

改性沥青混凝土路面施工技术应用及质量控制研究

毛永超

郑州路桥建设投资集团有限公司 河南 郑州 450001

摘要：改性沥青混凝土路面因其优异的高温稳定性、低温抗裂性及抗疲劳性能，已成为高等级公路和重载交通路面的主流结构形式。然而，其施工工艺复杂，温度敏感性高，材料特性对拌和、摊铺、碾压等环节的工艺参数极为敏感，质量控制难度显著高于普通沥青混合料。本文围绕改性沥青混凝土路面的施工技术体系，从材料改性机理与路用性能出发，系统分析配合比设计要点、混合料生产运输、摊铺碾压工艺及接缝处理等关键环节的技术逻辑与操作约束。在此基础上，构建涵盖原材料检验、施工温度管理、压实度控制及平整度保障的全过程质量控制框架，并针对离析、压实不足、接缝缺陷等常见质量问题提出预防性策略。研究表明，改性沥青路面的施工质量取决于温度精准控制、碾压时机把握及工序衔接的协同性，需建立动态反馈机制以实现技术有效应用。

关键词：改性沥青混凝土；路面施工；配合比设计；碾压工艺；质量控制

引言

随着交通荷载重型化和渠化交通加剧，普通沥青路面因高温车辙、低温开裂及水损害等病害频发，难以满足日益增长的服役性能要求。改性沥青通过掺加聚合物（如 SBS、PE、EVA）或橡胶粉等改性剂，显著改善基体沥青的黏弹性范围和温度敏感性，使得改性沥青混凝土路面在极端气候和重载条件下仍能保持良好路用性能。然而，改性沥青的黏度大、软化点高，对施工温度窗口要求严苛，混合料的可工作性随时间衰减迅速，任何环节的偏差均可能导致路面早期病害。实践中，施工方往往重视材料采购而忽视工艺匹配，或沿用普通沥青的施工经验，从而造成改性剂效能未能充分发挥。因此，亟需从技术应用角度系统梳理改性沥青混凝土路面施工的特殊要求，并建立针对性的质量控制策略。本文立足于施工工艺链条，从材料科学和工艺控制理论层面，探讨改性沥青路面施工技术的核心要义和质量保障路径，以期在施工管理和技术交底提供参考。

1 改性沥青混凝土的材料特性与结构性能

1.1 改性机理及主要改性剂类型

改性沥青的本质是通过物理共混或化学反应，在沥青中形成聚合物网络或交联结构，从而改善其黏弹响应。SBS（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物）是应用最广泛的改性剂，其在沥青中溶胀后形成三维网状结构，赋予沥青优异的弹性和延展性，高温下不易软化，低温下不易脆裂^[1]。橡胶粉改性利用废旧轮胎胶粉中的天然橡胶和碳黑成分，与沥青发生脱硫和交联反应，提高黏

度和韧性，同时兼具环保效益。PE 和 EVA 改性剂则侧重于提高抗车辙能力，但低温性能改善有限。不同改性剂对应不同的制备工艺和存储稳定性要求，如 SBS 改性沥青需高速剪切发育，且储存时间不宜过长以防离析。

1.2 改性沥青混合料的性能优势与设计原则

相比于普通沥青混合料，改性沥青混合料的动稳定度可提高数倍，低温弯曲应变显著增大，疲劳寿命延长。这些优势源自改性后沥青的复数模量增大和相位角减小，使其在高温时能抵抗流动变形，低温时能松弛温度应力。然而，性能提升的同时带来设计复杂性：马歇尔设计法中，改性沥青的黏度影响击实效果，需适当调整击实温度和次数；配合比设计应兼顾矿料级配、油石比和改性剂剂量，常用 SMA（沥青玛蹄脂碎石）或 AC 结构，骨架嵌挤型级配更能发挥改性沥青的黏结优势。设计时需通过旋转压实试验确定最佳油石比，并检验析漏、飞散等指标，确保混合料在运输和摊铺过程中保持均匀稳定。

2 施工技术关键环节分析

2.1 原材料检验与配合比优化

施工前必须对改性沥青、集料、矿粉及纤维稳定剂进行严格检验，改性沥青需检测针入度、软化点、延度、弹性恢复及离析试验等指标，确保其符合规范要求。集料应洁净、坚硬，针片状含量和压碎值须达标，粗集料与改性沥青的黏附性需通过水煮法检验。配合比设计阶段，除满足马歇尔体积指标外，还应进行性能验证（如车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔残留稳定

