

文章编号: 1003-1480 (2003) 04-0035-04

几种典型电子雷管简介

刘星¹, 徐栋¹, 颜景龙²

(1. 北京理工大学, 北京 100081; 2. 中国兵器工业系统总体部, 北京 100089)

摘 要: 介绍了近年来国外电子雷管技术方面所取得的进展, 分析了电子雷管的基本原理, 并初步探讨了电子雷管的安全性和可靠性。基于电子雷管相对于传统雷管的技术优势, 指出电子雷管是雷管行业未来发展的机遇。

关键词: 电子雷管; 延期时间; 安全性

中图分类号: TJ450

文献标识码: A

The Oversea Development of Electronic Detonator

LIU Xing¹, XU Dong¹, YAN Jing-long²

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081; 2. North China System Engineering Institute, Beijing 100089)

Abstract: The oversea development in the field of electronic detonator in recent year was introduced in this paper. Its basic principle was analyzed, furthermore, its reliability and safety was preliminarily discussed. Based on technological advantage of electronic detonator above traditional detonator, the conclusion that electronic detonator is a future opportunity in detonator industry was acquired.

Key words: Electronic detonator; Delay time; Safety

电子雷管利用可以精确定时的电子元件取代了电雷管中的延期药, 并在此基础上添加了一些提高使用方便灵活性的现场编程功能、提高雷管可靠性的在线检测功能和防静电、防射频等安全保护措施。电子雷管的延期发火时间, 由其内部的微电子芯片控制, 目前, 延时控制误差已经达到 0.1ms 数量级, 并随着微电子技术水平的提高, 有望进一步提高其控制精度。

电子雷管的研究工作于 20 世纪 80 年代初开始, 到 20 世纪 80 年代末期电子雷管产品开始进入起爆器材市场, 但总体上仍处于技术与产品研究开发和应用试验阶段。在 20 世纪 90 年代电子雷管及其起爆系统取得了快速的发展, 电子雷管技术正逐步趋于成熟和爆破工程实用化阶段。

1 电子雷管的基本原理

电子雷管的起爆能力与传统延期药雷管相同, 可以把它看作由传统瞬发雷管、外挂电子控制电路构成。图 1 是电子雷管的基本控制原理图, 为保持同传统电子雷管接线方式的一致性, 电子雷管通常采用供电线和通信线复用的方式; 为提高电子雷管的使用可靠性, 保证在爆破过程中, 供电线路由于某种原因出现故障的情况下, 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 C_2 分别储存控制芯片工作、点火头点火所需的能量; 为提高电子雷管的抗干扰(静电、射频、杂散电流等)能力, 提高电子雷管的安全性, 采用电子开关 K_3 控制对起爆储能电能的充电, 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

收稿日期: 2003-09-08

作者简介: 刘星(1969-), 男, 在读博士研究生, 研究方向为电子雷管的相关控制技术。

态；在紧急情况下，需要终止爆破操作时，由电子开关 K_2 把 C_2 所储存的能量快速释放；在延期时间到达后，电子开关 K_1 控制把 C_2 的储能释放到电点火头上，从而完成电子雷管的起爆工作；延期/控制电路进行电子雷管起爆所需各项工作的协调管理，是电子雷管的核心控制部分。由于各公司对电子雷管的认识上的差异性，以及采取的技术手段的不同，生产的电子雷管各不相同，但其延期和控制的功能是雷管的基本功能，其它功能（如内部检测和通信管理功能）是附加的。如 Orica 的 I-KonTM 和 AEL 的 Smart Det 雷管为了对电子雷管在线操作，均在电子雷管内部增加了通信管理电路，而且 I-KonTM 雷管增加了用于提高雷管可靠性的内部电路的 BIT (Built-In Test) 功能，而 AEL 的 EletroDet 雷管，考虑到市场的承受能力，其控制电路仅完成延期和简单的控制功能，相应也极大地降低了成本。

