

文章编号: 1674-2869(2018)02-0190-07

既有线路基帮宽施工的形变分析及方案优化

刘源浩¹, 胡仲春², 任高峰^{*1}, 张聪瑞¹, 炊金强¹

1. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中铁十四局集团有限公司, 山东 济南 250014

摘要: 铁路既有单线改复线时, 大量涉及路基帮宽施工。构建既有线路动静荷载作用下路基帮宽施工模型, 采用有限元数值模拟软件ABAQUS分别建立5种不同工况条件下路基施工帮填方案, 求解分析新旧路基的动力响应及变形规律。研究表明: 路基帮宽施工时, 其水平位移主要集中在新填路基坡脚处以及旧路基的路基面层, 附加竖向位移主要集中在新旧路基结合的底部, 且旧路基的竖向位移较小。通过多工况帮填方案对比分析认为, 合理的削坡与台阶开挖方案是: 先将旧路边坡上层腐殖土清理掉, 清理土层厚约为30 cm, 再在旧路边坡上开挖台阶, 台阶高度在80 cm~100 cm之间, 宽度在100 cm~150 cm之间。研究成果可用于类似路基帮宽施工的优化作参考。

关键词: 铁路路基; 方案优化; 数值计算; 路基帮宽; 形变分析

中图分类号: U218 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2018.02.014

Deformation Analysis and Construction Optimization of Subgrade Widening Construction in Existing Line

LIU Yuanhao¹, HU Zhongchun², REN Gaofeng^{*1}, ZHANG Congrui¹, CHUI Jinqiang¹

1. School of Resource and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. China Railway Shisiju Group Corporation, Jinan 250014, China

Abstract: During the reconstruction from single line to multiple lines of the existing railway track, a large quantity of subgrade widening is involved and plays a pivotal role. This paper establishes the construction model of the subgrade construction under the static and dynamic loads. The software ABAQUS was utilized for building the subfabricated construction schemes under 5 different working conditions. In addition, the dynamic response and deformation law of the previous and current subgrade were analyzed. The simulated results showed that the horizontal displacements appeared mainly at the foot of the current subgrade and the surface of the previous one. The additional vertical displacements mainly occurred at the conjugated bottom of the previous and current subgrade, besides, the vertical displacements of the previous subgrade were normally small. Based on the analysis of 5 schemes under different working conditions, the optimized scheme including the slope cutting and step excavation was obtained. First, the humus with a thickness of 30 cm on the surface of the previous subgrade slope was cleaned up. Second, several steps with a height of 80 cm–100 cm and width of 100 cm–150 cm at the same place were excavated. These results can be used to optimize the construction of similar road bed.

Keywords: railway subgrade; construction optimization; numerical calculation; subgrade widening construction; deformation analysis

收稿日期: 2017-08-18

基金项目: 国家自然科学基金(51774220); 中央高校基本科研业务费专项资金(20171136GX)

作者简介: 刘源浩, 硕士研究生。E-mail: haoziyijiu123@163.com

*通讯作者: 任高峰, 博士, 教授。E-mail: rgfwhut@163.com

引文格式: 刘源浩, 胡仲春, 任高峰, 等. 既有线路基帮宽施工的形变分析及方案优化 [J]. 武汉工程大学学报, 2018, 40

(2): 190-196

随着我国经济快速发展,交通发展随之加速,越来越多的铁路线因运输需求扩能从而带来铁路既有单线改复线,在该类工程中必然涉及路基的帮宽施工。在路基帮宽工程中,帮填地段新帮填部分与原路基接触面为坡面,在动静荷载作用下料料极易失稳,并沿坡面发生滑移。由于既有路基在经历长时间的通车后已被压实,沉降趋于稳定,而新填路基沉降尚未稳定,形成的新边坡尚未固结,所以新填路基易向外滑移,从而与旧路基形成纵向裂缝,在动静荷载、重力及雨水冲刷作用下,裂缝可能扩张,从而造成通车隐患。所以,研究路基帮宽施工力学响应及差异沉降已引起很多国内外研究人员的关注。

