

基于芯样数据挖掘的沥青路面高温性能发展趋势评价

纪晨¹, 凌高祥¹, 赵子力², 沈浩¹, 经叶松¹

(1. 南京交通建设管理集团有限公司, 江苏 南京 211505; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 211189)

摘要: 采用局部多序列动态蠕变试验方法, 对高速公路路面连续5 a的现场芯样进行试验, 研究其高温性能的发展趋势。结果表明: 路面芯样不同层位的高温性能变异系数均超过20%; 整体结构和上面层的高温性能均随着服役时间的增长而衰减显著, 在设计年限15 a内衰减率低于20%, 而超过设计年限后衰减率增至50%以上; 不同层位与整体结构的高温性能相比, 上面层更弱, 中面层最为接近, 而下面层更优。

关键词: 高温性能; 路面芯样; 局部多序列动态蠕变试验; 发展趋势

中图分类号: U416.0

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)01-0221-04

Evaluation on Development Trend of Asphalt Pavement High-temperature Performance Based on Core Sample Data Mining

JI Chen¹, LING Gaoxiang¹, ZHAO Zili², SHEN Hao¹, JING Yesong¹

(1. Nanjing Traffic Construction Management Group Co., Ltd, Nanjing 211505, China; 2. College of Transportation Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: The local multi-sequence dynamic creep test method is used to test the field core samples of expressway pavement for 5 consecutive years and analyze the development trend of the high-temperature performances. The results show that the variation coefficients of high-temperature performance of pavement core samples at different layers all exceed 20%. The high-temperature performances of the overall structure and the upper layer decay obviously with the increase of service time. The decaying rate is lower than 20% within 15 years of design period, and the decaying rate will increase over 50% after the design period. By comparing the high-temperature performances of the different layers and the overall structure, the upper layer is weaker, the middle layer is the closest and the lower layer is more optimal.

Keywords: high-temperature performance; pavement core sample; local multi-sequence dynamic creep test; development trend

0 引言

我国高速公路一般采用沥青混合料作为其面层材料, 且设计年限为15 a, 现阶段很多高速已达到其设计寿命, 出现了较多车辙、裂缝、破损等病害^[1]。这些病害产生的原因与沥青混合料性能的衰退直接相关, 因此对沥青路面材料性能发展规律的准确评价尤为重要^[2-3]。然而现阶段的研究往往局限于室内成型试件, 鲜有通过对现场芯样持续跟踪而总结的相关规律。由于我国南方地区夏季温度高且持续时间

长, 获取沥青混合料高温性能的衰变规律极其重要, 因此本文着重于沥青混合料的高温性能研究。

沥青混合料高温性能的评价方法, 主要包括车辙试验、蠕变试验、加速加载试验等^[4-6]。其中车辙试验和加速加载试验的样品尺寸较大, 现场难以获取相应尺寸的芯样, 因此不适合用于评估路面芯样。而蠕变试验一般为圆柱体试件, 易于通过现场取芯获得, 比较适合于芯样的评估^[7-9]。在《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中规定的蠕变试验相关方法, 试验温度为恒定60℃, 加载应力为标准轴载0.7 MPa。然而, 在实际路面服役条件下, 沥青面层不同层位的温度和应力区间不同, 采用规范中的方法难以准确评价混合料在服役阶段的高温性能表现。针对该问题, 董尼娅^[10]设计了一种局部多级加载动态蠕变试验, 采用小压头加载, 并采用

收稿日期: 2024-01-14

作者简介: 纪晨(1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事交通建设项目管理工作。

通信作者: 凌高祥(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事交通基础设施检测管理工作。电子信箱: 1546548597@qq.com

多级荷载循环加载的方式,结果表明该试验方法可以更好地反映路面芯样的高温性能。因此,本文采用该试验方法来评价路面芯样的高温性能,通过对高速公路路面连续5 a的现场取芯样品进行试验,研究其高温性能的发展趋势。

