

## 不同拓宽方式下路基不均匀沉降特性研究\*

张潭<sup>1</sup>, 李友云<sup>2</sup>, 谢继登<sup>2</sup>, 刘展瑞<sup>1</sup>, 罗克文<sup>1</sup>

(1.广西壮族自治区玉林公路管理局, 广西 玉林 537000; 2.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**以广西玉林地区岑溪南渡至陆川公路改建工程为背景,利用 ABAQUS 有限元软件建立四级公路单侧拓宽、双侧拓宽、挖除重筑 3 种拓宽方式数值模型,根据沉降计算结果,结合现场实测沉降数据,分析不同拓宽方式下路基不均匀沉降特性。结果表明,单侧加宽时,沉降稳定后,新路基侧路基沉降比旧路基侧大,地基沉降呈 U 形;双侧拓宽时,道路整体沉降沿路基中线两侧对称,路基沉降逐渐变为 U 形,地基沉降由 W 形变为 U 形;旧路挖除重筑时,路基差异沉降减小,但道路整体沉降增大;现场沉降监测数据比数值计算结果整体大约 5 mm,误差控制在 10% 左右。

**关键词:**公路;路基;沉降特性;拓宽方式;改扩建

**中图分类号:**U416.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-2668(2020)02-0086-05

中国干线公路网中,局部公路已无法满足当前交通需求,出现交通量饱和及大量病害,加快低等级公路、高速公路的升级改造,提高重要路段的通行能力已势在必行,进行公路改扩建技术研究愈加迫切。低等级公路改干线公路不同于高速公路改扩建,由于低等级公路修筑时标准较低,路基拓宽时差异沉降更复杂。针对干线公路改扩建,贺勇从基础认识、技术工艺及影响因素等方面对二级公路改扩建工程施工质量控制技术进行了研究;南秋彩结合实际工程,发现在拼接路面中,新路基和老路基不均匀沉降会产生附加应力,造成新的沉降变形,使新旧路基出现不协调变形;杨敏通过室内试验、现场勘测试验及数值模拟,分析了路用轻质材料、软土地基不同处理方案及新老路基衔接不同处治技术下新老路基差异沉降机理,提出了针对依托工程的合理方案。为节约成本,低等级公路升级改造要尽可能多地利用原有路基,这对原有路基的处理提出了更高要求。该文结合广西玉林地区岑溪南渡至陆川公路改建工程,研究四级公路改二级干线公路不同拓宽方式下路基沉降特性,为改扩建方案制订提供依据。

## 1 工程概况

岑溪南渡至陆川公路改建项目为将四级公路升级改造成二级干线公路,定线过程中本着尽可能多地利用旧路的原则,对于路基稳定、路面情况良好的路段,充分利用旧路作为基层或底基层使用,在旧路上

加铺面层和基层。路基宽度由 4.5 m 拓宽至 8.5 m,路基高度 2 m,且沿线分布有 2 m 厚软土层。

公路改建工程路基拓宽方式可分为单侧加宽、双侧加宽及组合式加宽 3 种,其主要特点见表 1。

表 1 新老路基各拼接方法的优点

拓宽方式	拓宽方法	优点
单侧拼接	在原道路的路基单侧直接进行路堤拼接拓宽,拓宽后路面高程与老路面高程基本相同	新拓宽的路能保证新旧纵线吻合;可不对侧面路基进行拓宽处理,包括路基防护方式、排水沟方式等;建设过程中不会对旧路产生其他作用
双侧拼接	在原道路的路基两侧直接进行路堤拼接拓宽,拓宽后路面高程与老路面高程基本相同	在保持原有道路线形规划的基础上,让原有道路和加宽道路有效融合,可保证横断面的匹配度,同时有利于路面排水
组合式拼接	综合统筹使用单侧扩展和双侧拓宽的灵活方式	碰到加宽的困境时,拓宽方式灵活运用

## 2 路基拓宽数值分析

### 2.1 模型建立

模型分为新旧路基和地基等部分。地基土的计算厚度为 17 m,其中软塑状软土层为 2 m,全风化

\* 基金项目:广西壮族自治区玉林市科技项目(玉市科 201925001)

