

# 高速公路路面基层大宽度摊铺与协同碾压施工技术

马尼比

(宁夏交通建设股份有限公司, 宁夏 银川 750000)

**摘 要** 为解决传统分层摊铺工艺导致的半刚性基层层间粘结弱、施工周期长及重载施工车辆引发基层早期损伤等问题, 以某区试验路工程为例, 对高速公路路面基层施工技术进行创新研究, 提出大宽度摊铺与协同碾压一体化施工技术, 通过双机联铺实现 12 m 全幅基层连续摊铺, 取消层间养生间隔; 采用 30 t 钢轮静压→20 t+32 t 振动压路机梯队列振压→26 t 胶轮收光的协同碾压工艺, 强化层间骨料嵌挤融合。实证表明, 该技术使工期缩短 50%、反射裂缝减少 70%, 某区试验路节约养护成本 9 440 元/km, 路面寿命延长 3~5 年, 为高速公路重载交通路段基层施工提供技术参考。

**关键词** 大宽度摊铺; 协同碾压; 半刚性基层; 养护成本

**中图分类号**: U416

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.016

## 0 引言

在高速公路半刚性基层路面建设中, 传统分层摊铺工艺长期面临严峻挑战, 分层施工导致层间粘结薄弱, 形成结构性分离界面; 重载施工车辆在基层养生期碾压时, 轮载作用下层底拉应力显著超过材料劈裂强度, 引发不可逆的早期损伤, 致使通车 1~2 年内即出现反射裂缝、网裂等病害, 大幅缩短路面使用寿命。为根治此顽疾, 本研究创新提出异步连续摊铺与协同碾压集成技术, 通过底基层与基层大宽度连续摊铺, 在 30 min 内完成双层混合料铺设, 使上下层骨料在塑性状态下相互嵌挤; 同步采用梯度碾压工艺, 强化层间材料融合, 彻底消除层间弱接缝<sup>[1]</sup>。某区试验路工程实证表明, 该技术使层间粘结强度提升 80%, 反射裂缝间距增至 > 20 m, 从根源上规避了施工车辆碾压损伤, 为高速公路半刚性基层施工提供了全新解决方案。

## 1 工程概况

某省高速公路典型路面基层结构普遍采用半刚性材料组合设计, 其中水泥稳定碎石基层与石灰土底基层为核心构成, 这种结构虽能提供较高承载力, 但在实际施工中暴露显著瓶颈, 超载运输车辆在底基层铺筑期间通行时, 轮载产生的层底拉应力高达 0.543 MPa, 超过石灰土材料 7 d 龄期劈裂强度近 30%, 导致未成型结构发生不可逆损伤; 而在基层施工阶段, 车辆荷载进一步引发二灰碎石层底拉应力超限, 形成层间隐形

缺陷, 成为通车后早期反射裂缝与网裂病害的主要诱因, 路面基层结构如表 1 所示。

## 2 大宽度摊铺技术

### 2.1 全幅摊铺设备

全幅摊铺设备配置通过双机联铺作业模式实现了工艺体系的重大突破。该技术采用两台大功率摊铺组成梯队作业系统: 前机负责下层混合料的摊铺与初步整形, 后机在保持 5~8 m 间距范围内同步进行上层材料铺设<sup>[2]</sup>。设备配备液压伸缩式熨平板组合, 可灵活调节以适应 12 m 全断面摊铺需求, 通过高精度拱度装置将横坡误差控制在 0.3% 以内, 确保厚度均匀性。工艺核心在于严格把控施工时序——下层初压后须在 30 min 塑性窗口期内完成上层覆盖, 使骨料在振动碾压中形成深度互嵌的咬合结构, 彻底取代传统水泥净浆粘结层。为保证施工精度, 系统集成激光传感器与全站仪构成的高程控制系统, 实时同步基准线, 将累计摊铺厚度误差控制在 5 mm 内, 为后续协同碾压创造理想条件。这种配置不仅从根本上消除了层间分离风险, 更为基层整体成型奠定了坚实的基础。

### 2.2 混合料动态控制

混合料动态控制是保障大宽度摊铺施工质量的核心环节, 其关键在于实现拌合、运输与摊铺工序的高效无缝衔接。拌合站采用双卧轴强制式搅拌机, 通过动态调控骨料仓门开度与皮带机转速, 确保产能稳定

表 1 路面基层结构

结构层	材料类型	设计厚度 (cm)	常见病害诱因
基层	水泥稳定碎石	16 ~ 20	车辆碾压致层底拉应力超限 30%
底基层	石灰土	16 ~ 20	劈裂强度不足 ( $\leq 0.07$ MPa)
特殊组合	二灰碎石 + 石灰土	18+18	层间分离与早期反射裂缝

