

文章编号:1005-0523(2011)04-0070-05

运行列车引起基础—结构体系振动的三维数值分析

姜海凤,卢华喜,吴必涛,梁平英

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:以ansys为计算平台,建立了列车—轨道—基础—结构的三维动力相互作用分析模型,分析了列车运行引起的环境振动问题及对周围结构的影响,结果表明:在软土情况下,列车引起的建筑物的竖向振动比较大;建筑物的振动也基本随车速的增大而在增大;轴重大的货车引起的振动响应比客车要大;改变建筑物的自身结构刚度特性对水平向加速度的改变较明显。

关键词:列车;环境竖向振动;周围结构;

中图分类号:U239.5

文献标识码:A

改革开放30多年来,我国铁路交通发展迅速,大流量的列车运行引起振动响应对人们生活和工作造成的影响,已让它成为振动公害。所谓振动公害,是由于人们活动或者活动时利用的工具等引起的振动对人的身心健康的影响、对学习工作环境的影响、对结构的安全性影响以及一些精密仪器的性能的影响等。东南大学的张晓春等^[1]就地铁引起的振动对人体舒适度的影响问题提出了一个基于模糊理论的建筑结构内人体舒适度的烦恼率模型。北京交通大学马蒙等^[2]对西安2号线地铁引起的振动对西安钟楼影响问题采取一系列减振措施。北京大学实验室和设备管理部^[3]对附近的北京地铁二号线和十三号线进行振动测试,以分析其对实验室仪器的影响。

近些年来,国内对列车引起的环境振动的研究越来越多。文献[4]根据波数域分层大地波动的求解理论和Fourier变换,研究当列车速度大于 $200\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,路基表面位移迅速增大,尤其当列车速度接近Rayleigh波波速时,会引起共振。文献[5-7]建立了列车—轨道和路基—土层—建筑物二维动力分析模型,在对列车运行产生的振动机理、传播和控制方面和对周围结构的影响分析等取得一定成果。本文以ansys为计算平台,建立了列车—轨道—基础—结构结构的三维动力相互作用分析模型,分析不同土壤条件下、不同轴重下,不同车速下和改变建筑物自身结构特性所得出列车运行引起的环境竖向振动响应特性。

1 列车—轨道—建筑物三维动力分析模型

采用通用有限元分析程序ansys建立列车—轨道—基础—建筑物三维动力分析模型(见图1)。传统轨道是有碴轨道,它具有成本低,施工和维修方便等优点,而随着列车的几次提速,容易变形的有碴道床就不再适应了,无碴轨道铁路就孕育而生了。本文采用无碴轨道结构(见图2),对于列车施加于铁路的荷载给出一种简化假设,就是将移动列车简化为无质量的

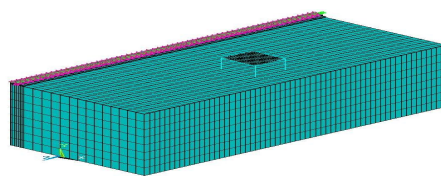


图1 列车—地基—建筑物三维动力分析模型
Fig.1 Three-dimensional dynamic model of train-foundation-buildings

收稿日期:2011-04-18

基金项目:国家自然科学基金(51008122);江西省青年科学家(井冈之星)培养对象计划(2010DQ01800);江西省自然科学基金(2009GZC0023)

作者简介:姜海凤(1988—),女,硕士研究生,主要从事高速铁路引起建筑物振动响应特性方面的研究。

匀速移动常量力;取相邻三节车厢的四个转向架的荷载,即8个移动点荷载。路基长度取为36 m,单元网格划分取0.6 m,周围采用弹性约束,基底采用的是全固定约束。地基、轨道板和CA砂浆层、混凝土承重层用solid45单元;钢轨采用beam188单元;轨下胶垫和扣件采用弹簧—阻尼单元表示,在ansys中选取combin14来模拟。取轨下垫板的弹簧系数^[8] $k_p=6\times10^7\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$,阻尼系数 $c_p=2.5\times10^4\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$;扣件的弹簧系数 $k_f=6\times10^7\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$,阻尼系数 $c_f=2.5\times10^4\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$;扣件及垫板刚度系数 $K=1.2\times10^8\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$,扣件及垫板阻尼系数 $C=1.25\times10^4\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ 。

