

文章编号:1006-2106(2008)06-0043-05

## 遂渝铁路无砟轨道涵洞附近 CA 砂浆层 动应力测试分析\*

相颖慧<sup>1\*\*</sup> 罗强<sup>1</sup> 魏永幸<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学, 成都 610031; 2. 中铁二院集团工程有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**研究目的:进一步深入研究无砟轨道的运营安全性,为研究无砟轨道路涵过渡段的动力学特性积累数据资料,铁道部集中组织了遂渝铁路无砟轨道综合实车试验。

**研究结论:**相对重载货物列车而言,动车组具有轴重轻、车辆减振性能好等特点,CA 砂浆层承受的动应力较小,对线路的动力作用较不显著。相对行车速度而言,车辆轴重对 CA 砂浆层动应力的影响较为显著。车辆的轴重和行车速度对过渡段范围动应力沿线路纵向分布规律的影响不大。

**关键词:**无砟轨道;路涵过渡段;CA 砂浆层;动应力;实车测试

**中图分类号:**U213.2<sup>44</sup> **文献标识码:**A

## Test and Analysis of the Dynamic Stress of CA Mortar near Culvert on the Sui - Yu Ballastless Track Railway

XIANG Ying - hui<sup>1</sup>, LUO Qiang<sup>1</sup>, WEI Yong - xing<sup>2</sup>

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China; 2. China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610031, China)

**Abstract: Research purposes:** This paper studies the operation security of the ballastless track further and accumulates data for researching the dynamics characteristics of the ballastless track subgrade - culvert transition. The MOR organized the comprehensive field test on Suining - Chongqing Railway ballastless track.

**Research conclusions:** Since the multiple units has the characteristics of light axle load, good performances of vehicle vibration, the CA mortar dynamic stress of it is relatively smaller than that of the heavy haul freight train, and the dynamic role to the railway of the multiple units is relatively not significant. In comparison, the influence of the axle weight is larger than the speed. The axle weight and speed does not impact on the distribution rule of the transition dynamic stress in the direction of the railway line.

**Key words:** ballastless track; subgrade - culvert transition section; CA mortar; dynamic stress; field test

无砟轨道具有稳定性好、耐久性强、刚度均匀、维修量少等一系列优点<sup>[1]</sup>。它在隧道内、高架桥结构和桥梁上的应用,已被世界各国铁路普遍认可并已标准化。日本、德国 20 世纪 90 年代后期修建的高速铁路

以及台湾高速铁路无砟轨道比例接近 100%<sup>[2]</sup>。我国铁路在大型客站、特殊作业线等地段土路基上铺有少量无砟轨道,但尚缺乏在高速条件下的工程实践<sup>[3]</sup>。为进一步深入研究无砟轨道的运营安全性,目前我国

\* 收稿日期:2008-04-23

基金项目:铁道部科技发展计划项目(2005K004-C(G))

\*\* 作者简介:相颖慧,1983 年出生,女,在读研究生。

在遂渝铁路首次成段铺设了无砟轨道综合试验段,全长 13.157 km,试验段内选择铺设了目前国际上比较成熟的板式和双块式无砟轨道<sup>[4-6]</sup>。

本文结合遂渝铁路无砟轨道综合试验实车试验,对试验段内板式无砟轨道 CA 砂浆层动应力与路涵过渡段的工程效果等进行了测试和评价。

## 1 现场动力学测试

### 1.1 测试工点概况

测试工点为薄填土涵洞与路基过渡段,双孔钢筋混凝土框架过水涵洞(2~4.5 m),涵长 9.66 m,盖板厚 0.45 m,涵顶路基填土 0.7 m。该工点设计里程 DK 131+872~+918,位于张家院子中桥至湾里头隧道之间,场地相对平坦,线路以堤-涵-堤-堑形式通过,地表有一定横坡(右高左低)。工点场地地基土层为红层泥岩。

