

文章编号: 1000-7598 (2011) 02-0474-07

溪洛渡水电站出线竖井爆破振动效应研究

李新平^{1,2}, 孟建^{1,2}, 徐鹏程^{2,3}

(1. 武汉理工大学 道路桥梁与结构工程湖北省重点实验室, 武汉 430070; 2. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 武汉 430070;
3. 中国水利水电第八工程局有限公司, 长沙 410007)

摘 要: 对溪洛渡水电站左岸出线竖井开挖爆破的振动速度进行了现场测试。运用萨道夫斯基公式对测试数据进行回归分析, 得到了竖井爆破掘进中地震波传播衰减公式。利用该式预测距离井底高程差为 18.2~24.5 m 处范围内测点的振动速度, 并与实测数据进行对比。结果显示, 竖井爆破振动的传播存在高程放大效应, 水平振速放大系数约为 1.49~2.24, 垂直振速放大系数约为 1.78~2.73; 通过考虑高程效应对萨道夫斯基公式进行了修正, 得到考虑高程因子的衰减公式, 线性关系显著, 对存在高程放大效应的爆破振动预测具有借鉴意义。运用动力有限元分析方法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, 数值模拟结果与现场测试结果的对比表明, 当相对高差不大时, 两者整体趋势比较吻合, 距离井底 0~15 m, 振动速度快速衰减, 振动速度峰值衰减幅度超过总体幅度的 60%; 距离井底超过 30 m, 衰减不超过总幅度的 10%。采用岩石-混凝土强度破坏准则对竖井构筑物在爆炸冲击荷载作用下的稳定性进行了强度校核, 为竖井后续施工安全提供了参考。

关键词: 出线竖井; 爆破振动; 回归分析; 高程放大效应; 数值模拟

中图分类号: TV 72

文献标识码: A

Study of blasting seismic effects of cable shaft in Xiluodu hydropower station

LI Xin-ping^{1,2}, MENG Jian^{1,2}, XU Peng-cheng^{2,3}

(1. Hubei Provincial Key Lab of Roadway Bridge & Structure Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. School of Architecture and Civil Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 3. Sino-hydro Eighth Bureau Co., Ltd., Changsha 410007, China)

Abstract: Field test of vibration velocity was carried out during the excavation of cable shaft in Xiluodu Hydropower Station. The attenuation formulas of seismic wave propagation were obtained through regression analysis of the test data with Sadaovsky empirical formula. Vibration velocity of measuring points in range of 18.2-24.5 meters away from the bottom of shaft in height were predicted with the attenuation formula. Comparison between the data of in-situ test and prediction showed an elevation amplification effect in the propagation of seismic wave and the magnification coefficient of horizontal velocity was about 1.49-2.24 while the vertical was about 1.78-2.73. Sadaovsky empirical formulas were corrected by taking the amplification effect into account and corresponding attenuation formulas were obtained. The corrected formulas presented significant linear relationship and to be references to similar projects. Dynamic finite element method was used to simulate the responses of the shaft under the load of blasting. It is indicated that the trend of the numerical simulation results is fit with that of the field testing data when the height from the bottom of the shaft to the measuring points were not so large. The vibration velocity attenuated rapidly when the distance from the measuring points to the bottom of the shaft were within 0-15 meters and more than 60% of overall vibration velocity attenuated in this range. Less than 10% of the overall vibration velocity attenuated when the distance was over 30 meters. Strength failure criterion of rock-concrete was adopted to check the stability of the shaft under blasting load and references for the safety of the following construction were provided.

Key words: cable shaft; blasting vibration; regression analysis; elevation amplification effect; numerical simulation

1 引 言

溪洛渡水电站左岸设 1[#]、2[#]两条出线竖井, 分别将 500 kV SF6 管道母线引出至地面。出线竖井开

挖直径为 14 m, 爆破开挖直径为 12 m。实施爆破后, 对于井壁未开挖的岩土体采用机械开挖方式扩挖, 以减少爆破对井壁的损伤。竖井底高程为 376.5 m, 总井深 488.5 m。竖井爆破开挖可能造成

收稿日期: 2010-05-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50974100)。

第一作者简介: 李新平, 男, 1963 年生, 博士, 教授、博士生导师, 主要从事岩土工程、爆破工程方面教学与研究工作。E-mail: xinpinglei@whut.edu.cn

