

文章编号: 1674—8247(2018)06—0075—05

长大坡道上弹性支承块式无砟轨道稳定性研究

巫 江¹ 任娟娟² 苏乾坤¹

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

摘 要:某铁路长大连续坡道上存在大量的凹曲线路段,在长大坡道的凹曲线上铺设的弹性支承块式无砟轨道由于竖向约束较弱,在列车荷载、温度力、制动力等作用下,可能发生竖向失稳。因此,有必要对长大坡道上弹性支承块式无砟轨道的适应性进行分析。文章根据弹性支承块式无砟轨道的结构特点和在长大坡道上力的传递机理,建立了有限元分析模型,分析了直线坡道和凹曲线上弹性支承块轨道在不同温度荷载、不同坡度上的钢轨纵向力和位移变化情况。结果表明:(1)在直线地段,各种工况下的钢轨纵向位移较小,不会出现爬行现象,弹性支承块轨道对坡道的适应能力较好;(2)在凹曲线地段,温度力作用下的弹性支承块式无砟轨道轨枕可能发生空吊。该结论可为弹性支承块式无砟轨道的应用范围研究提供参考。

关键词:弹性支承块式无砟轨道;凹曲线;竖向稳定性;温度力

中图分类号:U213.2⁺13

文献标志码:A

Study on Stability of Ballastless Track with Elastic Support Block on Long Slope

WU Jiang¹ REN Juanjuan² SU Qiankun¹

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: There are many concave curve sections on the long and continuous ramp in Some Railway line, where the ballastless track with elastic support block may suffer from vertical instability due to weak vertical constraint under the action of train load, temperature force and braking force. Therefore, it is necessary to analyze the adaptability of the ballastless track with elastic support block on the long ramp. In this paper, according to the structural characteristics of the ballastless track with elastic support block and force transfer mechanism on long ramp, the finite element model is established to analyze the change of longitudinal force and displacement in rail of track with elastic support block under different temperature load and different gradient on the straight line and the concave curve. The results show that in straight line section, the longitudinal displacement of the rail under various working conditions is relatively small, and there is no creeping phenomenon, and the track with elastic support block has better adaptability to the ramp, and that in concave curve section, the sleeper of the ballastless track with elastic support block is likely to be suspended under the action of temperature force. This conclusion can provided reference for the study of the application range of ballastless track with elastic support block.

Key words: ballastless track with elastic support block; concave curve; vertical stability; temperature force

收稿日期:2018-01-24

作者简介:巫江(1988-),男,工程师。

引文格式:巫江,任娟娟,苏乾坤. 长大坡道上弹性支承块式无砟轨道稳定性研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(6):75-79.

WU Jiang, REN Juanjuan, SU Qiankun. Study on Stability of Ballastless Track with Elastic Support Block on Long Slope [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(6): 75-79.

贵阳某铁路全长 34.267 km,其中连续下坡达 12 km,最大高差 200 m 以上,最大坡度为 28‰,并且 80% 以上坡度大于 24‰。竖曲线半径选用 $R=3\,000\text{ m}$ 和 $R=5\,000\text{ m}$ 两种,其中凹曲线占比 60%。该铁路轨道工程的连续长大坡道长度长、落差高,在国内城市轨道交通领域尚属首例。

该铁路大量铺设减振轨道,而弹性支承块作为减振轨道的一种,应对其铺设于长大连续坡道上的稳定性问题进行分析。

1 研究背景

隧道内弹性支承块无砟轨道断面如图 1 所示^[1]。

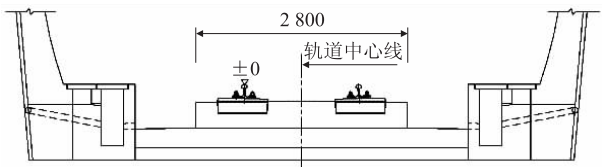


图1 弹性支承块无砟轨道断面示意图 (mm)

