

无车辙路面在道路交叉口的应用

吕健涵,吕奉丽*,刘芝敏,耿磊

济南金日公路工程有限公司,山东 济南 250101

摘要:为解决 G104 京岚线青银高速靳家立交至山东高速交界段 K428+300—K428+550 道路交叉口车辙病害频发的问题,在修复养护施工中采用无车辙路面(no-rutting pavement,NRP)技术,采用无车辙剂和改性苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(styrene butadiene styrene,SBS)沥青,设计路面结构为厚 4 cm 重交通抗车辙改性沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA-13 与厚 6 cm 重交通抗车辙改性沥青混凝土 AC-20(无车辙改性剂在沥青混合料中的质量分数为 1%)改善路面车辙情况。采用室内试验的方法,得到 SMA-13 与 AC-20 的最佳沥青质量分数分别为 5.9%、4.3%。实际铺筑完成运营 0.5 a 后检测路面的弯沉、构造深度及车辙深度。结果显示:通车运营 0.5 a 后,实际弯沉较设计弯沉减小约 36%,路面承载能力得到较大幅度的提高;构造深度均大于 0.5 mm,抗滑性能优异;无车辙路面表面平整,车辙深度小于 4.00 mm,远小于标准车辙深度。

关键词:NRP;无车辙剂;车辙深度;构造深度;沥青路面

中图分类号:U416.27

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2024)03-0056-07

引用格式:吕健涵,吕奉丽,刘芝敏,等.无车辙路面在道路交叉口的应用[J].山东交通学院学报,2024,32(3):56-62.

LÜ Jianhan, LÜ Fengli, LIU Zhimin, et al. Application of no-rutting pavement at road intersections[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2024, 32(3): 56-62.

0 引言

随着我国公路建设事业的快速发展,城市道路呈现高流量、大负荷和渠化交通的特点,路面最主要的问题是车辙损伤,城市路口因车辆经常制动、启动与转弯造成的车辙损伤尤为常见,削弱路面结构的总体承压能力,严重降低道路运输的通畅性和安全性,对驾驶者的行驶体验产生负面影响^[1-3],增大城市道路维修养护成本。

为增强沥青路面的抗车辙性能,降低路面车辙病害发生的概率,马辉等^[4]将玄武岩与抗车辙剂掺入沥青混合料,对其路用性能进行试验检测,结果表明玄武岩纤维与抗车辙剂在沥青混合料中的质量分数分别为 0.3%、0.2%时可有效降低路面车辙病害。樊长昕^[5]认为抗车辙剂主要通过对集料增黏、加筋、嵌挤填充等方式提高沥青路面的抗车辙性能。已有研究多集中在采用级配优化、高黏度改性沥青及掺入聚酯纤维等加筋材料的方式提高沥青路面的承载能力^[6-8],但在重载车辆低速行驶和制动、转弯频繁的交叉口路段,早期病害仍反复产生,修复养护的成本较高^[9-10]。对沥青路面车辙的研究集中在高等级公路抗车辙方面,对城市道路特殊路段抗车辙的研究较少^[11-12]。城市道路特殊路段车辙病害频发,研究改性苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(styrene butadiene styrene,SBS)沥青混合料抗车辙性能,以及无车辙路面(no-rutting pavement,NRP)抗车辙性能具有重要的现实意义^[13-14]。NRP 是在不改变现有流程施工

收稿日期:2024-03-19

第一作者简介:吕健涵(1992—),男,辽宁黑山人,工程师,工学硕士,主要研究方向为道路工程,E-mail:zhouqingtianda@163.com。

***通信作者简介:**吕奉丽(1990—),女,济南人,工程师,工学硕士,主要研究方向为道路工程,E-mail:1165302474@qq.com。

情况下,仅增加无车辙改性剂投放过程达到改善沥青路面刚柔复合的效果^[15-18]。

本文采用室内试验与现场铺筑 NRP 材料 2 种方式,对 G104 京岚线青银高速靳家立交至山东高速交界段(K421+209—K428+909)路面实施修复养护,确定沥青混合料的最佳油石比,监测通车后的弯沉、构造深度及车辙深度等路用性能,研究 NRP 无车辙材料的抗车辙性能,以期为城市道路交叉口采用 NRP 材料抗车辙病害提供研究成果与应用技术支持。