边墙坍塌, 从而引发安全事故。受竖井开挖特点限制, 测试仪器安装不方便, 爆破可能损坏测试仪器, 井内测试非常困难。爆破振动对竖井构筑物的影响, 国内外研究较少。本文通过对溪洛渡水电站左岸出线竖井3组现场爆破试验, 探讨了爆破地震波在竖井构筑物中的爆破衰减规律, 运用有限元分析方法, 对竖井爆破开挖进行数值模拟, 研究了竖井围岩及混凝土衬砌受爆炸荷载作用下的力学机制和变形破坏模式, 为竖井的后续施工安全提供安全指导。对于提高施工风险防范能力, 以及深化了解爆破振动传播机制与规律, 都是十分有意义的。

2 现场爆破试验

试验区主要由冰川、冰水堆积 (fgl+glQ21), 成分比较单一, 主要由玄武岩块碎石夹角砾砂层组成, 内夹1~5 m孤块石, 含量约占20%~30%。碎石粒径以2~6 cm为主, 部分为钙质接触式胶结, 结构稍密~中密, 地下水不丰富。

本次爆破试验采用孔外微差爆破网路, 其中掏槽连续不耦合装药, 周边孔间隔不耦合装药, 布孔方案如图1所示。测试采用TOPBOX振动信号自记仪和DZJ-70型拾震器, 在测点位置分别布置垂直和水平方向2条测线, 测点布置在竖井井筒墙壁上, 共进行3组测试, 每组测试布置3个测点, 试验测点布置示意图如图2所示。

对于不耦合装药条件, 在C-J爆轰条件下, 炸药的平均爆轰压力为^[1-2]

$$P_w = \frac{\rho_c D^2}{2(1+\gamma)} \left(\frac{d_c}{d_b} \right)^{2\gamma} \quad (1)$$

式中: P_w 为炸药爆轰平均初始压力; ρ_c 为炸药密度; D 为炸药爆轰速度; γ 为炸药的等熵指数, 与炸药密度有关, 当 $\rho_c < 1.2 \text{ g/cm}^3$ 时, $\gamma = 2.1$; 当 $\rho_c > 1.2 \text{ g/cm}^3$ 时, $\gamma = 3$; d_c 为装药直径; d_b 为炮孔直径。这里炸药密度为 1200 g/cm^3 , 爆速为 3600 m/s , 不耦合系数为 $\frac{d_c}{d_b} = 0.7$ 。

3 数值模拟试验

3.1 爆炸荷载的确定

炸药在爆孔中爆炸时瞬间产生高温、高压气体, 在有限的空间里急剧膨胀, 产生爆炸冲击波, 作用于周围岩体, 并很快衰减为应力波, 整个过程持续数毫秒。目前通常的方法是在炮孔壁上施加三角形脉冲荷载。

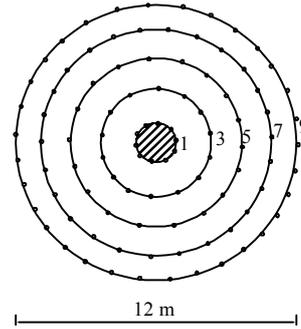


图1 炮孔布置图

Fig.1 Layout of the blasting hole

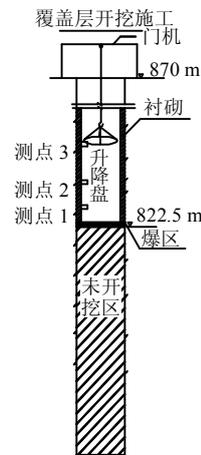


图2 测点布置图

Fig.2 Design of blasting and vibration monitoring condition

根据爆腔膨胀理论^[3-4], 爆破荷载压力曲线三角脉冲荷载 P_0 为

$$P_0 = P_w \left(\frac{1}{r} \right)^\alpha \quad (2)$$

式中: P_w 为爆轰压力; $r = R/R_w$, R 为离药包轴线的距离 (m), R_w 为装药半径 (m), $R_w = 0.032 \text{ m}$; α 为与岩石及炸药种类有关的常数, $\alpha \approx 1.5$ 。

根据式(1)得到炸药爆轰后初始爆轰压力为 $P_w = 6.45 \text{ GPa}$ 。由现场炮孔布置图1可知, 竖井井壁距离外圈炮孔约为70倍炮孔半径, 计算得 $P_0 = 11.2 \text{ MPa}$ 。根据文献[8]所述爆破荷载等效施加方法, 由式(2)计算得到作用在竖井洞壁上的三角形脉冲压力峰值为 8.64 MPa 。