在分析模型过程中,假定材料始终保持弹性状态和土层为单一均质的。建筑物体系为单层框架结构:基础采用筏板基础,是用shell63单元;梁柱采用beam188来模拟。表1为ansys中模拟所需的具体计算参数。

2 不同特性土的影响

不同特性土是影响列车引起周围结构竖向振动的重要因数。为了研究不同土对列车运行引起建筑物的竖向振动响应特性,场地土取单一均质的;这样便于进行分析研究。分析时,采用速度为 $V=60\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的同一列车进行模拟。表2为土的主要参数。

在不同场地土条件下,列车引起的周围结构竖向振动结果参见图3、图4、图5。图3(a)(b)分别表示当场地土为粉质黏土时距离列车轨道中心 $R=8,12\text{ m}$ 处的单层建筑物一层处的位移时程曲线。图4和图5分别表示当场地土为软土和硬土时的振动竖向位移时程曲线。

从以上图中可以看出,当同一列车以216 km/h高速运行时,当土第一种情况时:在距离轨道8 m处的单层建筑物的竖向位移为0.082 3 mm,距离为12 m处时的竖向位移为0.031 5 mm;土为软土时:8 m处的单层建筑物的竖向位移为0.048 4 mm,12 m处的位移为0.016 3 mm;土为硬土时:8 m处建筑物的竖向位移为0.025 mm,12 m处的位移是0.009 1 mm;由此可以看出同一情况下处在松软土的建筑物的位移幅值比硬土的要大,且同一场地土时离轨道越远的建筑物的竖向位移幅值也越小。

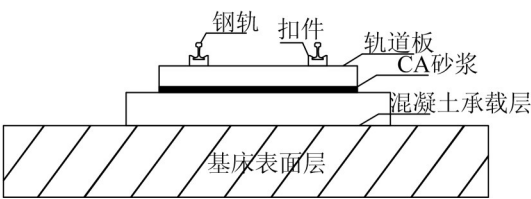


图2 无碴轨道横断面图
Fig.2 Cross section of ballastless

表1 主要计算参数
Tab.1 Main calculating parameters

材料	弹性模量/Pa	密度/kg·m ⁻³	泊松比	尺寸/m ²
梁	3.0×10 ¹⁰	2 600	0.20	0.25×0.3
柱	3.0×10 ¹⁰	2 600	0.20	0.3×0.3
底座	3.0×10 ¹⁰	2 600	0.20	—
CA砂浆	2.5×10 ⁸	2 250	0.30	—
筏板	3.0×10 ¹⁰	2 600	0.20	—
轨道板	3.5×10 ¹⁰	3 000	0.17	—
钢轨	2.06×10 ¹¹	7 850	0.30	—

表2 土的主要参数
Tab.2 Main parameters of soil

土	弹性模量/MPa	密度/kg·m ⁻³	泊松比	阻尼比
粉质黏土	13.3	1 730	0.3	0.05
软土	29	1 780	0.3	0.05
硬土	164	1 950	0.3	0.05