实车试验时,用 S-3 型水准仪对测试工点的轨面平顺性(前后高低、水平)进行了量测。测量范围以测试工点的 0<sup>#</sup> 轨枕断面为零点(DK 131+892.8),向两头分别延伸了 80 个轨枕跨,计 50 m 长,总长 100 m (DK 131+842.8~DK 131+942.8),轨面相对高程沿线路纵向变化曲线及轨面高低与弦长关系曲线如图 1 和图 2 所示。从 100 m 长的过渡段区段内的实测数据和分析图形得出,左右轨面的相对高程沿线路纵向基本呈 6‰ 上坡,左右轨面高低不平顺的变化趋势和幅值也大致相同,高低不平顺值与弦长基本呈线性增长。日本新干线轨道不平顺管理标准中,10 m 弦长法要求轨面高低的作业验收目标值小于等于 4 mm<sup>[7]</sup>,本测试工点实测值远小于上述标准。

轨道结构为减振型双向预应力板式无砟轨道,主要由预制混凝土轨道板(简称轨道板)、橡胶垫层、乳化沥青水泥砂浆调整层(简称 CA 砂浆调整层)、混凝土凸型挡台(简称凸型挡台)及混凝土底座(简称底座)等部分组成,其主要技术参数如下:轨道板长 4 930 mm,宽 2 400 mm,厚 190 mm,扣件节点间距为 625 mm,相邻轨道板间隔缝为 70 mm,橡胶垫层厚度 2~2.5 cm,CA 砂浆层宽 2 400 mm,厚约 50 mm,钢筋混凝土底座宽 3 200 mm,厚 300 mm,如图 4 所示。工点的路基与涵洞过渡段为二次过渡型,一次过渡为正梯形布置,填料为掺 3%~5% 水泥稳定级配碎石,二次过渡为倒梯形布置,填料为级配碎石,如图 3 所示。

