文章编号:1005-0523(2011)04-0019-04

高速铁路沿线地面环境振动特性的实测与分析

刘 腾,雷晓燕,刘庆杰

(华东交通大学铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心,江西 南昌 330013)

摘要:通过对我国某高速铁路路基区段高速列车引起的周围环境地面振动进行现场实测,根据测试数据进行了功率谱分析、Z振级分析和1/3倍频程分析。分析结果表明,列车以250~350 km·h^{-1}高速运行时,在距轨道中心线水平距离30~60 m处,地面振动随列车速度的提高而增大;地面振动能量主频在40 Hz左右;地面各处振动呈波动式变化,随距离传播规律是平均每10 m减少2~3 dB,且高频振动的衰减速度大于低频振动的衰减速度,远离振源处以低频振动为主。

关键词:高速铁路;地面振动;振动特性

中图分类号:TB53 **文献标识码**:A

随着我国经济的迅速发展,交通问题的日益突出,高速铁路以其运量大、能耗低、占地小、安全可靠等特点,成为解决交通问题的重要手段;但是列车运行产生的环境振动问题也日益频繁,从而对临近建筑物及地下管道、精密仪器和设备等产生了不可忽略的负面影响。国际上已把环境振动列入国际七大公害之一[1],并已开始着手研究振动污染规律、振动产生的原因、传播路径与控制方法以及对人体的危害等问题。

关于轨道交通系统诱发的环境振动,国内外学者利用各种方法进行了大量研究。日本学者T.Fujikake[2]、吉冈修[3]等就新干线高速列车对环境振动的影响进行了现场测试,分析了车辆、轨道、桥梁、地面等不同部位的振动特点;丹麦Jakobsen Jorgen[4]对铁路交通引起的地面振动进行了测试,试图找出路基附近的地面振动水平与交通运输量及轨道参数之间的关系,确定不同类型场地土的振动随距离的衰减规律;雷晓燕[5]从车辆—轨道相互作用研究指出,当列车以一定速度通过轨道时,车辆和轨道在各个方向均产生振动,并分析了其主要原因;边学成[6]、曹艳梅[7]等从数值方面对轨道交通系统诱发地基及建筑物振动进行了分析;夏禾[8]及高广运[9]对轨道交通引起的地面振动进行了实测,为研究地面振动提供了大量的试验结论。

文章给出了我国高速铁路诱发沿线地面振动的实测分析,在频域内对测试数据进行了深入分析,据此分析了高速铁路诱发环境振动在频域内的传播规律和分布特点。

1 测试简况

全线由高架桥梁、隧道和路基组成。高架桥梁轨道系统采用的是CRTSII型板式无碴轨道系统,桥面系结构依次由滑动层、底座板、CA砂浆层、轨道板、侧向挡块组成,再铺设60 kg·m^{-1}的500 m长钢轨,实行无缝焊接。整条线路水平误差不超过0.1 mm。测试地点在路基附近500 m范围内为自由场地,地质条件为粉沙土、粘质沙土、沙质粘土地层。测点布置如图1所示,在自由场地内共布置了4个测点,分别设在距轨道中心线水平距离30,40,50和60 m

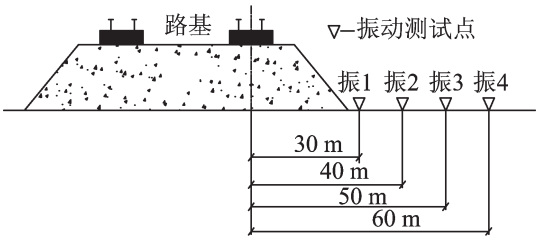

图1 测点分布示意图
Fig.1 Distribution of observing points

收稿日期:2011-04-22

基金项目:国家自然科学基金项目(50978099);江西省优势科技创新团队计划项目([2010]210)

作者简介:刘腾(1987—),男,硕士研究生,研究方向为高速轨道动力学。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