1 工程简介

G104 京岚线青银高速靳家立交至山东高速交界段(K421+209—K428+909)位于山东省济南市天桥区,路段长 7.7 km,一级公路,设计速度为 80 km/h,路基宽 32.0 m,路面宽 29.5 m,沥青混凝土路面布局示意图如图 1 所示。

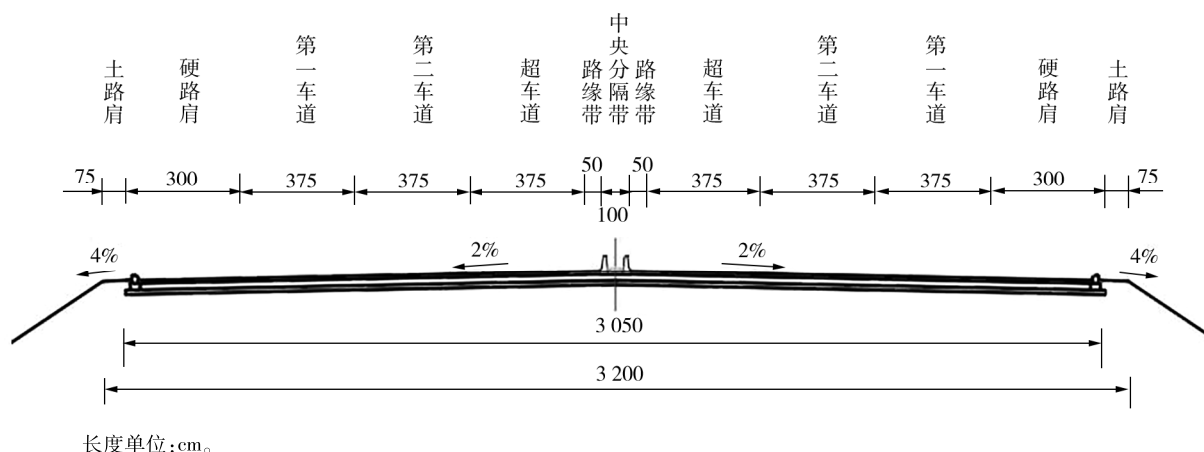


图1 沥青混凝土路面布局示意图

根据公路交通站的交通量数据分析,本项目路段特大货、集装箱等重载交通较多,交通量等级为重交通。根据路面校测结果,路面破损率为 2.65%,路面损坏状况指数为 77.6<85.0,此路段需进行修复养护^[19]。随着当地经济的发展,特别是在济南新旧动能转换起步区的基础设施建设项目中,周边工业厂区增多,交通量持续上升,沥青路面陆续出现各种形式的损坏,尤其是道路交叉口 K428+300—K428+550 车辙病害严重。为确保此路段正常运行,同时保证行车舒适性和交通安全性,结合道路实际情况,对该路段进行 NRP 施工。

2 NRP 设计

2.1 路面结构设计

在 K428+300—K428+550 路段车辙病害严重的交叉口,采用厚 4 cm 重交通抗车辙改性沥青玛蹄脂碎石(stone matrix asphalt, SMA)混合料 SMA-13 与厚 6 cm 重交通抗车辙改性沥青混凝土 AC-20(经试验证明,NRP 无车辙改性剂在沥青混合料的质量分数为 1%时路用性能较好)结构改善路面车辙情况,路面结构如图 2 所示。

2.2 原材料

原材料包括 NRP 无车辙改性剂、玄武岩碎石、机制砂、矿粉、木质素纤维、沥青混合料掺配高性能界面增强剂制备改性 SBS 沥青。

采用 NRP 无车辙改性剂作为改性剂,依据文献[20]检测熔融指数、密度及灰分性能指标,检测结果如表 1 所示。依据文献[21]检测改性 SBS 性能指标,结果如表 2 所示。