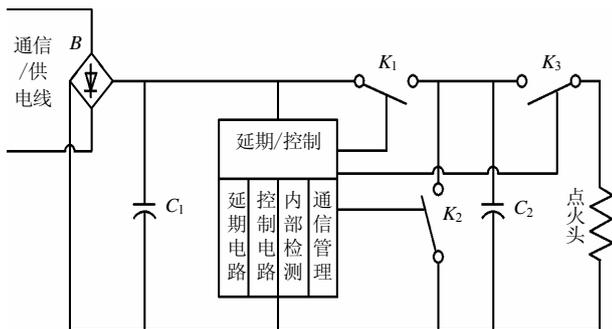


图1 电子雷管的基本原理

2 典型电子雷管介绍

2.1 日本旭化成工业公司的电子雷管

日本旭化成工业公司耗费 10 年时间，于 20 世纪 80 年代研制成一种新型的精密延期雷管（简称 PDD），是当今电子雷管的雏形，其结构如图 2 所示。它可在 1~8 000ms 范围内以 1ms 间隔设定起爆延期时间，延期误差在 $\pm 0.2\text{ms}$ 之内。它是在瞬发电子雷管的基础上，外挂延期控制电路，其最大外径 17mm，全长 110mm，塑料管壳，齐发爆破 200 个雷管，PDD 的抗静电性能达到 9kV、2 000pF，耐冲击 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。

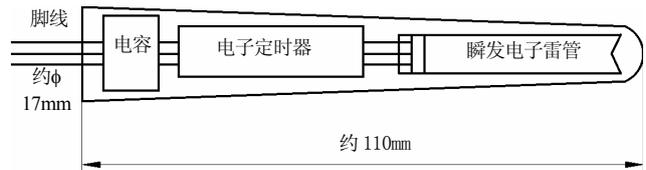
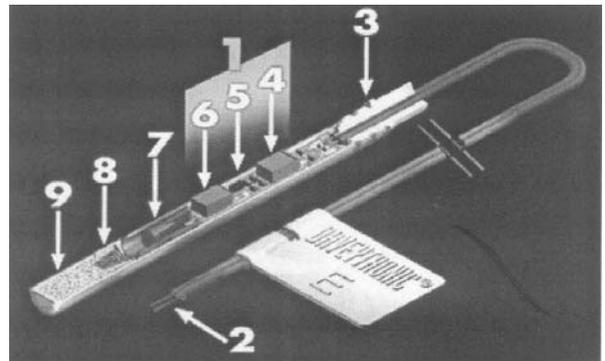


图2 旭化成工业公司的电子雷管

2.2 Daveytronic 电子雷管

法国 Davey Bickford 公司于 1999 年推出 Daveytronic 电子雷管（如图 3 所示），随后法国政府批准 Daveytronic 在没有易燃矿坑气体和粉尘爆炸危险的爆破工程中应用。Daveytronic 电子雷管采用双线供电/通信方式，可在 1~4 000ms 内以毫秒间隔在线编程，借助 Master-Slave 控制，最大可同时起爆 3 000 个电子雷管，外形尺寸统一为长 3.42in（8.67cm），直径 0.3in（0.76cm）；对与雷管配套使用的起爆控制系统，采用 PCMCIA 卡授权控制方式，以避免雷管的非法使用。爆破实践表明：使用 Daveytronic 电子雷管可以使爆破振动降低 48%，爆破的粉碎效果提高 20%~35%，爆破后的采掘和粉碎成本降低 10%~15%，单次爆破的效益提高 45%~50%。



注：1 为 LED 集成电路板；2 为雷管双引线；3 为接线插头；4 为逻辑电容；5 为 ASIC 处理程序；6 为发火电容；7 为点火头；8 为第一装药；9 为第二装药。

图3 Daveytronic 电子雷管

2.3 I-KonTM 电子雷管

I-KonTM 电子雷管实际是德国 Dynatronic 电子雷管的第二代产品。在市场上推出 Dynatronic 雷管 8 年以后，Dynamit Nobel 公司和 Orica 公司联合开发了 I-KonTM 电子雷管及其起爆系统。2001 年 2 月，

