

高速公路路面状况评价与养护决策研究

史翔翔¹, 阚士云²

(1. 江苏高速公路工程养护有限公司, 江苏 淮安 223001; 2. 江苏中路工程技术研究院有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 高速公路作为现代化的重大交通基础设施,是支撑区域互联互通和经济社会发展的重要保障。由于重载交通比例高,路面长期承受较大动载与疲劳荷载,易出现各类病害,导致路面使用性能衰减,严重影响行车安全性、舒适性与通行效率。因此,基于淮连高速公路宁海至宋跳段大修养护工程进行路面技术状况进行系统调查与检测,重点分析路面损坏状况指数(PCI)、行驶质量指数(RQI)等关键评价指标的评定标准,全面评估当前路面技术状态。研究成果可为高速公路科学养护与精准决策提供可靠依据,对延长道路使用寿命、保障通行安全与提升服务水平具有重要意义。

关键词: 高速公路;技术状况调查;养护决策;裂缝处治

中图分类号: U416.2;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0391-04

Research on Condition Assessment and Maintenance Decision of Expressway Pavement

SHI Xiangxiang¹, KAN Shiyun²

(1. Jiangsu Expressway Engineering Maintenance Co., Ltd., Huai'an 223001, China; 2. SinoRoad Transportation Science and Technology Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: As a major modern transport infrastructure, the expressway is an important guarantee for supporting regional interconnection and economic and social development. Due to the high proportion of heavy traffic, the pavement is subjected to significant dynamic and fatigue loads over long periods. All kinds of pavement defects are easily induced, leading to a decline in pavement performance and severely influencing driving safety, comfort and traffic efficiency. Therefore, based on the overhaul maintenance project for the Ninghai to Songtiao section of the Huailian Expressway, a systematic investigation and inspection is conducted for the technical condition of pavement. The focus is on analyzing the assessment standards for key evaluation indicators such as the pavement condition index (PCI) and the road quality index (RQI), and the comprehensive assessment is conducted on the current technical conditions of pavement. The research results can provide the reliable basis for scientific maintenance and precise decisions of expressways, and have a great significance for extending the service life, ensuring the traffic safety, and enhancing the service levels of expressways.

Keywords: expressway; investigation of technical condition; maintenance decision; crack treatment

0 引言

随着我国高速公路路网规模持续扩大,路面结构长期承受车辆的反复动载与疲劳荷载作用,极易诱发裂缝、车辙、坑槽等各类病害,导致路面使用性能出现结构性及功能性衰减^[1-2]。基于此,对高速公路路面技术状况进行及时、精准的检测与科学评价,已成为公路养护管理工作的核心环节^[3-4]。因此本文依托淮连高速公路宁海至宋跳段大修养护工程,

结合路面破损状况调查、内部结构状态调查与材料性能评价,对该路段路面技术状况展开全面评估。重点分析了路面损坏状况指数(PCI)、路面结构强度指数(PSSI)和结构内部破损率(IDR)等关键指标,针对该路段出现的大量“交织裂缝”,进一步研究其病害发展层位及成因^[5-6]。此外,开展了路面材料性能的高温稳定性、低温抗裂性和耐久性试验分析,结果表明面层橡胶沥青老化现象显著,又基于评估结果提出精准的养护决策。此研究为实现科学养护与精准管理提供了直接依据,对延长道路服役寿命具有重要的实践价值。

收稿日期: 2025-11-24

作者简介: 史翔翔(1995—),男,本科,工程师,从事道路工程养护工作。

1 工程概况

淮连高速公路宁海至宋跳段全长 9.56 km,双向四车道。面层采用橡胶沥青混合料,该路段整体呈现面层厚而基层较薄的特点。路段于 2006 年开展了整体 4 cm SMA-13 罩面,部分路段并于 2015 年开展了双层沥青面层罩面的大修养护。

