

基于现场芯样的在役高速公路沥青路面性能 试验研究

张栋^{1,3} 高荣根² 孙强³ 张晓萌³

1. 山东建筑大学 交通工程学院, 山东 济南 250000;

2. 安庆市公路管理局, 安徽 安庆 246001; 3. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250031

摘要: 为了研究在役高速公路沥青路面性能的变化情况, 基于规范和沥青路面性能要求, 对某地10余条在役高速公路沥青路面(旧路及铣刨修复路面)不同位置现场取样, 进行单轴贯入试验、汉堡车辙试验和动态模量试验。研究表明: 旧路面抗剪强度、高温抗车辙和抗水损坏能力较差, 部分路面已不能满足设计要求; 铣刨修复路面整体性能良好, 部分路面抗车辙和抗水损坏的能力不足。单轴贯入试验、汉堡车辙试验和动态模量试验能够较准确表述现场芯样路面材料的性能参数, 可以客观有效评价在役沥青路面的性能。

关键词: 在役高速公路沥青路面; 现场芯样; 性能试验; 路面养护

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1672-0032(2020)03-0041-07

引用格式: 张栋, 高荣根, 孙强, 等. 基于现场芯样的在役高速公路沥青路面性能试验研究[J]. 山东交通学院学报, 2020, 28(3): 41-47.

ZHANG Dong, GAO Ronggen, SUN Qiang et al. Experimental research on asphalt pavement performance of operating expressway based on core samples [J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2020, 28(3): 41-47.

0 引言

随着交通量的增加和时间的推移, 路面在行车荷载以及自然因素的共同反复作用下, 路用性能逐渐降低^[1], 如果不及时进行养护处理, 将会影响路面的使用寿命和行车安全, 因此高速公路的养护管理已经成为公路建设中最为核心的部分。文献[2]规定, 养护设计应根据路面技术状况数据及专项检测数据进行病害原因诊断及养护对策的选择。对在役路面进行性能试验研究可以更好掌握路面运行的实际状况, 有针对性的处理路面病害, 延长路面使用寿命。有关研究人员进行了大量关于沥青路面性能的研究^[3-7], 但目前对高速公路现场大规模取芯进行相关性能研究^[8]的试验相对较少。本文通过对路面现场芯样进行性能试验分析, 寻找可以有效评价路面技术状况的试验方法, 以期为其他在役高速公路的路面状况评定和养护设计提供参考。

1 工程概况和试验方案

1.1 工程概况

试验试样取自某地具有代表性的在役高速公路沥青路面(旧路以及铣刨修复路面), 该地区夏热冬冷, 年平均温度为14~17℃, 年降水量为700~1800 mm, 降雨主要集中在夏季。所选高速公路为双向四

收稿日期: 2020-05-12

第一作者简介: 张栋(1996—), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 主要研究方向为道路与铁道工程, E-mail: 1940097335@qq.com。

车道,设计车速为 120 km/h,荷载等级为汽-超 20、挂-120。路面面层混合料为密级配沥青混合料 (asphalt concrete mixture, AC),面层结构为 4 cmAC-13+6 cmAC-20+6 cmAC-20。沥青混合料所用沥青均为加入改性剂苯乙烯丁二烯嵌段共聚物 (synthesis-butadiene-styrene block copolymer, SBS) 的改性沥青,其中上面层石料为玄武岩,中、下面层石料为石灰岩。

1.2 试验方案

1) 单轴贯入试验

单轴贯入试验试件受力状态与路面实际状况相似,且操作简单,数据离散性小,可作为评价沥青路面材料路用性能的一种可靠方法。该方法能够有效评价沥青混合料的抗剪性能^[9-11]。同时,相关研究表明^[12-13]:单轴贯入试验指标和沥青混合料的高温性能有较好的对应关系,可以用来评价沥青混合料的高温稳定性。本次采用单轴贯入试验评价沥青混合料的高温性能和抗剪强度,试件由现场芯样取芯并切割成为 $\Phi 100$ mm,长 100 mm 柱体,60 °C 保温 4~6 h,采用万能试验机 (universal testing machine, UTM) 在加载频率为 1 mm/min 条件下进行试验。