岩层为 15 m,模型计算宽度取 34.5 m。旧路路基顶部宽度取 4.5 m,加宽后路基顶面宽度为 8.5 m,路基高度取 2 m。模型地基底部施加全约束(水平位移和垂直位移都为零),模型顶部为自由面,其余部分施加水平约束,只考虑上部填土引起的应力和位移变化。采用 C3D8I 单元类型,即八节点六面体线性非协调模式单元。计算中采用 20 kPa 均布荷载等效代替车辆荷载与路面自重荷载。模型尺寸见图 1。

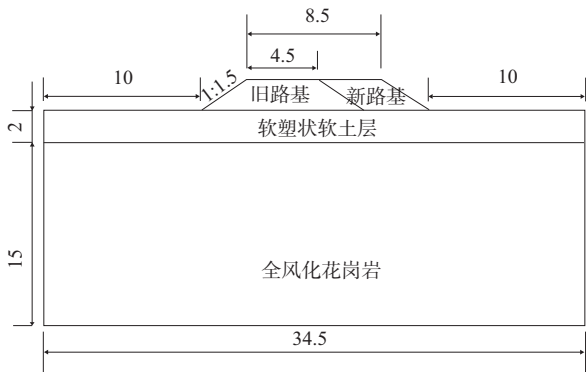


图 1 路基拓宽示意图(单位:m)

根据材料属性将模型划分为旧路基、新路基 96 区、新路基 94 区、新路基 93 区、软弱地基层和全风化岩层 6 个部分,根据地质勘探资料,参考文献[14],各部分材料的力学特性参数见表 2。

表 2 涵洞、旧路基与地基的物理力学参数

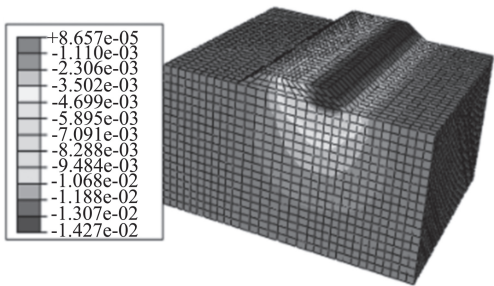
结构	粘聚力 /kPa	内摩擦 角/(°)	回弹模 量/MPa	重度/ (kN·m <sup>-3</sup> )	泊松 比
旧路基(级外)	30.2	9.8	40.0	19.0	0.31
新路基 93 区	44.1	21.7	76.0	18.0	0.30
新路基 94 区	44.4	21.8	83.0	18.5	0.30
新路基 96 区	45.1	22.4	98.0	19.0	0.30
软弱地基层	14.0	19.2	10.4	17.6	0.28
全风化岩层	38.0	20.0	30.0	18.8	0.29

2.2 路基单侧加宽数值计算结果分析

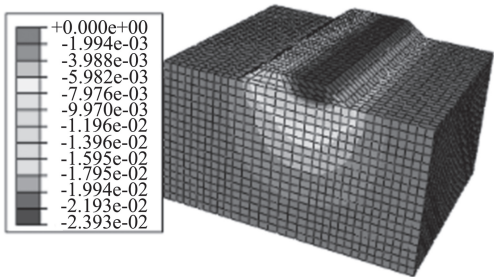
对路基进行单侧加宽,旧路基宽度 4.5 m,单侧加宽 4 m,加宽后路基总宽度 8.5 m,路基高度 2 m。为对道路整体竖向位移变化情况进行分析,选取路基顶面及地基表面横断面,绘制不同时刻的竖向位移曲线。道路在新路填筑完成至通车运营后整体竖向位移见图 2,路基和地基竖向位移分别见图 3、图 4。

由图 2 可知:对路基进行单侧加宽时,新路基侧沉降大于旧路基,且向旧路基路肩处沉降逐渐减小,甚至在路肩处有产生向上位移的趋势;下部地基沉

降呈盆形,新路基填筑产生的附加荷载对旧路侧产生扰动,引起地基的二次固结。



(a) 新路基填筑完成



(b) 通车运营后

图 2 路基单侧加宽时道路整体竖向位移云图(单位:m)

