

# 公路路面养护工程中的预防性养护技术

文 / 范楚锋 清远市公路勘察规划设计院有限公司

**摘要:** 本文以广东省连州市 G537 线某路段养护工程为例, 针对原水泥路面出现的裂缝、破碎板、基层脱空与唧浆等典型病害, 采取“精准修复+功能提升”策略, 设计了破碎板换板、板角补强、压浆填实及加铺改性沥青罩面等关键方案, 并通过精细化材料控制与规范施工实现对公路路面预防性养护。工后检测显示平整度、抗滑性能及裂缝控制等指标显著提升, 预计使用寿命延长 8-10 年, 经济效益良好。

**关键词:** 公路路面养护工程; 预防性养护技术; 病害处理; 加铺罩面; 工后检测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.057

## 引言

随着公路交通网络持续不断地扩展, 路面养护工程的重要性变得日益突出, 随着使用年限增长及交通荷载的反复作用, 路面难免会出现裂缝、板块破损、接缝渗水等各类病害, 这些问题不仅会破坏路面的平整性和乘车舒适度, 还可能对行车安全造成严重的威胁。作为一种具有前瞻性的维护手段, 预防性养护能够在病害初期阶段及时进行干预, 可有效减缓路面劣化速度、延长使用寿命并降低全寿命周期费用。研究结合具体的工程实例, 深入分析公路路面养护里预防性养护的关键技术及其应用成效, 以期类似公路的预防性养护工作提供相关参考。

## 一、工程实践

### (一) 工程概况

项目处在广东省连州市境内。该路段按照二级公路的标准进行建设, 其设计时速设定为 60km/h, 道路为双向两车道, 路基宽度为 12m, 路面宽度是 9m。依据 2022 年公路技术状况的检测数据来看, 路面技术状况指数 PQI 为 86.3, 属于“良”的等级, 损坏状况指数 PCI 为 84.7, 行驶质量指数 RQI 为 82.6, 原来的路面是水泥混凝土路面, 经过多年时间的使用之后, 路面出现了不同程度的裂缝、破碎板等病害情况(图 1)。为确保路面的平整度、行驶舒适性以及安全性, 所以决定对该路段开展预防性养护处理工作。



## (二) 存在问题分析

通过对旧路的全面调查, 发现存在三大核心问题:

第一, 路面板块破碎化严重。行车道裂缝密度为 18.7m/km<sup>2</sup>, 超出规范限值(10m/km<sup>2</sup>), 并发现 37 处大面积破碎板, 多位于重车行驶区域。探地雷达检测显示基层存在脱空, 脱空面积占比 15.3%, 最大深度 3.2cm, 多分布于板角与裂缝交叉处, 严重影响结构完整性。

第二, 接缝渗水导致基层唧浆。抽样显示 85% 的接缝存在渗水, 23% 发生唧浆, 取芯检测发现基层顶面软化深度达 2-3cm。水质分析表明渗水主要来自降雨和地下水, 细料料流失形成空洞, 加剧基层软化。

第三, 板角断裂比例达 23%, 最大深度至基层顶面, 影响结构整体性。FWD 检测显示板角弯沉值普遍超过 0.35mm, 高于 0.2mm 限值; 荷载传递效率仅 62%, 低于 85% 的要求, 传力杆系统已失效。这些问题导致平整度变异系数降至 0.8mm, IRI 指数达 3.2m/km, 影响行车舒适与安全; 车内噪声达 72dB, 高于新路标准(65dB), 抗滑摆值 BPN 仅为 60, 低于规范要求的 70, 存在安全隐患。