2) 汉堡车辙试验

汉堡车辙试验用于测定沥青混合料的水稳定性及抗车辙性能^[14-16]。该试验是目前测试沥青混合料水敏感性和抗车辙性能试验条件最苛刻的试验之一,本次汉堡车辙试验按照 ASHTO T324^[17] 和美国得克萨斯州 Tex-242-F 的试验方法进行,将原始芯样切割成 $\Phi 150$ mm,长 62.5 mm 的试样,试验温度为 50 °C (浸水),碾压 2 万次时停止试验。

3) 动态模量试验

动态模量反映了沥青路面在车辆荷载作用下的动态响应,能够更加准确地反映沥青路面的实际受力状况,是沥青路面结构和材料设计的主要参数。按照文献 [18] 要求采用简单性能试验机在 20 °C、10 Hz 条件下进行动态模量试验,应变范围控制在 $(75 \sim 125) \times 10^{-6}$ 。参考国内外文献 [19-23],将原始芯样切割为上面层 $\Phi 38$ mm、中面层 $\Phi 50$ mm 的圆柱体,再将圆柱体上下表面切除,保留平整的切割面以便粘贴传感器,最终形成芯样为上面层 $\Phi 38$ mm、长 110 mm,中面层 $\Phi 50$ mm、长 110 mm 的芯样。

2 试验结果与分析

试验分别在 10 余条高速公路旧路的路肩、行车道位置以及铣刨修复的行车道位置取芯,共 68 个芯样,原始芯样直径为 150 mm,包含基层及 3 个面层 (基层所取芯样长度不一,面层芯样长度为 160 mm)。分析高速公路旧路面 (沥青路面) 与铣刨修复后的路面的使用性能。

2.1 路用性能

2.1.1 抗剪与高温稳定性

试验路段共 68 个芯样,从铣刨修复路段和旧路路段取样,每条路的每个位置至少取 2 个芯样做单轴贯入试验,试验结果取均值,试验结果分析如图 1 所示。路段编号如表 1 所示。

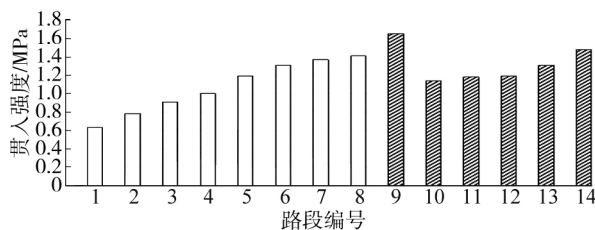


图 1 不同路段旧路面及修复路面的单轴贯入强度均值

表 1 高速公路路段编号一

路段编号	路段名称	路段编号	路段名称	路段编号	路段名称
1	1#高速旧路段	6	4#高速旧路段	11	7#高速铣刨修复路段
2	2#高速旧路段	7	5#高速旧路行车道路段	12	8#高速铣刨修复路段
3	2#高速旧路行车道路段	8	5#高速旧路路肩路段	13	9#高速铣刨修复路段
4	2#高速旧路路肩路段	9	1#高速铣刨修复路段	14	10#高速铣刨修复路段
5	3#高速旧路段	10	6#高速铣刨修复路段		

由图1和表1可知:

1) 旧路面的贯入强度为 $0.6 \sim 1.4 \text{ MPa}$, 铣刨修复路面的贯入强度为 $1.1 \sim 1.7 \text{ MPa}$, 铣刨修复路面贯入强度整体高于旧路面, 表明铣刨修复路面的抗剪性能和高温性能较好, 沥青混合料不易发生剪切流动变形。

2) 部分旧路面贯入强度很高, 表明路面的抗剪性能仍能满足路面使用要求; 部分旧路面贯入强度偏低, 已不能满足路面使用要求, 这是因为在长期的环境和行车荷载作用下, 沥青混合料的抗剪性能衰退, 路面的高温稳定性下降, 路面面层出现功能性破坏, 需要及时进行病害处理, 必要时铣刨修复。旧路路面中应急车道和路肩比行车道抗剪性能好, 原因是行车道位置交通量较大, 路面的抗剪性能下降严重, 因而贯入强度低。

