

# 城市大跨度隧道爆破对地面建筑物影响的研究\*

姜德义<sup>1</sup> 教授 侯亚彬<sup>1</sup> 任松<sup>1</sup> 副教授 李付胜<sup>1</sup> 陈玉<sup>2</sup>

(1 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030

2 重庆市勘测院, 重庆 400020)

学科分类与代码: 620.3020

中图分类号: X947

文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50334060); 国家自然科学基金资助(50674108);

国家创新研究群体基金(50621403)。

**【摘要】** 以嘉华隧道工程开挖为研究对象, 应用安全系统工程中的事故树法对爆破振动影响区域内的地面建筑物进行定性分析, 找出影响地面建筑物稳定的最小割集; 求出各基本事件的结构重要度, 为后续监测和施工方案的调整提供理论依据。结合现场实际情况, 制定合理的爆破地震波的振动监测方案。同时, 对爆破振动监测结果的回归分析, 确立振动传播衰减规律。分别从振动速度和峰值频率两个方面对地面建筑物的安全性进行评价。笔者研究成果对指导隧道工程开挖爆破施工和保证地面建筑物安全有重要指导作用。

**【关键词】** 公路隧道; 大跨度; 事故树分析; 爆破监测; 频率分析

## Study on the Influence of Urban Large-span Tunnel Blasting on Ground Buildings

JIANG De-yi<sup>1</sup>, Prof. HOU Ya-bin<sup>1</sup> REN Song<sup>1</sup>, Assoc. Prof. LI Fu-sheng<sup>1</sup> CHEN Yu<sup>2</sup>

(1 Key Laboratory for Exploitation of Southwestern Resources & Environmental Disaster

Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China

2 Chongqing Survey Institute, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** Based on the excavation of Jiahua tunnel project, the damage status of the ground buildings in the blast vibration area was qualitatively analyzed by using the method of fault tree analysis in safety system engineering, and the minimal cut sets affecting stability of the ground buildings were found out. The structure importance of each basic event was calculated, which provided theoretical basis for the following monitoring and the adjustment of construction plan. According to the actual condition on the site, the reasonable vibration monitoring plan for blasting seismic wave was established. Meanwhile, the attenuation laws of explosion vibration propagation were put forward by use of regression analysis on the monitoring results of blasting vibration. Finally, safety assessment was made on the ground buildings from vibration velocity and peak frequency. This study plays an important role in guiding the excavation blasting construction of the tunnel project and assuring the safety of ground buildings.

**Key words:** highway tunnel; large-span; fault tree analysis; blasting monitoring; frequency analysis

### 0 引言

随着我国交通建设的发展,城市化进程的加快,城市公路隧道工程的建设也进入一个新的时期。由于城市公路隧道施工地点多在城市中心地带,人口众多,周围建(构)筑物密集,使得施工难度增大,施工过程中会对周围环境的安全产生影响<sup>[1]</sup>,例如:

厦门市仙岳路至演武大桥某隧道工程开挖过程中引起临近建筑物墙壁产生裂缝及窗户玻璃被振动破坏<sup>[1]</sup>;

宝成铁路复线广元皇泽寺隧道施工爆破中对其附近建筑“女皇山庄”产生轻度损坏现象<sup>[2]</sup>;

浙江省东阳市横店集团在引水隧道施工时,瑶村发生边坡崩塌,造成3间砖房被毁<sup>[3]</sup>;

广州地铁一号线林和村暗挖区间爆破对50#房屋造成一定影响<sup>[4]</sup>。

人们越来越关注爆破的安全问题<sup>[5]</sup>,特别是爆破振动对周围建(构)筑物的影响。因此,在隧道开挖施工时,为了保证施工安全和施工质量以及地面建(构)筑物的安全,必须对隧道开挖爆破引起的爆破振动进行信息化施工监测,以此来指导隧道工程爆破参数的设计和后续施工<sup>[6]</sup>。

关于隧道施工爆破对邻近建(构)筑物的影响及安全性评估,国内外都做过一些现场监测和分析研究,主要是从振速方面对建筑物的安全性进行评价。但是,结合安全系统工程中事故树分析方法对地面建筑物的安全情况进行分析的文章还很少见。

笔者以嘉华隧道施工爆破为研究对象,在隧道施工进入密集建筑物之前,通过安全系统工程的事树分析方法对隧道爆破振动可能引起的地面建筑物受损的情况进行分析,利用结构重要度近似计算公式,给出基本事件的影响因子排序。为后续施工提供理论依据,并通过对现场施工爆破地震波的振动监测,研究其地表振动特性、变化规律。总体框架示意图如图1所示。

