

综合技术

基于数码电子雷管的微差爆破对临近隧洞 降振效果研究

A case study of the shock attenuating effect on adjacent tunnels by short delay blasting initiated by digital electronic detonators

李 伟(陕西金诚杰出钼业有限责任公司, 陕西 西安 710000)

摘要:为了解决金堆城东川河引水隧洞上方采场近距离常规爆破中振动较大的问题,确定数码电子雷管合适的孔间和排间微差时间。本次研究在隧洞内部和工作平台同时布置振动监测点,通过对数码电子雷管与高精度导爆管雷管的不同延期时间对比试验,结合振动波形图和测振数据分析,找出了最佳的降振微差时间,从而探索出了一种保证东川河引水隧洞安全运行的减振控制爆破技术。结果表明,数码电子雷管在孔间延期30 ms、排间延期75 ms时,能提高爆破振动频率,有效降低爆破振动强度,相比常规爆破,其爆破减震率为22.7%。试验结果可为金堆城露天矿后期生产爆破减震提供参考。

关键词:爆破振动; 数码电子雷管; 高精度雷管; 振动频率; 减震率; 延期时间

中图分类号: TD235 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)04-0060-05

Abstract:To reduce the great vibration caused by the conventional blasting in the Jinduicheng stopes above the Dongchuan River tunnel, which is quite close to the stopes, digital electronic detonators were adopted and proper hole-to-hole and row-to-row blasting delays needed to be determined. Vibration was measured both inside the tunnel and on the working platform. A test was done comparing the different delays of digital electronic detonators and high precision blasting caps. Through studying the vibration wave profiles and other vibration data, the optimal short delay was determined to minimize the vibration. A blasting method that best controls the blasting vibration is thus found, to ensure the operation safety of the Dongchuan River Tunnel. As the result indicates, when the hole to hole delay is set at 30ms and row-to-row delay at 75 ms, the blasting vibration frequency can be improved, reducing the vibration intensity by 22.7% as compared with the effect by conventional blasting. The test result serves as a good reference for further attenuating the blasting vibration in advanced stages of the Jinduicheng open-pit mine.

Key words:blasting vibration; digital electronic detonator; high-precision blasting cap; vibration frequency; vibration attenuating rate; blasting delay

1 前言

某露天采场以石英岩及板岩层为主,深部以安山玢岩为主,且节理裂隙较为发育,其下部80 m处有长1 000余米的东川河引水隧洞过,该引水隧洞围岩完整性很差,多呈碎块状结构,局部地段呈散体

结构,而且在隧洞施工期间曾出现过塌方、冒顶等现象^[1],围岩的抗振能力差。

在某露天采场工作平台上进行高精度雷管普通爆破作业时,监测数据显示引水隧洞断面处产生较强的爆破振动数值,质点振动峰值已接近水工引水隧洞的安全警戒值^[2]。随着采场进一步向下延伸,采场爆破震源与隧洞之间的距离会进一步接近,最近距离仅约50 m。普通的爆破作业技术已经不能很好地处理该矛盾,因此探索既能保证矿山正常生产,又能保证东川河引水隧洞安全运行的爆破工艺,

[作者简介] 李伟(1984-),男,陕西华州区人,西安建筑科技大学本科学历,采矿工程师,从事采矿管理相关工作。

[引用格式] 李伟. 基于数码电子雷管的微差爆破对临近隧洞降振效果研究[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(4): 60-64.

已成为保证生产运行的当务之急。因此,本文引入数码电子雷管爆破技术,并开展相应研究。

2 数码电子雷管的优势

数码电子雷管具有如下优势:

(1)数码电子雷管采用电子芯片来实现延期时间的控制,延时可以在 $0 \sim 1\ 600\ \text{ms}$ 精确设置,误差小于 $\pm 1\ \text{ms}$,相比高精度导爆管雷管,延期时间范围大幅度增加,且误差不会累加。