3) 1号高速旧路贯入强度最小, 9号高速铣刨修复路段路面贯入强度最大, 说明经过路面维修后路面的高温性能得到了显著提高。

2.1.2 抗车辙与水稳定性

对11条高速公路路段的上、中面层的试样进行浸水汉堡车辙试验, 其中包括旧路与铣刨修复路段。路段编号如表2所示, 试验结果如图2、3所示。

表2 高速公路路段编号二

路段编号	路段名称	路段编号	路段名称	路段编号	路段名称
15	1#高速旧路路段1	23	1#高速铣刨修复路段1	31	9#高速铣刨修复路段1
16	1#高速旧路路段2	24	1#高速铣刨修复路段2	32	9#高速铣刨修复路段2
17	2#高速旧路路段1	25	6#高速铣刨修复路段2	33	10#高速铣刨修复路段1
18	2#高速旧路路段2	26	6#高速铣刨修复路段2	34	10#高速铣刨修复路段2
19	3#高速旧路路段1	27	7#高速铣刨修复路段1	35	11#高速铣刨修复路段1
20	3#高速旧路路段2	28	7#高速铣刨修复路段2	36	12#高速铣刨修复路段2
21	4#高速旧路路段1	29	8#高速铣刨修复路段1		
22	4#高速旧路路段2	30	8#高速铣刨修复路段2		

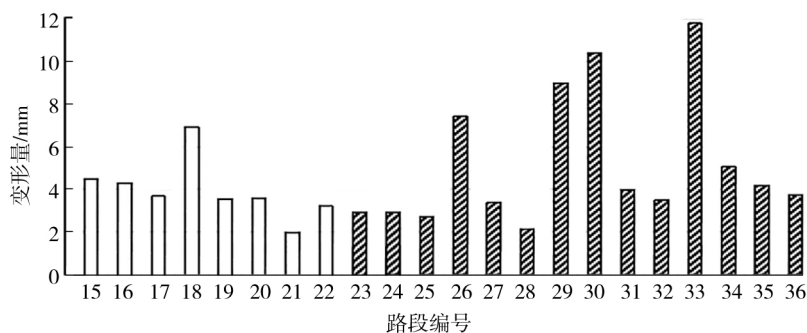


图2 不同路段旧路面及修复路面上面层 AC-13 变形量对比

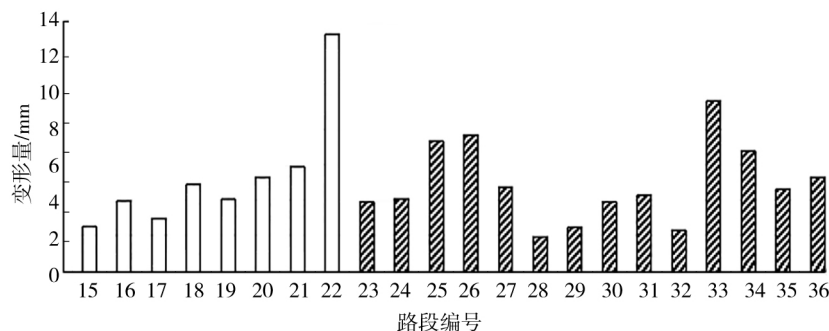


图3 不同路段旧路面及修复路面中面层 AC-20 变形量对比

本次检测的上、中面层沥青混合料均采用 SBS 改性沥青, SBS 改性沥青的路用性能分级为 PG76。根据德克萨斯州交通部公路施工及维护规范要求最大变形深度不应超过 12.7 mm。

由表 2 和图 2、3 可知:

1) 旧路上面层均满足规范变形量小于 12.7 mm 的设计要求, 表明上面层路面结构强度仍能满足需求。中面层有 3 个芯样的变形量超过 12.7 mm, 即部分路段中面层沥青混合料性能衰退严重, 抗车辙性能和抗水损害性能较差, 易出现车辙松散等路面病害。可能原因为: 中面层的空隙率较大, 水更容易进入材料内部, 使结构破坏; 中面层所用石料为石灰岩, 石灰岩强度低于上面层的玄武岩。路面在长时间的车辆荷载及外部环境共同作用下, 其抗车辙能力和抗水损坏能力已经大大降低。