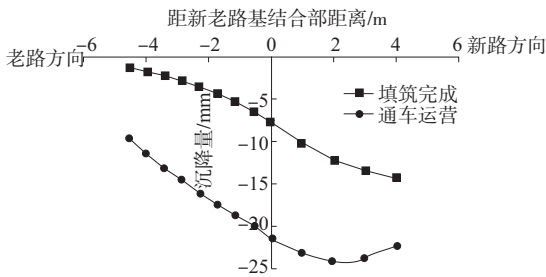


图 3 路基单侧加宽时路基竖向位移

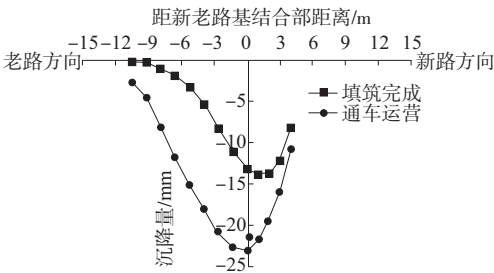


图 4 路基单侧加宽时地基竖向位移

由图 3 可知:对路基进行单侧加宽时,新路填筑期,道路整体沉降呈现由旧路基路肩至新路基路肩逐渐减小的趋势,沉降集中在新路基侧;通车运营后,道路整体沉降增大 12 mm 左右,路基沉降最大值出现在拓宽侧中心处附近。新路填筑完成时,新旧路基结合部的沉降为 7.78 mm,新路基路肩处沉降为 14.18 mm,旧路基路肩处沉降为 1.29 mm;通

车运营后,结合部沉降增大至 19.93 mm,新路基路肩沉降增大至 22.19 mm,旧路基路肩沉降增大至 9.62 mm。从新路填筑完成到通车运营后,新旧路基结合部处沉降量增大 13.4 mm,新路基路肩处沉降量增大 8.02 mm,老路基边坡处沉降量增大 8.33 mm。

由图 4 可知:对路基进行单侧加宽时,新路填筑期,地基沉降整体呈 U 形,沉降集中在拓宽地基侧,沉降最大值出现在新旧地基结合部偏新路基侧,新路基的填筑对旧路基造成扰动,地基土受到挤压作用,导致旧路基坡脚处出现较小的向上竖向位移;通车运营后,地基沉降增大,两侧坡脚处增量较小,沉降增量集中在旧路基侧,地基沉降最大值点向旧路基侧偏移。新路填筑完成时,结合部处沉降为 13.41 mm,新路基坡脚处沉降为 8.36 mm,旧路基坡脚处沉降为 0.24 mm;通车运营后,结合部处地基沉降增大至 23.14 mm,新路基坡脚处地基沉降增大至 10.86 mm,老路基坡脚处地基沉降增大至 2.66 mm,分别增加 9.73、2.5、2.42 mm。地基沉降主要发生在路基填筑过程中,路基的自重应力是造成地基沉降的主要原因。

### 2.3 路基双侧加宽数值计算结果分析

对路基进行双侧加宽处理,旧路基宽 4.5 m,两侧各加宽 2 m,加宽后路基总宽 8.5 m,路基高 2 m。道路在新路填筑完成至通车运营后整体竖向位移见图 5,路基和地基竖向位移分别见图 6、图 7。

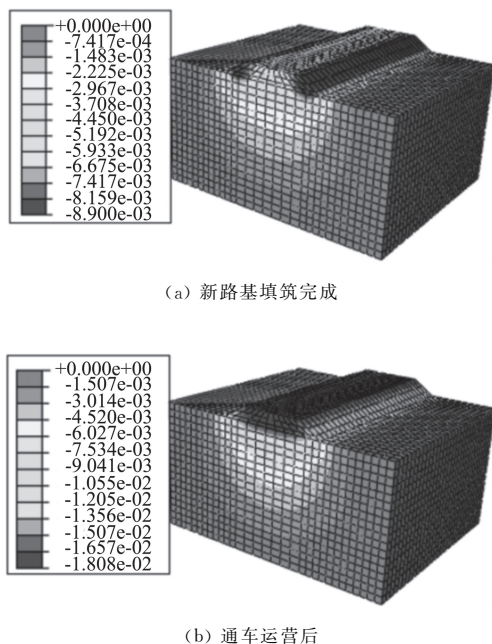


图 5 路基双侧加宽时道路整体竖向位移云图(单位:m)

