

文章编号:1006-1355(2017)03-0147-04+155

# 成灌快铁桥墩处环境振动测试分析

邓红梅

(四川省工业环境监测研究院, 成都 610046)

**摘要:**为研究桥墩处的环境振动特性,采用现场实测的方法对成灌快速铁路桥墩处环境振动进行测试。分析桥墩处环境振动的时程曲线、频谱曲线数据,初步得出地面竖向环境振动特性,并采用回归分析方法,拟合出竖向振动的衰减公式。结果表明:随着距线路中心距离的增加,振动加速度逐渐减小,地面振动持续时间较短,约为6 s;环境振动在衰减过程中,近振源处的衰减速度大于远振源处的衰减速度;环境振动的能量主要集中在10 Hz~63 Hz之间;桥墩处的竖向环境振动最大值符合指数衰减规律。

**关键词:**振动与波;成灌快铁;桥墩;环境振动;测试分析

中图分类号:X121

文献标识码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2017.03.029

## Measurement and Analysis of Environmental Vibration in a Bridge Pier of Cheng-Guan High-speed Railway

DENG Hong-mei

(Sichuan Industry Environment Monitoring Research Institute, Chengdu 610046, China)

**Abstract:** In-situ tests are conducted in a bridge pier ground of Cheng-Guan high-speed railway and the environmental vibration characteristic of the pier is preliminarily revealed. By using regression analysis and curve-fitting method, the attenuation formula of vertical vibration is obtained. The results show that the vibration acceleration decreases gradually with the increase of the distance from the center of the track, and the duration of ground vibration is about 6s. The decay rate of the environment vibration near the vibration source is greater than that far away from the vibration source. The energy of the environmental vibration is mainly concentrated on in 10 Hz-63 Hz frequency range. The maximum of the vertical vibration of the bridge pier decays in an exponential law.

**Key words:** vibration and wave; Cheng-Guan rapid railway; bridge pier; environmental vibration; measurement and analysis

随着城市的扩建,轨道交通发展迅速,快速铁路已无法避免从城市中心穿过。快速铁路产生的环境振动对周边市民影响的问题也越来越突出,国际上已将环境振动列为七大环境公害之一。

目前已有大量学者对轨道交通的环境振动特性进行了广泛的研究。圣小珍等研究了车辆分别在轻型有砟轨道、重型有砟轨道和无砟轨道上以不同速度运行时的环境振动情况<sup>[1]</sup>。同济大学蒋通等从现场实测与数值模拟两方面对上海明珠线高架轨道交通环境振动的发生机理、传播规律等进行了研究<sup>[2]</sup>,建立了车-桥子结构和框架-地基基础子结构分析模型及计算方法。北京交通大学陈建国等通过建立车-桥和墩-土两个子系统模型,提出了高架轨道振

动预测公式,并与北京地铁5号线的实测结果和其他预测公式比较,证明了该预测公式具有较高的适用性和准确度。贺玉龙等对京津城际铁路桥墩处的环境振动进行测试<sup>[3]</sup>,分析了高架桥环境振动的衰减特性。

成灌快铁是我国第一条投入运营的市域铁路,采用了无砟轨道等先进技术,区别于常规轨道交通。张光明等研究了成灌快铁路堤段的地面振动特性<sup>[4]</sup>。李怀龙等研究了CRTS III型板式无砟轨道环境振动特点,对成灌快铁某路基段地面振动进行了现场测试,分析了不同测点地面振动加速度时程特点、频谱特征和竖向振级随距离的衰减特性<sup>[5]</sup>。桥墩作为成灌快铁的主要组成部分,目前对桥墩处的环境振动特性的研究还相对较少。本文对成灌快铁桥墩处的地面竖向环境振动进行现场测试并进行分析,为进一步研究桥墩对环境振动的影响提供数据参考。

收稿日期:2016-09-06

**作者简介:**邓红梅(1989—),女,四川省遂宁市人,硕士生,主要研究方向为水、气、声、振动等的环境监测。

E-mail: 847768397@qq.com

## 1 振动测试

### 1.1 成灌快铁

成灌快铁为双线铁路,正线长66 km,其中高架线路长42.6 km,约占全线的65%。桥梁段采用CRTS III型板式无砟轨道,桥墩形状主要有Y型桥墩、V型桥墩等<sup>[7]</sup>。成灌快铁运行CRH1型动车组,列车每列八节编组,车长为213.5 m,轴重为16 t。