2) 铣刨修复路段芯样均满足设计要求, 表明修复路段的抗车辙性能和水稳定性较好, 但有部分修复路段的上面层较其他芯样变形量偏大, 应加强观测或提前进行预防性养护^[24]。

3) 旧路面沥青混合料出现了沥青完全剥落的碎石, 养护修复路面试件在试验后没有明显的剥落现象, 表明路面养护可以有效提高路面抗车辙和抗水损坏的能力。相比冻融劈裂试验, 汉堡车辙试验能更好地表述现场试件的抗水损坏能力。

2.2 动态模量与各路用性能指标的关系

对铣刨修复路段芯样进行钻取切割, 共成型 54 个动态模量试件, 包括上、中面层, 根据试验要求, 对铣刨修复路面的上、中面层动态模量进行试验分析。根据文献 [25] 中动态模量试验要求, 设定试验温度为 20 °C, 面层沥青混合料加载频率为 10 Hz, 将该条件下路面的动态模量与其他路用性能指标进行相关性分析, 给出适合该路面的动态模量取值范围。

2.2.1 相关性分析

动态模量与贯入强度的拟合关系曲线如图 4 所示, 相关系数 $R^2=0.7768$, 表明动态模量与贯入强度存在一定的线性相关性, 随着贯入强度的增大, 动态模量呈增大趋势。

动态模量与汉堡车辙的拟合关系曲线如图 5 所示, 上面层 AC-13 的 $R^2=0.6865$, 中面层 AC-20 的 $R^2=0.6000$, 表明动态模量与车辙变形量之间存在一定的相关性, 动态模量越大, 车辙变形量越小, 沥青混合料的水稳定性和抗车辙性能越高。上面层 AC-13 动态模量与车辙变形的相关性优于中面层 AC-20。

综上所述, 动态模量与单轴贯入强度和汉堡车辙变形的相关性较好, 且动态模量作为路面结构设计的重要参数, 能反映路面的实际状况, 可以作为评定路面状况的参数。

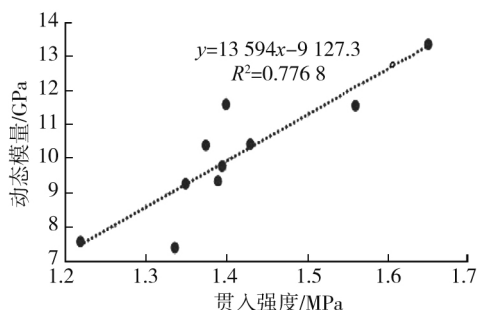
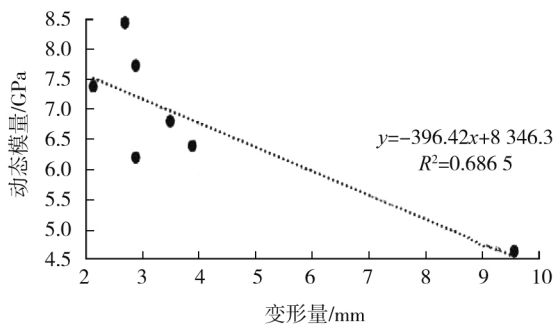
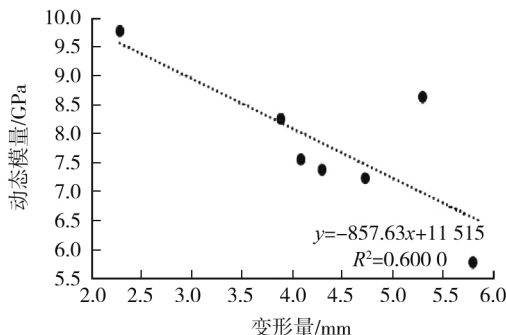


图4 动态模量与贯入强度的拟合关系



a) 上面层 AC-13



b) 中面层 AC-20

图5 动态模量与汉堡车辙的关系

2.2.2 动态模量

20 °C, 10 Hz 条件下铣刨修复路面上、中面层动态模量试验结果如图 6 所示。

文献 [25] 中推荐的动态模量参数取值范围较广, 不足以满足具体的路面使用要求, 动态模量参数应

根据路面实际状况确定。根据图6,推荐取样高速公路铣刨路面上面层 AC-13 动态模量取值范围为 5.5~8.5 GPa,中面层 AC-20 动态模量取值范围为 6.5~11.0 GPa。由于试验数据有限和材料本身性能的影响,应视具体情况取值。

