

公路改扩建新旧路面均衡性评价与施工控制

熊春龙¹, 李伟雄^{1,2}, 王钊栋²

(1. 广州肖宁道路工程技术研究事务所有限公司, 广东 广州 510640; 2. 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640)

摘要:依托某高速公路改扩建工程,采用落锤式弯沉仪(FWD)对改建、扩建及新旧搭接位置进行弯沉检测,以评价改扩建新旧路面结构的均衡性,并结合施工过程调查,分析新旧路面结构均衡性的影响因素,提出改扩建新旧路面结构均衡性控制的措施。研究表明:加铺 6 cm AC-20C 后,旧路面超车道的弯沉值降低约 50%,旧路面重车道的弯沉值降低约 61.5%,路面结构强度得到明显改善;新旧路面搭接区域弯沉代表值达到 19.6(0.01 mm),明显高于新旧路面结构其他位置的弯沉值,新旧路面结构的均衡性较低。改扩建高速公路新旧路面结构的均衡性与旧路面结构病害的处治和新旧路面搭接施工的精细化水平有关,通过施工控制,可提高路面结构的均衡性约 60%。

关键词:改扩建; FWD; 均衡性; 施工质量

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

高速公路改扩建将成为未来高速公路建设的新方向^[1-2],新旧路拼接施工是重难点之一^[3-4],将直接影响路面质量^[5-7]。为了提高新旧路面拼接质量,新旧路面结构均衡性设计的理念被提出。唐咸远等^[8]研究了玻纤格栅对路面拓宽拼接的力学影响;卞海洋等^[9]分析路面各结构层受力规律,优化了路面结构设计方案。高速公路改扩建施工交叉多且路面分项的工期较短,路面精细化施工和管理的水平受限,往往存在新旧路面结构的均衡性水平与设计存在较大偏差的情况^[10-12]。

FWD 落锤式弯沉仪作为常用的弯沉值检测手段^[13-15],可对高速公路改建、扩建及新旧搭接区域路面结构进行快速、连续的检测,获取不同车道和新旧路面纵向搭接区域路面结构的弯沉值分布状况,从而实现对改扩建路面结构新旧路面均衡性的评价。进一步,根据对新旧路面施工过程的调查,分析影响改扩建新旧路面结构均衡性水平的因素,提出改扩建新旧路面结构均衡性施工控制措施。

1 工程概况

某高速公路由双向四车道改扩建成双向八车道,设计速度 120 km/h,路基标准宽度 42.0 m。原双向四车道部分旧路面病害的主要处治方案为铣刨重铺

19 cm 沥青面层,严重病害集中的局部段落采用铣刨 19 cm 沥青面层+铣刨 18 cm 水泥稳定碎石基层,回填 18 cm C20 素混凝土+重铺 19 cm 沥青面层方案。经病害处治完成后的旧路面顶面的标高与扩建部分的下面层标高一致,为了延长路面寿命,在改建和新建的路面上全幅加铺 6 cm AC-20C+4 cm SMA-13。

综合考虑拼接缝处基层、底基层强度和避开轮迹带的原则,新旧路面结构拼接方案如下:旧路面硬路肩的铣刨宽度为 1.7 m,沥青中面层、下面层与上基层间各设 20 cm 台阶,上基层与下基层间设 105 cm 台阶,下基层与底基层间设 25 cm 台阶,底基层铣刨后原路床部分换填 20 cm 厚级配碎石,连通新路基的 50 cm 路基改善层,并对底基层挖除后的路基进行液压夯实补强。路面结构见表 1。

2 弯沉检测

检测设备为 PRI2100 型落锤式弯沉仪,弯沉传感器的精度不大于±2%,分辨率为 0.1 μm,荷载脉冲时间为 20~30 ms,荷载传感器分辨率为 0.1 kN,DMI 距离测量精度小于 0.1%,定位功能良好。

