

城市立交桥爆破拆除塌落振动的测量与分析

胡进军^{1,2}, 杨永强¹, 管英珺¹

(1. 中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080; 2. 中国科学院大学地球科学学院, 北京 100049)

[摘要] 为分析城市立交桥爆破拆除时结构构件塌落造成的地面振动的特征, 介绍了某城市典型立交桥的爆破拆除中地面振动的测量方法, 并基于观测点实测数据对地面振动的加速度峰值、频率和持时进行了分析。分析结果表明: 塌落造成的竖向地振动幅值比水平分量大, 但是其随着距离增大迅速衰减, 因此在距离塌落处较近的区域应该考虑竖向地振动的影响; 桥梁结构多次连续塌落会导致出现地面振动的叠加, 采取减隔振措施可以降低加速度峰值, 同时也会使得加速度的峰值频率降低、持时增加; 爆破和塌落振动并未对保留桥梁结构造成损伤, 说明爆破拆除是一种安全、高效的拆除方法。

[关键词] 爆破拆除; 城市立交桥; 塌落; 地面振动; 加速度

[中图分类号] TU441; TU311 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)11-0090-06

1 前言

爆破拆除已在世界各地被广泛地采用, 尤其是在中国及欧美的许多国家和地区爆破拆除的应用范围十分广泛^[1-3]。虽然爆破拆除具有工期短、安全性高和造价较低等优点, 但是也存在一些问题, 比如桥梁塌落时对地面的冲击造成的振动效应。如果控制不当就可能会对地下设施和周围建筑物造成危害。因此进行爆破拆除方案设计时必须考虑桥梁结构的塌落效应。

目前, 爆破拆除方案设计中振动控制主要依赖于经验公式和一些定性的分析, 但是各类经验公式表达各不相同, 而且往往相差较大。随着振动观测技术的发展, 以及人们对环境安全的关注程度增大, 有必要采用现代振动测量手段记录和分析爆破桥梁塌落振动的影响, 以使得爆破拆除更科学、可

控、准确。随着爆破拆除技术的发展, 一些学者逐渐开始关注爆破振动的研究。龙源等研究了爆破振动测试信号的处理方法^[4]; 蔚立元等采用数值模拟的方法研究了海底隧道爆破振动响应, 以期能为施工和监测提供参考^[5]; 徐泽沛和姚琼分别研究了建(构)筑物爆破拆除塌落振动对附近建筑物的影响^[6, 9]; 周家汉对比了爆破振动经验公式和实测数据, 指出采取减振措施后振动峰值能降低 70% 以上^[7]。而以往研究多关注于爆破本身造成的振动对结构的影响^[8-10], 但是拆除爆破工程实践表明, 建筑物拆除时构件塌落造成的地面振动往往比爆破本身造成的地面振动大。因此本研究将利用测振仪监测桥面塌落时造成的地振动, 目的是为评价立交桥爆破拆除对既有建、构筑物影响, 从而为爆破技术朝着精确控制方向发展提供参考^[11]。

[收稿日期] 2014-04-07

[基金项目] 中国地震局工程力学研究所基本科研业务专项资助项目(2011B02); 国家国际科技合作专项资助项目(2012DFA70810); 黑龙江省青年科学基金(QC2011C058); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

[作者简介] 胡进军, 1978 年出生, 男, 河北石家庄市人, 副研究员, 博士, 主要从事结构抗震和地震工程研究; E-mail: hujinjun@iem.ac.cn

2 工程概况和测量方法

2.1 工程概况

爆破拆除的立交桥为苜蓿叶式全互通立交,拆除部分为城市三环线主线的24跨,包括16跨T型梁、7跨异形现浇箱梁、1跨空心板、2个桥台和92个墩柱,桥梁平面和测点位置见图1,T型梁结构图和实景照片见图2。原桥设计标准为城市快速路,设计车速主线为80 km/h,抗震设防地震动峰值加速度为0.05g,对应基本烈度为6度。爆破拆除桥梁周边环境复杂,主桥横跨国道,匝道两侧为居民小区,主桥附近濒临高压线塔,立交桥下有自来水、天然气、电力、通信管道等。考虑到拆除立交桥的结构及环境特点,采用“控制爆破拆除为主、机械切割吊装为辅”的总体拆除方案^[12]。