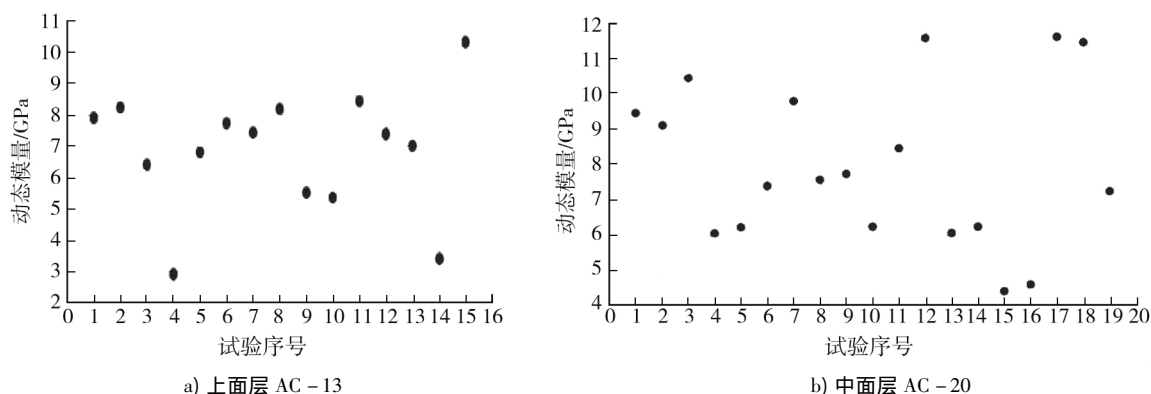


图6 20℃、10 Hz 铣刨路面动态模量

3 结论

1) 单轴贯入试验、汉堡车辙试验和动态模量试验能较准确表述现场芯样路面材料的性能参数,能客观评价路面的技术状况,从而有针对性的处理路面病害,确定最优的养护方案,节约养护成本并有效延长路面使用寿命。

2) 取样地区夏季高温多雨,交通量较大,对沥青路面的抗剪强度、高温抗车辙和抗水损坏能力要求较高。性能试验结果表明旧路的高温性能、抗车辙和抗水损坏能力较铣刨修复路面衰退严重。对于没有出现结构性破坏且仍能满足性能使用要求的旧路面,养护重点应放在恢复路面的表面性能和处理路面轻微病害上,部分不能满足设计使用要求的旧路面,应及时进行路面面层的功能性修复。铣刨修复路面整体性能较好,部分路段抗车辙、抗水损的能力不足,应加强观测,对路面现有病害进行处理,提前进行预防性养护。

3) 基于动态模量试验结果,取样铣刨路面上面层 AC-13 改性沥青混合料动态模量取值范围为 5.5~8.5 GPa,中面层 AC-20 改性沥青混合料动态模量取值范围为 6.5~11.0 GPa。

参考文献:

- [1] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 中华人民共和国交通部. 公路沥青路面养护技术规范: JTG 5421—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [3] 谭巍, 周刚. 沥青混合料高温性能试验的对比研究 [J]. 石油沥青, 2009, 23(4): 4-8.
TAN Wei, ZHOU Gang. A comparative study of thermal stability test methods for asphalt mixtures [J]. Petroleum Asphalt, 2009, 23(4): 4-8.
- [4] 李强, 倪福建. 沥青混合料抗车辙性能试验对比分析 [J]. 东南大学学报(自然科学版), 2014, 44(6): 1266-1270.
LI Qiang, NI Fujian. Comparison of anti-rutting performance tests for asphalt mixtures [J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2014, 44(6): 1266-1270.
- [5] 韦金城, 崔世萍, 胡家波. 沥青混合料动态模量试验研究 [J]. 建筑材料学报, 2008, 11(6): 657-661.
WEI Jincheng, CUI Shiping, HU Jiabo. Research on dynamic modulus of asphalt mixtures [J]. Journal of Building Materials, 2008, 11(6): 657-661.
- [6] 何昌轩, 樊英华, 郑晓光. 沥青混合料动态模量试验研究 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2010, 29(4): 555-558.
HE Changxuan, FAN Yinghua, ZHENG Xiaoguang. Test study on dynamic modulus of asphalt mixture [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences), 2010, 29(4): 555-558.
- [7] 谭巍, 周刚. 沥青混合料高温稳定性的单轴贯入试验研究 [J]. 石油沥青, 2009, 23(2): 14-18.

