

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.03.015

引用格式: 耿任山, 高俊启. 沥青路面罩面车辙最佳预养护时机研究[J]. 公路与汽运, 2024, 40(3): 72-75+80.

Citation: GENG Renshan, GAO Junqi. Research on optimal preventive maintenance time of asphalt overlay rutting[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(3): 72-75+80.

沥青路面罩面车辙最佳预养护时机研究

耿任山¹, 高俊启²

(1. 济宁市公路事业发展中心, 山东 济宁 272008; 2. 南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 211106)

摘要: 沥青路面在车辙深度指数低于评价标准时产生修复要求, 但最佳养护时机难以确定。为研究沥青路面罩面车辙的最佳预养护时机, 延长道路使用寿命, 文中提取 5 条高速公路 2003—2017 年车辙检测数据, 同时对路面芯样进行多序列局部动态蠕变试验, 分析改性沥青层厚度对车辙的影响, 并采用统计方法分析累计当量轴次对车辙增量的影响, 建立沥青路面罩面车辙养护模型。结果表明, 中轻交通路面、重交通路面、特重交通路面的预养护时机分别为通车后 9~10 年、通车后 8 年、通车后 6 年; 改性沥青层厚度在面层结构中所占比例越大, 路面的抗车辙性能越好; 可根据养护当年累计当量轴载作用次数、罩面厚度、理想车辙增长率确定车辙预养护最佳时机。

关键词: 公路; 沥青路面; 车辙; 预防性养护; 养护模型

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)03-0072-04

中国高速公路已逐步从“建养并重”进入“以养为主”的时代, 养护维修成为公路管理的重中之重^[1-2]。沥青路面预防性养护是指为防止病害发生或轻微病害扩展、减缓路面使用性能衰减、提升服务功能而预先主动采取的路面养护措施^[3], 能极大地延长道路使用寿命。一般采用路况触发法、时间触发法或两者结合的方法确定路面预养护时机。由于不同路面品质、服役条件、技术状况衰变规律等方面的差异, 预养护时机确定应有更多的数据支持, 避免盲目决策。张治强根据高速公路沥青路面破损指数的衰减规律进行了预防性养护时机决策^[4]。董元帅等对高等级公路沥青路面养护进行寿命周期内效果计算、费用分析、能耗与环境影响分析, 改进了预防性养护时机判定方法^[5]。龙小勇等通过确定道面破损指数和平整度之间的关系, 结合道面破损指数衰变模型得到了军用机场水泥道面预养护最佳时机^[6]。林俊涛等根据功能性预养护材料老化规律, 提出了预养护材料封层的预养护时机^[7]。谭文英等通过对公路沥青路面预防性养护措施使用情况的调研, 总结了公路沥青路面预防性养护措施的决策方法^[8]。赵帅等基于北京市高速公路路面性能检测数据, 构建不同养护措施下沥青混凝土路面衰变方程, 用于分析路面使用性能衰变规律和预测路面使用性能指数^[9]。目前对公路车辙病害预养护的研究较

少。车辙指标在低于路况标准时产生修复要求, 但最佳修复养护时机难以确定。本文依托高速公路路面检测数据及养护数据, 对车辙变化规律及养护后车辙发展规律进行分析, 在此基础上探究车辙病害预养护最佳时机, 构建加铺改性沥青路面的车辙养护最佳时机模型。

1 高速公路车辙发展规律

根据路面在设计使用年限内所承担的交通荷载, 将沥青路面交通等级划分为轻交通、中交通、重交通、特重交通和极重交通五级。根据 2015 年山东省多条高速公路大客车及中型以上各种货车交通量统计结果, 对高速公路交通等级及路面结构进行汇总, 筛选出表 1 所示 5 条典型高速公路。提取连徐(连云港—徐州)高速公路、江苏沿江高速公路、广靖(广陵—靖江)高速公路锡澄(无锡—江阴)段、镇溧(镇江—溧阳)高速公路、徐济(徐州—济南)高速公路 6 个路段 2003—2017 年的车辙检测数据(见图 1)对车辙发展规律进行分析。