一般认为^[5-7], 炸药爆炸时的冲击波作用持续时间约为 $1.0 \times 10^{-6} \sim 0.1 \text{ s}$, 爆轰气体压力作用时间约为 $1.0 \times 10^{-3} \sim 0.1 \text{ s}$ 。由文献[1-2]的研究成果, 爆炸荷载正压作用时间约为 8 ms , 其中上升时间为 1 ms , 下降时间为 7 ms , 如图3所示。

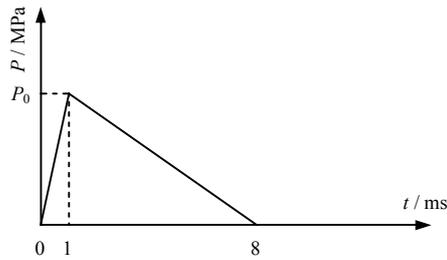


图3 爆炸荷载曲线
Fig.3 Curve of the blasting load

3.2 数值计算模型

根据竖井开挖现场,开挖面距地面高差为 48 m,开挖直径为 14 m。计算模型采用直角坐标系, xoy 为水平面, z 轴为垂直方向。取 10 倍边界,考虑模型为对称模型,取 1/4 模型,计算区域为 $70\text{ m} \times 70\text{ m} \times 140\text{ m}$,岩石、混凝土材料属于颗粒状胶结材料,此类材料受压屈服强度远大于受拉屈服强度,采用 Drucker-Prager 材料类型可以得到较为理想的结果^[9-10],沿井筒洞壁法线方向施加与时间相关的等效均布压力,施加范围为 2 m 进尺的开挖面。边界条件顶部设为自由面,侧面设为对称界面,底面约约束法向自由度,半无限边界设为人工阻尼边界,建立模型如图 4 所示。

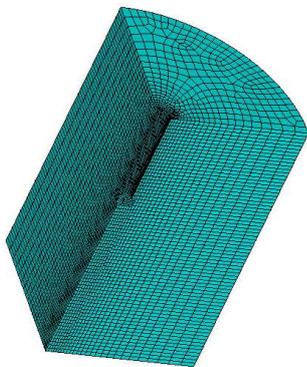


图4 竖井模型有限元网格图
Fig.4 Finite element grid of shaft model

表1 岩土材料物理力学参数

Table 1 Physic-mechanical parameters of rock layers

密度 /(g/cm ³)	体积模量 /GPa	剪切模量 /GPa	泊松比 μ	黏聚力 /MPa	内摩擦角 φ /(°)
2.36	3.82	9.36	0.32	1.4	22

4 试验结果与分析

4.1 回归分析

根据我国爆破安全规程及国内外研究成果,爆破振动速度传播与衰减规律一般采用萨道夫斯基公式^[1-2],但本次测试点是沿着竖井高度方向布置的,

高程对于爆破地震波的影响效应是不可忽视的。所以将最高处测点不列入回归分析数据,现场实测数据见表 2,采用萨道夫斯基公式进行回归分析。

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha = K \rho^\alpha \quad (3)$$

式中: V 为质点振动最大速度 (cm/s); K 为与地质、爆破方法等因素有关的系数; Q 为与最大一段起爆药量 (kg); R 为测点与爆心的直线距离; ρ 为最大比例装药量 (g/cm³); α 为与地质条件有关的地震波衰减系数。

表2 现场试验结果
Table 2 Results of local test

试验 编号	最大段 药量 Q/kg	距爆心 水平距 D/m	距爆心 垂直距 H/m	有效爆心距/m $R^2 = D^2 + H^2$	质点振动速度 /(cm/s)	
					水平方向	垂直方向
1	9.2	7.0	11.1	13.1	1.43	1.79
			5.2	8.7	3.45	3.94
2	10.0	7.0	11.5	13.5	1.09	1.32
			5.8	9.1	2.76	3.79
3	11.5	7.0	12.6	14.4	1.56	1.89
			6.0	9.2	4.04	4.16

回归分析得相关因子 $r_{\text{水平}} = 0.9283$, 爆破水平振动速度衰减公式为

$$V_{\text{水平}} = 73.77 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{2.2635} \quad (4)$$

相关因子 $r_{\text{垂直}} = 0.9011$, 爆破垂直振动速度衰减公式为

$$V_{\text{垂直}} = 82.6228 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{2.2339} \quad (5)$$

根据回归衰减式 (4)、(5), 对最高处测点进行预测计算, 并与实测结果进行对比, 如图 5 所示。结果显示, 最高处测点与萨道夫斯基回归公式预测结果有较大误差, 这是由于竖井爆破振动速度衰减存在高程放大效应, 表 3 列出了每次试验的最高处测点的测点高程、实测振动速度峰值、回归预测振动速度峰值及振动速度放大系数。

