

# 公路改扩建项目中路基路面设计与施工关键技术研究

王 晓 谢 泽

中建八局轨道交通建设有限公司 浙江 绍兴 312030

**摘 要：**公路改扩建路基路面设计需以差异沉降控制为核心，通过软土复合加固、新旧路基协同拼接、路面结构优化等关键技术提升整体稳定性。公路改扩建项目的核心在于通过精细化设计（如软土加固、排水系统）与智能化施工（动态监测、机械化工艺）解决新旧路基差异沉降、路面病害等难题，同时兼顾环境保护与交通保通需求。未来可进一步探索BIM技术集成应用，提升全生命周期管理效率。

**关键词：**公路工程；改扩建；软土路基；路基排水；路面病害处治

针对软土路基含水量高、承载能力差的特征制定了清淤换填未筛分碎石处理、塑料排水板结合堆载预压、轻质土结合管桩等软土路基加固方案及相应设计施工控制要点。针对本项目保通需求高、新旧路基沉降差异控制要求高的特点，提出了分幅抬高、分期填筑方式。其中旧路基开挖采用错层式开挖方法，有效缓解了新旧路基拼接位置的应力集中现象，确保了加宽路基与旧路基的良好衔接<sup>[1]</sup>。

## 1 公路改扩建项目路基路面设计关键技术

1.1 路基设计关键技术。软土路基综合处理技术。采用清淤换填未筛分碎石、塑料排水板结合堆载预压、轻质土与管桩组合等复合加固方案，提升软土地基承载力和稳定性。施工中需分层填筑并控制压实度，结合动态监测技术实时调整填筑速率，避免差异沉降。新旧路基拼接优化技术。优先采用“分幅抬高+分期填筑”工艺，结合错层式开挖旧路基，减少拼接部位的应力集中。通过土工格栅、注浆锚杆增强结合面强度，并采用预压法和动态填筑速率控制差异沉降<sup>[2]</sup>。路基排水系统设计。水源保护区采用“双边沟+径流处理系统”，设置沉淀池和过滤层分离污染物，平衡环保与交通需求。对渗水病害区域采用透水材料换填，结合盲沟、渗井等设施降低地下水位。

1.2 路面设计关键技术。路面结构组合优化。旧水泥路面采用碎石化技术或局部换板修复，确保基层平整度；加铺层选用高模量沥青混合料提升抗裂性。针对不同交通等级路段，优化沥青层厚度与级配设计，增强耐久性和抗车辙能力。路面病害精准诊断与修复。通过三维雷达检测和弯沉测试定位裂缝、坑槽等病害成因，制定分层修复方案（如铣刨重铺、注浆加固）。结合动态弯沉数据优化补强范围，减少修复盲区。

1.3 施工工艺与质量控制技术。机械化施工创新。采

用智能摊铺设备控制摊铺厚度和平整度，双钢轮压路机“静压+振压”组合提升级配碎石层压实均匀性。引入无人化碾压技术，通过实时反馈系统调整碾压参数。全过程质量监控。建立材料进场检测机制，严控碎石粒径、含泥量等指标；施工中动态监测压实度、平整度等核心参数。实施“样板段先行”制度，通过首段验收统一技术标准并推广至全线。

1.4 环保与保通协同管理。绿色施工技术应用。采用低噪音设备、防尘围挡减少环境影响，回收旧路面材料用于新路基填筑，实现资源循环利用。动态交通组织策略。分时段导行与临时便道结合，保障施工期道路通行能力；利用信息化平台实时监控交通流量并优化导行方案。

## 2 公路改扩建项目路基排水设计要点

2.1 排水系统设计原则。“防排截堵结合”原则。设计需综合地面排水与地下排水设施，通过截水沟、边沟等拦截地表径流，结合盲沟、渗井降低地下水位，形成多层级排水体系。排水设施布局需与地形、水文条件协调，优先利用自然水系，减少对生态环境的干扰。

2.2 地面排水系统设计。关键设施与布局。边沟：沿路基两侧设置纵向排水沟，收集路面、路肩及边坡积水，纵坡坡度宜控制在0.3%-3%，并采用浆砌片石或混凝土加固防冲刷。截水沟：在路堑边坡顶或坡面设置，拦截山坡径流，防止水流冲刷路基，沟底纵坡坡度应 $\geq 0.5\%$ 。急流槽与跌水：针对陡坡路段，通过阶梯式跌水或急流槽降低水流速度，减少冲刷；跌水台阶高度宜 $\leq 4\text{m}$ ，采用混凝土或浆砌结构。特殊区域处理。水源保护区：采用“双边沟+径流处理系统”，设置沉淀池和过滤层分离污染物，避免直接排放污染水体。高填方路段：增设拦水带或蒸发池，防止路表水集中下渗导致路基软化。

2.3 地下排水系统设计。渗水病害防治技术。对旧路基渗水区域采用透水性材料（如砂砾、碎石）换填，

结合盲沟、渗井等设施疏导地下水，降低路基内部水位。地下排水沟管纵坡坡度应  $\geq 0.5\%$ ，出水口间距  $\leq 300\text{m}$ ，并设置检查井便于维护。新旧路基衔接排水。加宽路段采用透水材料填充新旧路基结合部，设置横向盲沟或排水管衔接既有排水系统，防止界面处积水渗透。结合土工合成材料（如土工布）增强排水层连续性，避免差异沉降引发排水失效。

