

济青高速改扩建工程新旧路基承载力评价

苏建明¹, 韩文扬², 章清涛¹, 张晓萌², 崔世萍², 陈凯²

¹山东高速股份有限公司, 山东 济南

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

Email: 76940136@qq.com

收稿日期: 2021年2月7日; 录用日期: 2021年2月26日; 发布日期: 2021年3月9日

摘要

新旧路基变形协调是高速公路改扩建工程路面结构耐久性的关键技术。采用FWD落锤式弯沉仪、PFWD便携式落锤弯沉仪和DCP对济青高速改扩建工程新旧路床进行了快速无损检测, 对路床顶面回弹模量进行了反算。结果表明: 济青高速旧路路床顶面回弹模量大于60 MPa, 满足现行规范对特重交通沥青路面路床回弹模量的要求, 拓宽车道路床顶面回弹模量大于90 MPa, 为旧路基处理方案设计提供了依据。

关键词

道路工程, 沥青路面, 改扩建工程, 承载力, 路基

Evaluation of Bearing Capacity of New and Old Subgrade in Reconstruction and Extension Project of Jiqing Expressway

Jianming Su¹, Wenyang Han², Qingtao Zhang¹, Xiaomeng Zhang², Shiping Cui², Kai Chen²

¹Shandong Express Co., Ltd., Jinan Shandong

²Shandong Academy of Transportation Sciences, Jinan Shandong

Email: 76940136@qq.com

Received: Feb. 7th, 2021; accepted: Feb. 26th, 2021; published: Mar. 9th, 2021

Abstract

Coordination of deformation of new and old subgrade is a key technology for durability of pavement structure in highway reconstruction and expansion projects. The FWD drop-weight deflec-

文章引用: 苏建明, 韩文扬, 章清涛, 张晓萌, 崔世萍, 陈凯. 济青高速改扩建工程新旧路基承载力评价[J]. 管理科学与工程, 2021, 10(1): 10-16. DOI: 10.12677/mse.2021.101002

tion meter, PFWD portable drop-weight deflection meter and DCP were used to conduct fast and non-destructive testing of the new and old road beds in the reconstruction and expansion project of Jinan-Qingdao Expressway, and the elastic modulus of the top surface of the road bed was back calculated. The results show that the elastic modulus of the top surface of the old road bed of Jiqing Expressway is greater than 60 MPa, which meets the requirements of the current specifications for the elastic modulus of the extra-heavy traffic asphalt pavement subgrade. The elastic modulus of the top surface of the widened road bed is greater than 90 MPa, which provides a basis for the design of the old roadbed treatment scheme.

Keywords

Road Engineering, Asphalt Pavement, Reconstruction and Expansion Project, Bearing Capacity, Roadbed

Copyright © 2021 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

随着我国国民经济的快速发展,公路交通量迅猛增加,部分国省道主干线实际交通量往往超出设计交通量。为了适应交通量的快速发展,在一些交通量大的重要通道,高速公路的扩容改造势在必行。近年来,随着广佛、沪杭甬、沈大、沪宁高速公路加宽改造相继完成,为高速公路改扩建工程技术积累了一定的经验[1]。但是,由于不同高速公路在地基、路基、路面和交通构成等方面的差异,设计思路和方案具有一定差别。新旧路基承载力及变形的协调成为高速公路改扩建工程的关键技术之一,不能单纯沿用普通路基路面结构设计方法和施工技术要求。为保证新旧路基良好拼接,使新旧路基成为一个整体协同工作,是保证改扩建工程质量的重要控制因素。新旧路基拼接技术主要包括台阶开挖、土工合成材料的应用、新路基填料的选择、填筑工艺、路基改善层灰剂量掺量和压实度控制等[2] [3]。

济青高速是国家高速公路青银线济南至青岛段,1994年建成通车,是山东省东西联系的主要通道,是国家高速公路网的骨架部分,也是国家规划的“五纵七横”国道主干线的组成部分。所通行的车辆中,大型车辆占30%左右,由于大型车辆长时间占道行驶现象严重,导致道路拥挤现象加剧,行驶速度和通行能力大大降低,近年来高峰时间拥堵现象时有发生。从济青高速在国家高速公路网中的功能、地位考量,实施增容扩建已十分迫切。

路基承载力检测手段包括弯沉、DCP、CBR等其他检测方法,考虑到工程现场条件及各设备的适用条件,通过弯沉、DCP形成一套完整的路基检测与评价方法可在保证一定精度的条件下,可以极大的提高现场检测的效率。