由表 3 可以看出, 高程对于爆破振动波传播具有明显的放大作用, 3 次试验中水平径向放大系数在 1.49~2.24 之间, 垂直方向放大系数在 1.78~2.73 之间。垂直向放大系数比水平向放大系数大, 而且高程越大, 放大系数越大, 高程对爆破振动波的放大效应越明显。考虑到高程对于高程放大效应的影响, 笔者对萨道夫斯基公式进行修正, 增加高

程影响因子，采用质点振动速度公式：

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{D} \right)^\alpha \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^\beta \quad (6)$$

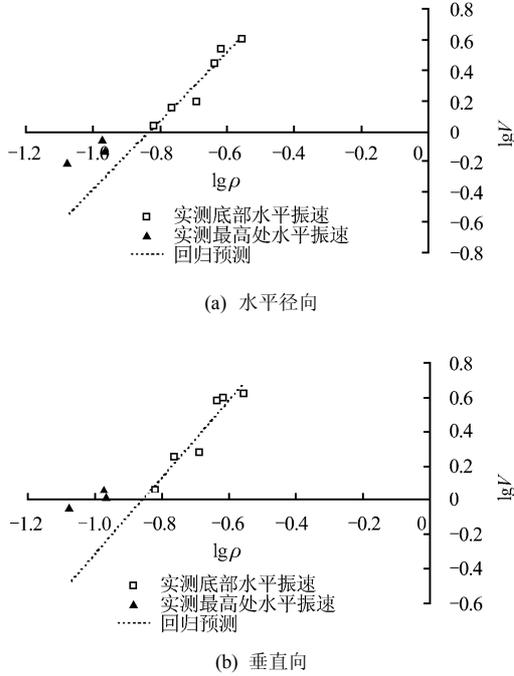


图 5 回归预测与实测结果对比
Fig.5 Comparison of vertical results of forecasting and local test

表 3 回归预测结果与实测结果对比
Table 3 Comparison of results of forecasting and local test

试验编号	最大段药量 Q/kg	测点高程 R/m	水平径向速度/(cm/s)					
			实测	预测	放大系数	实测	预测	放大系数
1	9.2	18.2	0.73	0.48	1.49	1.03	0.58	1.78
2	10.0	20.4	0.86	0.47	1.85	1.16	0.55	2.10
3	11.5	24.5	0.61	0.27	2.24	0.89	0.32	2.73

对测试数据进行二元回归分析，得 $|F| = 70.4043 \geq F_{0.99}(2,7) = 9.55$ ，爆破水平振动速度衰减公式为

$$V_{\text{水平}} = 110.0826 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{D} \right)^{2.5643} \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^{1.1865} \quad (7)$$

得 $|F| = 38.5338 \geq F_{0.99}(2,7) = 9.55$ ，爆破垂直振动速度衰减公式为

$$V_{\text{垂直}} = 88.3928 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{D} \right)^{1.8310} \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^{1.0486} \quad (8)$$

结果显示，回归结果线性关系显著，对于存在高程差的爆破振动速度衰减，采用式 (7)、(8) 对

爆破振动速度进行预测，预测结果见表 4。由表 4 可以看出，采用考虑高程的修正公式预测振动速度误差较小，竖井爆破振动速度衰减公式建议采用修正式 (6) 进行预测。

表 4 回归预测结果与实测结果对比
Table 4 Comparison of results of forecasting and local test

试验编号	最大段药量 Q/kg	测点高程 R/m	水平径向速度/(cm/s)			垂直径向速度/(cm/s)		
			实测	预测	误差/%	实测	预测	误差/%
1	9.2	18.2	0.73	0.68	4	1.03	1.0	3
2	10.0	20.4	0.86	0.73	15	1.16	1.05	9
3	11.5	24.5	0.61	0.66	21	0.89	0.91	7

