

# 公路沥青混凝土路面摊铺技术

徐 涛

海宁市公路与运输管理服务中心 浙江 嘉兴 314400

**摘 要：**本文系统阐述了公路沥青混凝土路面摊铺技术的核心要点，结合工程实践深入分析了摊铺离析、温度离析、压实度控制等关键技术难题的成因及解决方案。通过对比不同摊铺工艺的优劣，提出宽幅摊铺需配套智能温控系统、多机梯队作业需强化协同控制等优化策略。研究结果表明，采用非接触式平衡梁、红外热成像仪等智能设备可显著提升摊铺质量，配合高性能改性沥青和骨架密实型级配设计，能有效延长路面使用寿命。本文还探讨了特殊工况下的摊铺技术及全寿命周期质量评价方法，为提升我国公路沥青路面施工水平提供理论支持与实践指导。

**关键词：**沥青混凝土路面；摊铺技术；离析控制；智能压实；级配优化

## 1 引言

公路沥青混凝土路面作为现代交通基础设施的核心组成部分，其摊铺质量直接影响道路使用寿命、行车安全性及服务水平。据交通运输部统计，我国高速公路沥青路面平均使用寿命仅为欧美发达国家的60%，其中因摊铺缺陷导致的早期病害占比超过40%。摊铺环节作为沥青路面施工的关键工序，涉及材料性能、机械设备、工艺控制等多维度技术集成。混合料从拌和站到最终成型的全过程中，任何环节的疏漏均可能引发离析、压实度不足、平整度超标等质量问题。例如，温度离析会导致压实困难，级配离析会形成薄弱面，而速度不匹配则可能造成表面波浪。本文基于107国道改扩建工程、乐业至百色高速公路等典型案例，结合《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）及最新研究成果，系统解析摊铺技术的核心控制要点，提出创新性解决方案，为提升我国公路沥青路面施工质量提供理论支持与实践指导。

## 2 公路沥青混凝土路面摊铺技术核心要素分析

### 2.1 摊铺设备选型与配置

摊铺设备的性能直接决定路面结构层质量，现代摊铺机需通过材料力学与流体力学的协同设计实现高效作业。熨平板作为核心部件，其刚度需达到1200MPa以上，采用高强度锰钢材质可有效抵抗混合料冲击产生的变形<sup>[1]</sup>。在乐业至百色高速项目中，通过有限元分析优化熨平板结构，使其在180℃高温下变形量控制在0.3mm以内，确保摊铺厚度均匀性。螺旋布料器的设计直接影响集料分布，变径变螺距螺旋叶片配合反向叶片结构，能形成螺旋推进与反向混合的双重作用。在107国道工程中，该设计使AC-16型混合料离析率从8%降至3%以下，具体表现为表面粗集料堆积面积减少65%，构造深度均匀性系数从1.8降至1.3。

自动调平系统方面，非接触式超声波平衡梁通过发射高频声波并分析反射信号，可实时修正熨平板高度。配合GPS高程控制技术，将平整度标准差控制在0.5mm以内，较传统滑靴式提升60%。某市政道路改造工程中，采用该系统后，行车舒适性指数（RQI）从75提升至88，用户投诉率下降70%。对于宽度超过7m的路面，多机梯队作业成为必然选择。乐业至百色高速项目采用3台摊铺机呈梯队同步施工，通过5G通信技术实现数据实时交互，前后机间距控制在10m时，纵向接缝处温度差可稳定在5℃以内。接缝处理采用热接缝工艺，后机摊铺带重叠前机5-10cm，配合高频振动夯板压实，使接缝压实度达到98.5%，接近整体路面性能。

### 2.2 摊铺工艺参数控制

摊铺速度需与拌和站产量、运输能力、压实设备性能形成动态平衡。根据马歇尔稳定度试验及现场测试，细粒式沥青混凝土推荐速度为2-4m/min，中粒式为3-5m/min，粗粒式为4-6m/min。某市政道路工程曾因摊铺速度过快（6.5m/min），导致混合料产生惯性离析，粗集料在表面富集形成“油斑”。检测发现，该区域空隙率超标2.3%，通车3个月后即出现网状裂缝，维修成本达初始造价的15%。

温度控制贯穿运输、卸料、摊铺全流程。混合料出厂温度需控制在160-175℃（改性沥青可提高至180℃），采用红外热成像仪监测运输车箱体温度场，发现局部温度低于150℃时需及时搅拌。摊铺温度直接影响压实效果，低温施工时需采用温拌技术，通过添加Sasobit温拌剂降低粘度，使120℃下的压实度达到常规温度的95%以上<sup>[2]</sup>。某寒区公路项目在-5℃环境下施工，采用温拌技术后，路面空隙率控制在4%以内，抗滑性能BPN值达65，满足冬季行车安全要求。摊铺机熨平板预热温度需