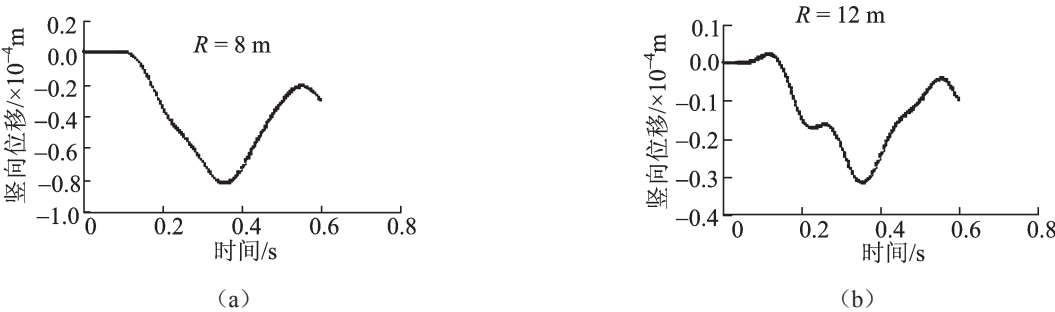


图3 位移时程
Fig.3 Time history curves of displacement

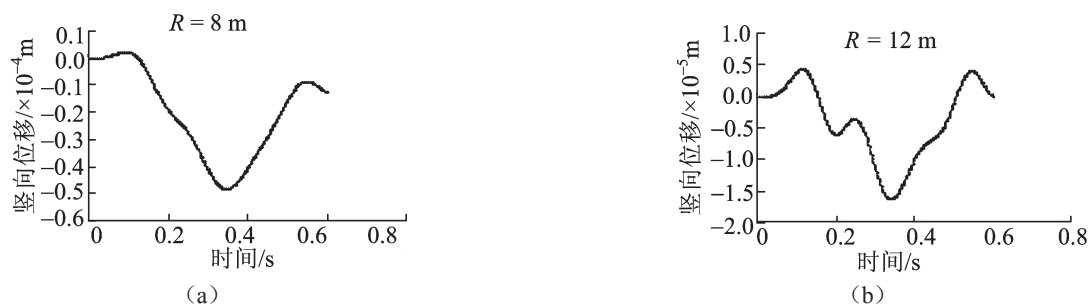


图4 位移时程

Fig.4 Time history curves of displacement

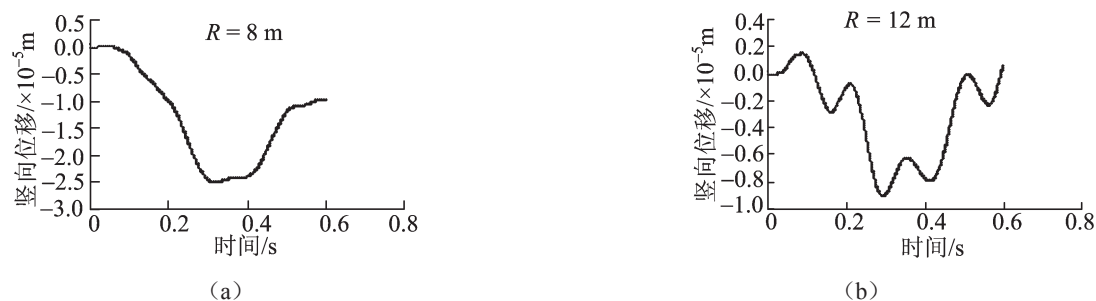


图5 位移时程

Fig.5 Time history curves of displacement

3 列车速度的影响

在同一场地土条件下,不同列车速度引起的周围结构竖向振动结果参见图6、图7、图8。图6(a)(b)分别表示当列车以 $V = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时距离列车轨道中心 $R = 8, 12 \text{ m}$ 处的单层建筑物一层处的竖向加速度时程曲线。图7和图8分别表示 $V = 60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的竖向加速度时程曲线。



