

# 立井井筒基岩段深孔爆破振动测试与分析

马芹永, 韩博, 卢小雨

(安徽理工大学 矿山地下工程教育部工程研究中心, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 为了降低爆破施工对井筒围岩的振动作用, 根据井筒断面、岩石性质以及钻爆器材等因素, 对爆破参数进行了优化设计。基于地震波传播特征和爆破振动测试原理, 提出了立井井筒深孔爆破振动现场监测方法, 研究基岩段爆破地震波传播规律。通过对爆破振动信号的回归分析, 得出了适用于该工程的爆破振动衰减规律的经验公式, 可为预测掘进爆破地震强度和采取减振措施提供了依据。

**关键词:** 立井; 基岩段; 深孔爆破; 振动测试

**中图分类号:** TD235      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2336(2012)01-0023-03

## Measurement and Analysis on Deep Borehole Blasting Vibration in Base Rock Section of Mine Shaft

MA Qin-yong, HAN Bo, LU Xiao-yu

(MOE Engineering Research Center of Mine Underground Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** Inorder to reduce the vibration function of the blasting construction to the surrounding rock of the mine shaft, according to the mine shaft cross section, rock property, drilling and blasting equipment and material and other factors, an optimization design was conducted on the blasting parameters. Based on the seismic transmission features and the blasting vibration measuring principle, a site monitoring and measuring method of the deep borehole blasting vibration in the mine shaft was provided and the seismic transmission law of the blasting in the base rock was studied. With the regression analysis on the blasting vibration signals, an experiences formula suitable to the blasting vibration attenuation law of the project was obtained and could provide the basis to predict the blasting seismic strength and to conduct the vibration control measures.

**Key words:** mine shaft; bas rock section; deep borehole blasting; vibration measurement and test

在煤矿深立井爆破施工中, 由于岩石较硬, 爆破引起的振动效应成为影响爆破施工安全和井壁稳定的一个重要因素。开展井筒爆破振动测试及分析是进行立井爆破动态监测的重要手段<sup>[1]</sup>。部分学者对立井开挖爆破振动进行了研究。文献[2-3]在井筒冻结段爆破振动测试的基础上对波形信号进行了回归分析和频谱分析, 并且研究了竖井开挖爆破振动速度及爆破分段峰值叠加现象; 李新平等<sup>[4]</sup>研究了竖井爆破振动传播存在的高程放大效应, 并对竖井结构在爆炸冲击波荷载作用下的结构响应进行数值模拟。立井基岩段围岩坚硬且夹制性强, 其爆破开挖与安全控制是设计和施工难点。通

过对朱集西矿研石井井筒基岩段爆破现场测试, 探讨了爆破地震波在立井中的传播衰减规律, 预测爆破振动速度, 控制各段最大起爆药量, 为井筒的爆破设计和施工提供安全指导。

### 1 工程概况

朱焦西矿研石井采用立井开拓方式。研石井表土段及风化基岩段井筒采用钻井法施工, 过渡段及普通基岩段井筒采用地面预注浆防治水, 钻爆法施工。井筒设计净直径为5.0 m, 基岩段标高为-576.0—-991.2 m, 深度为415.2 m, 利用永久井架凿井。设计基岩段井壁混凝土强度分C30、

收稿日期: 2011-08-10; 责任编辑: 张扬

作者简介: 马芹永(1964—), 男, 安徽宿州人, 教授, 博士生导师, 博士。Tel: 13966488559, E-mail: qyma@aust.edu.cn

网络出版时间: 2012-01-12 15:35; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120112.1535.010.html>

引用格式: 马芹永, 韩博, 卢小雨. 立井井筒基岩段深孔爆破振动测试与分析 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (1): 23-25.

C40两种，井深700 m以下混凝土强度等级由C30改为C40，井壁混凝土厚度由450 mm改为550 mm。为了确定合理的爆破参数和施工方法，既能提高爆破效率及掘进速度，又能减少爆破振动对周围岩体和支护结构的影响，必须对爆破过程进行振动监测<sup>[5-6]</sup>。

## 2 爆破方案

### 2.1 钻眼设备及爆破器材

采用SJZ6.7型伞形钻架配YGZ-70型凿岩机，Φ30 mm中空六角合金钢成品钎杆，Φ55 mm球状柱齿钎头及一字形钎头。选用二级煤矿岩石水胶炸药，掏槽眼和崩落眼药卷规格为Φ45 mm×400 mm，每卷质量780 g；周边眼药卷规格为Φ35 mm×330 mm，每卷质量330 g。采用7.0 m铜脚线1~4段电雷管，380 V交流专用放炮开关起爆。

