为 263.80 kg。周边孔间隔装药, 实际装药量根据岩石状况做适当优化, 实际总起爆药量为 255.60 kg。

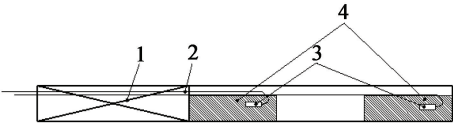
表 1 爆破参数
Tab. 1 Blasting parameters

起爆顺序	炮孔名称	炮孔个数	炮孔深度/ m	单孔装药量/ kg	总药量/ kg	延期时间/ ms	虚拟 段别	钻孔角度/(°)
1 [#]	一级掏槽孔	10	3.0	2.00	20.00	0	1	45
2 [#]	二级掏槽孔	14	4.0	3.00	42.00	75	3	60
3 [#]	一级辅助孔	10	4.0	2.60	26.00	125	5	70/90
4 [#]	二级辅助孔	8	3.8	2.20	17.60	175	7	80/90
5 [#]	三级辅助孔	12	3.5	2.20	26.40	225	9	85/90
6 [#]	四级辅助孔	15	3.5	2.20	33.00	275	11	90
7 [#]	五级辅助孔	20	3.5	2.20	44.00	335	13	90
8 [#]	周边孔	80	3.5	0.60	24.00	395	15	90
9 [#]	底板孔	10	3.5	2.20	22.00	495	17	90
10 [#]	角孔	4	3.5	2.20	8.80	545	19	90
总计		183			263.80			

2.2 装药结构与起爆网路

单孔装药一般采用连续柱状装药方式,每孔双发雷管起爆,两发雷管延期时间一致,起爆药包分别装在药柱底部 1/3 和 2/3 处。

周边孔不耦合装药结构见图 6。

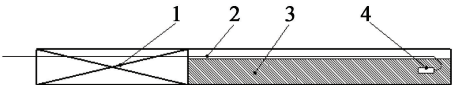


1 - 堵塞部分;2 - 雷管脚线;3 - 电子雷管;4 - 乳化炸药。

图 6 不耦合装药结构

Fig. 6 Uncoupled charge structure

掏槽孔、辅助孔、底板孔及角孔采用连续装药结构,具体结构如图 7。



1 - 堵塞部分;2 - 雷管脚线;3 - 乳化炸药;4 - 电子雷管。

图 7 连续装药结构

Fig. 7 Continuous charge structure

2.3 施工流程及注意事项

2.3.1 施工流程

在钻孔工作时进行雷管分组注册,标好段别。并按照设计方案给雷管赋延期时间。待钻孔完成后,进行装药、填塞,然后进行组网连接,用一条母线将所有雷管连接起来后进行组网检测。组网检测只是检测雷管与起爆器的通信功能,电流不经过桥丝;因此,可以在爆破区域检测,方便及时排查问题。再将母线拉到起爆站,进行网路检测。网路检测会有微电流经过桥丝,有一定的风险性;因此,必须要在

