

# 基于力学响应分析的道路改扩建反开挖施工 新旧路面搭接位置选择研究

吕思忠<sup>1</sup>, 张正超<sup>2</sup>, 苏建明<sup>1</sup>, 闫翔鹏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东高速股份有限公司, 山东 济南

<sup>2</sup>山东省交通科学研究院, 山东 济南

收稿日期: 2022年3月3日; 录用日期: 2022年3月16日; 发布日期: 2022年3月31日

## 摘要

我国经济正进入工业化、信息化和跳跃式发展阶段, 经济的快速发展, 需要方便、快捷、安全的交通服务。随着经济的不断发展, 越来越多早期建成的双向4车道高速公路由于通行能力不足、服务水平低下、安全事故频发等原因, 已经不能满足日益增长的交通需求, 急需进行切实可行的改造升级或扩容建设。相对于改建公路而言, 加宽旧路路基能充分利用原有路基, 缩短建设工期, 减少建设用地。本文采用有限元分析软件PLAXIS对济青改扩建反开挖施工中两种新旧路面搭接方案进行对比, 研究不同工况下搭接方案的路表弯沉、沥青层底拉应变和路基顶压应变等指标, 分析不同新旧路面搭接方案的整体性能, 研究结果表明两种工况具有相近的整体性能, 但工况二需要加强竖向搭接界面处连接强度。

## 关键词

力学响应, 改扩建, 反开挖, 搭接, 路表弯沉, 应变

# Research on the Selection of Overlapping Position of New and Old Pavement in Reverse Excavation Construction of Road Reconstruction and Expansion Based on Mechanical Response Analysis

Sizhong Lyu<sup>1</sup>, Zhengchao Zhang<sup>2</sup>, Jianming Su<sup>2</sup>, Xiangpeng Yan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shandong Hi-Speed Limited Company, Jinan Shandong

<sup>2</sup>Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

## Abstract

China's economy is entering the stage of industrialization, informatization and leaping development. The rapid development of the economy requires convenient, fast and safe transportation services. With the continuous economic development, more and more two-way 4-lane expressways built early due to insufficient capacity, low service levels, frequent safety accidents, etc., have been unable to meet the increasing traffic demand and urgently need practical transformation and upgrading or expansion of construction. Compared with rebuilding roads, widening the old roadbed can make full use of the original roadbed, shorten the construction period, and reduce the construction land. In this paper, the finite element analysis software PLAXIS is used to compare the two new and old pavement overlapping schemes in the reverse excavation construction of the reconstruction and expansion of Jiqing, and to study the road surface deflection, the tensile strain of the asphalt layer and the top pressure of the subgrade under different working conditions. Analyze the overall performance of different new and old pavement overlapping schemes with indicators such as strain. The research results show that the two working conditions have similar overall performance, but the second working condition needs to strengthen the connection strength at the vertical lap interface.

## Keywords

Mechanical Response, Reconstruction and Expansion, Reverse Excavation, Overlap, Road Surface Deflection, Strain

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

济青高速公路全长 318 公里, 于 1993 年建成通车, 设计年限 15 年, 原路面结构设计方案为双向四车道。由于交通量的不断增长, 济青高速服务能力已处于严重饱和状态, 严重制约了沿线经济发展活力[1]。2016 年 6 月, 济青高速全线改扩建工程开工。改建标准为双向八车道, 设计时速为 120 公里/小时。济青高速改扩建工程处于山东省最重要的经济走廊带内, 穿越 5 条国道、15 条省道、6 条铁路及胜利油田齐鲁石化管线区, 是目前国内一次性改扩建里程最长、投资最大的边通车边施工的改扩建高速公路, 如图 1 所示。

改扩建工程中结构层搭接位置的选择对施工复杂程度、路面结构整体强度及服役寿命具有重要的影响作用[2] [3] [4] [5], 本文以 PLAXIS 有限元分析软件为主要手段, 对比分析两种改扩建搭接方案的效果, 以期对具体工程实践产生一定指导意义。

## 2. 有限元模型建立

### 2.1. 路面结构设计方案

济青高速原行车道路面结构总厚度在 63~71cm, 新建拼接路面结构总厚度为 82 cm (路面结构由下而上分别为 54 cm 水泥稳定碎石基层 + 10 cm ATB-25 + 8 cm AC-25 + 6 cm AC-20 + 4 cm SAM-13), 旧路侧加铺厚度为 10 cm (路面结构由下而上分别为 6 cm AC-20 + 4 cm SAM-13), 如图 2 和图 3 所示。