1 试验方法与试验设计

1.1 现场取芯

本文对江苏某高速公路进行连续5 a(2019—2023年)的现场取芯。该路段的通车时间为2005年,因此芯样服役时间分别为14~18 a。建设期的路面各层位级配类型和厚度见表1。

表1 路面各层位级配类型和厚度

层位	级配类型	厚度/cm
上面层	改性SMA-13	4
中面层	改性SUP-20	6
下面层	普通AC-25	8
基层	水泥稳定碎石	38
底基层	二灰土	20

取芯方案为每年共取3个路段,每个路段取6个芯样,芯样直径为150 mm。路段均选择在该高速公路的第3车道轮迹带处,每个路段分3个断面取芯。取芯示意图见图1。

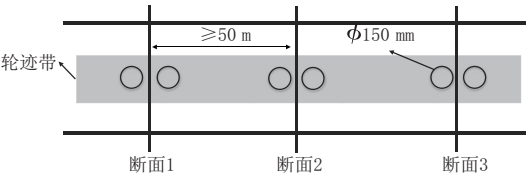


图1 取芯示意图

1.2 现场取芯

采用多序列局部动态蠕变试验方法,试验分为预加载和多序列加载2个阶段。预加载阶段采用固定的应力等级;多级加载阶段共有6个循环,每个循环有5个应力等级。对于不同层位,采用有限元软件计算该路面的温度场以及真实荷载下不同深度处的应力等级,以此设定加载温度和多级加载的应力范围。不同层位试验温度和加载参数见表2。另外,试验采用50 mm压头以模拟实际路面的围压,加载方式为半正弦波的脉冲,单次加载的持续时间为1.0 s,包括应力脉冲时间0.1 s和间歇时间0.9 s。

1.3 评价指标

试验采用每次加载后的复合蠕变速率(ε_{ccst})指标来表征混合料的高温抗变形能力。该指标的计算方法见式(1)~(3)。

$$\varepsilon_r = a \cdot \sigma^b \tag{1}$$

表2 不同层位试验温度和加载参数

层位	温度/℃	预加载阶段		多级加载阶段	
		应力等级/MPa	加载次数	应力等级/MPa	每级加载次数
整体结构	62	0.7	1 000	0.6~1.1	100
上面层	62	0.7	1 000	0.6~1.1	100
中面层	58	0.6	500	0.5~1.0	50
下面层	52	0.4	200	0.3~0.8	50

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_s} = \left(\frac{q_i}{q_s} \right)^{0.65} \tag{2}$$

$$\varepsilon_{ccst} = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \varepsilon_r(\sigma_i) \tag{3}$$

式中: ε_r 为每次加载后的永久应变增长率,μm/m; σ 为竖向压应力,kPa; a 、 b 为拟合参数; σ_i 为第*i*级轴重对应的轴载应力,kPa; q_i 为第*i*级轴重,kN; σ_s 为标准胎压,700 kPa; q_s 为标准轴重,100 kN; p_i 为第*i*级轴重在轴载谱中所占比例; $\varepsilon_r(\sigma_i)$ 为第*i*级轴载应力对应的永久应变增长率。

1.4 试验方案

试验方案如图2所示。每个路段中3个芯样用于整体结构试验,3个用于分层试验。对于整体结构试验,将芯样基层部分切去,然后在试件四周和底部刷涂耐高温隔热涂料,待涂料充分固化后进行试验,保温时间严格控制在4 h,以模拟实际路面状况下的温度梯度。而对于分层试验,需对芯样按厚度进行分层切割,分层芯样无需保证其内部温度梯度,因此芯样至少保温4 h即可。