2. 济青高速新旧路基拼接

济青高速改扩建工程参照我国成功经验,采用削坡和挖台阶的方式拼接。既有路堤边坡削坡和台阶开挖的作用体现在:1)清除老路边坡一定深度内的表层植被土和压实度不足的填土;2)增加新旧路结合部接触面积,增强结合部抗剪能力;3)横向台阶面为土工格室或土工格栅的使用提供锚固长度。施工中应注意削坡也应满足施工期间既有路基的稳定的要求。

为增加新旧路基的整体协调性,避免或减少横向错台和纵向裂缝的发生,在加宽填筑路基之前,先

对旧路基边坡进行 30 cm~50 cm (垂直于坡面方向)的清坡处理,开挖台阶。对于填筑高度小于 4 m 的一般路基,自下而上第一级台阶采用 200 cm 宽、高 133.3 cm, 第二级台阶及第二级台阶以上采用 100 cm 宽、高 66.7 cm, 开挖一级填筑一级, 填筑路基时最下一级台阶铺设一层高强土工格室, 上路床底部铺设一层 HDPE 土工格栅, 具体示意图如图 1 所示。

对于拼接部位的路床在满足规范要求的压实度基础上提高到 97% (新建路段路床压实度按规范要求大于 96%)。路床参加石灰或水泥处理, 上路床 30 cm 掺灰量为 6%, 下路床 90 cm 的上部 50 cm 掺灰量为 4%, 下部 40 cm 不掺灰。

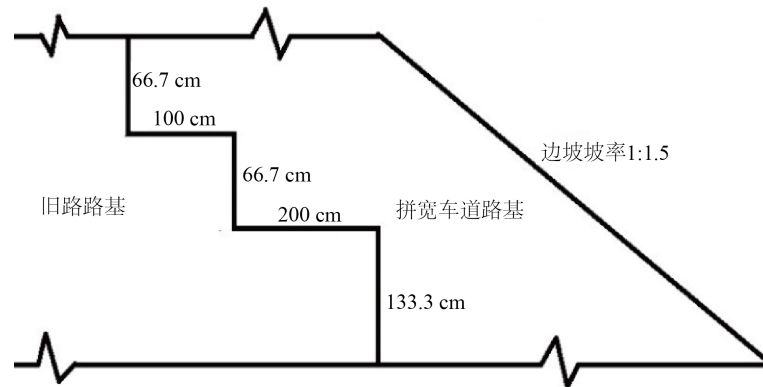


Figure 1. Schematic diagram of the splicing of the excavation steps of the new and old subgrade

图 1. 新旧路基结构开挖台阶拼接示意图

3. 新旧路基现场检测分析

3.1. 检测方法

根据济青高速改扩建工程现场工作面条件采用 FWD、PFWD 和 DCP 对路床顶面进行快速无损检测。PFWD 和 DCP 直接在路床顶面检测(如图 2 所示), FWD 在路床顶面或者底基层顶面进行弯沉检测并反算路床顶面回弹模量。此外, 为了比较铣刨底基层前后的扰动作用, 分别采用 PFWD 和 DCP 对铣刨后旧路床顶面和新路床顶面进行检测和对比分析。



Figure 2. On-site inspection of the top surface of new and old road beds

图 2. 新旧路床顶面现场检测

3.2. 检测结果

采用 FWD 落锤式弯沉仪对济青高速拓宽车道新路床顶面进行了弯沉盆检测并进行了路床顶面回弹模量反算, 结果如表 1 所示。为了得到未经铣刨扰动作用的旧路路床顶面回弹模量, 采用 FWD 落锤式弯沉仪对旧路硬路肩进行了弯沉盆检测并进行了模量反算, 结果如表 2 所示。为了比较基层铣刨及拼宽车道路床施工对旧路路床的影响, 在新旧路床拼接缝两侧进行了 PFWD 便携式弯沉仪检测, 得到了新旧路床顶面的回弹弯沉, 如表 3 所示。此外, 为了分析济青高速反开挖段新旧路床顶面的承载力, 采用 DCP 对新旧路床进行了检测, 并根据经验公式转换为 CBR 和回弹模量, 如表 4 所示。

Table 1. FWD deflection detection results of the top surface of the new road bed

表 1. 新路床顶面 FWD 弯沉检测结果

FWD 弯沉数据信息	中心点弯沉平均值 /0.01mm	路床顶面回弹模量统计结果		
		平均值/MPa	标准差/MPa	变异系数/%
济青六标 2017.06.20 右幅	54.3	237.1	44.0	18.6
济青六标 2017.06.20 左幅	67.2	235.6	45.7	19.4
济青二标 2017.06.21 右幅	47.7	228.7	38.16	16.7
济青二标 2017.06.21 右幅-2	47.4	248.3	52.6	21.2
济青二标 2017.06.21 左幅	40.1	239.3	26.7	11.1
济青二标 2017.07.04 左幅	51.3	314.9	49.4	15.7

