

# Research on Blasting Shock Absorption Technology of Near Tunnel

Junxia Xiang

College of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

## Abstract

Combined with the actual situation of the expansion and reconstruction project of The Middle Liangshan Tunnel of Chengdu-Chongqing Expressway close to the existing Old Chengdu-Yuzhong Liangshan tunnel, by using ANSYS numerical analysis and field monitoring, the shock absorption technology of near tunnel blasting is studied. The research found that changing the location of the cutout and adding shock absorption holes can effectively reduce the impact of vibration on the near tunnel. The shock absorption effect is best when the cut hole is away from the shock absorption holes. Therefore, the paper puts forward the corresponding shock absorption measures to effectively ensure the safety of the operation of near tunnel and the safety of the construction of new tunnels.

## Keywords

near tunnel; blasting control; numerical simulation; shock absorption holes

# 近接隧道爆破减震技术研究

向君霞

重庆交通大学土木工程学院, 中国·重庆 400074

## 摘要

结合中国成渝高速中梁山隧道扩容改造工程近接既有老成渝中梁山隧道的工程实际情况, 利用 ANSYS 数值分析和现场监测, 对近接隧道爆破减震技术进行了研究。研究发现改变掏槽眼位置, 加设减震孔能有效的减少近接隧道的震动影响。掏槽眼远离减震孔时, 减震效果最好。因此, 论文提出相应的减震措施, 有效的保证近接隧道运行安全和新建隧道的施工安全。

## 关键词

近接隧道; 爆破控制; 数值模拟; 减震孔

## 1 引言

随着中国国民经济的高速发展, 中国新建铁路、公路隧道的等级、规模、数量逐年增长。交通运输能力的不足成为制约经济发展的一个重要因素, 这造成了新建隧道靠近既有小净距平行隧道或上下交叉隧道等形式的地下近接工程越来越多<sup>[1]</sup>。

近接隧道施工围岩扰动次数多, 隧道的开挖使围岩应力产生重分布, 近接隧道在其修建时已经改变其围岩初始应力场, 新建隧道的开挖会再次扰动围岩的应力场, 从而对围岩的稳定性产生很大的影响, 对施工造成巨大的安全隐患<sup>[2]</sup>。

通过改变震动波的传播途径来控制新建隧道对既有隧道的影响, 对新建隧道施工的爆破减震控制技术进行研究, 为该隧道及类似近接隧道施工提供参考依据。

## 2 工程概况

中梁山隧道扩容改造工程是解决主城与西部城区交通的重要民生工程, 左线长 3233m, 右线长 3065m。其穿越素有西南地区地质博物馆的中梁山山脉, 包含煤层、采空区、岩溶、断层、瓦斯及涌水突泥等诸多特殊不良围岩地质情况, 加之紧邻高病害既有隧道, 其施工风险大、难度高<sup>[3]</sup>。

## 3 数值模拟分析

数值模拟分析基于 ANSYS/LS-DYNA 有限元软件, 通过后处理软件 LS-PREPOST 输出得到数值模拟的结果, 根据数值模拟中对掏槽眼位置、减震孔的加设和减震孔与掏槽眼位置的三种措施进行了分析。

### 3.1 计算模型

论文的主要研究目的在于分析新建隧道在爆破施工过程中对近接隧道稳定性的影响,在计算前作如下假设。

- (1) 新建隧道不考虑爆破震动的影响。
- (2) 只考虑新建隧道中所装炸药对近接隧道的影响。
- (3) 模型简化为采用全断面开挖。
- (4) 近接隧道运行时间长达十几年,故可认为只由二次衬砌承担全部荷载。

模型边界条件:考虑现场实际情况,左右边界上加水平约束,下边界上加全约束,上边界为自由边界。在实际情况下,爆破后应力波向各个方向传播,不存在应力波反射的情况,所以在模型中施加无反射边界条件,以保证爆破数值模拟与实际情况一致<sup>[4]</sup>。

### 3.2 计算参数

#### 3.2.1 岩石材料模型

\*MAT\_Johnson\_Holmquist\_Concret 简称 H-J-C,主要用于高应变、大变形下的岩石和混凝土材料的模拟。H-J-C 模型的对应参数如表 1 所示。