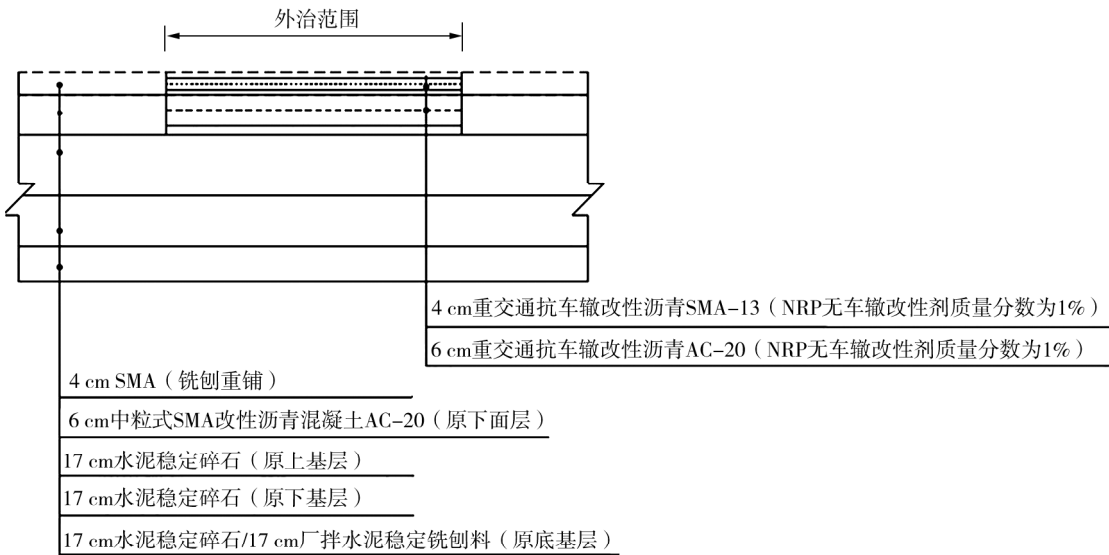


图 2 路面结构设计示意图

表 1 NRP 无车辙改性剂性能指标检测结果

项目	熔融指数(190 ℃,2.16 kg)/[g·(10 min) ⁻¹]	密度/(g·cm ⁻³)	灰分的质量分数/%
实测结果	1.86	0.96	1.21
技术要求 ^[20]	≥1.00	0.90~1.00	≤5.00

表 2 改性 SBS 沥青性能指标检测结果

项目	软化点/℃	延度(5℃,50 mm/min)/cm	针入度(25℃,100 g,5 s)/(0.1 mm)	闪点/℃	软化点差(贮存稳定性离析,48 h)/℃	弹性恢复(25℃)/%
检测结果	74	35	54	316	1.5	88
技术要求 ^[21]	≥60	≥20	40~60	≥230	≤2.5	≥75

由表 1 可知,NRP 无车辙改性剂的检测指标均符合文献[20]的质量要求。由表 2 可知,改性 SBS 沥青的检测性能指标均满足文献[21]的要求。

2.3 沥青混合料级配设计

沥青上面层采用 4 种集料,粒径为 10~15 mm 的玄武岩碎石、粒径为 5~10 mm 的玄武岩碎石、粒径为 0~3 mm 的机制砂、矿粉的质量比为 39 : 35 : 16 : 10。沥青下面层采用粒径为 10~20 mm 的石灰岩碎石、粒径为 5~10 mm 的石灰岩碎石、粒径为 0~5 mm 机制砂、矿粉,其质量比为 38 : 31 : 29 : 2。