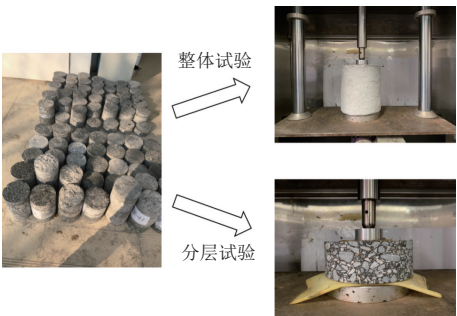


图2 试验方案

2 试验结果分析

2.1 变异系数分析

对于不同层位而言,每个路段有3个平行试件,分别计算其 ε_{ccst} 的变异系数。不同层位变异性分析见表3。

由表3可知:各层位的变异系数均超过20%,表明路面芯样高温性能的变异性较大;在不同层位中,整体结构和中面层的变异系数略低,上面层最高,原

表 3 不同层位变异性分析 单位: %

层位	变异系数
整体结构	22
上面层	28
中面层	20
下面层	26

因是上面层厚度最薄,且受荷载和环境影响最直接,因而不同位置处差异较大。

2.2 复合蠕变速率随时间的变化规律

各层位每次加载后的复合蠕变速率 $\varepsilon_{\text{ccsf}}$ 随时间的变化规律见图 3。

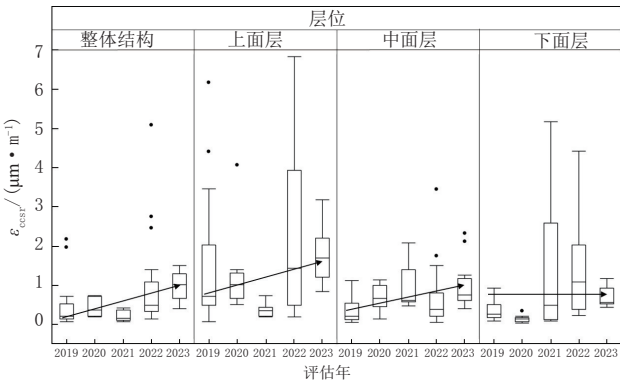


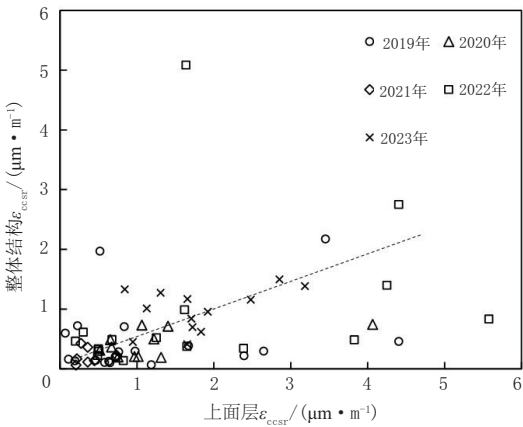
图 3 每次加载后的复合蠕变速率随着时间的变化规律

由图 3 箱体的范围可以看出:上下面层的 $\varepsilon_{\text{ccsf}}$ 在同一年内分布区间较大,而整体结构和中面层的 $\varepsilon_{\text{ccsf}}$ 相对较为稳定;就年份的发展趋势而言,整体结构和上中面层的 $\varepsilon_{\text{ccsf}}$ 随着时间而不断增加,表明其高温抗永久变形能力不断衰减。具体而言,2019 年和 2020 年的 $\varepsilon_{\text{ccsf}}$ 相对较小,且增长率小于 20%,而这 2 a 的服役年限在设计年限 15 a 范围内;当服役时间超过 15 a 后, $\varepsilon_{\text{ccsf}}$ 的增长率超过 50%,尤其是 2022 年和 2023 年,整体结构和上面层的 $\varepsilon_{\text{ccsf}}$ 为 2020 年时的 1 倍,表明超过设计年限后,材料的高温稳定性能开始加速衰减。对于中下面层而言,尤其是下面层,其整体高温性能随时间变化较小,仅局部路段衰减较快。

