

小净距交叉隧道爆破振动响应研究

赵东平, 王明年

(西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 新建隧道从既有公路隧道上方穿过, 在空间上形成交叉隧道。上下隧道最小净距为 8.1 m, 为评价新建隧道爆破施工对既有公路隧道结构的影响, 进行了数值模拟研究。结果表明: 当新建隧道在距离隧道交叉点 10 m 以外位置以全断面法爆破施工时, 下方既有公路隧道仅受到较小的影响; 当其在距离交叉点 10 m 以内位置以全断面法爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌振动速度超标, 而采用台阶法爆破施工时, 新建隧道可安全通过。

关键词: 小净距; 交叉隧道; 爆破振动; 振动速度

中图分类号: U455.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2007)01-0116-04

作者简介: 赵东平(1979-), 男, 黑龙江嫩江人, 博士研究生, 主要从事地下工程及理论方面的研究。E-mail: dpingzhao@163.com。

Study on influence of blasting vibration on cross tunnels with small clearance

ZHAO Dong-ping, WANG Ming-nian

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A new tunnel was built to cross over the existing tunnel. The smallest clearance was 8.1 m between the upper and lower tunnels. The effect of blasting that the newly-built tunnel exerted on the existing tunnel structure was evaluated by numerical simulation method. It was indicated that when the rock was blasted with the full face method at a distance of more than 10 m to the cross point, the impact acting on the existing tunnel was relatively small. On the other hand, when the distance was less than 10 m, the vibration speed of the second lining of the existing tunnel exceeded the standard. While the rock was blasted with stepped method, the new tunnel could cross over the existing tunnel safely.

Key words: small clearance; cross tunnel; blasting vibration; vibration speed

0 引言

新建隧道上穿既有公路隧道目前国内外已有少量的工程案例报道^[1-2], 如深圳地铁重叠隧道, 日本的六月镇新干线交叉隧道。但上穿隧道对既有公路隧道的爆破振动响应研究开展较少, 本文以正在规划的大坪山交叉隧道为依托分析上穿隧道爆破施工时对既有公路隧道的影响。福厦线大坪山铁路隧道上穿既有公路隧道, 在交叉点处新建铁路隧道的底板距离下方既有公路隧道拱顶的设计最小净间距为 8.1 m, 仅为 0.7 倍洞跨。交叉处工程地质情况为 III 级围岩。用两种工法模拟上穿隧道爆破施工, 即铁路隧道掌子面位于交叉点处 (以下简称 A 处) 和距离交叉点 10 m 处 (以下简称 B 处) 爆破施工的情况。分析时, 在既有公路隧道交叉处及以外两倍洞跨范围内分别选取了 6 个断面进行振速时程记录。这 6 个断面分别是: 交叉点处, 距离交叉点 4, 8, 14, 18, 20 m 位置, 分析时这些断面依次与 1~6 号断面相对应, 具体如图 1 所示。通过分析各个断面二次衬砌控制点的振速变化情况来确

定铁路隧道爆破施工对既有公路隧道的影响。

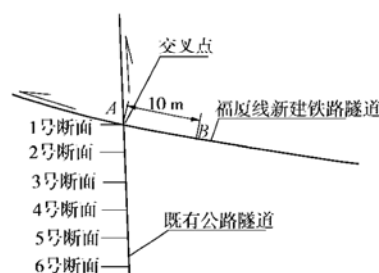


图 1 交叉隧道平面图

Fig. 1 Plan view of the cross tunnel

1 有限元模型

利用 FLAC3D 软件建立有限元模型, 建模范围为: 沿新建隧道方向模型长 40 m, 沿既有公路隧道方向模型长 80 m, 模型上表面节点自由, 其它各面均有

垂直其面的约束。采用八节点实体单元模拟围岩和二次衬砌, 模型总单元数近 20 万个, 计算中模拟了铁路隧道的两种爆破开挖过程。有限元模型如图 2 所示。

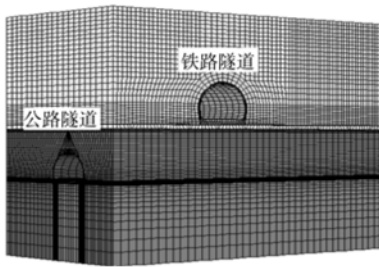


图 2 有限元模型
Fig. 2 The FEM model

1.1 计算参数

计算中围岩及混凝土的物理力学参数见表 1。

表 1 有限元分析参数表

Table 1 Parameters for finite element analysis

围岩级别	弹性模量/GPa	泊松比	内摩擦角/(°)	黏聚力/MPa	密度/(kg·m ⁻³)
III	6	0.25	42.5	1.5	2300
C30 混凝土	31	0.20	—	—	2500