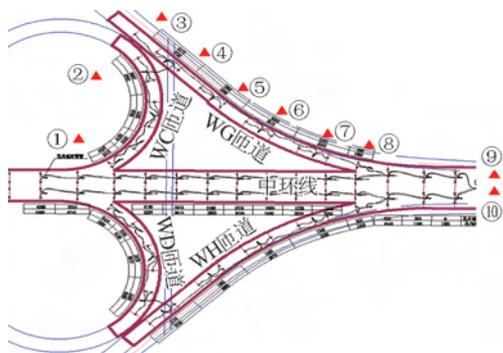


图1 爆破桥梁平面图和测点位置示意图
Fig. 1 Sketch map of bridge and observation points

2.2 测量方案

为了观测到整个爆破过程中桥梁塌落振动参数,同时考虑到桥梁的复杂性和对称性,本测量方案沿着爆破的顺序设置了10个观测点,观测点沿着立交桥的北侧顺序排列(见图1)。每个测点设置三个分量的拾震器,即径向(平行于桥梁纵轴方向)、切向(垂直于桥梁纵轴方向)和竖向。本测量采用中国地震局工程力学研究所生产的941B型拾震器,它主要用于地面和结构物的振动测量,该拾震器具有良好的超低频特性,其具体参数见表1。为了保证测量结果的准确性,在测量前均对拾震器进行了灵敏度标定,见图3。数据采集系统由配套的941型放大器和数据采集仪组成,见图4。

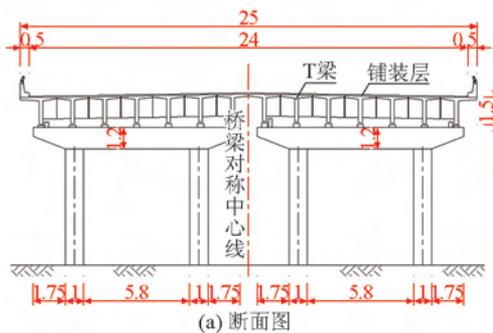


图2 T型梁结构图及图片(单位:m)

Fig. 2 T-beam structure diagrams and pictures (unit: m)

表1 941B型拾振器参数

Table 1 Parameter of 941B sensor

档位	1	2	3	4
参量和量程	加速度	速度	速度	速度
标称灵敏度	0.3	23	2.4	0.8
最大量程	加速度/($m \cdot s^{-2}$)	20		
	速度/($m \cdot s^{-1}$)		0.125	0.3
	位移/mm		20	200
通频带/Hz	0.25~80	1~100	0.25~100	0.17~100

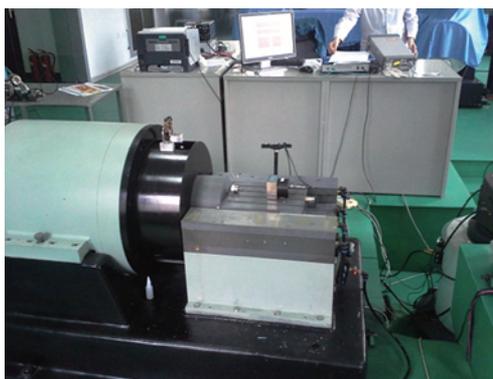


图3 拾振器标定

Fig. 3 Calibration of sensors



(a) 拾振器布置



(b) 数据采集系统

图4 拾振器布置和数据采集系统

Fig. 4 Sensors and data acquisition system

3 地面振动测量结果及分析

本次测量的10个测点(见图1中的▲图标)均完整记录了爆破和塌落地面振动时程,共计30条。其中第8个测点的竖向分量记录到的本次爆破振动的最大加速度值为633 gal(1 gal=1 cm/s²),其时程曲线见图5。