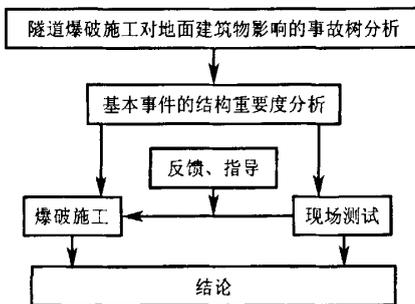


图1 总体评价流程图

### 1 工程概况

嘉华隧道是重庆市城市总体规划中南北快速干道——嘉华大桥及南北引道工程的一部分。嘉华大桥及南北引道工程位于重庆市主城区内,行经渝北区、江北区、渝中区及九龙坡区,是重庆市城市总体规划中的南北快速干道。隧道全长1 393 m,双线双洞,隧道单洞净跨12.25 m,洞高7 m,两洞距43.75 m,里程桩号为K5+820~K7+213。隧道进洞口在化龙上村,出洞口在黄沙溪菜袁路加油站,纵坡2.86%,设计高程222.495~262.087 m,高差39.592 m。

根据《爆破安全规程》(GB6722—2003)的规定要求,在施工爆破掘进该隧道建筑群段的过程中,需要对其房屋地面质点振动速度进行监测,在监测数据的指导下进行爆破施工作业,以保证地面建筑的安全。

### 2 爆破振动对地面建筑物影响

根据顶上事件确定原则,取“地面建筑受损”作为顶上事件,分析引起顶事件发生的最直接的、充分和必要的原因。采用事故发生逻辑推理法往下分析,找出隧道施工爆破时产生的振动效应对地面建筑影响的相关因素并建立以逻辑门符号表示的地面建筑受损事故树,如图2所示。

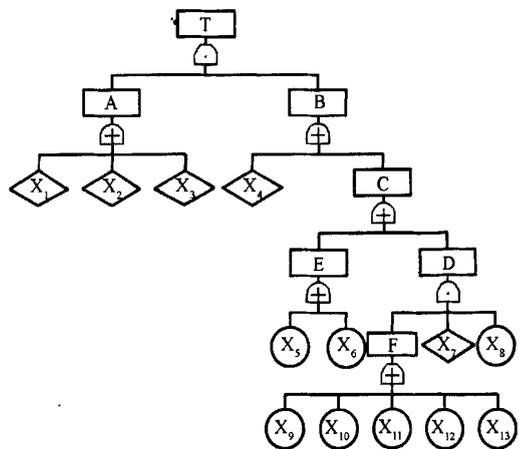


图2 事故树分析图

该事故树共考虑了13个不同的底事件,各符号所代表的事件如下所示:

T—地面房屋受损;A—房屋本身因素;B—爆破因素;C—振速超标;D—设计因素;E—现场操作因素;F—设计失误;X<sub>1</sub>—房屋使用时间过长;X<sub>2</sub>—缺

少维护;  $X_3$ —抗震能力差;  $X_4$ —爆破频率接近房屋固有频率而产生共振;  $X_5$ —实际总装药量过大;  $X_6$ —单段装药量过大;  $X_7$ —设计审核失误;  $X_8$ —按照错误设计爆破;  $X_9$ —初始抵抗过大;  $X_{10}$ —设计药量过大;  $X_{11}$ —爆心距过小;  $X_{12}$ —起爆方案不合理;  $X_{13}$ —爆破延时过短。

## 2.1 事故树的最小割集

定性分析是从事故树结构出发,分析各底事件的发生对顶事件发生所产生的影响程度。定性分析目的是找出事故树的所有最小割集,发现系统故障或导致顶事件发生的全部可能原因,并定性地识别系统的薄弱环节。

所谓割集是导致顶上事件发生的基本事件的集合,即一组基本事件的发生能够造成顶上事件的发生,这组基本事件就称为割集。最小割集的求取方法有行列式法、布尔代数法等。以下简要介绍利用布尔代数进行上图的事故树计算:

$$T = A \cdot B =$$

$$(X_1 + X_2 + X_3)(X_4 + C) =$$

$$(X_1 + X_2 + X_3)(X_4 + E + D) =$$

$$(X_1 + X_2 + X_3)[X_4 + X_5 + X_6 + X_7 X_8 (X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13})] = X_1 X_4 + X_2 X_4 + X_3 X_4 + X_1 X_5 + X_2 X_5 + X_3 X_5 + X_1 X_6 + X_2 X_6 + X_3 X_6 + X_1 X_7 X_8 X_9 + X_2 X_7 X_8 X_9 + X_3 X_7 X_8 X_9 + X_1 X_7 X_8 X_{10} + X_2 X_7 X_8 X_{10} + X_3 X_7 X_8 X_{10} + X_1 X_7 X_8 X_{11} + X_2 X_7 X_8 X_{11} + X_3 X_7 X_8 X_{11} + X_1 X_7 X_8 X_{12} + X_2 X_7 X_8 X_{12} + X_3 X_7 X_8 X_{12} + X_1 X_7 X_8 X_{13} + X_2 X_7 X_8 X_{13} + X_3 X_7 X_8 X_{13}$$