(2)爆破方案设计灵活、精细。可在 $0 \sim 1\ 600\ \text{ms}$ 精确设置炮孔的延期时间,不会出现跳段和窜段的现象。

(3)爆破网路中所有延时通过孔内雷管实现,无需地表延时雷管连接,节省雷管费用。

(4)爆破网路通过起爆器检测,理论上任何漏连和网路缺陷都可以提前发现,清晰可靠,进一步提高了现场作业的安全性。

3 工业试验

3.1 爆破参数

某露天采场岩石硬度系数 $f = 8 \sim 12$,深孔爆破台阶高度位 $12\ \text{m}$,炮孔直径为 $250\ \text{mm}$,按三角形布置钻孔,钻孔角度为 90° ,设计孔深为 $13\ \text{m}$,孔距为 $8 \sim 9\ \text{m}$,排距为 $6 \sim 7\ \text{m}$,孔底集中装药量为 $400 \sim 430\ \text{kg/孔}$,堵塞长度为 $6 \sim 7\ \text{m}$,底盘抵抗线为 $7\ \text{m}$,采用炸药混装车装药。

3.2 爆破振动监测方案

1) 测点布置

在隧洞6个断面布置12个点位,在工作平盘和非工作平台上线性布置若干点,采用TC-4850动态测试仪三通道并行进行爆破振动信号的采集^[3]。隧道测点布置如图1所示,露天采场台阶测点布置如图2所示。

2) 传感器的安装

为了能可靠地得到爆破振动或结构动力响应的记录,传感器必须与测点的表面牢固地结合在一起,否则在爆破振动时往往会导致传感器松动、滑动,使信号完全失真。采用石膏来黏接安装。隧洞内传感器被固定在U型铁夹内,U型铁夹锚固在隧洞内壁,如图3所示;平盘上传感器安装在基岩上^[4],如

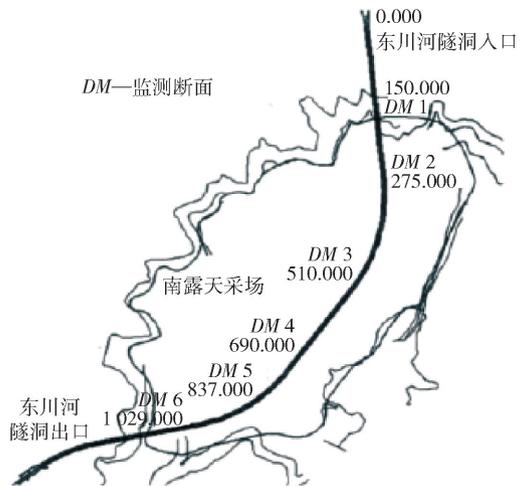


图1 隧洞测点布置示意图

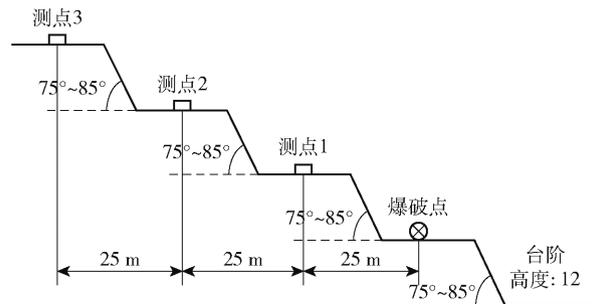


图2 台阶测点布置示意图

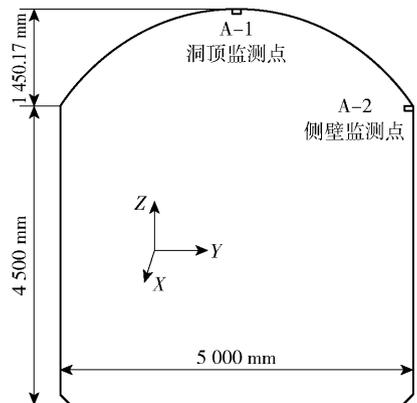


图3 隧洞断面传感器安装

图4所示。传感器3个方向分配为: X 方向为水平切向, Y 方向为水平径向(指向爆源), Z 方向为垂直方向(竖直朝上)。传感器的接线用六类防屏蔽的网路线接长。测试时把记录仪接上,在爆破前接通电源,开始采集数据。

