

# 湿热地区城市道路深层病害快速修复技术研究

文 / 黄裕林 广州市道路事务中心

**摘要:** 本文针对广州等湿热地区城市道路深层病害, 结合同泰路等路段处治工程及相关文献, 分析道路深层病害的成因以及快速修复技术C50早强沥青混凝土特性及施工工艺。案例验证表明, 该技术可实现当日施工当日开放交通, 修复效果良好, 为湿热地区道路修复提供有效方案。

**关键词:** 城市道路; 病害诊断; 技术修复

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.066

## 引言

城市道路在高温高湿环境下长期承受重载交通, 沥青路面易出现结构性沉陷、深层网裂等病害。城市道路作为城市交通的重要基础设施, 其使用性能关系到城市交通的顺畅与安全。广州地处湿热地区, 常年高温多雨, 湿热气候加速沥青老化, 高温软化沥青层, 雨水渗透引发基层水损坏。一旦道路出现深层病害, 不仅会导致道路的使用寿命大幅缩短, 还会严重影响道路的平整度和承载能力。更为严重的是, 深层病害还可能引发交通安全隐患, 如车辆爆胎、失控等事故, 给居民的生命财产安全带来威胁。为了突破以上难题, 本文对湿热地区城市道路深层病害快速修复技术进行研究。

## 一、湿热地区城市道路深层病害类型与成因分析

### (一) 病害类型

#### 1. 基层唧泥与脱空

基层唧泥是在行车荷载作用下, 路面缝隙或裂缝处有泥浆挤出现象, 基层唧泥会造成基层材料的流失, 形成脱空区。广州一些老城区的道路, 如越秀区的一些主干道, 因建成时间长, 道路逐渐老化, 基层唧泥、脱空病害较多, 通过地质雷达检测, 发现部分路段基层脱空面积占病害路段面积的20%-30%。

#### 2. 路基沉陷

路基沉陷就是指路基表面在垂直方向上产生较大沉降, 在湿热地区, 雨水长时间浸泡, 使得路基土的强度变小, 用粉质土或者软土填筑的路基更容易出现沉陷, 临江大道就存在这种情况, 有些路段雨季之后, 出现了不同程度的路基沉陷, 临江大道从西到东方向, 路面破损长度有20米, 宽度为7米, 总面积是140平方米, 沉陷深度最深可达5-10厘米, 极大地破坏了道路的平整度, 影响了行车的舒适度。

#### 3. 深层裂缝

深层裂缝是指贯穿路面结构层直至基层甚至路基的裂缝。在湿热环境下, 路面材料受温度和湿度变化的影响, 产生胀缩变形, 加上交通荷载的反复作用, 容易引发深层裂缝。在大金钟路-白云大道南跨线桥等路段, 由于交通量大且结构受力复杂, 深层裂缝病害较为突出,

部分裂缝宽度可达5-10毫米, 如大金钟路南往北处, 路面破损范围为长10米×宽3.2米=32平方米, 其中存在多条贯穿性裂缝。

## (二) 成因分析

### 1. 气候因素

湿热地区高温多雨的气候是导致道路深层病害的原因之一, 高温加速道路材料老化, 降低了道路材料性能, 如沥青在高温下变软, 抗车辙性变差等。大量的雨水使路面结构层积水, 一方面雨水会冲刷基层材料, 产生基层唧泥、脱空; 另一方面雨水会渗透到路基中, 使路基土含水量增大, 抗剪强度降低, 发生路基沉陷。

### 2. 交通荷载

城市交通不断发展, 交通流量、车辆载重不断增大, 重型车的重复碾压给道路带来巨大的应力, 远远超过道路结构本身所能承受的应力, 以广州的物流园区周边道路为例, 由于大量大货车来回穿行, 该区域的道路病害发生率比其他路段要高出很多, 根据数据显示, 行车量大于10万辆/天的路段, 其发生深层病害的概率是行车量小于5万辆/天的路段的两到三倍。