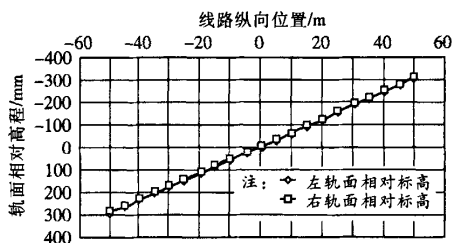


图1 轨面相对高程沿线路纵向变化曲线

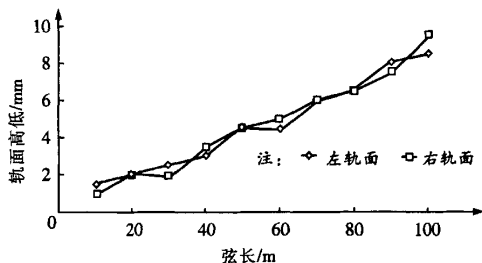


图2 轨面高低与弦长关系曲线

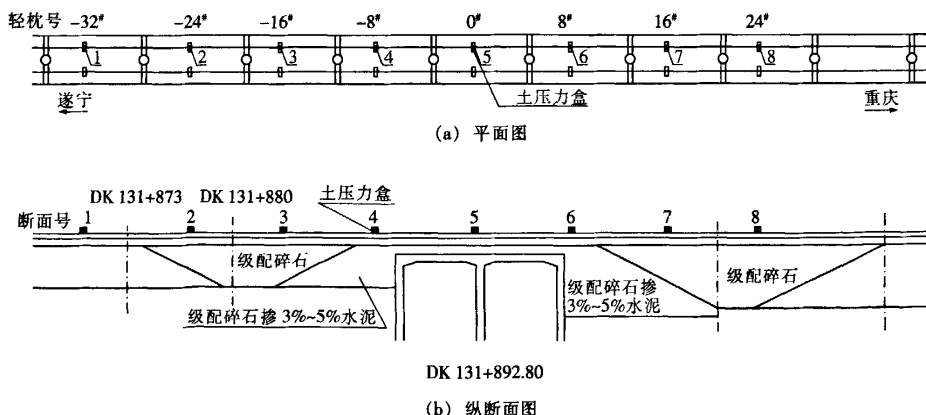


图3 土压力盒平纵面布置示意图

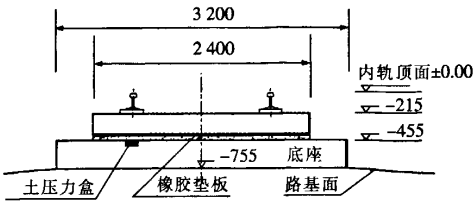


图4 土压力盒横断面布置示意图

1.2 试验测点及传感器布置

在减振型双向预应力板式无砟轨道钢筋混凝土底座表面(CA 砂浆层底面)沿线路纵向左侧钢轨支点下依次布置了8个测试断面,以双孔涵跨中支承墙DK 131+892.80位置为零点(5<sup>#</sup>断面,0<sup>#</sup>枕),其它测试断面的位置距零点位置分别为:-20 m(1<sup>#</sup>断面,-32<sup>#</sup>枕、DK 131+872.80),-15 m(2<sup>#</sup>断面,-24<sup>#</sup>枕),-10 m(3<sup>#</sup>断面,-16<sup>#</sup>枕),-5 m(4<sup>#</sup>断面,-8<sup>#</sup>枕),5 m(6<sup>#</sup>断面,8<sup>#</sup>枕),10 m(7<sup>#</sup>断面,16<sup>#</sup>枕),15 m(8<sup>#</sup>断面,24<sup>#</sup>枕、DK 131+907.80)。土压力传感器设置在测试断面的底座表面位置,如图3、图4所示。本次动应力测试采用DY-1型应变式土压力盒,在轨道铺设时预先埋设,距实车动态测试开始约4个月。

土压力盒通过YE3818动态应变仪、Cras数据采集仪连接到计算机上。列车通过时,动态应变仪输出的电压信号由数据采集仪采集,并转换为各测点的土压力波形曲线。重载货物试验列车通过时的典型动应力波形曲线如图5所示,各极值点即是一个列车轮对经过该测点时,产生的加卸载过程所引起的动应力响应值。

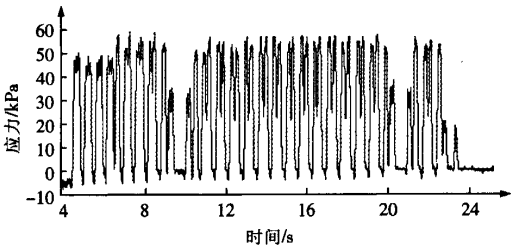


图5 典型 CA 砂浆层动应力时程曲线

1.3 试验列车编组

试验列车分为CRH<sub>2</sub>动车组和重载货物列车两类。CRH<sub>2</sub>试验列车为动力分散型电力动车组,由2个动力单元组成,每个动力单元由2辆动力车和2辆拖车组成“2M+2T”,全列编组为8辆车共32个轴,轴重约14 t。

重载货物试验列车由2辆SS7E电力机车牵引1辆空平车(NX17BK)+2辆C70蓬布敞车(重车)+

自发电客车+2辆C70蓬布敞车(重车)+12辆C70重车+1辆试验车+1辆C70蓬布敞车(重车)+3辆C80重车组成,车辆编号顺序为下行方向,牵引质量约2 100 t,货物列车换长35.5 m,总长390.5 m。

SS7E电力机车为6轴机车,轴重21 t;C70重车,载重68 t,自重23~23.6 t,总重91~91.6 t,轴重22.75~22.9 t;C80重车,载重76 t,自重20.3 t,总重96.3 t,轴重24.075 t。

本试验工点的现场行车动态测试于2007年1月5日正式开始,2007年1月9日结束,历时5 d,共测试行车试验40+26=66次。其中,CRH<sub>2</sub>试验列车的试验时间为2007年1月5—7日,测试行车试验40次,除第一趟车为5 km/h准静态标定外,其它车次的行车速度在123~220 km/h之间;重载货物试验列车的试验时间为2007年1月7—9日,测试行车试验26次,除第一趟车为5 km/h准静态标定外,其它车次的行车速度在70~131 km/h之间。

2 测试结果及分析

2.1 车辆轴重的影响

车辆的轴重对过渡段范围底座表面CA砂浆层的动应力影响十分显著。测试数据表明,车辆的轴重从CRH<sub>2</sub>动车组的14 t增加到C80重车的24.075 t(增量约72%),过渡段范围底座表面动应力均值将由17.1 kPa增加到29.5 kPa,增加约73%。车辆轴重对过渡段范围底座表面A砂浆层的动应力幅值的影响如表1和图6所示。