2 路面状况评价

高速公路路面状况评价是公路养护管理的基础性工作,其核心内容包括对路面损坏状况、结构强度等多维度的综合检测与分析^[7]。具体而言,主要通过 PCI 评价裂缝、坑槽等表面破损程度^[8];利用行驶质量指数 RQI 评估路面的行驶舒适度和平整度^[9];通过车辙深度指数 RDI 评估路面的结构稳定性^[10];通过弯沉检测评估结构内部强度状态。这些量化指标共同构成了科学评价体系,为养护决策提供关键数据支撑。

2.1 路面破损状况评价

PCI 是表征路面结构完好性与使用性能的关键评价指标,其核心计算依据为路面破损率(DR),通过量化各类破损的类型与严重程度得出。在路面状况综合评价中,除 PCI 外,还需结合裂缝的分布特征及发展规律,以全面评估路面的损坏状况与演变趋势。本路段与其他路段相比,存在明显的特殊性,主要表现为路面出现大量“交织裂缝”。该类裂缝由多条完全无规则的裂缝组成,形态特殊,既不同于传统的块状裂缝,也有别于典型的龟裂(密集菱形)形态。受此类特殊裂缝影响,该路段的养护决策面临较大困难,有必要对其进行专项分析与评估,以确定合理的处治对策。网裂、龟裂及“交织裂缝”病害见图 1。

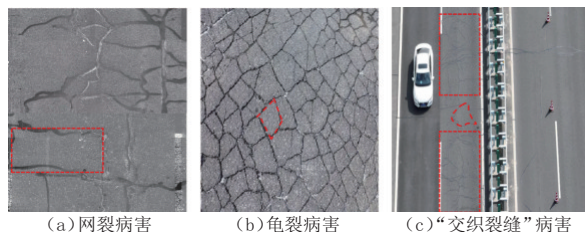


图1 网裂、龟裂及“交织裂缝”病害图

图 2 显示了南京方向与连云港方向路面 PCI 随年份的变化趋势。从整体来看,设计路段双向 PCI 均值为 90.3,总体评价等级为“良”。值得注意的是,自 2021 年起,PCI 衰减速率明显加快,年均降幅达 1.5,反映出路面性能进入加速退化阶段。

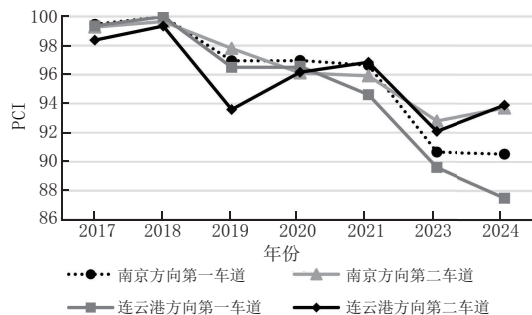


图2 各车道路面 PCI 逐年变化趋势

根据 2024 年路面检测结果,见图 3,该路段典型病害以横向和纵向裂缝为主,占病害总面积的 99.4%。由于实际裂缝形态多交织复杂,本研究采用以 100 m 为基本单元的裂缝单元分类方法,替代传统破损处理方式,将路段划分为横缝单元、纵缝单元、“交织裂缝”单元及完好单元。全线“交织裂缝”单元占比最高,达 71.8%,而横缝单元和纵缝单元分别占 8% 和 9%。这一分布表明该路段裂缝形态以网状交织为主,结构整体性受损显著,局部区域存在明显的纵向或横向受力特征。

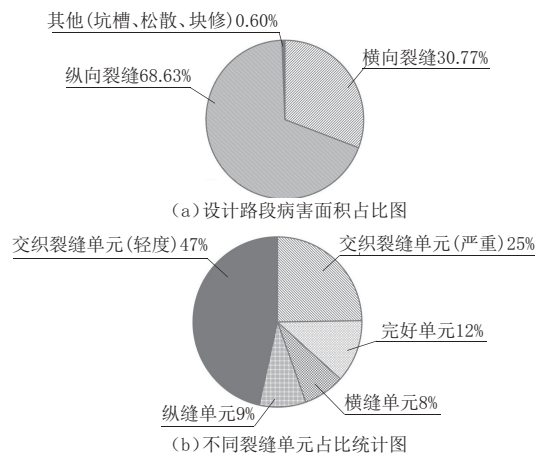


图3 设计路段病害面积占比及不同裂缝单元占比统计图

为了更直观地解裂缝形态,本研究对不同类型裂缝进行取芯,统计结果表明,除贯穿型横向裂缝已深入基层外,其余绝大多数裂缝均属于浅层病害,包括纵向裂缝、“交织裂缝”及维修后新生的横向裂缝,主要集中发生在路面上面层,尤其是 1 cm 的浅表层。