### 1.2 测试地点

测试地点选择郫县安德镇全福村Y型桥墩和郫县郫筒镇景岗村V型桥墩。Y型桥墩高7.3 m,V型桥墩高3.5 m。测试段桥梁均为24 m双线预应力混凝土简支箱梁,轨道为1 435 mm标准轨。测点均为乡村柏油路,场地平整且能准确观测到列车运行状况。测试根据列车运行时间表提前安排测试时间。测试当天天气晴好,测试时无外界干扰,符合测试要求。

### 1.3 测点布置

Y型桥墩振级参数测点距桥墩中心处距离分别为0 m、10 m、20 m、30 m、40 m、50 m、60 m,其余参数各测点距桥墩中心处距离分别为2 m、15 m、31 m、50 m,内外线间距为4.6 m,青城山至成都方向为内线。该测点处共测试10组数据,列车速度约为194 km/h;V型桥墩振级参数测点距桥墩中心处距离分别为0 m、10 m、20 m、30 m、40 m、50 m、60 m,其余参数测点距线路中心线距离分别为0 m、15 m、35 m、50 m,内外线间距为4.6 m,成都至青城山方向为内线。该测点处共测试10组数据,列车速度约为148 km/h。墩桥墩形状见图1、图2。两处桥墩测试布点示意图见图3。



图1 Y型桥墩



图2 V型桥墩

### 1.4 测试仪器及测试参数

本次参照《铁路环境振动测量》(TB/T 3152-2007)中的相关规定进行测量,仪器选用北京东方振动和噪声技术研究所生产的INV3062T型振动测试仪,该仪器为24位云智慧采集系统,具有4个24位高精度AD采集通道;拾振器型号为941 B型,频率范围为0.17 Hz~100 Hz。测试参数为各测点竖向时程曲线、频谱曲线和振级。

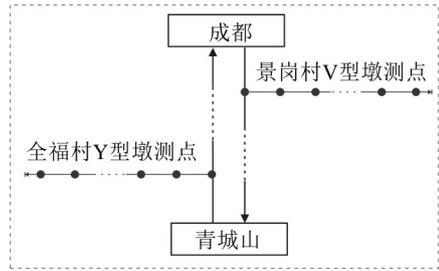


图3 测试示意图

## 2 测试结果及分析

### 2.1 Y型桥墩测试结果及分析

#### (1) 时程曲线分析

竖向加速度时程曲线反映了距桥墩不同距离处地面竖向振动加速度随时间的变化。图4、图5分别为Y型墩内线、外线各测点地面竖向加速度的时程曲线。

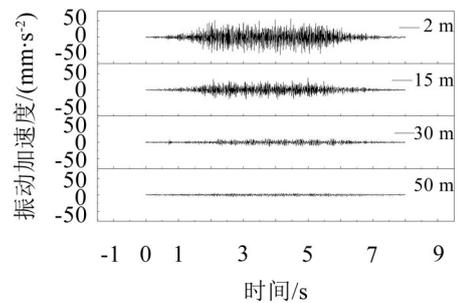


图4 内线时程曲线

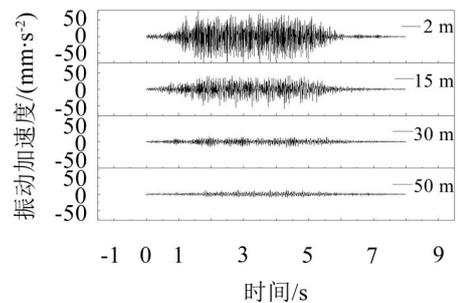


图5 外线时程曲线

由图4、图5可知,由列车引起的Y型墩内、外线地面竖向振动持续时间约6 s,在2 m测点处,内线的加速度范围为 $-53.1 \text{ mm/s}^2 \sim 56.6 \text{ mm/s}^2$ ,外线的加速度范围为 $-103 \text{ mm/s}^2 \sim 77.9 \text{ mm/s}^2$ 。在15 m测点处,内线的加速度范围为 $-28.5 \text{ mm/s}^2 \sim 35.6 \text{ mm/s}^2$ ,外线的加速度范围为 $-55.4 \text{ mm/s}^2 \sim 46.6 \text{ mm/s}^2$ ,而在31 m和50 m测点处,振动已很微弱。