处。测试采用东华5920动态采集仪、VM53A的理音振动采集仪，采样频率为500 Hz，共测试30趟列车。

2 测试数据处理方法

对测得的数据进行功率谱分析、Z振级分析和1/3倍频程分析。采用韦尔奇法[10]来给出振动信号的功率谱密度函数估计。按照我国的城市区域环境振动标准GB10070-1988规定，采用ISO2631的1/3倍频的计算方法，得出地面振动加速度级（简称振级）。振动加速度级 VAL 是根据各中心频率的有效值按照下面公式计算得到：

$$VAL = 20\lg\frac{a}{a_0}(\mathrm{dB}) \tag{1}$$

$$a = \sqrt{\sum a_f^2 \cdot 10^{0.1c_f}} \tag{2}$$

式中：a_0 为基准加速度，取值为 $10^{-6}\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$；$a$ 为振动加速度有效值，$\mathrm{m\cdot s^{-2}}$；a_f 表示频率为 f 的振动加速度有效值，$\mathrm{m\cdot s^{-2}}$；c_f 为振动加速度对应不同频率的感觉修正值[11-12]。按照GB10070-1988中铅垂向Z振级标准进行环境振动评价。

3 测试结果分析

3.1 功率谱分析

功率谱分析的目的是了解振动加速度信号的能量分布和频率成分，以了解引起振动的原因及其与能量输入的相互关系。

为了研究地面振动的时域和频域特性，选取第16趟列车通过时的数据进行分析，该趟车是一列客车，速度为330 $\mathrm{km\cdot h^{-1}}$。其对应各测点的地面竖向振动时程及频谱曲线如图2所示。

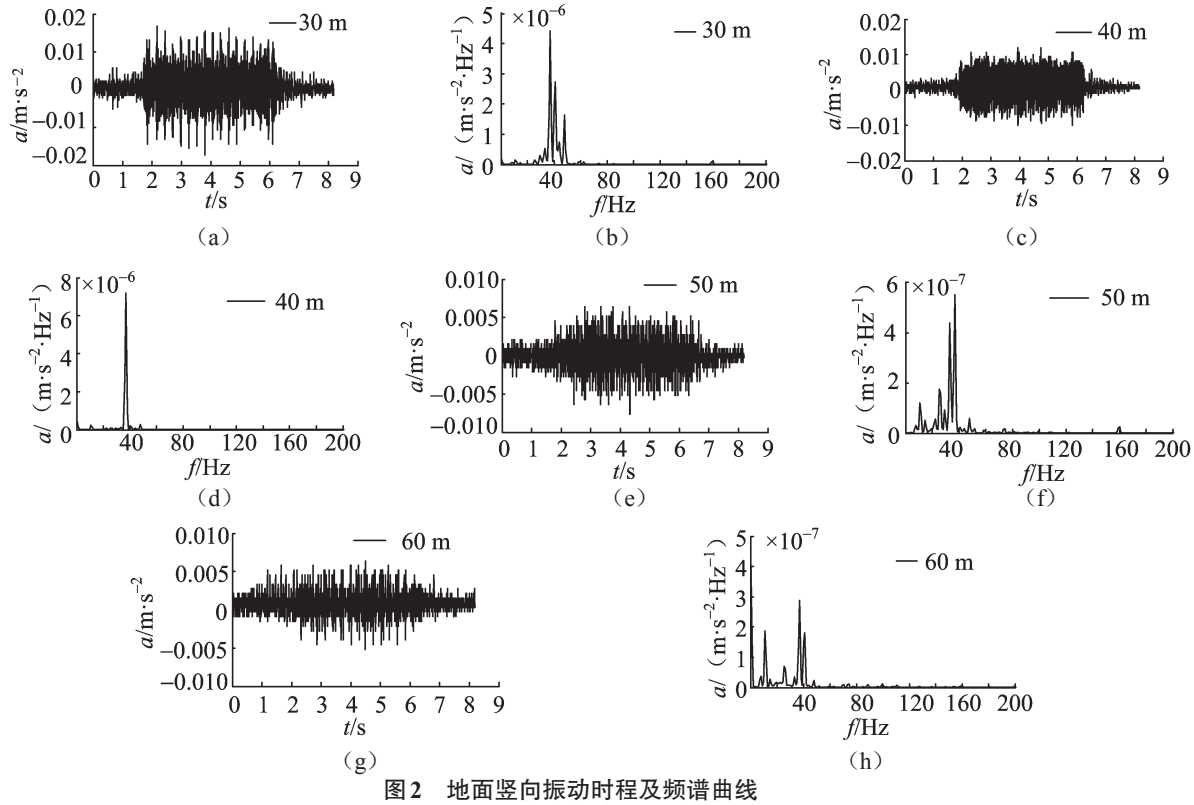

图2 地面竖向振动时程及频谱曲线

Fig.2 Time-history and the spectrum curves of ground vertical vibration

通过图2的时域图可以看出，当列车通过时，地面振动的响应是随距轨道中心线水平距离的增加呈逐

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

渐衰减的趋势。通过图2中的频谱图可以看出,距轨道中心线水平距离30,40,50,60 m处地面振动的主频主要集中在40 Hz左右,其主峰值随距离增加而逐渐减小,且在远振源50,60 m处地面振动的低频成分上升,说明地面振动主频在远离振源处向低频发展,即,低频振动传递较远,高频振动衰减较快。