表 1 围岩模型材料参数

$\rho(kg/m^3)$	$G(GPa)$	$A$	$B$	$C$
2560	14.1	0.79	1.60	0.007
$N$	$f'_c(MPa)$	$T(MPa)$	$\epsilon_0$	$EF_{min}$
0.61	48	4	1	0.01
$SF_{max}$	$P'_c(MPa)$	$\mu_c$	$P'_l(GPa)$	$\mu_l$
7.0	16	0.001	0.8	0.1
$D_1$	$D_2$	$K_1(GPa)$	$K_2(GPa)$	$K_3(GPa)$
0.04	1.0	85	-171	208

#### 3.2.2 层理材料参数

为了消除模拟过程的不确定因素,应简化计算。假定层理和炮泥为弹塑性体,选取与应变率无关的 \*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC 材料模型。层理、炮泥材料参数如表 2 所示。

表 2 层理和炮泥材料参数

材料	密度 $\rho(kg/m^3)$	弹性模量 $E(GPa)$	泊松比 $\mu$	屈服应力 $\sigma_s(MPa)$
层理	2100	800	0.3	20.7
炮泥	1850	0.16	0.38	5

#### 3.2.3 炸药材料模型

在 LS-DYNA 中,起爆点和起爆位置采用关键字 \*INITIAL\_DETONATION 定义,高性能炸药材料模型通常采用 \*MAT\_HIGH\_EXPLOSIVE\_BURN 来定义,炸药爆炸后的爆破压力  $P$  由状态方程 Jones-Wilkins-Lee (简称 JWL) 求得 JWL 方程表达了爆炸过程中能量的转化情况,方程的表达式为:

$$P_{eos} = A \left( 1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left( 1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E_0}{V}$$

式中,  $A$ 、 $B$ 、 $R_2$ 、 $\omega$  为与炸药性质有关的常数;  $V$  为相对体积;  $E_0$  为初始内能密度。

论文中采用的炸药材料及其状态方程参数如表 3 所示。

表 3 炸药材料及其状态方程参数

密度 $\rho(kg/m^3)$	爆速 $D(m/s)$	CJ 压力 $(GPa)$	$A$ $(GPa)$	$B$ $(GPa)$	$R_1$	$R_2$	$\omega$	$E(GPa)$
1300	4500	0.185	540.9	9.4	4.2	0.9	0.3	7

## 4 计算结果分析

### 4.1 掏眼位置的变化

根据萨道夫斯基震动波衰减公式  $V=K(Q^{1/3}/R)^a$ ,随着爆心距<sup>[5]</sup>的增大震动波的衰减越迅速。因此,在不改变隧道净距的情况下,可通过改变掏槽眼的位置以减小爆破振动对近接隧道的影响,如图 1 所示。