SMA-13 和 AC-20 各集料合成级配如图 3 所示。

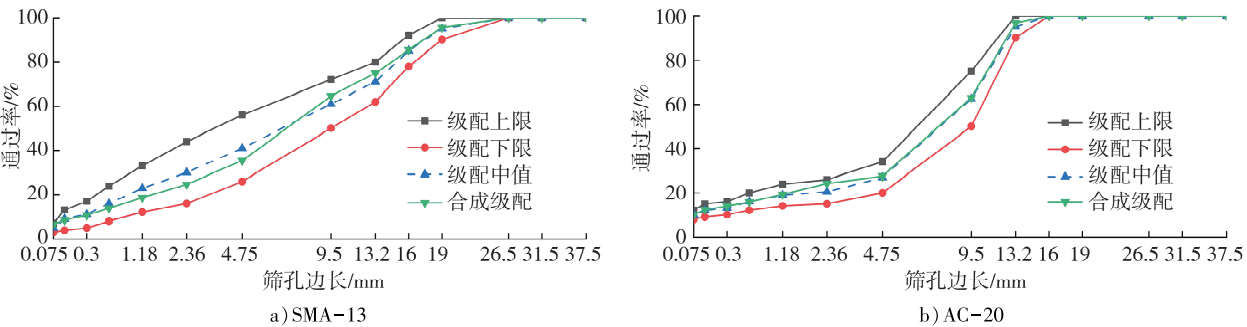


图 3 沥青混合料集料合成级配曲线

2.4 最佳沥青质量分数

2.4.1 SMA-13

根据施工经验,制备5组沥青质量分数 w_1 分别为5.0%、5.3%、5.6%、5.9%、6.2%的SMA-13标准试件,其中木质素纤维在改性沥青混合料中的质量分数为0.3%,分别测定试件的性能指标,结果如表3所示。根据表3数据绘制最佳沥青质量分数与各指标的关系曲线。按照施工经验,期望空隙率为4.0%时路面力学性能较好,综合考虑选择最佳沥青用量为5.9%。为验证结果准确性,制作沥青质量分数为5.9%的SMA-13试件,并对其进行马歇尔稳定度及车辙试验,测得结果为:稳定度为16.81 kN,流值为3.68 mm,残留稳定度为92.6%,动稳定度(70℃,0.7 MPa)≥10 000次/mm,试验结果均符合标准及设计要求,因此确定最佳沥青质量分数为5.9%。

表3 不同沥青质量分数下 SMA-13 试件的指标测定结果

$w_1/\%$	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值(60℃)/mm	毛体积相对密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
5.0	6.4	17.4	65.0	13.92	3.21	2.429
5.3	5.6	16.8	71.1	14.47	3.41	2.438
5.6	4.7	16.6	74.4	15.74	3.50	2.447
5.9	4.0	17.0	77.1	16.82	3.70	2.458
6.2	2.9	17.2	80.2	13.64	4.01	2.451

2.4.2 AC-20

根据施工经验制备5组沥青质量分数 w_2 分别为3.3%、3.8%、4.3%、4.8%、5.3%的AC-20标准试件,分别测定性能指标,结果如表4所示。根据表4数据绘制最佳沥青质量分数关系曲线,并根据沥青质量分数与各指标关系确定最佳沥青质量分数,如图4所示,计算确定最佳沥青质量分数为4.3%。为验证结果准确性,制作沥青质量分数为4.3%的AC-20试件并对其进行马歇尔稳定度及车辙试验,测得结果为:稳定度为18.45 kN,流值为2.48 mm,残留稳定度为91.3%,动稳定度(70℃,0.7 MPa)≥10 000次/mm。沥青质量分数为4.3%的试验结果符合规范及设计要求,因此确定最佳沥青质量分数为4.3%。

表4 不同油石比下 AC-20 试件的指标测定结果

$w_2/\%$	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值(60℃)/mm	毛体积相对密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
3.3	6.8	13.4	56.5	14.10	1.81	2.402
3.8	5.6	13.3	64.1	16.61	2.13	2.413
4.3	4.2	13.2	68.6	18.43	2.57	2.423
4.8	3.3	13.4	72.5	18.50	3.24	2.421
5.3	2.9	13.8	76.9	15.34	3.86	2.414