从图 1 可以看出: 1) 6 个高速公路路段的车辙深度基本在 10 mm 以下, 参考路面车辙评价标准(见表 2), 路面车辙深度指数大多大于 90, 车辙病害较轻, 评价等级为优。由于检测系统误差导致车辙数据跳跃和波动较大, 但并不妨碍对各路段车辙

表 1 典型高速公路的基本信息

高速公路名称	起止桩号	交通等级	路面结构	通车年份	是否大修及 实施年份	
徐济	K0+000—K79+446	轻交通	SMA13+SUP20+SUP25	2010	否	
镇溧	K83+312—K99+99	中交通	SMA13+SUP20+SUP25	2007	否	
连徐	路段 1	K71+666—K87+663	重交通	AC13+AC20+AC25	2001	否
	路段 2	K108+451—K210+511	重交通	AC13+AC20+AC25	2003	否
江苏沿江	K16+569—K84+824	特重交通	SMA13+AC20+AC25	2004	否	
广靖锡澄	K1039+316—K1055+840	特重交通	SMA13+SUP20+SUP20	1999	2009	

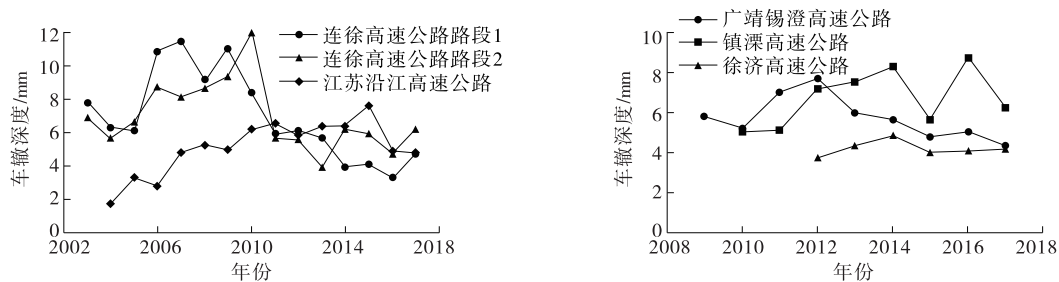


图 1 6 个高速公路路段平均车辙深度随通车时间的变化

现状及增长趋势的整体判断。2) 江苏沿江高速公路、徐济高速公路的车辙增长较符合室内蠕变试验的永久变形规律,即车辙深度随路龄基本呈递增趋势,这 2 条高速公路近年的平均车辙深度和车辙增量较小,病害程度较轻。3) 连徐高速公路的历史车辙状况最差,从通车起至 2010 年车辙增长迅速,甚至某些年份的平均车辙深度超过 10 mm。2010—2013 年对部分路段进行铣刨重铺和就地热再生后,平均车辙深度减小,罩面约 3 年后车辙深度又逐年增加,但在 6 mm 以内,车辙状况不严重。4) 2009 年大修后广靖锡澄高速公路的车辙深度均未超过 8 mm,2014—2018 年的车辙深度均小于 6 mm,车辙病害较轻。5) 镇溧高速公路通车前 5 年的车辙深度增长迅速,2016—2018 年的增速放缓,平均车辙深度维持在 6~8 mm。

表 2 沥青路面车辙评价标准

评价等级	车辙深度指数	车辙深度/mm
优	≥90	≤10
良	[80 90)	(10 20]
中	[70 80)	(20 30]
次	[60 70)	(30 40]
差	<60	>40