2.2 路面平整度状况评价

行驶质量指数(RQI)是基于国际平整度指数(IRI)通过数学模型推导得出的性能指标,用于客观量化车辆行驶过程中的舒适性。表 1 展示了设计路段双向平整度统计情况。从总体状况来看,设计路段双向路面平整度良好,各车道 IRI 值基本维持在 2.0 m/km 以下,平整度等级均评定为“优”。

表 1 设计路段双向平整度统计表(1 km 评价段)

IRI		南京方向		连云港方向	
		一道	二道	一道	二道
国际平整度指数 IRI/(m·km ⁻¹)	平均值	1.1	1.3	1.1	1.0
	最小值	1.0	1.1	1.0	0.0
	最大值	1.8	1.7	1.7	1.6
路面行驶质量指数 RQI	平均值	93.81	93.71	94.06	95.23
	最小值	92.27	92.59	92.81	92.98
	最大值	95.34	94.83	95.31	97.47
IRI≥2.23(m·km ⁻¹)公里段数		0	0	0	0
2.0(m·km ⁻¹)≤IRI<2.23(m·km ⁻¹)公里段数		0	0	0	0
IRI<2.0(m·km ⁻¹)公里段数		10	10	10	10

2.3 路面车辙状况评价

路面车辙状况统计结果见表 2,从总体状况看,设计路段双向路面车辙状况较好,双向车辙深度均小于 3 mm,评价均为优;从公里超标状况来看,设计路段无公里超标路段。车辙深度指数 RDI 平均值均高于 97.0,最小值甚至达到 98 以上,最大值不低于 94.6,表明路面平整度保持良好。

表 2 设计路段双向车辙检测统计(1 km 评价段)

RD		南京方向		连云港方向	
		一道	二道	一道	二道
车辙深度 RD/mm	平均值	2.1	2.6	2.6	2.7
	最小值	1.9	2.0	1.0	0.0
	最大值	4.3	4.1	5.1	5.4
车辙深度指数 RDI	平均值	97.86	97.45	97.41	97.28
	最小值	98.13	97.97	98.98	100.00
	最大值	95.67	95.89	94.93	94.61
RD≥15 mm 公里段数		0	0	0	0
10 mm≤RD<15 mm 公里段数		0	0	0	0
8 mm≤RD<10 mm 公里段数		0	0	0	0
RD<8 mm 公里段数		10	10	10	10

2.4 路面结构内部状态评价

根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210—2018),高速公路沥青路面承载能力采用路面结构强度指数 PSSI 评价^[11]。从整体来看,路段 PSSI 均值为 95.67,说明整体结构强度良好。

结构内部完整性是从路面结构全空间维度出发,用于表征因结构松散、层间局部积水或层间结合不良等隐性病害所引起的结构完整性状态。经检测,全线平均 IDR 值为 2.3%。从公里尺度看,IDR 最大值为 8.2%,出现在连云港方向第二车道 K1695 处。此外,南京方向第一车道 K1694~K1696 和连云港方向第二车道 K1694~K1697 区段的 IDR 值也相对较高,平均达到 3.5%,表明这些区段内部结构存在明显

损伤。

如图 4 所示,结构松散轻度松散,占比约 4.6%,层间不良主要发生在基层与基层之间,占比 1.1%,其次为面层与基层之间,占比 1.0%;设计路段结构内部病害占比为 7.2%,同时结构松散病害占比为 5%,且松散病害程度轻。