表1 CA 砂浆层动应力统计值

| 动力学指标    | 动应力/kPa              |        |
|----------|----------------------|--------|
|          | CRH <sub>2</sub> 动车组 | C80 重车 |
| 轴重/t     | 14                   | 24.075 |
| Max      | 49.63                | 77.80  |
| Min      | 1.435                | 5.02   |
| 均值       | 17.09                | 29.55  |
| 95% 单边上限 | 36.27                | 62.92  |
| 99% 单边上限 | 44.21                | 76.73  |

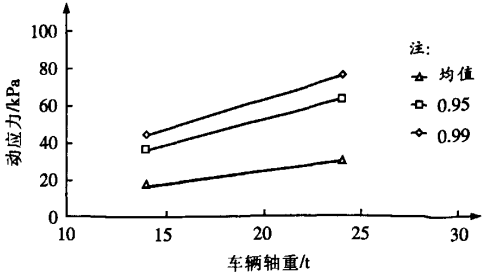


图6 轴重与 CA 砂浆层动应力关系曲线

2.2 行车速度对动应力的影响

车辆的行车速度对过渡段范围底座表面 CA 砂浆层的动应力幅值有一定的影响。测试数据表明,车辆的行车速度在 6.122 ~ 220.4 km/h (CRH<sub>2</sub> 动车组)或 5 ~ 133.2 km/h (C80 重车)范围时,CRH<sub>2</sub> 动车组的平均速度影响系数约为 0.001 09 (km/h)<sup>-1</sup>,C80 重车的平均速度影响系数约为 0.001 48 (km/h)<sup>-1</sup>,CRH<sub>2</sub> 动车组的行车速度由静态提高到 200 km/h 或 C80 重车的行车速度由静态提高到 120 km/h,过渡段范围底座表面动应力均值增加约 18% ~ 22%,行车速度对动应力有一定影响。过渡段范围底座表面 CA 砂浆层动应力均值与车速关系如图 7 所示。

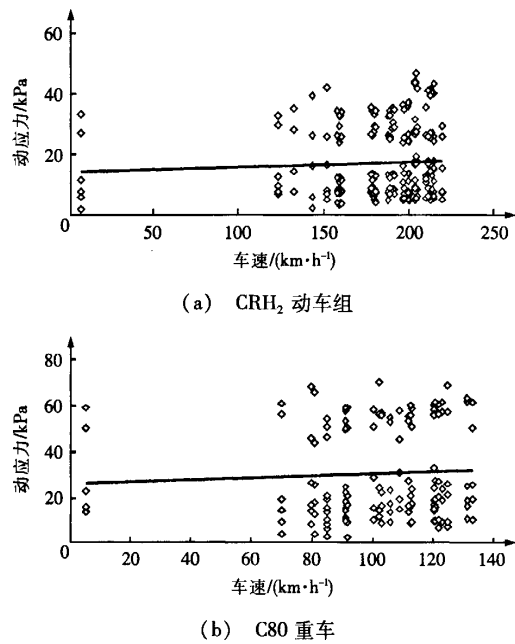


图 7 CA 砂浆层动应力均值与车速关系曲线

对每个土压力测点分别进行计算得出的速度影响系数如表 2 所示。

表 2 各测点速度影响系数 [单位:(km/h)<sup>-1</sup>]

| 测点 | CRH <sub>2</sub> 动车组   | C80 重车                    |
|----|------------------------|---------------------------|
| 1* | $1.22 \times 10^{-3}$  | $-0.030 6 \times 10^{-3}$ |
| 2* | $2.31 \times 10^{-3}$  | $2.43 \times 10^{-3}$     |
| 3* | $2.28 \times 10^{-3}$  | $4.67 \times 10^{-3}$     |
| 4* | $-1.68 \times 10^{-3}$ | $-4.49 \times 10^{-3}$    |
| 6* | $-0.88 \times 10^{-3}$ | $-1.81 \times 10^{-3}$    |
| 8* | $-0.25 \times 10^{-3}$ | $2.35 \times 10^{-3}$     |