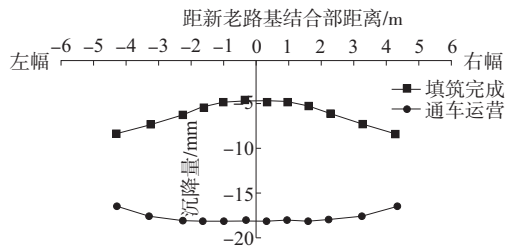


图 6 路基双侧加宽时路基竖向位移

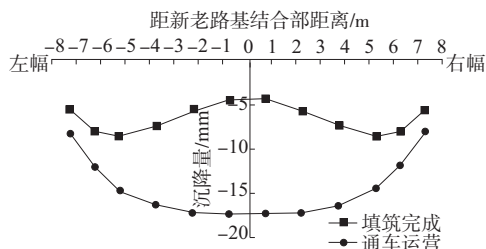


图 7 路基双侧加宽时地基竖向位移

由图 5 可知:对旧路基进行双侧加宽时,道路整体竖向位移沿路基中线两侧对称。路基填筑时,两侧新加宽路基的变形能力大,同时由于旧路基受到两侧拓宽路基的荷载,位移逐渐增大,拓宽路基会改变旧路基的平衡状态,引起新的固结过程。从路基填筑完成到通车运营,道路整体竖向位移随时间不断增大。

由图 6 可知:对旧路基进行双侧加宽时,路基顶部沉降随新加宽路基的填筑整体呈拱形,路基中线处沉降较小,向两侧路肩处沉降逐渐增大。通车运营后,路基顶部沉降量增大,且旧路基沉降增量大于两侧新路基,运营期间路基整体沉降量比路基填筑期沉降量大,说明车辆荷载对路基沉降有影响。新路填筑完成时,路基中线处沉降为 4.7 mm,新路路基沉降为 8.4 mm,沉降整体沿路基中线至两侧路肩处逐渐增大;通车运营后,两处的沉降分别增大至 18.1、16.5 mm,增大 13.4、8.1 mm。

由图 7 可知:路基填筑完成时,地基的整体沉降呈现 W 形,且沿路基中线两侧对称。新路填筑完成时,由于两侧新路基的荷载作用,对旧路基下地基形成挤压,地基的最大沉降出现在新旧地基拼接处附近。通车运营后,地基整体沉降呈 U 形,地基中心沉降较大且往两侧逐渐减小,地基整体沉降均匀。说明两侧路基的填筑对旧地基的影响较大,拓宽地基沉降受路基自重应力影响较大。路基填筑完成时,地基中线处沉降为 4.7 mm,新路基坡脚处沉降为 5.8 mm,结合部附近沉降为 8.8 mm;通车运营后,以上三处的沉降量分别增大至 17.3、8.3、14.5 mm,依



次增加 12.6、2.5、5.7 mm。

## 2.4 旧路基挖除重筑数值计算结果分析

将原有四级公路旧路基全部挖除,原有路基不加以利用,在地基上部全宽填筑新路基,逐级压实。道路在新路填筑完成至通车运营后整体竖向位移见图 8,路基和地基竖向位移分别见图 9、图 10。

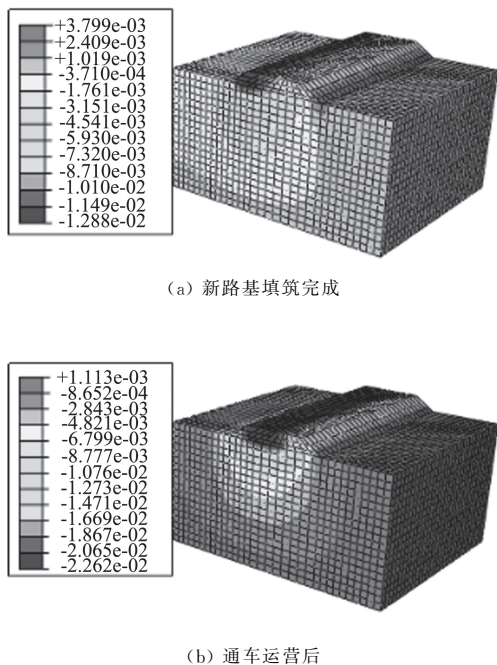


图 8 旧路基挖除重筑时道路整体竖向位移云图(单位:m)

