文章编号:1673-0062(2009)01-0024-03

小净距隧道爆破振动监测与分析

王 成,刘礼标

(重庆交通大学 隧道及岩土工程系,重庆 400074)

摘 要:以重庆寸滩小净距隧道开挖为工程依托,在隧道施工爆破过程中对邻近隧道进行爆破振动监测.应用萨道夫斯基经验公式对现场监控量测数据进行回归分析,确定爆破应力波在泥质砂岩中的传播衰减规律,控制不同间距情况下的最大段起爆药量,指导后续施工过程,保证邻近隧道振动速度控制在安全范围内.其研究对指导隧道工程施工爆破和保证安全起到了重要作用. 关键词:爆破振动:衰减规律;邻近隧道;回归分析

中图分类号:TU45 文献标识码:B

Blasting Vibration Monitoring and Analysis of Tunnel with Small Clear Space

WANG Cheng, LIU Li-biao

(Department of Tunnel and geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Based on project excavation of the CunTan tunnel in Chongqing, the blasting vibration was monitored by tunnel excavation because the CunTan tunnel is a tunnel with small clear space. The monitoring results of blasting vibration were studied via regression analysis by means of Sadaovsk empirical formula, the attenuation orderlines of spread of blasting vibration was established. The result of regression analysis determined the maximum explosive charge of a segment in different distance, guided the subsequent process of tunnel excavation, assured the vibration velocity of adjoin tunnel within safety range in the process of this tunnel excavation. This study will play an important role in guiding the excavation blasting construction of the tunnel project and assuring the safety of adjoin tunnel. Key words: blasting vibration; attenuation orderlines; adjoin tunnel; regression analysis

随着我国交通建设的不断发展,隧道工程作为 交通建设的重要部分也在飞速的发展.小净距隧道

作为特殊地形条件下解决高等级路布线很有效的 一种结构形式,越来越得到广泛的应用^[1].然而,小

收稿日期:2008-10-23

作者简介:王 成(1962-),男,重庆人,重庆交通大学教授,博士.主要研究方向:桥梁与隧道工程及岩土工程.

净距隧道施工爆破产生的振动对相邻隧道结构安 全影响一般都比较大,有时甚至导致隧道坍塌.因此,对于小净距隧道施工,应该对中间岩柱及相邻 隧道进行监测,以减少爆破振动对相邻隧道的危 害^[2-8].但对于小净距隧道的爆破振动研究还较 少,目前尚未形成统一的爆破控制标准.

1 工程概况

寸滩隧道位于重庆市江北区茅溪金渝大道南 延段,隧道为自西向东走向的越岭隧道. 寸滩隧道 按左、右洞分离的结构型式进行设计,左、右隧道 洞身分别长为 396. 239 m 与 417. 538 m,分离隧 道轴线间距为 23. 5 ~ 29. 1 m,为小净距隧道. 标 准段隧道内轮廓按建筑限界宽 10.0 m,高 5.0 m 拟定,采用三心圆断面,拱半径 5. 40 m,曲墙半径 5. 73 m,内空净面积 72. 19 m²,净高 8. 19 m,净宽 10. 80 m. 完整性系数 k = 0.65 ~ 0.72,岩体较完 整,围岩类别为 IV 级围岩,洞顶弱风化岩层厚度 13. 5 ~ 69 m,属深埋洞室. 图 1 为寸滩隧道设计断 面图.



图 1 寸滩隧道设计断面图 Fig. 1 Designing cross – section of Cuntan tunnel

2 爆破振动监测

2.1 爆破振动监测系统

目前我国爆破振动测试所用仪器类型很多, 数字式记录仪越来越多,有国产的也有进口的,数 字式记录仪一般将放大器直接置于机体内,省去 了连接电缆,使用更方便、可靠.以磁带记录仪和 光线示波器做波形记录设备的也有使用,但在逐 渐淘汰.此外传感器的选型和安装尚无统一的规 定和要求,振动数据的分析软件各不相同,所以很 多震动测试并不规范,无可比性.甚至有些数据可 信度较低.本次对隧道爆破监测采用成都中科测 控有限公司生产的 3850USB 型爆破测振仪,爆破 振动监测系统示意图如图 2 所示.







2.2 测点布置

测点布置在相邻隧道的迎爆一侧紧贴侧壁的 地面上,为了比较准确的测出爆破振动随距离的 衰减规律,每次测点都设置在离爆源不同距离处. 在布设测点时,将传感器固定在地面上.测震前, 先将测点地面整平,然后在测点上倒少许石灰粉, 加少量水调匀,固定好速度传感器,大概3~5 min 石灰粉固化后.