Figure 1. Construction drawing of reverse excavation site  
图 1. 反开挖现场施工图

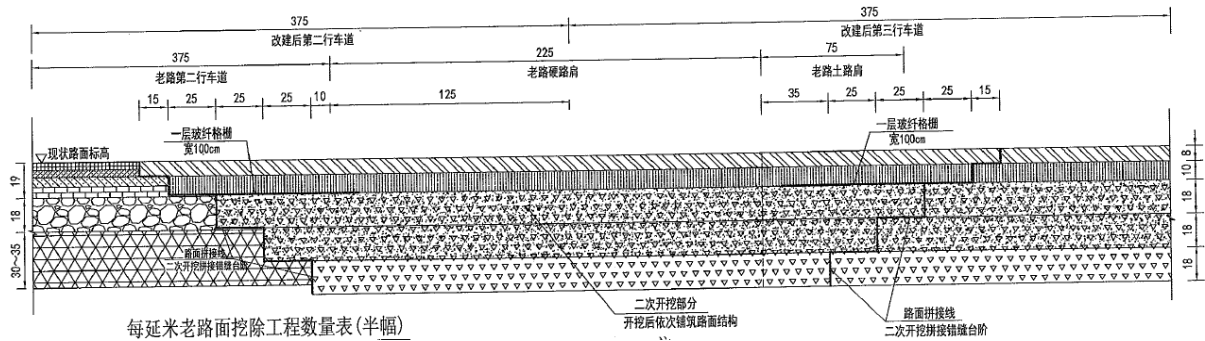


Figure 2. The first reverse excavation construction plan  
图 2. 反开挖施工方案一

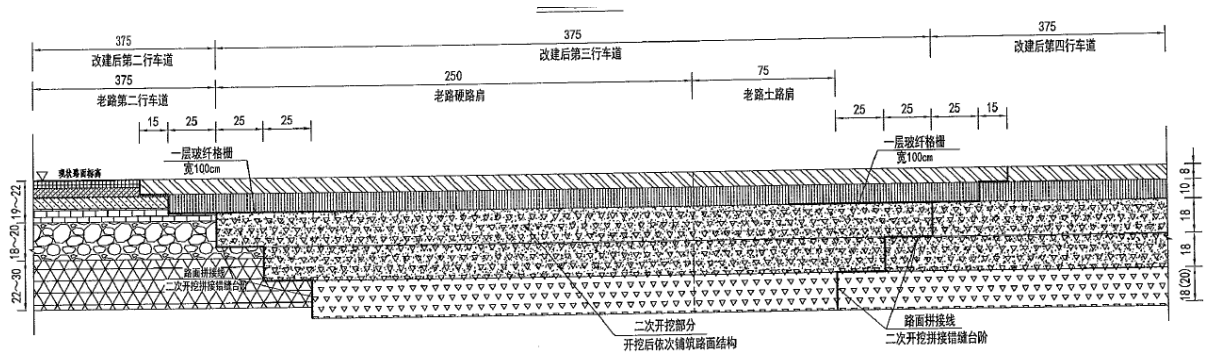


Figure 3. The second reverse excavation construction plan  
图 3. 反开挖施工方案二

## 2.2. 模型尺寸

根据设计文件中路面结构形式, 采用 PLAXIS 有限元分析软件进行建模。荷载按照公路沥青路面设计规范(JTG D50-2017)要求进行设置, 采用轴重为 100 KN 的单轴 - 双轮组轴载一侧作为荷载施加条件, 轮胎与路面的接触形状设置为矩形; 与规范中要求的单轮接地当量圆直径 213.0 mm, 两轮中心距 319.5 mm 相对地加载面宽度设置为 213 mm, 两加载面间距为 319.5 mm, 轮对中心间距 1.86 m; 轮胎接地压强为 0.7 Mpa [6] [7]。