### 3. 道路结构与材料

道路结构设计不合理或施工质量不过关会引发深层病害, 基层太薄, 材料强度不够, 影响车辆荷载传到基层上, 即引发基层损坏, 从材料选择看, 选择抗水性差的材料, 在湿热环境里, 材料容易被侵蚀掉, 早期修建的道路, 选用的质量较低的沥青和水泥, 导致道路使用寿命短, 深层病害问题越发严重。

## 二、快速修复技术分析

### (一) C50 钢纤维早强水泥混凝土材料特性

C50钢纤维早强水泥混凝土是本案例中采用的核心修复材料, 专门针对湿热地区城市道路深层病害快速修复需求而设计, 其特性如下:

#### 1. 高强度与早强性能

该混凝土配合比设计中, 钢纤维含量为60kg/m<sup>3</sup>, 采用600级钢纤维, 抗拉强度介于600-1000MPa之间, 长度为30-35mm, 外形为纵向扭曲且表面粗糙, 可显著提升混凝土的抗裂性能和韧性。同时, 配合早强剂使用,

能保证 1 小时抗压强度  $\geq 30\text{MPa}$ ，7 天强度  $\geq \text{C50}$  等级，满足快速开放交通的要求。在环境温度  $25^\circ\text{C}$  条件下，浇筑后 20-40 分钟即可开放交通，大幅缩短了养护时间。

## 2. 优良的抗水损害性能

水泥采用品质稳定的普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，碱含量不宜大于 0.60%，熟料中 C3A 含量不应大于 8.0%，可减少水泥水化过程中产生的膨胀反应。细骨料采用硬质洁净的天然中粗河砂或机制砂，细度模数为 2.6-3.2，含泥量  $\leq 2.0\%$ ，泥块含量  $\leq 0.5\%$ ；粗骨料采用坚硬耐久的碎石，粒径 5-20mm，连续级配，压碎指标  $\leq 20\%$ ，含泥量  $\leq 1.0\%$ ，这些措施有效提升了混凝土的密实度和抗渗性，适应湿热地区多雨的环境。

## 3. 施工适应性

该混凝土具有良好的和易性，可根据现场开挖情况调整基层厚度（22-24cm），与 4cm 厚细粒式改性沥青混凝土 AC-13C 和 6cm 厚中粒式改性沥青混凝土 AC-20C 形成良好的层间结合，沥青层横向搭接宽度不小于 20cm，纵向搭接长度不小于 50cm，保证了路面结构的整体性。

## （二）技术优势与创新点

### 1. 快速开放交通

相比传统修复技术，C50 钢纤维早强水泥混凝土的早强特性大幅缩短了施工周期。案例中各路段修复施工从进场围蔽到开放交通，总耗时控制在 14-18 小时内，如临江大道东往西 199 灯柱对出（154 平方米）的修复，有效减少了施工对城市交通的干扰。

### 2. 适应湿热环境

材料的抗水损害设计和施工工艺的防水措施，如基层采用密实性好的 C50 钢纤维混凝土，沥青层采用改性沥青，粘层油确保层间密封，有效阻止雨水渗入基层和路基，延缓了病害的复发。

### 3. 施工组织优化

采用半幅施工、分段作业的方式，结合交通疏导小组的现场指挥，如案例中“每段施工完立即清场，废料围蔽不过夜”的措施，最大限度降低了施工对交通的影响，保证了施工期间道路的基本畅通。

## 三、案例分析

### （一）项目概况

广州市同泰路、大金钟路、广州大道、临江大道、环岛路、滨江路等局部路段沥青路面处治工程，多条城市主干道，总面积  $1085.0\text{m}^2$ ，交通量大，受湿热气候影响，基层唧泥、脱空、裂缝、沉陷等深层病害普遍存在，环岛路多处路段破损  $40-44\text{m}^2$ ，临江大道部分路段破损  $140-175\text{m}^2$ ，严重影响行车安全舒适。

### （二）病害检测与评估

施工前使用地质雷达对全路段进行检测，确定病害位置、范围，并对病害区域进行钻孔取芯，对道路结构

层损坏情况进行分析。检测结果表明，病害路段集中在道路交叉口及公交站附近，交通荷载大，基层唧泥、脱空面积占病害路段面积的 35% 左右，路基沉陷深度 10-20cm。经检测确定 C50 钢纤维早强水泥混凝土基层 + 改性沥青面层。

