

HET-P 抗滑层技术在 YG 高速公路长下坡路段的应用效果

张利锋¹, 邓星鹤², 刘海军¹, 朱玉生³

(1. 广东交科检测有限公司, 广东 广州 510550; 2. 广东交科技术研发有限公司, 广东 广州 510550;
3. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420)

摘要: 高速公路长下坡路段具有制动负荷集中、抗滑需求高等特点, 是交通事故的高发区域。为解决现有抗滑表层技术耐久性不足、排水功能有限等问题, 本文依托 YG 高速公路长下坡路段工程, 开展了 HET-P 抗滑表层技术的应用研究。该技术采用增强型骨架结构(粗集料比例 $\geq 81\%$)与专用高黏沥青, 可显著提升路面的抗滑耐久性与排水效率。结果表明: 实施后 2 个月, 路面横向力系数(SFC)平均值达 58, 较施工前提升 53.7%; 使用 18 个月后, SFC 衰减率为 19.2%, 平均每月衰减 1.0%; 渗水系数(C_w)在工后 2 个月均值为 4 808 mL/min, 18 个月后衰减 19.4%, 平均每月衰减 1.1%; 同期路面损坏状况指数(PCI)保持为 100, 路面表观无病害。研究表明, HET-P 抗滑层技术能显著提升长下坡路段的行车安全性与耐久性, 为山区高速公路养护提供了有效的技术方案。

关键词: HET-P 抗滑表层; 长下坡路段; 抗滑耐久性; 路面排水; 增强骨架结构

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Application Effect of HET-P Anti-Skid Layer Technology on the Long Downhill Section of YG Expressway

ZHANG Lifeng¹, DENG Xinghe², LIU Haijun¹, ZHU Yusheng³

(1. Guangdong Jiaoke Testing Co., Ltd., Guangzhou 510550, Guangdong, China;

2. Guangdong Jiaoke Technology R&D Co., Ltd., Guangzhou 510550, Guangdong, China;

3. Guangdong Hualu Transportation Technology Co., Ltd., Guangzhou 510420, Guangdong, China)

Abstract: Long downhill sections of expressways are prone to traffic accidents due to concentrated braking loads and rapid deterioration of skid resistance. To address the limitations of existing anti-skid surface technologies, such as insufficient durability and drainage capacity, this study investigates the application of HET-P anti-skid layer technology on the long downhill section of YG Expressway. This technology employs an enhanced skeleton structure (coarse aggregate proportion $\geq 81\%$) and specialized high-viscosity asphalt to improve skid resistance durability and drainage efficiency. The results indicate that two months after construction, the average Sideway Force Coefficient (SFC) reached 58, representing a 53.7% increase compared to pre-construction levels. After 18 months of service, the SFC decreased by 19.2%, with an average monthly attenuation of 1.0%. The average water seepage coefficient (C_w) was 4 808 mL/min two months after construction and decreased by 19.4% after 18 months, averaging a 1.1% monthly reduction. The Pavement Condition Index (PCI) remained at 100 during the same period, with no visible surface distress. The research demonstrates that the HET-P anti-skid layer technology significantly enhances traffic safety and pavement durability on long downhill sections, providing an effective technical solution for the maintenance of mountainous expressways.

Key words: HET-P anti-skid surface layer; long downhill section; skid resistance durability; pavement drainage; enhanced skeleton structure

收稿日期: 2025-10-15

作者简介: 张利锋, 工程师, 本科, 研究方向为道路工程检测

1 引言

近年来,随着广东省交通经济的快速发展,高速公路重车数量持续增加。在重载车辆作用下,沥青路面损坏与抗滑性能衰减加速,磨耗层的服役寿命显著缩短^[1]。为提升重载交通道路的耐久性、抗滑性、排水性及降噪性能,同时实现资源节约与成本控制,各类抗滑表层技术应运而生。

目前,国内外应用于长下坡路段的抗滑技术主要包括超薄磨耗层(UTFC)和排水沥青路面(OGFC)等。超薄磨耗层虽能改善抗滑与平整度,但其厚度较薄,骨架结构较弱,在重载交通下抗滑耐久性不足,且排水能力有限^[2];排水沥青路面虽具有良好排水功能,但孔隙易被堵塞,导致排水性能衰减较快,且整体强度与抗车辙能力有待提升^[3]。这些局限性不仅使得现有技术难以在长下坡路段大规模推广应用,也给养护单位带来了持续压力。