### 2.3. 参数取值

路面结构模型参数如下表 1 所示。

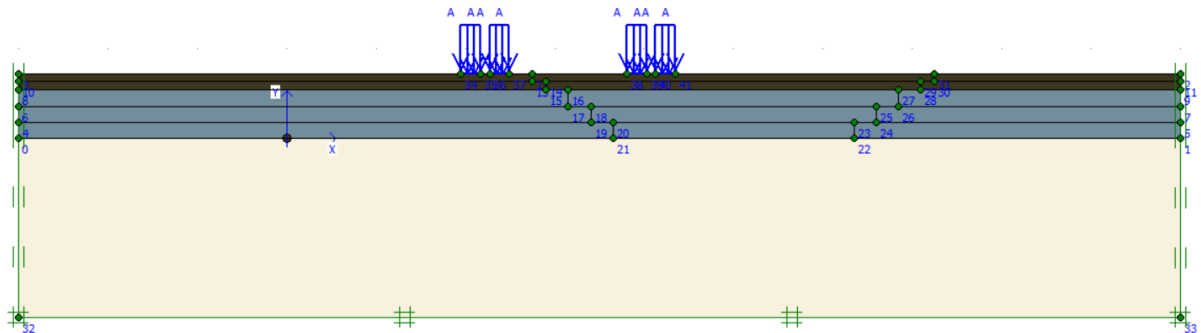
**Table 1.** Parameter value table

**表 1.** 参数取值表

类型	参数	计算值
沥青面层	弹性模量(Mpa)	6000
	厚度(cm)	18
	泊松比	0.35
水泥稳定碎石	弹性模量(Mpa)	12,000
	厚度(cm)	54
	泊松比	0.2
土基	弹性模量(Mpa)	200
	厚度(cm)	200
	泊松比	0.4

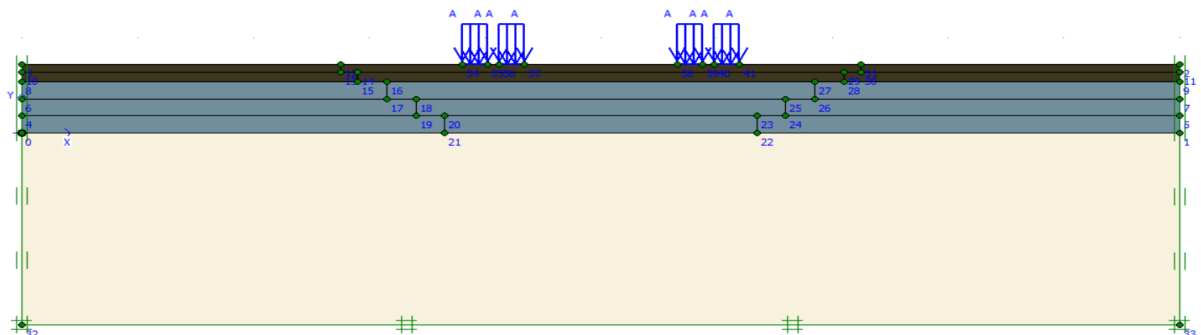
### 2.4. 模型建立

本文采用 Plaxis 有限元数值分析软件进行, 根据工况一和二分别建立两个数值分析模型, 模型建立如下图 4 和图 5 所示:



**Figure 4.** Model diagram of working condition 1

**图 4.** 工况 1 模型图



**Figure 5.** Model diagram of working condition 2

**图 5.** 工况 2 模型图

### 3. 计算结果及分析

#### 3.1. 路表弯沉

弯沉一般指路基或路面表面在规定标准车的荷载作用下轮隙位置产生的百总垂直变形值(总弯沉)或垂直回弹变形值(回弹弯沉),单位为 $0.01\text{ mm}$ 。路表弯沉值是路面结构竣工验收的重要指标,路表弯沉是路面结构整体强度的综合反映,路表弯沉值越小通常意味着路面结构整体强度越高[8][9]。图6和图7为工况一、二路表弯沉云图,图8为两工况路表弯沉对比图。

由数值计算结果可知,工况一路表弯沉最大值为 $11.86 \times 10^{-4}\text{ mm}$ ,工况二路表弯沉最大值为 $11.97 \times 10^{-4}\text{ mm}$ ,两种工况路表弯沉值非常接近,说明两种工况路面结构整体性能相差不多;水平距离从 $0\text{ m}$ 到 $10\text{ m}$ 的变化过程中,两种工况路表弯沉值均出现“先增加,再保持,再减小”的趋势,但工况一整体“变化坡度”较工况二更为平缓,说明工况一受行车荷载作用下整体应力消解较为平衡,结构整体受力均匀性更好。

#### 3.2. 沥青层底拉应变

图9和图10反映了在行车荷载作用下两种工况下路面结构中沥青层底拉应变沿水平方向的空间分布状态。由计算结构可知,两种路面结构形式均表现出局部水平向应力集中现象。需要对拉应力集中区域