某改扩建公路右幅 K3201+960~K3202+500 段,在未对旧路面病害进行处治之前,对改建部分路面超车道和重车道分别进行检测,每车道 5 m/点。在完成 AC-20C 中面层加铺施工后,对全幅路面 2 个改建

收稿日期:2021-07-11(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51678251)

作者简介:熊春龙,男,硕士。E-mail:719051213@qq.com

表 1 新旧路面结构

改建部分路面结构		扩建部分路面结构	
新铺罩面层	4 cm SMA-13	上面层	4 cm SMA-13
新铺罩面层	6 cm AC-20C	中面层	6 cm AC-20C
原罩面层	4 cm AC-16C	下面层	8 cm AC-25C
原上面层	4 cm AK-16A		
原中面层	5 cm AK-20 I	上基层	11 cm ATB-25/冷再生
原下面层	6 cm AC-25 II		
原基层	36(38) cm 5%~6%水泥稳定碎石	基层	36(38) cm 5%~6%水泥稳定碎石
原底基层	20 cm 3%~4%水泥稳定粒料	底基层	20 cm 3%~4%水泥稳定粒料
原垫层	15 cm 级配碎石(中湿、潮湿路段)		15 cm 级配碎石(中湿、潮湿路段)

部分车道和 2 个扩建部分车道进行弯沉检测,加密为每车道 3 m/点。落锤弯沉仪检测旧路面及加铺后路面现场状况见图 1。

该路段全幅沥青中面层的设计宽度为 19.14 m,包含 4 个宽度为 3.75 m 的行车道,从路线中心往路肩的方向,依次为第 1、2、3、4 车道。落锤弯沉仪在每个车道的检测线位布置见图 2。第 1、2、3、4 车道的弯沉检测线位距路线中心的距离分别为 3 m、6.75 m、12.75 m、16.5 m。其中,第 3 车道弯沉检测线位处于新旧路面搭接区域(铣刨台阶区域)。为了对比分析新



图 1 FWD 检测现场图

旧路面搭接区域的路面结构状况,同时对改建部分旧路面硬路肩未铣刨台阶的区域进行弯沉检测。

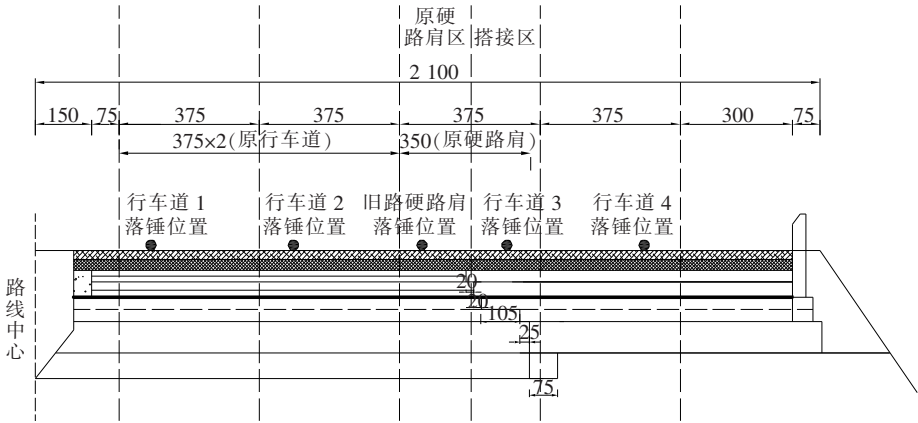


图 2 现场检测示意图(单位:cm)

3 结果与分析

3.1 落锤弯沉与贝克曼梁弯沉值的换算模型

新建、旧路改建路面中面层交验收弯沉(贝克曼梁)分别为 21.6(0.01 mm)、23.9(0.01 mm)。构建该项目不同车道落锤弯沉值与贝克曼梁弯沉值的转换关系模型,见表 2。