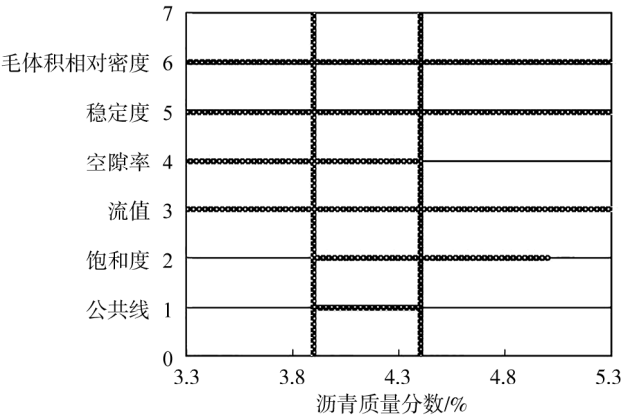


图4 根据沥青质量分数与各指标关系确定最佳沥青质量分数

3 道路性能测试与评价

2023-07-09, K428+300—K428+550 无车辙路面段铺筑完成。修筑完成至今,路面的外观表面纹理质量良好,未发生车辙等早期病害,为评价 NRP 的使用性能,检测路面的弯沉、构造深度及车辙深度指标。

3.1 NRP 弯沉

采用型号为 SHN-FED-MV 落锤式弯沉检测系统对 NRP 进行工程实体弯沉检测,每车道每 20 m 测 1 点,检测结果如表 5 所示。

表 5 NRP 实测弯沉结果

桩号	实测弯沉/(0.01 mm)		桩号	实测弯沉/(0.01 mm)	
	左幅	右幅		左幅	右幅
K428+340	10.74	11.34	K428+480	10.36	10.75
K428+360	10.00	12.72	K428+500	11.87	10.38
K428+380	12.44	9.39	K428+520	11.01	9.34
K428+400	10.64	10.97	平均弯沉/(0.01 mm)	10.75	10.76
K428+420	10.90	10.52	标准差	0.94	1.04
K428+440	9.00	11.84	代表弯沉/(0.01 mm)	11.95	12.09
K428+460	10.55	10.34	设计弯沉/(0.01 mm)	16.80	16.80

由表 5 可知:NRP 实测弯沉均满足设计强度要求,且平均弯沉比设计弯沉减小约 36%。NRP 由干法 SBS 与含有单个环氧基团的有机高分子化合物通过多种类型的环保固化剂在高温条件下形成,兼具 SBS 改性沥青混凝土的抵抗雨水侵蚀、低温开裂及飞散损坏能力,抗荷载破坏能力明显提高^[22-23]。同时, NRP 弯沉的标准差较小,实测弯沉均接近平均弯沉,实测数据稳定,路面承载能力得到大幅提高。

3.2 NRP 构造深度

采用铺砂法对 NRP 进行路表构造深度检测,检测结果如表 6 所示。

表 6 NRP 构造深度检测结果

检测路段	左幅实测平均构造深度/mm			右幅实测平均构造深度/mm			标准要求构造深度 ^[23] /mm
	第一行车道	第二行车道	超车道	第一行车道	第二行车道	超车道	
K428+309—K428+409	0.87	0.80	0.88	0.82	0.71	0.71	≥0.50
K428+409—K428+509	0.77	0.78	0.72	0.74	0.75	0.72	

由表 6 可知:左幅检测路段与右幅检测路段的构造深度为 0.70~0.90 mm,均满足大于 0.50 mm 的要求,抗滑性能优异。普通沥青混合料因沥青与集料间的相容性较差,在高频重载、雨水冲刷、高温作用下,沥青极易与集料剥离,出现早期病害。NRP 是在干法 SBS 基础上,通过添加单组分环氧与增黏树脂,在固化剂的高温激发下形成不溶、不熔三维网络结构,将沥青与集料牢牢包裹,沥青不会因重荷载、高温、雨水变形、软化,不易与集料剥离,沥青与集料间的黏附性增强,道路抗滑性能提高,路面凹凸不平的现象减少^[24-28]。