图6 加速度时程

Fig.6 Time history curves of acceleration



图7 加速度时程

Fig.7 Time history curves of acceleration

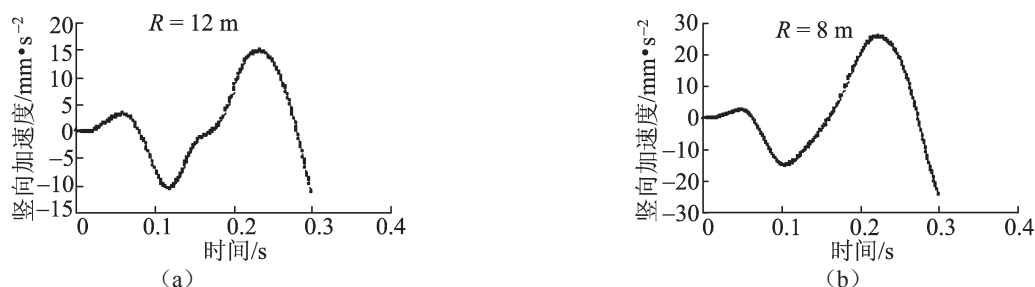


图8 加速度时程

Fig.8 Time history curves of acceleration

由以上图可知,对于3组不同车速,车速是越大,建筑物的竖向加速度基本也是随之越大;同一车速,离轨道越远处的建筑物的竖向加速度越小。

4 列车轴重对竖向加速度振动的影响

列车轴重对竖向振动强度有较大的影响。一般情况下,货车的轴重比客车重。由文献[9]知,轴重210 kN的货车比142.5 kN的客车引起的加速度大50%~60%,位移大45%~50%。本文在同样的列车速度条件下,分别以轴重80,140,190 kN来进行计算分析比较。图9(a)(b)分别表示当列车轴重为140 kN时距离列车轨道中心 $R=8, 12$ m处的单层建筑物一层处的竖向加速度时程曲线。图7和图10分别表示轴重为80、190 kN时的竖向加速度时程曲线。从图7,图9,图10看出计算结果规律文献一致:轴重越大,建筑物的竖向振动响应越大。

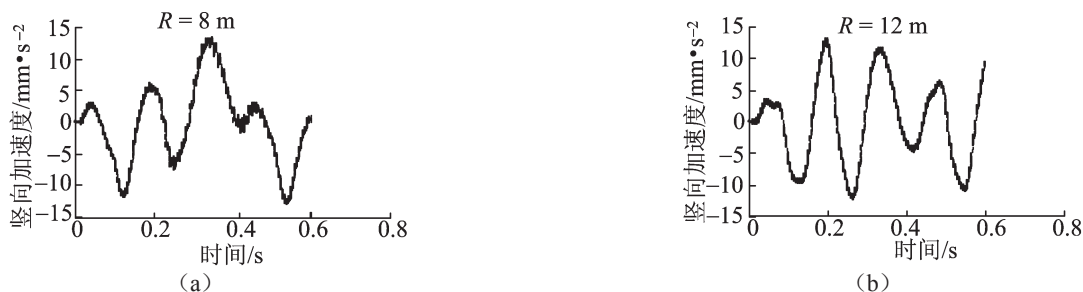


图9 加速度时程

Fig.9 Time history curves of acceleration

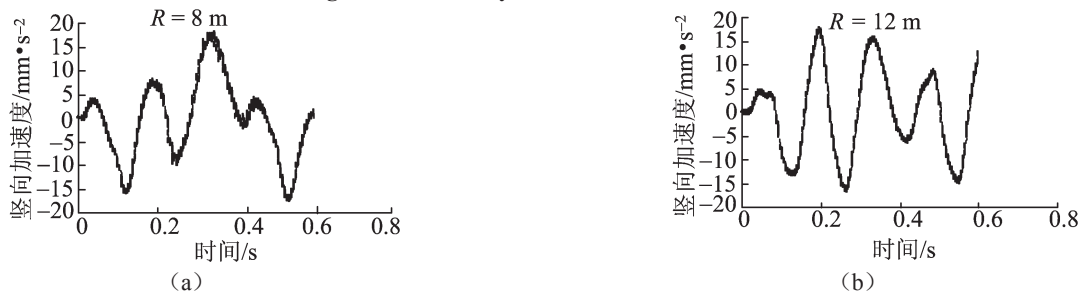


图10 加速度时程

Fig.10 Time history curves of acceleration

5 建筑物自身结构刚度的改变的影响

在单层框架中,通过加设钢支撑增加框架的刚度,支撑型式有通常有两种:“X”型和“人”型,本文采用X型,截面为圆形钢管;大圆形钢管直径尺寸为0.166 m和0.169 m;小钢管直径尺寸是0.066 m和0.069 m。

