

超低能导爆索传爆原理及应用的研究

梅群, 沈兆武, 周听清

(中国科学技术大学力学和机械工程系, 合肥 230026)

[摘要] 系统地研究了超低能导爆索的传爆原理, 结合工程实际需要, 拓宽应用范围的研究, 为深孔土岩爆破的反向起爆提出一种新型的, 安全、可靠、高效的起爆网络。

[关键词] 超低能导爆索; 反向起爆; 炸药压死

[中图分类号] TD235.22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)06-0069-04

1 引言

低成本高安全钝感炸药的发展与应用给大规模的工程建设和矿业均带来明显的经济效益和社会效应, 受到普遍重视并获得推广应用。与此同时深孔爆破中的反向起爆技术的研究和应用已取得了良好的成果。深孔钝感炸药的反向起爆和正向起爆相比, 其优越性表现在: 正向起爆易从上部形成爆破漏斗, 炸药爆轰气体将快速从口部散出, 作用时间短, 对破岩不利; 而反向起爆时, 爆轰首先对底部岩层作用, 形成反向漏斗, 爆轰气体不易释放, 作用时间增长, 从而提高了爆破效率^[1, 2] (图1)。

但深孔中钝感炸药的反向起爆的引爆系统还存在一定的技术问题, 亟待解决。作者就超低能导爆索传爆原理及其在深孔反向起爆中的应用研究提出一种新的技术路线。

2 实验研究

国内导爆索生产与使用现状为: 普通导爆索装药(泰安(PETN)或黑索金(RDX))线密度为12~14 g/m; 低能导爆索线装药量为6~7 g/m; 再低能量的导爆索由于生产工艺和装药结构满足不了要求而不能稳定传爆^[3]。美英等技术发达国家

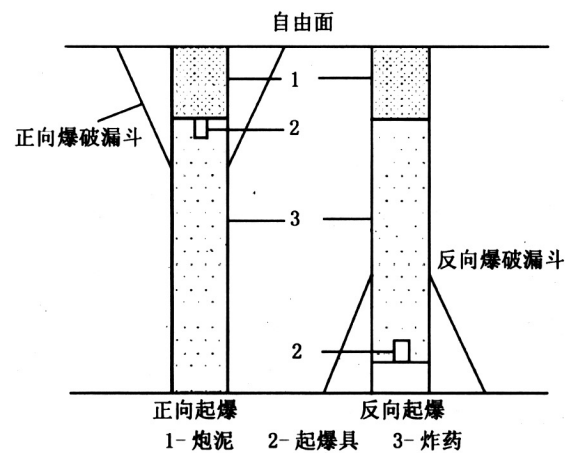


图1 深孔爆破示意图

Fig.1 Sketch map of deep shot holes

能将导爆索的装药线密度降到3.6 g/m, 再低也不能稳定传爆。作者结合工程实际, 改变了导爆索的传统纤维绕制工艺, 使用柔性金属工艺, 加强外壳约束, 降低炸药爆轰临界直径, 在保证稳定爆轰的前提下, 使用钝化黑索金, 可使装药线密度降到1.8~3 g/m (更小的装药线密度实验未做)。图2是装药(RDX)线密度为3 g/m的超低能导爆索的爆轰照片。实验超低能导爆索长0.5 m, 用8号电雷管起爆, 两端为开口端, 没有约束, 炸药爆轰产物与冲击波在端部外形成强大的火光区。中间部