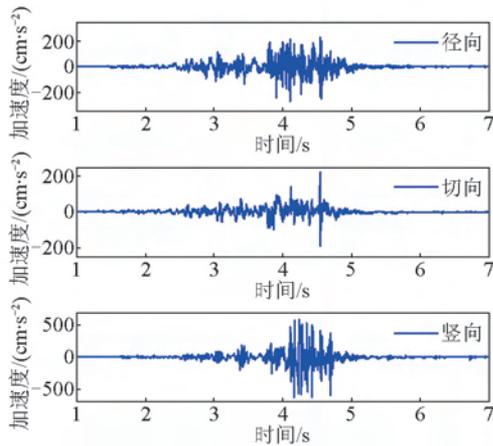


图5 测点8加速度时程

Fig. 5 Time histories of observation point 8

3.1 加速度峰值特征

地面振动的加速度峰值是描述振动强度的主要参数。根据实测结果,本研究统计了各个测点的加速度峰值,见图6和表2。由图6可以看出,各测点中除测点8切向的振动峰值最大外,其他测点切向振动峰值较小,结合测点分布图可知,测点1~8位于垂直桥面轴线的方向上,而测点9位于桥面的轴线上,这说明在桥的轴线方向上振动是存在明显叠加效应的;1~8测点的切向振动峰值较小说明塌落引起的地面振动的主方向为径向和竖向;测点1、2到桥面轴线距离为20 m,测点3~8到桥面轴线距离为10 m,这两组测点的径向和垂直向加速度峰值大小正好相反,说明近距离测点竖向振动明显,而其峰值衰减较径向测点加速度峰值衰减快,故远距离测点竖向振动加速度峰值小于径向振动加速度峰值;由测点9和测点10的地面振动加速度峰值可知,桥面的径向和切向加速度反应峰值小于桥墩处的地面加速度峰值,而竖向加速度峰值反而大于桥墩处的地面加速度峰值,分析原因:一方面,爆破塌落振动的高频成分较多,而桥墩的竖向振动频率较高,故地面加速度被放大;另一方面,测点9位于桥墩处的填土上,竖向加速度的高频成分被过滤,故峰值较低。

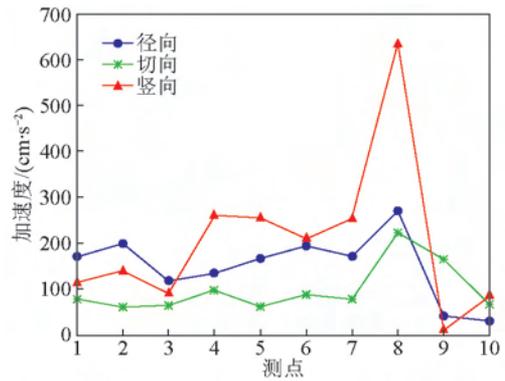


图6 各测点加速度峰值

Fig. 6 Peak acceleration of each observation point

3.2 峰值频率特征

爆破或桥梁结构塌落造成的振动峰值频率,也称卓越频率反映了地面振动加速度的主要频率特征,它是通过对地振动的傅里叶谱进行分析得到的,它表示这一频率的建筑或体系受地面振动的影响最为明显,也就是说地面振动对此频率建筑或体系最为不利。图7和表3给出了各个测点三个分量的振动加速度峰值频率。可以看出,沿着测点3向

测点8的顺序,三个方向的峰值频率整体上呈现下降趋势,由于测点3~测点8与桥梁塌落顺序一致,所以可以判定,地面振动存在一定的叠加效应,使得地面振动的主要频率降低。另外,由于测点1、2之间的距离较短,并且从测点2到测点3爆破的方向进行了改变,因此并没有出现叠加现象。

表2 各测点加速度峰值

Table 2 Peak acceleration of each observation point

测量方向	加速度峰值/gal				
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5
径向	171.2	199.5	120.0	136.0	167.5
切向	77.9	61.1	64.6	98.6	63.1
竖向	112.8	138.5	89.1	261.2	255.9
测量方向	加速度峰值/gal				
	测点6	测点7	测点8	测点9	测点10
径向	195.4	170.7	271.6	41.0	30.8
切向	87.5	78.5	224.2	164.5	66.0
竖向	211.1	255.0	633.2	10.7	85.4