表 2 不同车道落锤弯沉与贝克曼梁弯沉值的换算关系模型

车道	关系模型	相关系数
1	$D_{FWD}=0.197D_{BB}+50.21$	0.976
2	$D_{FWD}=0.192D_{BB}+50.38$	0.954
3	$D_{FWD}=0.188D_{BB}+50.76$	0.901
4	$D_{FWD}=0.195D_{BB}+50.03$	0.957

注: D_{FWD} 、 D_{BB} 分别为落锤弯沉、贝克曼梁弯沉值(0.01 mm)。

由表 2 可知:不同车道的落锤弯沉值与贝克曼梁弯沉值的关系模型均较为接近,相关系数均大于 0.9,模型精度较高,落锤弯沉值与贝克曼梁弯沉值的一致性较好。

3.2 落锤弯沉值转换贝克曼梁弯沉结果

根据表 2 中的关系模型和筛选的不同车道的有效弯沉结果,换算得到不同车道落锤弯沉值转换的贝克曼梁弯沉值。不同车道转换贝克曼梁弯沉值随桩号的

分布状况如图 3 所示。
进一步,对不同车道的转换贝克曼梁弯沉检测结果进行统计分析。为了对比加铺 AC-20C 结构层前后,路面结构的整体力学性能变化,对第 1 车道(原路面超车道)和第 2 车道(原路面重车道)的弯沉检测结果也进行了统计。加铺前旧路面 2 个车道和加铺后 4 个车道的弯沉统计结果见表 3。