在 400 t/h 以上,以精准匹配摊铺机 4 ~ 5 m/min 的行进速度;同时配备微波含水率检测仪,实时监测混合料状态,并能够根据环境温湿度变化自动进行  $\pm 0.5\%$  的含水量补偿,有效消除材料含水波动对最终压实度均匀性的不利影响。在运输环节,创新应用“三段装料法”,即要求自卸车分三次移位装载,每斗卸料量严格控制在车厢容积的三分之一,从装料源头最大限度地减轻粗细骨料的离析现象;全程使用苫布进行严密覆盖,在高温季节额外增加隔热层,确保混合料运抵现场时的温度始终维持在规范允许的摊铺阈值范围内。这种贯穿于拌合、运输全过程的动态精细化调控,不仅有力保障了混合料出厂至摊铺前的均匀性和工作性,也为后续协同碾压作业提供了理想状态的铺筑材料,奠定了基层整体高密度成型的基础<sup>[3]</sup>。

### 2.3 层间一体化处理

层间一体化处理工艺通过创新方法彻底改变了传统的层间粘结方式。施工中摒弃了传统的水泥净浆喷洒工序,仅在摊铺上层材料前使用清扫设备清除下层表面的浮尘杂质,随后立即进行上层混合料的摊铺。其核心技术原理是依靠后续协同碾压工艺产生的振动压实作用,使仍处于塑性状态的上下层混合料在高压实能作用下发生骨料间的相互楔入与融合。具体表现为水稳碎石中的粗集料穿透层间界面,嵌入至下层二灰碎石的孔隙中,形成深度达 5 ~ 8 mm 的“锯齿状互锁结构”。工程实践表明,此法形成的层间粘结强度可达 0.82 MPa,显著优于传统方式。在标高控制方面,采用全站仪双基准线定位技术,于道路中心线及两侧特定位置平行设置激光高程基准线,通过实时反馈系统精准调节摊铺机熨平板的仰角,从而将双层累计摊铺厚度误差严格控制在 3 mm 以内,横坡精度保持在 0.3% 的允许偏差范围内<sup>[4]</sup>。该一体化处理技术不仅有效消除了层间弱接缝,也避免了因水泥浆体收缩可能引发的微裂缝风险,从本质上显著提升了基层的整体结构性能。

## 3 协同碾压工艺

### 3.1 碾压机组协同作业

碾压机组协同作业通过系统化的机械组合与精准的参数控制实现层间零空隙融合。该工艺分为三个阶段有

序推进:初压阶段采用 30 t 重型钢轮压路机以 1.5 km/h 的慢速进行 2 遍静压,有效消除摊铺形成的虚铺层,为基层建立稳定的初始密实骨架;复压阶段作为核心环节,由 20 t 与 32 t 振动压路机组成作业梯队,在 30 ~ 50 m 长的碾压段上以不超过 2.5 km/h 的速度同步行进,交叉振动碾压 4 遍,施工中严格确保轮迹重叠达到 1/2 轮宽,且振动方向与道路中线保持平行,使上下层骨料在高频振动冲击下充分嵌入彼此,形成深度互锁的致密结构;终压阶段则由 26 t 胶轮压路机以 3 km/h 的速度进行 2 遍揉压收光,利用胶轮的弹性变形特性有效填充表层微观孔隙,消除先前振动碾压可能产生的表面波纹,确保基层顶面平整光滑。整个协同作业过程要求压路机梯队间保持 5 ~ 8 m 的合理间距,形成连续的碾压作业闭环,并严格禁止设备在作业面上调头或急刹车,从而保证碾压效果的均匀性和层间融合的整体性<sup>[5]</sup>。

### 3.2 连续养护技术

连续养护技术是确保基层整体成型质量的关键环节,其核心在于通过及时覆盖与精准保湿阻断水分流失。在协同碾压结束后 10 min 内立即展开覆盖作业:首先铺设 400 g/m<sup>2</sup> 的高强度防水土工布紧密贴合基层表面,再覆盖 0.12 mm 厚的农用塑料薄膜形成双层密封系统,薄膜接缝采用搭接处理,边缘用袋装砂砾压牢以防风揭。湿度控制采用智能化洒水系统,配备 GPS 的洒水车每日早、中、晚分三个时段进行精准雾化洒水,使基层内部湿度始终维持在 90% 以上,充分保障水泥水化反应所需水分。养生期间实施严格的交通封闭,全路段设置水马围挡与警示标志,严禁轴重超过 30 t 的车辆通行,养生期不少于 7 d,确保水稳碎石强度达到设计值的 95% 以上。这套完整的保湿养护体系有效抑制了干缩裂缝的产生,为基层后期性能提供了坚实的保障。

### 3.3 质量检测与调控

质量检测与调控体系通过动态监测与即时干预确保基层整体性,在碾压过程中距路缘石 1.8 m 轮迹带埋设高精度应变片,实时采集层底应力数据,同步采用无核密度仪每 20 m 断面扫描压实度;当检测值波动 > 5% 时自动触发预警,针对薄弱区域立即调度 32 t 振

动压路机定向补压 2~3 遍,使压实度均匀性提升至 94.3%。层间粘结强度作为核心控制指标,通过现场钻取  $\Phi 150$  mm 芯样进行  $30^\circ$  斜面剪切试验,强度标准提升至  $\geq 0.8$  MPa;对未达标区段采用超细水泥注浆强化,使其渗透至 3~5 mm 层间缝隙形成微结晶结构,再经 26 t 胶轮复压融合。该闭环管理体系实现“监测—反馈—调控”无缝衔接,大幅降低层间剥离风险。