轨道结构的垂向弹性由轨下和支承块下双层弹性垫板提供^[2-3],最大程度上模拟了传统碎石道床弹性点支承的结构承载特性,轨道纵向节点支承刚度趋于均匀一致,通过双层弹性垫板的刚度和阻尼的不同组合可获得优于有砟轨道的刚度和较好的减振效果^[4-5]。支承块外设橡胶套靴,套靴外为包裹的钢筋混凝土结构,套靴与包裹混凝土之间为弱连接,钢筋混凝土包裹对套靴抗拔的限位能力不足^[6-8]。针对弹性支承块的这个特点,建立有限元计算模型。

2 模型及参数

轨排在由坡度引起的重力分量的叠加下,凹形变坡点处轨道结构比凸形变坡点更容易失稳,因此,本文重点介绍凹形变坡点工况下的稳定性问题。

本文建立了直线坡道上和凹曲线变坡点处的弹性支承块轨道计算模型^[9]分别如图 2 和图 3 所示。

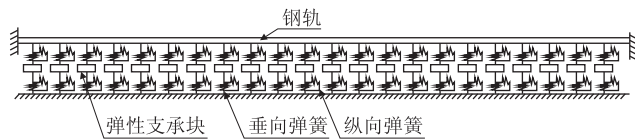


图2 直线坡道上弹性支承块计算模型

利用 Ansys 软件分析计算,其中钢轨用梁单元 BEAM3 模拟,计算参数如表 1 所示;轨枕用 MASS21 模拟;不考虑道床板和混凝土底座的变形。扣件对钢轨的横向和垂向作用用线性弹簧 combin14 单元模拟,

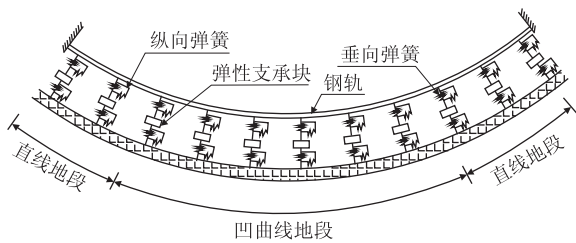


图3 凹形变坡点处的弹性支承块轨道计算模型

纵向作用用非线性弹簧 combin39 模拟。橡胶套靴的纵向和横向弹性用线性弹簧 combin14 模拟,面刚度约为 $4\,500\sim6\,000\text{ kN/mm/m}^2$,支承块下橡胶套靴和微孔橡胶垫板的垂向支承用只能承受压力的 combin39 单元模拟。

表1 基本参数

数值	项目	单位
钢轨	每米质量/(kg/m)	60
	弹性模量/MPa	210 000
	泊松比	0.3
	线膨胀系数/(1/℃)	11.8×10^{-6}
	断面积/cm ²	77.45
	对水平轴的惯性矩/cm ⁴	3 217
DZIII 扣件	对竖直轴的惯性矩/cm ⁴	524
	扣件纵向阻力/(kN/组)	11.5
	扣件横向刚度/(kN/mm)	50
	扣件垂向刚度/(kN/mm)	60
	弹塑性临界位移/mm	2
	扣件间距/m	0.625

3 计算分析

3.1 直线坡道上弹性支承块稳定性研究

对直线坡道地段,利用图 2 所示的直线坡道上钢轨-支承块-隧道模型研究直线坡道上的弹性支承块式无砟轨道纵向力和变形规律。模型长度 500 m。

3.1.1 温度作用下坡度对轨道结构稳定性的影响

外界温度变化时,弹性支承块轨道上的钢轨伸缩变形,由于受到约束作用,不能自由的伸缩,在钢轨内部产生巨大的温度力。由于隧道内温度变化很小,取温度变化为 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。温度荷载作用下,钢轨纵向变形和纵向力分别如图 4 和图 5 所示。