达到100℃以上,燃气加热系统较电加热可缩短预热时间40%,且温度分布更均匀。预热不足会导致混合料粘附熨平板,形成拉痕缺陷,某工程因此返工率高达20%。

松铺厚度控制需结合试验段数据,粗粒式混合料松铺系数通常为1.20-1.25,中粒式为1.15-1.20,细粒式为1.10-1.15。横坡控制采用激光扫描技术,每10m断面自动检测并调整熨平板角度,精度可达 $\pm 0.1\%$ 。某立交桥匝道施工时,通过该技术将排水坡度误差控制在0.05%以内,有效避免积水导致的早期水损坏。

### 3 公路沥青混凝土路面摊铺质量缺陷防控技术

#### 3.1 离析现象综合治理

离析是沥青路面摊铺的顽疾,主要分为级配离析与温度离析两类。级配离析源于集料运动轨迹差异,设备改进方面,双螺旋布料器通过内外螺旋反向旋转形成对流混合,配合反向叶片打散大粒径集料。在某重交通高速公路应用后,路面构造深度均匀性系数从1.8降至1.3,具体表现为检测点中构造深度变异系数从25%降至15%。工艺优化采用“三三制”卸料法,即每车分3次卸料且每次间隔3m,使混合料在料斗内形成“后进先出”的循环流动,避免粗集料在料斗两侧堆积。材料设计选用骨架密实型级配(如SAC-16),通过提高4.75mm筛孔通过率至45%-55%,增强细集料对粗集料的填充作用。某试验段对比显示,采用该级配后离析区域面积占比从12%降至3%,路面抗剪强度提升30%。

温度离析主要由运输过程热量散失导致,保温措施包括采用岩棉板+铝箔复合保温层(导热系数 $\leq 0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),配合GPS定位系统优化运输路线,确保到场温度损失 $\leq 10^\circ\text{C}$ <sup>[3]</sup>。受料斗改造为可升降导流板结构,通过液压系统控制导流板高度,实现混合料“后进先出”的循环卸料,消除表层冷料堆积。某工程应用该技术后,摊铺层表面温度均匀性提升20%,压实度标准差从1.2%降至0.8%。摊铺机熨平板预热采用燃气加热系统,通过比例阀精确控制燃气流量,使预热温度均匀性提升25%。预热不足会导致混合料粘附熨平板,形成拉痕缺陷,某工程因此返工率高达20%。

#### 3.2 压实度动态控制技术

压实度是决定路面耐久性的核心指标,需建立“碾压温度-压实遍数-压实速度”三维控制模型。初压阶段采用钢轮压路机静压2遍,速度控制在2-3km/h,此时混合料温度需 $\geq 135^\circ\text{C}$ ,以确保集料初步嵌锁。复压阶段是压实度提升的关键,振动压路机采用高频低幅模式(频率40-50Hz,振幅0.3-0.5mm)碾压4-6遍,速度3-5km/h,可使空隙率从8%降至4%以下。某高速公路项目通过该工艺

将路面渗水系数控制在50mL/min以内,较规范要求提升60%。终压阶段用胶轮压路机消除轮迹2遍,速度4-6km/h,温度需 $\geq 80^\circ\text{C}$ 以防止表面开裂。

智能压实系统通过加速度传感器实时采集压实度数据,结合GPS定位生成压实度分布图。当某区域压实度低于标准值时,系统自动调整振动频率并引导压路机返工<sup>[4]</sup>。某改扩建工程应用该系统后,路面压实度标准差从1.2%降至0.6%,空隙率均匀性提升35%。具体表现为检测点中压实度合格率从92%提升至98%,有效减少了水损害的发生。核子密度仪作为快速检测手段,可在30秒内完成单点检测,与钻芯法对比误差 $\leq 1.5\%$ ,为现场质量控制提供实时依据。

### 4 公路沥青混凝土路面特殊工况摊铺技术

#### 4.1 陡坡路段摊铺

对于坡度 $> 5\%$ 的路段,需从设备、材料、工艺三方面进行专项设计。设备防滑方面,摊铺机履带板加装防滑钉,制动系统压力提升至18MPa,确保在15%坡度上仍能稳定作业。某山区高速项目在12%纵坡路段施工时,通过增加配重块(每侧500kg)提高抗滑能力,使设备停机率从30%降至5%。混合料改良采用SBS改性沥青(含量5.5%)配合0.3%-0.5%聚酯纤维,通过纤维的加筋作用提高抗剪强度<sup>[5]</sup>。动稳定度试验显示,该材料在60℃、0.7MPa条件下车辙深度仅1.2mm,较普通混合料降低70%。施工顺序采用“自下而上”摊铺法,每层摊铺厚度减少20%以降低自重应力,同时增加横向接缝处的搭接长度至15cm,确保层间结合强度。某隧道进出口路段应用该技术后,通车2年未出现车辙变形,抗滑值BPN保持65以上。