4.2 模拟结果分析

沿竖井井壁垂直方向提取距离地仓 5 m 处模拟速度波形与试验速度波形进行对比，如图 6 所示，由图可以看出结果较为吻合。

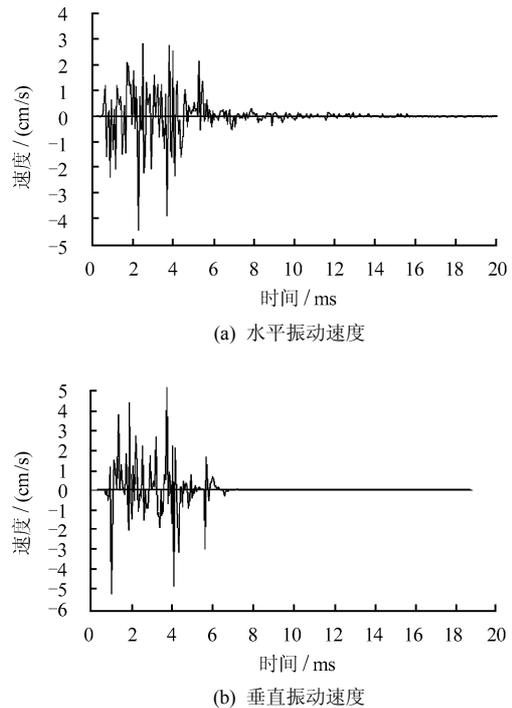
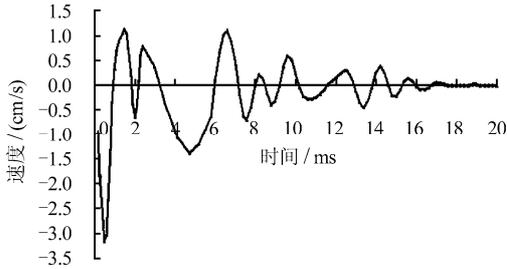
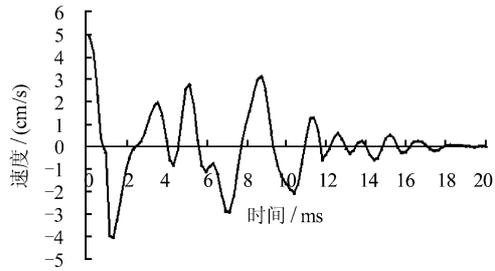


图 6 现场实测时程曲线
Fig.6 Velocity curves of local testing

沿井壁垂直方向提取不同距离处节点数值模拟速度值，对比回归公式预测结果，如图 7、8 所示。由图可见，模拟预测与回归预测结果趋势几乎一致。对于平坦地形，采用萨道夫斯基公式回归分析可以得到较为满意的结果，但本次测试测点之间存在较大高程差。当相对高程差较大时，数值模拟结果与回归预测结果存在较大误差。从图中可以看出，0~15 m 爆源近区质点振动速度衰减很快，衰减幅度超



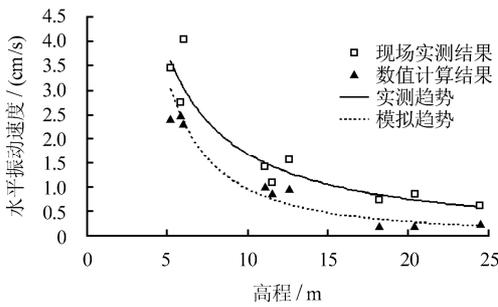
(a) 水平振动速度



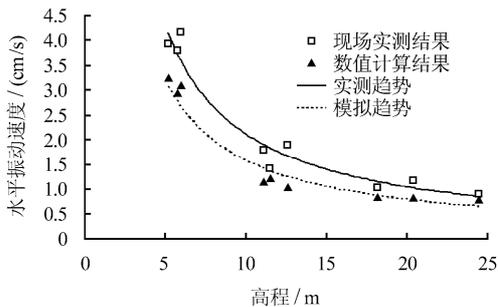
(b) 垂直振动速度

图 7 数值模拟时程曲线

Fig.7 Curves of numerical simulation



(a) 水平径向



(b) 垂直方向

图 8 振动速度衰减趋势

Fig.8 Attenuation trends of velocity

过总体幅度的 60%。距离爆源大于 30 m 的爆炸远区, 衰减幅度不超过 10%。提取距离底仓 4 m 处的断面处节点振动速度图, 此处为新浇筑混凝土, 垂直向振动速度为 5.21 cm/s, 水平向振动为 4.54 cm/s。根据我国《爆破安全规范》^[11], 新浇筑混凝土初凝~3 d 期间安全允许振速为 2.0~3.0 cm/s。超过混凝土安全允许振速, 爆破荷载会在混凝土微裂隙产生贯穿作用, 使混凝土破坏^[12], 因此, 在底仓处需要