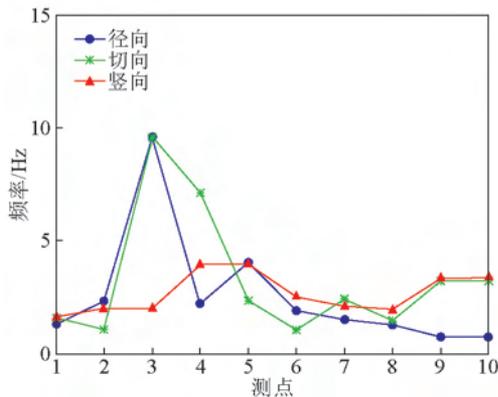


图7 各测点峰值频率

Fig. 7 Peak frequency of each observation point

表3 各测点峰值频率

Table 3 Peak frequency of each observation point

测量方向	加速度峰值频率/Hz				
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5
径向	1.30	2.29	9.60	2.18	4.01
切向	1.53	1.03	9.42	7.14	2.30
竖向	1.59	1.96	1.96	3.92	3.95
测量方向	加速度峰值频率/Hz				
	测点6	测点7	测点8	测点9	测点10
径向	1.90	1.47	1.24	0.70	0.70
切向	1.04	2.39	1.48	3.20	3.17
竖向	2.48	2.08	1.91	3.31	3.36

3.3 持时特征

地震动的持续时间(持时)是地震动的重要特性,持时的长短对结构的破坏有重要影响。持时加长会在结构中产生累积变形和累积破坏。图8和表4给出了各个测点三个分量的持时。可以看出,除测点1和测点2的持时稍长外,其他测点的持时相近,这主要是由于测点1和测点2距离桥梁轴线较远造成的。

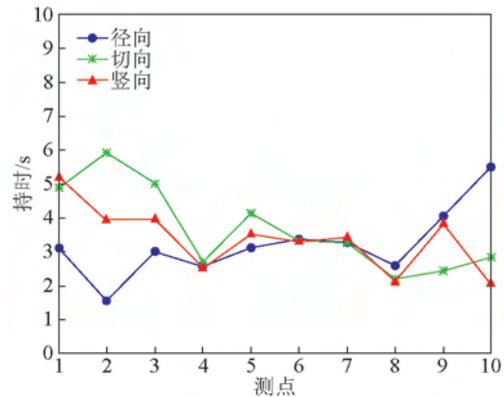


图8 各测点持时

Fig. 8 Duration of each observation point

表4 各测点持时

Table 4 Duration of each observation point

测量方向	持时/s				
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5
径向	3.12	1.53	3.02	2.55	3.12
切向	4.91	5.94	5.01	2.70	4.17
竖向	5.17	3.96	3.95	2.54	3.52
测量方向	持时/s				
	测点6	测点7	测点8	测点9	测点10
径向	3.37	3.28	2.59	4.06	5.49
切向	3.32	3.30	2.23	2.44	2.85
竖向	3.33	3.43	2.11	3.83	2.09

3.4 爆破振动对保留高架桥的影响

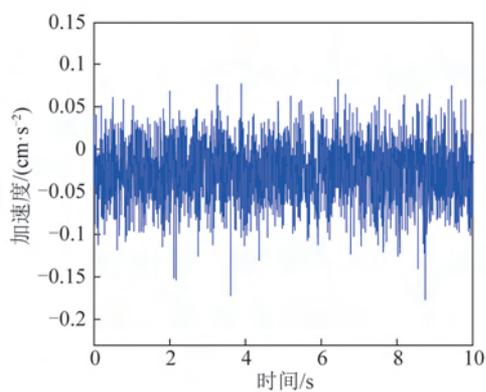
此次爆破仅拆除跨越国道部分的立交桥,而三环主线的立交桥仍然保留,见图9。为了分析爆破拆除和塌落振动对保留桥梁的影响,将测点9和测点10分别设置在保留高架桥距离爆破桥体最近的一端的桥墩及对应的桥面上,测量了保留高架桥的桥墩处的最大振动和桥面的反应。为了比较爆破前后保留的桥梁的结构动力特性,在爆破前后均对高架桥进行了地脉动测量,脉动测试结果见图10,将测试结果进行功率谱分析,见图11。由图11可知,爆破前后高架桥的两个水平方向的主振频率均