### 2.2 爆破参数

井筒净径5.0 m，测振的基岩段岩层为粉砂岩及中粗砂岩，岩石坚固性系数 $f=10$ ，采用深孔光面爆破技术。炮眼布置成4圈同心圆形：掏槽眼深度5 200 mm，圈径1 600 mm，眼间距600 mm，每眼装药8卷；第1圈崩落眼深度5 000 mm，圈径3 000 mm，眼间距750 mm，每眼装药7卷；第2圈崩落眼深度5 000 mm，圈径4 700 mm，眼间距850 mm，每眼装药7卷；周边眼深度5 000 mm，圈径5 900 mm，眼间距500 mm，每眼装药6卷；炮眼直径55 mm，全断面共布眼70个。连续装药，分段微差起爆。

## 3 爆破振动测试

### 3.1 爆破振动测试仪器

爆破振动测试采用TOPBOX爆破振动信号自记仪以及与其配套使用的THS-1型（水平）和TSV-1型（垂直）速度传感器。该测试系统可以避免现场监测导线的敷设、检查等工作，能自动记录振动信号，断电时信号不会丢失。可直接与电脑连接，显示波形，分析和处理数据<sup>[7]</sup>。

### 3.2 测点布置及测试参量

由于受到立井掘进爆破特点限制，井内测试非常困难，仪器安装不便且容易损坏。因此，测点布置在井筒与尾绳更换硐室交岔处底板上。该硐室底板垂深为885.2 m，净高4.4 m，净宽4.5 m，为

直墙半圆拱形硐室。测点距井壁内径均为1.0 m，各测点相互间距0.9 m，将传感器底座用环氧树脂固定在基岩上，具体位置如图1所示。采用质点振动速度作为爆破振动的测试量<sup>[8-9]</sup>。每个测点分别监测水平方向和垂直方向的爆破质点振动速度。

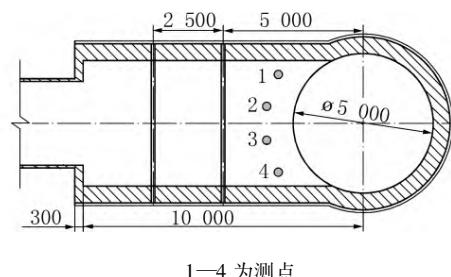


图1 爆破振动测点布置示意

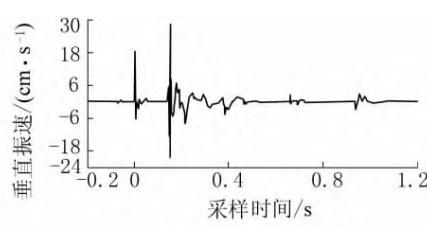
## 4 爆破振动监测结果及分析

### 4.1 爆破振动监测结果

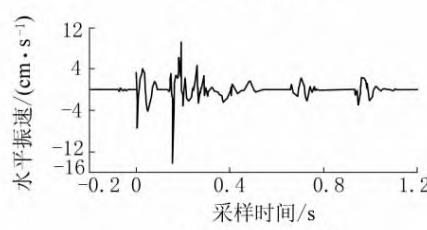
爆破质点峰值振动速度测试结果见表1。典型测点波形如图2所示。

表1 爆破质点峰值振动速度测试结果

与爆心垂直距离 $r/m$	单段起爆最大药量 $Q/kg$	垂直振动速度 $V_e/(cm \cdot s^{-1})$	水平振动速度 $V_s/(cm \cdot s^{-1})$
23.9	103.74	71.401 0	48.337 3
39.4	98.28	59.129 0	37.965 9
51.2	87.36	28.337 3	14.280 2
59.3	98.28	28.560 4	28.560 4
63.9	92.82	21.643 4	12.048 9
71.7	102.96	17.404 0	14.280 2



(a) 垂向振动波形



(b) 水平振动波形

图2 典型测点波形

## 4.2 爆破振动测试数据的回归分析

多数国家在制定爆破振动安全控制标准时, 将爆破振动速度作为基本参量列入规范。我国采用萨道夫斯基经验公式对爆破振动测试数据进行回归分析<sup>[10]</sup>, 萨道夫斯基经验公式为

$$V = K(\sqrt[3]{Q}/r)^\alpha = K\rho^\alpha \quad (1)$$

式中:  $V$  为峰值振动速度;  $K$  为与岩石、爆破方法等相关的因素系数;  $\alpha$  为与地质条件有关的地震波衰减系数;  $\rho$  为比例药量。