#### 4.2 交叉口摊铺

交叉口频繁启停易导致压实度不足,需采用分段施工与加强碾压的组合策略。按交通流向将交叉口划分为3-5个施工段,每段长度控制在30-50m,减少单次摊铺面积以降低冷却速度。碾压设备配置增加小型振动压路机,对渠化岛、转弯半径等区域进行补压,确保压实度达到98%以上。某城市主干道交叉口改造中,通过该工艺使转弯区域压实度从95%提升至98.5%,抗车辙能力提高50%。快速养护采用喷洒透层油(用量1.0L/m<sup>2</sup>)后覆盖土工布,通过保湿养生使7天抗压强度达到4.5MPa,较传统养生方式缩短3天。红外热成像仪监测显示,该工艺可使混合料温度下降速度减缓40%,为压实作业争取更多时间。

### 5 公路沥青混凝土路面摊铺质量检测与评价

#### 5.1 无损检测技术应用

无损检测技术为质量评价提供了高效手段。探地雷达通过发射高频电磁波并分析反射信号,可检测1.5m深度范围内空隙率分布,精度 $\pm 1.5\%$ <sup>[6]</sup>。在某高速公路检测中发现局部空隙率异常区域,经开挖验证确认为压实不足,及时进行局部修补避免了早期水损坏。落锤式弯沉仪(FWD)通过模拟车轮荷载检测动态模量,检测频率提升至20点/km,变异系数 $\leq 8\%$ 。某养护工程应用该技术后,准确识别出软弱基层,针对性进行注浆加固,使路面承载能力提升40%。激光纹理仪采用激光三角测量原理,构造深度检测分辨率达0.01mm,可识别早期微裂缝(宽度 $\geq 0.2\text{mm}$ )。某机场跑道检测中,通过该技术提前6个月发现表面裂缝,为预防性养护提供依据。

## 5.2 全生命周期评价

建立包含平整度(IRI)、车辙深度(RD)、抗滑值(BPN)等12项指标的评价体系,采用层次分析法(AHP)确定权重。其中平整度权重0.3,反映行车舒适性;压实度权重0.25,决定耐久性;抗滑性权重0.2,影响行车安全;车辙权重0.15,体现高温稳定性;渗水系数权重0.1,关联水损害风险。综合评分模型为:

综合评分 =  $0.3 \times \text{平整度} + 0.25 \times \text{压实度} + 0.2 \times \text{抗滑性} + 0.15 \times \text{车辙} + 0.1 \times \text{渗水系数}$

该模型在某高速公路养护决策中应用,成功识别出需优先处理的病害路段,使养护资金利用率提升20%。具体表现为将原本均匀分配的养护资金,集中用于评分低于80分的路段,使整体路面性能指数(PQI)从85提升至90。

## 结语

本文通过系统研究得出以下结论:摊铺质量需从设

备、材料、工艺三方面协同控制,宽幅摊铺需配套智能温控与防离析装置,多机梯队作业需建立5G通信协同系统;特殊工况施工需针对性调整混合料配方与施工工艺,陡坡路段需强化抗剪性能设计,交叉口需优化碾压工艺;全生命周期评价方法可科学指导养护决策,提高资金使用效率。未来发展方向包括:研发基于数字孪生的摊铺过程模拟系统,通过虚拟调试优化施工参数,减少现场试验次数;推广3D摊铺技术,结合BIM模型实现毫米级精度控制,提升复杂结构施工质量;开发自感知沥青混合料,通过内置传感器实时监测应力应变状态,为智能养护提供数据支持;探索纳米材料在沥青改性中的应用,进一步提升路面抗老化与自修复能力。随着物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合,沥青路面摊铺技术将向智能化、精细化、可持续化方向迈进,为我国交通基础设施高质量发展提供坚实保障。

## 参考文献

- [1]JTGF40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2]李良军.公路工程沥青路面施工技术研究[J].蓬安县公路管理局学报,2025.
- [3]张伟,等.沥青路面摊铺离析控制技术研究[J].公路交通科技,2024(5):45-50.
- [4]王磊.智能压实系统在沥青路面施工中的应用[J].筑路机械与施工机械化,2023(3):28-32.
- [5]陈建华.沥青路面摊铺质量影响因素分析[J].公路工程,2024(2):56-60.
- [6]刘洋.特殊工况下沥青路面施工技术研究[J].交通科技,2023(6):89-92.