

列车相向运行对双线无砟轨道高速铁路路基 动应力响应分析

杜衍庆¹, 白明洲¹, 倪守睿²

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 北京市轨道交通建设管理有限公司, 北京 100037)

摘要: 为了研究在不同高速列车相向运行速度组合作用下双线铁路路基结构的动应力响应, 运用 ABAQUS 软件, 建立了列车相向高速运行的双线高速铁路车辆-轨道-路基系统的动力有限元模型. 结果表明: 在两列动车组相向运行作用下, 基床表层及底层表面沿线路横向动应力分布不对称, 路基本体表面动应力分布相对对称; 动应力在距基床表层表面 2.7 m 范围内呈线性衰减, 动应力降至路基最大应力的 50% 左右; 在 2.7 ~ 7.2 m 范围内, 等效应力幅值衰减速度有所减缓, 7.2 m 至更深的范围内, 动应力衰减最为缓慢; 在深度为 4.5 m 左右至更深的范围内动车组相向运行速度越快等效应力幅值越低; 基床表层动应力随动车组纵向间距的变化呈双驼峰形分布, 分别在 2 列动车组的一位和二位转向架横向同轴时达到驼峰; 随着动车组相向运行速度的提高, 列车荷载所引起的动应力振幅增大, 对基床表层的影响更持久、损伤更大.

关键词: 高速铁路; 路基; 等效应力; 相向运行

中图分类号: U 238

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2014)04-0580-06

Analysis of the Subgrade Dynamic Stress Under the Trains Opposite Running on Double-track High-speed Railway

DU Yan-qing¹, BAI Ming-zhou¹, NI Shou-ru²

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Beijing Railway Construction and Management Co. Ltd., Beijing 100037, China)

Abstract: The dynamic finite element coupled model of train-track-subgrade system was established for two CRH₃ trains opposite running on the double-track high-speed railway via ABAQUS to analyze the dynamic stress distribution and transfer rule of this system's subgrade under the moving units with different coupling speeds. Results indicate that, dynamic stress distributed along the lateral direction in surface layer and bottom layer of subgrade bed is unsymmetric, but in embankment is symmetric relatively. The dynamic stress attenuates almost linearly when the depth is less than 2.7 m away from the surface of the surface layer of subgrade bed, the value of dynamic stress accounted for about 50% of the maximum stress. The dynamic stress attenuates slowly within 2.7 ~ 7.2 m and slowest beyond 7.2 m. The equivalent stress amplitude is lower with the increased of the opposite running units speed beyond 4.5 m depth. The stress distribution of the surface layer of subgrade bed presents to be a double-hump, and the stress reaches its maximum value when the first and second bogie is lateral coaxial respectively. With the speed of opposite running units increasing, the dynamic stress's vibration amplitude also increases, with more durable and harmful influence on the surface layer of subgrade bed.

Key words: high-speed railway; subgrade; von-Mises stress; opposite running

收稿日期: 2013-06-07

基金项目: 铁道部科技研究开发计划资助项目(2008G032-2)

作者简介: 杜衍庆(1986—),男,博士研究生,主要从事路基及边坡工程方面的研究, E-mail:11115313@bjtu.edu.cn

无砟轨道具有稳定性高、能长久保持轨道几何形态、养护维修工作量显著减少、能提高行车平稳性和乘车舒适性等优点^[1],因此,无砟轨道在我国客运专线铁路建设中获得了广泛应用.随着高速铁路的迅速发展和列车运行速度的大幅提高,列车对轨下基础和路基结构的动力冲击作用呈非线性增长,动力作用问题非常突出^[2-3].