**2.4 材料与工艺控制。**透水材料选择。优先采用级配碎石、砂砾等透水性材料作为排水层，含泥量  $\leq 3\%$ ，粒径级配需满足渗透系数要求。排水管材选用高强度PVC或钢筋混凝土管，抗压强度需符合地下水位波动荷载要求。施工质量控制。严格分层填筑透水材料，压实度  $\geq 95\%$ ；排水沟槽开挖后需及时防护，避免塌方堵塞。采用三维雷达检测地下水位变化，动态调整盲沟埋深及排水管坡度。

**2.5 监测与维护。**动态监测技术。施工期通过渗压计、流量计实时监测排水设施效能，重点区域加密布设监测点。运营期定期检查边沟淤积、排水管堵塞情况，结合无人机巡检评估整体排水系统状态。维护策略。雨季前清理边沟、截水沟淤积物，修复破损沟壁；对渗井、盲沟进行高压水冲洗疏通。建立排水设施数字化档案，记录维护周期与病害处理方案，提升长期管理效率。

### 3 公路改扩建项目施工关键技术研究

**3.1 软土地基加固技术。**复合加固工艺。针对软土承载力不足问题，采用塑料排水板联合堆载预压、轻质土结合管桩等复合方案，提升地基稳定性。施工中分层填筑未筛分碎石并控制压实度  $\geq 95\%$ ，结合动态沉降监测调整填筑速率，避免差异沉降。动态监测与反馈。通过渗压计、三维雷达实时监测软土区域变形数据，动态优化加固参数，确保施工质量可控。

**3.2 新旧路基拼接施工控制。**拼接工艺优化。优先采用“分幅抬高+错层式开挖”工艺，减少新旧路基结合面应力集中；通过土工格栅、注浆锚杆增强界面强度。对高填方路段采用预压法控制沉降差异，结合高精度测量设备监测拼接部位变形，及时补强薄弱区域。沉降协调措施。在保通需求高的路段实施分阶段施工，通过调整填筑速率和预压周期实现新旧路基沉降协同。

**3.3 路面修复与拼接技术。**旧路面病害处治。采用三维雷达检测定位裂缝、坑槽等病害，分层实施铣刨重铺或注浆修复，结合弯沉测试优化补强范围。对旧水泥路面采用碎石化技术处理，提升基层平整度，加铺高模量沥青层增强抗裂性。新旧路面无缝衔接。主线路面拼接采用阶梯式铣刨界面，结合高性能粘结层材料（如改性

乳化沥青）增强界面抗剪强度。

**3.4 交通组织与绿色施工。**动态交通管理。通过分时段导行、临时便道设置保障施工期通行能力，利用信息化平台实时优化交通流线。环保施工技术。采用低噪音设备、防尘围挡减少环境影响，回收旧路面材料用于路基填筑，实现资源循环利用。敏感区域设置径流沉淀池和过滤层，避免施工污染物直接排放。

**3.5 机械化施工与质量管控。**智能施工装备应用。引入双钢轮压路机“静压+振压”组合工艺，提升级配碎石层压实均匀性；采用智能摊铺设备精准控制厚度与平整度。全过程质量监督。建立材料进场检测机制（如碎石粒径、含泥量  $\leq 3\%$ ），施工中动态监控压实度、弯沉值等核心指标。实施“样板段先行”制度，通过首段验收统一技术标准并推广至全线。公路改扩建施工需以沉降控制和结构协同为核心，通过软土复合加固、智能监测、机械化工艺等关键技术保障工程稳定性。同时，需结合环保措施与动态交通组织平衡施工效率与社会影响。未来可深化BIM技术集成应用，实现施工全流程数字化管理。

## 4 公路改扩建项目级配碎石配合比设计

**4.1 设计依据与标准。**规范要求。遵循《公路路面基层施工技术细则》对级配碎石材料的级配范围、压实度及CBR值等指标的规定。参考《公路工程集料试验规程》（JTG E42—2005）进行原材料性能检测。

**4.2 原材料控制。**碎石质量要求。粗集料压碎值  $\leq 30\%$ ，针片状颗粒含量  $\leq 20\%$ ，含泥量  $\leq 3\%$ 。细集料（石粉）液限  $\leq 25\%$ ，塑性指数  $\leq 6$ ，且0.075mm筛孔通过率控制在5%-12%。级配范围设计。典型级配比例：大碎石（19-26.5mm）：小碎石（9.5-19mm）：石屑（0-4.75mm）= 40%：25%：35%，合成级配需满足规范推荐的连续级配曲线。关键筛孔通过率要求（示例）：4.75mm筛孔通过率：40%-60%；0.075mm筛孔通过率：5%-12%。