## 二、公路路面养护工程预防性养护技术要点

### (一) 路面维修设计

维修方案采用“精准修复+功能提升”双目标策略。针对不同类型的病害采取差异化处理措施, 确保修复效果和经济效益最大化。

#### 1. 破碎板处理

采用机械切割+人工挖除工艺, 切割线距离裂缝边缘 20cm, 确保纵缝拉杆、横缝传力杆完整性。对损坏拉杆实施原位更换, 使用  $\phi 16$ mm 螺纹钢, 长度 1.2m, 间距 30cm 布置, 采用环氧树脂进行锚固处理<sup>[1]</sup>。挖除深度根据破损情况确定, 一般为板厚+2cm, 确保完全清除松散混凝土。

#### 2. 板角断裂处理

操作采用“切割-钢筋补强-浇筑”这种三步法来进行, 切割范围需严格控制在板块四分之一面积

以内，设置直径为8mm的发针型钢筋网且其间距为15cm\*15cm，采用焊接工艺保证钢筋网的稳定性。浇筑C35水泥混凝土并将水灰比控制在0.45，坍落度保持在70到90mm，使用插入式振捣器确保混凝土密实度，养护期设定为7天，用土工布覆盖并定时洒水进行养护。最后使用聚氨酯密封胶封缝确保接缝密封性能，在补强区域与旧混凝土界面涂刷界面剂增强粘结效果。

3. 基层脱空区域

采用压浆处理工艺，使用水泥粉煤灰浆液，水灰比0.8:1，压力控制在0.5-1.0MPa，注浆量根据脱空面积计算确定，确保基层得到充分填充。压浆孔布置采用梅花形布置，孔距1.2m，孔径3cm，深度穿透基层顶面2-3cm。注浆过程中采用抬板监测，确保填充密实。

(二) 路面罩面设计

罩面层采用4cm厚AC-13细粒式改性沥青混凝土，级配类型为连续密级配。骨料选用石灰岩碎石，针片状含量≤12%，压碎值≤20%，与沥青的粘附性达到5级。粘层施工前对原路面进行铣刨处理，铣刨深度0.5cm，采用扫地机和高压空气吹净残渣，确保界面清洁。清洁度检测显示，界面含尘量≤0.1g/m²。

灌缝材料选用改性乳化沥青，粘度控制在20-60s(25℃)，采用专用灌缝设备进行施工。填缝后立即贴铺20cm宽防裂贴，防裂贴的抗拉强度≥8kN/m，延伸率≥50%，确保有效防止反射裂缝产生。防裂贴与路面粘结强度达0.8MPa，满足规范要求。

罩面层施工采用间歇式沥青混合料拌和楼，生产能力240t/h，配备二级除尘系统。出料温度165-175℃，摊铺温度≥160℃，初压温度≥150℃，终压温度≥90℃。采用非接触式平衡梁控制摊铺平整度，确保厚度均匀性。厚度检测显示，标准差控制在±2mm以内。

(三) 主材料及施工技术

沥青材料选用70号A级石油沥青作为基础材料，改性剂采用SBS且掺量为4.5%，改性之后的沥青软化点需、在60℃以上，延度(5℃)要大于30cm，弹性恢复需大于85%，改性工艺采用现场研磨式改性以确保SBS充分分散和溶胀。集料系统经过严格筛选其中粗集料采用玄

武岩碎石，其表观密度需大于等于2.6g/cm³，洛杉矶磨耗值要小于等于28%，石料压碎值需小于等于20%，细集料选用石灰岩机制砂，含泥量要小于等于1.5%，砂当量需大于等于65%，填料采用42.5级普通硅酸盐水泥，比表面积需大于等于400m²/kg，含水量要小于等于1%，集料储存采用分区堆放并做好防雨防污染措施。

混合料设计采用马歇尔击实法，击实次数双面各75次，空隙率控制在4-6%，稳定度≥8kN，流值20-40(0.1mm)，沥青饱和度65-75%。同时进行车辙试验，动稳定度≥3000次/mm，确保混合料的高温稳定性<sup>[2]</sup>。低温性能通过低温弯曲试验验证，破坏应变≥2800με。水稳定性通过浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验验证，残留稳定度≥85%，冻融劈裂强度比≥80%。

