

# 普通国省干线改扩建工程路基拼接施工技术探索

沈开程

楚雄公路局机械化养护和应急中心 云南 楚雄 675000

**【摘要】**：云南普通国省干线多穿越山岭重丘区，既有路基病害突出、地质条件复杂，结合多个改扩建工程实例，系统研究路基拼接施工技术。分析既有路基现状、病害成因及地质条件，明确雨水入渗、红层软岩软化等地域化问题，阐述削坡开蹬、软弱地基处治等关键施工工艺，针对不同地质与加宽形式，提出适配的拼接方案，制定全过程质量管控、差异沉降控制及防水排水措施。研究显示，针对性检测评价、工艺优化及方案适配，可有效解决新旧路基不协调变形等问题，提升拼接段稳定性，为云南山区国省干线路基拼接施工提供技术参考。

**【关键词】**：云南国省干线；路基拼接；软弱地基处治；差异沉降；红层软岩

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.096

## 引言

云南普通国省干线是区域交通网络核心，多数路段服役年限久、穿越山岭重丘区，重载碾压、雨水冲刷及复杂地质共同作用下，路基病害频发。交通量大幅增长后，改扩建工程中路基拼接成为提升通行能力的关键工序，新旧路基差异、地域地质水文特征，易使拼接段出现沉降、开裂等病害，影响工程质量与运营安全。结合云南地域特点，开展路基拼接前期检测、工艺优化、方案适配及质量控制研究，解决拼接施工核心技术难题，对保障改扩建工程质量、延长道路使用寿命、完善区域交通网络具有重要现实意义。

## 1 路基拼接施工前期准备与病害分析

### 1.1 既有路基现状检测与评价

云南普通国省干线多穿越山岭重丘区，受地形限制，老路服役周期普遍 15-20 年，长期承受重载碾压、雨水冲刷及地质灾害影响，水毁、路基沉陷、边坡滑移等损伤突出，路基拼接前需开展系统性检测与评价，为施工方案提供科学依据<sup>[1]</sup>。G108 国道楚雄段示范工程、国道 227 线双柏至新平水塘公路改建工程作为实例，采用落锤式弯沉仪、地质雷达、钻孔取芯及分层压实度检测相结合的方式，对既有路基顶面回弹模量、土体密实度、含水率与填料类型进行全覆盖探查，重点识别边坡松散滑移段、填挖交界薄弱段等关键区域。检测结果将既有路基划分为稳定利用段、轻微病害补强段、重度病害处置段，稳定段直接削坡开蹬，轻微病害段采用浅层换填与补强压实修复，重度病害段需先加固地基再拼接，最终形成适配云南山区地形地质的路基评价体系，为后续工艺选择、参数设定提供数据支撑，确保拼接施工科学可靠。

### 1.2 路基拼接病害成因分析

路基拼接病害核心源于新旧路基沉降、刚度、密实度的三重差异，叠加云南山区多雨、地下水丰富、红层软岩易软化的地域特征，病害机理更具针对性。旧路经多年运营已完成大部分固结沉降，土体密实稳定；新填路基处于初始固结阶段，自

重与行车荷载作用下沉降持续发展，拼接界面成为应力集中带。旧路边坡开挖易形成碾压盲区，压实不足降低结合面抗剪强度，云南降雨量较大，雨水沿界面入渗软化土体，加剧不协调变形，诱发纵向裂缝、路面错台等病害。瑞弄高速公路改扩建工程揭示的机理与之相符，该项目沿线填土、软弱土分布广泛，受降雨影响拼接段频繁沉陷，结合云南地域特点，雨水入渗与红层软岩软化对病害诱发作用更突出，是云南国省干线路基拼接需重点防控的核心问题。

### 1.3 拼接区域地质条件勘查

云南国省干线拼接段地质复杂，软土、红层软岩、沟谷淤泥质土分布广泛，山区地形起伏大、地质构造不稳定，地质勘查需贴合地域特征实施，避免勘察疏漏导致后期路基失稳。国道 G320 牛凤龙至天申堂段改扩建工程作为实例，采用原位静力触探、十字板剪切试验与室内土工试验相结合的方式，全面查明拼接段土层分布、软土厚度、地基承载力、地下水位及红层软岩风化程度，重点锁定山间沟谷等软土集中区段，测定土体核心参数。研究红层软岩遇水崩解软化的劣化特性，明确其对路基稳定性的影响，划定地质薄弱区范围与埋深，为软弱地基处治、加宽形式选择及沉降控制提供参数支撑，规避施工风险，确保拼接施工与地质适配，提升拼接段长期稳定性，为工程质量奠定基础。

## 2 路基拼接关键施工工艺

### 2.1 旧路边坡削坡与开蹬处理

旧路边坡削坡与开蹬是保障新旧路基咬合整体性、减少后期沉降开裂的基础工序，需遵循公路改扩建规范，适配云南山区施工空间狭小、地形复杂的条件。施工前对旧路边坡清表削坡 0.3m，彻底清除表层松散土体、腐殖质与风化岩屑，避免影响拼接界面黏结<sup>[2]</sup>。削坡后机械开挖配合人工精修分层开蹬，台阶高度控制在 0.8m 以内，宽度不小于 1.0m，底面设 2% 向内横坡，利于排水也能增强土体咬合。开挖时预留 10cm 保护层避免扰动旧路本体，完成后清除浮土并喷洒水泥净浆强化黏