- TAN Wei ,ZHOU Gang. Applying the uniaxial penetration test method to study thermal stability of asphalt mixtures [J]. Petroleum Asphalt 2009 23(2): 14 - 18.
- [8]刘至飞,丁敏. 长期服役沥青路面面层材料汉堡车辙试验研究[J]. 公路工程 2018 43(3): 225 - 228.
- LIU Zhifei ,DING Min. Research on HWTD of mixture on asphalt pavement after long-term service [J]. Highway Engineering , 2018 43(3): 225 - 228.
- [9]孙立军. 沥青路面结构行为学[M]. 上海: 同济大学出版社 2013.
- [10]毕玉峰,孙立军. 沥青混合料抗剪试验方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版) 2005 33(8): 1036 - 1040.
- BI Yufeng ,SUN Lijun. Research on test method of asphalt mixture's shearing properties [J]. Journal of Tongji University (Natural Science) 2005 33(8): 1036 - 1040.
- [11]许严,孙立军,刘黎平. 基于单轴贯入重复剪切试验的沥青混合料永久变形[J]. 同济大学学报(自然科学版) 2013 41(8): 1203 - 1207.
- XU Yan ,SUN Lijun ,LIU Liping. Research on asphalt mixture permanent deformation by single penetration repeated shear test [J]. Journal of Tongji University(Natural Science) 2013 41(8): 1203 - 1207.
- [12]刘黎平,张晓英. 沥青高温性能指标和混合料贯入强度相关性分析[J]. 交通科学与工程 2018 34(3): 1 - 6.
- LIU Liping ,ZHANG Xiaoying. The correlation between the high temperature indicators of the asphalt and shearing properties of the mixture [J]. Journal of Transport Science and Engineering 2018 34(3): 1 - 6.
- [13]关勇哲,张磊,王慧,等. 沥青混合料高温性能试验指标的对比分析[J]. 黑龙江交通科技 2019(1): 10 - 12.
- GUAN Yongzhe ,ZHANG Lei ,WANG Hui ,et al. Comparison and analysis of test indexes of high temperature performance for asphalt mixture [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang 2019(1): 10 - 12.
- [14]张争奇,罗要飞,张苛. 沥青混合料汉堡车辙试验评价研究综述[J]. 材料导报 2017 31(3): 96 - 105.
- ZHANG Zhengqi ,LUO Yaofei ,ZHANG Ke. Review on hamburg wheel-track device evaluation of asphalt mixture [J]. Materials Review 2017 31(3): 96 - 105.
- [15]曹林涛,李立寒,孙大权,等. 沥青混合料车辙试验评价指标研究[J]. 武汉理工大学学报 2007 29(11): 14 - 17.
- CAO Lintao ,LI Lihan ,SUN Daquan ,et al. Research of evaluation indexes for asphalt mixtures' wheel tracking test [J]. Journal of Wuhan University of Technology ,2007 29(11): 14 - 17.
- [16]栗培龙,张争奇,李洪华,等. 沥青混合料汉堡车辙试验方法[J]. 交通运输工程学报 2010 10(2): 30 - 35.
- LI Peilong ,ZHANG Zhengqi ,LI Honghua ,et al. Methods of hamburg wheel tracking tests for asphalt mixture [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering 2010 10(2): 30 - 35.
- [17]ASSHTO. Standard method of test for hamburg wheel-track testing of compacted hot-mix asphalt(HMA): AASHTOT 324—2014 [S]. Washing ,D. C. ,USA: American Association of State Highway and Transportation Officials 2014.
- [18]中华人民共和国交通部. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTG E20—2011 [S]. 北京: 人民交通出版社 2011.
- [19]WU J W ,COLLOP A C ,MCDOWELL G R . Discrete element modeling of constant strain rate compression tests on idealized asphalt mixture [J]. Journal of Materials in Civil Engineering 2011 1(1): 2 - 11.
- [20]UNDERWOOD S B ,KIM R Y. Viscoelastoplastic continuum damage model for asphalt concrete in tension [J]. Journal of Engineering Mechanics 2011 11(11): 732 - 739.
- [21]张金喜,姜凡,王超,等. 室内外老化沥青混合料动态模量评价[J]. 建筑材料学报 2017 20(6): 937 - 941.
- ZHANG Jinxi ,JIANG Fan ,WAGN Chao ,et al. Dynamic modulus evaluation of indoor and outdoor aging asphalt mixture [J]. Journal of Building Materials 2017 20(6): 937 - 941.
- [22]胡霞光,李德超,田莉. 沥青混合料动态模量研究进展[J]. 中外公路 2007 27(1): 132 - 137.
- [23]徐志荣,常艳婷,陈忠达,等. 沥青混合料动态模量试验标准研究[J]. 交通运输工程学报 2015 15(3): 1 - 8.
- XU Zhirong ,CHANG Yanting ,CHEN Zhongda ,et al. Study on test standard of asphalt mixture dynamic modulus [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering 2015 15(3): 1 - 8.
- [24]苏卫国,赵慧芳. 路面预防性养护效益评估方法[J]. 公路交通科技 2009 26(1): 16 - 20.
- SU Weiguo ,ZHAO Huifang. Pavement preventive maintenance benefits evaluation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development 2009 26(1): 16 - 20.
- [25]中华人民共和国交通部. 公路沥青路面设计规范: JTG D50—2017 [S]. 北京: 人民交通出版社 2017.