本文针对以上问题,以YG高速公路长下坡路段为依托,引入HET-P抗滑表层技术。该技术通过增强型骨架结构与专用特种沥青的协同设计,重点优化混合料配合比与施工工艺,并对应用效果进行长期跟踪监测,旨在为山区高速公路长下坡路段的安全性及耐久性养护提供数据支撑与技术参考。

2 HET-P 抗滑层技术的优点

HET系列高性能抗滑层技术是一种依据项目特点定制的科学、高效、节约型铺面技术。该抗滑表层由特制高性能黏结层和1.0~3.0 cm的高黏沥青混合料组成,具有抗高温、抗水损害、抗老化、抗疲劳开裂及抗滑耐久等优良性能,尤其在路面抗滑性能提升方面优势明显^[3]。HET-P抗滑层技术具有以下优点:①抗滑性能优异:HET-P抗滑层具有优异的抗滑性能,能够有效降低车辆行驶时的滑动风险,提高道路安全性。②耐久性强:该技术采用的材料具有优异的耐久性,能够在各种恶劣气候条件下长期保持良好的抗滑性能、优异的路面状况,养护投入效益突出。③排水效果好:混合料空隙率可设计在15%~25%之间,可提升路面快速排水能力,同时有效规避水

损害问题。④施工简便:HET-P抗滑层的施工过程相对简单,不需要复杂的设备和工艺,施工速度快,能够在较短时间内完成施工。⑤环保节能:该技术采用的材料和施工方法对环境的影响较小,符合绿色环保的理念,同时也能有效降低施工过程中的能耗。⑥提高行驶舒适度:HET-P抗滑层能够通过减少车辆行驶时的震动和噪声,提高行车的舒适度,这对于长时间高速行驶的车辆尤为重要。

3 技术机理与协同效应分析

HET-P抗滑层技术的核心优势源于其“增强型骨架结构”与“专用特种沥青”的协同作用机制^[3-4]。

3.1 骨架结构嵌挤效应与抗滑性能提升

混合料中粗集料比例 $\geq 81\%$,形成了以4.75 mm以上颗粒为主体的骨架结构。该结构通过粗集料间的紧密嵌挤与石-石接触,显著提升了路面的宏观构造深度与抗剪切变形能力^[5]。在车辆荷载作用下,骨架结构能有效抵抗集料滑移与塑性流动,为轮胎提供稳定的微观与宏观纹理支撑,从而保障路面持续的高抗滑性能。

3.2 HET 专用特种沥青的高黏弹性与耐久性增强

HET专用特种沥青具有性能优良(耐高温、抗老化、抗疲劳)、施工便利(60℃条件下动力黏度大于580 000 Pa·s,135℃条件下运动黏度小于3.0 Pa·s)、高软化点($\geq 90^\circ\text{C}$)及强韧性的特点,其在高温下仍能保持优异的黏结性能。高黏度沥青膜(厚度 $\geq 9\ \mu\text{m}$)充分包裹集料,其作用机理符合高黏沥青改善混合料性能的普遍规律^[6],既能增大集料间黏结力,也可抑制水分、荷载耦合作用引发的集料剥离与飞散;高弹性能赋予混合料优异的应力松弛能力,可有效抑制疲劳开裂与温缩裂缝,提升路面耐久性。

3.3 级配设计与排水功能的量化关联

控制4.75~9.5 mm筛孔通过率为10%~30%,2.36 mm筛孔通过率为8%~20%,可使混合料形成18%~22%的连通空隙率。该空隙结构既可保障雨水能够快速横向排出路表(渗水系数 $\geq 3\ 000\ \text{mL}/\text{min}$),又可依靠骨架密实作用,规避空隙过大带来的结构强度下降与水损害风险。

综上所述, HET-P 技术通过“骨架支撑-沥青黏结-孔隙排水”的三元协同, 实现了抗滑、耐久与排水性能的统一。

4 沥青混合料配合比设计及性能要求

结合重载交通高速公路薄层体系的主要功能需求和结构性能, 在进行 HET-P 沥青混合料目标配合比设计时, 需要考虑沥青混合料的路面排水能力、抗滑性能、抗永久变形能力、抗水损害及耐久性能。基于沥青混合料破坏机理, 采用马歇尔配合比设计方法进行增强型骨架结构沥青混合料级配设计。通过对 3 组不同的适配矿料初选级配进行性能验证, 确定了最终的矿料合成级配组成和合成级配曲线(表 1、图 1)。