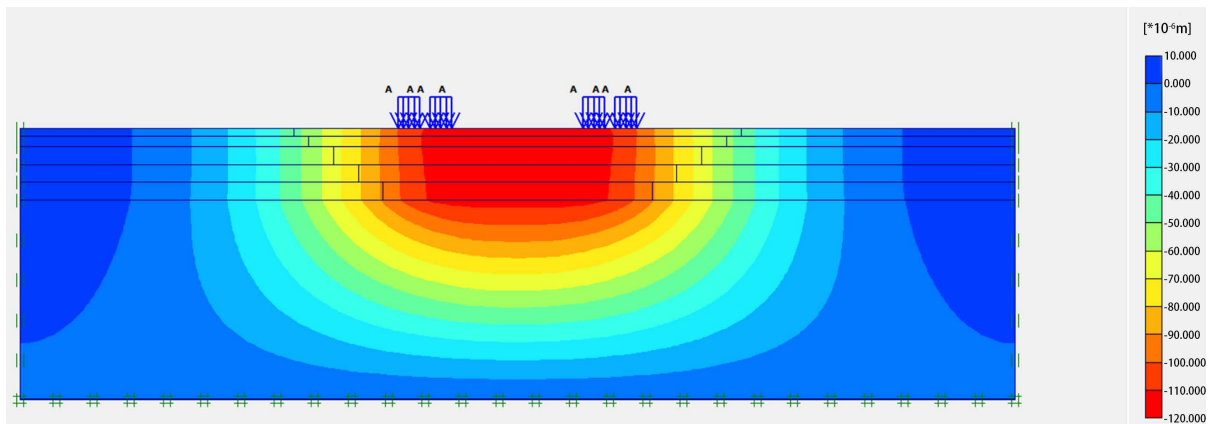


Figure 6. Road surface deflection cloud diagram of the first working condition

图 6. 工况 1 路表弯沉云图

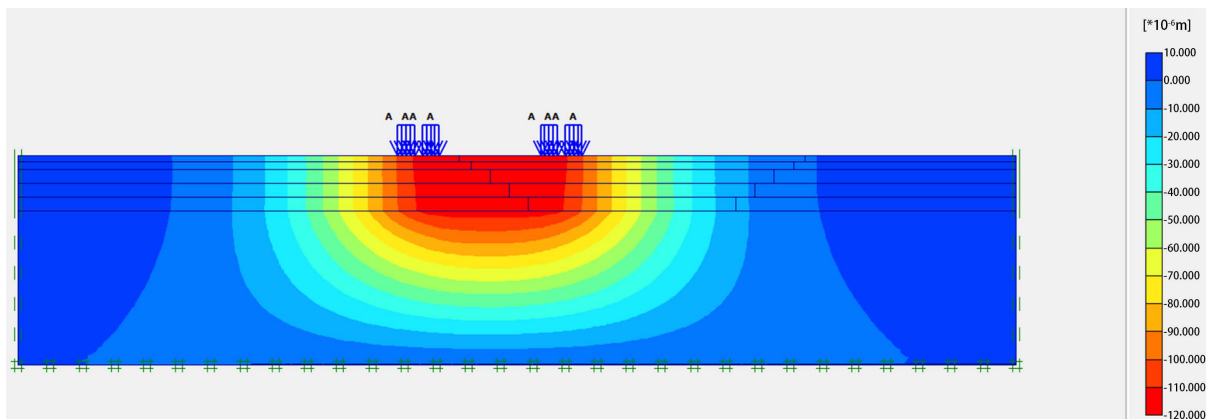
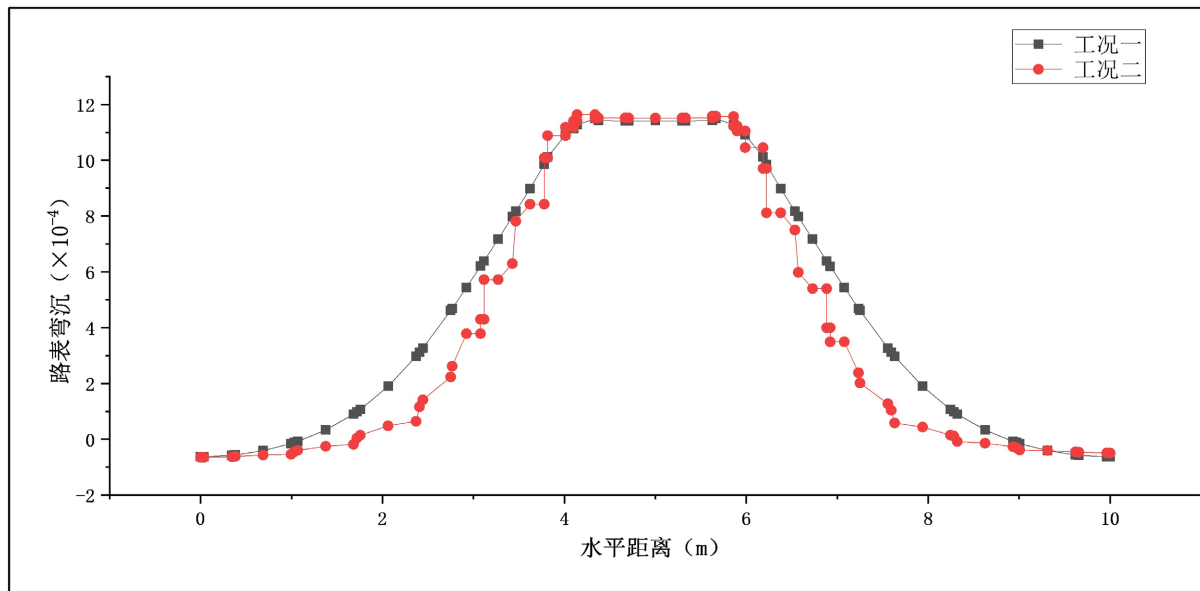
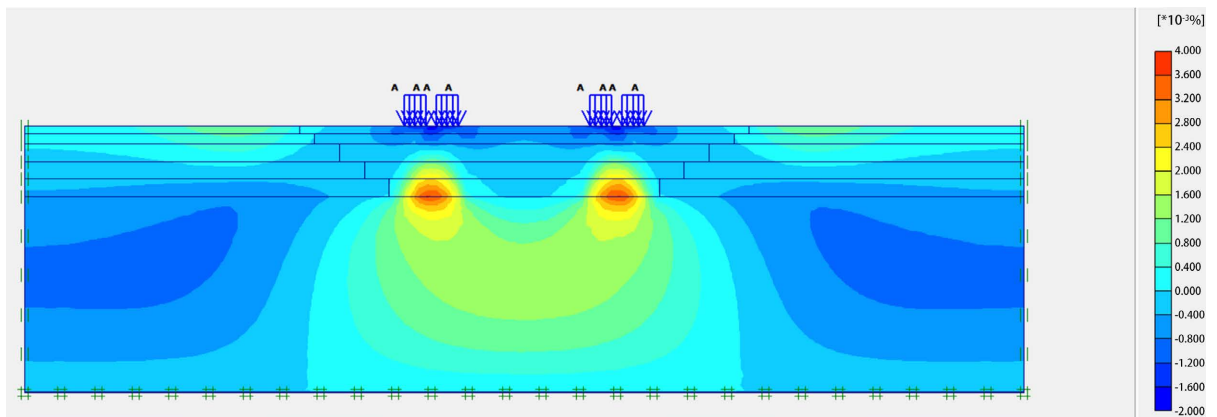