2 改性沥青层厚度及路面结构对车辙的影响

为衡量沥青混凝土的高温抗变形能力,对路面钻取芯样进行多序列局部动态蠕变试验,通过改变应力幅值、脉冲时长等参数,尽量使室内试验的加载范围与实际路面的轴载范围对应。同时在整体面层结构试件的外表面涂刷隔热涂料、包裹石棉,保证试件顶部与外界热交换,试件四周和底部与外界环境隔热。试验共包含 24 个加载序列,加载应力幅值为 0.7~1.4 MPa。任意荷载下重复循环加载的脉冲时长为 0.1 s、0.2 s、0.4 s,每种脉冲时长的作用次数为 50 次。每级应力各加载 150 次,8 级加载共加载 1 200 次。试验采用直径为 50 mm 的圆形压头。根据试验结果按下式计算复合平均应变率:

$$\bar{\epsilon}_p = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N} \bar{\epsilon}_{pi} \right) \tag{1}$$

$$\bar{\epsilon}_{pi} = \frac{\Delta \epsilon_i}{N_i} \tag{2}$$

式中: $\bar{\epsilon}_p$ 为复合平均应变率; N_i 为第 i 个加载序列的重复加载次数; N 为 n 个加载循环的总加载次数; $\bar{\epsilon}_{pi}$ 为第 i 个加载循环的平均应变率; $\Delta \epsilon_i$ 为第 i 个加载循环的累积永久应变。

将同一路段不同取芯位置(路肩处、车辙深度<

8 mm 处、车辙深度 >10 mm 处)的性能数据进行平均,得到各路段整体芯样的平均复合平均应变率。改性沥青层厚度与复合平均应变率及车辙年增量之间的关系见图 2。由图 2 可知:整体芯样的复合平

均应变率、车辙年增量与改性沥青层厚度呈负相关,整体芯样的改性沥青层厚度在面层结构中所占比例越大,芯样的抗车辙性能越好,说明改性沥青能显著提高道路的抗车辙能力。

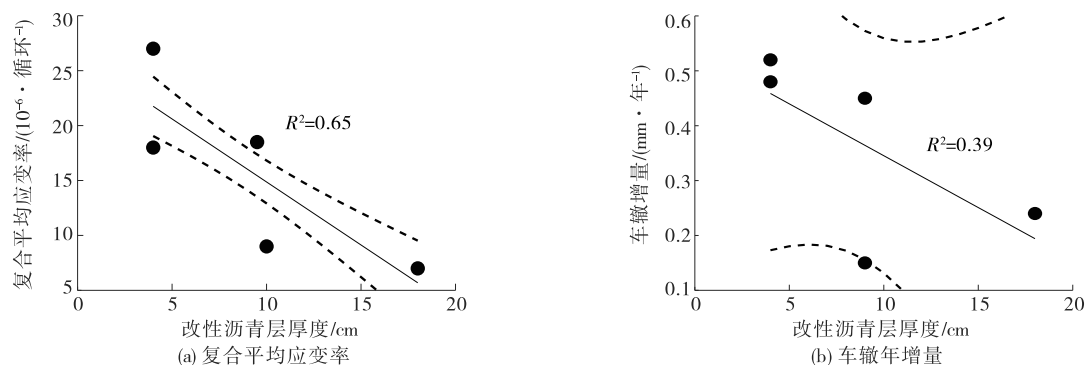


图 2 改性沥青层厚度与复合平均应变率及车辙年增量的关系

不同路面结构下车辙年均增长率见表 3。从表 3 可以看出:虽然江苏沿江高速公路和广靖锡澄高速公路的交通等级为特重交通,但其最大车辙及车辙年均增长率均小于交通等级为重交通的连徐高速公路;连徐高速公路路段 1、路段 2 的车辙最大差

值出现时服役时间分别为 4 年、7 年,平均为 5.5 年;江苏沿江高速公路车辙最大差值出现时服役时间为 12 年;广靖锡澄高速公路在 2009 年进行大修时已服役 10 年。路面结构 AC13+AC20+AC25 的抗车辙性能弱于路面结构 SMA13+AC20+AC25 和