表 1 HET-P 抗滑表层沥青混合料合成矿料级配组成

筛孔尺寸/mm	原材料级配通过百分率/%				合成级配/%	设计级配范围/%
	5~10 mm 碎石	机制砂	矿粉	水泥		
13.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
9.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	80~100
4.75	1.3	100.0	100.0	100.0	20.1	10~30
2.36	0.4	84.1	100.0	100.0	17.3	8~20
1.18	0.4	55.2	100.0	100.0	13.7	7~15
0.6	0.4	31.6	100.0	100.0	10.8	5~12
0.3	0.4	16.4	99.0	100.0	8.8	4~10
0.15	0.4	8.4	94.2	100.0	7.6	4~8
0.075	0.3	0.0	75.6	99.6	5.4	3~7
掺配比例/%	81.0	12.5	5.5	1.0	—	—

注: 根据委托方要求, 对机制砂进行了 100% 除尘。

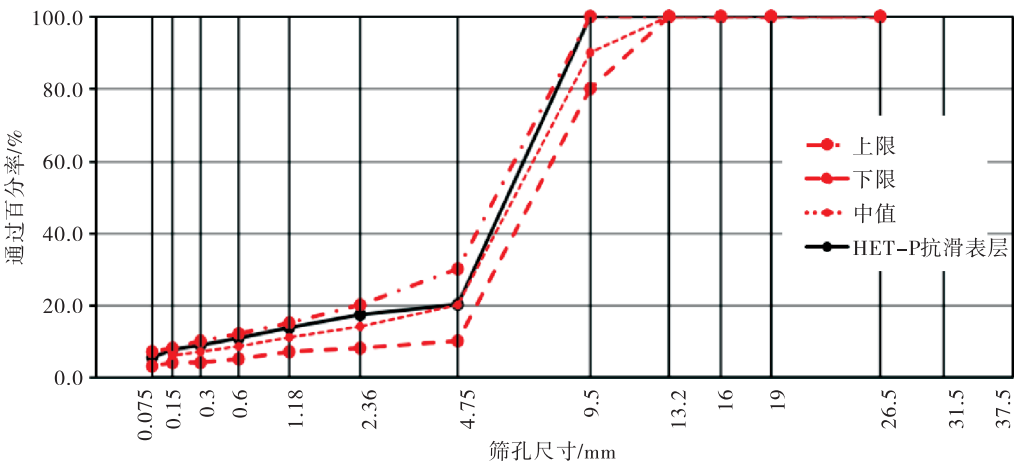


图 1 HET-P 矿料合成级配曲线图

根据选定级配, 以 5.3%、5.6%、5.9% 油石比进行马歇尔击实试验。测定混合料各项体积指标与力学指标, 确定沥青混合料最佳油石比, 保证混合料兼具强度、稳定性、耐久性、施工和易性。沥青加热温度为 160~165℃; 矿料加热温度为 90~200℃; 混合料拌和温度为 185℃±5℃;

击实温度为 170~180℃; 混合料温度超过 200℃ 则废弃; 采用双面击实 75 次成型试件。通过测试马歇尔试件的体积指标、析漏损失、飞散损失确定最佳 HET-P 抗滑表层沥青混合料的油石比为 5.6%, 纤维掺量为沥青混合料的 0.35%, 经试验各指标结果均满足设计要求(表 2)。

表 2 HET-P 试验结果

组别	油石比/%	有效沥青膜厚度/μm	理论最大相对密度	实测相对密度	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	马歇尔稳定度/kN	流值/mm	析漏损失/%	飞散损失/%
实测值	5.6	11.2	2.632	2.153	18.2	29.1	37.4	7.91	3.83	0.09	2.10
技术要求	—	≥9	—	—	15~25	≥15	≥30	≥5	3~6	—	≤15

结合 HET-P 抗滑表层沥青混合料的水稳定性、高温稳定性、低温抗裂性及抗疲劳性能等多项路用性能开展综合分析^[7-8], 提出了该混合

料的技术指标要求(表 3)。试验操作需严格按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》^[9] 执行。

表 3 HET-P 沥青混合料技术指标要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
车辙动稳定度 (60℃)	次/mm	≥5 000	T 0719—2011
车辙动稳定度 (70℃)		≥3 000	
冻融劈裂试验的残留强度比	%	≥85	T 0729—2000
浸水马歇尔试验的残留稳定度	%	≥85	T 0709—2011
低温弯曲试验弯曲破坏应变	με	≥2 500	T 0715—2011
渗水系数	mL/min	≥3 000	T 0730—2011
构造深度	mm	≥1.0	T 0731—2000
疲劳次数 (四点弯曲疲劳试验, 600 με)	次	≥500 000	T 0739—2011