Figure 7. Road surface deflection cloud diagram for the second working condition

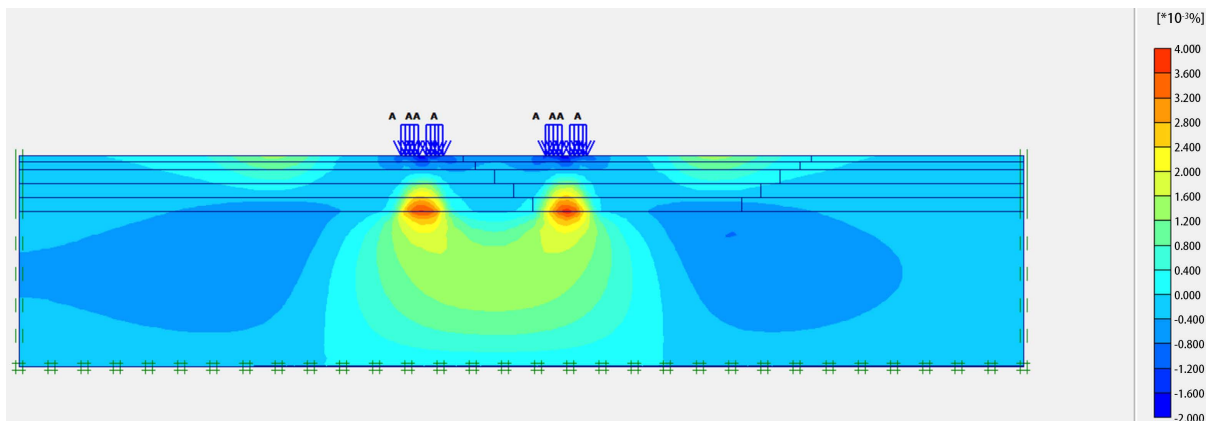
图 7. 工况 2 路表弯沉云图



**Figure 8.** Comparison of road surface deflection under two working conditions  
**图 8.** 两工况弯沉对比图



**Figure 9.** Tensile strain cloud diagram of the bottom of the asphalt layer under the first working condition  
**图 9.** 工况一沥青层底拉应变云图