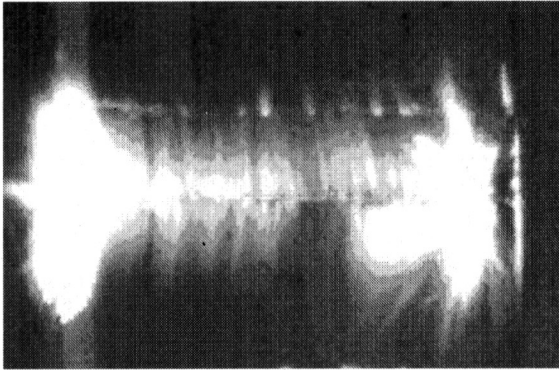


图 2 超低能导爆索的传爆照片

Fig.2 Detonation transmission of the cord

位由于外壳的强约束使得火光较小，保证了小直径 RDX 线装药稳定爆轰。

图 3 与图 2 实验条件相同，只是垂直放入水箱中起爆，用高速 CCD 相机拍摄水中爆炸气泡运动规律（时间间隔 4 ms）。气泡运动的规律基本是轴对称的，证明了超低能导爆索的爆轰是完全的，能量输出是均衡的。

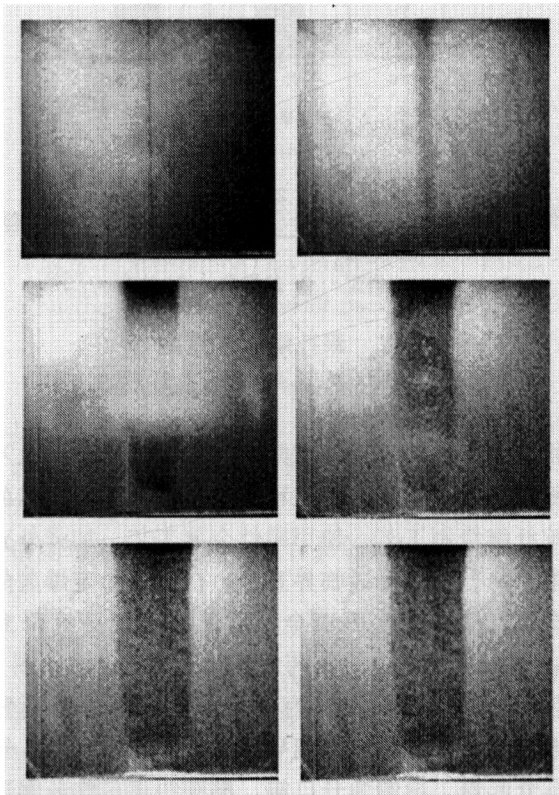


图 3 水中爆炸气泡运动规律

Fig.3 Rules of bubble's movement under explosion in water

图 4 是图 3 的实验回收到的导爆索外壳，在水中并没有被炸得粉碎。由此可以类推在含水量较大乳化炸药或水胶炸药中也将有同样的效果，即超低能导爆索爆轰的能量主要用在维持稳定爆轰上，而对周围介质的破坏是非常有限的，对钝感炸药的损坏和压死范围也是非常有限的。

实验还测定了超低能导爆索（RDX，线密度为 3 g/m）的爆速，平均为 6 960 m/s，和普通导爆索爆速相近，符合国家标准，结果见表 1。

表 1 超低能导爆索爆速测定

Table 1 explosion speed of detonating cord

| 测距/cm | 时间/ μ s | 爆速/ $m \cdot s^{-1}$ | 平均爆速/ $m \cdot s^{-1}$ |
|-------|-------------|----------------------|------------------------|
| 30 | 43.6 | 6 880 | |
| 30 | 43.5 | 6 900 | 6 960 |
| 30 | 42.3 | 7 100 | |

为了模拟炮孔钝化炸药压死效应，选用水的质量分数为 20% 的粘土作为含水炸药相似材料。实验将粘土密实挤压在无缝钢管中。钢管外径约为 126 mm，内径约为 117 mm，高 500 mm。爆源从左到右依次采用超低能导爆索（RDX，线密度为 1.8 g/m）、超低能导爆索（RDX，线密度为 3 g/m）、普通导爆索（PETN，线密度为 14 g/m），用 8 号电雷管起爆。图 5a 为爆前的照片，图 5b 为爆后粘土扩孔的照片。为消除端部自由面效应，扩孔直径是在端口下 100 mm 处量取的，测得的平均值分别为 14 mm，24 mm，50 mm。取 300 mm 作为孔洞的高（除去两端自由面因素），可以算出孔洞体积分别为 46.2 cm³，135.6 cm³ 和 588.7 cm³，体积之比为 1:2.94:12.74。充分说明了超低能导爆索对周围介质的破坏是非常有限的^[4]。炮孔越深，其优越性越能得到体现。