5 施工工艺

5.1 沥青混合料生产

HET-P 高性能超薄罩面混合料采用专用特种沥青并掺配纤维稳定剂, 拌和施工难度低于常规沥青混合料。原材料及混合料温控指标: 改性沥青加热温度为 170℃, 集料加热温度为 180 ~ 200℃, 混合料出厂温度为 175 ~ 185℃, 到场温度为 170 ~ 180℃。拌和场站配置专职试验人员, 同步检测混合料出料温度与外观状态, 质检合格后方可组织装车。拌和工艺严格遵循规范要求: 单盘拌和时长 65 s, 其中干拌时长 15 s、湿拌时长 50 s, 保障混合料拌和均匀, 消除花白料、结块及重度离析缺陷。

5.2 沥青混合料运输

混合料采用密闭自卸运输车转运, 车厢预处理干净后, 内壁涂刷 1 : 3 植物油与水混合液抑制黏结; 装车过程分次挪料, 挪车次数不少于 5 次, 削弱混合料装卸离析。运输车采用双层篷布全覆盖, 实现混合料保温、防雨与防污染; 运力配置匹配拌和、摊铺施工效率, 摊铺起始阶段摊铺机前待料车辆不少于 2 辆, 混合料到场温度需高于 170℃。

5.3 沥青混合料摊铺

施工选用福格勒 SUPER1800-3 SJ 一体化同步摊铺机, 设备集成乳化沥青储料、精准计量喷洒、螺旋输料与可调式振动熨平模块, 可完成黏结层洒布、混合料摊铺一体化作业 (图 2)。改性乳化沥青黏结层喷洒温度 60 ~ 70℃, 设计洒布量 1.0 L/m², 通过计量系统保障涂层均匀性。

摊铺施工前 1 h 预热熨平板, 使其温度匹配摊铺温度, 混合料摊铺温度 ≥170℃; 摊铺机料斗涂刷油水混合液降低黏结风险, 摊铺起步速率为 8 m/min, 稳态施工速率控制在 10 ~ 12 m/min, 实现连续匀速摊铺。施工过程维持螺旋送料器料位不低于 2/3 装置高度, 规避摊铺面层离析; 严控人工修补作业, 仅角隅区域及局部病害位置按需进行精细化人工修整。摊铺完成后及时开展碾压施工, 降雨及工序中断工况下停止摊铺, 并对混合料采取保温覆盖处置。

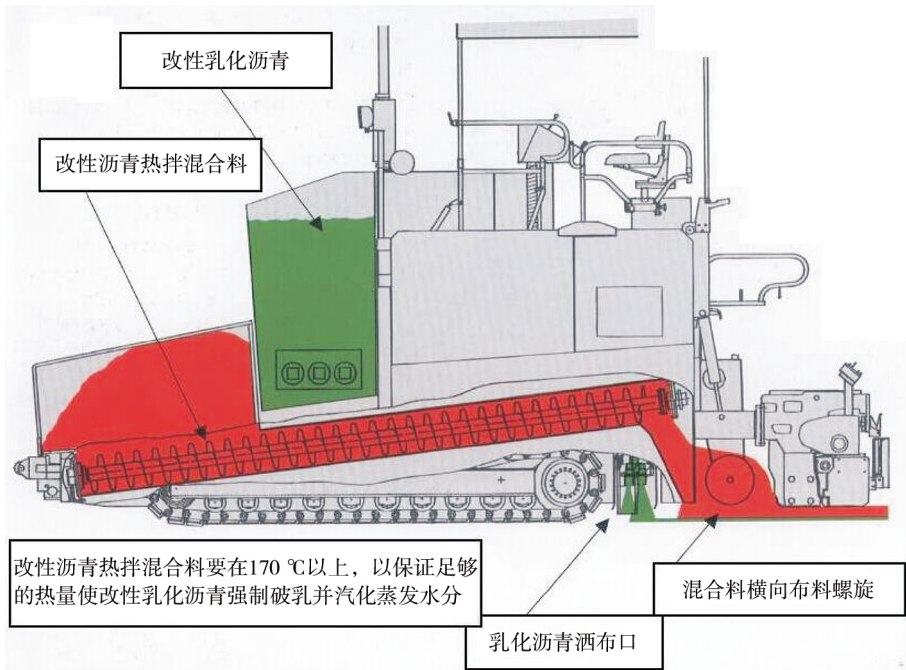


图 2 改性乳化沥青洒布与混合料摊铺一体化施工工艺示意图

5.4 沥青混合料碾压

HET-P 超薄罩面施工需严控施工温度与碾压工序^[10],参照多孔沥青混合料压实机理开展碾压施工,保障混合料形成稳定骨架嵌挤结构^[11]。该沥青混合料和易性良好、压实成型难度低,施工时,单车道配置1台13 t双光轮振动压路机,双车道配置2台同型号设备;施工遵循紧跟碾压原则,混合料初压温度 $\geq 165\text{ }^{\circ}\text{C}$,静压2~3遍后完成1遍收光碾压。施工压路机需保持工况稳定,配套防黏刮板与皂液喷淋系统,杜绝混合料黏结碾压轮;禁止压路机停留于新鲜摊铺混合料表层,且严禁采用胶轮压路机开展压实作业。