通过分析该事故树 13 个基本事件,可以求得下列 24 个最小割集,即

$$K_1 = \{X_1, X_4\} \quad K_2 = \{X_2, X_4\} \quad K_3 = \{X_3, X_4\}$$

$$K_4 = \{X_1, X_5\} \quad K_5 = \{X_2, X_5\} \quad K_6 = \{X_3, X_5\}$$

$$K_7 = \{X_1, X_6\} \quad K_8 = \{X_2, X_6\} \quad K_9 = \{X_3, X_6\}$$

$$K_{10} = \{X_1, X_7, X_8, X_9\} \quad K_{11} = \{X_2, X_7, X_8, X_9\}$$

$$K_{12} = \{X_3, X_7, X_8, X_9\} \quad K_{13} = \{X_1, X_7, X_8, X_{10}\}$$

$$K_{14} = \{X_2, X_7, X_8, X_{10}\} \quad K_{15} = \{X_3, X_7, X_8, X_{10}\}$$

$$K_{16} = \{X_1, X_7, X_8, X_{11}\} \quad K_{17} = \{X_2, X_7, X_8, X_{11}\}$$

$$K_{18} = \{X_3, X_7, X_8, X_{11}\} \quad K_{19} = \{X_1, X_7, X_8, X_{12}\}$$

$$K_{20} = \{X_2, X_7, X_8, X_{12}\} \quad K_{21} = \{X_3, X_7, X_8, X_{12}\}$$

$$K_{22} = \{X_1, X_7, X_8, X_{13}\} \quad K_{23} = \{X_2, X_7, X_8, X_{13}\}$$

$$K_{24} = \{X_3, X_7, X_8, X_{13}\}$$

## 2.2 结构重要度分析

各基本事件或最小割集在顶事件发生的事故树

结构上的重要度称为结构重要程度,即各基本事件或最小割集的发生对顶事件发生的贡献程度。

由于不需考虑系统事件的发生概率,通过事故树定性分析后,只计算事故树的结构重要度系数并对系数进行排序,就可知道底事件对顶事件的影响大小的顺序。基本事件的结构重要度可用以下近似判别式计算:

$$I(i) = \sum_{X_i \in K} \frac{1}{2^{n-1}} \quad (1)$$

式中,  $I(i)$ ——基本事件  $X_i$  重要度系数近似判断值;

$K$ ——包含  $X_i$  的割集;

$n$ —— $X_i$  所在最小割集中基本事件的总数。

根据结构重要度判定的基本法则,不难得出其部分结构重要系数  $I\varphi(1) = I\varphi(2) = I\varphi(3) > I\varphi(4) = I\varphi(5) = I\varphi(6); I\varphi(7) = I\varphi(8) > I\varphi(9) > I\varphi(10) > I\varphi(11) > I\varphi(12) > I\varphi(13)$ 。因此,只要比较  $X_1, X_4, X_7, X_9$  的大小即可涵盖所有其他基本事件。根据基本事件结构重要度判断式可知:

$$I(1) = \frac{1}{2^{2-1}} \times 3 + \frac{1}{2^{4-1}} \times 5 = 2.215$$

$$I(4) = \frac{1}{2^{2-1}} \times 3 = 1.5$$

$$I(7) = \frac{1}{2^{4-1}} \times 15 = 1.875$$

$$I(9) = \frac{1}{2^{4-1}} \times 3 = 0.375$$

故比较结构重要系数后,可知各基本事件的结构重要顺序:

$$I\varphi(1) = I\varphi(2) = I\varphi(3) > I\varphi(7) =$$

$$I\varphi(8) > I\varphi(4) = I\varphi(5) =$$

$$I\varphi(6) > I\varphi(9) > I\varphi(10) > I\varphi(11) > I\varphi(12) > I\varphi(13)$$

在事故树中有与门关系的需多个条件同时存在,才引发上一级事件发生,该基本事件结构重要度最小,如  $X_9 \sim X_{13}$ 。通过求得的最小割集可以看出:导致房屋受损事故发生的途径有 24 种,发生危险的可能性比较大。

从结构重要顺序可以看出,  $X_1, X_2, X_3$  (即房屋本身的因素) 的结构重要度最大,其次是设计审核和具体施工爆破的因素,最后才是设计本身的因素。