3.3 NRP 车辙深度

通车 0.5 a,采用路面横断面尺法测量路面车辙深度,评价 NRP 的抗车辙效果,检测结果如表 7 所示。

表7 NRP 车辙深度检测结果

检测路段	左幅实测平均车辙深度/mm			右幅实测平均车辙深度/mm			标准车辙深度/mm	普通沥青路面实测平均车辙深度/mm
	第一行车道	第二行车道	超车道	第一行车道	第二行车道	超车道		
K428+309—K428+409	2.62	3.86	2.97	3.14	3.88	3.01	≤10.00	9.23
K428+409—K428+509	2.90	2.87	3.90	3.21	3.39	2.87		

由表7可知:经过0.5 a通车运营,车辙深度均小于4.00 mm,远低于标准车辙深度10.00 mm,比同期交叉口普通沥青路面实测平均车辙深度9.23 mm明显减小。未养护时,普通沥青混凝土路面部分重载交叉口路段的车辙深度深达20.00 mm,严重危害道路行驶安全。在高温条件下普通沥青混凝土路面沥青软化,加上重载车辆的往返碾压,交叉口极易出现车辙病害。NRP无车辙改性剂的不熔三向网络结构可保证在高温条件下沥青不会软化变形,实现沥青路面刚柔复合的改性效果,道路在外部荷载多次碾压时,沥青不会出现软化现象,增强了路面整体抵抗变形的能力。NRP技术具有优异的抗车辙性能,运行情况良好。

4 结论

1)采用NRP无车辙剂作为改性剂,沥青混合料掺配高性能界面增强剂制备改性SBS沥青,设计采用厚4 cm重交通抗车辙改性沥青玛蹄脂碎石混合料SMA-13与厚6 cm重交通抗车辙改性沥青混凝土AC-20路面结构改善路面车辙情况,通过室内试验,确定无车辙路面SMA-13与AC-20的最佳沥青质量分数分别为5.9%和4.3%。

2)通过弯沉、构造深度、车辙深度测试,结果表明NRP性能优良,施工技术与其他普通沥青混凝土路面无较大差异,仅增加改性剂投放环节,不改变现有施工流程,施工完成后可快速开放交通,应用优势较大。

3)通过工程实际应用,采用厚4 cm重交通抗车辙改性沥青玛蹄脂碎石混合料SMA-13与厚6 cm重交通抗车辙改性沥青混凝土AC-20(沥青混合料中NRP无车辙改性剂的质量分数为1%)改善道路交叉口K428+300—K428+550车辙情况,在该路段投入运营0.5 a后进行检测,结果表明路面平整密实,弯沉、构造深度及车辙深度均符合要求,无车辙病害发生。

参考文献:

- [1] 何梅.城市道路交叉口沥青路面车辙原因及防治对策[J].建材发展导向(下),2018,16(1):154.
- [2] 佟春阳.公路养护工程中沥青路面修复技术的应用研究[J].交通世界,2023(21):100-102.
- [3] 谢斌.沥青路面交叉口新型车辙处治材料的综合应用研究[J].价值工程,2023,42(35):91-93.
- [4] 马辉,刘斌.纤维与抗车辙剂复合改性沥青混合料性能研究[J].交通世界,2020(12):19-22.
- [5] 樊长昕.浅谈抗车辙剂作用机理研究进展[J].山西交通科技,2020(5):35-37.
- [6] 李斌,毛国富.城市交叉口路面结构的力学响应及车辙防治[J].交通科技,2021(3):58-62.
- [7] ZHAO Y, REN J, ZHANG K, et al. Construction quality control for rutting resistance of asphalt pavement using BIM technology[J]. Buildings, 2024, 14(1):14010239.
- [8] SIMPSON A L. Characterization of transverse profile[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 1999, 1655(1):185-191.
- [9] 孟本文,于远建,张建男,等.SBS改性沥青混合料在道路施工中的稳定性研究[J].合成材料老化与应用,2022,51(1):132-134.
- [10] 吕奉丽,吕健涵,蔡志远.全厚式半柔性路面设计与施工检测[J].山东交通科技,2023(2):89-92.
- [11] 孙思林,丛林.基于黏弹模型的交叉口路面力学响应分析[J].交通科技,2021(2):66-70.