6 工程应用与效果

6.1 工程概况

YG 高速属于山区高速公路,沿线上下坡路段众多,且该路段大货车数量多,其中上行重车比例占30.5%(约2 325 辆/日),下行重车比例占21.9%(约1 590 辆/日),YG 高速2024 年各收费断面重型车数量及比例统计如图3 所示。路面体检报告显示,上行 K117—K127 长下坡路段路面抗滑性能不足。为此,管养单位在2023 年对该路段进行2 cm HET-P 高性能薄层加铺,以提升路面抗滑性能。

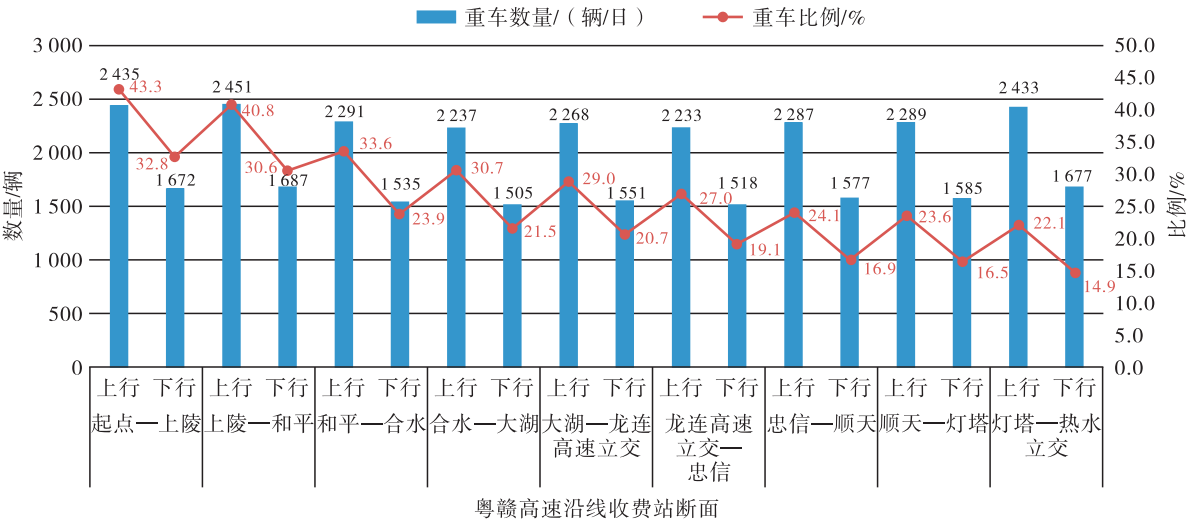


图3 YG 高速公路2024 年各断面重型车数量及比例统计图

6.2 应用效果

HET-P 高性能薄层施工后2个月,对加铺路段进行施工质量检测,检测指标包括厚度、渗水系数、国际平整度指数、横向力系数及层间黏结强度等,检测结果见表4,现场情况见图4。

表4 HET-P 抗滑层施工质量检测结果

检测指标	平均值	设计值
厚度/mm	21.0	≥ 20
渗水系数/(mL/min)	4 808	$\geq 3\ 000$
国际平整度指数/(m/km)	1.25	≤ 2.0
横向力系数	58	≥ 54
构造深度/mm	1.37	≥ 1.0
层间黏结强度/MPa	0.43	≥ 0.3

施工质量检测结果表明,HET-P 抗滑层在 YG 高速公路应用施工质量效果良好,具体而言:①厚度均值为21.0 mm,满足设计要求;②渗水系数均值为4 808 mL/min,说明该生产配合比和

碾压工艺较好,路面具有较好的排水功能;③国际平整度指数均值为1.25 m/km,说明路面具有良好的行驶舒适性;④横向力系数均值为58、构造深度均值为1.37 mm,均大于设计及规范的要求,说明路面具备良好的抗滑性能;⑤层间黏结



(a) 路段实况一

图4 HET-P 抗滑层工后路面外观质量状况



(b) 路段实况二

图4 HET-P抗滑层工后路面外观质量状况(续)