3.2　Z振级分析

为了解不同距离处Z振级的响应特性(取车速为330 km·h^{-1}的第16号车次),通过(1)式求出距轨道中心线水平距离30,40,50,60 m处的Z振级的时域曲线如图3所示。由图可知,地面各测点处Z振级总的变化趋势是先波动式上升,再平缓波动,后逐渐波动式下降;在30 m处的振动加速度级主要集中在60~70 dB之间,60 m处的振动加速度级主要集中在55~65 dB之间,在30~60 m的传播过程中,振动级平均减少约5 dB。

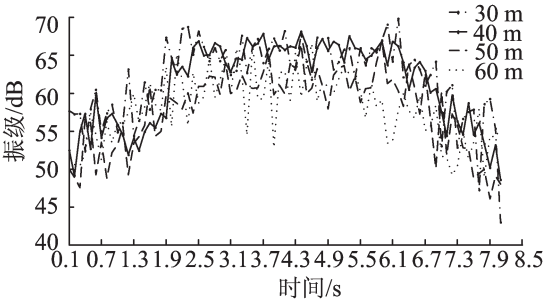

图3　地面Z振级时域曲线

Fig.3　Time zone curves of z-level vibration

考虑车速对地面振动的影响,选取车速分别为250,300,350 km·h^{-1}下地面各测点处的$VL_{z,max}$(取时间为1 s)的分布情况如图4所示。由图可知,客车在250~350 km·h^{-1}范围内行驶,引起地面的振动随车速的提高而增大;地面各处$VL_{z,max}$的衰减趋势大概一致呈线性,平均每10 m衰减2~3 dB;在不同测点,当列车速度从250 km·h^{-1}提高到350 km·h^{-1}时,振级增加了1.5~4 dB,且距离越近差距越大,说明速度对靠近振源的地面影响较大。

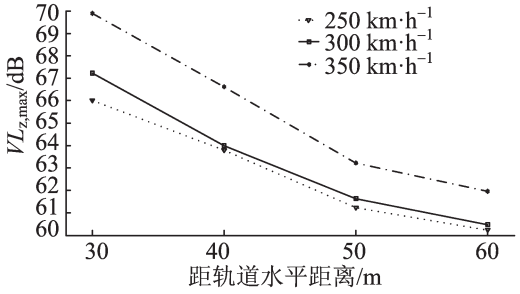

图4　不同车速$VL_{z,max}$随距离衰减情况

Fig.4　Decrease of $VL_{z,max}$ with distance at different speeds

由以上分析可以看出,速度在250~350 km·h^{-1}范围内的客车,铁路环境振动在GB10070-1988规定限值80 dB以下。

3.3　1/3倍频程分析

将所采集到的数据通过傅里叶变换进行1/3倍频分析是为了更清楚的分析各频域内地面振动的特性,以便了解不同频域内振动随振源距离变化和随车速变化的情况(倍频程分析的最大中心频率取80 Hz)。我国的城市区域环境振动标准GB10070-1988所采用的是ISO2631所使用的1/3倍频的计算方法。据此得出不同速度1/3倍频程图和不同距离1/3倍频程图分别为图5、图6。