根据式(1) 对测试数据进行回归分析, 垂直向质点振动速度:  $K = 665.14$ ,  $\alpha = 1.29$ , 相关系数  $R = 0.95$ ; 水平向质点振动速度:  $K = 330.29$ ,  $\alpha = 1.17$ , 相关系数  $R = 0.84$ 。拟合公式的相关系数较大, 拟合结果可靠有效。

爆破振动衰减规律的经验公式为

$$V_c = 665.14(\sqrt[3]{Q}/r)^{1.29} \quad (2)$$

$$V_s = 330.29(\sqrt[3]{Q}/r)^{1.17} \quad (3)$$

由回归分析可以看出, 2 组  $K$ 、 $\alpha$  值一致性较好。由于高程对爆破振动波传播具有放大效应, 立井爆破振动速度回归得到的  $K$  值较水平方向的值偏大。

## 4.3 爆破振动速度安全允许标准

根据爆破振动波速衰减方程, 可计算确保临近爆源的围岩和井壁混凝土安全的最大一段起爆药量  $Q_{\max}$  为

$$Q_{\max} = r^3(V/K)^{3/\alpha} \quad (4)$$

据文献 [10] 规定, 拟保护的对象不同, 其允许的保护对象所在地质点峰值振动速度  $V$  也不同, 则对应的爆破安全最大一段起爆药量也不同。在实际爆破施工中使用的药量应比计算得到的控制药量低, 较为安全。

## 5 爆破振动控制建议

根据本工程特点和现场监测结果, 结合类似工程经验, 可采取以下爆破减振措施。

1) 控制各段最大药量。将一次爆破药量分成多段微差延期起爆, 使得爆破振动峰值减小为受最大段药量控制, 充分发挥精确延时错峰减震的技术优势。这样不仅显著降低爆破振动, 而且提高了爆破效率。

2) 改变爆破参数。通过调整掏槽方案、改善

起爆顺序, 掏槽眼采用大药卷, 周边眼采用小药卷, 可提高爆破效果并降低爆破振动。

3) 井筒的振动损害不仅取决于质点振动速度, 还取决于地震频谱和持续时间等因素。通过对爆破地震波进行频谱分析, 可以获得爆破振动信号中的各种频率成分和它们的幅值、能量分布范围分布以及相位<sup>[11]</sup>, 可对爆破振动信号的主频及带宽做进一步分析。

只有采用综合减振技术, 才能有效地解决立井井筒钻爆施工中爆破振动问题, 满足掘进速度和振动安全两方面的要求。

## 6 结语

立井井筒深孔爆破振动效应是一个复杂的问题, 通过爆破振动现场监测并对爆破振动测试数据进行回归分析, 抓住关键的影响因素, 采取合理的措施方法, 控制爆破振动对井筒结构稳定的危害。该井筒基岩段钻爆施工炮眼利用率达 90% 以上, 井壁无损坏, 为后续工序施工创造了良好的条件。

### 参考文献:

- [1] 马芹永. 冻土爆破性与可钻性试验及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 马芹永, 王长柏. 井筒冻土爆破振动测试波形回归与频谱分析 [J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2006, 26 (3): 22–29.
- [3] 平琦, 马芹永, 徐晓核. 水库坝区竖井开挖爆破技术及振动测试分析 [J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5 (3): 577–581.
- [4] 李新平, 孟建, 徐鹏程. 溪洛渡水电站出线竖井爆破振动效应研究 [J]. 岩土力学, 2011, 32 (2): 474–480.
- [5] 马芹永, 王长柏, 徐辉东, 等. 立井人工冻结巨厚砾岩层爆破快速掘进技术 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (8): 1–3.
- [6] 韩万东, 马建兴. 爆破振动对马家塔露天煤矿建筑物的影响 [J]. 煤炭科学技术, 2007, 35 (12): 65–67.
- [7] 张智宇, 庙延钢, 杨曼. TOPBOX 振动自记仪在爆破振动测试中的应用 [J]. 爆破, 1998, 15 (4): 62–65.
- [8] 孟吉复, 惠鸿斌. 爆破测试技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.
- [9] 李夕兵, 凌同华, 张义平. 爆破震动信号分析理论与技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [10] GB 6722—2003, 爆破安全规程 [S].
- [11] 刘治峰, 张戈平, 王炳恒. 深孔爆破振动测试分析与降振措施 [J]. 爆破, 2010, 27 (1): 107–110.