目前,有关高速铁路无砟轨道路基结构的动力特性研究多限于单列车荷载对路基结构的影响^[4-11],对两列列车相向运行作用下的双线高速铁路路基动应力响应研究较少.宋小林等^[2-3]研究了在不同高速移动荷载作用下,轨道和路基的动应力分布和传递规律;卿启湘等^[6]运用 D'Alembert 原理建立板式轨道-软岩路基系统垂向耦合动力模型,研究了该系统的动态响应特征;詹永祥等^[7-8]通过现场实测,研究了 CRH₂ 型机车在桩板结构路基高速行驶条件下的动力响应与列车速度的关系以及动应力沿路基深度的变化规律;马学宁等^[1]建立二系悬挂条件下车辆-无砟轨道-路基系统的垂向耦合动力分析模型,研究板式无砟轨道-路基动力响应;董亮等^[9]采用一致黏弹性人工边界单元作为边界建立了无砟轨道-路基有限元模型,研究了在连续轴重荷载作用下高速铁路路基的动力响应,并与 CRH₂ 型动车组运行的实测数据进行了对比,结果表明两者具有较好的一致性.以上学者对列车移动荷载作用下路基结构的动力响应进行了较多的研究,对列车相向运行交汇状态下路基动应力响应的研究鲜有涉及.假设当前我国运营的高铁、动车组列车时效性较好,那么双线铁路两列相向运行列车的交汇点会是某一固定截面,至少是某一段线路.该段线路在反向运行列车长期振动荷载作用下,发生路基病害的概率会更高.因此,对该段线路进行动力模拟分析是非常必要的,可为高速铁路设计时确定路基结构的合理参数提供参考.

本文建立列车相向高速运行的双线高速铁路车辆-轨道-路基系统耦合动力有限元模型,以板式无砟轨道下路基各结构层为分析对象,研究基于两列 CRH₃ 型动车组相向高速运行时,双线高速铁路路基结构的动应力分布和传递规律.

1 计算模型及参数

1.1 有限元模型的建立

车辆-轨道-路基系统耦合模型中列车由 CRH₃ 型动车车体、转向架、轮对组成;板式无砟轨道由 60

kg·m⁻¹ 钢轨、扣件、轨道板、CA 砂浆层、混凝土底座(支承层)构成.由于研究对象主要是路基结构,故不考虑轨道不平顺、车轮偏心、扁疤等各种复杂因素引起的列车荷载变化^[11].板式无砟轨道铺设在路基上,通过捆绑连接与路基约束,路基系统从上到下依次为基床表层、基床底层、路基本体以及地基,双线间距 4.8 m,见图 1.

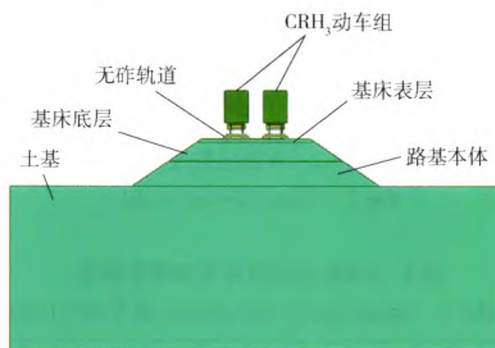


图1 车辆-轨道-路基系统耦合模型示意图

Fig. 1 Train-track-subgrade system coupling model

有限元模型中车体及轮对采用 R3D4 刚体单元,其余各结构层采用 C3D8R 三维实体减缩积分单元.钢轨采用 60 kg·m⁻¹ 标准钢轨,轨距为 1.435 m,钢轨支点间距 0.625 m.将钢轨与轨道板之间的扣件等联结件等效为线性弹性件,忽略其非线性因素,采用弹簧-阻尼单元进行模拟^[3],其横向、垂向、纵向等效刚度分别为 37.5、25.0、37.5 kN·m⁻¹;横向、垂向、纵向阻尼系数分别为 30.0、37.5、30.0 kN·s·m⁻¹.轮对与钢轨表面之间法向采用过盈连接,切向采用库仑摩擦接触形式,接触摩擦用罚函数表示,摩擦系数取 0.3.

为了减小模型规模,提高计算速度,模型中钢轨取 109.55 m,路基部分占 60 m,路基两端各出露 24.775 m 用以支撑车体.其中,路基部分钢轨采用弹簧-阻尼单元模拟扣件与轨道板连接,路基端出露钢轨约束各方向位移及转动.有限元模型由 147 276 个单元以及 203 374 个节点组成,如图 2 所示.