Experimental research on asphalt pavement performance of operating expressway based on core samples

ZHANG Dong^{1 3}, GAO Ronggen², SUN Qiang³, ZHANG Xiaomeng³

1. School of Transportation Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250000, China;

2. Anqing Highway Administration, Anqing 246001, China; 3. Shangong Institute of Transportation Science, Jinan 250031, China

Abstract: In order to study the change of asphalt pavement performance of expressway in service, the pavement maintenance should be carried out. Based on the specifications and performance requirements of asphalt pavement, the uniaxial penetration test, Hamburg wheel-track test and dynamic modulus test are carried out according to the samples taken at different locations on more than 10 asphalt pavements (old and milling repair roads) of the operating expressways. The research results show that the shear strength, high temperature rutting and water damage resistance of the old road sections are poor, and some of the old roads cannot meet the design requirements; the overall performance of the pavement in the milling repair section tends to be good, and performance of some milling pavements to resist rutting and water damage is insufficient. However, the uniaxial penetration test, Hamburg wheel-track test and dynamic modulus test can objectively and accurately express the performance parameters of the core sample materials on site, effectively evaluating the performance of asphalt pavement in-service.

Keywords: expressways old pavement; milling repair pavement; field core sample; performance test; pavement maintenance

(责任编辑: 杨秀红)

(上接第32页)

model to predict the railway passenger volume in 2019 and compare with the actual passenger volume. The prediction results of the two methods are compared by means of the mean absolute percentage error (MAPE) and root mean square error (RMSE). The analytical results show that compared with the exponential smoothing method, the use of SARIMA model can make MAPE of the forecasting railway passenger volume reduce by 56.26% and RMSE by 64.61%, and the SARIMA model is more suitable for the short-term prediction of railway passenger volume with higher precision.

Keywords: railway passenger volume; exponential smoothing method; seasonal autoregressive integrated moving average; prediction

(责任编辑: 郭守真)

(上接第40页)

transit stations. What's more, the forward and reverse cloud generators and cloud theory are used to obtain the evaluation cloud and the result cloud, and the evaluation results are displayed visually through the digital characteristics and cloud map of the cloud. The example application shows that the cloud model can evaluate the operation safety risk levels of passenger stations more accurately and provide the theoretical basis for the safety management of the station when the large passenger flow occurs.

Keywords: urban rail transit; large passenger flow; station operation; combination empowerment; cloud model; safety assessment

(责任编辑: 郭守真)