## （三）修复施工过程

### 1. 病害区域围蔽

施工前，用地质雷达、探地钻等设备对道路病害处进行探测，找出病害的范围和深度，然后按照交通疏导的要求对施工区域进行围蔽，设置醒目的警告标志和交通疏导设施，保证施工期间的交通安全。围蔽的时间尽量选在交通流量少的时候，像晚上 23 点到第二天早上 5 点，围蔽时间大概要 1 个小时。

### 2. 施工准备

铣刨旧路面、路面清扫可采用清水冲洗或压风机扫缝除尘，确保路面干燥无杂物。

## （四）粘层油施工

粘层油采用沥青洒布车一次喷洒均匀，使用的喷嘴根据粘层油的种类和粘度选择并保证均匀喷洒，沥青洒布车喷洒不均匀时改用手工沥青洒布机喷洒。喷洒粘层油前清扫路面，遮挡防护路缘石及人工构造物避免污染，粘层油须洒布均匀，有花白遗漏应人工补洒，喷洒过量的立即撒布石屑或砂吸油。粘层油洒布后的养生时间要确保液体沥青中的稀释剂全部挥发，乳化沥青渗透且水分蒸发，然后尽早铺筑沥青面层，防止工程车辆损坏粘层。

## （五）混合料生产与运输

混合料生产前，要对拌和机的计量系统进行校准，检修机械传动和传送部分并润滑，检修除尘设备及更换耗件，根据生产计划和混合料类型调整及更换热料仓上的筛网，且必须保证有 2.5-3.0mm、5-6mm 和 10-11mm 各一片筛网 56。施工配合比调整需先在冷料仓取料做筛分试验，根据结果调整冷料上料比例及确定冷料上料器的转速、振幅及料门角度；再从热料仓取料做筛分试验，调整热料仓下料比例。混合料温度需控制在集料加热温度  $190^\circ\text{C} - 220^\circ\text{C}$ ，沥青加热温度  $160^\circ\text{C} - 165^\circ\text{C}$ ，混合料出厂温度  $170^\circ\text{C} - 185^\circ\text{C}$ 。

混合料运输采用自卸汽车，车厢底板和侧板需涂抹防粘剂，且车厢必须遮盖以防温度降低过快

## （六）摊铺和碾压

摊铺时，起步速度控制在  $1\text{m}/\text{min} - 2\text{m}/\text{min}$ ，正常情况下为  $3\text{m}/\text{min} - 4\text{m}/\text{min}$ ，供料不及时时可适当放慢。拌合站需连续生产，自卸运输车运输能力要满足摊铺需要。运输车需倒行至摊铺机前 10cm-30cm 处停车并挂空档，由摊铺机推着行驶，缓慢卸料，避免撞击摊铺机。运输车卸料过程中要加强指挥调度，空车及时开走，重车及时接卸。摊铺中若出现拥包，需立即停机倒回重新摊铺。

摊铺机在摊铺前或中途停机 30 分钟以上时，需对熨平板进行加热处理。同时，配备专人检测混合料摊铺温度，作为初压、复压、终压的依据。严禁人工平整新铺热料，禁止在新铺未压实的热料上行走，使用旋转压实仪压实 100 次确定施工配合比下的体积性质和最佳油量。

碾压需在摊铺后立即进行，优先采用静压法。初压从外侧向中心碾压，碾速稳定均匀，采用轻型钢筒式压路机碾压 1-2 遍，初压后检查平整度、路拱，必要时修整。复压紧跟初压连续进行，优先采用重型轮胎压路机碾压至要求压实度。终压选用双轮钢筒式压路机，碾压至无明显轮迹。井盖周围用小型器具碾压密实。

