

# 沥青路面坑槽冷补材料性能及施工工艺分析

秦 新

梁平区交通建设服务中心 重庆 405299

**【摘 要】**：结合沥青路面坑槽快速修补、全天候施工及长期服役的工程需求，文章针对坑槽冷补材料的核心性能、配合比设计及施工质控体系展开研究。分析冷补沥青混合料的路用性能、强度生成机理及相关影响因子，对比两类界面粘结材料的适配效果，完成原材料选型、矿料级配优化及最佳沥青用量确定。规范坑槽预处理与摊铺压实施工工艺，构建完整的施工质控及养护体系。工程应用证明，改良冷补材料拥有良好的高低温性能与水稳定性，可适配各类气候施工场景，修补路段耐久性良好，减少道路养护成本，可为高等级公路坑槽快速修补提供有效的技术支撑。

**【关键词】**：沥青路面；坑槽修补；冷补材料；配合比设计；施工工艺

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.041

## 引言

沥青路面长期受行车荷载、温湿度变化、雨水侵蚀作用，易出现坑槽病害，降低道路通行舒适度，引发路面开裂、渗水等次生病害，影响路网通行安全与结构寿命。传统热拌沥青修补工艺受温度条件制约，需封闭交通且施工耗时较长，难以适配高速路网快速保通的作业需求。冷补沥青材料可常温施工、全天候使用且便于储备，常用于路面零星病害的快速处置。本文探究冷补材料的性能机理，优化配合比参数，健全施工与质控体系，改善路面坑槽修补效果与长期服役能力。

## 1 沥青路面坑槽冷补材料核心性能分析

### 1.1 冷补沥青混合料基本路用性能

冷补沥青混合料以 70#A 级石油沥青为基质，搭配 SBS、PE 复合改性剂及柴油与特种溶剂油稀释体系，兼顾常温施工与长期路用性能<sup>[1]</sup>。混合料初始马歇尔稳定度超 5.0kN，浸水残留稳定度高于 75%，满足通车早期强度与抗水损要求。常温存储 60d 强度衰减低于 5%，疏松与压实性能状态稳定，袋装密封可储存一年以上，适配零星修补与批量储备工况。溶剂挥发并经行车压实成型后，动稳定度达 3000 次/mm，低温弯曲极限应变超  $4000 \times 10^{-6}$ ，高低温性能等同热拌沥青混合料。

### 1.2 冷补材料强度形成机理及影响因素

冷补混合料强度由沥青粘结力与矿料嵌挤力协同构成，存储阶段的稀释剂降低沥青粘度，使矿料凭借自由沥青呈松散联结状态。摊铺压实后，行车荷载与环境温度促使稀释剂持续挥发，沥青粘度逐步回升，界面粘附不断增强，矿料嵌挤锁结形成骨架结构，整体强度随时间稳步增长。30℃ 工况下材料 7d 可达到稳定强度，低温环境需 15~20d 完成强度增长。矿料级配影响材料初始强度，LB-10 型骨架密实级配初始稳定度较连续级配提升 45% 以上。沥青用量具备最优数值，5.2% 油石比

可实现最大初始稳定度，过量自由沥青会削弱矿料嵌挤作用。环境温度与压实条件影响强度成型，气温升高可加快溶剂挥发、缩短成型周期，增加击实次数与压实功可大幅提升混合料稳定度。

### 1.3 界面粘接材料综合性能表现

界面粘接材料涵盖经济型 SBS 改性沥青与高性能环氧改性沥青两类。SBS 改性沥青粘接材料剪切强度 0.49MPa，低温柔性达 -15℃ 无裂纹，固体含量 84.8%，80℃ 环境不发生流淌，适经常规坑槽修补，成本可控且施工便捷。环氧改性沥青与环氧煤焦油改性沥青粘接性能突出，25℃ 剪切强度分别为 1.88MPa、1.76MPa，是普通沥青粘层的七倍以上，与水泥混凝土、钢板粘接强度超 0.9MPa，破坏位置集中于沥青混凝土本体，界面无脱粘问题。

## 2 沥青路面坑槽冷补材料配合比设计

### 2.1 原材料选型及技术指标要求

70#A 级道路石油沥青为试验原料，针入度 60~80 (0.1mm)，软化点  $\geq 46^\circ\text{C}$ ，15℃ 延度  $> 100\text{cm}$ ，60℃ 动力粘度  $\geq 180\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，可保障混合料成型后的高温稳定性。玄武岩碎石用作粗集料，压碎值  $\leq 28\%$ ，洛杉矶磨耗损失  $\leq 30\%$ ，粘附性  $\geq 4$  级，细长扁平颗粒含量  $< 15\%$ 。洁净连续级配石屑作为细集料，石灰石矿粉用作填料，亲水系数  $< 1$ ，0.075mm 以下颗粒占比  $\geq 90\%$ ，提升沥青胶浆粘结能力。0# 车用柴油搭配特种溶剂油组成稀释体系，冬季施工掺量 15%~20%、夏季 10%~15%，以此调控材料和易性，兼顾松散状态与固化成型速率。SBS 线型 YH-791 掺量 8%，辅以增粘树脂、增塑剂及纳米补强剂，体系固含量  $\geq 30\%$ 、25℃ 粘度  $\geq 1.5\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，补齐稀释沥青的路用性能短板。