表 3 不同路面结构下车辙的变化

高速公路 名称	交通 等级	路面结构	车辙深度/mm			最大差值出现时 服役时间/年	车辙年均增长率/ ($\text{mm} \cdot \text{年}^{-1}$)
			初始值	最大值	差值		
徐济	轻	SMA13+SUP20+SUP25	3.9	5.0	1.1	2	0.55
镇溧	中	SMA13+SUP20+SUP25	5.0	8.5	3.5	6	0.58
连徐	路段 1 重	AC13+AC20+AC25	8.0	11.8	3.8	4	0.95
	路段 2 重	AC13+AC20+AC25	7.0	12.0	5.0	7	0.71
江苏沿江	特重	SMA13+AC20+AC25	1.8	7.8	6.0	12	0.50
广靖锡澄	特重	SMA13+SUP20+SUP20	6.0	7.9	1.9	3	0.63

SMA13+SUP20+SUP20。

3 交通荷载对车辙的影响

对表 1 和图 1 进行综合分析,得到不同交通等级下车辙变化规律:中轻交通下,路面车辙发展较缓慢,通车后 1~6 年车辙小幅度增长,增长范围为 4~8 mm;通车后 6~10 年车辙处于稳定增长阶段,变化较小;通车 10 年后车辙再次大幅度增长。中轻交通等级路面的预养护时机为通车后 9~10 年。重交通下,通车后 1~4 年车辙小幅度增长,属于初期压实阶段;通车后 4~8 年车辙处于稳定增长阶段,变化较小;通车 8 年后车辙又呈现较快发展趋势。重

交通等级路面的预养护时机为通车后 8 年。特重交通下,通车后 1~3 年车辙迅速增长,车辙深度均值达 5~8 mm;通车后 3~6 年车辙增幅变缓甚至出现负增长;通车 6 年后车辙又快速增长。特重交通等级路面的预养护时机为通车后 6 年。

在 6 个高速公路路段所处气候环境基本相似条件下,车辙随时间的变化本质上是车辙随累计交通轴次的变化。考虑到每个路段的年累计当量轴次差距较大,计算车辙随年当量累计轴载作用次数的增量。根据取芯路段 2013—2017 年的平均车辙深度计算每年的车辙年增量,取平均值,得到图 3 所示年平均车辙增量。