对这两组数据的处理得出:CRH<sub>2</sub> 动车组 6 个测点的速度影响系数的平均值为  $0.5 \times 10^{-3}$  (km/h)<sup>-1</sup>,95% 的单边上波动界限为  $1.8 \times 10^{-3}$  (km/h)<sup>-1</sup>,99% 的单边上波动界限为  $2.7 \times 10^{-3}$  (km/h)<sup>-1</sup>;C80 重车

6 个测点的速度影响系数的平均值为  $0.52 \times 10^{-3}$  (km/h)<sup>-1</sup>,95% 的单边上波动界限为  $3.1 \times 10^{-3}$  (km/h)<sup>-1</sup>,99% 的单边上波动界限为  $4.8 \times 10^{-3}$  (km/h)<sup>-1</sup>。

2.3 沿纵向的动力学性能分析

车辆的轴重和行车速度对过渡段范围底座表面 CA 砂浆层动应力沿线路纵向分布规律的影响不大。根据测试数据可发现,不同速度条件下的动应力变化规律基本一致,即:动应力沿线路纵向基本呈“U 型”变化,在过渡段范围的涵洞顶部及其附近位置的数值较小,过渡段两端的数值较大。车辆的行车速度在 6.122 ~ 220.4 km/h (CRH<sub>2</sub> 动车组)或 5 ~ 133.2 km/h (C80 重车)范围时,过渡段范围底座表面动应力均值的平均变化坡度(斜率)分别为 -0.162 9 kPa/m 和 -0.026 8 kPa/m。不同车型过渡段范围底座表面 CA 砂浆层动应力均值沿线路纵向变化如图 8 所示。

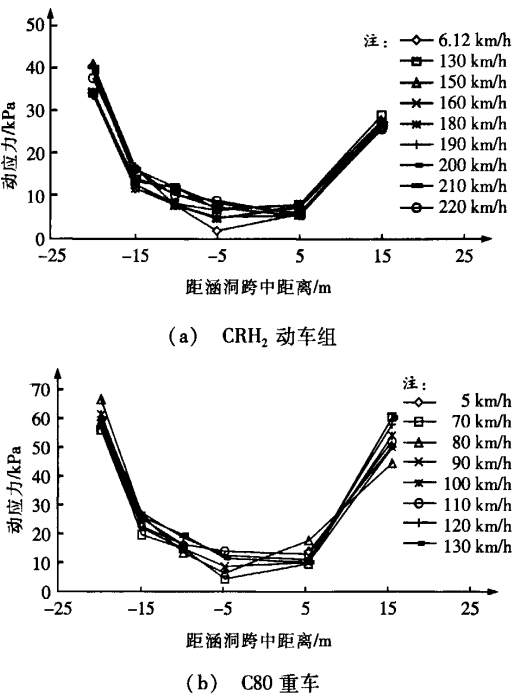


图 8 过渡段范围底座表面动应力均值沿线路纵向变化曲线

以每趟行车通过时底座表面 CA 砂浆层动应力均值分别进行计算得出纵向变化坡度系数如表 3 和表 4 所示。对这些数据的处理得出:CRH<sub>2</sub> 动车组 40 趟行车纵向变化坡度系数的平均值为 -0.163 kPa/m,变异系数 -0.76,95% 的双边波动界限为 [-0.20, -0.12] kPa/m,99% 的双边上波动界限为 [-0.22, -0.11] kPa/m;C80 重车 26 趟行车纵向变化坡度系数平均值为 -0.026 8 kPa/m,变异系数 -5.59,95%