**Figure 10.** Tensile strain cloud diagram at the bottom of the asphalt layer under the second working condition  
**图 10.** 工况二沥青层底拉应变云图

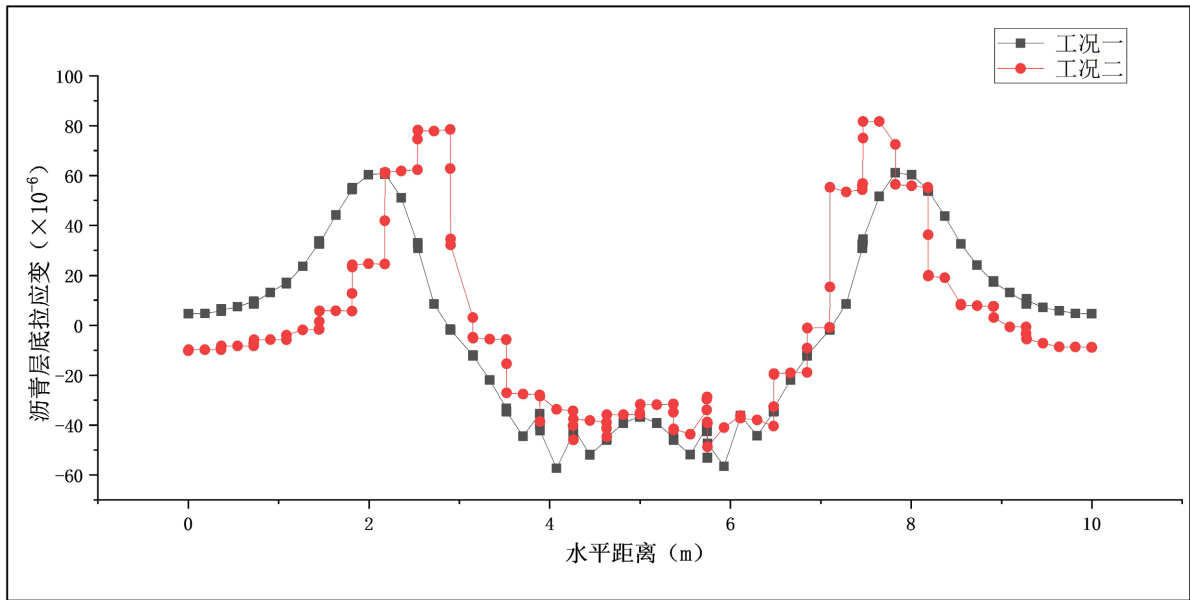


Figure 11. Comparison of tensile strain at the bottom of the asphalt layer under two working conditions

图 11. 两工况沥青层底拉应变对比图

采取加强措施，防止路面结构局部疲劳损伤。其中：工况一应加强反开挖部位左侧 AC-25 沥青层、ATB-25 沥青稳定碎石层左侧路面结构竖向界面的连接强度，反开挖部位右侧低剂量水泥稳定碎石层与右侧路面结构竖向界面的连接强度；工况二可不作处理。

图 11 是两种工况下路面结构在行车荷载作用下沥青层底拉应变对比情况，根据计算结构可知：行车荷载作用下，路面结构的应变响应具有波动特性，同时路面结构内部一定区域内应变响应呈现了明显的交替特性，出现了层底拉应变的逆转变，而这种交替变化是沥青面层产生疲劳破坏的主要原因。

在实体路面结构应力应变响应现场采集过程中，测试结果受响应受车辆速度、横向位置、行驶状态等荷载因素的影响，在一定的条件下会产生拉、压应变交替变化，随着荷载速度的增加、横向作用位置的远离，路面结构应变响应幅值逐渐降低，因此在应变的实测过程中需要严格控制上述条件。