1.2 加载区域与爆破荷载

全断面法及台阶法爆破加载区在掌子面及一个开挖循环周边, 荷载以压力形式均布作用在洞室壁上, 方向垂直于边界面。爆破荷载可简化为具有线性上升段和下降段的三角形荷载, 根据文献[3]上升段加载时间取 10 ms, 卸载时间取 80 ms, 总计算时间取 150 ms。爆破荷载的应力最大值 $P_{\max}$ 采用下式^[4]求解:

$$P_{\max} = \frac{139.97}{Z} + \frac{844.81}{Z^2} + \frac{2154}{Z^3} - 0.8034 \quad , \quad (1)$$

式中, $Z = R/Q^{1/3}$ 为比例距离^[5], 其中, R 为炮眼至荷载作用面的距离 (m), Q 为炮眼装药量 (kg), 本次计算的加载曲线如图 3 所示。

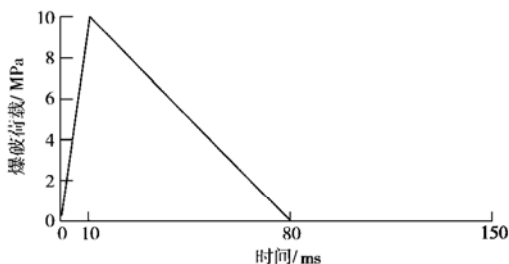


图 3 爆破荷载历程
Fig. 3 Time history of blasting load

1.3 边界条件与阻尼

采用 FLAC3D 进行动力分析时, 在有限元的边界采种了吸收边界^[6]条件, 该边界条件可以用 APPLY 命令和适当的关键词施加于有限元边界面上。本次计算采用比较通用的瑞利 (Rayleigh) 阻尼, 根据文献[7]

临界阻尼比 $\zeta_{\min} = 0.01$, 体系基频 $\omega_0 = 50$ Hz。

2 控制标准

对于混凝土二次衬砌, 质点振动速度是一个重要的控制指标。《爆破安全规程》^[8]规定, 一般建筑物和构筑物的爆破震动安全性应满足安全振动速度的要求。对于交通隧道, 规定安全振动速度^[8]应小于 15 cm/s。

3 计算结果及分析

3.1 全断面法爆破计算结果及分析

(1) B 处全断面法爆破计算结果及分析

大坪山铁路隧道掌子面在 B 处以全断面法爆破施工时, 既有公路隧道各个断面二次衬砌周边控制点 X、Y、Z 方向振速最大值见图 4。既有公路隧道二次衬砌的典型振速时程曲线见图 5。

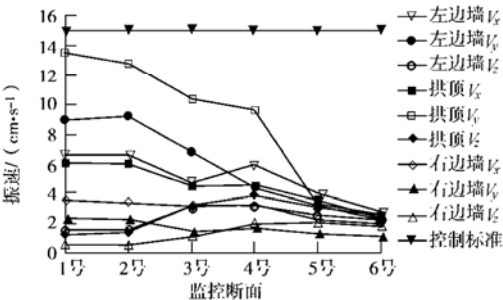


图 4 B 处全断面爆破时衬砌振速最大值
Fig. 4 The maximum vibration speed of the lining under blasting with the full face method at position B

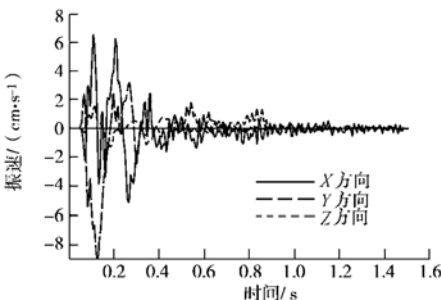


图 5 X, Y, Z 方向振速时程曲线
Fig. 5 Time history of vibration in X, Y and Z directions
由图 4 及图 5 可以得出:

a) 当大坪山铁路隧道在 B 处进行全断面爆破施工时, 下方既有公路隧道二次衬砌的拱顶及左边墙(迎爆侧)受爆破振动的影响较大。隧道二次衬砌周边点 Y 方向 (垂直) 振速分量最大, 其次是 X (铁路隧道的施工前进方向) 方向, Z (既有公路隧道方向) 方向受影响最小。在距离交叉点 14 m 以外位置, 爆破振动对既有公路隧道二次衬砌的影响已经很小。

b) 既有公路隧道二次衬砌振速在 40 ms 以前变化剧烈, 之后很快衰减至一个较小的水平。

c) 既有公路隧道二次衬砌周边点的最大振速为 13.51 cm/s, 发生在 1 号断面拱顶位置 Y 方向。振动速度小于《爆破安全规程》规定 (15 cm/s)。由此可见, 当大坪山铁路隧道在距离交叉点 10 m 以外位置以全断面法爆破施工时, 既有公路隧道是安全的。