针对这个问题,前人的研究主要集中在两方面。一方面是针对各类帮宽施工时以优化帮宽施工工艺以达到改善施工质量的研究^[1-5],例如徐红艳^[1]结合实际施工经验,总结了帮宽施工工艺,并提出类似工程应加强通过土工对比实验和压实工艺性试验,准确掌握填筑技术参数,严格规范施工行为,以保障施工质量;邵明霞^[3]提出采用土工格栅处理新老路基结合部的方法;国外这方面研究较早,Allersma等^[6]专门研究了软土地基上既有线路基帮宽施工过程中地基土的变形特性;Ellis等^[7]分析了不同的帮宽方式,即单侧帮宽和双侧帮宽下地基的变形特征。另一方面,不少学者研究了帮宽路堤的沉降变形机理及不同工况的路堤沉降的计算方法^[8-9],特别是近年来利用各种有限元软件对帮宽施工的模拟分析^[10-12]。Ludlow等^[10]研究了软弱地基上路堤的变形特性,在研究过程中采用弹塑性模型来对路基进行模拟,其研究结果表明影响新旧路基不均匀沉降的主要原因是超固结比和不排水剪切强度;蒋鑫等^[11]对既有线路基帮宽进行了三维弹塑性有限元数值分析,着重研究了结合部位的沉降变形和应力应变规律,分析了各种帮宽条件对路基变形的影响。为研究既有线路基帮宽施工的形变响应及对现有施工方案的优化,以济南邯济至胶济联络线扩建工程某一典型路段为研究对象,借助有限元数值模拟软件,分析其在分级填筑时的形变并得到合理开挖填筑方案。

1 帮宽路堤破坏形式及破坏机理

1.1 帮宽路基沉降形式

既有线路基帮宽工程的破坏主要表现为失稳和不均匀沉降两种现象,具体包含以下几种破坏

形式:

1)路堤破坏。新旧路基之间结合部位会产生不均匀沉降以及新帮宽路堤工后横向变形较大,这些会导致新旧路堤之间发生相对滑动,当新帮宽路堤滑移量较大时,新帮宽路堤会发生整体坍塌,致使新帮宽路堤整体结构失稳。这种破坏现象在高填方路堤帮宽路段和软弱地基较为常见。当新旧路堤相对滑动量较小时,在新旧路堤之间将有错台出现,错台反映在路面上就是裂缝的出现。当雨水沿裂缝流入路基内部,会大大降低新旧路堤结合,进而影响整个路堤的稳定性,从而使新加帮路堤发生整体塌陷。

2)路面损坏。在既有线路基帮宽工程中,新旧路堤结合部位产生的不均匀沉降引起的破坏主要表现为部分路面下陷和路面集中碎裂区等。既有线路基帮宽施工中有台阶开挖岩土卸载和新帮宽路堤填筑加载这两个使路基应力和应变发生变化的过程,这两次应力和应变的变化是路面局部塌陷的主要原因,卸载与填筑加载两次变形相互叠加,就会使新旧路基分别产生不同的变形,这种差异变形直接破坏就是损坏路面结构。

3)路面整体性能下降。路面不均匀沉降、横向变形的不断发展,将极大破坏道路物理力学结构,降低道路运输服务能力。另外会降低路面结构的承载力和增大路面的破碎程度,对车辆正常通行产生危害。

1.2 帮宽路基破坏机理

导致既有线路基帮宽路堤产生病害的原因有很多,水文地质条件也对帮宽路堤的病害产生有一定影响。既有线路基帮宽工程特性的主要影响因素与产生病害的主要因素大致相同,但影响最大的是新旧路基变形不协调和新旧路基之间的不良结合^[13]。

1.2.1 新旧路基变形不协调 既有线路基帮宽扩建工程中,旧路基已沉降完全,而新帮宽路基在分层填筑荷载作用下,会继续沉降,另外新帮宽路基沉降时间较短,还会产生较大的工后沉降,这是导致新旧路基变形不协调的最主要因素。造成新旧路基变形不协调的因素有很多,如新旧路基密实度区别较大、路堤填料及压实质量较差、软弱路基结合部位处理不彻底等^[14]。