由图 4 和图 5 可知,随着坡度的增大,钢轨与轨枕相对位移呈增大趋势,说明坡度对钢轨与轨枕相对位移存在不利的影响,但从变化幅值来看,变化幅值较小。从纵向力来看,受坡度纵向分力的影响,在模型起终点位置处钢轨拉力分别有最大和最小值。当坡度不同时,纵向力幅值变化不大,坡道纵向分力对钢轨受力的影响很小。

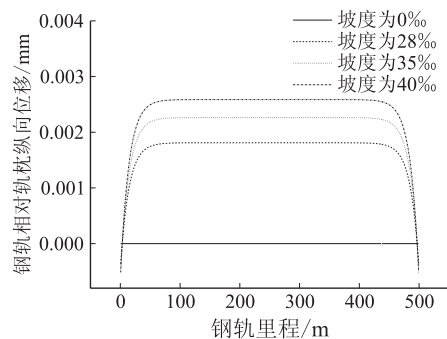


图4 钢轨相对轨枕纵向位移

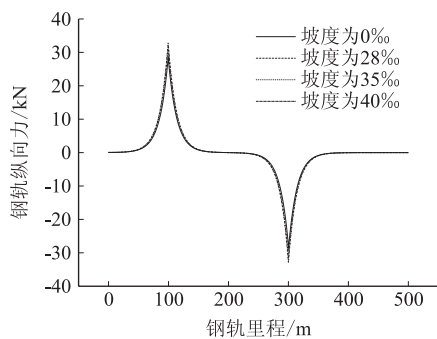


图7 不同坡度钢轨纵向力

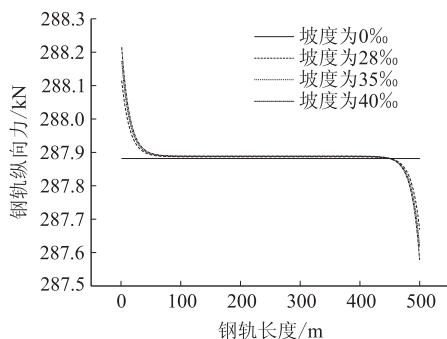


图5 钢轨纵向力

3.1.2 制动力的影响

在制动力作用下,坡度大小变化时长大连续坡道上弹性支承块轨道的受力特性和钢轨的纵向变形特点和规律。钢轨相对轨枕纵向相对位移如图6所示,不同坡度钢轨纵向力如图7所示。

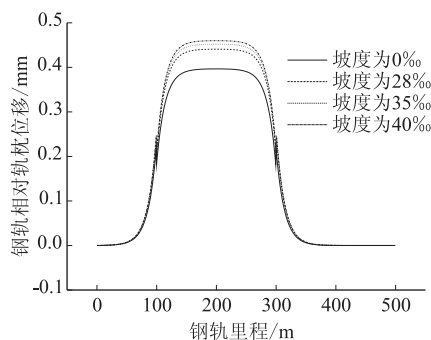


图6 钢轨相对轨枕纵向相对位移

由图6和图7可知,随着的坡度的增大,钢轨和轨枕的纵向相对位移和钢轨纵向力均增大。当坡度分别是0‰、28‰、35‰、40‰时,钢轨相对轨枕的最大纵向位移分别0.396 mm、0.441 mm、0.452 mm、0.46 mm,随着坡度的增加,相对位移逐渐增大;而钢轨纵向力变化较小。

3.2 凹形变坡点处的弹性支承块轨道稳定性研究

弹性支承块轨道无缝线路在凹形变坡点受力与直

线不同,下面对凹形变坡点处的钢轨的纵向和垂向位移进行讨论,不考虑重力的影响。凹形变坡点处的纵向和垂向位移计算模型如图3所示,竖曲线半径取3 000 m,长度为450 m。为消除边界效应,两端各取210 m的直线地段。

3.2.1 温度、列车荷载作用下各工况对稳定性的影响

计算在温度作用和列车荷载作用下钢轨的纵垂向位移分布规律。考虑以下3种工况:

工况1:降温15℃;

工况2:列车制动力和竖向力;

工况3:降温15℃、列车制动力和竖向力。

各工况作用下,钢轨纵向位移和垂向位移分别如图8和图9所示。

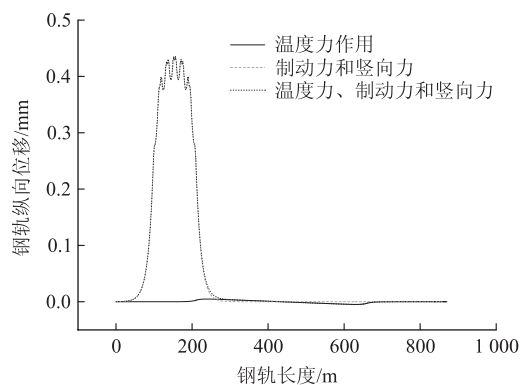


图8 钢轨纵向位移

由图8和图9可知,只有温度力作用下,钢轨的纵向位移小于0.01 mm。当存在列车荷载时,在列车荷载作用范围内钢轨纵向位移最大值约为0.45 mm,大于只有温度力作用时的钢轨纵向位移。从钢轨垂向位移来看,曲线地段钢轨在有温度力作用时有向上的位移,工况二没有向上的位移。

3.2.2 凹形变坡点处的支承块空吊对轨道稳定性影响研究

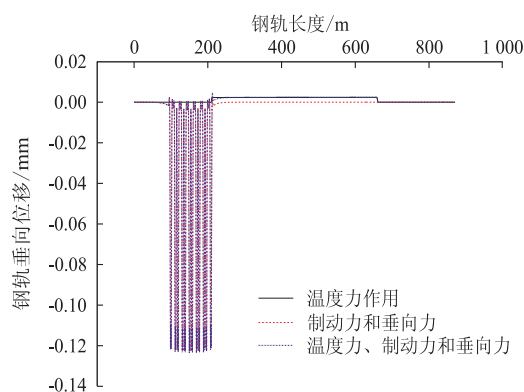


图9 钢轨垂向位移

弹性支承块轨道随着使用时间的增加,会产生一系列的病害,包括:①钢轨起拱、轨枕空吊;②弹性短轨枕与胶套之间松动磨损出现间隙,轨距保持能力差;③橡胶包套易进水,微孔发泡胶垫板压缩变形,刚度增大减振性能下降。一旦在轨枕周围出现微小裂纹,裂纹不断发展最终导致轨枕和混凝土道床板完全脱离,发生轨枕空吊。前文计算结果表明,凹曲线地段钢轨存在向上的位移,加之列车荷载的反复作用,轨枕会反复拍打冲击混凝土道床板,破坏轨道结构的整体性,严重降低轨道的使用寿命和线路的平顺性。所以有必要对凹曲线地段的支承块的空吊现象分析研究,分析空吊对钢轨的影响。弹性支承块轨枕空吊示意如图10所示。

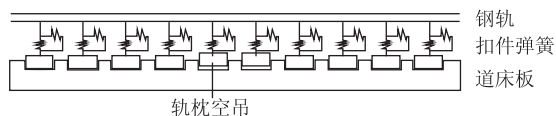


图10 弹性支承块轨枕空吊示意图

发生空吊轨枕下橡胶垫块利用非线性弹簧模拟,空吊高度取2 mm,如图11所示。

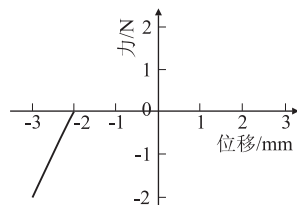


图11 空吊下轨枕非线性弹簧

对空吊轨枕个数对钢轨的纵向和垂向位移的影响大小进行分析,考虑3种工况:1个轨枕空吊、5个轨枕空吊、9个轨枕空吊。计算不同工况时钢轨的在温度力和列车荷载作用下钢轨的纵向和垂向位移,温度工况为降温15℃。