Orica 公司完成对德国 Dynamit Nobel 公司的电子雷管及其相关技术的收购。

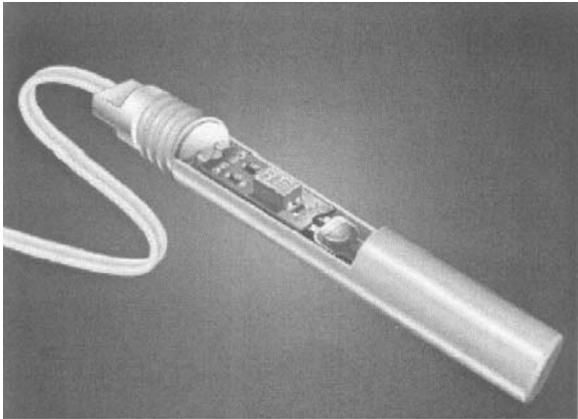


图 4 I-Kon™ 电子雷管

I-Kon™ 电子雷管如图 4 所示, 其延期时间可从 0~8 000ms 以 1ms 为间隔现场在线编程设定, 延期时间精度为 $\pm 0.1\text{ms}$, 外形尺寸为统一的 $\Phi 7.3\text{mm} \times 93\text{mm}$ 。雷管设计中具备静电保护、射频保护、过电压保护功能, 借用 Blaster 和 Logger 可同时起爆 1 600 个雷管。雷管内部具备 BIT 功能, 可在发火前, 在线对雷管内部电子电路、储能以及点火头的连接情况进行检测, 具备很高的起爆可靠性; 并在其配套使用的起爆系统安装硬件密码锁, 只有打开密码锁, 才能使用起爆器起爆雷管。目前 Orica 公司正致力在非洲和欧洲推广 I-Kon™ 电子雷管。

3 电子雷管的安全可靠性

3.1 延期时间精度的可靠性分析

电子雷管的用户普遍关心的仍然是其安全可靠性。就雷管点火头的安全可靠性来说, 传统延期雷管的点火过程如下:

点火 $\xrightarrow{t_1}$ 点火能传递 $\xrightarrow{t_2}$ 引燃延期药
 \longrightarrow 延期药稳定燃烧 (t_3) $\xrightarrow{t_4}$ 装药爆炸

因此, 其延期时间 (t) 可按下式计算:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (1)$$

(1) 式所列延期时间中, 对于常规的起爆药而言由于起爆药在极短的时间内可达到稳定的爆轰, 又在极端的时间内引爆猛炸药, 故 t_4 一般只有

几十微秒, t_1 、 t_2 的作用时间也在毫秒量级, 其偏差一般不大于 1ms, 因此影响雷管安全可靠性的最重要因素是延期药稳定燃烧的时间 (t_3) 精度, 而延期药本身受制作工艺、气室大小、配方、均匀性、燃烧的温度和湿度等因素影响, 其延期精度通常从几到几十个毫秒不等, 而且具有较大的分散性。

对电子雷管而言, 其点火过程如下:

点火 $\xrightarrow{t_1}$ 电子延期 (t_3) $\xrightarrow{t_2}$ 点火能传递
 $\xrightarrow{t_4}$ 装药爆炸

其点火时间构成同延期药雷管相同, 虽然雷管的使用环境 (温度、爆炸冲击等) 和成本方面的因素, 制约了电子延期电路精度的提高, 但现有电子雷管的电子延期精度仍达到了不大于 0.1ms 的量级。

3.2 电子雷管的安全性

延期药属于易燃易爆化工品, 它本身会对雷管的安全性产生一定的影响。对于电点火器, 其点火引线从点火头直接引到雷管壳体外, 起到了天线的的作用, 极易把外界干扰产生的危险直接引到点火头, 从而给雷管的安全性产生影响。而电子雷管采用了电子器件特有的安全性设计 (电子隔离、BIT), 雷管的安全可靠性得到了尽可能的保障。此外在雷管制造过程中, 每发雷管的元器件都经过超过实际应用环境的严格筛选, 并且对电子雷管进行各种试验, 例如 I-Kon™ 电子雷管经过了 600VAC、50VDC、3kV 静电的试验考核。

电子雷管安全性的另一个重要的体现, 在于其独特的起爆系统设计, 电子雷管的起爆系统除了电子雷管以外, 还包括编程器 (Logger) 和起爆器 (Blaster) 两部分, 编程器的工作电压和输出电流很小, 即使传统的电雷管直接连接到编程器, 也不会引爆雷管, 以此确保在爆破网路布置和爆破前的测试检验过程中的安全性。由于电子雷管只有接收到一个特定的数字代码, 才能够开始雷管的起爆操作, 但只有起爆器才能产生该数据代码。而 Logger 无论在何种情况下, 也不会生成该起爆代码, 而且通常 Blaster 常用 PCMCIA 卡、硬件密码锁等授权形式, 只有具备授权密码的人才能开启 Blaster, 有效预防了电子雷管的非法使用。因此电子雷管起爆的前提条件是: 首先能够是雷管的开关处于正确的待起爆状态, 然后能够产生起爆专用数字代码。假设杂散电流等干扰使电子开关 K_1 、 K_2 、 K_3 处于待起爆状态的概率为 P_1 、 P_2 、 P_3 , 产生点火头所需能量