1.2 模型参数

本文建立简化三维实体 CRH₃ 型动车模型模拟动荷载作用,CRH₃ 型动车组空间模型参数如表 1 所示.混凝土底座及以上结构采用线弹性材料模型,以下各结构层采用摩尔-库仑塑性材料模型.材料物理力学参数见表 2, h 为结构层厚度、 e 为结构层宽度、 E 为杨氏模量、 μ 为泊松比、 ρ 为密度、 c 为黏聚力、 ϕ 为内摩擦角.

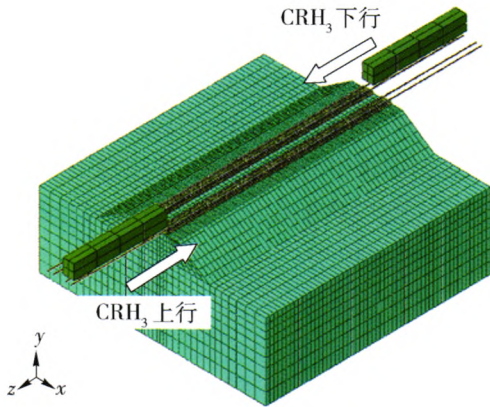


图2 有限元模型

Fig. 2 Finite element model

表1 CRH₃型动车组空间模型参数

Table 1 Space model parameters of CRH₃ train

项目	CRH ₃ 动车
车体质量/t	48
构架质量/t	32
轮对质量/t	24
车体绕 x 轴转动惯量/(Mg·m ²)	2 700
车体绕 y 轴转动惯量/(Mg·m ²)	2 700
车体绕 z 轴转动惯量/(Mg·m ²)	115
构架绕 x 轴转动惯量/(kg·m ²)	7 200
构架绕 y 轴转动惯量/(kg·m ²)	6 800
构架绕 z 轴转动惯量/(kg·m ²)	3 200
轮对绕 y 轴转动惯量/(kg·m ²)	1 200
轮对绕 z 轴转动惯量/(kg·m ²)	1 200
一系悬挂横向刚度/(MN·m ⁻¹)	3
一系悬挂垂向刚度/(MN·m ⁻¹)	1.04
一系悬挂纵向刚度/(MN·m ⁻¹)	9
二系悬挂横向刚度/(MN·m ⁻¹)	0.24
二系悬挂垂向刚度/(MN·m ⁻¹)	0.4
二系悬挂纵向刚度/(MN·m ⁻¹)	0.24
一系悬挂横向阻尼/(kN·s·m ⁻¹)	3
一系悬挂垂向阻尼/(kN·s·m ⁻¹)	6
一系悬挂纵向阻尼/(kN·s·m ⁻¹)	10
二系悬挂垂向阻尼/(kN·s·m ⁻¹)	5
车体钩到钩的距离/m	24.775
车辆定距/m	17.375
车轮直径/m	0.92
转向架轴距/m	2.5

表2 材料物理力学参数

Table 2 Material physical and mechanical parameters

类型	h/ m	b/ m	E/ GPa	μ	ρ / (kg·m ⁻³)	c/ kPa	ϕ / (°)
钢轨			205.9	0.3	7 800		
轨道板	0.2	2.55	35.5	0.167	2 400		
砂浆层	0.03	2.55	0.2	0.167	200		
支承层	0.3	3.10	30	0.2	2 400		
基床 表层	0.4	13.4	0.19	0.3	2 000	70	33
基床 底层	2.3	14.6	0.11	0.3	1 900	60	30
路基 本体	3.0	21.5	0.09	0.35	1 850	50	25
地基	20	60.5	0.06	0.35	1 800	30	22

1.3 计算工况

参考我国目前高速铁路动车组经常的运行速度,本文以 250、300 km/h 的速度组合通过某段路基,按 3 种工况对路基系统各结构层所造成的动应力响应进行分析:

- 1) 工况 1: $v_d = 250$ km/h, $v_u = 250$ km/h;
- 2) 工况 2: $v_d = 300$ km/h, $v_u = 250$ km/h;
- 3) 工况 3: $v_d = 300$ km/h, $v_u = 300$ km/h.

其中: v_d 表示下行速度; v_u 表示上行速度.