未发生变化,说明高架桥的动力特性没有改变。

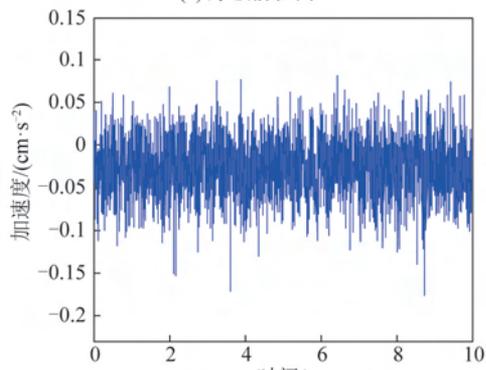


图9 保留高架桥和爆破高架桥

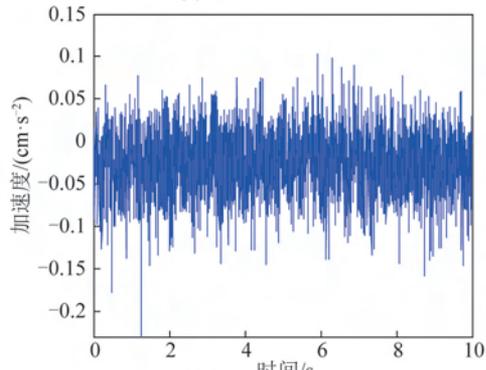
Fig. 9 Reserved bridge and blasting bridge