在评价爆破振动对具体房屋的影响时,其本身的各个因素已经确定,分析时可以不加考虑,故可以直接分析振动和频率对地面建筑物的影响。结合隧道施工过程中实际情况,爆破地震效应对于地面建筑物的影响是非常重要的。而在现场施工时控制爆破施工时的总装药量和单段最大装药量是最容易实

施的方法,也是最为行之有效的方法。因此,在隧道进行爆破施工时应根据现场的监测数据及时调整爆破参数和施工方案,最终保证爆破施工过程中地面房屋的安全。

### 3 现场爆破振动监测

#### 3.1 监测目的

为了有效地预测、控制爆破地震,对爆破振动进行测试准确的测试是关键的一步。通过爆破振动测试,可以分析和掌握爆破地震波的特征、传播规律以及对建筑物的影响、破坏机理等,以防止和减少对建筑物的破坏,从而最有效地控制爆破地震波的危害。也可以确定回归预报参数,改善爆破震动预测模型,根据量测结果及时调整爆破参数和施工方法,指导爆破安全作业,从而有效地控制爆破地震效应<sup>[7]</sup>。

#### 3.2 监测系统

根据不同振动现象的特点(频率、幅位和相角),

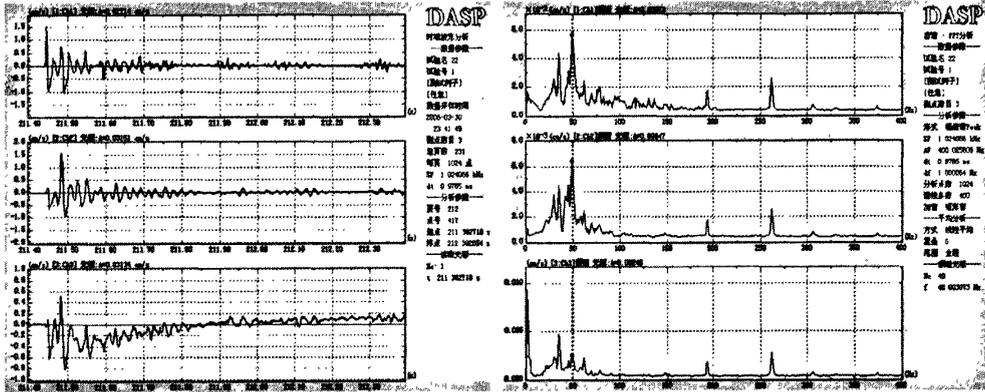


图4 某监测点爆破地震波波形图及频谱图

### 4 爆破振动监测结果分析

嘉华隧道右洞某段爆破施工时,在其上方小区

振动测量方法与仪器的选择上都有所不同。该监测采用了 891 - II型拾振器、INV306 数据采集仪、计算机、打印机等组成监测系统,如图3所示。

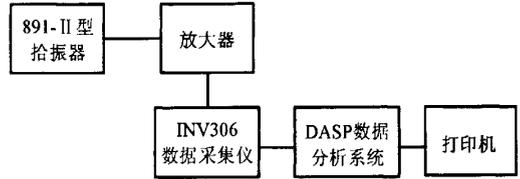


图3 振动测试系统示意图

利用拾振器将振动参数转换成电信号,经过振动测试仪放大、记录振动波形记录后,再用计算机中的分析软件对振动信号进行分析处理或模拟试验。该测试系统中有3个拾振器,分别测量振动速度的水平径向分量  $V_r$ 、水平切向分量  $V_t$  和垂直分量  $V_z$ 。测量过程中数据采集仪自动采集并把相关数据存储到计算机的指定目录中,最后调入 DASP 工程测试软件进行分析。图4是DASP软件分析系统在计算机上显示的某次工程爆破的监测点的爆破地震波在3个方向上的波形图和频谱图。

爆破参数和振动速度监测结果表

测点编号	爆心距 R(m)	爆破参数		振动速度			合速度 (cm/s)
		总装药量 Q(kg)	段最大装药量 Q(kg)	最大垂直分量 (cm/s)	最大水平径向分量 (cm/s)	最大水平切向分量 (cm/s)	
1	93.77	198	20.4	0.841	1.076	0.493	1.452
2	95.47	212	34.2	1.123	0.936	0.972	1.756
3	100.61	198	24.8	0.682	0.693	0.788	1.252
4	102.09	189	24.8	0.602	0.72	0.572	1.099
5	103.69	212	18	0.677	0.558	0.299	0.927