1.2.2 新旧路基之间的不良结合 引发新旧路堤之间的不良结合的因素有很多,最常见的引发因素为台阶尺寸不恰当、旧路堤边坡上层软弱土层施工前期没有进行削坡清理等。因此,开挖台阶

3)路堤填筑土和地基土材料性质都比较复杂,为了简化模型以便于分析,可将它们看作弹塑性材料;

4)采用总应力法的计算方法,选择整个路基纵断面来构建几何模型;

5)旧路基已经通车多年,所以路基有初始应力场和初始位移场,它们是由路基重力载荷和车辆载荷造成的;

6)考虑旧路基的初始状态,采用分层逐级加载的方法对既有线路基帮宽施工过程进行数值模拟。

2.2.2 单元类型及计算参数的确定 由于路基有足够长的距离,可忽略路基长度的影响,将既有线路基帮宽工程作为平面应变问题来处理,再利用有限单元法进行数值分析与计算。模拟分析选择的是4结点或8结点平面应变实体单元。在对土工格栅进行模拟时,将土工格栅看作二维杆单元来考虑,选择杆单元中的T2D2单元来进行模拟。由于土工格栅是一种抗拉能力很强的加筋材料,其所受拉力与其抗拉强度相比可以忽略,所以本构模型选择线弹性。

对于新、旧路基的填筑材料,新帮宽路基对填筑材料的要求较高,一般选择强度较高、重量较轻、有良好稳定性的填筑材料,而旧路基在路基自重及行车荷载的作用下,沉降已基本稳定,因此新旧路基填筑材料物理力学性质差异较大。路基断面内各种材料的计算参数见表2。

表2 路基材料计算参数

Tab. 2 Calculation parameters of subgrade materials

材料类型	使用部位	弹性模量	泊松比
A组土	旧路堤	180	0.3
A、B组土	旧路堤	120	0.3
A、B、C组土	旧路堤	80	0.35
夹土工格栅碎石垫层	旧路堤底部	220	0.3
粉质黏土	地基	13.8	0.45
黏土	地基	70	0.25
粉土	地基	30	0.25
土工格栅	新路堤	16 300	0.2

2.3 计算结果及分析

新路堤在分层填筑过程中,新旧路基受到新路堤的分级载荷作用,计算分析得到新旧路基的水平位移和附加竖向位移分布如图2所示。从计算结果可以看出,在新帮宽路基作用下,其水平位移主要集中在新填路基坡脚处以及旧路基的路基面层。而帮宽路堤作用下的附加竖向位移主要集中在新旧路基结合部的底部,其最大沉降部分达

到了20 cm以上,而旧路基基本不发生沉降。因此,在既有线路帮填施工时,应加强坡脚处的处理,在新旧结合处的底部应视情况增加土工格栅等加强该部分路基的强度。

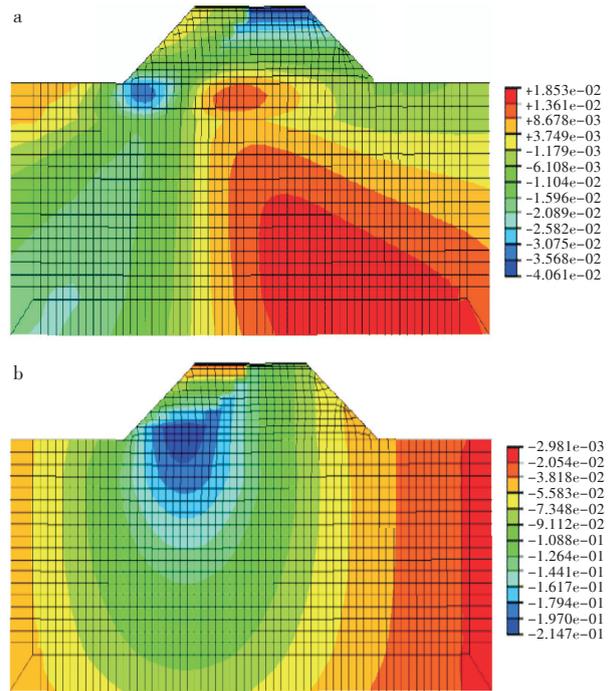


图2 新旧路基在新帮宽路基作用下位移等值线图:
(a)水平位移;(b)附加竖向位移

Fig. 2 Contour maps of previous and current subgrade under the action of new widening subgrade and side widening embankment: (a) Horizontal displacement; (b) Additional vertical displacement