Table 2. The top surface deflection detection of the hard shoulder of the old road and the back calculation of the top surface modulus of the road bed

表 2. 旧路硬路肩顶面弯沉检测及路床顶面模量反算

测点桩号	荷载 (kPa)	D1 (μm)	D2 (μm)	D3 (μm)	D4 (μm)	D5 (μm)	D6 (μm)	D7 (μm)	土基模量 (MPa)
K44 + 691	705.9	133.0	120.1	100.3	71.0	56.5	46.1	30.4	350.5
K46 + 014	703.1	101.7	81.5	72.0	57.6	47.1	35.3	30.5	365.2
K47 + 022	692.7	237.7	176.5	145.9	117.2	102.4	78.2	59.3	171.9
K48 + 000	715.6	231.1	158.3	122.2	92.6	78.2	61.3	46.3	242.9
K48 + 921	706.8	143.6	99.0	80.5	66.8	59.8	49.4	39.8	278.7
K50 + 000	714.2	115.7	98.6	92.1	83.6	77.2	66.2	55.3	165.6
平均值	711	136	100	84	67	58	47	37	319
变异系数/%	1.2	39	36	32	32	32	33	32	33

Table 3. PFWD deflection detection results of the top surface of the new and old road bed

表 3. 新旧路床顶面 PFWD 弯沉检测结果

桩号	荷载/KPa		变形量/0.01mm		回弹模量/MPa	
	旧路床顶面	新路床顶面	旧路床顶面	新路床顶面	旧路床顶面	新路床顶面
K196 + 820	119	128	52	8	61	410
K196 + 825	119	123	74	12	43	306
K196 + 830	117	123	71	8	44	386

Continued

K196 + 835	121	125	59	10	54	355
K196 + 840	120	124	58	8	55	419
K196 + 860	117	125	63	13	50	261
K196 + 865	119	123	56	10	56	328
K196 + 870	117	123	52	7	60	435
K196 + 880	122	123	72	10	44	321
平均值	119	124	62	10	52	358
变异系数	1.5	1.4	13.8	21.0	13.4	16.4

Table 4. DCP test results on the top surface of new and old road beds

表 4. 新旧路床顶面 DCP 检测结果

测点	深度/cm	每击贯入量/mm	CBR/%	弹性模量/Mpa
老路路床	10~20	10	22	94
	20~30	16	14	61
新路路床	10~20	7	33	143
	20~30	7	34	143
老路路床 浸水后	10~20	39	5	23
	20~30	30	7	30
新旧路床 接缝处	10~20	24	8	39
	20~30	39	6	23

3.3. 结果分析

对比表 1 和表 2 中的模量反算结果可知, 旧路路床未经铣刨扰动作用时, 其回弹模量与拼宽车道新路床相当, 如图 3 所示。但是考虑到现场 FWD 检测时, 检测点分别位于新路床顶面和旧路行车道路面顶面, 新路床顶面压应力大于旧路床顶面压应力, 而路基材料具有应力依赖性, 新路床实际回弹模量略高于旧路路床。表 3 中新旧路床 PFWD 检测条件为, 旧路路床经过了基层铣刨的扰动及雨水浸泡作用, 而新路床水泥土龄期超过了 3 个月。由表 3 及图 4 可知, 旧路路床经扰动后回弹模量大幅降低, 从 200 MPa 左右降低为 50 MPa 左右。新路床顶面 PFWD 单点弯沉回弹模量反算结果与 FWD 弯沉盆反算结果基本相当。由表 4 中结果可知, 改扩建工程中对旧路路床的扰动作用, 如车辆碾压、雨水浸泡、铣刨机械扰动等将极大的降低路床承载力, 旧路床顶面回弹模量从大于 60 MPa 降低到不足 30 MPa。

4. 旧路路基处理方案优化

在制定旧路路床处理方案之前需要对路床承载力进行快速检测评价, 而根据以上检测分析结果可知基层的铣刨工作对于路床扰动作用较大, 特别是当路床暴露之后经荷载、雨水等因素作用承载力将大幅降低。因此, 在铣刨之前确定旧路路床处理方案, 路床暴露后及时进行底基层施工可大大节约路床处理的工期和施工费用。针对原设计方案中铣刨沥青面层和半刚性基层后实测得到的旧路路床顶面回弹模量低于 40 MPa 时进行挖补的方法, 建议采用铣刨前快速检测评价的优化方案。考虑到路基回弹模量的应力依赖性, 对路表实测弯沉盆反算得到的路床顶面回弹模量 $\times 0.4$ 进行修正[4] [5]并以现行公路沥青路面设