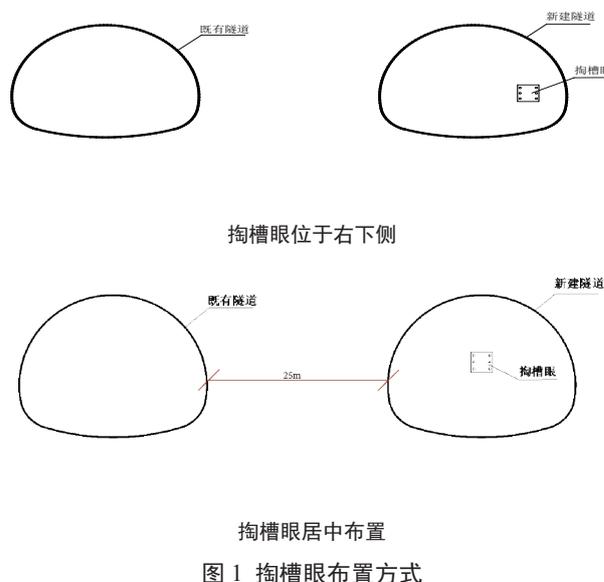


图 1 掏槽眼布置方式

通过选取与新建隧道掌子面对应的近接隧道的衬砌横断面上的 10 个节点进行质点振动速度分析,如图 2 所示。

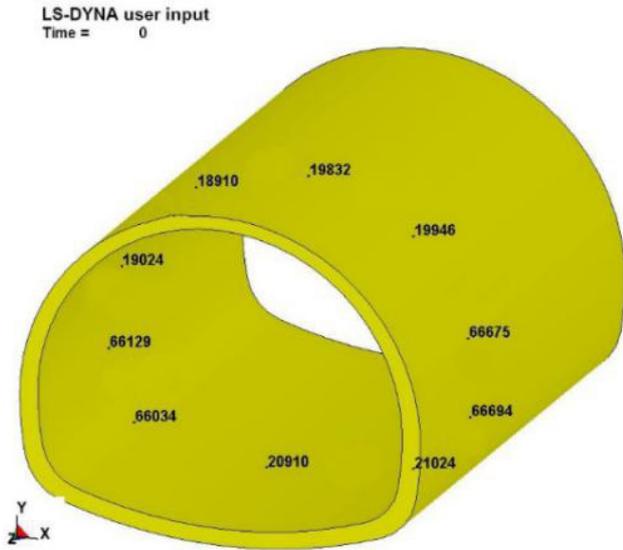


图2 衬砌横断面的节点编号图

各质点在掏槽眼中布置时, 掏槽眼右下侧布置时各质点的振动速度, 如表4所示。

表4 振动速度

质点编号	震速 (cm/s)	掏槽眼居中布置时质点合速度	掏槽眼右下侧布置时质点合速度
19832	1.495472	1.495472	1.465024
19946	1.227248	1.227248	1.550736
66675	2.68224	2.68224	1.950608
66694	2.669568	2.669568	1.952544
21024	0.91344	0.91344	1.40096
20910	1.31032	1.31032	1.477696
66034	1.339184	1.339184	1.533488
66129	1.30064	1.30064	1.668656
19024	0.998272	0.998272	1.679216
18910	1.26896	1.26896	1.331616

### 4.2 加设减震孔

加设减震孔的目的在于分析新建隧道在施工过程中, 加设减震孔对近接隧道的影响, 如图3所示。

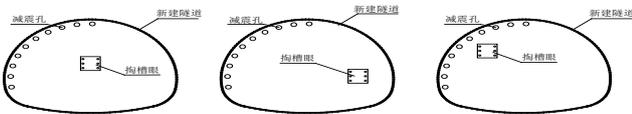


图3 加设减震孔

各质点在掏槽眼中布置时和加设减震孔时各质点的振动速度, 如表5所示。

表5 质点的振动速度

质点编号	震速 (cm/s)	掏槽眼居中布置时质点合速度	加设减震孔时质点合速度
19832	1.495472	1.495472	0.5236704
19946	1.227248	1.227248	0.3911424
66675	2.68224	2.68224	0.4704832
66694	2.669568	2.669568	0.449504
21024	0.91344	0.91344	0.38852
20910	1.31032	1.31032	0.2729408
66034	1.339184	1.339184	0.310904
66129	1.30064	1.30064	0.4976928
19024	0.998272	0.998272	0.5624432
18910	1.26896	1.26896	0.3423552

### 4.3 改变掏槽眼与减震孔的相对位置

利用 ANSYS/LS-DYNA 建模, 分析当掏槽眼和减震孔的相对位置不同时的减震效果, 如图4所示。



图4 改变掏槽眼和减震孔的相对位置

得出各质点在掏槽眼靠近减震孔时、掏槽眼居中时、掏槽眼远离减震孔时各质点的振动速度, 如表6所示。

表6 质点的振动速度

质点编号	震速 (cm/s)	掏槽眼靠近减震孔	掏槽眼居中	掏槽眼远离减震孔
19832	0.9803024	0.9803024	0.5236704	0.231176
19946	0.9908096	0.9908096	0.3911424	0.2252624
66675	0.8117296	0.8117296	0.4704832	0.2516448
66694	1.0206592	1.0206592	0.449504	0.2217952
21024	0.7290272	0.7290272	0.38852	0.1779008
20910	0.5743056	0.5743056	0.2729408	0.1969264
66034	0.7391648	0.7391648	0.310904	0.1723357
66129	0.6368032	0.6368032	0.4976928	0.208208
19024	0.9391536	0.9391536	0.5624432	0.2896256
18910	0.8613616	0.8613616	0.3423552	0.2027168