2.3 监测结果

根据每次爆破断面的推进,测点位置也相对 变化,测点距爆源不同距离处进行爆破振动监测, 结果见表1;典型的爆破振动速度波形图见图3; 典型的振动速度波形时频图见图4.



图 3 典型的爆破振动速度波形 Fig. 3 Typical waves of the blasting vibration velocity







3 爆破振动测试结果分析

爆破振动信号,如爆破冲击波、爆破地震波

等,是一个复杂的振动信号,包含多种频率成分, 其中有一个或几个为主要频率成分.在振动分析 中,不同频率成分的信号对结构或设备的振动影 响是不相同的.随着数字测振系统的发展,振动波 形的分析也变得越来越简单,已经由原来的直观 分析转变到计算机软件分析.

表 1 爆破振速现场监测结果

Table 1	The results of	the monitoring	of bla	sting vibr	ation
---------	----------------	----------------	--------	------------	-------

测点	与爆源 距离/m	最大段装 药量/kġ	垂直最大振速 /(cm・s ⁻¹)	主振频率 /Hz
1	20	27	6.49	78.7
2	21	27	6.21	117.5
3	22	27	5.43	101.9
4	26	27	4.81	97.7
5	30	27	4.01	90.3
6	32	27	3.64	94.6
7	37	27	3.43	109.9
8	47	27	2.02	113.5

3.1 爆破振速回归分析

爆破振动强度用介质质点的运动物理量来描述,包括质点位移、速度和加速度.在工程实际中, 多用质点运动速度,有时也采用振动加速度的幅 值代表地震波强度,我国《爆破安全规程》规定, 以地表质点振动速度作为破坏判据.

通过国内外实测结果分析表明:反映爆破振 动强度的诸物理量与炸药量、爆心距、岩土性质及 场地条件等因素有密切关系.虽然各个国家试验 条件各不相同,但根据我国《爆破安全规程》 (GB6722—2003)及国内外的一些研究成果,在中 国和前苏联地区爆破振动传播与衰减规律普遍都 采用萨道夫斯基的经验公式^[9]:

$$V = K(Q^{\frac{1}{3}}/R)^{\alpha} \tag{1}$$

式中:V — 质点振动速度(cm/s);Q— 炸药量 (kg);R— 测点到爆源中心距离(m);K— 介质性 质系数;α— 地震波衰减指数.

根据爆破振动测试数据和装药量,采用萨道 夫斯基经验公式(1) 对测试数据进行线性回归分 析,具体方法是:

$$\Rightarrow r = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \tag{2}$$

对式(1)两边取对数,可得:

$$\lg V = \lg K + \alpha \lg r \tag{3}$$

$$\diamondsuit: y = \lg V; a = \lg K; x = \lg r; b = \alpha$$

则式(3) 变为:

y

$$= a + bx$$
 (4)

根据仪器读取的结果和应用自带的分析软件,得到 $K = 72.956; \alpha = 1.265$

代入式(1) 得到回归公式:

$$V = 72.596(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R})^{1.265}$$
 (5)

3.2 爆破振速回归分析结果的应用

根据寸滩隧道的实际情况,对不同隧道轴线 间距处的最大段药量进行估计.由式(5)可以得 到一次爆破允许的最大起爆药量可按下式计算:

 $Q = R^{3}(72.596/V_{52})^{-3/1.265}$ (6) 式中: V_{52} 一 安全允许振速(cm/s);Q— 一次爆 破允许的最大起爆药量(kg);R— 测点到爆源中 心距离(m);

根据寸滩隧道的实际情况,先行隧道新浇混 凝土龄期一般达到20天左右,后行隧道在相邻位 置处进行开挖作业,要保证爆破开挖过程中对邻 近隧道产生的扰动尽可能的减小.

根据《爆破安全规程》(GB6722—2003), 取 V_{安全} = 7 cm/s. 由式(6) 可得到不同隧道轴线间距 处一次爆破允许的最大起爆药量见表2, 图5 所示.

表2 不同 R 时最大段装药量结果

 Table 2
 The results of the maximum explosive charge in different distance



图 5 最大段装药量图



3.3 频谱分析

频谱分析中的重要工具是傅立叶变换,经过傅 立叶变换,把原时间域内包含的信息变换到频域内 进行分析,可以辨别出组成任意波形的一些不同频 率的正弦波和它们各自的振幅.以快速傅立叶变换 (下转第30页)

参考文献:

- [1] 陈四利,冯夏庭,李邵军. 岩石单轴抗压强度与破裂 特征的化学腐蚀效应[J]. 岩石力学与工程学报, 2003,22(4):547-551.
- Feng Xiating, Li Shaojun, Chen Sili. Effect of water chemical corrosion on strength and cracking characteristics of rocks[J]. Key Engineering Materials, 2004, 261 - 263:1355 - 1360.
- [3] 汤连生,张鹏程,王思敬.水-岩化学作用的岩石宏 观力学效应试验研究[J].岩石力学与工程学报, 2002,21(4):526-531.
- [4] Jing Z Z, Kimio W, Jonathan W, et al. A 3D water/rock chemical interaction model for prediction of HDR/HWR geothermal reservoir performance[J]. Geothermics, 2002, 31:1-28.
- [5] 王泳嘉, 冯夏庭. 化学环境侵蚀下的岩石破裂特 性——第二部分:时间分形分析[J]. 岩石力学与工 程学报,2000,19(5):551-556.
- [6] 谭卓英,刘文静,闭历平,等. 岩石强度损伤及其环境 效应实验模拟研究[J]. 中国矿业,2001,10(4):49-53.
- [7] 陈四利,冯夏庭,李邵军.化学腐蚀对黄河小浪底砂岩力学特性的影响[J].岩土力学,2002,23(3):284-288.

(上接第26页)

FFT 为基础,分别对所测爆破地震波进行频谱分析.由频谱分析结果可知:爆破振动信号频带较宽,频率成分复杂,相对通常的爆破振动幅值谱, 其振动主频较大,大部分在90~120 Hz 左右.

4 结论

通过小净距隧道的爆破振动现场监控量测, 振速回归分析和频谱分析,得出如下结论:

1)根据现场监测和分析, 寸滩小净距隧道爆破作业是安全的; 对邻近隧道的影响符合《爆破安全规程》(GB6722-2003)的标准.

2)根据现场监测结果,通过回归分析得出介 质性质系数 K = 72.596;地震波衰减指数 $\alpha =$ 1.265和爆破垂直振动速度衰减规律,可供该地区 类似爆破工程参考;

 3)隧道爆破产生的振动信号成分复杂,振动 主频较通常的爆破振动高,主频大部分在90~
 120 Hz 左右;

- [8] Masahiro S, Venkata S, Dilip K, et al. The effect of chemical additives on the strength of rock [C]//Rock Mechanics 98. Japanese. Committee for IRSM, 1998, 201-210.
- [9] Dunning J. Douglas B, Miller M. etal. The role of the chemical environment in frictional deformation: stress corrosion cracking and comminuting [J]. Pageoph. 1994,143(1/2/3):151-178.
- [10] Ieterich J H, Conrad G. Effects of humidity on time and velocity dependent friction in rocks [J]. J. Geophys. Res. 1984, 89:4196 - 4202.
- [11] Atkinson B K, Meredith P G. Stress corrosion cracking of quartz: a note on the influence of chemical environment[J]. Tectonophysics, 1981, 77:1-11.
- [12] Feng X T, Chen S L, Li S. Study on nonlinear damage localization process of rocks under water chemical corrosion[C]//The 10th Congress of the ISRM Technology Roadmap for Rock Mechanics, 2003, 325 - 327.
- [13] Li Ning, Zhu Yunming, Su Bo, et al. A chemical damage model of sandstone in acid solution [J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci, 2003, 40(2):243 - 249.
- [14] 丁梧秀,冯夏庭. 灰岩细观结构的化学损伤效应及 化学损伤定量化研究方法探讨[J]. 岩石力学与工 程学报,2005,24(8):1283-1288.

参考文献:

- [1] 黄拔洲,陈少华,秦 峰.小净距隧道在京福高速公路 上的实践[J].重庆大学学报,2003,26(10):19-22.
- [2] 郭汉超.槐树坪隧道爆破振动监测与控制技术[J].
 隧道建设,2006,26(5):47-49.
- [3] 傅洪贤.长距离小间距隧道爆破开挖设计与施工 [J].工程爆破,2006,12(3):30-33.
 - [4] 姚 勇,何 川,宴启祥,等.董家山隧道小净距段爆破 控制研究[J].公路,2005(11):212-216.
 - [5] 阳生权,周 健,李雪健.小净距公路隧道爆破振动 观测与分析[J].工程爆破,2005,11(3):62-65.
 - [6] 龚建伍,夏才初,郑志东,等. 鹤上三车道小净距隧道 爆破振动测试与分析[J]. 岩石力学与工程学报. 2007,26(9):1882-1887.
 - [7] 谭忠盛,杨小林,王梦恕.复线隧道施工爆破对既有
 隧道的影响分析[J].岩石力学与工程学报,2003,22
 (2):281-285.
 - [8] 王明年,潘晓马,张成满,等. 邻近隧道爆破振动响应 研究[J]. 岩土力学,2004,25(3):412-414.
 - [9] 刘殿中. 工程爆破实用手册[M]. 北京:冶金下业出版社,1999.