2.4 旧路堤不同削坡和台阶开挖方案优化

在既有线路基帮宽施工中,旧路堤边坡表层土在植被及自然因素作用下,已变为极其松软的腐殖土,力学性质大大下降,所以在开挖台阶之前,要清除掉边坡表面的软弱土层。为研究不同削坡和台阶开挖方案对路基变形的影响,根据实际施工中的削坡与台阶开挖方案,选择了以下5种特点鲜明、差异明显又具有代表性的削坡及台阶开挖方案。各个方案的台阶尺寸如表3所示,各个台阶开挖方案示意图如图3所示。

表3 各个方案开挖台阶的尺寸

Tab. 3 Size of excavation steps for each scheme

方案	台阶尺寸 / cm	
	宽度	高度
1	50	100
2	50	67
3	150	100
4	300	200
5	0	0

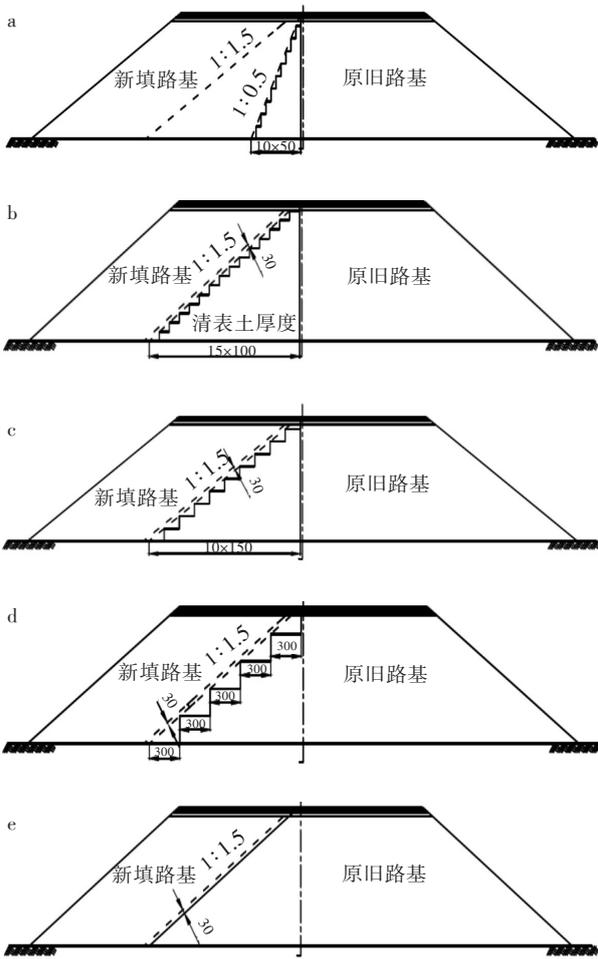


图 3 旧路堤边坡削坡及台阶开挖方案(单位:cm)

(a)方案 1;(b)方案 2;(c)方案 3;(d)方案 4;(e)方案 5

Fig. 3 Previous embankment slope cutting and bench excavation schemes(unit:cm)

(a) Scheme 1;(b) Scheme 2;(c) Scheme 3;(d) Scheme 4;

(e) Scheme 5

基于以上 5 种开挖施工方案,分别建立相应的有限元分析模型,模拟分析后得到不同削坡及台阶开挖方案中旧路堤的变形云图。图 4 为 5 种削坡及台阶开挖方案计算分析后得到的横向变形云图与竖向变形云图。