建筑物旁布置测点进行监测,获得 14 组数据,如下表所示。对该段测试数据进行回归分析,为及时调整爆破设计方案,指导后续施工提供有力依据。

续表

测点编号	爆心距 R(m)	爆破参数		振动速度			合速度 (cm/s)
		总装药量 Q(kg)	段最大装药量 Q(kg)	最大垂直分量 (cm/s)	最大水平径向分量(cm/s)	最大水平切向分量(cm/s)	
6	110.38	213	16.7	0.753	0.969	0.698	1.412
7	112.65	214	14.4	0.722	0.868	0.345	1.181
8	114.75	225	15.8	0.611	0.881	0.546	1.203
9	124.14	217	15.4	0.451	0.212	0.372	0.622
10	126.41	213	17.4	0.545	0.665	0.273	0.902
11	126.58	187	16.8	0.432	0.243	0.206	0.537
12	128.88	212	20.8	0.633	0.565	0.323	0.908
13	130.80	24.1	14.4	0.443	0.342	0.224	0.603
14	139.54	198	14.4	0.407	0.455	0.278	0.671

### 4.1 爆破参数回归分析

目前,国内外比较公认的预测爆破振动强度的经验公式是萨道夫斯基的经验公式,我国长期以来在爆破振动安全距离与质点振动计算方面也采用该公式,并且已编入《爆破安全规程》,其具体形式如下<sup>[8-12]</sup>:

$$V = K \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha \quad (2)$$

- 式中,R——测点至爆破中心的距离,m;
- Q——炸药量(kg),齐发爆破取总装药量,微差爆破或秒差爆破取单段最大装药量;
- V——所测点因爆破引起的振速,cm/s;
- A——爆破地震波衰减系数,与地质地形条件及距爆破中心的距离有关;
- K——与岩石的性质、爆破方法、地形条件等因素有关的系数。

由式(2)可知,在 K,α 值一定的情况下,影响振速 V 的主要因素为单段最大爆破药量 Q,而在一定的岩性条件下,K,α 值又是由多次试验和多点监测结果经回归分析得出的。

经典萨道夫斯基公式可以转化成:

$$\lg V = \lg K + \alpha \lg \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right) \quad (3)$$

即 Y = kx + b 的形式,故可以利用所测得的数据,采用最小二乘法对其进行回归分析<sup>[13]</sup>,求得:

K = 259.22, α = 1.48,  
|r| = 0.794 > r<sub>α</sub>(n - 2) = r<sub>0.05</sub>(12) = 0.532,

故认为在显著水平 0.95 下,回归方程的线性关系是显著的,满足回归精确度要求。

从监测的数据来看,在未进入建筑群段前,在隧道爆破点正上方地面测得的振动速度基本上较大;而进入建筑群段后,通过爆破监测的信息反馈,逐渐

调整装药量使在建筑群房屋地面测得的振动速度值均小于 1.5 cm/s,符合《爆破安全规程》(GB6722—1986)关于砖房地面质点振动速度不得超过 2~3 cm/s 的要求。其信息化爆破施工监测较好地指导了后续阶段隧道的爆破作业。

### 4.2 爆破振动频率分析

爆破地震波的频率与质点振速一样,刚开始迅速衰减,接着衰减就变慢,并且也有出现被放大的情形,不同频率的能量衰减不同,高频成分的能量衰减快于低频。而且炸药爆炸反应的历时较长,激发的地震波频率就较低。强度高、密度大的介质,爆破震动频率较高。

文献[14]研究表明,岩石介质中一般主频率为 10~100 Hz,而人们知道一般建筑物的频率是在 1~10 Hz,因此就容易形成共振,共振对建筑物的危害是致命的。图 5 是嘉华隧道右洞某段爆破地震波主频的散点分布图,通过该图可以发现,爆破地震波的主频是随机的,基本集中在 20~170 Hz 之间,实际上与一次起爆药量和地质结构有着密切的联系。