的双边波动界限为 $[-0.087, 0.034]$  kPa/m, 99% 的双边波动界限为 $[-0.11, 0.055]$  kPa/m。

表3 CRH<sub>2</sub> 动车动应力纵向变化坡度系数 (单位:kPa/m)

| 车次 | CRH <sub>2</sub> 动车组 | 车次 | CRH <sub>2</sub> 动车组 | 车次 | CRH <sub>2</sub> 动车组 | 车次 | CRH <sub>2</sub> 动车组 |
|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|
| 1  | -0.067               | 11 | -0.033               | 21 | -0.169               | 31 | -0.121               |
| 2  | -0.104               | 12 | -0.093               | 22 | -0.315               | 32 | -0.307               |
| 3  | -0.085               | 13 | -0.016               | 23 | -0.164               | 33 | -0.246               |
| 4  | -0.088               | 14 | -0.065               | 24 | -0.150               | 34 | -0.242               |
| 5  | -0.005 5             | 15 | -0.066               | 25 | -0.037               | 35 | -0.348               |
| 6  | -0.093               | 16 | -0.082               | 26 | -0.152               | 36 | -0.266               |
| 7  | -0.027               | 17 | -0.056               | 27 | -0.316               | 37 | -0.308               |
| 8  | -0.018               | 18 | -0.082               | 28 | -0.257               | 38 | -0.422               |
| 9  | 0.001 9              | 19 | -0.220               | 29 | -0.297               | 39 | -0.439               |
| 10 | -0.092               | 20 | -0.236               | 30 | -0.071               | 40 | -0.356               |

表4 C80 重车的动应力纵向变化坡度系数

(单位:kPa/m)

| 车次 | C80 重车 | 车次 | C80 重车  | 车次 | C80 重车  |
|----|--------|----|---------|----|---------|
| 1  | -0.059 | 10 | 0.002 8 | 19 | -0.045  |
| 2  | 0.236  | 11 | -0.147  | 20 | 0.163   |
| 3  | -0.296 | 12 | 0.051   | 21 | 0.009 8 |
| 4  | 0.042  | 13 | -0.135  | 22 | 0.286   |
| 5  | -0.310 | 14 | 0.008 7 | 23 | 0.047   |
| 6  | -0.083 | 15 | 0.078   | 24 | -0.064  |
| 7  | -0.111 | 16 | 0.189   | 25 | 0.119   |
| 8  | -0.092 | 17 | -0.168  | 26 | -0.198  |
| 9  | -0.114 | 18 | -0.106  | -  | -       |

3 结论

(1) CRH<sub>2</sub> 动车组和 C80 重车 2 种试验列车在车辆轴重上存在差异,由其引起的无砟轨道底座表面 CA 砂浆层动应力响应不同。测试数据表明:车辆的轴重从 CRH<sub>2</sub> 动车组的 14 t 增加到 C80 重车的 24.075 t (增量约 72%),过渡段范围底座表面 CA 砂浆层动应力均值将由 17.1 kPa 增加到 29.5 kPa,增加约 73%,轴重与动应力基本呈线性增加的关系。由于动车组具有轴重轻、车辆减振性能好等特点,无砟轨道及路基结构承受的动应力相对较小,对线路的动力作用不显著。相对而言,重载货物列车的影响则显著而剧烈。测试数据表明,CRH<sub>2</sub> 动车组引起的底座表面动应力只有 C80 重车的 2/3。

(2) 相对轴重而言,CRH<sub>2</sub> 动车组和 C80 重车 2 种试验列车的不同行车速度引起的无砟轨道底座表面

CA 砂浆层动应力响应不甚显著。测试数据表明:车辆的行车速度从 0 增至 200 km/h (CRH<sub>2</sub> 动车组)或 120 km/h (C80 重车)时,过渡段范围底座表面动应力均值约增加 18%~22%。

(3) 测试数据表明,涵洞顶范围底座表面的动应力明显小于相邻过渡段路基位置的动应力。该测试结果与设有过渡搭板的路桥过渡段的动力学特性有显著差异,估计与涵洞框架结构有一定量的变形以及涵洞顶面的薄填土不能使用大型压路机碾压有关,应加强相关问题的研究。

参考文献:

[1] 铁道科学研究院. 无砟轨道试验研究及应用现状[R]. 北京:铁道科学研究院,2004.

[2] 姚力,翟婉明,罗震. 遂渝线路基上板式无砟轨道结构设计研究[J]. 铁道工程学报,2006(5):51-54.