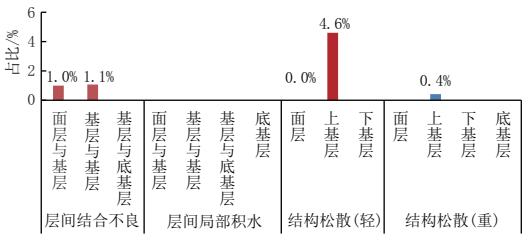


图 4 设计路段病害层位统计分析

3 路面材料性能评价

3.1 面层高温稳定性

为评估材料的高温抗变形性能,本研究开展了整体结构与分层结构动态蠕变试验^[12]。根据江苏省多条高速公路芯样的系统评价,本项目制定了相应的性能分级标准。基于轴载谱数据,进一步计算得到了不同路段的复合蠕变速率(CCSR)值,结果见图 5。从总体评估结果来看,设计路段目前的高温性能表现良好。这一结果表明该路段沥青混合料在当前条件下具备较好的抗永久变形能力。

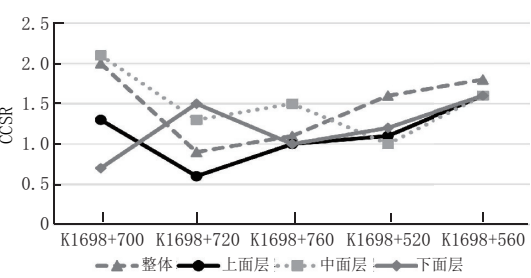


图 5 不同层位高温稳定性能分级

3.2 面层低温抗裂性

为评估沥青路面抗裂性能,对现场取芯获取的上面层芯样进行了半圆弯拉试验。试验过程中,半圆试件以连续加载直至破坏,并以断裂能(Gf)作为评价沥青混合料低温抗裂性能的关键指标^[13]。由图 6 结果可知,从总体状况来看,设计路段路面各层位的低温抗裂性能整体较好。

3.3 面层中温耐久性

沥青路面耐久性能采用半圆弯曲(中温)试验进行评价,沥青路面中温性能的评价指标为中温柔韧性指标(FIbp)^[14]。由图 7 可知,从总体状况来看,设计路段路面各层位中温耐久性能整体状况较好;从

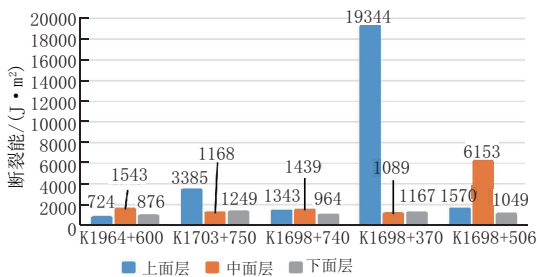


图6 面层低温抗裂性能数据对比

不同工况路段来看,存在“交织裂缝”严重处其抗裂性能较差,中温耐久性能略低于裂缝较轻路段,中温耐久性能存在一定衰减。

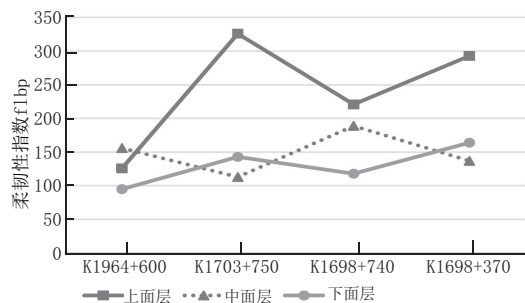


图7 面层中温柔韧性数据对比

3.4 原路面老化状况分析

老化对沥青材料性能具有显著影响^[15],本研究通过分层切割与老化试验,研究上面层沥青老化程度随深度的显著变化规律,并据此对面层各层的老化状况进行分析,并参考“十三五”重大专项的研究成果,对上面层回收沥青进行了性能分级,结果见表3,上面层最表层1 cm厚度范围内的沥青性能已严重老化。具体表现为:在延度指标上,1~4 cm范围内各分层沥青均被评为C级,且越靠近表层(1 cm处)延度值最低,老化最为严重。在针入度指标上,上面层1 cm处评级已降至C级,显著差于下层。该结果表明,面层最顶部的1 cm厚度已成为性能失效薄弱层,其严重老化直接导致路面整体抗裂性能与耐久性下降。