设置一套环形钢板支模, 一方面起到支护新浇筑混凝土的作用, 另一方面可以有效降低爆炸冲击波对新浇筑混凝土的冲击作用, 对于新浇筑混凝土有一定防护作用。

沿竖井水平径向提取距离爆心不同距离的断面最大主应力和最大剪应力, 如图 9(a)所示。应力峰值在爆炸近区快速衰减, 距离井底 5 m 的水平径向最大主应力达到 2.9 MPa, 最大剪应力达到 1.6 MPa, 岩石单轴抗拉强度为 2.5 MPa, 单轴抗压强度为 42.5 MPa, 对于岩石抗拉强度远小于抗压强度的材料特性, Mohr-Coulomb 强度理论能够解释岩石在 3 向受拉会破坏, 而在 3 向受压时不会破坏的特点。根据 Mohr-Coulomb 强度理论, 如果应力圆与包络线相切或相割, 构件研究点将会破坏, 对于比较坚硬的岩石, 如玄武岩、砂岩、花岗岩等强度包络线近似于双曲线, 强度破坏表达式为

$$\tau^2 \geq (\sigma + \sigma_t)^2 \tan^2 \phi_1 + (\sigma + \sigma_t)\sigma_t \quad (9)$$

式中: ϕ_1 为包络线渐近线的倾角; $\tan \phi_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(\sigma_c - 3\sigma_t)}{\sigma_t}}$;

σ_c 为岩石单轴抗压强度; σ_t 为岩石单轴抗拉强度。

将底仓处边墙应力值代入式 (4), 结果显示研究点应力值未达到岩体极限抗剪强度。

沿竖井垂直方向提取距离爆心不同距离的断面最大主应力和最大剪应力, 如图 9(b)所示。距离底仓 4 m 处为新浇筑混凝土。初凝~3 d 龄期的混凝土抗压强度^[13]达到 11.2 MPa, 抗拉强度达到 1.52 MPa, 距离底仓 4 m 处最大主应力为 3.2 MPa, 中间主应力为 2.08 MPa, 最小主应力 0.9 MPa, 对于混凝土材料, 考虑到中间主应力 σ_2 对结构强度的影响。俞茂宏在双剪强度准则的基础上, 提出了加权双剪强度准则, 该准则适用于抗拉压强度不同的材料, 又考虑了中间主应力的影响, 所以本文采用加权双剪强度准则对混凝土材料应力状态进行分析^[14], 其表达式为

$$\begin{aligned} &\text{当 } \sigma_2 \leq (\sigma_1 + \alpha\sigma_3)/1 + \alpha \text{ 时,} \\ &\sigma_1 - (\sigma_2 + 2\sigma_3)\alpha/3 \geq \sigma_t \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &\text{当 } \sigma_2 \leq (\sigma_1 + \alpha\sigma_3)/1 + \alpha \text{ 时,} \\ &(2\sigma_1 + \sigma_2)/3 - \alpha\sigma_3 \geq \sigma_t \end{aligned} \quad (11)$$

式中: $\alpha = \frac{\sigma_t}{\sigma_c}$, σ_t 为抗拉强度; σ_c 为抗压强度。

采用加权双剪强度准则校核结果显示, 此处应力值超过混凝土强度极限, 此处混凝土存在破坏可能, 需要调整爆破网络参数, 加强支护措施, 以避免混凝土边墙坍塌破坏。

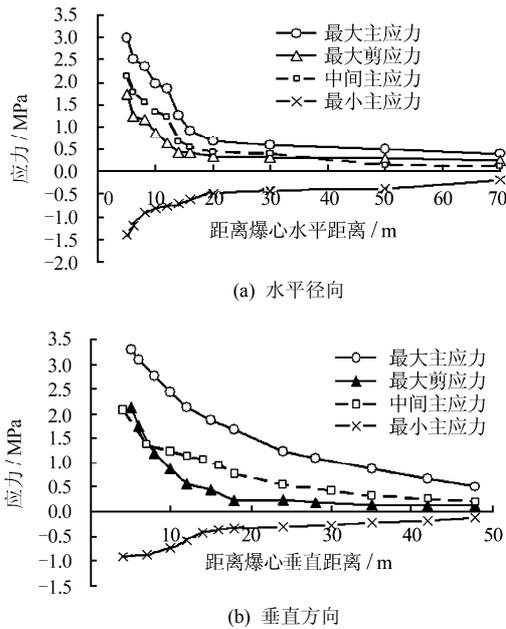


图 9 应力衰减趋势

Fig.9 Attenuation trends of stress varying

沿竖井水平径向和垂直方向提取不同断面处节点位移值如图 10 所示，从位移场结果就可以看出，水平径向随着与爆源距离增大，位移峰值逐渐降低，距离井底 5 m 处，最大位移峰值约为 5.4 mm；距离 20 m 时，最大位移峰值 3.2 mm；距离 70 m 时，最大位移 2.4 mm。垂直方向 X、Y 向位移随着与爆源距离增大，位移峰值降低，Z 向位移随着爆心距增大，在 10 m 处位移最小，约为 2.1 mm，随后又逐渐