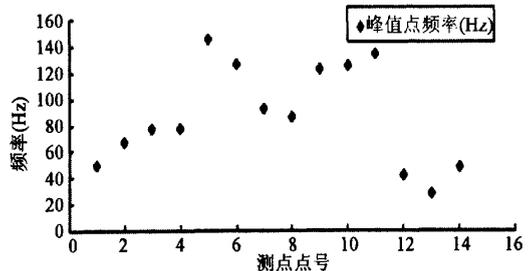


图 5 爆破震动波峰值频率散点图

由统计图可得出爆破地震波主频没有一般在一般建筑物的固有频率范围内,故在隧道爆破过程中地面房屋不会出现共振的现象。故从频率的角度评价地

面建筑物是安全的。

## 5 结 论

1) 利用安全系统工程中的事故树分析方法给出了导致地面建筑受损的最小割集及各基本事件的结构重要度,说明了在施工过程中爆破振动监测的重要性。

2) 把监测结果与该公式预测得到的结果进行了对比,表明可以利用回归公式对爆破振动的进行

预测,为指导后续施工和优化爆破方案,提供了重要依据。

3) 嘉华隧道的该段施工爆破对地面建筑物影响较小,控制点振动速度均在规范允许的范围内,不会对地面建筑物造成损害。

4) 该段施工爆破地面质点振动主振频率段与一般建筑物的频率不形成交集,故可以认为该段爆破的振动频率不会对地面建筑物造成影响。

## 参 考 文 献

- [1] 朱继红. 隧道开挖爆破振动对临近建筑物影响的安全评价[J]. 火炸药学报, 2007, 30(1): 78 ~ 90
- [2] 杨光群, 冯孝杰, 殷建. 宝成铁路复线广元皇泽寺隧道施工中爆破振动对“女皇山庄”影响评价的探讨[J]. 噪声与振动控制, 1996, 16(1): 26 ~ 30
- [3] 金太平. 隧道爆破与边坡崩塌之关系分析[J]. 西部探矿工程, 2006, (4): 179 ~ 180
- [4] 方俊波, 崔天麟. 浅埋地铁区间爆破对地表建筑物的震动影响[A]. 第六届全路工程爆破学术会议论文集[C], 2000: 326 ~ 331
- [5] 刘小春, 谷新建, 李方. 城市控制爆破工程的爆破事故和爆破公害研究[J]. 中国安全科学学报, 2002, 12(6): 44 ~ 47
- [6] 陈庆, 王宏图, 胡国忠等. 隧道开挖施工的爆破振动监测与控制技术[J]. 岩土力学, 2005, 26(6): 964 ~ 967
- [7] 高振儒, 方向, 刘强等. MINI-SEIS 地震仪在爆破振动监测中的应用[J]. 爆破, 2002, 19(1): 81 ~ 83
- [8] GB6722—2003, 爆破安全规程[S], 2003
- [9] 中华人民共和国水利部. 大爆破安全规程[S]. GB13349—1992, 1992
- [10] 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范(SL—1994)[S]. 北京: 水利电力出版社, 1994
- [11] 尹志政, 张家生, 阳生权. 厦门云顶隧道爆破监测与分析[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(9): 109 ~ 112
- [12] 迟明杰, 赵成刚, 杨小林等. 岩溶区隧道爆破开挖地震危害控制的研究[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(9): 68 ~ 71
- [13] 杨大地. 实用数值分析[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2004
- [14] 张志呈. 浅谈评价爆破地震效应的方法和标准[J]. 爆破器材, 1998, 27(3): 32 ~ 35

# 城市大跨度隧道爆破对地面建筑物影响的研究

作者: 姜德义, 侯亚彬, 任松, 李付胜, 陈玉, JIANG De-yi, HOU Ya-bin, REN Song, LI Fu-sheng, CHEN Yu  
作者单位: 姜德义, 侯亚彬, 任松, 李付胜, JIANG De-yi, HOU Ya-bin, REN Song, LI Fu-sheng(重庆大学, 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆, 400030), 陈玉, CHEN Yu(重庆市勘测院, 重庆, 400020)  
刊名: 中国安全科学学报 ISTIC PKU  
英文刊名: CHINA SAFETY SCIENCE JOURNAL  
年, 卷(期): 2008, 18(7)  
被引用次数: 2次

## 参考文献(14条)

1. 朱继红. 隧道开挖爆破振动对临近建筑物影响的安全评价[期刊论文]-火炸药学报 2007(01)
2. 杨光群, 冯孝杰, 殷建. 宝成铁路复线广元皇泽寺隧道施工中爆破振动对“女皇山庄”影响评价的探讨[期刊论文]-噪声与振动控制 1996(01)
3. 金太平. 隧道爆破与边坡崩塌之关系分析[期刊论文]-西部探矿工程 2006(04)
4. 方俊波, 崔天麟. 浅埋地铁区间爆破对地表建筑物的震动影响[会议论文] 2000
5. 刘小春, 谷新建, 李方. 城市控制爆破工程的爆破事故和爆破公害研究[期刊论文]-中国安全科学学报 2002(06)
6. 陈庆, 王宏图, 胡国忠. 隧道开挖施工的爆破振动监测与控制技术[期刊论文]-岩土力学 2005(06)
7. 高振儒, 方向, 刘强. MINI-SEIS地震仪在爆破振动监测中的应用[期刊论文]-爆破 2002(01)
8. GB 6722-2003. 爆破安全规程 2003
9. 中华人民共和国水利部. GB 13349-1992. 大爆破安全规程 1992
10. SL-1994. 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范 1994
11. 尹志政, 张家生, 阳生权. 厦门云顶隧道爆破监测与分析[期刊论文]-中国安全科学学报 2005(09)
12. 迟明杰, 赵成刚, 杨小林. 岩溶区隧道爆破开挖地震危害控制的研究[期刊论文]-中国安全科学学报 2004(09)
13. 杨大地. 实用数值分析 2004
14. 张志星. 浅谈评价爆破地震效应的方法和标准[期刊论文]-爆破器材 1998(03)