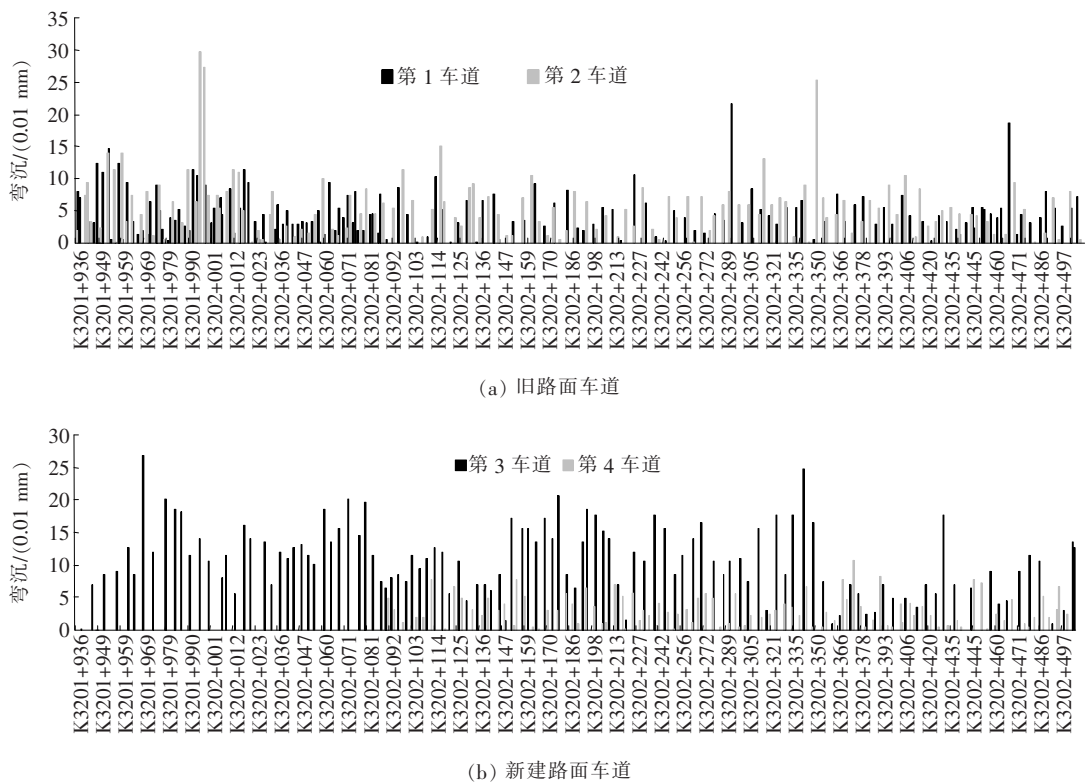


图 3 不同车道贝克曼梁转换弯沉值分布

表 3 不同车道弯沉值统计

车道		有效弯 沉数	弯沉 均值/ 据/点	弯沉标 准差/ (0.01 mm)	弯沉代 表值/ (0.01 mm)
第 1 车道	加铺后	137	4.6	3.33	10.1
	加铺前	102	11.7	5.16	20.2
第 2 车道	加铺后	124	5.5	4.73	13.3
	加铺前	98	24.7	5.99	34.5
第 3 车道		110	10.9	5.32	19.6
第 4 车道		97	3.0	2.38	6.9

由图 3、表 3 可知:加铺前,第 1 车道和第 2 车道的弯沉值差异较大,第 1 车道代表弯沉为 20.2(0.01

mm),而第 2 车道的代表弯沉为 34.5(0.01 mm),这与第 2 车道为重车道有关,第 2 车道的旧路面沥青结构层及水稳结构层中存在较明显的纵向裂缝、网状裂缝、松散等,而第 1 车道的状况相对较好。第 2 车道路面结构内部典型病害状况见图 4。

加铺 AC-20C 使路面结构的整体强度得到显著的改善,第 1 车道弯沉代表值降低到 10.1(0.01 mm),降幅约 50%,而第 2 车道的代表弯沉值降低约 21.2(0.01 mm),降低幅度超过 61.5%。第 2 车道的弯沉降幅显著大于第 1 车道,其原因可能为加铺前对旧路面第 2 车道进行了较为彻底的病害处置,处治深度大多超过 19 cm,而对第 1 车道的旧路面病害采取的多为表面浅层处治方案。



图 4 第 2 车道路面结构内部典型病害

4 路面均衡性施工质量控制

4.1 路面结构不均衡的原因分析

由表 3 可知:加铺 AC-20C 后,第 1 车道和第 2 车道的路面结构弯沉结果差异较小,第 3 车道为新建路基部分路面重车道,但第 3 车道的检测线位处于新旧路面的搭接区域,其弯沉代表值为 19.6(0.01 mm),第 4 车道同样为新建路基部分路面重车道,但第 4 车道检测线位处路面结构为完全新建,路基路面状态相对完好,因此,其弯沉代表值仅为 6.9(0.01 mm)。不同车道的弯沉代表值最小为 6.9(0.01

mm),最大为 19.6(0.01 mm),不同车道弯沉代表值的极差为 12.7(0.01 mm),变异性超过 43.5%,路面结构不均衡。

不难发现,路面结构的不均衡性突出体现在第 3 车道,可推测路面结构的均衡性问题主要与新旧路面的搭接质量有关。比较第 3 车道原路面硬路肩铣刨台阶回铺搭接新路面结构区域与第 3 车道原路面硬路肩未铣刨台阶区域的弯沉结果,可以非常清楚的解释搭接质量对路面结构力学均衡性的影响。图 5 为第 3 车道铣刨台阶搭接区域检测线位的检测结果和第 3 车道原硬路肩未铣刨台阶区域检测线位的检测结果对比。