由图 4 可知,在所选择的 5 种削坡及台阶开挖方案中,卸载量越大,旧路堤坡脚及路肩下产生的侧向位移越大,旧路堤上台现象也越明显。从图 4 中可以看出,上台现象较明显的是方案 1 和方案 4。方案 2 和方案 3 变形较为相似,这是因为它们的卸载量差距不太悬殊,而方案 5 旧路基的横向及竖向变形最不显著,这是由于该方案没有进行台阶开挖,只进行了削坡处理,其卸载量最小。从计算结果来看,减小施工前期削坡开挖量和施工过程中台阶开挖量,则可以减小旧路堤的竖向和横向变形,旧路基相对稳定。

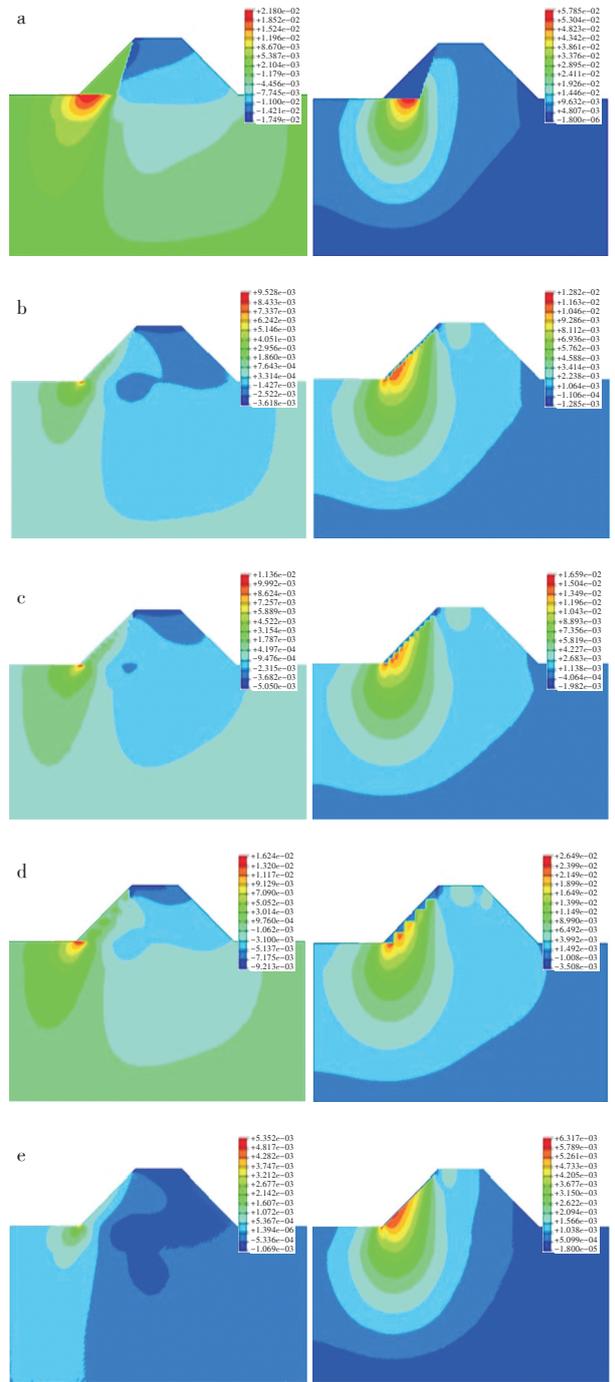


图 4 台阶开挖后横向变形图(左)和竖向变形图(右)

(a)方案 1;(b)方案 2;(c)方案 3;(d)方案 4;(e)方案 5

Fig. 4 Diagrams horizontal deformation (left) and vertical deformation (right) after stepped excavation

(a) Scheme 1;(b) Scheme 2;(c) Scheme 3;(d) Scheme 4;

(e) Scheme 5

针对上述 5 种施工方案,创建相对应的新帮宽路堤填筑后的新的有限元模型,处理分析得到在新帮宽路堤荷载作用下新旧路堤整体的变形特性。图 5 为 5 种削坡及台阶开挖方案新旧路堤整体在新帮宽路堤分级荷载作用下的横向变形云图和竖向变形云图。