(2) A 处全断面法爆破计算结果及分析

大坪山铁路隧道掌子面在 A 处以全断面法爆破施工时既有公路隧道各个断面二次衬砌周边控制点 X、Y、Z 方向振速最大值见图 6。

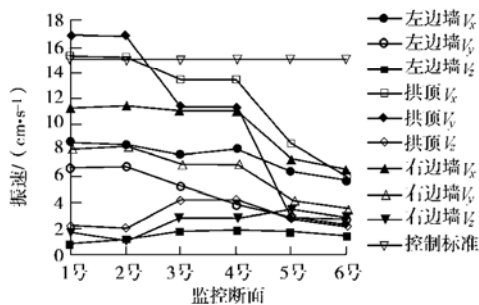


图 6 A 处全断面爆破时衬砌振速最大值

Fig. 6 The maximum vibration speed of the lining under blasting with the full face method at position A

由图 6 可以得出:

a) 当大坪山铁路隧道在 A 处进行全断面爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌的拱顶受爆破振动的影响最大。隧道二次衬砌周边点 Y 方向振速分量最大, 其次是 X 方向, Z 方向受影响最小。总体上, 既有公路隧道二次衬砌受爆破振动影响范围较大。

b) 既有公路隧道 1、2 号断面二次衬砌周边点的最大振速均超出《爆破安全规程》的安全振动速度。可知, 当在交叉点处进行全断面爆破施工时, 既有公路隧道交叉点两侧 8 m 范围内二次衬砌处于不安全状态。

3.2 台阶法爆破计算结果及分析

(1) B 处台阶法爆破计算结果及分析

大坪山铁路隧道掌子面在 B 处上台阶爆破施工时既有公路隧道二次衬砌振速最大值见图 7。在该位置下台阶爆破施工时既有公路隧道二次衬砌振速最大值见图 8。

由图 7 和图 8 可以得出:

a) 当大坪山铁路隧道在 B 处进行上台阶爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌的左边墙 X 方向及拱顶 Y 方向控制点振动速度最大; 当在该位置进行下台阶爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌的左边墙及拱顶 Y 方向控制点振动速度最大。

b) 在该位置进行上台阶及下台阶爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌振速最大值均小于安全振动速度。由此可见, 当大坪山铁路隧道在 B 处以台阶法爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌振速最大值小于安全振动速度。上穿铁路隧道可安全通过。

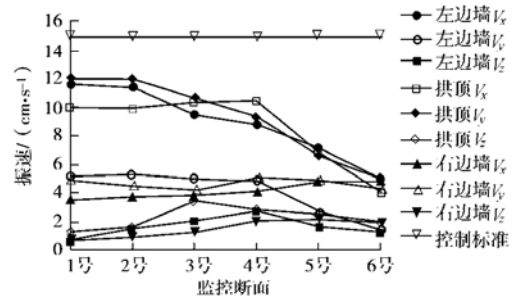


图 7 B 处上台阶法爆破时衬砌振速最大值

Fig. 7 The maximum vibration speed of the lining under blasting on the upper bench at position B

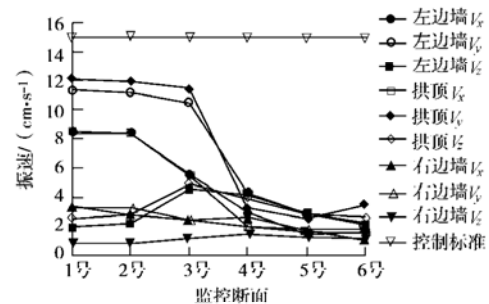


图 8 B 处下台阶法爆破时衬砌振速最大值

Fig. 8 The maximum vibration speed of the lining under blasting on the lower bench at position B

(2) A 处台阶法爆破计算结果及分析

大坪山铁路隧道掌子面在 A 处进行上台阶爆破施工时既有公路隧道二次衬砌振速最大值见图 9; 在该位置进行下台阶爆破施工时既有公路隧道二次衬砌振速最大值见图 10。

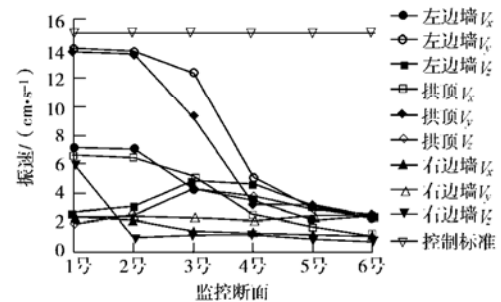


图 9 A 处上台阶法爆破时衬砌振速最大值

Fig. 9 The maximum vibration speed of the lining under blasting on the upper bench at position A