度等),并根据现场材料变异性预留调整空间。值得注意的是,改性沥青的最佳油石比往往高于普通沥青,但过高油石比可能引发析漏和泛油,需综合平衡。

2.2 混合料拌和生产的要点

拌和是决定混合料均匀性的关键。改性沥青混合料的拌和温度应基于沥青的黏温曲线确定,一般集料加热温度控制在 190~200℃,沥青加热温度 170~180℃,混合料出料温度保持在 175~185℃(具体视改性剂类型调整,SBS 类可稍低,橡胶类需更高)。出料温度过高(超过 195℃)会导致沥青老化,过低(低于 165℃)则黏度大,裹覆不均^[2]。拌和周期应适当延长至 55~65s,确保纤维或抗剥落剂均匀分布。生产中应每 2 小时从热料仓取样进行筛分,检测级配波动,并采用抽提法或燃烧法测定油石比,偏差超出规定时及时调整冷料比例。

2.3 运输过程中的保温与防离析

改性沥青混合料的运输车车厢应涂刷隔离剂(如油水混合物),但不得过量积存。装料时采用“前、后、中”三次移动装车,减少卸料落差造成的粗细料离析。车顶必须覆盖双层帆布或专用保温棉被,必要时加装隔热板;运输时间不宜超过 1 小时,若遇大雨或低温天气,须增加覆盖并缩短等待时间。到达现场后应检测每车温度,低于摊铺最低要求(一般 160℃)的混合料禁止使用。此外,运输车辆数量应匹配摊铺速度,确保连续作业,避免因等待导致摊铺机频繁停机,否则料温波动将引发温度离析。

2.4 摊铺工艺与初始密实度控制

摊铺机应提前预热熨平板至 100℃以上,并调整熨平板仰角、拱度及夯锤行程,以获得均匀的初始密实度(通常要求达 85%以上)。摊铺速度宜控制在 2~3m/min,匀速行进,不得随意变速或停顿;螺旋布料器应保持稳定转速,料位高度控制在螺旋轴线以上 2/3 处,以防止二次离析^[3]。对于宽度超过 10m 的路面,宜采用两台摊铺机梯队作业,前后距离不超过 10m,搭接宽度 5~10cm,纵向热接缝处需保证搭接部位混合料温度不低于 150℃。摊铺过程中,需用铝合金直尺或连续式平整度仪跟踪检测,发现凹凸及时调整。

2.5 碾压组合与压实温度窗口

碾压是最终成型的关键工序,其目标是在混合料冷却至有效压实温度下限之前完成足够遍数。初压应在摊铺后立即进行,采用双钢轮振动压路机(静压或低幅振动),温度不低于 150℃,速度控制在 2~3km/h,碾压遍数 1~2 遍。复压紧接初压,采用重型

轮胎压路机(自重≥25t)或双钢轮振动压路机(高幅高频),温度不低于 130℃,速度 3~5km/h,遍数 4~6 遍,使混合料达到最大密实度。终压消除轮迹,采用双钢轮压路机静压,终了温度不低于 110℃。碾压段长度控制在 30~50m,压路机往返时应重叠 1/3 轮宽,且驱动轮应面向摊铺方向,防止推移。碾压过程中,钢轮可适量喷洒雾化水,但水量应严格控制,避免喷水过多降低表面温度或影响层间黏结。

3 全过程质量控制体系与核心指标监测

3.1 原材料的常态检验与过程抽检

除进场检验外,施工过程中应每日或每班次对改性沥青的针入度、软化点进行快速检测,确保存贮期间未发生劣化。集料应每日检查级配含泥量,矿粉检查含水量。拌和楼需每 2 小时进行热料筛分,并将结果与生产配合比进行比对,当关键筛孔(4.75mm、2.36mm、0.075mm)通过率偏差超过 ±5%时须停产调整。油石比可采用燃烧炉法快速测定,偏差控制在 ±0.3%以内。

3.2 温度监控链的全覆盖

建立从拌和出料至碾压终了的全流程温度监测体系。在出料口、运输车到场、摊铺机受料斗、熨平板后、初压前、复压前、终压前等节点使用红外测温仪或插入式温度计测量并记录。绘制温度衰减曲线,判断混合料在特定环境条件下的有效作业时间。若遇大风或低温天气,应缩小碾压段长度,并增加压路机台数,确保在温度下限前完成压实。温度数据应纳入施工日志,作为质量评定的原始依据。

3.3 压实度与空隙率的动态评定

压实度是决定路面耐久性的核心指标。现场宜采用无核密度仪实时测定密度,快速反馈压实质量,指导压路机手调整振幅或遍数,但最终以钻芯取样马歇尔密度为标准。要求芯样压实度不低于马歇尔标准密度的 98%,或最大理论密度的 93%~94%。空隙率应控制在设计值的 ±1% 范围内^[4]。若发现局部压实度不足,且混合料仍有温度(高于 110℃),应立即补压;若温度已降至有效范围以下,则须铣刨重铺,严禁覆盖填补。

3.4 平整度、厚度与构造深度的管控

平整度采用连续式平整度仪或 3m 直尺每 200m 检测一处,要求标准差控制在 1.2mm 以内。厚度通过钻芯量测,允许偏差为设计厚度的 ±5%。构造深度采用铺砂法检测,确保不小于 0.55mm,以保证抗滑性。若构造深度不足,可能源于油石比偏大或碾压过密,需调整配合比或控制碾压速度。同时,对渗水系数进行检测,要求不