1.4 模型验证

von-Mises 等效应力相比其他应力分量可以更好地建立与材料强度间的联系^[2],所以,本文后面的动应力分析均采用 von-Mises 等效应力 σ_m . 图 3 为单列 CRH₃ 型动车组分别以 250、300 km/h 速度运行时,路基纵向中间截面轨道下方轨道板表面节点的应力时程曲线. 从图 3 可以看出,在不同行驶速度作用下,轨道板表面应力的变化趋势相似,即在一位、二位转向架行驶至节点上方时达到最大值,且在二位转向架通过时的应力幅值比一位时显著提高.

对比发现,列车以 250 km/h 速度运行,一位、二位转向架行驶至节点上方时等效应力幅值由 310.6 kPa 增至 404.2 kPa;列车以 300 km/h 速度运行,一位、二位转向架行驶至节点上方时等效应力幅值由 333.4 kPa 增至 415.6 kPa. 等效应力幅值的大小与马学宁等^[1]和宋小林等^[2-3]依托京津城际计算的轨道板表面等效应力一致,说明本文所建立三维实体车辆-轨道-路基耦合模型可靠性较高. 分析表明,在二位转向架能量叠加作用下,轨道板表面的应力幅值达到最大. 因此,作者将主要分析 2 列 CRH₃ 型动车组在

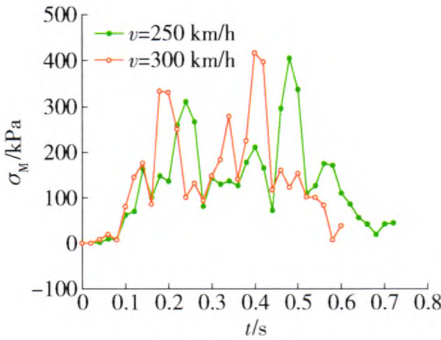


图3 轨道板表面应力时程曲线
Fig.3 Time-history curves of the track slab surface

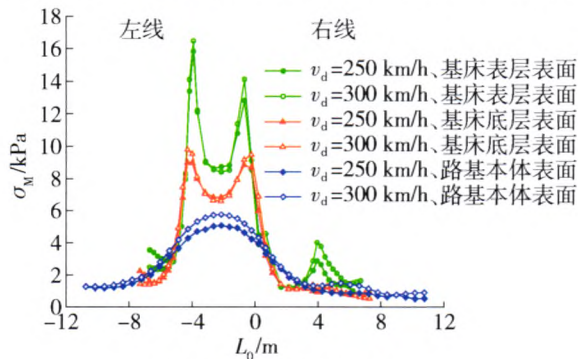
工况1~3作用下,二位转向架横向同轴时路基纵向中间截面各结构层表面的动应力分布及传递规律.

2 路基动应力响应分析结果及讨论

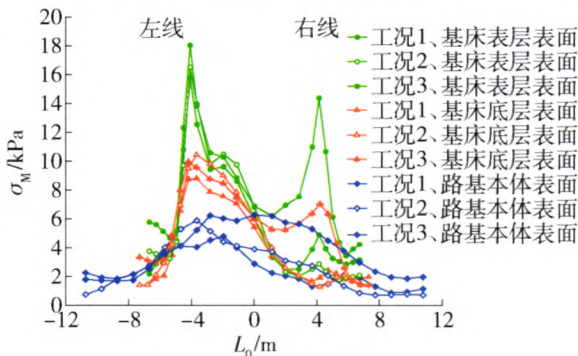
2.1 路基动应力响应沿线路横向的分布特征

路基系统在单列及双列CRH₃动车作用下,各结构层表面等效应力幅值随距双线中心的距离 L_0 横向分布曲线如图4所示.

由图4(a)可以看出,当单列CRH₃以不同速度在左线运行时,路基系统各结构层表面的 σ_M 沿左



(a) 路基左线单列CRH₃运行



(b) 双列CRH₃相向运行

图4 各结构层等效应力幅值横向分布曲线

Fig.4 Mises stress distribute curves in x direction of each layer

线中心呈基本对称分布. 基床表层表面 σ_M 的峰值共出现4次,分别位于 ± 4.11 m和 ± 0.85 m处,这是由于该部位为混凝土底座边缘与基床表层接触的位置,容易产生应力集中. 列车以250、300 km/h速度在左线运行时,左线中心处的应力分别约占最大值的54.4%和51.1%. 基床底层表面 σ_M 的分布与基床表层应力的分布规律基本一致. 不同之处在于 σ_M 在4.11 m和0.85 m的位置没有出现波动,应力缓慢平滑地减小. 经过基床表层及底层的能量吸收,路基本体表面 σ_M 分布基本呈从左线中心向两侧逐渐降低的特征.