- [12] 刘彦召. 环氧沥青和 SBS 改性沥青混合料的路用性能研究[J]. 粘接, 2024, 51(3): 93-95.
- [13] 余后海, 吉晓东, 邓成, 等. 半柔性抗车辙路面在昆山道路交叉口的应用[J]. 江苏建筑, 2023(6): 98-100.
- [14] 孙国伟. 抗车辙剂与 SBS 改性剂对沥青混合料路用性能试验研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2014.
- [15] 刘化学, 陈炎. 干线公路交叉路口路面车辙易发区试验和数值方法研究[J]. 中外公路, 2017, 37(5): 308-312.
- [16] 杨捷, 孙建武. 高抗车辙沥青路面技术在高速公路互通匝道路面维修中的应用[J]. 公路与汽运, 2023(1): 95-100.
- [17] 梅亮, 余晖, 吉增晖, 等. 干线公路沥青路面平交道口抗车辙剂应用性能试验研究[J]. 石油沥青, 2021, 35(6): 57-62.
- [18] 王晨. 基于重载交通下沥青混合料抗车辙性能研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2021.
- [19] 邓兴伟. 沥青路面车辙病害形成机理及防控因素分析[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(8): 44-46.
- [20] 中华人民共和国交通部, 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [21] 中华人民共和国交通部, 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面设计规范: JTG D50—2017[S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [22] 赵碧全, 冉武平, 王亚强. 基层间接接触状态对沥青路面车辙影响的室内试验分析[J]. 公路工程, 2023, 48(4): 64-69.
- [23] 孙伟, 周橙琪, 刘洋, 等. 无车辙路用环氧沥青混合料组合结构性能研究[J]. 交通科技, 2023(4): 132-135.
- [24] 王飞龙. 高速公路抗车辙剂与沥青混合料的应用性能检测[J]. 交通世界, 2023(30): 16-18.
- [25] 全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会公路工程材料及仪器设备专业标准化工作组. 沥青混合料改性添加剂第 1 部分: 抗车辙剂: JT/T 860.1—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [26] 李欢. 多种聚合物改性沥青的不同抗车辙性能指标对比研究[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(7): 4-7.
- [27] 季瑞武. 灌入式复合沥青路面在交叉口车辙防治中的应用[J]. 山西建筑, 2023, 49(9): 166-168.
- [28] 李晓鹏, 郭彦强, 韩浩强, 等. 抗车辙剂在路面养护大中修工程中的应用研究[J]. 湖南交通科技, 2018, 44(2): 123-125.

Application of no-rutting pavement at road intersections

LÜ Jianhan, LÜ Fengli^{*}, LIU Zhimin, GENG Lei

Jinan Kingyue Highway Engineering Co., Ltd., Jinan 250101, China

Abstract: To address the problem of frequent rutting damage at the intersection of the Qingdao-Yinchuan Expressway at the Jinjia Interchange to the Shandong Expressway junction from station K428+300 to K428+550 on G104, a no-rutting pavement (NRP) technology is used in the repair and maintenance construction, utilizing no-rutting agents and modified styrene-butadiene-styrene (SBS) block copolymers. The designed pavement structure consists of a 4 cm heavy traffic anti-rutting modified asphalt Ma Gaiti crushed stone mixture SMA-13, and a 6 cm heavy traffic anti-rutting modified asphalt concrete AC-20 (with NRP accounting for 1% of the mass fraction in the asphalt mixture) to improve the rutting situation. Through indoor testing, the optimum asphalt content are determined to be 5.9% for SMA-13 and 4.3% for AC-20. After actual construction and half a year of operation, the pavement's rutting depth, construction depth, and rutting depth are inspected. Results show that after 0.5 a of operation, the actual rutting depth decreases by approximately 36% compared to the design rutting depth, indicating a significant improvement in the road's bearing capacity. The construction depth exceeds 0.5 mm, showing excellent skid resistance performance. The no-rutting pavement surface is smooth, and the rutting depth is less than 4.00 mm, significantly lower than the standard rutting depth.

Keywords: NRP; no-rutting agent; rut depth; structural depth; asphalt pavement

(责任编辑: 王惠)