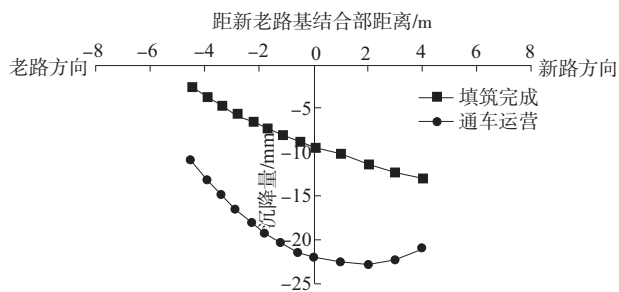


图 9 旧路基挖除重筑时路基竖向位移

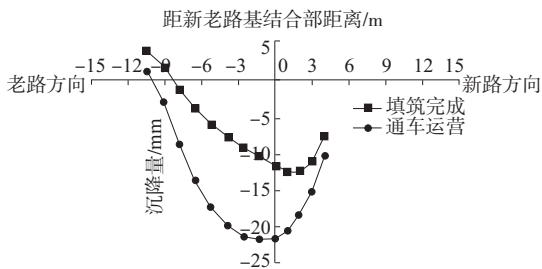


图 10 旧路基挖除重筑时地基竖向位移

由图 8 可知:旧路基挖除重筑时,路基填筑完成到通车运营后,道路整体竖向位移随时间不断增大,虽然旧路侧路基挖除重筑,但因旧路下地基在前期

已基本完成固结,拓宽侧路基及地基沉降比其沉降稍大。

由图 9 可知:新旧路基沉降整体较均匀,由于旧路基部分挖除重筑,即路基为一整体,压实度等条件也都相同,虽然旧路侧地基已基本完成固结而拓宽侧初始加载,但路基差异沉降明显比单侧、双侧加宽时减小。新路填筑完成时,结合部处沉降为 9.31 mm,新路基路肩处沉降为 12.80 mm,旧路基路肩处沉降为 2.63 mm;通车运营后,三处的沉降量分别增大至 21.86、20.97、10.82 mm,依次增加 12.55、8.17、8.19 mm。

由图 10 可知:地基整体沉降在新旧地基结合部附近出现明显变化,沉降最大位置在新旧地基结合部附近,且向两侧坡脚沉降逐渐减小。由于路基重新填筑,填筑标准提高,路基荷载增大,而下部地基前期固结已基本完成,对外侧地基形成挤压,旧路侧坡脚出现向上的竖向位移。通车运营后,地基沉降增大,逐渐达到平衡,最大沉降位置向路基中线偏移。路基填筑时,地基结合部处沉降为 11.92 mm,拓宽侧坡脚处沉降为 7.78 mm,旧路侧坡脚处沉降为 3.79 mm;通车运营后,三处的沉降分别增大至 21.64、20.97、10.82 mm,依次增加 9.05、13.19、7.03 mm。

## 3 现场沉降监测对比

### 3.1 监测方法

现场沉降监测采用水平测斜仪法。路基填筑初期,地基上填筑一层土后进行各断面测斜管埋设(见图 11),后期定期利用测斜仪进行地基沉降数据采集,计算各断面累计沉降量,绘制沉降曲线。

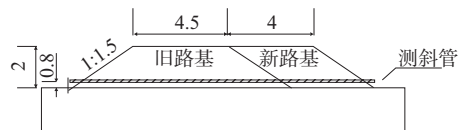


图 11 测斜管埋设示意图(单位:m)

### 3.2 数据对比分析

路基单侧加宽及旧路基挖除重筑基时各断面沉降分别见图 12、图 13。

对比现场监测数据与数值计算结果,数值计算结果较连续,累积沉降曲线较平滑,而现场监测数据不断波动,且其值比数值计算结果整体大 5 mm 左右。数值模拟计算是理想状态下的结果,而实际测量中,受施工扰动、测量误差等因素的影响,监测数据会有所波动。但从累积沉降曲线来看,两者的整

体沉降变化趋势基本一致,且实测数据与计算数据的误差控制在10%左右,施工期的累积沉降误差在容许范围内。说明所建立的有限元模型与实际情况较吻合,计算结果可用于新旧路基差异沉降研究。