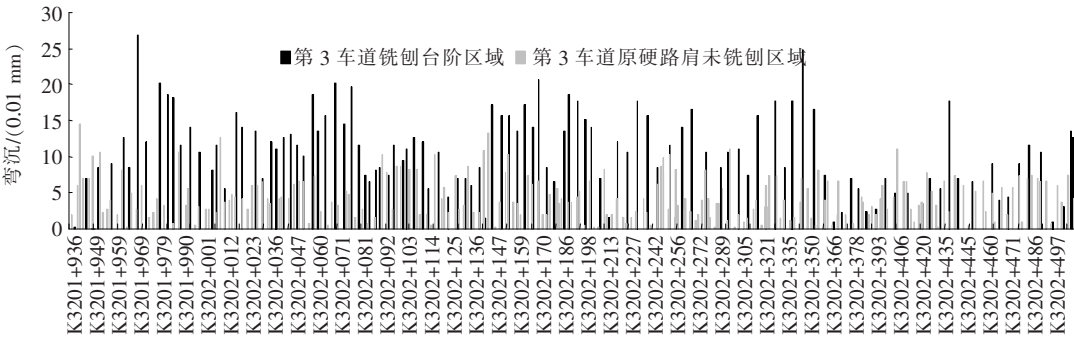


图 5 第 3 车道弯沉检测结果

由图 5 可知:第 3 车道原路面硬路肩未铣刨台阶回铺搭接新路面结构区域的弯沉均值为 4.3(0.01 mm),标准差为 2.82(0.01 mm),弯沉代表值为 8.8(0.01 mm),明显小于原路面硬路肩铣刨台阶区域的弯沉代表值 19.6(0.01 mm),差异超过 55.1%,新旧路面的搭接对路面结构均衡性存在较大的影响。

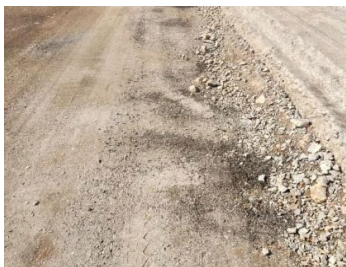
4.2 搭接施工质量控制

高速公路改扩建施工中,原路面硬路肩的台阶铣刨、台阶清理、台阶修整、拼接设计方案及回铺拼接施

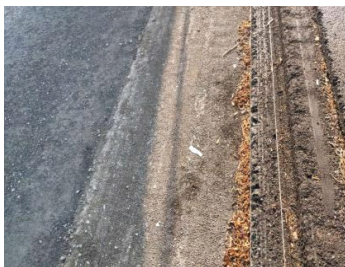
工质量等是导致路面弯沉大和新旧路面结构不均衡的原因。具体包括:① 原硬路肩碎石排水盲沟未处理彻底(旧路面病害处治不彻底);② 新旧路面结构拼接位置台阶铣刨不充分,存在夹层;③ 台阶工作面清理不干净,边部存在松散碎石、杂物修整不到位;④ 拼接位置玻纤格栅未固定失效等;⑤ 新旧路面搭接缝施工质量不良,存在漏水,弱化了搭接区路面结构强度;⑥ 接缝位置为结构层施工中机械的边部,存在摊铺、碾压的困难,结构层质量相对偏低。典型的搭接施工质量缺陷见图 6。



(a) 玻纤格栅未固定



(b) 工作面清理、修整不到位



(c) 铣刨台阶夹层

图 6 拼接处质量缺陷

为解决改扩建高速公路路面结构均衡性问题,解决新旧路面搭接区域的施工质量问题是关键所在。从搭接方案设计、搭接施工质量、搭接区回铺路面结构质量、搭接缝处理等方面,提出以下控制措施:

(1) 重视旧路面的病害处治,采用三维探地雷达 3D-Radar 识别和定位路面内部隐藏病害(如原路面第 2 车道内碎石盲沟、路基沉陷、富水等),并针对性地采取局部开挖回填、袖花管注浆、增加路基路面排水设施的方案。

(2) 在施工搭接区水泥稳定碎石结构层前,对铣刨台阶进行修整,采用光轮压路机振动碾压方式碾碎铣刨台阶的薄弱夹层,并采用山猫扫地机配合人工方式清理松散碎石,确保台阶平台和边壁的整洁和坚实。