(四) 加铺沥青混凝土施工

施工流程分为五个关键步骤：下承层处理→粘层喷洒→混合料摊铺→压实成型→接缝处理。

(1) 下承层处理。采用抛丸机打毛处理，粗糙度达到0.5-0.8mm，确保层间粘结效果。处理后的表面采用激光断面仪检测，确保平整度达标。处理后24小时内完成粘层施工，防止二次污染。

(2) 粘层喷洒。粘层喷洒量控制为0.3-0.5kg/m²，使用智能沥青洒布车，配备红外测温系统，确保洒布温度在160-170℃范围内，洒布均匀无流淌，无漏洒现象。洒布前进行试验段施工，确定最佳洒布参数。

(3) 摊铺作业。采用两台摊铺机梯队作业，搭接宽度10-15cm，摊铺速度控制在2-4m/min。夯锤振幅根据混合料类型和厚度调整，确保初始压实度达到85%以上。摊铺过程连续均匀，避免停机待料。

(4) 压实工艺。采用组合压路机方案，为保证压实度和平整度，初压应在混合料不产生推移、开裂等情况下尽量在摊铺后较高温度下进行。初压严禁使用轮胎压路机，以确保面层横向平整度。在石料易于压碎的情况下，原则上钢轮压路机不开振，以轮胎压路机碾压为主。建议初压和终压均采用双钢轮压路机，复压采用轮胎压机。压路机以缓慢而均匀的速度碾压，压路机的适宜碾压速度随初压、复压、终压及压路机的类型而别，按下表1选用。

表1 压路机碾压速度 (km/h)

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
钢轮式压路机	2-3	3	3-5	5	3-6	6
轮胎压路机	—	—	3.5-4.5	6	4-6	8
振动压路机	2-3(静压)	3(静压)	3-4.5(振动)	5(振动)	3-6(静压)	6(静压)

(5) 接缝处理。横向接缝采用斜接缝, 切割垂直度检验合格后, 涂刷粘层油后再进行新料摊铺。纵向接缝采用热接缝, 搭接处采用热熨平处理, 确保接缝平整度  $\leq 2\text{mm}$ 。接缝碾压采用双钢轮压路机进行斜向碾压, 消除接缝痕迹<sup>[3]</sup>。

#### (五) 改性乳化沥青粘层施工

粘层施工会使用专用洒布车来进行, 喷嘴高度设置为  $1.5\text{m}$  且喷洒压力为  $0.3\text{MPa}$ , 以此确保雾状喷洒能均匀分布, 洒布量依靠电子计量系统进行控制, 误差要控制在  $\pm 5\%$  以内。施工环境温度需  $10^\circ\text{C}$  以上、湿度小于  $80\%$  且风速小于  $5\text{m/s}$ , 避免因环境因素对施工质量造成影响, 乳化沥青采用阳离子慢裂型, 其固含量要大于  $60\%$ 、破乳时间大于  $120\text{s}$  且储存稳定性小于  $1\%$ 。改性剂采用 SBR 胶乳, 掺量为  $3\%$  以提高粘结强度和弹性恢复能力, 施工前要进行粘结强度试验, 拉拔强度需大于  $0.8\text{MPa}$ , 洒布后要立即进行覆盖率检测, 确保达到  $100\%$  覆盖<sup>[4]</sup>。粘层施工后要立即开展交通管制工作, 设置警示标志和隔离设施来禁止一切车辆通行, 同时养护时间需大于  $24$  小时以确保乳化沥青充分破乳成型, 养护期间要安排专人进行巡查, 防止出现意外破坏情况, 破乳时间检测显示在  $25^\circ\text{C}$  环境下破乳时间小于  $3$  小时。