的概率为 P_4 ，使电子雷管接收到一位数字信号的概率为 P_5 ，对数字代码为 n 位的电子雷管，干扰使电子雷管起爆的概率 P 为：

$$P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5^n \quad (2)$$

而传统延期雷管干扰使雷管起爆的概率为 P_4 。经计算，杂散电流误触发 I-Kon™ 电子雷管的概率约为 $1/16 \times 10^{-12}$ ，因此其安全性远高于延期药雷管。

4 电子雷管技术发展与应用展望

电子雷管技术经过近 20 年的不断发展与完善，目前基本技术已经成熟，正处于产品的推广阶段和应用试验阶段。目前 Orica 等走在电子雷管技术前沿的公司，已将研究重点转向配合爆破设计人员，进行具体的大规模爆破试验，以获得电子雷管相关的实际爆破数据，建立电子雷管的爆破数据库和模型，进行同电子雷管相关的爆破软件设计，简化电子雷管的应用，从而为电子雷管开拓市场。

电子雷管相对于传统电雷管和非电雷管的技术优越性，在全球爆破界得到了越来越多的共识。特别是随着微电子技术成本的降低，电子雷管的价格在逐渐下降，工业化国家劳动力成本的不断上升，使其生产应用已从早期的稀有、贵重矿物开发领域扩大到普通的矿山和采石场。电子雷管发火时间的精确性和使用的灵活性，为爆破界实现起爆模型最优化设计，最大限度地获取爆破振动控制效益与破碎效益的改善，提供了前所未有的手段，使爆破向可预测方向发展，为进一步研究爆破理论，完善爆破模型提供了试验手段。

虽然电子雷管已经实现商业化应用，但要全面取代电和非电起爆系统，特别是在非工业化国家，还有两大问题亟待解决：（1）电子起爆系统的组网能力还有限，其齐发爆破雷管个数不大于数千枚，不能满足大规模爆破作业的大型起爆网络需

要，对电子雷管的组网方式和手段还需进一步完善；（2）电子雷管的成本还偏高，与电雷管和非电雷管比较，电子雷管的价格一般为普通雷管的 10 倍左右。但电子雷管所具备的巨大优越性和社会效益，随着市场的扩大，劳动力成本的增加，电子雷管价格的持续降低，电子雷管取代传统雷管、占据雷管市场的主要份额是必然趋势。

参考文献：

- [1] 程普生等. 国外民用爆破器材与技术的现状与发展 [R]. 国防科技情报研究报告. BQB2002-0421. 210 所, 2002.
- [2] 汪旭光等. 国际工程爆破技术发展现状 [J]. 工程爆破, 1998, 12, (4): 4.
- [3] 汪旭光等. 略析第六届国际爆破破岩学术会议 [J]. 工程爆破, 2000, 6, (6): 2.
- [4] 汪旭光等. 爆破器材与工程爆破新进展 [J]. 中国工程科学, 2002, 4, (4): 4.
- [5] 三脊阳一, 左藤岳 (日), 安旭东译. 使用电子延发雷管降低爆破振动 [J]. 国外金属矿山, 1995, (5).
- [6] 刘谦. 诺兰达公司利用电子雷管进行地下矿山的大型预压爆破 [J]. 工程爆破, 2002, 3, (8): 1.
- [7] Kay D. Digital blasting - an opportunity to revolutionise mass underground mining [C]. Proceeding of Mass Min 2000, Brisbane, Old, October 29-November 2, 2000. The Australian Institute of Mining and Metallurgy: 155~161.
- [8] Rolf Koenig. Five years experience with the dynotronic electronic firing system [C]. Proc. of 24th Ann. Confer. On Exp. & Blasting Tech: 359~364.
- [9] GB. Tucker, D.B. Kay. The use of electronic blasting system at the M.I.M George Fisher Mine [J]. Explosives & blasting technique, 2000: 117~122.