结。城镇受限路段采用小型机具精细化施工，严控台阶尺寸与结合面密实度，解决施工空间受限的质量问题。

## 2.2 软弱地基专项处治技术

云南软土与红层软岩路段广泛，此类地质下路基拼接易出现沉降过大、失稳等问题，结合瑞弄高速公路软基处理经验，融合云南工程实践采用针对性处治技术。浅层软土（埋深 $\leq 3.0\text{m}$ ）路段采用清淤换填级配碎石，彻底清除淤泥后换填不小于1.5m厚级配碎石，铺设双向土工格栅包裹压实，快速提升地基承载力。深层软土（埋深 $\geq 3.0\text{m}$ ）路段采用水泥搅拌桩复合地基，桩径0.5m、间距1.2-1.5m，桩顶铺30cm碎石垫层并加筋加固。红层软岩路段借鉴云南高速公路经验，用天然级配料换填1.5m厚，阻断软岩遇水软化通道，该工艺有效解决滇西红层地带拼接沉降问题。

## 2.3 新路基填筑与压实控制

新路基填筑与压实质量直接影响拼接效果，需遵循“分层填筑、薄层碾压、严控含水率”原则，适配云南山区填料特性与施工条件。填筑前优先选用级配良好的砾类土、碎石土，严禁使用高液限土、红层软岩等不合格填料，防止遇水软化、沉降量大。填筑时分层松铺厚度控制在20cm以内，水平分层、纵向分段推进，拼接段压实度较规范提高1个百分点。压实采用重型压路机与小型夯实机协同作业，大型压路机碾压主体区域，小型夯实机处理台阶边角等盲区，确保压实无死角。实时监测填料含水率，控制在最佳含水率 $\pm 2\%$ ，高填方拼接路段用高性能压路机补强压实，减小工后沉降，实现新旧路基刚度渐变，避免应力集中引发路面开裂。

## 2.4 拼接结合部加筋加固施工

拼接结合部加筋加固是抑制不均匀沉降、减少纵向裂缝的关键，需结合云南山区荷载与水文条件优化方案。施工中在旧路台阶与新填路基间分层铺设双向土工格栅，选用抗拉强度不低于80kN/m的产品，伸入旧路基不小于2.0m，横向搭接不小于20cm，用U型钉固定防止移位起皱。软土与高填方路段加密加筋层间距，由1.0m调整为0.8m，增强抗剪能力与整体性。桥头拼接段采用1.5-2.0m厚气泡混合轻质土填筑过渡，降低新路基自重，减小对旧路基与桥台的附加沉降影响，缓解刚性突变应力集中。

# 3 不同地质与加宽形式下路基拼接施工方案

## 3.1 非软土地基单侧加宽拼接施工

非软土地基单侧加宽适配云南山区地形狭窄、征地难度大的特点，G219云南滇西段改扩建工程依托该路段粉质黏土、砾石土的非软土地质，采用挖方、填方、挡墙组合拼接形式。地形起伏较小的挖方段，机械开挖后分层压实，边坡坡度控制在1:1.5防止滑移，保障新旧路基整体性。填方段削坡开蹬，按标准施作台阶，分层填筑级配碎石压实，严控坡脚应力集中。

地形受限无法放坡路段，浆砌片石单侧挡墙加宽可减少占地，同时支护新填路基。施工中控制旧路横坡平顺过渡，防止中线高程抬升造成净空不足，半幅施工半幅通行的方式，全程保障老路通行，适配云南山区单侧加宽占地少、施工便捷的需求（见图1）。

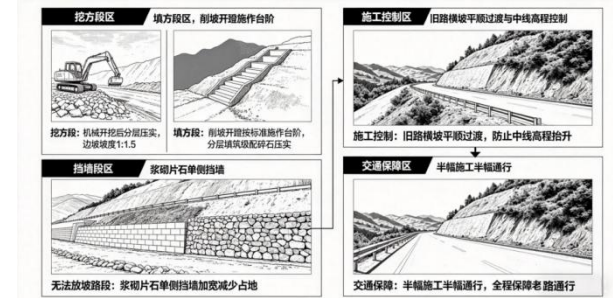


图1 非软土地基单侧加宽拼接施工

## 3.2 软土地基单侧加宽拼接施工

软土地基单侧加宽核心是控制差异沉降，G320云南昆明段软土区段改扩建工程，软土埋深2.5-4.0m，含水率高、承载力低，采用“地基加固+轻质填筑”双控方案。地基采用水泥搅拌桩加固，桩径0.5m、间距1.2m，桩长深入软土层1.5m以上，承载力需达150kPa以上。路基填筑选用气泡混合轻质土，容重仅为普通填料1/3，可降低自重与附加应力，削减差异沉降。施工时削坡开蹬，清理浮土后喷洒水泥净浆，分层铺设土工格栅强化黏结，新路基压实度较规范提升1%。完善边坡排水系统，布设浆砌片石排水槽与急流槽，阻断雨水入渗路径，提升软基单侧加宽的稳定性与耐久性。