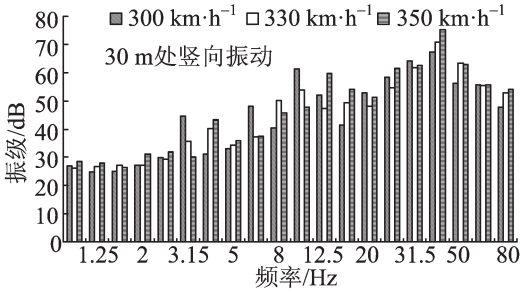

图5　不同速度1/3倍频程分析

Fig.5　Calculation of 1/3 octave band at different speeds

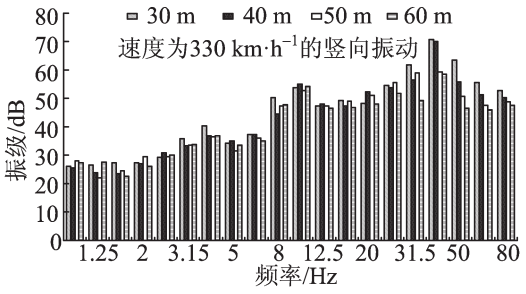

图6　不同距离1/3倍频程分析

Fig.6　Calculation of 1/3 octave band with different distance

从图5、图6可以推知,速度在300~350 km·h^{-1}的客车,引起距轨道中心线30,40,50,60 m处的竖向振动能量主要集中在8~80 Hz范围内,且振动能量先后在10~12.5 Hz处、40 Hz附近达到峰值;随与振源距离的逐渐增大,中心频率大于40 Hz的振级逐渐衰减,而中心频率在1~20 Hz范围内振级变化甚小,甚至有增大现象,说明地面高频振动的衰减速度大于低频振动的衰减速度,这与前面频谱分析结果相一致。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 结论

1）当客车以250~350 km·h^{-1}速度通过时，在30~60 m处地面振动的响应是随距轨道中心线水平距离的增加呈逐渐衰减的趋势，平均每10 m衰减2~3 dB。

2）不同频域内地面振动随距离的传播特性：低频振动较高频振动衰减更慢，远离振源处地面振动以低频为主。

3）高速客车运行时地面振动能量主要集中在8~80 Hz范围内，并先后在10~12.5 Hz处、40 Hz附近达到峰值。

4）客车引起地面振动随着车速的提高而增加，车速变化对靠近振源处地面振动影响较大。

参考文献：

[1] 高广运，孙雨明，吴世明. 铁路产生的地面振动与减振[M]. 上海：同济大学出版社，2002：64-72.

[2] FUJIKAKA T. A preduction method for the propagation of ground vibration from railway train[J]. Journal of Sound and Vibration，1986，111(2)：289-297.

[3] 吉冈修. 新干线列车走行にすそ沿线の地盘振动[J].铁道技术，1986，43(7)：265-269.

[4] JAKOBSEN JORGEN. Ground vibration from rail traffic[J]. Journal of Low Frequency Noise and Vibration，1987，6(3)：120-126.

[5] 雷晓燕. 轨道力学与工程新方法[M]. 北京：中国铁道出版社，2002.

[6] 边学成. 高速列车荷载作用下高架桥和地基振动分析[J]. 振动工程学报，2006，19(4)：438-445.

[7] 曹艳梅，夏禾，战家旺. 运行列车引起高层建筑物振动的实验研究及数值分析[J].工程力学，2006，23(11)：182-187.

[8] 夏禾，张楠，曹艳梅. 列车对周围地面及建筑物振动影响的试验研究[J]. 铁道学报，2004，26(4)：93-98.

[9] 高广运，李志毅，冯世进. 秦–沈铁路列车运行引起的地面振动实测与分析[J]. 岩土工程学报，2007，28(9)：1817-1822.

[10] WANG JI，HU XIAO. The application of MATLAB in the vibration signal processing[M]. Beijing：China Water Conservancy and Hydropower Press，2006.

[11] ISO2631/1. Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole body vibration-part1：general requirements [S]. 1997.

[12] ISO2631/2. Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole body vibration-part2：Continuous and shock induced vibration in buildings (1—80 Hz)[S]. 1989.

Survey and Analysis of the Vibration Characteristic of Ground Environment along the Rapid Transit Railway Line

Liu Teng Lei Xiaoyan Liu Qingjie

(Engingeering Research Center of Railway Environment Vibration and Noise，Ministry of Education，East China Jiaotong University，Nanchang 330013，China)

Abstract：In this paper，on-the-spot measurement of the ground vibration induced by high-speed railway is conducted. According to the data，the Pow Spectrum，the z-level vibration and 1/3 octave band are analyzed. The results show that when the vehicle speed is 250-350 km·h^{-1}，the vibration level away from centerline of 30-60 m will increase with the vehicle speed. The main frequency of vibration energy is about 40 Hz. The vibration level has fluctuation changing trend and decreases 2-3 dB every ten miles. The attenuating speed of high frequency vibration is greater than that of low frequency vibration. At the same time，the low-frequency vibration dominates the far places.

Key words：high-speed railroad；ground-borne vibration；vibration characteristic

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net