## 2.2 矿料级配设计与优化方案

冷补混合料选用 LB-10 型骨架密实间断级配, 9.5mm 筛孔通过率 96%-100%, 4.75mm 筛孔通过率 58%-71%, 0.075mm 筛孔通过率 0-5%。粗集料嵌挤形成骨架结构, 细集料填充内部空隙, 兼顾初始强度并预留溶剂挥发通道<sup>[2]</sup>。相较于常规矿粉级配, 该级配 10%-15% 的矿粉用量可提升结构稳定与疏松性能, 适配南方多雨地区抗水损施工条件。结合水洗筛分试验与曲线拟合结果, 各类集料与矿粉配比定为 33:33:33:1, 合成级配贴合最大密度标准, 3%-5% 的空隙率可保障压实密实度, 减少空隙过大产生的路面水损害问题。

## 2.3 最佳沥青用量确定与配比优化

结合马歇尔试验与经验公式确定混合料最佳沥青用量, 整合稳定度、密度与空隙率指标测算得  $OAC_1$  为 4.6%, 指标区间中值  $OAC_2$  为 4.5%, 确定 LB-10 型混合料最佳油石比为 4.6%。通过公式计算沥青初始用量, 经多项性能检验, 该配比集料裹覆均匀, 无花白料与泛油现象, 初始稳定度 6.23kN、残留稳定度 83.2%, 成型动稳定度 5520 次/mm, 满足高等级公路修补标准。配比可随气温灵活调整, 10-20℃ 采用 12% 稀释剂与 8% 添加剂掺量, 0-10℃ 稀释剂掺量上调至 18%, 保障低温施工和易性, 适配各类气候施工条件。

## 3 沥青路面坑槽冷补施工工艺与质量控制

### 3.1 坑槽预处理施工工艺

坑槽预处理执行“切割-清理-干燥-界面处理”工序, 采用切缝机对病害区域矩形切割, 边缘保持垂直, 处理范围较破损区域外扩 5cm, 切割深度抵达坚实基层, 深度超 5cm 时进行分层处理。高压吹风机清除槽内松散物料与粉尘碎屑, 保持槽

内洁净无浮灰与软弱夹层, 潮湿坑槽经热风烘干, 含水率控制在 8% 以内。槽面涂刷环氧改性沥青粘接剂, 用量维持 1.2-1.5kg/m<sup>2</sup>, 涂层薄匀无淤积。低温应急修补选用 SBS 改性沥青粘接剂, 用量 1.3-1.5kg/m<sup>2</sup>, 静置 5~10min 后填入混合料。

### 3.2 冷补材料摊铺压实工艺

摊铺前检查混合料, 无结块、离析即可施工。坑槽深度 5cm 以内一次性摊铺, 超 5cm 分层铺筑, 单层厚度 3-4cm, 保障压实密实度。人工摊铺找平, 铺筑面高出原路面 1-2cm, 预留压实沉降量<sup>[3]</sup>。压实遵循边缘至中心、先轻后重方式, 小型坑槽采用平板夯、冲击夯, 大型坑槽使用小型压路机, 静压两遍、振压三遍, 压实度不低于 96%。

### 3.3 施工质量控制与后期养护

施工实行全流程质量管控, 原材料进场检测关键指标并逐批开展马歇尔试验。施工严控工序参数, 通过钻芯、拉拔试验核验压实度与界面粘接强度, 粘接强度  $\geq 0.3\text{MPa}$  为合格。养护 24h 内管控重车行驶工况, 常态化巡查修复病害隐患, 多雨地区施工后及时防雨防护。

## 4 结语

本文结合系统试验与工程应用, 探明冷补材料性能优势与强度形成机理, 优化得到适配性优良的 LB-10 型混合料配合比, 确定不同气温下的材料配比与施工方案。同时明确环氧、SBS 粘接材料的适用场景, 建立原材料、施工至养护的全过程质控体系。工程实践表明, 该冷补技术可有效改善常规修补渗水、松散、开裂等病害, 施工简便、成本更低、耐久性良好, 可实现公路全天候坑槽修补, 具备较高推广价值与经济效益。

## 参考文献:

- [1] 唐宏宇.市政道路沥青路面坑槽冷补施工质量的影响因素及提升措施[J].四川水泥,2024,(8):189-191.
- [2] 徐松,徐康义,王叶飞,等.沥青路面坑槽修补材料特性及评价标准[J].南昌大学学报(工科版),2024,46(1):69-75.
- [3] 吴海兵,田新伟,姜志国,等.沥青路面坑槽冷补材料研究进展[J].广东化工,2023,50(3):108-109+144.