#### (七) 开放交通

施工完成后，需在沥青混合料冷却到 50℃ 以下开放交通，在环境温度 25℃ 条件下，20-40 分钟可开放交通。

### 四、应用价值

C50 钢纤维早强水泥混凝土在广州城市道路修复项目中的应用，展现出显著的技术、经济与社会价值，为湿热地区同类道路病害治理提供了可借鉴的方案。



图 1 (C50 钢纤维早强水泥混凝土适用范围)

表 1 材料性能与传统修复材料对比

对比指标	C50 钢纤维早强水泥混凝土	传统普通 C50 混凝土	传统沥青再生料
1 小时抗压强度	≥ 30MPa	≤ 10MPa	- (无抗压强度要求)
开放交通时间 (25℃)	20-40 分钟	7 天以上	8-12 小时
1 年病害复发率	0% (广州项目数据)	45% (同类路段数据)	30% (同类路段数据)
抗水渗透系数 (cm/s)	≤ 1×10 <sup>-11</sup>	≤ 5×10 <sup>-10</sup>	≤ 2×10 <sup>-9</sup>
路面弯沉值 (0.01mm)	≤ 20 (修复 1 周后)	≤ 25 (修复 1 周后)	≤ 30 (修复 1 周后)
单次修复成本 (元 / m <sup>2</sup> )	380-420	320-350	280-310
生命周期 (年)	≥ 8 (预测)	3-5	4-6

#### 结语

未来，针对湿热地区城市道路深层病害的研究和治理，可从多方面深入展开。在材料研发领域，应致力于开发更适应湿热环境的高性能道路材料通过材料性能的提升，从根本上增强道路的耐久性和抗病害能力。在养护管理方面，应建立智能化、信息化的监测系统，利用先进的传感器技术、无损检测技术等，实时监测道路的健康状况，及时发现病害隐患，并采取有效的治理措施。通过多管齐下，综合施策，有望有效解决湿热地区城市道路深层病害问题，推动城市道路建设迈向更高水平。

技术价值体现在材料性能与施工工艺的协同适配性上：该材料的早强特性（25℃ 环境下 20-40 分钟开放交通）与湿热地区“快速修复、减少雨水侵蚀”的需求高度契合，相比传统普通混凝土（养护需 7 天以上），大幅缩短了修复周期；其抗水损害设计（低碱水泥、优质骨料）有效抵御广州多雨气候对道路基层的渗透破坏，1 年监测数据显示修复路段无唧泥、脱空复发，路面结构稳定性显著优于传统修复材料。

经济价值通过“缩短工期 + 降低维护成本”双重路径实现：项目中临江大道 154 m<sup>2</sup> 路段修复总耗时仅 16 小时，较传统工艺（需封闭交通 3 天）减少交通管制时间 97%，间接降低因交通拥堵产生的社会经济损失；从长期成本看，该材料修复路段 1 年内无病害复发，而采用普通混凝土修复的同类路段 6 个月内即出现裂缝，需二次维护，单次维护成本约为初始修复成本的 40%，C50 钢纤维早强水泥混凝土的长期经济性优势显著。

社会价值聚焦于“交通民生保障”：项目采用半幅施工、夜间围蔽（23:00-次日 5:00）的组织方式，结合“每段施工完工立即清场”措施，最大限度减少对市民日常出行的干扰。以广州大道（日均车流量 8 万辆）修复为例，施工期间未出现大面积交通拥堵，市民通勤满意度调查显示，85% 受访者表示“未明显感受到施工对出行的影响”，远高于传统道路施工的满意度（约 50%）。

#### 参考文献

- [1] 陆晴青. 城市沥青路面深层病害快速养护技术 [J]. 路桥隧道, 2018: 127-129.
  - [2] 佟春阳. 公路养护工程中沥青路面修复技术的应用研究 [J]. 交通世界, 2023(21): 100-102.
  - [3] 唐贡辉, 高天. 公路养护中的材料选择与路面修复技术 [J]. 运输经理世界, 2023: 126-128.
  - [4] 熊国升, 许佳伟. 山西省省道沥青路面修复性养护要点分析 [J]. 工程技术研究, 2025(09): 162-164.
- 作者简介：黄裕林（1992.05-），男，汉族，硕士，广东广州人，职称：经济师，研究方向：城市道路管理及养护。