强度均值为0.43 MPa, 满足设计要求, 说明加铺层与原路面黏结效果较好。

6.3 跟踪使用效果

为了评价 HET-P 抗滑层在 YG 高速公路长下坡路段的使用效果, 本研究分别于工后 2 个月、6 个月、10 个月、14 个月及 18 个月对 HET-P 抗滑层路段的路面横向力系数 (SFC)、路面渗水系数 (C_w) 及路面损坏指数 (PCI) 等指标进行跟踪检测, 检测结果如图 5~7 所示。

跟踪检测结果表明, 施工后 HET-P 抗滑层在初期能够显著提升路面抗滑性能, 虽随着服役时间推移, 抗滑性能存在一定衰减, 但整体仍维持在

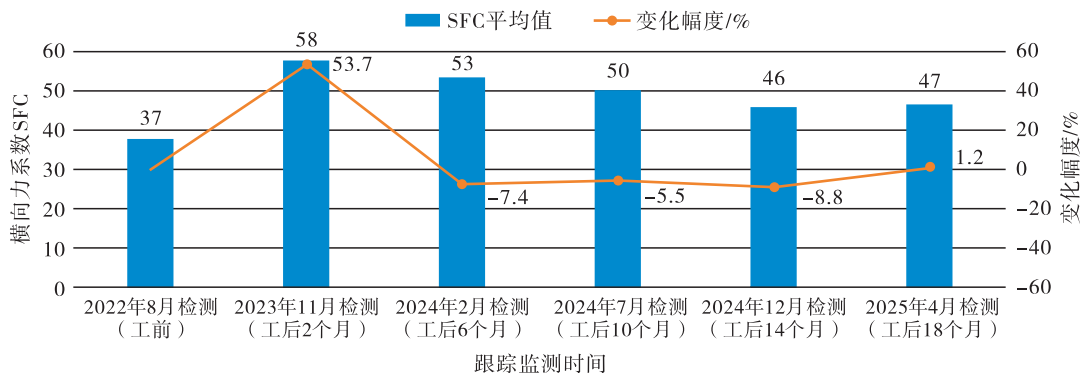


图5 HET-P抗滑层横向力系数 SFC 跟踪检测结果

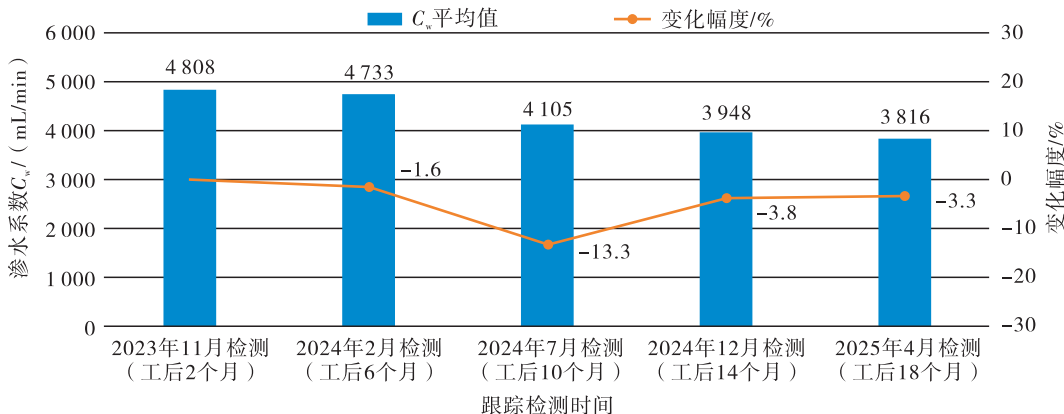


图6 HET-P抗滑层渗水系数 C_w 跟踪检测结果

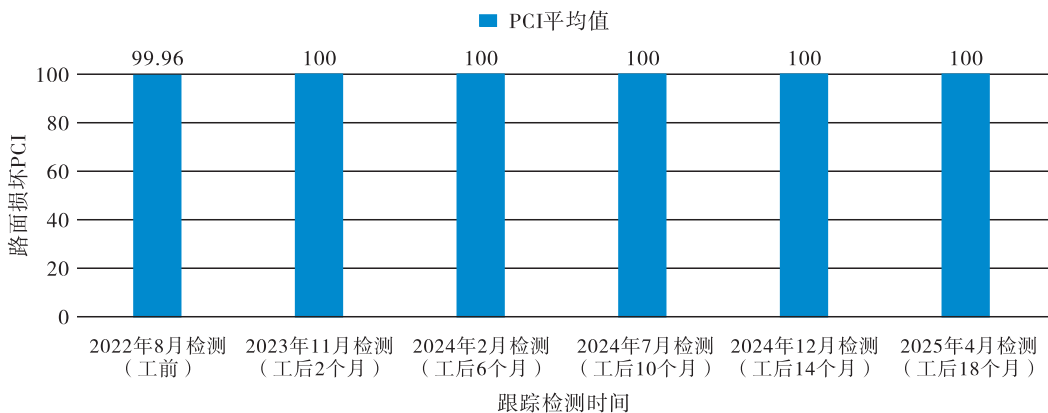


图7 HET-P抗滑层损坏状况指数 PCI 跟踪检测结果

较好水平;路面渗水性能良好,雨天路表水可快速排出,有效提升了雨天行车安全性。工后 18 个月,路面损坏指数为 100,路面整体处于完好状态。综合来看,HET-P 抗滑层在投入使用 18 个月内性能衰减平缓。这与对排水性沥青路面长期性能的观测结论^[12]相一致,表明该技术在 YG 高速公路长下坡路段使用具备良好的耐久性潜力。

7 效益分析

初步分析 YG 高速公路 HET-P 抗滑层技术应用效果可知,该技术具备显著的经济、环境与社会效益。

(1) 经济效益分析:初步测算显示,HET-P 抗滑层直接造价约为 80 元/m²,略高于常规超薄层,但其使用寿命长于常规薄层,预计可超 6 年(目前已使用 18 个月,PCI 平均值保持 100),预计全寿命周期养护成本可降低 20%~30%,具备显著长期经济效益。

(2) 环境效益分析:较广东省常用的加铺罩面 4 cm AC-16 技术节约 50% 优质集料,铺筑效率提高 50%,减少 70% 碳排放。