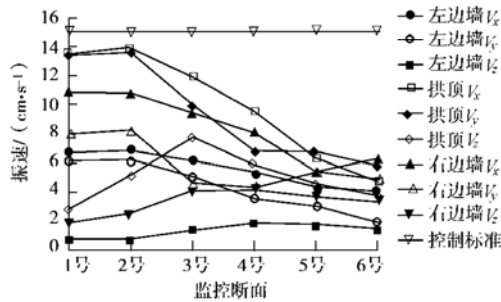


图 10 A 处下台阶法爆破时衬砌振速最大值

Fig. 10 The maximum vibration speed of the lining under blasting on the lower bench at position A

由图 9 和图 10 可以得出:

a) 当大坪山铁路隧道在 A 处进行上台阶爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌的拱顶及左边墙受爆破振动的影响显著; 而在该位置进行下台阶爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌的拱顶及右边墙受爆破振动的影响显著。

b) 当大坪山铁路隧道在交叉点处采用台阶法爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌各个断面控制点振动速度均小于规范值。上穿铁路隧道可安全通过。

4 结 论

(1) 当大坪山铁路隧道掌子面在距离交叉点 10 m 以外位置采用全断面法爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌各个断面控制点振动速度均在规范允许的范围内, 因此能够保证既有公路隧道的安全; 而在交叉点处采用全断面法爆破施工时, 既有公路隧道位于交叉点两侧 8 m 范围内二次衬砌混凝土振速大于《爆破安全规程》规定的安全振速。说明大坪山铁路隧道在交叉处的全断面法爆破施工将使既有公路隧道在交叉点两侧 8 m 范围内的拱顶衬砌可能出现受拉破坏, 既有公路隧道结构不安全。

(2) 当大坪山铁路隧道掌子面在距离交叉点 10 m 位置以及在交叉点正上方以台阶法爆破施工时, 既有公路隧道二次衬砌各个断面控制点振动速度均在规范允许的范围内。

(3) 由以上分析可知, 新建隧道在距离交叉点 10 m 以外位置采用全断面法爆破施工; 在距离交叉点 10 m 以内时, 采用台阶法爆破施工, 可以保证既有公

路隧道的安全。

(4) 由于最大振速多出现在拱顶并且多出现在 X 方向 (铁路隧道施工前进方向) 及 Y 方向 (垂直), 故施工监测时, 振速监测点应布置在既有公路隧道拱部且至少应监测两个方向的振速。

参考文献:

- [1] 王明年, 潘小马, 等. 邻近隧道爆破振动响应研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(3): 412 - 414. (WANG Ming-nian, PAN Xiao-ma, et al. Study of blasting vibration influence on close-spaced tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(3): 412 - 414. (in Chinese))
- [2] 刘国华, 王振宇. 爆破荷载作用下隧道动态响应与抗爆分析[J]. 浙江大学学报, 2004, 38(2): 204 - 209. (LIU Guo-hua, WANG Zhen-yu. Dynamic response and blast-resistance analysis of a tunnel subjected to blast loading[J]. Journal of Zhejiang University, 2004, 38(2): 204 - 209. (in Chinese))
- [3] 孙 均, 候学渊. 地下结构[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 696 - 697. (SUN Jun, HOU Xue-yuan. Underground structure[M]. Beijing: Science Press, 1991: 696 - 697. (in Chinese))
- [4] HSN YU LOW, HONG HAO. Reliability analysis of reinforced concrete slabs under explosive loading[J]. Structural Safety, 2001, 23: 157 - 178.
- [5] 王文龙. 钻眼爆破[M]. 北京: 北京煤炭工业出版社, 1984: 177 - 179. (WANG Wen-long. Drill hole and blast[M]. Beijing: Coal Industry Publishing House, 1984: 177 - 179. (in Chinese))
- [6] 刘 波, 韩彦辉. FLAC 原理、实例与应用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005: 127 - 131. (LIU Bo, HAN Yan-hui. Principle, examples and applications of FLAC[M]. Beijing: China Communications Press, 2005: 127 - 131. (in Chinese))
- [7] 潘小马. 邻近隧道施工对既有隧道的影响[D]. 成都: 西南交通大学, 2002: 26 - 27. (PAN Xiao-ma. Influence of a new tunnel construction on the adjacent existing tunnel[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2003: 26 - 27.)
- [8] GB6722—86 爆破安全规程[S]. 1987: 21 - 23. (GB6722—86 Blasting safety regulation[S]. 1987: 21 - 23. (in Chinese))