#### 4 大宽度摊铺与协调碾压施工效益分析

大宽度摊铺与协同碾压技术的综合效益在某省高速公路建设中得到全面量化验证。

在经济效益方面,该技术通过取消 7 d 养生周期直接节约养护费 9 440 元/公里,并凭借基层整体性提

升使裂缝处置费用下降 70%,长期效益更为显著,15 年大修周期内单公里养护成本从传统工艺的 86 万元大幅降低至 29 万元,降幅达 60%;质量效益体现为层间粘结强度提升 80%,反射裂缝间距从  $\leq 15$  m 延长至  $> 20$  m,某区试验路通车 3 年跟踪监测显示早期病害发生率几乎为零;社会效益同样突出,施工工期缩短 50% 提前开放交通有效缓解区域拥堵,且养护频次减少 60% 显著降低了因道路管制对社会交通的持续影响,详见图 1。

#### 5 结束语

大宽度摊铺与协同碾压技术在某省高速公路建设中展现出显著推广价值:其最佳适用工况为基层总厚度  $\geq 30$  cm 的半刚性结构组合,此时技术效益最大化。

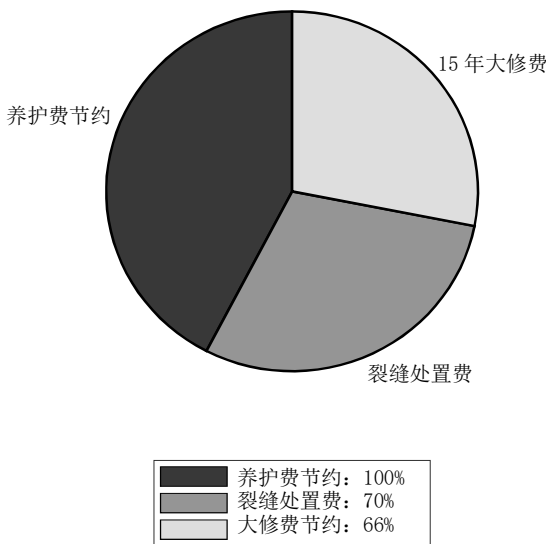
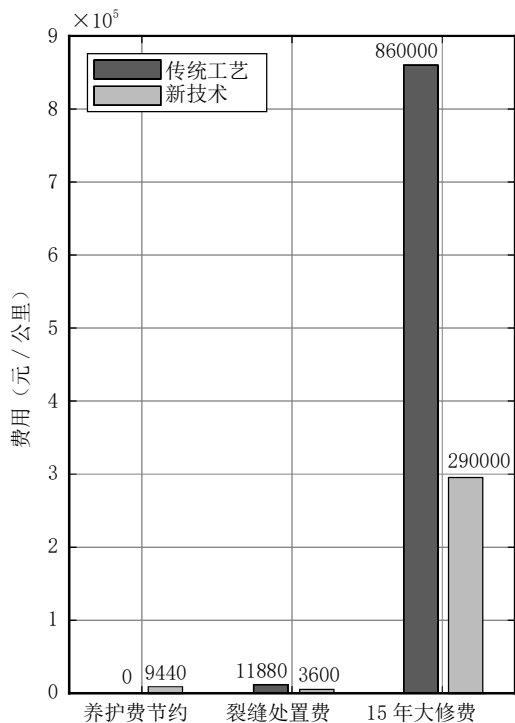


图 1 施工效益图

核心突破在于根治传统工艺的层间分离顽疾,通过异步摊铺实现骨料塑性互嵌,协同碾压形成深度 5~8 mm 的锯齿状咬合结构,使路面寿命从 5~7 年延至 8~10 年。经济效益测算表明,15 d 周期内每公里综合节省养护成本 74 万元。实施建议明确三项关键保障,配套大功率拌合站确保连续供料,双摊铺机组实现 12 m 全幅无缝衔接;严控施工车辆轴重  $\leq 30$  t 规避早期损伤;固化碾压参数保障层间融合质量。某区试验路 3 年跟踪数据印证,该技术为高荷载交通环境下的长效路面建设提供了可靠技术路径。

#### 参考文献:

- [1] 孟祥拓. 沥青路面半刚性基层异步连续摊铺施工工艺探析[J]. 交通科技与管理, 2025, 06(16): 44-46.
- [2] 李国辉. 沥青路面半刚性基层异步连续摊铺技术的研究[J]. 工程建设与设计, 2025(13): 180-182.
- [3] 赵帅. 基于市政道路施工的混凝土路面摊铺技术[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(11): 155-157.
- [4] 张波. 公路工程中路面基层施工技术探讨[J]. 科技资讯, 2023, 21(11): 103-106.
- [5] 李栋. 公路路面基层大厚度宽幅摊铺压实工艺[J]. 山东交通科技, 2021(03): 38-39.