由图4(b)可以看出,在工况1~3作用下,基床表层及基床底层 σ_M 的分布并不是对称关系. 基床表层应力幅值分布特征为:左线部分随着距双线中心距离的减小,应力幅值显著增加并在-4.11 m处达到最大值(工况1为15.77 kPa;工况2为16.50 kPa;工况3为18.03 kPa),这也是由于应力集中所致. 在峰值两侧0.43 m范围内应力水平基本一致,约为最大应力的80%. 在距双线中心-2.82 ~ -1.98 m范围内,应力幅值基本平衡,是由于基床表层上方混凝土底座、CA砂浆层及轨道板对应力的扩散作用所致. 左线轨道中心处工况1~3的 σ_M 分别占峰值的60.4%、61.5%和57.8%(工况1为9.52 kPa;工况2为10.14 kPa;工况3为10.42 kPa). 右线部分距双线中心约2.00 m处 σ_M 达到最小值(工况1为2.51 kPa;工况2为2.00 kPa;工况3为6.21 kPa),之后 σ_M 显著增加并在混凝土底座边缘与基床表层接触处达到峰值(工况1为4.90 kPa;工况2为2.87 kPa;工况3为14.37 kPa). 最后,在混凝土底座外侧1 m范围内应力幅值迅速降至较低的应力水平.

基床底层表面 σ_M 的分布与基床表层应力的分布规律基本一致. 基床底层左线边缘至-4.11 m处 σ_M 幅值显著增加并在混凝土底座边缘处增至最大值(工况1为8.80 kPa;工况2为10.43 kPa;工况3为9.95 kPa),在-4.11 ~ 2.00 m,经过基床底层以上各结构层的吸能及扩散作用下, σ_M 降速有所放缓,在距双线中心2.00 m左右位置降至最小值(工况1为1.67 kPa;工况2为1.50 kPa;工况3为5.24 kPa). 随后,应力幅值在右线混凝土底座边缘达到最大(工况1为2.42 kPa;工况2为2.07 kPa;工况3为7.03 kPa)后逐渐减至较低的应力水平.

经过基床底层的进一步扩散作用,路基本体表面 σ_M 分布基本呈从双线中心沿线路横向向两侧逐

渐降低的特征. 以工况3为例,在距双线中心 ± 3.1 m范围内(左、右线外侧钢轨之间), σ_M 降低较为缓慢,左、右线分别降低12.4%和16.3%,超过该范围应力降低速度相对较快. σ_M 最大值(6.27 kPa)出现在双线中心处,而非混凝土底座边缘处,仅占基床表层最大值的34.8%.

综上,路基系统在单列车运行和双列车相向运行作用下, σ_M 幅值分布随着深度的增加不断降低,分布更加均衡.

2.2 路基动应力响应沿深度的分布特征

列车运行时,列车荷载会以动力波的形式向下传播.由于各结构层的阻尼作用,动力波在向下传播的过程中被吸收一定的能量,从而导致动应力沿深度方向逐渐递减.图5绘出了在工况1~3作用下,双线路基中心基床表层表面 σ_M 幅值沿深度 L 的分布曲线.