3.3 数码电子雷管试验准备

试验项目共使用了800发数码电子雷管,准爆率100%,所有试验组网连接可靠,通信正常,起爆顺利。



图4 平盘上传感器安装

3.4 延期时间的选取

1) 孔间延时的确定

保持排间延时与高精度导爆管排间延时相同,即中间排延时 65 ms,最后排延时 100 ms。排间延期时间固定^[5],调整孔间延时,选取孔间延时依次为 10 ms、25 ms、30 ms、42 ms 的 4 组典型的距离振动曲线进行比较,每组单响药量为 430 kg,如图 5 所示。

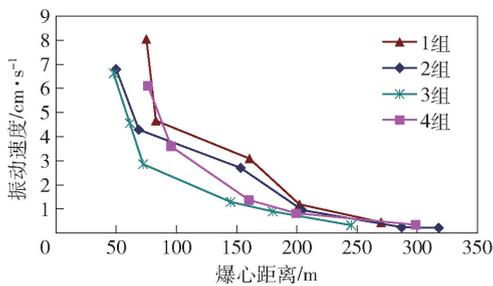


图5 孔间延期的距离振动曲线

由图 5 可以看出,爆心距离固定,当孔间延期时间在 10 ~ 30 ms 时,爆破振动速度随着延期时间的增大而降低,但当延期时间进一步增大至 42 ms 时,爆破振动速度又随之增大。因此,确定孔间最优延期时间为 30 ms。

2) 排间延时的确定

孔间延时固定后,调整排间延期时间。选取确定的最优孔间延期时间 30 ms,调整排间延时依次为 60 ms/100 ms(中间排/最后排)、65 ms/100 ms(中间排/最后排)、75 ms/100 ms(中间排/最后排)、80 ms/100 ms(中间排/最后排)的 4 组典型的距离振动曲线进行比较,每组单响药量为 430 kg,如图 6 所示。

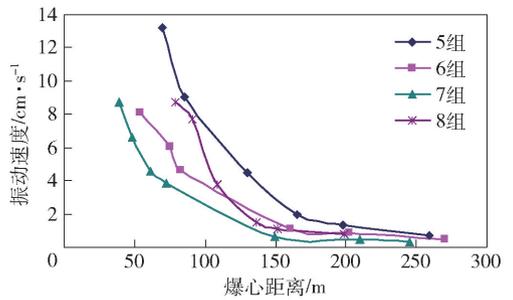


图6 排间延期的距离振动曲线

由图 6 可以看出,爆心距离固定,当排间延期时间在 60 ~ 75 ms 时,爆破振动速度随着延期时间的增大而降低,但当延期时间进一步增大至 80 ms 时,爆破振动速度又随之上升。可见,排间延期时间为 75 ms 时降振效果最佳。

综上所述,在结合高精度导爆管雷管试验的基础上,调整数码雷管的孔间和排间延期时间,进行相同环境的多次振动监测试验,通过选取以上 8 组典型爆破振动距离曲线进行对比分析,确定孔间延期 30 ms、排间延期 75 ms 时具有明显的减振优势。

4 数码雷管和导爆管雷管降振效果对比分析

4.1 常规爆破试验

为了使爆破实验数据具有可比性,采用同一区域、同等规模、相同爆破参数的多次爆破系列对比试验。因此,在某露天隧洞上方 1212、1224、1236 平盘采用相同孔网参数进行了数组常规高精度雷管爆破试验。

选取数码电子雷管孔网延时参数为孔间 30 ms、排间 75 ms/100 ms(中间排/最后排),选取高精度导爆管雷管孔网延时参数为孔间 25 ms/42 ms,排间 65 ms/100 ms(中间排/最后排)。

4.2 振动数据采集分析

在隧洞内部和采场平盘上分别布置多个监测点,对于爆破振动速度的测量主要采用 X、Y、Z 三通道进行采集。为了比较数码雷管与普通导爆管雷管的降振效果,以质点振动速度峰值和主频为指标进行分析^[6]。采用高精度雷管爆破振动数据见表 1 和图 7,采用数码电子雷管爆破振动数据见表 2 和图 8。