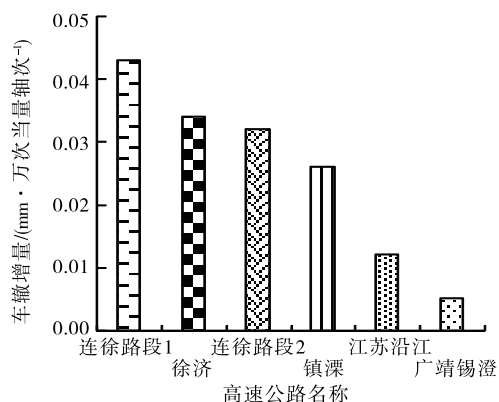


图3 车辙增量随当量轴次的变化

由图3可知:每万次当量轴次作用下,连徐高速公路路段1和徐济高速公路的车辙增量最大,广靖

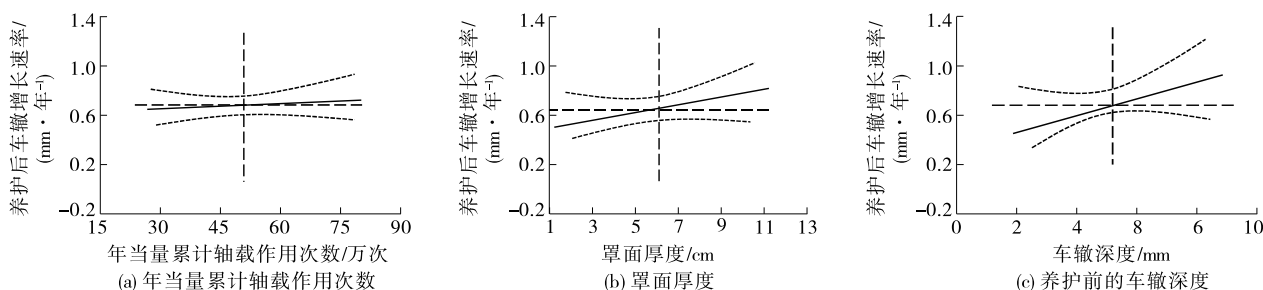


图4 不同因素对养护后车辙增长速率的影响

由图4可知:养护当年的年当量累计轴载作用次数、罩面厚度、养护前车辙深度对养护后车辙增长速率有较大影响,养护当年的年累计当量轴载作用次数越大、罩面厚度越大、养护前车辙深度越大,养护后车辙增长速率越高。厚罩面虽然能更彻底地修复路面病害,但在某种程度上会加快养护后车辙深度的增长。

利用F检验,构建检验统计量F比,对年累计当量轴载作用次数、罩面厚度、养护前车辙深度与养护后车辙深度增长速率的关系进行检验,分析3个因素对养护后车辙深度增长速率的影响,检验结果见表4。根据F分布特性,由表4可知:相对于年累计当量轴载作用次数和罩面厚度,养护前车辙深度与养护后车辙深度增长速率的显著性更高。应在养护前车辙水平较低的情况下进行养护,以尽可能降低养护后车辙深度的增长速率。

养护前车辙深度 $D_{\text{Pre-RD}}$ 计算公式如下:

$$D_{\text{Pre-RD}} = 16.786 \cdot 1 + \frac{V_{\text{rut}}^{-0.204} - 1}{-0.013 \cdot 1} - 0.030 \cdot 6 \times N_{\text{ESAL}} - 0.513 \cdot 9 \times h_c \quad (3)$$

式中: V_{rut} 为养护后车辙增长速率; N_{ESAL} 为养护当年

锡澄高速公路的最小。结合表3,6个高速公路路段中,徐济高速公路的车辙增长对交通轴次最敏感,虽然其交通荷载最轻,但车辙增速较快。

4 车辙养护模型

综上,路面结构中改性沥青层厚度、年当量累计轴载作用次数对改性沥青加铺层的车辙发展有较大影响。对多个养护项目养护后的路面性能数据进行统计,用线性模型拟合性能发展规律,保留拟合度较高的养护项目,将各项性能变化速率定义为线性模型斜率的绝对值,分析养护当年的年当量累计轴载作用次数、罩面厚度、养护前路面性能状况对养护后车辙增长速率的影响,结果见图4。

表4 F检验结果

指标	参数数目	自由度	平方和	F比
年累计当量轴载作用次数	1	1	0.050 3	0.337 9
罩面厚度	1	1	0.127 3	0.855 5
养护前车辙深度	1	1	0.257 6	1.731 0

年累计当量轴载作用次数; h_c 为罩面厚度。

在养护当年年累计当量轴载作用次数、罩面厚度、理想车辙增长率确定的情况下,可按式(3)求出养护前车辙深度,此时即为预养护最佳时机。

根据表3和图3,参考广靖锡澄高速公路采用的普通罩面(4~5 cm)经验,镇溧高速公路(中交通)罩面4 cm,车辙年均增长率为0.58 mm/年时,预养护最佳时机为通车后9.1年;广靖锡澄高速公路(特重交通)罩面4 cm,车辙年均增长率为0.63 mm/年时,预养护最佳时机为通车后5.5年。与前述根据实践总结的车辙养护时机较一致,说明上述车辙养护模型合理,可用于车辙预养护时机预测。

5 结论

- (1) 可采用基于养护前车辙检测结果的加铺改

(下转第80页)