由图12和图13可知,随着空吊轨枕个数的增加,

钢轨在空吊位置的位移增大,特别是钢轨的垂向位移。当没有轨枕空吊时,曲线钢轨在温度作用下有向上位移,当空吊发生后,在列车荷载的反复作用下道床对轨枕的约束减小,此时轨枕在温度作用下垂向位移大于轨枕不空吊时位移。当空吊轨枕个数分别为1、5、9个时,中间位置处的轨枕向上的垂向位移分别为0.005 mm、0.02 mm、0.11 mm。

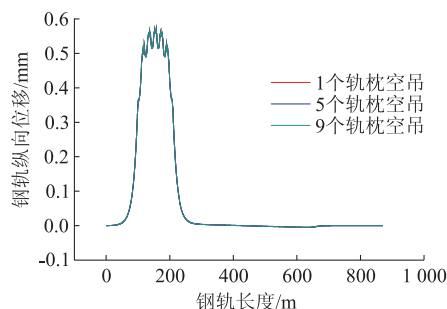


图12 钢轨纵向位移

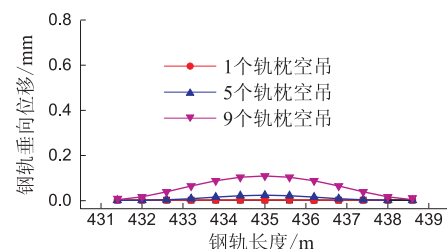


图13 钢轨垂向位移

4 结论

本文通过建立长大坡道弹性支承块式无砟轨道在直线坡道地段和凹形变坡点地段的计算模型,对弹性支承块轨道在温度荷载、列车荷载和制动力作用下轨道结构的稳定性进行分析,得出如下结论:

(1)在直线地段,各种工况下的钢轨的位移较小,均在1 mm以内,钢轨不会出现爬行现象。而且坡度的大小对钢轨位移影响很小,弹性支承块轨道对坡道的适应能力较好。

(2)在凹曲线地段,弹性支承块在温度力作用下,会产生向上的位移,形成轨枕空吊。在长时间的运营过程中枕下可能会进水,且由于列车荷载作用反复拍打道床,加剧轨枕空吊现象。而本线长大坡道范围大量存在凹形变坡点,不可避免,因此,建议结构选型不采用弹性支承块方案。

参考文献:

- [1] TB 10082-2017 铁路轨道设计规范[S].
TB 10082-2017 Code for Design of Railway Track[S].
- [2] 高亮,肖宏. 轨道工程[M]. 重庆:重庆大学出版社,2014.

GAO Liang, XIAO Hong. Track Engineering [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2014.

[3] 何华武. 无砟轨道技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.

HE Huawu. Ballastless Track Technology [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.

[4] 陈小平, 王平, 陈嵘. 弹性支承块式无砟轨道的减振机理[J]. 铁道学报, 2005, 29(5): 69–72.

CHEN Xiaoping, WANG Ping, CHEN Rong. Damping Vibration Mechanism of the Elastic Bearing Block Track [J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 29(5): 69–72.

[5] 高志国, 李成辉, 肖庆彬. 客运专线弹性支承块式无砟轨道动力分析[J]. 路基工程, 2010, 28(4): 36–38.

GAO Zhiguo, LI Chenghui, XIAO Qingbin. Dynamic Analysis on Elastic Bearing Block Ballastless Track for Passenger Dedicated Line [J]. Subgrade Engineering, 2010, 28(4): 36–38.

[6] 杨晓宇, 刘光福, 史振华. 套靴式弹性支承块整体道床施工监理质量控制[J]. 铁道标准设计, 2005, 49(9): 121–123.

YANG Xiaoyu, LIU Guangfu, SHI Zhenhua. Construction Supervision Quality Control of Monolithic Track Bed with Golosh-type Elastic Supporting Block [J]. Railway Standard Design, 2005, 49(9): 121–123.