#### (2) 频谱曲线分析

频谱曲线主要反映各测点处竖向振动加速度及振动频率的分布情况。图6、图7分别为Y型墩内、外线各测点的频谱曲线。

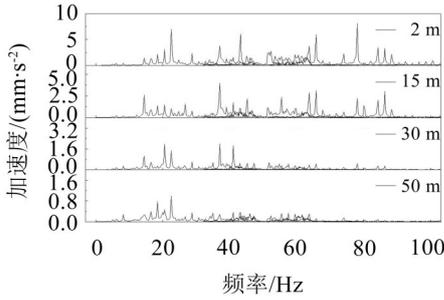


图6 内线频谱曲线

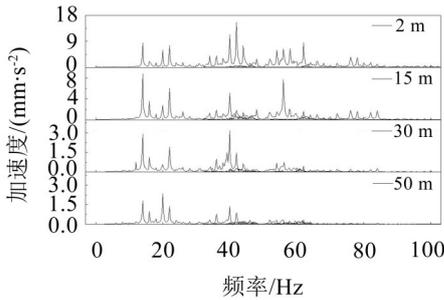


图7 外线频谱曲线

由图6可知,内线2 m测点处,振动主频范围为42 Hz~44 Hz、65 Hz~67 Hz、77 Hz~79 Hz,最优频率为78 Hz,加速度幅值为8.11 mm/s<sup>2</sup>;15 m测点处,振动主频范围为36 Hz~40 Hz、63 Hz~66 Hz、85 Hz~87 Hz,最优频率为37 Hz,加速度幅值为3.99 mm/s<sup>2</sup>;31 m测点处,振动主频范围为20 Hz~23 Hz、36 Hz~41 Hz,最优频率为37 Hz,加速度幅值为1.99 mm/s<sup>2</sup>;50 m测点处,振动主频范围为21 Hz~23 Hz,最优频率为22 Hz,加速度幅值为0.98 mm/s<sup>2</sup>。

该测点内线2 m~15 m范围内,衰减距离为13 m,加速度衰减4.12 mm/s<sup>2</sup>;15 m~31 m范围内,衰减距离为16 m,加速度衰减2.00 mm/s<sup>2</sup>;31 m~50 m范围内,衰减距离为19 m,加速度衰减1.01 mm/s<sup>2</sup>,可见,随着距离的增加,加速度衰减速度越来越小。

由图7可知,外线2 m测点处,振动主频范围为12 Hz~25 Hz、33 Hz~45 Hz、50 Hz~62 Hz,最优频率为42 Hz,加速度幅值为15.5 mm/s<sup>2</sup>;15 m测点处,振动主频范围为12 Hz~25 Hz、39 Hz~41 Hz、53 Hz~57 Hz,最优频率为14 Hz,加速度幅值为8.74 mm/s<sup>2</sup>;31 m测点处,振动主频范围为13 Hz~25 Hz、39 Hz~41 Hz,最优频率为40 Hz,加速度幅值为3.17 mm/s<sup>2</sup>;50 m测点处,振动主频范围为18 Hz~23 Hz,最优频率为20 Hz,加速度幅值为2.35 mm/s<sup>2</sup>。

该测点2 m~15 m范围内,衰减距离为13 m,加速度衰减6.76 mm/s<sup>2</sup>;15 m~31 m范围内,衰减距离为16 m,加速度衰减5.57 mm/s<sup>2</sup>;31 m~50 m范围内,衰减距离为19 m,加速度衰减0.82 mm/s<sup>2</sup>,可见,随着距离的增加,加速度衰减速度越来越小。