作为实际应用，作者还做了用超低能导爆索起爆具的起爆实验。实验采用山东银光公司出口美国和澳大利亚的起爆具^[5]，它是由 TNT 和 RDX 按质量比 1:1 浇注而成的，如图 6 所示，导爆索预留孔直径为 8 mm。实验分 4 组，如表 2 所示。

每组实验都重复 5 次，结果显示无论是哪一种情况，起爆具都可以起爆。从而证明了超低能导爆索起爆具的起爆性能是非常可靠的。

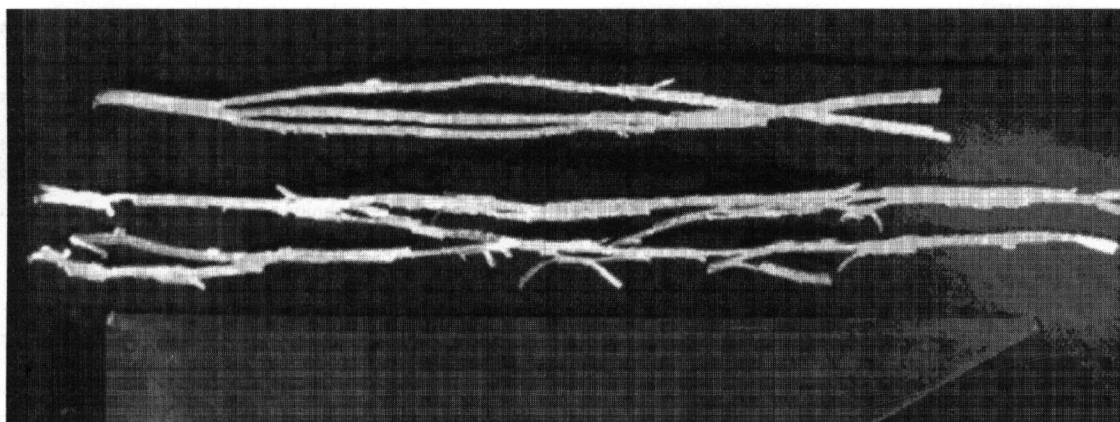


图 4 水中爆炸超低能导爆索的外壳

Fig.4 Shells of the detonating cord after explosion in water

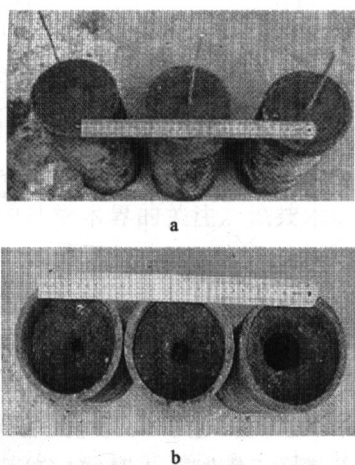


图 5 粘土扩孔相似实验

Fig.5 Semblable experiments of enlarging holes in clay

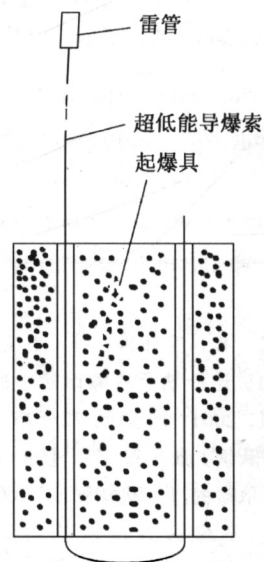


图 6 起爆系统示意图

Fig.6 Sketch map of the priming system

表 2 超低能导爆索起爆起爆具实验表

Table 2 Chart of this cord detonating the priming

| 实验序列 | 实验条件 | 实验次数 | 实验结果 |
|------|---------------------------------------|------|------|
| 第一组 | 超低能导爆索 (RDX, 线密度 3 g/m) | 5 | 全爆 |
| 第二组 | 超低能导爆索 (RDX, 线密度 1.8 g/m) | 5 | 全爆 |
| 第三组 | 超低能导爆索 (RDX, 线密度 1.8 g/m), 用水注满导爆索预留孔 | 5 | 全爆 |
| 第四组 | 超低能导爆索 (RDX, 线密度 1.8 g/m), 用纸填满导爆索预留孔 | 5 | 全爆 |