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 曲海锋, 朱中华, 蔡永昌, Qu Hai-feng, ZHU He-hua, CAI Yong-chang. 扁平大跨度公路隧道松动荷载计算方法探讨 -岩土力学2008, 29(4)  
确定松动荷载的方法多为规范法和理论公式法, 这些方法都建立在对以往隧道松动荷载统计和分析的基础上。双洞八车道扁平大跨度公路隧道是近几年发展起来的一种隧道形式。由于其跨度增加、扁平率降低, 现有松动荷载的算法是否适用于双洞八车道公路隧道, 已成为隧道建设者面对的重要问题之一。以广州龙头山双洞八车道公路隧道为研究背景, 概括和总结了各种松动荷载的计算方法; 应用这些方法计算龙头山隧道的松动压力, 分析和对比计算结果, 并通过数值计算和实测围岩压力对各种方法的合理性进行了分析; 根据各种方法的产生背景和内容, 分析其各自的适用性; 根据研究结果, 对扁平大跨度公路隧道进行了适应性分析和讨论。
2. 会议论文 陈耕野, 刘斌, 万明富, 郝哲, 李伟. 韩家岭大跨度公路隧道应力监测分析 2005  
韩家岭隧道是沈阳至大连高速公路改扩建关键工程, 为目前我国和亚洲最大跨度的公路隧道。隧道为单洞四车道, 采用分层台阶法进行开挖, 在大跨度隧道施工中是一种新尝试。为了解大跨度公路隧道开挖过程中的力学行为, 提供设计和施工依据, 本文对韩家岭隧道进行了稳定性应力监测研究。主要阐述该隧道应力测试方法、喷层与围岩接触应力、锚杆内力随时间变化的量测数据及分析。研究结果表明: (1) 韩家岭隧道开挖宽度、高度和空间大, 但量测到的围岩与喷层接触应力、锚杆轴力小, 说明在初期支护结构中, 喷射混凝土和锚杆对围岩变形只起到了协同与辅助的支撑作用, 钢拱架和围岩自承起主要支撑作用。(2) 依据达到峰值后的喷层接触应力和锚杆轴力数据来看, 存在一定波动幅度, 尽管不会对隧道的稳定性产生影响, 但随开挖进行, 围岩对初期支护的作用处在变化状态。(3) 同一测试断面, 在围岩较完整稳固的一侧, 喷层接触应力出现拉应力值, 而围岩稳固性差的一侧, 喷层接触应力出现压应力值, 表明该断面围岩水平位移主要来自围岩稳固性差的一侧。(4) 短掘短支、释放地压与控制围岩变形, 大跨度公路隧道采用台阶法开挖施工方式是可行的。
3. 期刊论文 吴少松. 大跨度小净距公路隧道施工监测初探 -现代商贸工业2007, 19(1)  
随着我国高等级公路的飞速发展, 由于特殊地质及地形条件的限制, 出现了连拱隧道。针对连拱隧道施工的复杂工艺, 衍生出一种新的结构形式, 即小净距公路隧道。该种公路隧道跨度大, 扁平率低, 开挖多采用分部法, 针对大跨度小净距公路隧道的围岩稳定性问题进行系统深入的研究具有重要的意义。完整地介绍了一整套大跨度小净距公路隧道施工监测方案, 具有现实可实践操作意义。
4. 学位论文 李军. 大跨度公路隧道动态施工围岩稳定性数值分析 2006  
随着我国高等级公路建设的快速发展, 公路隧道特别是大跨度公路隧道也越来越多。公路隧道施工过程中, 洞室周围岩体发生应力重新分布作用, 当