起爆站进行。警戒完成才可开始起爆流程,进行起爆。起爆完成后,爆破管理 APP 会将起爆信息上传至民爆信息系统网络服务平台。

施工流程如图 8 所示。

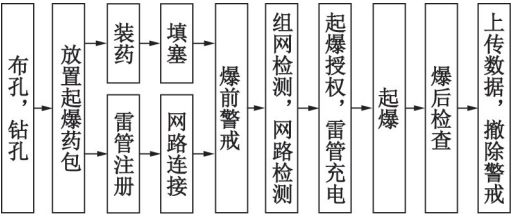


图 8 施工流程

Fig. 8 Construction process

2.3.2 施工注意事项

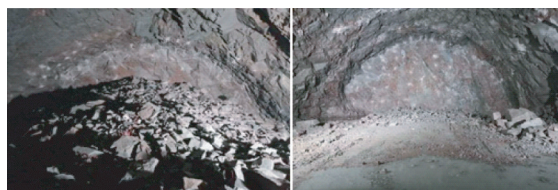
- 1)单台某型起爆器带载雷管数量最多为 400 发,如果雷管数量比较多,可以采用多台起爆器级联模式。
- 2)电子雷管起爆模式有在线和离线模式。在线模式需要在网络比较好的情况下进行,起爆后自动上传雷管信息;离线模式是在有网络的情况下下载雷管编码,然后在无网络的情况下起爆,起爆后需要手动上传雷管信息。因此,每次爆破前需要确定起爆站是否有网络,以便选择相应的起爆模式。
- 3)电子雷管在注册、施工过程、组网检测和网路检测时发现有问題而不能起爆时,应当拍照取证,形成书面材料,如实向省级平台登记和向当地公安机关报告。因电子雷管每发都有唯一的身份信息,起爆后如果雷管信息没有上传,则会导致该发雷管的流向没有形成闭环,不能再继续申请起爆密钥。
- 4)雷管网路连接时要防止漏接或短路。雷管漏接时,起爆器会显示几号孔没有连接,容易排查问题。网路如果短路,一般情况下用二分法分区域排

查短路的线路,但此方法操作过程复杂,费时费力;因此,可以使用爆破电桥在雷管网路连接时连接爆破母线,及时发现和排查短路问题。

3 效果与分析

本次爆破效果非常理想。无盲炮,无大块,振动小,爆堆集中,掘进距离长,爆后作业面平整。为下次爆破布孔及钻孔提供了方便。

爆后效果如图 9 所示。



(a) 出渣前

(b) 出渣后

图 9 爆破后效果

Fig. 9 Outcomes after blasting

隧道中使用电子雷管的优势:

1) 起爆前可进行组网检测及网路检测,避免因漏连或雷管装药过程损坏而导致的盲炮,组网安全可靠。

2) 采用微差爆破干扰减振技术,可使每次爆破最大振速降低 70%。

3) 采用全断面的爆破方式进行掘进开挖,较使用导爆管雷管的分部开挖施工效率提高数倍,方便后续喷锚、支护、铲装、运输,从而降低综合成本,提高综合效益。

4) 用高能起爆器 2 200 V 高压连接雷管起爆,雷管内部芯片会损坏从而导致雷管不起爆。该电子雷管能抗高压、消除杂散电流和静电等干扰,保证在隧道、地下矿等复杂环境下安全、稳定、可靠地起爆。

5) 雷管内部芯片采用双钽电容(通信电容及充电电容)设计。通信电容用于雷管注册、检测;充电电容用于雷管最后起爆时放电。能保证施工安全。

4 结论

某型电子雷管从 2019 年到目前为止在某省内已使用近百万发。使用期间未出现任何安全事故,具有操作便捷、延期时间可任意设置、抗外界干扰能

力强、爆破效果良好、减振降噪等优点,得到了广大施工方及公安部门的认可。某型电子雷管在顾山隧道控制爆破中的成功应用,说明该电子雷管在隧道爆破中具有良好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 费晓蕾. 电子雷管中的“中国芯”[J]. 华东科技, 2020(2): 49-51.
- [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.
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.
- [3] 田仁永. 数码电子雷管在高速公路隧道爆破中的应用[J]. 工程技术研究, 2019, 4(16): 136-137.
- [4] 王占强, 李唐军, 郑建林, 等. 数码电子雷管在公路浅埋隧道减振爆破中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017(36): 131-133.
- [5] 陈义东, 王金国, 陈度军, 等. 地铁隧道电子雷管爆破降振技术及爆破参数优化[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(27): 298-302.
CHEN Y D, WANG J G, CHEN D J, et al. Study of decreasing blasting vibration technology with digital detonator and parameters optimization in metro tunnel [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(27): 298-302.
- [6] 郭华杰, 袁绍国. 电子雷管在地铁隧道爆破降振中的应用[J]. 工程爆破, 2016, 22(1): 56-60.
GUO H J, YUAN S G. Application of electronic detonator reducing the vibration in subway tunnel blasting [J]. Engineering Blasting, 2016, 22(1): 56-60.
- [7] 程贵海, 王毅, 覃翔. 数码电子雷管在爆破工程中的应用与展望[J]. 化工矿物与加工, 2020, 49(7): 19-22.
CHENG G H, WANG Y, QIN X. Application and prospect of digital electronic detonator in blasting engineering [J]. Industrial Minerals and Processing, 2020, 49(7): 19-22.
- [8] 李志荣. 数码电子雷管在铁路隧道掘进爆破中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2012(8): 64-66, 80.
LI Z R. Application of digital electronic detonator in the blasting construction of rail tunneling [J]. Railway Construction Technology, 2012(8): 64-66, 80.