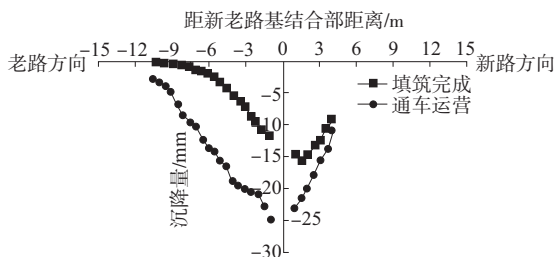


图12 单侧加宽时现场沉降监测结果

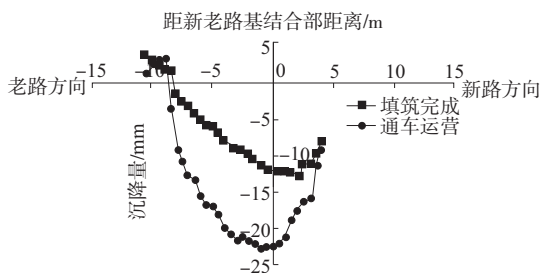


图13 旧路挖除重筑时现场沉降监测结果

#### 4 结论

以广西玉林地区岑溪南渡至陆川公路改建工程为背景,利用ABAQUS有限元软件建立四级公路单侧拓宽、双侧拓宽、挖除重筑3种拓宽方式数值模型,获取计算沉降结果,结合现场实测沉降数据,分析不同拓宽方式下道路沉降分布情况,主要得到以下结论:

(1) 路基单侧加宽时,填筑期路基沉降沿旧路路肩向新路路肩逐渐减小,通车运营后,沉降最大值出现在新旧路基结合部附近;地基沉降呈盆形,沉降最大值出现在结合部附近,路基自重是地基沉降的主要原因。

(2) 路基双侧加宽时,道路整体沉降沿路基中线两侧对称,路基沉降较均匀,且两侧沉降小;地基整体沉降在填筑期呈现W形,通车运营后表现为U形。

(3) 旧路基挖除重筑时,路基差异沉降减小,但道路整体沉降增大。因旧路侧地基前期固结基本完成,拓宽侧路基沉降稍大,地基沉降最大值位于结合部偏旧路侧。

(4) 因测量误差及施工扰动,现场沉降监测数据比数值计算结果整体大5 mm左右,误差控制在

10%左右。

#### 参考文献:

- [1] 熊巍.干线公路改扩建路基处治关键技术研究[D].西安:长安大学,2012.
- [2] 嵇如龙.干线公路改建设计中的几点做法[A].江苏省公路学会优秀论文集(200—2008)[C].2009.
- [3] 吕兴彬.平原地区干线公路改建路线设计原则[J].交通世界,2016(22).
- [4] 周文全.城镇化背景下干线公路改建设计应注意的几个问题[J].山西交通科技,2012(1).
- [5] 李祥营.普通干线公路加宽改扩建技术[J].黑龙江交通科技,2016(6).
- [6] 赵琿.普通干线公路加宽改扩建技术研究[D].天津:天津大学,2014.
- [7] 夏炜,张晓东.干线公路改扩建工程低路堤下软土地基处置优化[J].公路交通科技:应用技术版,2007(2).
- [8] 安欣.国道210改建工程绥榆段修筑技术的分析研究[D].西安:长安大学,2001.
- [9] 周秦.耀柳二级公路九里坡段改建工程方案研究[D].西安:长安大学,2016.
- [10] 李瑾.国省干线公路改扩建工程路基填筑质量控制分析[J].黑龙江交通科技,2016(1).
- [11] 贺勇.二级公路改扩建工程施工质量控制技术[J].黑龙江交通科技,2018(6).
- [12] 南秋彩.道路改扩建工程中新老路面拼接受力状态的数值模拟[J].公路工程,2018,43(6).
- [13] 杨敏.高速公路改扩建路基拼接技术及应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [14] 刘东明.全风化花岗岩粉砂质土改良特性及道路变形研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- [15] 买浩.路基横向剖面变形自动测量方法与实验的研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [16] 应荣华,何万林,蒋甫.有限元分析老路基拓宽的不均匀沉降[J].公路与汽运,2005(4).
- [17] 史纪村.高速公路路基拓宽不均匀沉降的数值分析[D].长春:吉林大学,2008.
- [18] 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(4).
- [19] 傅珍,王选仓,陈星光,等.拓宽路基差异沉降特性和影响因素[J].交通运输工程学报,2007,7(1).
- [20] 沈凤娟.高速公路单侧拓宽工程新老路基差异沉降的研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2015.
- [21] 范红英,折学森,边汉亮,等.高速公路拓宽方式对路基沉降的影响[J].交通运输工程学报,2012,12(1).

收稿日期:2019-07-28