由表 1 和表 2 可知,在爆心距基本相同的情况

表1 高精度雷管爆破振动速度和频率表

爆心距/ m	X 方向		Y 方向		Z 方向	
	速度/ cm·s ⁻¹	频率/ Hz	速度/ cm·s ⁻¹	频率/ Hz	速度/ cm·s ⁻¹	频率/ Hz
	48.55	21.024	18.87	22.751	19.101	26.955
61.39	17.799	16.937	19.073	17.514	22.961	18.493
69.75	16.086	15.808	17.911	16.706	21.181	17.544
105.21	9.362	15.023	8.651	15.861	9.634	16.326
156.03	4.056	14.709	3.638	14.204	2.663	15.524
198.23	1.68	9.937	1.097	12.346	1.247	13.889
236.15	1.063	7.346	0.548	8.85	0.629	12.286

表2 数码电子雷管爆破振动速度和频率表

爆心距/ m	X 方向		Y 方向		Z 方向	
	速度/ cm·s ⁻¹	频率/ Hz	速度/ cm·s ⁻¹	频率/ Hz	速度/ cm·s ⁻¹	频率/ Hz
	51.55	16.327	5.780	14.051	5.076	19.986
57.39	15.064	7.813	11.470	7.752	18.354	21.900
67.36	13.578	9.009	4.814	8.929	14.828	20.333
76.71	9.147	9.019	5.354	9.346	9.806	19.048
99.50	7.214	9.543	3.214	10.623	7.801	18.301
149.44	2.723	10.526	0.422	12.821	3.600	17.091
210.15	0.344	9.524	0.668	8.772	0.695	15.667

下,采用数码雷管的质点速度峰值明显小于高精度雷管,并且爆心距离越近越明显;采用数码电子雷管的爆破振动主频(Z方向)高于高精度导爆管雷管。根据《爆破安全规程》(GB6722—2014)中对水工隧洞允许的爆破震动的规定,爆破振动频率 $f \leq 10$ Hz

表3 不同雷管下爆破安全允许距离

振动速度/cm·s ⁻¹	7	8	10	15	备注
高精度雷管安全距离/m	135	118	93	80	取 X、Y、Z 三矢量中最大数据
电子数码雷管安全距离/m	103	91	72	65	

由表3可见,在相同振动速度要求下,电子数码雷管相对于高精度导爆管雷管,爆破点到东川河隧洞的安全允许距离占明显优势。在相同爆心距离条件下,用振动速度峰值的差值进行比较,可计算出电子数码雷管相对于高精度导爆管雷管的减振率为22.7%,可用下式表示:

$$\delta = (m - m') / m \times 100\%$$

式中: δ ——减振率;

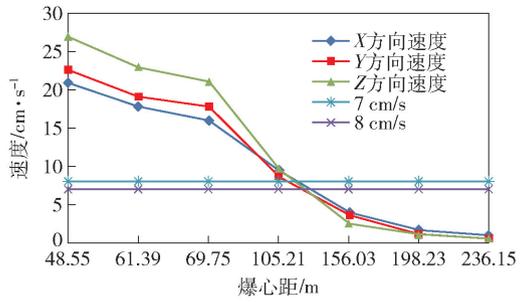


图7 高精度雷管爆破振动速度-距离曲线图

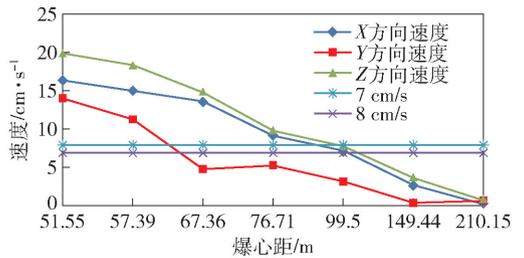


图8 电子数码雷管爆破振动速度-距离曲线图

时,允许质点振动速度为7~8 cm/s;频率为 $10 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ Hz}$ 时,允许振速为8~10 cm/s;当 $f > 50 \text{ Hz}$ 时,允许振速为10~15 cm/s。由此可见,采用数码电子雷管更有利于爆破振动的控制。