[3] 魏永幸,蒋关鲁. 无砟轨道路基关键技术探讨——以遂渝线无砟轨道综合试验段为例[J]. 铁道工程学报,2006(5):39-44.

[4] 韩自力,张千里. 既有线提速路基动应力分析[J]. 中国铁道科学,2005,26(5):1-5.

[5] 张泉,罗强. 遂渝铁路刚性路基动应力测试分析[J]. 铁道标准设计,2006(2):18-20.

[6] 张国祥,方万进. 高速铁路涵洞附近路基动力响应试验研究[J]. 铁道标准设计,2005(1):49-50.

[7] 王其昌. 高速铁路土木工程[M]. 成都:西南交通大学出版社,1999.

(编辑 赵立兰)

作者: 相颖慧, 罗强, 魏永幸, Xiang Ying-hui, LUO Qiang, WEI Yong-xing  
作者单位: 相颖慧, 罗强, Xiang Ying-hui, LUO Qiang(西南交通大学, 成都, 610031), 魏永幸, WEI Yong-xing(中铁二院集团有限责任公司, 成都, 610031)  
刊名: 铁道工程学报   
英文刊名: JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY  
年, 卷(期): 2008(6)  
被引用次数: 2次

参考文献(7条)

1. 铁道科学研究院 无砟轨道试验研究及应用现状 2004
2. 姚力;翟婉明;罗震 遂渝线路基上板式无砟轨道结构设计研究[期刊论文]-铁道工程学报 2006(05)
3. 魏永幸;蒋关鲁 无砟轨道路基关键技术探讨——以遂渝线无砟轨道综合试验段为例[期刊论文]-铁道工程学报 2006(05)
4. 韩自力;张千里 既有线提速路基动应力分析[期刊论文]-中国铁道科学 2005(05)
5. 张泉;罗强 遂渝铁路刚性路基动应力测试分析[期刊论文]-铁道标准设计 2006(02)
6. 张国祥;方万进 高速铁路涵洞附近路基动力响应试验研究[期刊论文]-铁道标准设计 2005(01)
7. 王其昌 高速铁路土木工程 1999

本文读者也读过(10条)

1. 金守华 板式轨道用CA砂浆关键技术的研究[会议论文]-2005
2. 赵东田 高速铁路CA砂浆的性能研究[会议论文]-2007
3. 胡刚, Hu Gang 武广客运专线路涵过渡段施工技术[期刊论文]-铁道标准设计2010(z1)
4. 兰涛, 季令, 叶玉玲, 刘代英 发展中国重载铁路改善综合运输结构[会议论文]-2005
5. 颜胜才, 罗强, Yan Shengcai, Luo Qiang 遂渝铁路路涵过渡段动应力测试分析[期刊论文]-铁道标准设计2006(7)
6. 毛世福, 马克相, 刘向东 某路涵过渡段级配砂砾石填筑工艺试验研究[期刊论文]-西部探矿工程2001, 13(z1)
7. 李献民, 王永和, 倪宏革, 阮波 动力分散型机车在路涵过渡段的动应力-应变研究[期刊论文]-岩土力学 2004, 25(7)
8. 李强 大包铁路重载运输设计方案研究[会议论文]-2009
9. 徐伟建, 王智勇 抗冻性CA砂浆性能研究[期刊论文]-铁道建筑2003(12)
10. 中国铁道学会 国际重载协会理事会和专家技术会议综述[期刊论文]-铁道车辆2003, 41(9)

引证文献(2条)

1. 李悦, 谢冰, 鲍俊玲, 周孝军 国内板式无砟轨道CA砂浆研究现状与展望[期刊论文]-建材世界 2010(2)
2. 徐浩, 王平, 曾晓辉 高速铁路板式无砟轨道CA砂浆研究现状与展望[期刊论文]-铁道标准设计 2013(11)

引用本文格式: 相颖慧, 罗强, 魏永幸, Xiang Ying-hui, LUO Qiang, WEI Yong-xing 遂渝铁路无砟轨道涵洞附近CA砂浆层动应力测试分析[期刊论文]-铁道工程学报 2008(6)