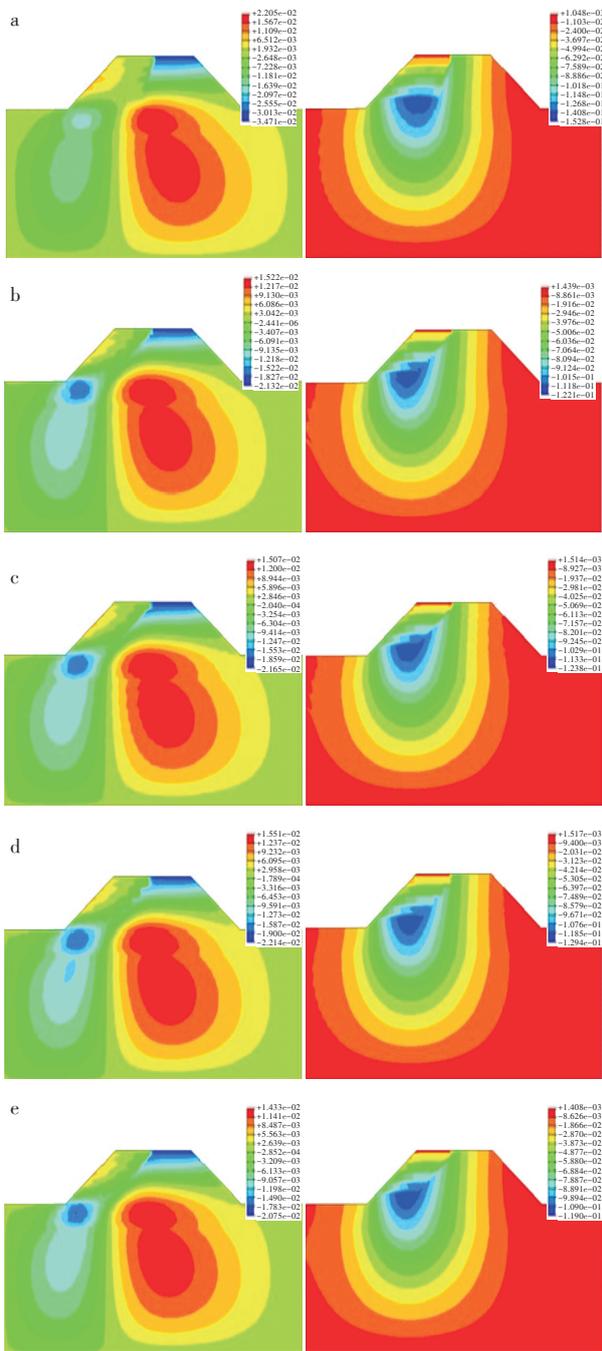


图5 方案1~5路堤加宽后横向变形云图(左)
竖向变形云图(右)

Fig. 5 Nephograms of horizontal (left) and vertical deformation (right) after embankment widened by schemes 1 to 5

由图5可知,在所选择的5种施工方案中,加载量越大,新帮宽路堤的分层填筑使新旧路基整体产生的竖向变形与横向变形越大。方案1中新路堤的填筑使新旧路堤整体产生的竖向变形与横向变形影响最大;而方案2和方案3中新路堤填使新旧路堤产生的竖向变形和横向变形相对较小,它们的变形色彩分布图也较为相近;而方案5中新路堤填筑使新旧路堤整体产生的变形最小。当考

虑台阶开挖后旧路堤附加变形与新路堤填筑后旧路堤的附加变形叠加时,台阶开挖方案1对旧路堤的附加变形的影响最为明显,其它4种方案对附加变形的影响则基本一致。

分析结果表明方案5中新路堤填筑使新旧路堤产生的变形最小,但这种开挖方案并未开挖台阶,在新旧路堤衔接处会产生一个薄弱的结构面,新路堤会沿着这个结构面下滑,另外该种方案对新老路堤结合部位的碾压不利。而台阶开挖方案2和方案3新路堤填筑对新老路堤的附加变形影响较小,并且有比较合理的开挖台阶,所以比较合理的削坡与台阶开挖方案为:先将旧路边坡上层腐殖土清理掉,清理土层厚约为30 cm,再在旧路边坡上开挖台阶,台阶高度在80 cm~100 cm之间较为合理,宽度在100 cm~150 cm之间较为合理。