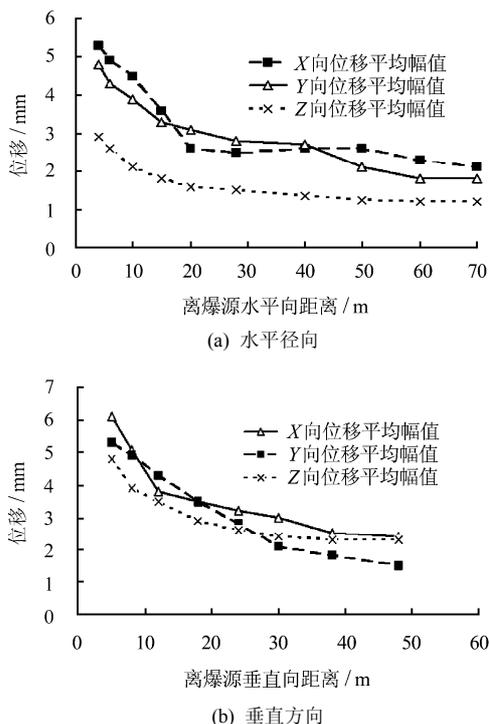


图 10 位移衰减趋势

Fig.10 Attenuation trends of displacement varying

增大，距离井底 48 m 的地表处，位移约为 4.6 mm。总体位移量较小，一般不将位移值作为爆破振动监测量。

5 结 语

(1) 竖井爆破振动速度存在高程放大效应，相对高差越大，放大系数越大，高程对爆破振动波的放大效应明显。采用考虑高程的衰减公式较为准确。振动速度还受到衰减效应，二者相互作用，爆破振动速度放大系数随高程增高而增大，当增加到一定临界值时，衰减因素占主要因素时，放大系数不再随高程增加而增大。

(2) 数值模拟研究表明，相对高程不大时，模拟结果与实测结果较为一致；相对高程差较大处，数值模拟结果与回归预测结果有一定误差。模拟结果与实测结果表明，振动速度在 0~15 m 爆炸近区衰减较快，衰减幅度超过总体幅度的 60%，大于 30 m 的爆炸远区，衰减幅度不超过 10%。

(3) 爆炸荷载作用下竖井围岩整体稳定性良好。底仓新浇筑混凝土衬砌，振动速度超过混凝土允许标准，需要优化爆破网络，在底仓新浇筑混凝土边墙设置防护模板。

分析结果表明，爆破引起的总体位移量较小，因此，一般不将位移量作为爆破振动监测量。

参 考 文 献

[1] JOSEF HENRYCH. The Dynamics of Explosion and Its Use[M]. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1979.

[2] 李翼祺, 马素贞. 爆炸力学[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[3] 卢文波, 陶振宇. 预裂爆破中炮孔压力变化历程的理论分析[J]. 爆炸与冲击, 1994, 14(2): 140-147.

LU Wen-bo, TAO Zhen-yu. Theoretical analysis of the pressure-vibration in borehole for pre-splitting explosion[J]. **Explosion and Shock Waves**, 1994, 14(2): 140-147.

[4] 卢文波, 董振华, 赖世骧. 确定周边控制爆破围岩影响深度的动力损伤计算方法[J]. 工程爆破, 1996, 2(4): 410-405.

LU Wen-bo, DONG Zhen-hua, NAI Shi-ju. Calculation on dynamic damage of surrounding rock caused by contour control blasting[J]. **Engineering Blasting**, 1996, 2(4): 410-405.