#### (六) 微表处养护技术要点

微表处施工采用 MS-3 型混合料, 以玄武岩碎石为骨料, 级配符合规范要求。选用固含量  $\geq 60\%$ 、粘度  $20\text{--}100\text{s}$  的慢裂快凝型乳化沥青, 油石比一般为  $6.5\text{--}8.5\%$ 。混合料拌和时间  $30\text{--}60\text{s}$ , 初凝时间  $\leq 120\text{min}$ , 开放交通时间  $\leq 4\text{h}$ 。施工采用专用摊铺机, 配备自动找平与精确计量系统, 摊铺速度  $3\text{--}5\text{m/min}$ , 厚度误差  $\pm 0.5\text{mm}$ 。施工环境要求温度  $\geq 10^\circ\text{C}$ 、湿度  $\leq 80\%$ , 禁止雨天作业。完工后养护  $\geq 24$  小时,  $7$  天后进行质量检测, 要求表面均匀无缺陷, BPN 抗滑值  $\geq 70$ , 厚度符合设计要求。

### 三、工后性能检测与效果评估

#### (一) 检测方法与指标

在检测方法 with 指标方面, 工程采用“三指标”体系进行综合评价。平整度、抗滑性能和裂缝状况分别通过激光平整度仪、摩擦—纹理双仪和智能图像系统进行检测, 要求  $\text{IRI} \leq 1.5\text{m/km}$ 、 $\text{BPN} \geq 70$ 、 $\text{MTD} \geq 0.8\text{mm}$ 、裂缝率  $\leq 3\%$ 。辅助检测还包括构造深度、车辙深度和渗水系数, 结果均符合设计要求, 表明路面在抗滑、平

整和防水等性能方面表现良好。

#### (二) 检测结果分析

经系统检测, 该工程各项指标显著提升: IRI 降至  $1.2\text{ m/km}$ , 改善  $62.5\%$ ; BPN 提高至  $75$ , 裂缝率降至  $2.1\%$ 。构造深度、车辙与渗水等辅助指标也优于规范。雷达与取芯检测进一步表明层间粘结完好、无脱空, 压实度达  $98.2\%$ , 厚度偏差控制在  $\pm 3\text{mm}$  内, 混合料均匀且空隙率为  $4.5\%$ , 沥青饱和度  $70\%$ , 整体施工质量较高。

#### (三) 长期性能预测

长期性能预测基于模型分析显示, 路面使用寿命可延长  $8\text{--}10$  年, 年均养护成本降低  $35\%$ , 全寿命周期成本节约  $42\%$ 。预计  $5$  年内 PQI 维持在  $90$  以上,  $8$  年内高于  $85$ 。即使在交通量增长  $10\%$  的情况下, 性能衰减仅增加  $5\%$ , 显示出较强适应性。经济分析表明, 预防性养护比传统方案节约总成本约  $800$  万元, 投入产出比为  $1:6.2$ 。

#### 结语

综上, 公路路面养护工程中的预防性养护技术通过精准诊断病害、科学设计维修方案以及严格把控施工技术, 在该工程实践中取得了显著成效。工后检测结果表明, 路面平整度、抗滑性能等关键指标大幅提升, 裂缝率大幅降低, 且层间粘结良好, 压实度等满足设计要求。长期性能预测显示, 该技术方案能有效延长路面使用寿命, 降低年均养护费用和全寿命周期成本, 具有较高的投入产出比和良好的适应性。

#### 参考文献

- [1] 牛娅军. 预防性公路养护技术在公路施工中的应用 [C]// 中国公路学会养护与管理分会第十四届学术年会论文集. 2025.
  - [2] 万鹏, 王建文. 公路路面养护工程预防性养护技术研究 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(08): 81-83.
  - [3] 李利. 某高速公路路况检测及病害处治与养护建议 [J]. 四川水泥, 2025(5).
  - [4] 刘敏, 瞿隆钰. 高速公路路面病害成因及养护施工技术 [J]. 云南水力发电, 2024, 40(S02): 32-34.
- 作者简介: 范楚锋, 1996 月 10 日, 男, 广东清远, 助理工程师, 本科, 研究方向: 公路沥青摊铺、水泥混凝土路面预防性养护。