### 3.3. 土基顶压应变

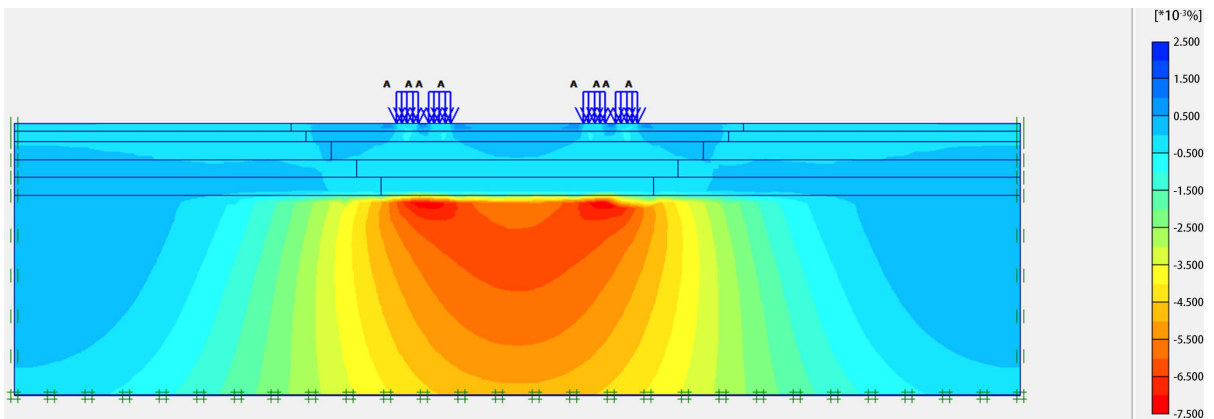


Figure 12. The top compressive strain cloud diagram of soil foundation under the first working condition

图 12. 工况一土基顶压应变云图

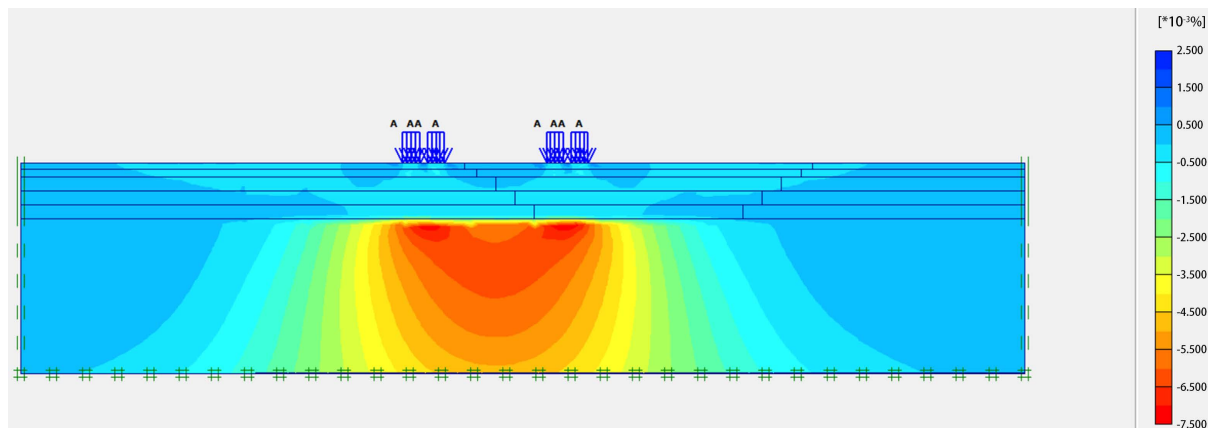


Figure 13. Cloud diagram of top compressive strain of soil foundation under the second working condition

图 13. 工况二土基顶压应变云图

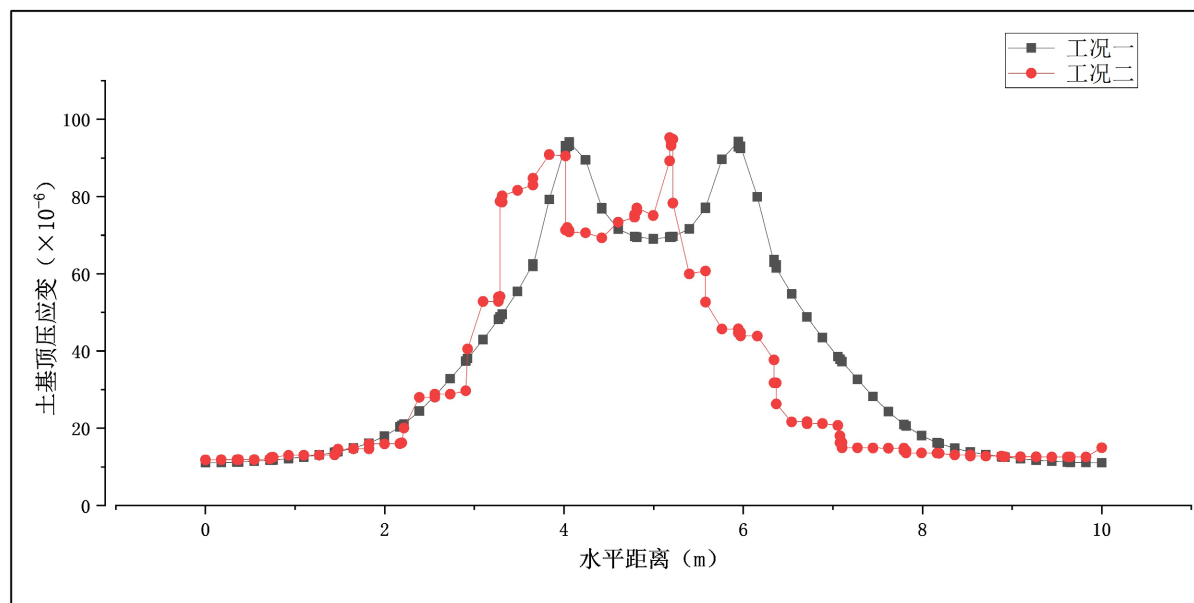


Figure 14. Comparison of top compressive strain of soil foundation under two working conditions

