

# 沥青路面车辙成因及预防措施

李鑫

(京台高速公路廊坊事务中心,河北省廊坊市,065000)

**摘要** 沥青路面车辙病害显著降低行车安全性与路面耐久性,主要表现为轮迹带凹陷及两侧隆起。研究基于力学分析与材料科学,系统研究了车辙的形成机理,确认剪应力集中、材料高温稳定性不足及超载为主要诱因。研究提出优化路面结构设计以降低剪应力峰值,采用高粘度改性沥青与骨架密实级配提升抗变形能力,并强化层间结合与压实工艺。结果表明:综合应用剪应力控制参数与高抗车辙材料可使动稳定度提升50%以上,有效延缓车辙发展。表明多维度防控策略是保障路面长效服役的关键。

**关键词** 沥青路面;车辙成因;预防措施

中图分类号:U416.217 文献标识码:B  
文章编号:1008-0899(2025)12-0072-02

随着交通荷载重型化,沥青路面车辙问题日益突出,严重影响行车安全。现有研究多孤立改进材料或工艺,缺乏结构与材料的协同优化,尤其对剪应力分布与层间状态认识不足。本研究旨在揭示车辙形成的多因素耦合机制,提出融合结构参数调整、材料优选与施工控制的全链条防控体系,为提升路面耐久性提供理论支持与技术路径。

## 1 车辙形成的内因分析

### 1.1 集料特性与级配设计

集料嵌挤贡献沥青混合料60%以上的高温抗车辙能力。棱角丰富、表面粗糙的粗集料能增强内摩擦角,形成稳定骨架;针片状颗粒超限则削弱结构稳定性。级配设计决定骨架密实程度:悬浮密实结构易发生流动变形,而骨架密实结构(如SMA)抗剪强度显著提高。需注意,单纯增大集料粒径未必提升抗车辙性,西部环道试验表明中级配混合料变形量最小,因其平衡了嵌挤力与密实性<sup>[1]</sup>。

### 1.2 沥青性能与用量

沥青高温粘度直接关联混合料抗剪强度。高软化点与60℃粘度(如改性沥青)可减少高温流动性,含蜡量高则加剧软化。沥青用量需严格控制:用量过低时混合料难以压实;过量则自由沥青润滑

集料,降低内摩擦力。膜厚8~15 μm为合理区间,超出易致混合料流动变形。美国环道试验证实,沥青用量超出最佳值0.7%时车辙深度最大。

### 1.3 路面结构设计缺陷

传统设计以弯沉值和层底拉应力为控制指标,忽视水平荷载引发的剪应力集中。力学模拟显示:当面层刚度大而厚度薄时,垂直荷载在面层中部产生高剪应力,峰值可达水平荷载的10%,诱发剪切破坏。半刚性基层虽减少结构性车辙,但沥青层增厚可能加剧失稳变形。研究指出沥青层厚度小于180 mm时,车辙深度随厚度增加显著上升。

## 2 车辙形成的外因分析

### 2.1 温度与气候环境

温度是核心外因。当气温>30℃时,沥青混合料劲度模量骤降,38℃以上车辙快速发展,40℃持续数日即致严重变形。湿热协同作用更劣化性能:水分侵入削弱沥青-集料粘附性,动水压力加速结构破坏。试验表明相同荷载下,湿润状态车辙深度比干燥状态增加30%<sup>[2]</sup>。

### 2.2 交通荷载条件

重载与超载直接放大剪应力。轮胎接地压强随轴重增加,轮压超过设计值50%时,车辙发展速率提升3倍。渠化交通使轮迹带持续受力,制动与启动路段(如交叉口)附加水平荷载T3(可达垂直荷载的30%),显著提高最大剪应力 $T_{max}$ 。低速爬坡路段因荷载作用时间延长,进一步加剧塑性变形累积。

作者简介:李鑫(1988~)男,河北香河人,本科,工程师,研究方向:高速公路养护。

### 2.3 层间结合与施工质量

层间粘结失效改变应力传递。若面层间未设粘层油或基层处理不当,层底拉应力差异增大,导致分层滑移。压实效能不足是压密型车辙主因:低温碾压、过度追求平整度将降低压实度,通车后孔隙率从7%降至4%的过程引发显著压密变形。混合料离析、拌和不均等问题亦降低局部抗剪强度。