由图11和12比较可以看出:建筑物自身刚度的增大,楼板水平向的竖向加速度减小且减小的幅度也较明显;楼板竖向加速度几乎没有改变多少。

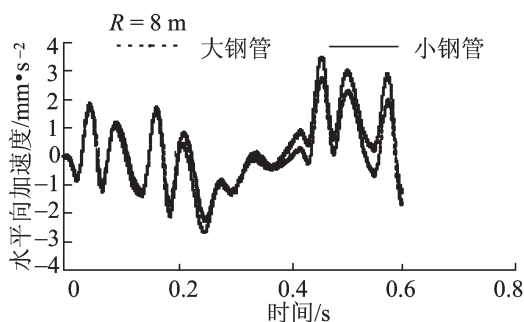


图11 水平加速度时程

Fig.11 Time history curves of lateral acceleration

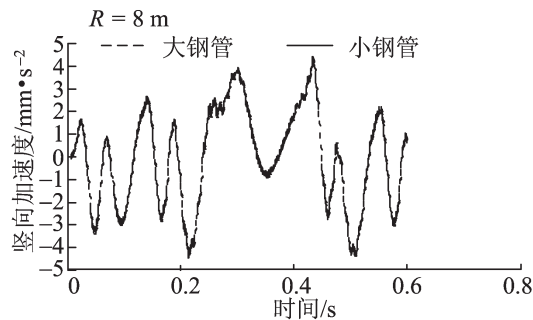


图12 竖向加速度时程

Fig.12 Time history curves of vertical acceleration

6 结论

1) 一般情况下,场地土的参数对竖向振动影响较大,土越软,列车运行引起的周围建筑物的竖向幅值越大。建设建筑物时应选较好的地基减少振动的影响。

2) 列车运行引起的周围建筑物的振动强度一般随列车车速的增加而加大。当列车速度接近轨道临界速度时,建筑物的竖向加速度增大非常明显。

3) 随着轴重的增加,建筑物的加速度也增加。同一列车速度下,货车引起的振动比客车的要大,所以重载货车对轨道的破坏越大。

4) 在高速列车比较频繁运行的地方,应尽量避免建设建筑物,以减少对人们正常生活学习和工作的影响

5) 改变建筑物的刚度对水平向的竖向加速度的改变较明显。

6) 鉴于以上分析,可在车辆系统中设置减震器,或者在建筑物中进行隔振处理,可减少振动带来的影响。

参考文献:

- [1] 张晓春,张辰辰,张磊,等. 地铁列车振动对临近建筑内人体舒适度的影响研究[J]. 中国矿业大学学报,2009,38(6):835-839.
- [2] 刘维宁. 地铁列车引起的振动对西安钟楼的影响[J]. 北京交通大学学报,2010,34(4):88-91.
- [3] 孙晓静,刘维宁,郭建平,等. 地铁列车振动对精密仪器和设备的影响及减振措施[J]. 中国安全科学学报,2002, 15(11):78-81.
- [4] 和振兴,翟婉明,吴萱,等. 高速列车作用下板式轨道引起的地面振动[J]. 中国铁道科学,2006,28(2):7-11.
- [5] 王逢朝,夏禾. 列车振动对环境及建筑物的影响分析[J]. 北方交通大学学报,1999,23(4):13-17.
- [6] 夏禾,曹艳梅,吴萱,等. 轨道交通引起的环境振动问题[J]. 铁道科学与工程学报,2004, 1(1):44-51.
- [7] 陈建国,夏禾. 运行列车对周围建筑物振动影响的试验研究[J]. 振动工程学报,2008,21(5):476-481.
- [8] 巩琛. 高速铁路轨道—路基系统动力响应及影响参数的三维有限元分析[D]. 吉林:吉林大学,2009.
- [9] 雷晓燕,邓福清. 客货混运铁路专线轨道振动分析[J]. 铁道工程学报,2007,3(3):16-20.

Three-dimensional Numerical Analysis of Vertical Vibration of Foundation-Structure System Induced by Railway Traffic

Jiang Haifeng, Lu Huaxi, Wu Bitao, Liang Pingying

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on analysis for computing platforms, this paper establishes a 3-d dynamic interaction analysis model of the train-rail-foundation-structure, and analyzes the vibration in train operation and its influence on surrounding structures. The results show that in the soft soil circumstance, vertical vibration of the building is great, that vibration of the building increases with the increasing speed of the train, that vibration of large vehicles is larger than passenger cars. Changes of the building structure stiffness may obviously influence the horizontal acceleration.

Key words: train; vertical vibration of environment; structure;