(3) 在搭接区域回铺每个结构层前,在水稳结构层上铺设玻纤格栅,在接缝位置洒水泥净浆封缝,在沥青结构层上铺设聚酯玻纤布,并洒布乳化沥青,在沥青结构层的侧壁贴抗裂贴,回铺沥青结构层后,在接缝位置洒布乳化沥青封缝。

(4) 搭接区回铺的结构层混合料按照骨架密实型级配的标准进行设计,提高结构层本身的强度,水稳结构层混合料的 4.75 mm 筛孔通过率控制为 27%~32%,最大干密度超过 3.0 g/cm^3 ,沥青混合料严格控制粗集料比例超过 70%,采用粗集料间隙率 \leq 捣实状态下粗集料骨架间隙率和沥青混合料 70°C 动稳定度 $\geq 3\,500$ 次/mm 来控制混合料的质量。

(5) 在接缝位置,受空间限制,混合料的碾压较难保证,该项目增加胶轮压路机在接缝位置的碾压遍数(1~2 遍),对水稳混合料出现边部离析的,按 1.0 kg/m^2 用量洒布水泥净浆,对沥青混合料出现边部离析的,按 0.5 kg/m^2 用量洒布乳化沥青。

(6) 搭接区回铺结构层时,该项目严格控制摊铺机边部挡板距螺旋布料轴端部距离 10~30 cm,螺旋布料器埋料高度确保超过 2/3,控制螺旋布料器连续

均匀稳定运转,减少拼接位置出现离析。

(7) 增加沥青黏温曲线的测试,严格控制沥青混合料拌和温度超过 160°C (SMA 大于 180°C)、摊铺温度超过 150°C (SMA 大于 170°C)、初压温度超过 145°C (SMA 超过 160°C)、复压温度超过 135°C (SMA 大于 145°C)、终压温度超过 100°C (SMA 大于 120°C);该项目采用并机摊铺,摊铺机间距小于 10 m,前后机碾压段落不能大于 20 m,两机摊铺面温度差异低于 10°C ,严格控制热接缝的压实效果。

(8) 重视路面结构层的逐层弯沉检验,从路基开始对每一个结构层的弯沉进行检测,提前解决因下承层结构强度不足而导致的路面结构不均衡性问题,避免了下层结构问题向表面发展。

4.3 搭接施工质量控制的效果验证

落实搭接施工质量控制措施后,再次对工后第 3 车道新旧路面搭接缝两侧进行弯沉检测,结果见图 7。

由图 7 可知:第 3 车道铣刨台阶区域与未铣刨台阶区域的弯沉值代表值分别为 10.9(0.01 mm)、8.5(0.01 mm),差异为 22.2%,相比于未采取搭接施工质量控制措施前 55.1% 的弯沉差异降低了约 60%。通过施工控制可降低新旧路面结构弯沉差异,提高新旧路面结构的均衡性。

5 结论

采用落锤式弯沉仪(FWD)对改扩建高速公路不同车道的路面结构均衡性进行检测和评价,结合施工过程调查,分析路面结构均衡性的影响因素,提出改扩建高速公路路面结构均衡性施工质量控制措施。主要结论如下:

(1) 旧路面进行 6 cm 中面层加铺后,路面结构的强度得到明显改善,路面弯沉值降低 10.1~21.2(0.01 mm),降幅为 50%~61.5%。

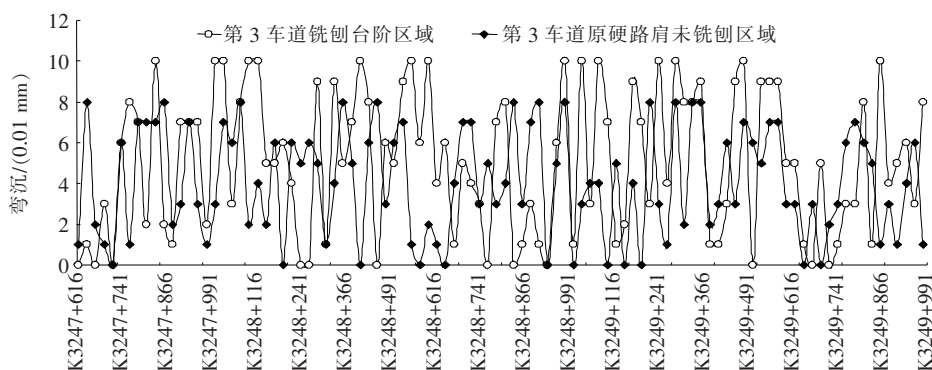


图7 加强搭接施工控制后第3车道弯沉分布

(2) 改扩建高速公路新旧路面搭接区域的弯沉结果明显大于其他位置的弯沉结果,搭接区域所在行车道的路面结构不均衡性最为突出。

(3) 改扩建高速公路旧路面病害处治和新旧路面搭接区域的施工精细化水平对旧路面结构均衡性的影响较大。通过施工控制,可降低新旧路面结构的弯沉差异(不均衡性)约60%。

参考文献:

- [1] 张晶,谢松林,肖开锋,等.公路改扩建旧沥青路面检测指标与评价方法的探讨[J].公路,2020,65(3):19—22.
- [2] 童海涛,郭知涛,秦凯强.高速公路改扩建铣刨料再生利用技术案例分析[J].公路,2020,65(3):243—247.
- [3] 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):278—282.
- [4] 张军辉,刘杰,邓宗煌,等.公路改扩建工程老路基处治深度研究[J].中外公路,2019,39(5):9—13.
- [5] WU M L, LI M, ZHU X D, et al. Research on New and Old Pavement Splicing Technology in Road Reconstruction and Expansion Projects[C]. International Conference on Architectural Engineering & Civil Engineering, 2016.
- [6] YU H, WANG Y, CHEN Y. Causes of Cracking of an Existing Pavement after Highway Widening in an Area of Soft Soil[J]. Proceedings of the Ice Transport, 2019:1—32.
- [7] 姚永胜,张军辉,李岷,等.江西省昌樟高速公路改扩建工程老路基渗水处治方法研究[J].中外公路,2018,38(3):14—18.
- [8] 唐咸远,邹凯,唐瞻鹏.玻纤格栅对旧水泥路面拓宽拼接的

力学影响分析及应用[J].中外公路,2018,38(6):44—47.

- [9] 卞海洋,黄毅,郑炳锋,等.高速公路改扩建工程高模量沥青混合料路用性能研究[J].中外公路,2019,39(5):221—225.
- [10] HUANG Guangyao, WANG Hong, ZHU Shunying, et al. Traffic Organization of Freeway Trumpet Interchange Reconstruction and Expansion with all Ramps Unimpeded [C]. First International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), 2011.
- [11] HUANG S F, LIU H, SUN Z Q, et al. Noise Control Methods and Countermeasures in Traffic Infrastructure Reconstruction and Expansion[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 358(1):022047.
- [12] 肖冠成,曾鹏,杨烨,等.国道G321桂阳段改扩建工程关键技术研究[J].中外公路,2015,35(4):1—5.
- [13] ELSHAER Mohamed, GHAYOUMI Majid, DANIEL Jo Sias. The Role of Predictive Models for Resilient Modulus of Unbound Materials in Pavement FWD-Deflection Assessment[J]. Road Materials and Pavement Design, 2018, 21(2):374—392.
- [14] PARK Bongsuk, CHUN Sanghyun, HAN Sangyoung. Application of Falling Weight Deflectometer (FWD) Data and Energy Ratio (ER) Approach for Cracking Performance Evaluation of Asphalt Pavements[J]. International Journal of Civil Engineering, 2019, 17(11):1 729—1 737.
- [15] BIANCHINI Alessandra, BELL, HALEY P. Fuzzy Cluster Approach for Area FWD Representative Basin from Deflection Measurement Spatial Variability[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2019, 20(7):844—852.