## 2.2 V型桥墩测试结果及分析

### (1) 时程曲线分析

图8、图9分别为V型墩内、外线各测点地面竖向加速度时程曲线。

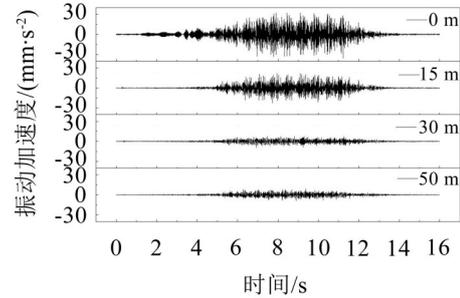


图8 内线时程曲线

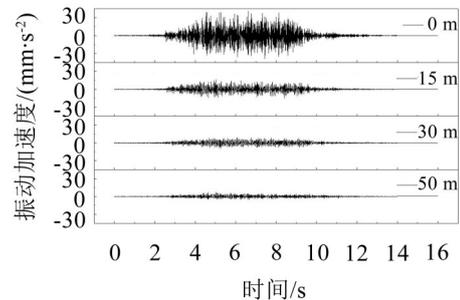


图9 外线时程曲线

由图8、图9可知,V型墩内、外线振动持续时间为6 s,内外线竖向振动加速度最大值均出现在振源处。在0 m测点处,内线的加速度范围为-35.1 mm/s<sup>2</sup>~32.5 mm/s<sup>2</sup>,外线的加速度范围为-38.5 mm/s<sup>2</sup>~41.3 mm/s<sup>2</sup>。在15 m测点处,内线的加速度范围为-22.3 mm/s<sup>2</sup>~21.4 mm/s<sup>2</sup>,外线的加速度范围为-15.2 mm/s<sup>2</sup>~16.0 mm/s<sup>2</sup>,15 m后的振动已很微弱。

### (2) 频谱曲线分析

图10、图11分别为V型墩内线、外各测点的频谱曲线。

由图10可知,内线0 m测点处,振动主频范围为53 Hz~64 Hz、40 Hz~48 Hz,最优频率为62 Hz,加速度幅值为1.61 mm/s<sup>2</sup>;15 m测点处,振动主频范围为38 Hz~48 Hz、60 Hz~65 Hz,最优频率为47 Hz,

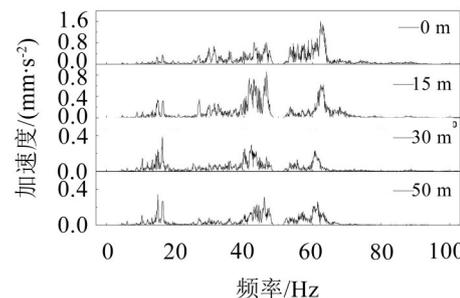


图10 内线频谱曲线

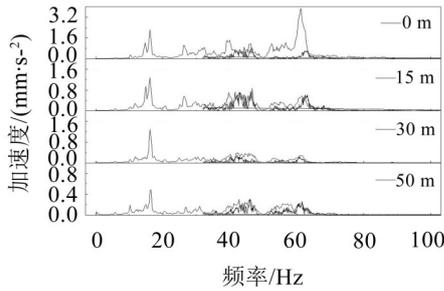


图11 外线频谱曲线

加速度幅值为 $0.861 \text{ mm/s}^2$ ; 35 m测点处, 振动主频范围为 $9 \text{ Hz} \sim 17 \text{ Hz}$ , 最优频率为 $16 \text{ Hz}$ , 加速度幅值为 $0.259 \text{ mm/s}^2$ ; 50 m测点处, 振动主频范围为 $14 \text{ Hz} \sim 17 \text{ Hz}$ , 最优频率为 $15 \text{ Hz}$ , 加速度幅值为 $0.341 \text{ mm/s}^2$ 。

由图11可知, 外线0 m测点处, 振动主频范围为 $14 \text{ Hz} \sim 17 \text{ Hz}$ 、 $58 \text{ Hz} \sim 64 \text{ Hz}$ , 最优频率为 $61 \text{ Hz}$ , 加速度幅值为 $3.84 \text{ mm/s}^2$ ; 15 m测点处, 振动主频范围为 $13 \text{ Hz} \sim 17 \text{ Hz}$ 、 $38 \text{ Hz} \sim 48 \text{ Hz}$ , 最优频率为 $16 \text{ Hz}$ , 加速度幅值为 $1.29 \text{ mm/s}^2$ ; 35 m测点处, 振动主频范围为 $15 \text{ Hz} \sim 18 \text{ Hz}$ , 最优频率为 $16 \text{ Hz}$ , 加速度幅值为 $1.29 \text{ mm/s}^2$ ; 50 m测点处, 振动主频范围为 $13 \text{ Hz} \sim 17 \text{ Hz}$ , 最优频率为 $16 \text{ Hz}$ , 加速度幅值为 $1.49 \text{ mm/s}^2$ 。