根据表4、5、6质点采用不同控制措施的振动合速度, 绘制出相应的质点振动速度曲线图, 如图5所示。

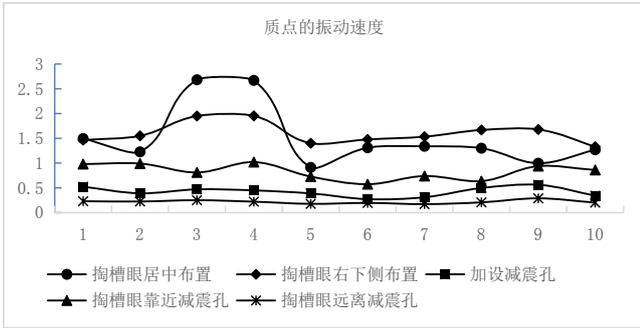


图 5 质点振动速度曲线图

由图 5 可知，当掏槽眼居中布置时，质点的的振动速度最大，且位于迎爆侧。当采取相应的爆破控制措施时，当只设置掏槽眼时，改变掏槽眼位置对近接隧道振动影响减小的作用不大；当设置减震孔时，当掏槽眼远离减震孔时对近接隧道振动影响减小的作用最有效。

#### 4.4 近接隧道爆破振动监测

对中梁山隧道扩容工程现场做试爆实验，同时对近接隧道进行爆破振动监测<sup>[6]</sup>，与数值模拟分析进行比较。测点布置原则：为了准确的研究爆破对近接隧道的振动影响，测点布置在掘进隧道掌子面与相邻隧道对应桩号的断面后面，具体的位置是隧道迎爆侧边墙附近。测点布置如图 6 所示。



图 6 测点布置图

通过在中梁山隧道扩容工程现场做试爆实验，所得的质点震动速度峰值如表 7 所示。

表 7 质点震动速度峰值

测点	V(cm/s)	Q(kg)	R(m)
1	0.4237	5.28	86.15
2	0.6241	5.28	75.07
3	0.8416	5.28	59.57
4	2.6027	5.28	29.03
5	2.8821	5.28	27.21
6	2.7401	5.28	25.1

7	2.2901	5.28	34.5
8	1.5424	5.28	40.51
9	1.1336	5.28	47.29
10	0.6905	5.28	64.57

由上面试爆实验所得数据，质点较大震动速度位于离震源较近位置，且与数值模拟分析中所得质点震动速度较接近。因数值模拟分析对围岩进行了简化，实际工程现场复杂，没有充分考虑复杂的地形地质、地下水、节理断层等实际情况，故存在一定差异。

## 5 结语

论文以老成渝中梁山隧道扩容工程为依托，利用 ANSYS LS-DYNA 数值模拟分别对掏槽眼的位置、加设减震孔、改变掏槽眼与减震孔的相对位置进行对近接隧道受震程度的研究。得出以下结论。

- (1) 改变掏槽眼的位置对减小近接隧道受震程度有一定作用，但效果不大。
- (2) 加设减震孔能有效的减少对近接隧道受震程度的影响。
- (3) 当改变掏槽眼和减震孔的相对位置时，掏槽眼靠近减震孔时，减震效果最差；掏槽眼远离减震孔时，效果最好。

因此，在新建隧道施工过程中，可采取加设减震孔，改变掏槽眼和减震孔的相对位置等措施来保证老隧道正常运营的安全。

## 参考文献

- [1] 李保珍. 露天深孔爆破地震效应的研究 [J]. 矿山研究院季刊, 1989(04):32-37.
- [2] 韩子荣. 金川矿区露天、地下联合开采的爆破震动安全评价 [J]. 矿冶工程, 1985(01):6-11.
- [3] 于亚伦. 爆破震动质点轨迹的分析 [J]. 金属矿山, 1981(06):25-36.
- [4] 李保珍, 王安迪. 高程差与爆破震动强度及其衰减规律之间关系的探讨 [M]. 深圳: 海天出版社, 1977:778-783.
- [5] 周同岭, 杨秀甫, 翁家杰. 爆破地震高程效应的实验研究 [J]. 建井技术, 1998(03):31-35.
- [6] 张志呈. 论工程震动的方向性 [J]. 有色金属, 1985(05):35-40.