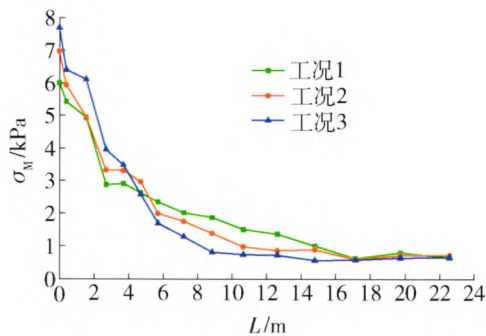


图5 等效应力幅值沿深度的分布曲线

Fig.5 Equivalent stress amplitude distribute curves in y direction

从图5中可以看出,在工况1~3动车组列车荷载的作用下,在距离基床表层表面2.7 m(基床底层底面)范围内, σ_M 幅值随着深度的增加呈线性衰减,3种工况的基床底层底面的应力均降至基床表层表面应力的50%左右.在距离基床表层表面2.7~7.2 m, σ_M 幅值衰减速度有所放缓,3种工况在7.2 m深度处的应力分别降至最大应力的33.5%、25.2%、16.8%.在距基床表层表面7.2 m至更深的范围内,动应力衰减最为缓慢.此外,还可以看出在深度为4.3、4.6 m至更深的范围内,工况3和工况2的 σ_M 幅值小于工况1,且工况3小于工况2,说明在深度为4.5 m左右至更深的范围内动车组的速度越快 σ_M 幅值衰减量越多.

2.3 基床表层动应力随动车组纵向间距变化的分布特征

图6描绘了在相向行驶的动车组靠近及远离过

程中,路基纵向中间截面轨道下方及双线中心处基床表层的动应力分布曲线.本文将2列动车组首部平面共面时定义为列车纵向间距 L_c 为0,尾部平面共面时定义为列车纵向间距为-24.755 m,则一位转向架横向共轴时动车组纵向间距为-7.400 m,二位转向架横向共轴时动车组纵向间距为-44.650 m.

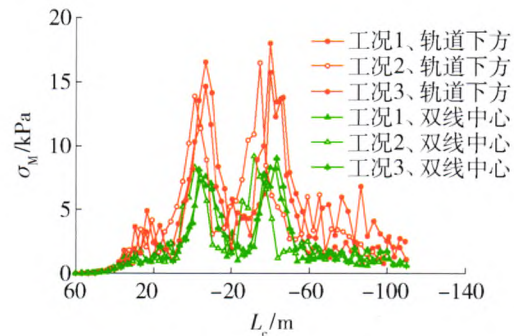


图6 基床表层动应力随动车组纵向间距变化的分布曲线

Fig.6 Surface layer of subgrade bed's dynamic stress distribute curves change with different longitudinal space of two multiple units

从图6可以看出,基床表层动应力随动车组纵向间距的变化呈双驼峰形分布,分别在动车组间距为-7.400 m和-44.650 m时达到驼峰,在间距为-24.775 m即1节车厢长度时降至驼谷.2列动车组从60~10 m接近时轨道下方和双线中心动应力呈振荡型增长,总体增幅较小,动应力约为最大值的20%;动车从10.000~-7.400 m接近并远离的过程中轨道下方和双线中心动应力呈线性增加;动车间距从-7.400~-24.775 m远离时轨道下方和双线中心动应力急速降低;间距从-24.775~-44.650 m远离时轨道下方和双线中心动应力呈线性增加;间距从-44.650~-60.000 m远离时轨道下方和双线中心动应力急速降低;间距为-60.000 m至更远处,应力幅值呈振荡型递减.工况3与工况1、2相比,在动车组接近及远离的过程中动应力的振动幅度更大,说明随着动车组运行速度的提高,列车荷载所引起的动应力对基床表层的影响时间更持久,所带来的损伤更大.

3 结论

以双线高速铁路上列车经常交汇的某区段路基为研究对象,研究动车实体相向移动荷载作用下,路基各结构层的动应力响应情况,得到以下结论:

1) 在2列动车组相向运行作用下,基床表层及

底层表面沿线路横向动应力的分布不对称,在混凝土底座边缘与基床表层接触处,应力最大。路基本体表面动应力从路基双线中心沿线路横向向两侧逐渐减小,在左、右线外侧钢轨之间,动应力降低较为缓慢,在左、右线外侧钢轨之外,动应力降幅较大。

2) 动应力在基床表层和基床底层范围内呈线性衰减,基床底层底面的动应力降至路基最大应力的50%左右;在2.7~7.2 m深度内,等效应力幅值衰减速度有所放缓,7.2 m至更深的范围内,动应力衰减最为缓慢。在深度为4.5 m左右至更深的范围内,动车组相向运行速度越快,等效应力幅值越低。