3 结 语

1)在新帮宽路基作用下,其水平位移主要集中在新路路基坡脚处以及旧路基的路基面层。而帮宽路堤作用下的附加竖向位移主要集中在新旧路基结合部的底部,而旧路基基本不发生沉降。因此,在既有线帮填施工时,应加强坡脚处的处理,在新旧结合处的底部应视情况增加土工格栅等加强该部分路基的强度。

2)在新路堤填筑过程中,路堤荷载不断增大,在分层加载量不变情况下,越靠近路堤上部,沉降值就越大。在既有线路基帮宽施工完成后,各填筑层在工后保护时期及运营过程中还会继续逐渐沉降直至达到一个平衡状态。

3)在对既有线进行帮宽扩建施工过程中,减少从旧路堤挖去的岩土量,可以有效减小旧路堤的纵向沉降和横向位移,从而提高旧路基的稳定性。同时减少新路堤水平分层填筑过程中每一级的加载量,可以有效减小新旧路堤竖向位移与侧向位移。

4)经比较得出,较合理的削坡与台阶开挖方案为:先将旧路边坡上层腐殖土清理掉,清理土层厚约为30 cm,再在旧路边坡上开挖台阶,台阶高度在80 cm~100 cm,宽度在100 cm~150 cm之间较为合理。

参考文献:

[1] 徐红艳.既有铁路路基帮宽填筑施工质量控制关键技术[J].价值工程,2015(20):91-93.
[2] 林海东,于海洲.旧路改造升级单侧帮宽路基施工方

- 法概述[J]. 黑龙江交通科技, 2011, 34(12): 30-31.
- [3] 邵明霞. 土工格栅在旧路帮宽段防止路基沉降的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2011, 34(3): 30.
- [4] 闫小旗. 道路加宽中土工格栅加筋路基动力特性研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2015.
- [5] 邵振华. 关于公路改扩建工程旧路加宽控制裂缝的处理措施[J]. 林业科技情报, 2015, 47(1): 82-83.
- [6] ALLERSMA H G B, RAVENSWAAY L, VOS E. Investigation of road widening on soft soil using a small centrifuge [J]. *Transportation Research Record*, 1994: 47-53.
- [7] ELLIS E A, SPRINGMAN S M. Modeling of soil-structure interaction for a piled bridge abutment in plane strain FEM analyses [J]. *Computers & Geotechnics*, 2001, 28(2): 79-98.
- [8] 徐宏海. 路基填筑碾压工艺及质量控制的研究[J]. 交通节能与环保, 2014(2): 61-63.
- [9] 富海鹰, 蒋鑫, 邱延峻. 旧路拓宽不均匀沉降特性分析[J]. 四川建筑科学研究, 2007, 33(4): 138-141.
- [10] LUDLOW S J, CHEN Y F, BOURDEAU P L, et al. Embankment widening and grade raising on soft foundation soils Phase 2 [R]. West Lafayette, IN: Purdue University, 1992.
- [11] 蒋鑫, 邱延峻. 旧路拓宽全过程三维有限元分析[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3): 419-423.
- [12] 徐媛媛. 深厚淤泥路基填筑及对周边环境影响的数值分析[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2016, 17(3): 390-396.
- [13] 赵智超. 山区高速公路边坡稳定性分析及其流变影响研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [14] 陈星光. 高速公路扩建工程差异沉降控制技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
- [15] DESCHAMPS R J, HYNEE C S, BOURDEAU P L. Embankment widening design guidelines and construction procedures [R]. West Lafayette, IN: Purdue University, 1999.

本文编辑: 苗 变