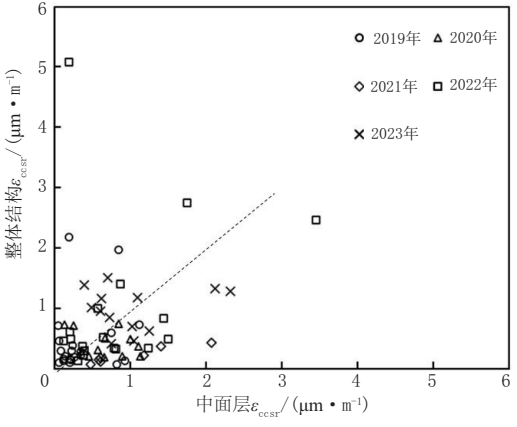
2.3 不同层位关联分析

不同层位和整体结构的关联性分析见图 4。图 4 中对角线位置上的点即为分层的高温性能与整体结构相一致,在对角线下方即为分层性能较弱而整体结构强,在上方则为整体结构性能更强。由图 4(a) 可知,所有的点偏向于对角线下方,即上面层的性能较整体结构弱。由图 4(b) 可知,各点在对角线两侧分布较为均匀,表明中面层更能反映整体结构的情况。图 4(c) 为下面层与整体结构的关系,可以看出更多的点在对角线上方,即较整体结构而言,下面层

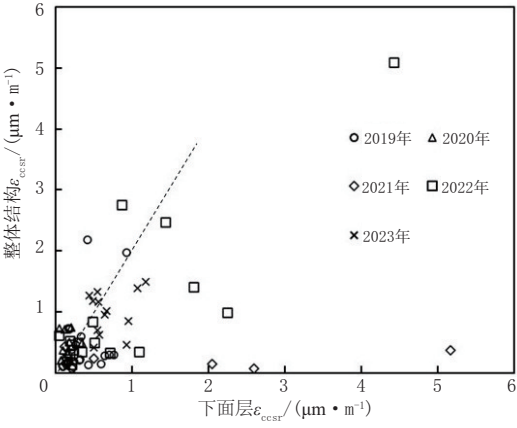
高温性能更优。



(a) 上面层-整体结构



(b) 中面层-整体结构



(c) 下面层-整体结构

图 4 不同层位和整体结构的关联性分析

3 结 语

- (1)路面芯样的高温性能变异性较大,不同层位的变异系数均超过 20%,不同路段间的差异也相对较大。
- (2)整体结构和上中面层的高温性能随着服役时间的增长衰减显著,且在设计年限内衰减率低于 20%,而超过设计年限后衰减速率增加至 50% 以上。中下面层的高温性能随着服役时间的增长衰减较

少,尤其是下面层的高温性能基本保持稳定。

(3)与整体结构的高温性能相比,上面层更弱,中面层的最为接近,而下面层更优。

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, 2001.
- [2] AL-QADI I L. Pavement damage due to conventional and new generation of wide-base super single tires[J]. Tire Science & Technology, 2005, 33(4): 210-226.
- [3] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [4] 贾娟, 张肖宁. 沥青混合料车辙试验方法的比较分析[J]. 公路, 2004(11): 199-202.
- [5] 陈祥义, 吴剑. 国外沥青混合料抗车辙性能试验方法评价[J]. 中外公路, 2007, 27(1): 141-146.
- [6] 袁峻, 贾璐, 孙立军. 沥青混合料抗永久变形特性试验方法评价[J]. 重庆交通大学学报, 2008, 27(4): 584-589.
- [7] MOHAMMAD L N, WU Z, OBULAREDDY S, *et al.* Permanent deformation analysis of hot-mix asphalt mixtures using simple performance tests and 2002 mechanistic-empirical pavement design software[J]. Transportation Research Record, 1970: 133-142.
- [8] AASHTO TP 79—2015, Standard method of testing for determining the dynamic modulus and flow number for hot mix asphalt (HMA) using the asphalt mixture performance tester (AMPT)[S].
- [9] WILLIAMS R C, PROWELL B D. Comparison of laboratory wheel-tracking test results with westrack performance[J]. Transp Res Rec, 1681 (1999): 121-128.
- [10] 董尼娅. 沥青面层混合料粘弹塑性参数及车辙预估模型研究[D]. 南京:东南大学, 2019.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