3 结论

导爆索作为一种重要的起爆器材，在军事和民用等领域有着极为广泛的用途。对于不同的爆破工程，选取合适的起爆器材是非常重要的。作者针对

土岩深孔爆破反向起爆的特定条件，对超低能导爆索进行了系统的实验研究，取得了理想结果，该新型起爆器材与传统的起爆器材相比，具有安全可靠、简单易行、成本低廉的优点。因装药线密度小，对周围钝感炸药破坏小，可提高炸药的能量利

用率,为深孔土岩爆破的反向起爆提出一种新的技术方案。同时爆破噪声小,也可用于城市控制爆破和其它高要求的起爆网路当中。

参考文献

- [1] 张杰. 孔底起爆技术的初步探讨[J]. 有色金属(矿山部分), 2004, 5(1)
- [2] 王永清. 孔底起爆技术国内试用现状及推广前景. 矿业工程, 2003, (5)
- [3] 徐振相. 我国工业起爆器材产品发展现状及发展趋势. 爆破器材, 2003, (5)
- [4] Lee R, Rodgers J. A new detonating cord for reducing unwanted damage in controlled blasting [A]. Proceedings of the Annual Conference on Explosive and Blasting Technique, Berkley: The Ensign Bickford Co. 2001. 167~173
- [5] 聂云端. 低能导爆索专用起爆具的研制. 爆破, 2003, 20(增刊)

The Study on the Detonation Transmission Rules and Application of the Super Low Energy Detonating Cord

Mei Qun, Shen Zhaowu, Zhou Tingqing

(Department of Modern Mechanics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

[Abstract] In this paper, the detonation transmission rules of the super low energy detonating cord was studied. Combining with engineering problems, a new priming net which can be used in the reverse priming in deep rock shot holes is proposed. It's reliable, efficient and safe.

[Key words] super low energy detonating cord; reverse priming; dynamite compression

(上接第 68 页)

- [9] 贺银芝, 沈松, 应怀樵, 等. 小波包分解及其能量谱在发动机连杆轴承故障诊断中的应用[J]. 振动工程学报, 2001, 14 (1): 72~75
- [10] 陈长征, 罗跃纲, 张省, 等. 基于小波分析的机械故障特征提取研究[J]. 机械强度, 2001, 23 (2): 161~164
- [11] 液压泵故障的小波变换诊断方法[J]. 机械工程学报, 2001, 37 (6): 34~37
- [12] 荆双喜, 冷军发. 小波包——神经网络在斜轴泵故障诊断中的应用研究[J]. 振动、测试与诊断, 2000, 20 (2): 97~100
- [13] 于德介, 程军圣. 基于小波变换时的时-能密度分析[J]. 振动工程学报, 2001, 14 (1): 109~112

Study on the Wavelet Packet Transform Method for Fault Diagnosis of Five Roller Orientation Clutch

Hu Binliang¹, Luo Yixin¹, Xie Ming²

(1. Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Shaoyang Institute, Shaoyang, Hunan 422004, China)

[Abstract] The theory and method of wavelet packet decomposition and its energy spectrum dealing with the fault of the overrunning clutch are presented in the paper. The characteristic frequency band of the fault can be identified by wavelet packet decomposition and its energy spectrum conveniently. At the same time, quantification analysis is performed. The result has shown that this method is more advantageous and of practical value than traditional Fourier analysis method.

[Key words] fault diagnosis; wavelet packet; energy spectrum; clutch