[5] 戴俊. 岩石动力学特性与爆破理论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

[6] 陈宝心, 杨勤荣. 爆破动力学基础[M]. 武汉: 湖北科

- 技出版社, 2005.
- [7] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.
- [8] 许红涛, 卢文波, 周小恒. 爆破震动场动力有限元模拟中爆破荷载的等效施加方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(1): 67-71, 103.
XU Hong-tao, LU Wen-bo, ZHOU Xiao-heng. An equivalent approach for acting blasting load in dynamic finite element simulation of blasting vibration[J]. **Engineering Journal of Wuhan University**, 2008, 41(1): 67-71, 103.
- [9] 姜鹏飞, 唐德高, 龙源. 不耦合装药爆破对硬岩应力场影响的数值分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(1): 275-280.
JIANG Peng-fei, TANG De-gao, LONG Yuan. Numerical analysis of influence of uncoupled explosive-charge structure on stress field in hard rocks[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(1): 275-280.
- [10] 张建华, 李世禄, 王玉杰, 等. 爆炸扩腔数值模拟及分析[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2001, 24(2): 174-177.
ZHANG Jian-hua, LI Shi-lu, WANG Yu-jie. Numerical simulation of springing blasting in stemmed hole[J]. **Journal of Wuhan Yejin University of Science and Technology**, 2001, 24(2): 174-177.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB6722-2003 爆破安全规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [12] 易长平, 卢文波, 舒大强, 等. 爆破振动对新浇混凝土灌注桩的数值模拟[J]. 爆破, 2001, 18(1): 31-35.
YI Chang-pin, LU Wen-bo, SHU Da-qiang. Numerical simulation of blasting vibrations effect on fresh concrete filling pile[J]. **Blasting**, 2001, 18(1): 31-35.
- [13] 陈萌, 刘立新, 彭少民. 预拌混凝土各龄期抗拉和抗压强度换算关系试验研究[J]. 建筑结构, 2010, 40(2): 109-111.
CHEN Meng, LIU Li-xin, PENG Shao-ming. Experimental study on relationships between tensile strength and compressive strength of ready-mixed concrete at different age[J]. **Building Structure**, 2010, 40(2): 109-111.
- [14] 刘国华, 王振宇. 爆炸荷载作用下隧道的动态响应与抗爆分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004, 38(2): 204-208.
LIU Guo-hua, WANG Zhen-yu. Dynamic response and blast-resistance of a tunnel subjected to blast loading[J]. **Journal of Zhejiang University(Engineering Science)**, 2004, 38(2): 204-208.

第十届海峡两岸隧道与地下工程学术及技术研讨会

第 1 号通知 (征文通知)

兹经大陆方面中国岩石力学与工程学会地下工程分会、中国土木工程学会隧道及地下工程分会和台湾方面隧道协会共同协商, 已决定将于 2011 年 8 月在新疆乌鲁木齐召开第十届海峡两岸隧道与地下工程学术及技术研讨会。现发出会议的第 1 号征文通知。

主办单位: 大陆方面: 中国岩石力学与工程学会地下工程分会

协办单位: 大陆方面: 中国土木工程学会隧道及地下工程分会 台湾方面: 隧道协会

承办单位: 山东大学 北京交通大学 中国科学院武汉岩土力学研究所

会议时间及地点: 会议时间: 2011 年 8 月 (具体日期待定) 会议地点: 新疆乌鲁木齐 (宾馆待定)

会议主题及议题: 会议主题: 隧道及地下工程的创新与技术进步

会议议题: 隧道及地下工程中的新理论、新方法和新进展; 隧道及地下工程施工中的新设备、新材料、新技术和新工艺; 隧道及地下工程施工中的防灾减灾; 隧道及地下工程中的营运安全与节能。1.隧道及地下工程的抗震; 水下隧道施工中的灾害控制关键技术; 2.水下隧道的修建关键技术; 3.隧道及地下工程施工中的不良地质超前预报; 4.隧道及地下工程的可持续发展研究; 5.既有隧道的健康诊断及病害维修; 6.盾构隧道建设对环境的影响和控制; 7.盾构和 TBM 施工技术的新进展; 8.城市地铁隧道规划、设计与施工新技术; 9.工程实例及其他。

论文出版及要求: 会议论文经严格审查后择优在《岩土力学》正刊和增刊上发表, 其他论文将由出版社出版论文集。论文版面一般不超过 7 页。

重要日程 (论文摘要或全文请都发至大会秘书处 dxgcfh@yahoo.com.cn)

1、2011 年 3 月 31 日前提供论文全文 (电子版)

2、2011 年 4 月 30 前发出论文录用通知及修改意见 (限于论文被采用者)

3、2009 年 5 月 31 日前提供修改后的论文全文 (电子版)

大会秘书处联系方式

单 位: 中国岩石力学与工程学会地下工程分会 (山东大学岩土中心)

联系人: 黄倩 刘斌

电 话: 0531-88395428, 88395027 传 真: 0531-88395984

E-mail: dxgcfh@yahoo.com.cn 网 址: www.geo.sdu.edu.cn

中国岩石力学与工程学会地下工程分会

2011 年 12 月 30 日