3) 基床表层动应力随动车组纵向间距的变化呈双驼峰形分布,分别在2列动车组的一位和二位转向架横向同轴时达到驼峰。随着2列动车组相向运行速度的提高,列车荷载所引起的动应力振幅增大,对基床表层的影响更持久、损伤更大。

参考文献:

- [1] 马学宁,梁波,高峰. 高速铁路板式无砟轨道-路基结构动力特性研究[J]. 铁道学报, 2011, 33(2): 72-78.
MA Xue-ning, LIANG Bo, GAO Feng. Study on the dynamic properties of slab ballast less track and subgrade structure on high-speed railway[J]. Journal of the China Railway Society, 2011, 33(2): 72-78. (in Chinese)
- [2] SONG Xiao-lin, ZHAI Wan-ming. Dynamic stress distribution of high-speed railway non-ballasted track infrastructure[J]. Journal of Sichuan University, 2011, 43(Suppl 2): 156-160, 164.
- [3] 宋小林,翟婉明. 高速移动荷载作用下CRTS II型板式无砟轨道基础结构动应力分布规律[J]. 中国铁道科学, 2012, 33(4): 1-6.
SONG Xiao-lin, ZHAI Wan-ming. Dynamic stress distribution of the infrastructure of CRTS II slab ballastless track under high speed moving load[J]. China Railway Science, 2012, 33(4): 1-6. (in Chinese)
- [4] FRITZ K, DIETMAR A. Dynamic effects due to moving loads on tracks for high-speed railways and on tracks for metro lines [C] // Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Geotechnology in Harmony With the Global Environment. Netherlands: Millpress Science Publishers, 2005: 1735-1740.
- [5] TAKEMIYA Hirokazu. Simulation of track-ground vibrations due to a high-speed train; the case of X-2000 at ledsgad[J]. Journal of Sound and Vibration, 2003, 261(3): 503-526.
- [6] 卿启湘,王永和,赵明华,等. 高速移动荷载作用下板式轨道-软岩路基系统的动力特性分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(5): 1396-1402.
QING Qi-xiang, WANG Yong-he, ZHAO Ming-hua, et al. Research on dynamic characteristics of slab track-roadbed systems with soft rock as embankment filling under high speed moving load[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(5): 1396-1402. (in Chinese)
- [7] 詹永祥,蒋关鲁,胡安华,等. 遂渝线无砟轨道桩板结构路基动力响应现场试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 832-835.
ZHAN Yong-xiang, JIANG Guan-lu, HU An-hua, et al. Study of dynamic response of pile-plank embankment of ballastless track based on field test in Suining-Chongqing High-speed Railway[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(3): 832-835. (in Chinese)
- [8] 詹永祥,蒋关鲁. 无砟轨道路基基床动力特性的研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(2): 392-396.
ZHAN Yong-xiang, JIANG Guan-lu. Study of dynamic characteristics of soil subgrade bed for ballastless track [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(2): 392-396. (in Chinese)
- [9] 董亮,赵成刚,蔡德钧,等. 高速铁路无砟轨道路基动力特性数值模拟和试验研究[J]. 土木工程学报, 2008, 41(10): 82-86.
DONG Liang, ZHAO Cheng-gang, CAI De-gou, et al. Experimental validation of a numerical model for prediction of the dynamic response of ballastless subgrade of high-speed railways [J]. China Civil Engineering Journal, 2008, 41(10): 82-86. (in Chinese)
- [10] 邱延峻,方明镜,张晓靖,等. 高速铁路无砟轨道路基结构适应性动力分析[J]. 西南交通大学学报, 2011, 46(2): 183-188.
QIU Yan-jun, FANG Ming-jing, ZHANG Xiao-jing, et al. Dynamic analysis of structural adaptivity of ballastless track substructure of high speed railway[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2011, 46(2): 183-188. (in Chinese)
- [11] 王启云,张家生,孟飞,等. 高速铁路轨道路基模型及动力加载研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(12): 90-95.
WANG Qi-yun, ZHANG Jia-sheng, MENG Fei, et al. Study on track-subgrade model of high-speed railway and dynamical loading [J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(12): 90-95. (in Chinese)

(责任编辑 郑筱梅)