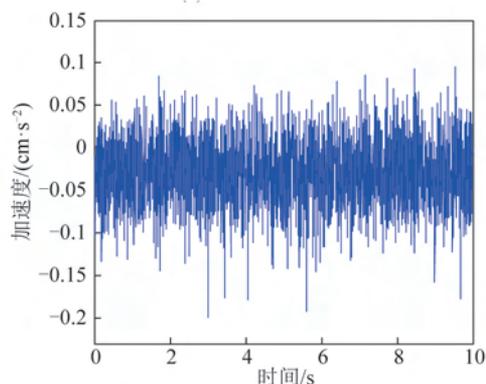
(a) 爆破前径向



(b) 爆破后径向



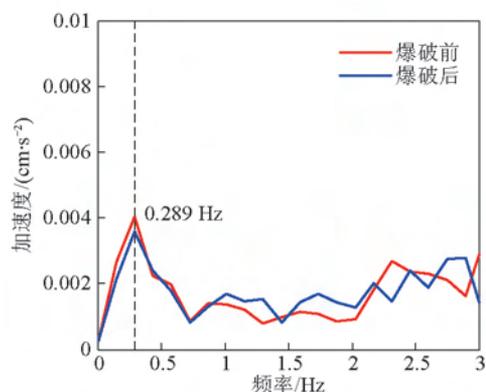
(c) 爆破前切向



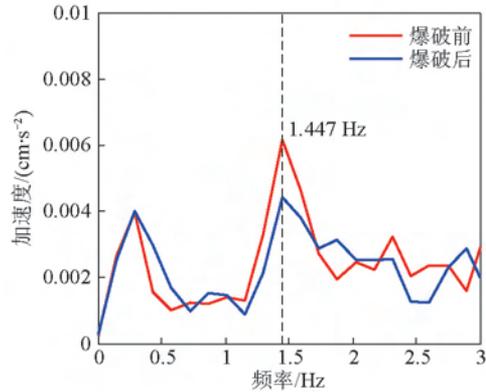
(d) 爆破后切向

图10 爆破前后保留高架桥的脉动时程

Fig. 10 Ambient vibration of reserved bridge before and after blasting



(a) 爆破前后径向分量对比



(b) 爆破前后切向分量对比

图11 爆破前后保留高架桥的径向和切向自振频率

Fig. 11 Natural frequency of reserved bridge before and after blasting

4 结语

本文介绍了某城市立交桥爆破拆除结构塌落振动的测量方法,并利用观测记录统计分析了塌落地振动的加速度峰值、峰值频率、持时的特征,可得到如下结论。

1)在距离桥梁较近的测点竖向振动加速度非常显著,但是随着距离的增大竖向振动迅速衰减,在远距离测点竖向振动的加速度峰值小于径向振动加速度峰值。

2)各个测点的三个方向分量的加速度记录的峰值频率无明显的大小关系,但是沿着爆破的顺序地面振动存在一定的叠加效应,使得地面振动的主要频带降低。

3)桥面塌落触地振动与爆破和强夯的地面振动加速度持时明显不同,其持续时间较长。这与桥梁结构多次连续塌落导致地面振动的叠加以及采取的减隔振措施相关。减震措施明显降低加速度峰值的同时,使得地面振动加速度的峰值频率降低、持时增加。

4)保留的桥梁的前后脉动观测结果对比表明,保留的桥梁的整体刚度没有变化,说明保留高架桥未受损,主体结构完好。

致谢:感谢武汉爆破有限公司对地面振动观测和数据分析的大力支持。

参考文献

- [1] 徐书雷,郑学召,王小林,等. 浅述国内外拆除爆破现状[J]. 爆破, 2003, 20(2): 20-23.
- [2] 汪旭光,于亚伦. 21世纪的拆除爆破技术[J]. 工程爆破, 2000, (3): 32-35.
- [3] 龙源,谢全民,钟明寿,等. 爆破震动测试信号预处理分析中趋势项去除方法研究[J]. 工程力学, 2012, 29(10): 63-68.
- [4] 蔚立元,李术才,徐帮树. 青岛小净距海底隧道爆破振动响应研究[J]. 土木工程学报, 2010, 43(8): 100-108.
- [5] 徐泽沛. 爆破拆除塌落过程及触地震动的分析研究[D]. 长沙:长沙理工大学, 2004.
- [6] 姚琼. 建筑物爆破拆除塌落振动作用下周边结构的安全性分析[D]. 武汉:武汉理工大学, 2007.
- [7] 周家汉. 爆破拆除塌落振动速度计算公式的讨论[J]. 工程爆破, 2009, 15(1): 1-5.
- [8] 王俊平. 爆破地震波对周围建筑物影响的分析[D]. 武汉:武汉理工大学, 2005.
- [9] 薛爱芝. 爆破震动特征及其对建筑结构影响的研究[D]. 山东:山东科技大学, 2008.
- [10] 宗琦,汪海波,周胜兵,等. 爆破地震效应的监测和控制技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(5): 938-945.
- [11] 谢先启. 精细爆破[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2010.
- [12] 谢先启,贾永胜,刘昌邦,等. 武汉市三环线西段汪家嘴立交桥拆除工程技术设计及施工组织设计[R]. 武汉:武汉爆破有限公司, 2013.

Measurement and analysis on characteristic of ground vibration caused by blasting demolition of urban overpass

Hu Jinjun^{1,2}, Yang Yongqiang¹, Guan Yingjun¹

(1. Institute of Engineering Mechanics, CEA, Harbin 150080, China; 2. College of Earth Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

[Abstract] To analyze the ground vibration caused by blasting demolition of urban overpass, in this paper we introduced the measurement method and then studied the characteristics of recorded ground vibrations. Through analysis of peak acceleration, peak frequency and duration, the results indicate that, the vertical component of vibration is the most important in the region close to the collapse point; the collapse of bridge segments will lead to superposition of ground vibration, and isolation measures can reduce the peak acceleration but increase the duration of vibration; blasting and collapse vibration cause no damage to the reserved structure which indicates that blasting description is a safe and effective method.

[Key words] blasting demolition; urban overpass; collapse; ground vibration; acceleration