**4.3 配合比性能指标设计。**压实度与强度。目标压实度  $\geq 98\%$ ，CBR值  $\geq 100\%$ 。采用重型击实试验确定最大干密度（典型值2.07-2.37g/cm<sup>3</sup>）及最佳含水率（4%-6%）。抗变形能力。级配碎石基层7天无侧限抗压强度  $\geq 3.0\text{MPa}$ （二级及以上公路）。

**4.4 配合比优化与验证。**试验方法。通过击实试验、CBR试验及抗压强度试验验证配合比合理性，优先选择满足强度要求且经济性最优的方案。采用振动台法或重型击实法调整级配，确保混合料密实度与渗透性平衡。动态调整。根据施工现场材料波动（如石粉含量变

化), 实时修正级配比例, 保证级配连续性。

4.5 施工控制要点。拌和与摊铺。采用厂拌设备集中拌和, 控制含水率在最佳值 $\pm 1\%$ 范围内, 减少离析。分层摊铺厚度 $\leq 30\text{cm}$ , 摊铺后及时碾压, 避免水分蒸发影响压实效果。压实工艺。采用双钢轮压路机“静压+振压”组合工艺, 初压速度 $\leq 1.5\text{km/h}$ , 终压消除轮迹。边角部位使用小型压实设备补强, 确保全断面压实度均匀。公路改扩建级配碎石配合比设计需以级配连续性和强度稳定性为核心, 通过规范级配范围控制、原材料质量筛选及动态试验优化实现性能目标。

### 5 公路改扩建项目双钢轮压路机施工工艺

5.1 施工准备与参数设定。设备选型与检查。优先选用高频双钢轮压路机(振幅 $0.3\text{-}0.8\text{mm}$ , 激振力 $\geq 200\text{kN}$ ), 重点检查钢轮表面清洁度及振动系统稳定性。施工前需进行设备调试, 确保振动频率与压实速度匹配(典型参数: 振动频率 $40\text{-}50\text{Hz}$ , 速度 $2\text{-}4\text{km/h}$ )。工艺参数设计。根据沥青混合料类型(如AC-13)和松铺厚度( $\leq 8\text{cm}$ ), 通过能量等效法计算压实遍数(一般初压1遍、复压2-3遍、终压1遍)。

5.2 碾压工艺控制。初压阶段。沥青混合料温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 时启动初压, 采用“静压+低频振动”模式, 速度 $\leq 2\text{km/h}$ , 重点消除摊铺后初始空隙。沿路线纵向“由低向高”碾压, 弯道段采用“由内向外”推进方式, 防止混合料推移。复压阶段。开启高频振动模式( $\geq 50\text{Hz}$ ), 速度提升至 $3\text{-}4\text{km/h}$ , 通过交替碾压消除横向接缝痕迹。对拼接部位、路缘石边缘等区域实施“梯形碾压”, 采用小型双钢轮压路机( $\leq 2\text{吨}$ )补强死角区域。终压阶段。关闭振动功能进行静压收光, 速度 $\leq 2.5\text{km/h}$ , 消除轮迹并确保表面平整度 $\leq 3\text{mm}$ 。终压完成后检

测压实度, 要求 $\geq 98\%$ (重型击实标准)。

5.3 特殊工况处理。新旧路基结合部碾压。在拼接界面 $30\text{cm}$ 范围内采用“斜向 $45^\circ$ 交叉碾压法”, 结合土工格栅增强层同步压实, 避免界面裂缝。使用红外测温仪实时监测结合部温度, 确保碾压温度差 $\leq 15^\circ\text{C}$ 。薄层修补区域施工。对铣刨重铺路段(厚度 $\leq 4\text{cm}$ ), 采用“高频低幅”振动模式(振幅 $\leq 0.5\text{mm}$ ), 减少骨料破碎率。

5.4 水泥稳定碎石基层、底基层。(1) 铺筑底基层前应确保其压实度 $\geq 95\%$ , 铺筑前及时清扫路基杂物并洒水润湿。(2) 为避免混合料失水过快对干缩系数产生影响, 施工时应严格控制混合料含水量=最佳含水量, 且施工完毕后应立即进行养护。夏季施工时当温度大于 $50^\circ$ 或检测含水量过低时( $< 0.8$ 最佳含水量)应立即停止施工, 并采取相应措施以提高含水量。

5.5 质量与安全控制。动态监测技术。采用智能压实系统(ICM)实时反馈压实度、温度数据, 自动生成压实轨迹图指导工艺调整。每作业段完成后进行弯沉值检测( $\leq 0.01\text{mm}$ ), 超标区域返工补压。安全操作规范。操作人员持证上岗, 穿戴防砸鞋、反光背心, 压路机转向时提前鸣笛警示。严禁在未冷却路面上急刹车、调头, 与摊铺机保持 $\geq 5\text{m}$ 安全距离。

总之, 公路改扩建项目双钢轮压路机施工需以温度控制和能量传递优化为核心, 通过多阶段组合碾压工艺提升路面密实度与平整度。同时需结合智能监测技术实现工艺参数动态优化, 确保新旧结构协同受力。

### 参考文献

- [1] 邵刚. 高速公路施工中的软土路基施工技术. 2022.
- [2] 张保鹏. 路基土方填筑与压实技术在高速公路路基施工中的应用. 2023.