图 14. 两工况土基顶压应变对比图

对于沥青路面结构而言，永久变形是影响路面结构使用寿命的主要因素，我国现行规范及国外相关规范均将土基顶压应变作为控制路面结构永久变形的重要指标[10]。

图 12 和图 13 分别是工况一及工况二土基顶压应变云图，图 14 是两工况土基顶压应变对比图。根据计算结果分析可知，工况一土基顶压应变最大值为  $94.6 \times 10^{-6}$ ，工况二土基顶压应变最大值为  $93.9 \times 10^{-6}$ ，两种工况下土基顶压应变差值仅为 0.3%，可以认为两种路面结构形式具有相当的抵抗永久变形能力。

如图 14 所示，在土基顶压应变沿水平方向分布规律上看，在双圆均布荷载作用下，土基顶压应变呈现明显的“双驼峰”形态，土基顶压应变最大值出现在两车轮荷载中心正下方，且最大值相同。

#### 4. 结论

本文以有限元分析软件 PLAXIS 为主要研究手段，对比分析了济青高速公路改扩建反开挖施工两种新旧路面搭接方案在路表弯沉值、沥青层底拉应变、土基顶压应变等关键指标的对比情况，得出的主要



结论如下:

1) 在行车荷载作用下,两种新旧路面搭接方案的路表弯沉值、沥青层底拉应变、土基顶压应变基本相同,说明两种路面结构均具有较好的整体性能。

2) 两种路面结构形式均表现出局部水平向应力集中现象,需要对拉应力集中区域采取加强措施,防止路面结构局部疲劳损伤。其中:结构形式一应加强反开挖部位左侧 AC-25 沥青层、ATB-25 沥青稳定碎石层左侧路面结构竖向界面的连接强度,反开挖部位右侧低剂量水泥稳定碎石层与右侧路面结构竖向界面的连接强度;结构形式二可不作处理。因此,从施工便宜性及后期养护成本上出发,工况二比工况一具有更优异的经济适用性。

3) 在行车荷载作用下,路面结构的应变响应具有波动特性,同时路面结构内部一定区域内应变响应呈现了明显的交变特性,出现了层底拉应变的逆转变,而这种交变变化是沥青面层产生疲劳破坏的主要原因。

## 参考文献

- [1] 王宇. 高速公路“四改八”如何解决“反开挖快速回填”难题? [J]. 交通建设与管理, 2018(5): 50-53.
- [2] 韩婉婉, 闫亚鹏, 柯文豪. 基于路面拼接需求的高速公路改扩建保通方式选择方法探讨[C]//中国公路学会养护与管理分会. 中国公路学会养护与管理分会第十一届学术年会论文集. 中国公路学会养护与管理分会: 中国公路学会养护与管理分会, 2021: 136-145.
- [3] 寇春河, 王清标, 施振跃, 李中莹, 秦亚茹. 反开挖与超厚水稳摊铺路面拼接施工技术研究[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(22): 93-95.
- [4] 赵恒博, 陈修辉, 邱宁. 重载交通大中修沥青路面结构受力影响分析[J]. 鄂州大学学报, 2020, 27(1): 101-103.
- [5] 杜保元. 路面结构力学响应研究及对比分析[J]. 绿色环保建材, 2018(10): 107-108.
- [6] 潘峥嵘. 两种长寿命路面结构各层位参数影响性分析[J]. 交通科技, 2016(4): 64-66.
- [7] 朱玉, 张雷. 不同基层沥青路面结构控制指标的选择[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2016, 12(2): 13-15.
- [8] 黄民如, 许新权, 王敬飞. 不同结构型式沥青路面路用性能对比研究[J]. 湖南交通科技, 2018, 44(2): 62-64.
- [9] 李浩, 许新权, 刘锋. 耐久性沥青路面结构疲劳寿命对比分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2017, 41(6): 1051-1054.
- [10] 李泉. 沥青层底拉应变在长寿命路面应用的合理性浅谈[J]. 四川水泥, 2017(3): 285.