大于 120ml/min, 以防止水损害。

4 常见质量缺陷的成因机理与综合防治

4.1 离析的分类、成因与遏制措施

离析分为级配离析和温度离析两类。级配离析发生于装料、卸料和摊铺过程中, 粗集料因惯性大而滚动边缘, 细料集中于中部。防治措施包括: 控制出料仓门开度, 减少落差; 运输车中设置分隔板; 摊铺机螺旋布料器加装反向叶片; 严禁摊铺机收斗过频过深。温度离析主要由运输保温不良和长时间等待引起, 可通过加强覆盖、优化运输调度、采用沥青混合料转运车二次搅拌来减轻。离析严重区域压实后空隙率大, 应挖除重铺。

4.2 压实度不足与过压的判别及对策

压实度不足往往由碾压温度过低、碾压遍数不够或压路机激振力不足导致, 需严格遵循试验段确定的参数, 并在作业面设置专人计遍数。过压则表现为集料破碎、表面泛油或细料上浮, 应避免在同一位置过度碾压, 特别是轮胎压路机需保持胎压一致。应采用压实度与空隙率双指标控制, 当达到设计值后立即停止碾压, 防止过度。

4.3 接缝薄弱部位的处理强化

接缝是路面的薄弱环节, 处理不当易形成早期裂缝。横向接缝采用垂直切缝, 接触面涂抹热改性沥青, 并用热混合料预热接缝边缘, 摊铺后先以钢轮横向碾压(从冷段向热段过渡), 再纵向碾压。纵向热接缝在梯队作业时保持搭接宽度一致, 碾压时跨缝压实; 冷接缝则需切齐并涂油, 碾压时采用斜压法。所有接缝均需用 3m 直尺检查平整度, 超标处及时打磨或填补。

4.4 早期病害预防与开放交通条件

施工完成后, 必须待路面温度自然降至 50℃以下方可开放交通, 防止高温下重载压痕。初期应限制超重车辆, 并设置临时交通标志引导。同时, 及时进行上封层或下封层施工, 减少雨水渗入。施工期间应保护好已铺面层, 防止油料、柴油滴落腐蚀。

5 智能化监控与质量信息化管理

随着物联网和人工智能的发展, 施工质量管控正向数字化、智能化转型。拌和站安装数据采集系统, 实

时上传每盘混合料的材料用量、温度、拌和时间, 并与设计值比对, 超差即报警。摊铺机和压路机配备高精度 GPS 定位、振动传感器和温度传感器, 可实时追踪摊铺速度、碾压轨迹、振动频率和压实遍数, 形成覆盖全路段的施工质量数字地图。基于大数据分析, 可识别质量薄弱区域, 及时采取补救措施。同时, 检测数据自动上传至管理平台, 生成质量评定报表, 实现远程监理和质量追溯。然而, 智能化工具不能完全替代人工检验, 仍需以现场钻芯、构造深度等传统方法校核, 两者互补, 形成“实时监测—快速预警—现场复核—闭环整改”的质控体系。信息化建设还应注重数据安全与标准化, 确保不同厂商设备的数据兼容, 为后续养护管理提供可靠数据库。

结束语

改性沥青混凝土路面施工是一项对温度、时间和机械匹配要求极为苛刻的系统工程。本文从材料改性机理出发, 系统论述了配合比设计、拌和储运、摊铺碾压、接缝处理及缺陷防治各环节的技术要领, 特别强调了温度管理的全链条覆盖和碾压工艺的动态调整是保证施工质量的两大支柱。研究认为, 优质改性沥青材料只是良好路面的前提, 只有通过精细化的施工组织、严格的质量检验以及智能化的实时监控, 才能将材料的理论性能转化为工程实际性能。施工企业应高度重视试验段的验证作用, 将工艺参数固化为标准化作业流程, 同时利用数字化手段提升质量管控的透明度和反馈速度。面对未来更复杂的交通荷载和气候条件, 改性沥青路面技术仍需持续优化材料体系与施工工艺的适配性, 并探索温拌改性技术、再生技术等绿色施工方法, 以减少能耗与排放。

参考文献

- [1] 张登良, 陈华鑫. SBS 改性沥青流变性能及施工温度域研究 [J]. 中国公路学报, 2021, 34(6): 45-54.
- [2] 黄晓明, 赵永利. 改性沥青混合料配合比优化设计方法 [J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(4): 67-76.
- [3] 李立寒, 孙大权. 橡胶粉改性沥青混合料性能与施工温度控制 [J]. 建筑材料学报, 2022, 25(5): 1010-1018.
- [4] 王选仓, 石志军. 沥青路面施工温度离析对压实度影响分析 [J]. 公路交通科技, 2023, 40(2): 33-41.