计规范对特重交通高速公路要求的路基顶面回弹模量不低于 60 MPa 作为标准[6]。具体优化方案如下：

- 1) 采用 FWD 落锤式弯沉仪沿纵向按照 10 m 的间距实测各行车道轮迹带处弯沉盆，荷载为 50 KN。
- 2) 根据弯沉盆数据进行路床顶面回弹模量反算，对于回弹模量值 $\times 0.4 < 60$ MPa 的路段进行挖补处理；对于回弹模量值 $\times 0.4 \geq 60$ MPa 的路段无需处理。

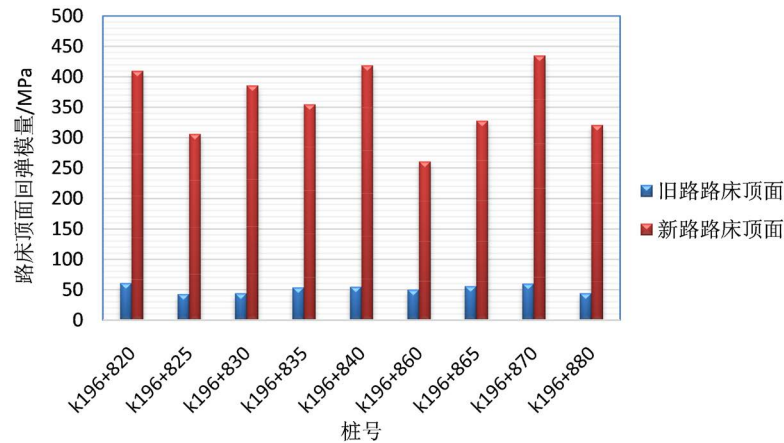


Figure 3. PFWD test results on the top surface of new and old road beds

图 3. 新旧路床顶面 PFWD 检测结果

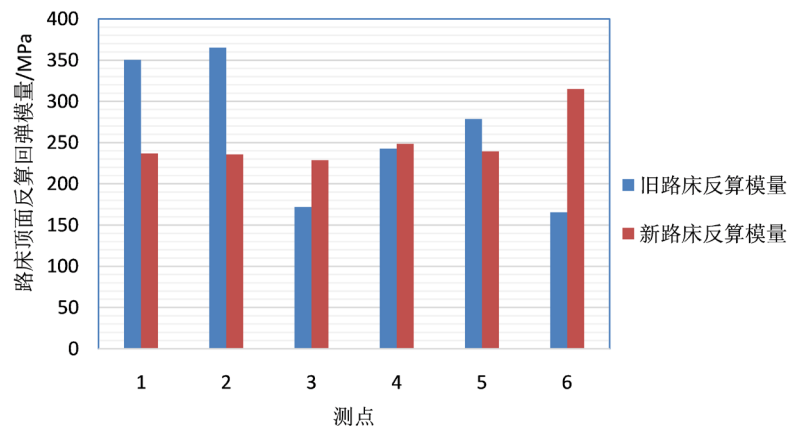


Figure 4. The inverse calculation results of elastic modulus of new and old road beds

图 4. 新旧路床回弹模量反算结果

5. 结论

文章采用 FWD 落锤式弯沉仪、PFWD 便携式落锤弯沉仪和 DCP 对济青高速改扩建工程新旧路床进行了快速无损检测，对路床顶面回弹模量进行了反算。针对原设计方案中铣刨沥青面层和半刚性基层后实测得到的旧路路床顶面回弹模量低于 40 MPa 时进行挖补的方法，提出了优化方案。主要结论如下：

- 1) 济青高速旧路路床顶面回弹模量大于 60 MPa，满足现行规范对特重交通沥青路面路基回弹模量的要求，拓宽车道路床顶面回弹模量大于 90 MPa。
- 2) 对于旧路路床回弹模量的评价可采用 FWD 快速无损检测结果进行反算并进行修正。
- 3) 旧路路床未经铣刨扰动作用时，其回弹模量与拓宽车道新路床相当。
- 4) 铣刨路面基层暴露旧路路床后应尽快覆盖，防止其承载力快速降低。

参考文献

- [1] 方鹤. 高速公路拓宽工程既有路面结构利用与处治技术[D]: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2009.
- [2] 蒋应军, 戴经梁. 土工织物在道路工程防裂中的应用[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27(4): 18-22.
- [3] 东方毅. 杭金衢高速公路改扩建工程设计方案研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.
- [4] 韦金城. 沥青路面半刚性基层材料与结构疲劳损伤研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.
- [5] 杨永顺, 等. 高等级公路典型路面结构路用性能和寿命周期费用研究[R]. 山东省交通运输厅公路局, 2015.
- [6] JTG D50-2017. 公路沥青路面设计规范[S]. 北京: 中华人民共和国交通运输部, 2017.