根据该测点内、外线加速度数据的变化可知, 随着距离的增加, 振动加速度衰减速度越来越小。同时, 近距离处以高频振动为主, 远距离处以低频振动为主, 随着距离的增加高频振动衰减迅速, 低频振动衰减缓慢。至35 m处, 振动能量主要集中在小于 $17 \text{ Hz}$ 的频率范围内。

### 3 竖向振动回归分析及预测

衰减公式在一定程度上反映了振动的衰减规律。为了解成灌快铁环境振动的衰减特性, 对两种桥墩地面竖向实测的振动最大值进行分析。根据桥墩附近振动实测结果, 竖向振级 $y$ 与距桥墩距离 $x$ 的指数值接近于线性, 对实测数据利用回归方法进行拟合, 得出成灌快速铁路Y型桥墩和V型桥墩地面竖向 $Z$ 振级统计回归经验公式依次为:

$$y = 26.6132 e^{\frac{-x}{18.0730}} + 53.7546 \quad (R^2 = 0.9886)$$

$$y = 40.0679 e^{\frac{-x}{18.1915}} + 56.8472 \quad (R^2 = 0.9087)$$

其中 $x$ 为测点距桥墩中心距离;

$y$ 为竖向振动加速度最大值。

将Y型桥墩实测值与经验公式预测值作图比较, 如图12所示; 将V型桥墩实测值与经验公式预测值作图比较, 如图13所示;

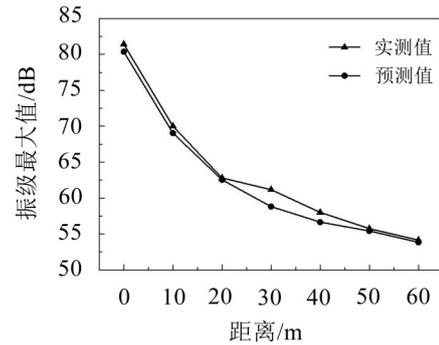


图12 Y型桥墩实测值与预测值

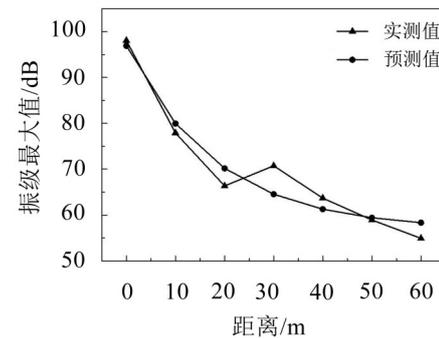


图13 V型桥墩实测值与预测值

由图12、图13可知, 在20 m范围内Y型墩竖向最大振级实测值与预测值最大差异值 $1.05 \text{ dB}$ , 在20 m范围外竖向最大振级实测值与预测值最大差异值为 $2.36 \text{ dB}$ 。在20 m范围内V型墩竖向最大振级实测值与预测值最大差异值 $3.84 \text{ dB}$ , 在20 m范围外竖向最大振级实测值与预测值最大差异值为 $6.20 \text{ dB}$ 。预测值相对实测值差异幅度为 $1.29\% \sim 8.76\%$ , 预测公式符合度较高, 适合于成灌快速铁路环境振动的预测。

### 4 结语

通过对成灌快铁桥墩处地面竖向环境振动的分析, 初步得出如下环境振动特性:

(1) 随着距离增加, 振动加速度逐步减小, 地面环境振动持续时间较短, 约为 $6 \text{ s}$ 。

(2) 环境振动在衰减过程中, 近振源处的衰减速度大于远振源处的衰减速度。

(3) 环境振动的能量主要集中在 $10 \text{ Hz} \sim 63 \text{ Hz}$ 之间。

(4) 桥墩处的竖向环境振动最大值符合指数衰减规律。

参考文献:

- [1] SHENG X, JONES CJC, THOMPSON DJ. A theoretical model for ground vibration from trains generated by vertical track irregularities[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2004, 272(3): 937-965.

(下转第155页)