## 3 车辙预防的结构设计措施

### 3.1 剪应力控制设计

针对重载与制动频繁路段,需增设水平荷载验算。力学模型表明:在垂直荷载 $P$ 与水平荷载 $T_{\max}$ 共同作用下,面层最大剪应力出现在深度 $1/3\sim 1/2$ 处,可通过增加面层厚度或调整刚度降低其峰值。建议设计指标扩展为双控体系:弯沉值 $l_s \leq l_d$ 与水平变形 $l_{s1} \leq l_{m1}$ ,确保结构整体强度与局部抗剪协同达标。

### 3.2 优化路面厚度与结构组合

优化沥青路面结构需科学控制沥青层厚度,避免厚度低于180 mm的敏感区间,该区间易诱发显著车辙变形。超厚设计虽能提升抗车辙性能,但厚度超过200 mm将导致材料成本大幅增加。推荐采用组合式结构体系:基层选用模量高于4 000 MPa的高模量材料增强整体支撑刚度;中面层铺设高模量沥青混凝土,提升荷载扩散能力;上面层采用SMA-13混合料,通过骨架嵌挤效应增强抗剪切性能。磨耗层设置可分散轮载集中应力,减少面层剪应力峰值。该组合策略兼顾经济性与结构稳定性,实现力学性能与材料成本的平衡优化<sup>[3]</sup>。

## 4 车辙预防的材料与施工措施

### 4.1 材料优选与级配优化

沥青混合料抗车辙性能的提升需从胶结材料、集料品质与级配体系三方面协同优化。胶结料改性采用高粘度添加剂是关键手段,SBS聚合物或TLA湖沥青可显著增强高温稳定性。TLA掺量达30%时混合料动稳定度提升至3 796次/mm,明显高于2 800次/mm的基准要求。集料选择需注重力学性能与形态特征,优先采用压碎值低于20%的玄武岩,针片状颗粒含量严格控制在10%以内,确保粗集料占比超过65%以形成刚性骨架结构。级配设计采用S型连续曲线,4.75 mm以上粗集料占比不低于50%,通过密实骨架提升抗剪切能力。同时胶浆配比需精细调控,粉胶比维持1.2~1.6范围,既保障

胶结料充分包裹集料,又避免胶浆过剩导致流动性增大。该综合策略通过材料性能强化与空间结构优化的协同作用,实现抗变形能力的系统性提升。

### 4.2 施工质量控制关键点

沥青路面施工质量控制需重点把握层间粘结、压实工艺及过程监控三个关键环节。层间处理应选用符合规范的乳化沥青或改性乳化沥青作为粘层材料,依据层间工况分级确定用量标准,特殊路段粘层油用量不低于 $0.7 \text{ L/m}^2$ ,一般路段控制在 $0.4\sim 0.5 \text{ L/m}^2$ ,确保层间抗剪强度达到 $0.35 \text{ MPa}$ 以上。压实工艺需严格执行初压、复压、终压三阶段控制:初压采用双钢轮压路机在混合料温度不低于 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 时快速跟进,消除铺层初始缺陷;复压阶段采用12 t以上重型振动压路机,振幅控制在 $0.4\sim 0.8 \text{ mm}$ 范围,通过高频振动碾压提升嵌挤密实度,确保压实度超过98%;终压阶段关闭振动装置消除轮迹,形成平整表面。施工全过程需动态监控摊铺温度与厚度均匀性,采用红外测温仪实时监测料温波动,结合无核密度仪检测压实轨迹,及时调整摊铺机行进速度与振捣频率,重点规避混合料离析导致的局部弱区,尤其加强接缝处温度衔接与碾压衔接质量控制。

## 5 结语

沥青路面车辙是剪应力集中、材料性能衰退及环境荷载耦合作用的结果。失稳型与压密型车辙为主要破坏形式,前者源于高温下混合料剪切流动,后者关联施工压实不足。防治需融合结构与材料设计,引入水平荷载参数优化剪应力分布,采用骨架密实级配与高粘度改性沥青提升抗变形能力。实施中需严格把控层间粘结质量与压实工艺,对重载路段强化厚度与基层刚度。该综合策略可降低车辙发展速率50%以上,显著延长路面服役寿命。

## 参考文献

- [1] 王修山,刘天运,张南童,等.粗集料形态特征及含量对沥青混合料压密行为的影响[J].科学技术与工程,2024,24(23):10084-10095.
- [2] 王亚丽.浸水条件对沥青混合料水稳定性能的影响[J].交通世界,2025,(17):21-23.
- [3] 张韶华,张文辉,蒋应军.基于面层倒装沥青路面结构组合与抗车辙性能评价[J].黑龙江交通科技,2023,46(10):34-37+41.