这种重分布应力超过围岩的强度极限时,将造成围岩的失稳破坏。因此,隧道施工过程中洞室围岩稳定性评价与支护结构受力状态的研究显得日益重要。

广东龙头山隧道为国内最大的双向分离式单洞四车道隧道,最大开挖深度21.1m,最大开挖高度13.2m。本文结合龙头山隧道工程,以大跨度公路隧道围岩稳定性评价为主线,以保护围岩的自稳和指导施工为目的,采用定性评价和定量评价、整体评价和局部评价相结合的方法,对隧道围岩稳定性开展了系统的研究。首先,对大跨度公路隧道力学特性和围岩稳定判据进行了研究,确定了本文采用的围岩稳定性判别依据。其次,从影响隧道围岩稳定性的工程地质因素入手,对围岩的变形破坏机制进行了分析和探讨,确定了岩体坚硬程度、结构面发育程度、软弱结构面特性是影响龙头山隧道围岩稳定性的主要影响因素。最后,通过对隧道施工过程中围岩稳定性与支护结构相互作用的机理的深入分析,建立了隧道施工过程的空间计算模型,用三维弹塑性有限单元法对隧道III类围岩段施工过程中围岩稳定性和安全性进行分析,分析施工过程中围岩的位移、应力、应变变化规律,得出了一些有益的结论,对大跨度隧道施工过程中的围岩稳定性和安全性评价有一定指导意义。

5. 期刊论文 [郝哲, 王来贵, HAO Zhe, WANG Laigui 大跨度公路隧道有限元模拟研究 - 沈阳大学学报2006, 18 \(2\)](#)

采用GeoFBA有限元软件,应用弹塑性理论,对沈大高速公路韩家岭大跨度隧道进行了有限元模拟,并对其稳定性进行分析,以保证隧道运行安全经济合理。所得计算结果和有关结论同时填补了我国在大跨度公路隧道分析方面的空白,为隧道的设计及施工提供重要的参考依据。

6. 会议论文 [雷军, 赵玉成, 和万春, 张金柱 大跨度软岩公路隧道短台阶施工方法 2002](#)

大跨度软岩公路隧道采用短台阶七步平行流水作业法施工在我国高深探索阶段。结合工程实践,详细地介绍了该施工方法的技术特点、适用范围、工艺原理、施工工艺以及效益分析等,对类似隧道施工有一定的参考价值。

7. 期刊论文 [李军, 刘瑞, 侯庆军, LI Jun, LIU Rui, HOU Qing-jun 大跨度公路隧道动态施工围岩稳定性数值分析 - 盐城工学院学报\(自然科学版\) 2008, 21 \(2\)](#)

结合龙头山隧道工程,利用有限元软件ADINA建立空间计算模型,用三维弹塑性有限单元法对隧道III类围岩段施工过程中围岩稳定性和安全性进行分析,分析施工过程中围岩的位移、应力、应变变化规律,得出了一些有益的结论,对大跨度隧道施工过程中的围岩稳定性和安全性评价有一定指导意义。

8. 期刊论文 [赵文香 大跨度小净距公路隧道施工监测初探 - 华章2010 \(24\)](#)

随着我国高等级公路的飞速发展,由于特殊地质及地形条件的限制,出现了连拱隧道。针对连拱隧道施工的复杂工艺,衍生出一种新的结构形式,即小净距公路隧道。该种公路隧道跨度大,扁平率低,开挖多采用分部法,针对大跨度小净距公路隧道的围岩稳定性问题进行系统深入的研究具有重要的意义。完整地介绍了一整套大跨度小净距公路隧道施工监测方案,具有现实可实践操作意义。

9. 期刊论文 [张晓彬, 吕中玉, ZHANG Xiao-bin, LV Zhong-yu 大跨度公路隧道设计与施工技术及其发展趋势 - 山西建筑2007, 33 \(22\)](#)

主要针对大跨度公路隧道的设计与施工展开论述,对国内外大跨度公路隧道设计和施工方法进行了较为详尽的阐述,并对大跨度公路隧道动态施工过程进行仿真模拟研究,最后分析了大跨度公路隧道的发展趋势,对大跨度公路隧道建成后的运营与维护具有重要意义。

10. 会议论文 [蒋树屏, 刘洪洲, 鲜学福 大跨度扁担隧道动态施工行为的相似模拟及数值研究 1999](#)

该文详细阐述了公路隧道结构与围岩综合试验系统(CTSSRH)的组成及设计原理,结合真武山公路隧道,设计并实施了模拟开挖过程的相似模型试验。接着建立了三车道公路隧道相似物理模型的力学分析模型,以三维库伦-莫尔强度准则为屈服条件,利用三维弹塑性有限元程序3D-o分别对全断面法、上下台阶法、左右分部法和四分部法开挖元支护隧道时的动态进展过程进行了数值分析,取得了与相似实验结论一致的数值模拟结果。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zgaqkxxb200807017.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgaqkxxb200807017.aspx)

授权使用: 武汉理工大学(whlgdx), 授权号: aa909afe-4f14-415b-88d2-9e92013cee23

下载时间: 2011年2月22日