[7] 刘学峰. 重载铁路无砟轨道用弹性支承块施工质量控制[J]. 山西建筑, 2014, 40(11): 248–250.

LIU Xuefeng. Construction Measurement Technology of Double-wall Steel Cofferdams in Deep Water and Rapid Flow Area [J]. Shanxi Architecture, 2014, 40(11): 248–250.

[8] 徐锡江, 蔡文峰, 姚力. 弹性支承块式无砟轨道支承块的合理埋深研究[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(3): 9–12.

XU Xijiang, CAI Wenfeng, YAO Li. Study on Rational Buried Depth of Bearing Block for Elastic Bearing Block Ballastless Track [J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(3): 9–12.

[9] 史建斌. 钢轨爬行的原因分析及防治措施[J]. 煤炭技术, 2002, 21(12): 90–91.

SHI Jianbin. Reasons Analysis and Prevention Measurement of Rail Crawling [J]. Coal Technology, 2002, 21(12): 90–91.

(编辑: 车晓娟 张红英)

(上接第 64 页)

过模拟计算,验证不同工况下的梁体受力状况,进一步进行相应加固、验证,此工法可为同类施工、装备制造等提供借鉴。

参考文献:

[1] 潘际炎. 钢桥设计(上)[J]. 铁道建筑技术, 2008, 25(6): 1–14.

PAN Jiyao. Steel Bridge Design (Part 1) [J]. Railway Construction Technology, 2008, 25(6): 1–14.

[2] 张雪锋. 穿隧式运架一体机在湘桂铁路箱梁架设施工中的应用[J]. 铁道建筑, 2013, 53(7): 33–35.

ZHANG Xuefeng. Application of Through-tunnel Transport-Erection Machine in Box Girder Erection Construction of Xianggui Railway [J]. Railway Engineering, 2013, 53(7): 33–35.

[3] 周德, 叶梅新. 高速铁路大跨度系杆拱桥结合梁构造形式[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(1): 256–262.

ZHOU De, YE Meixin. Composite Deck Structure of Large Span Through Tied-arch Bridge on High-speed Railway [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2009, 40(1): 256–262.

[4] 史忠法, 王雄飞, 张林. TTYJ900t 运架一体机在铁路箱梁架设中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012, 29(2): 144–147.

SHI Zhongfa, WANG Xiongfei, ZHANG Lin. The Application of TTYJ900t Transport-Erection Machine in Railway Box Girder Erection [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Application Technology Edition), 2012, 29(2): 144–147.

[5] 朱敏, 王玉珏, 杨咏漪, 等. 铁路系杆拱桥设计研究[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(10): 32–36.

ZHU Min, WANG Yujue, YANG Yongyi, et al. Study on the Design of Railway Tied Arch Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(10): 32–36.

[6] 王先章. 谈运架一体机 30‰大坡道 900t 箱梁架设[J]. 山西建筑, 2015, 41(2): 167–168.

WANG Xianzhang. Discussion on Erection of 900t Box Girder with Transporting-Erecting Machine on 30‰ Long Slope [J]. Shanxi Architecture, 2015, 41(2): 167–168.

[7] 魏常宝, 钱铭. 某大跨度混凝土拱桥灾后加固及其效果评定[J]. 四川建筑科学研究, 2015, 41(1): 91–95.

WEI Changbao, QIAN Ming. Post-disaster Reinforcement of A Long-span Concrete Arch Bridge and Its Effect Evaluation [J]. Sichuan Building Science, 2015, 41(1): 91–95.

[8] 孙一新. 梅州梅江桥加固维修技术研究[J]. 建筑监督检测与造价, 2012, 5(2): 27–29.

SUN Yixin. Study on Reinforcement and Repair Technology of Meijiang Bridges in Meizhou [J]. Supervision Test and Cost of Construction, 2012, 5(2): 27–29.

(编辑: 刘会娟 张红英)