从图7和图8可以看出,现场多次试验符合爆破震动的传播衰减规律,有部分点位由于现场地质区域点的变化引起震动幅值的波动。以水工隧洞的安全控制标准为依据,图7、图8分别对应显示振速为7 cm/s、8 cm/s、10 cm/s、15 cm/s所对应的爆破安全临界距离,见表3。

m ——相同振动速度下高精度雷管的安全距离,m;

m' ——相同振动速度下数码电子雷管的安全距离,m。

5 爆破效果评价

运用数码雷管在距离东川河隧洞50 m范围进行爆破作业,爆破规模30个孔,总装药量12 900 kg,

单响最大药量 430 kg,采用逐孔起爆设计。爆破时进行振动测试,最大振动速度峰值为 8.160 cm/s,振动频率为 15 ~ 23 Hz,测振数据在《爆破安全规程》(GB6722—2014)中对水工隧洞允许的爆破震动的规定的标准之内,属于安全爆破。爆破后及时查看隧洞内部情况,未见裂缝、坍塌、突起出现,表面无异常情况发生。可见,电子数码雷管延期时间选取合理,能保证东川河隧洞安全运行,保障生产任务顺利完成。

6 结论

通过相同环境对比试验发现,数码电子雷管具有良好的降振作用,与高精度导爆管雷管相比具有明显优势。结论如下:

(1)通过对比分析,适合本文项目条件的延期时间为孔间延期 30 ms、排间延期 75 ms。该参数可有效降低爆破振动,提高爆破振动的主频,对保护东川河引水隧洞的稳定发挥较好作用。根据实验结果,电子雷管的减震率为 22.7%。

(2)本次工业试验是在多次对比验证的条件下

(上接第 56 页)

输送带纠偏。因此,在现场应时建议以调心托辊偏转 12°为界限,当超过 12°时可采用人工辅助纠偏方式减少输送带偏移量,从而提高输送机运行安全保障能力。

[参考文献]

- [1] 陈亮亮. 矿用带式输送机防跑偏装置应用分析[J]. 机械管理开发,2020,35(11):179-180.
- [2] 杨成军. 带式输送机胶带跑偏原因分析与调整[J]. 机械管理开发,2020,35(10):300-301.

取得的较优延期时间参数,适合目前生产需求,随着试验数据的进一步累计,可对孔间、排间延期时间进行进一步优化,以寻求更好的延期搭配时间,使爆破振动影响最低。

[参考文献]

- [1] 金堆城东川河引水隧洞围岩工程地质编录报告[R]. 西安:长安大学,2006.
- [2] 徐文文,叶海旺,张迎吉,等. 金堆城露天矿空气间隔装药减震控制爆破试验研究[J]. 爆破,2013,30(3):70-74.
- [3] 张迎吉,叶海旺,艾晓宗,等. 不同爆破方式下爆破振动传播规律及预测研究[J]. 中国铝业,2015(5):21-24.
- [4] 裴来政. 金堆城露天矿高边坡爆破振动监测与分析[J]. 爆破,2006,23(4):82-85.
- [5] 叶海旺,石文杰,王二猛,等. 金堆城露天矿生产爆破合理微差时间的探讨[J]. 爆破,2010,27(1):96-98.
- [6] 赵明生,张建华,易长平. 基于单段波形叠加的爆破振动信号时频分析[J]. 煤炭学报,2010,35(8):1279-1282.

- [3] 张晓亮. 煤矿带式输送机跑偏分析及对策[J]. 机电工程技术,2020,49(6):190-191.
- [4] 赵振华. 带式输送机跑偏原因分析与纠偏技术研究[J]. 山西煤炭,2020,40(2):59-62.
- [5] 贺晋璇,薛河,张顺,等. 带式输送机调心托辊的纠偏特性分析[J]. 煤矿机械,2020,41(3):72-74.
- [6] 张顺. 基于 ADAMS 带式输送机的跑偏研究[D]. 西安:西安科技大学,2019.
- [7] 邢庆阳. 煤矿带式输送机跑偏原因分析及调整方法实践[J]. 山东煤炭科技,2019(3):124-126.