表3 上面层分层回收沥青指标试验结果

	针入度/0.1 mm	延度/cm	软化点/℃
上面层 1 cm	22	脆断	74
上面层 1~2 cm	32	6	69.5
上面层 2~3 cm	40	9	67
上面层 3~4 cm	46	11	66

4 养护决策研究

由路面破损状况可知,该路段典型病害以“交织裂缝”为主,并且通过大量取芯,发现“交织裂缝”深度仅表层1 cm左右;通过结构状态评价可知,基层出现结构松散并且基层与面层出现层间结合不良;通

过动态蠕变实验、低温抗裂试验以及耐久性试验等对其路用性能状况进行系统性研究,结果表明,裂缝严重处耐久性能存在一定衰减,并且原路面沥青表层1 cm处老化现象显著。因此,针对于“交织裂缝”处病害,采用原路面精铣刨1 cm+加铺罩面;对于基层结构松散并且层间结合不良的工况,采用局部双层铣刨+加铺罩面,方案针对性更强,并且能经济高效地消除表层裂缝,加强沥青层厚度,提升整体结构耐久性。

5 结 语

本研究表明,该路段表层“交织裂缝”源于内部结构问题导致的面层疲劳,并伴有显著的橡胶沥青老化。据此提出的精铣刨处治方案,能有效消除病害面层,为提升道路长期性能提供了针对性解决方案。

精铣刨虽能高效处治表层病害,但其长期效能依赖于对深层结构问题的根治。建议后续研究:采用高抗疲劳、耐老化的新型沥青材料以延长寿命;建立长期监测体系,为本方案及未来预防性养护策略提供数据支撑。

参考文献:

[1] 崔新壮,黄丹,刘磊,等.沥青路面病害力学研究进展[J].山东大学学报(工学版),2016,46(5):68-87.

[2] 王双喜.沥青混凝土路面病害分析及应对措施[J].黑龙江交通科技,2011,34(11):29-36.

[3] 汤渭恩.智慧高速养护管理系统信息化建设研究——以G60沪昆高速(上海段)为例[J].上海公路,2021(4):85-89.

[4] 林杰,金明.智能化高速公路巡检养护管理系统关键技术与设计[J].公路,2020,65(4):339-344.

[5] 彭前程,吴瑞麟.现行规范中路况指数(PCI)计算方法合理性研究[J].城市道桥与防洪,2014(8):263-266.

[6] 李金华.浅析道路大中修“白改黑”整治方案的合理性[J].城市道桥与防洪,2019(5):192-196.

[7] 杨龙军.高速公路沥青路面使用性能评价及预测研究[J].工程建设与设计,2024(11):70-72.

[8] 王丰程.道路沥青路面病害成因分析——以某段道路路面损坏状况指数PCI检测结果为例[J].安徽建筑,2024,31(5):157-158.

[9] 张艳红,郭伟彤,张斌,等.基于灰色模型的路面行驶质量指数分析[J].公路,2023,68(12):22-28.

[10] 任瑞波,许士强.基于路面使用性能评价的车辙指标研究[J].山东建筑大学学报,2014,29(3):209-213.

[11] 邹缙,蒋煜.高速公路沥青路面技术状况检测数据的有效应用分析[J].黑龙江交通科技,2025,48(2):7-11.

[12] 夏正丰.京沪高速江苏段沥青路面芯样高温性能研究[J].交通世界,2023(22):26-29.

[13] 姚彦彦,王旭洋,扈惠敏,等.玄武岩纤维增强沥青混合料的抗裂性能[J].公路,2024,69(6):285-292.

[14] 林志明,严二虎,周震宇.基于半圆弯曲试验的AC-25沥青混合料抗裂性能指标比选研究[J].交通科技与管理,2024(5):29-34.

[15] 杨三强,高毅松,刘琦,等.高掺量胶粉改性沥青老化作用机理[J].科学技术与工程,2025,25(15):6486-6492.