(3) 社会效益分析:该技术可以延长路面使用寿命,减少路面维修,改善路面行车舒适性,提高行车安全。

8 结论

(1) HET-P 抗滑层技术采用“增强型骨架结构(粗集料比例≥81%)+专用高黏沥青”的协同设计,从材料与结构层面同步提升了抗滑耐久性与排水功能,为解决长下坡路段安全难题提供了新技术路径。

(2) 在 YG 高速长下坡路段应用中,工后 2 个月路面 SFC 值达 58,渗水系数为 4 808 mL/min,各项指标均优于设计要求;历经 18 个月行车荷载与环境作用,SFC 与渗水系数月均衰减率均≤1.1%,PCI 值保持 100,表明该技术具备良好的施工质量与长期性能稳定性。

(3) HET-P 技术适用于原路面结构完好、施工控制严格的长下坡路段及路面排水不畅路段,兼具技术可行性与全寿命周期经济性,具备在山区高速公路中推广应用的價值。

9 问题与展望

HET-P 抗滑层技术虽在 YG 高速公路应用中表现出色,但仍存在若干需关注的问题。

(1) 技术适用性与施工控制:该技术适用于原路面结构完好、仅表面功能衰减的长下坡路段及路面排水不畅路段。施工过程中,混合料出厂温度(175~185℃)、摊铺温度(≥170℃)与碾压温度(≥165℃)的控制尤为关键,这是保障层间黏结与压实度的前提,建议在具备相应温控设备与施工经验的项目中推广。

(2) 长期性能衰减机制:跟踪数据显示,渗水系数随时间的衰减(18 个月下降 19.4%)可能与路面孔隙被灰尘、油污逐渐堵塞有关。未来可研发抗堵塞型高黏沥青或考虑间歇性高压水清洁维护,以延长排水功能寿命。

(3) 不同环境适应性待验证:本案例位于南方湿热山区,该技术在北方冻融循环、西北干寒等气候条件下的长期性能仍有待验证,建议借鉴不同环境条件下的相关路面性能研究^[1-13]。

未来,HET-P 技术可在材料改性(如掺入抗老化剂)、空隙结构优化(梯度空隙设计)与智能施工(无人碾压、温度监控)等方面持续深化,以进一步提升其工程适用性与长效性能。

参考文献:

- [1] 张琪元彤,豆莹莹,许新权,等. HET-Y(B)高性能超薄罩面在广韶高速公路养护中的应用[J]. 广东公路交通,2022,48(6):21-26.
- [2] 吴传海,邓星鹤,李善强,等. HET 系列高性能抗滑表层技术研发及应用[J]. 广东公路交通,2021,47(4):1-6.
- [3] 李斌. HET 高性能抗滑表层在特长隧道路面抗滑处治中的应用[J]. 广东公路交通,2021,47(6):1-6.
- [4] ALVAREZ E A, MAHMOUD E, MARTIN E A, et al. Stone-on-stone contact of permeable friction course mixtures[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2010,22(11):1129-1138.
- [5] KANDHAL P S. Design, construction and maintenance of open-graded asphalt friction courses[R]. Information Series 115. Lexington: National Asphalt Pavement Association, 2002.
- [6] 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.
- [7] 马翔,倪富健,陈荣生. 沥青指标对排水性沥青混合料性能的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版),2008(2):265-268.
- [8] 张宜洛. 抗滑级配类型沥青混合料的抗滑性能[J]. 长安大学学报(自然科学版),2003(1):7-10.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. 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.

(下转第 29 页)

表 16 压实度检测结果 (最大理论密度)

试样 编号	毛体积 相对密度	最大理论 相对密度	压实度	合格标准
1	2.442	2.558	95.1	≥93%
2	2.442	2.558	95.3	
3	2.403	2.551	94	
4	2.417	2.542	95.1	
5	2.418	2.551	94.1	
6	2.411	2.523	94.6	

5.2 渗水系数

采用渗水仪测试试验路路表渗水系数,测试结果见表 17。

表 17 路面渗水系数检测结果

试样编号	渗水系数/(mL/min)	合格标准/(mL/min)
1	28	≤100
2	8	
3	24	
4	32	
5	18	

5.3 构造深度

采用铺砂法测试试验段路表构造深度,测试结果见表 18。

表 18 构造深度检测结果

试样编号	实测均值/mm	位置	设计值/mm
1	0.99	上面层	≥0.8
2	0.90		
3	0.83		
4	0.92		

路面检测结果表明:压实度、渗水系数、构造深度等各项关键实体工程指标均满足规范要求。实施后路面表观效果良好,结合室内试验的结果,证明了微表处路面在就地热再生中具备适用性。在实体工程方案设计中,建议从原材料性能、添加剂影响、配合比设计等方面进行综合分

析以供决策。

6 结语

(1) 选用的再生剂能有效恢复微表处老化沥青的原有性能,同时,直投改性剂的添加显著提升了再生混合料的高温抗变形能力、低温抗裂性及抗疲劳性能,为解决旧微表处路面性能衰减问题提供了有效的材料设计方案。

(2) 基于马歇尔方法设计出的 GAC-16 微表处就地热再生混合料,不仅表现出良好的高温稳定性和水稳定性,而且其成品路面各项关键指标(压实度、渗水系数、构造深度)均满足规范要求。

(3) 室内试验与实体工程应用效果均表明,就地热再生技术对于微表处罩面沥青路面具有适用性。该技术不仅能保证就地热再生路面良好的表观与使用性能,还体现了资源循环利用的优势,具备显著技术、经济效益和广阔的推广应用前景。

参考文献:

[1]牛广文. 沥青路面就地热再生技术现状与发展历程[J]. 中外公路,2019,39(5): 50-59.

[2]刘峰,辛孟,何子航,等. 长深高速梅州段绿色养护新样板[J]. 中国公路,2024(10):46-47.

[3]李町茁,张垚,桑添翼,等. 高 RAP 掺量就地热再生沥青混合料路用性能影响研究[J]. 公路, 2025,70(4): 36-43.

[4]陈楚鹏,李善强,许新权,等. 广东省高速公路就地热再生路面长期性能调查与评价[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2023,47(2):365-369.

[5]仰建岗,张伟,姚玉权,等. 就地热再生混合料性能影响关键因素的试验研究[J]. 公路交通科技,2021,38(10):7-15.

[6]谢超. VE 改性剂在普通沥青路面复拌就地热再生工程中的应用研究[J]. 交通节能与环保,2024,20(4): 135-138.

(上接第 7 页)

[10]中华人民共和国交通运输部. 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.

[11]ZHOU F,SCOFFON S,MALLICK R B,et al. A laboratory investigation of OGFC compaction using the superpave gyratory compactor[J]. Asphalt Paving Technology, 2010, 79: 789-821.

[12]LU Q,HARVEY J T. Long-term performance of open-graded asphalt concrete: a case study[J]. Transportation

Research Record: Journal of the Transportation Research Board,2006,1970(1): 83-91.

[13]ALREZAIQI M A,WOODWARD D,MILLAR P. The skid resistance of bituminous surfaces in wet conditions: a review of the influencing factors[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2021, 22(6): 699-713.

[14]黄桥连,周宏云. 长下坡沥青路面抗滑性能调查分析[J]. 公路与汽运,2013(3):96-98.