## 3.3 双侧对称加宽路基拼接施工

双侧对称加宽适配云南平原区、宽幅路段及征地难度小的区域，国道G348川滇界至宁浪段改扩建工程双侧加宽工艺，结合云南实践优化适配<sup>[3]</sup>。该项目连接云南宁浪与四川盐源，部分路段地形开阔，双侧对称加宽可提升通行能力。施工前勘察旧路两侧地质，确认一致后协同削坡开蹬，台阶尺寸与单侧加宽相同，保障施工对称均匀。新路基对称分层填筑、同步碾压，松铺厚度与压实度标准沿用单侧加宽要求，防止旧路偏移与不均匀沉降。两侧拼接界面铺设土工格栅，保障协同受力。

## 3.4 城镇受限路段组式拼接施工

云南城镇密集区国省干线改扩建受临街建筑、地下管线限制，施工难度较大，S212滇中城镇段改扩建工程采用单侧与双侧加宽组合形式。临街建筑密集、拆迁成本高的路段，优先单侧加宽，选取建筑间距大的一侧拓宽，减少拆迁及对居民生活的影响。道路中段条件允许处，双侧加宽可提升通行能力。局部净空、管线受限路段，分离式拼接与挡墙配合使用，避免破坏管线且满足净空要求。施工采用小型机具作业，严控噪声与扬尘，契合城镇环保要求。优化交通组织，布设临时便道与警

示标志,分时段施工避开高峰期,实现施工与城镇运行协同推进,保障拼接顺利开展,最大限度降低对城镇发展的影响。

## 4 路基拼接质量控制与沉降控制措施

### 4.1 施工过程质量管控要点

路基拼接质量管控贯穿施工全过程,执行“分层检测、逐段验收、全程管控”原则,适配云南山区施工离散性大、地形复杂的需求,保障工序达标<sup>[4]</sup>。削坡开蹬后,核查台阶尺寸、横坡及界面清理质量,高度宽度偏差控制在±5cm以内,横坡偏差≤0.5%,界面无浮土。软基处治时,检测换填厚度、压实度与桩体强度,换填偏差≤10cm,压实度≥96%,水泥搅拌桩强度≥1.5MPa。新路基填筑压实施工,每批次检测松铺厚度、含水率与压实度,松铺偏差±2cm,含水率控制在最佳±2%,拼接段压实度≥97%。加筋施工需核查格栅型号、搭接长度与固定效果。

### 4.2 新旧路基差异沉降控制技术

新旧路基差异沉降是路基拼接核心控制指标,需结合云南山区地质、荷载特点,采用地基加固、填料优化、加筋增强、动态监测组合技术,严控不协调变形。优先对软弱地基、红层软岩段提前处治,提升地基整体承载力;新路基选用轻质、高强度填料,降低自重附加应力;拼接界面分层铺设土工格栅,增强新旧路基协同受力能力。施工期间布设沉降观测点,动态监测沉降速率与累计沉降量,及时调整施工参数;工后设置不少于6个月的观测期,确保沉降趋于稳定,将差异沉降控制在设计允许范围内,避免路面开裂、错台等病害。

### 4.3 拼接部位防水与排水施工

云南年降雨量较大,雨水入渗易造成拼接部位软化、沉降、开裂,需构建“界面防水、坡面排水、路基导水”三位一体体

系,提升防水排水能力。台阶界面涂刷2-3mm厚水泥净浆或专用黏结层,杜绝缝隙,阻断雨水下渗。边坡布设浆砌片石排水槽与急流槽,排水槽间距≤10m,陡坡处设置急流槽,引导坡面雨水快速排离,避免滞留冲刷。路基内部布设碎石填充盲沟与30cm厚透水垫层,盲沟间距5-8m,及时导出地下水与入渗水,杜绝水浸软化引发的沉降滑移。

### 4.4 交工验收质量检测标准

路基拼接交工验收执行严于新建路基的标准,结合云南山区特点,参照瑞弄高速公路、G348川滇界至宁蒗段验收体系,形成完整验收指标<sup>[5]</sup>。重点检测压实度、回弹模量、沉降速率等核心指标,拼接段压实度较规范提升1个百分点,≥97%,路基顶面回弹模量≥30MPa。沉降需满足差异沉降≤2cm/年,且趋于稳定。拼接界面无松散、开裂、渗水,纵断面高程偏差±10mm以内,横向平整度偏差≤3mm/m,纵横坡顺适,行车无颠簸错台。核查检测报告、施工记录等资料,确保齐全真实,全面验收合格后方可交付使用,保障拼接段长期安全运营,贴合云南工程实际。

## 5 结语

云南普通国省干线路基拼接施工受地形、地质、水文等地域因素影响显著,核心难点是解决新旧路基差异沉降及界面协同受力问题。本文结合工程实例,构建“前期检测评价—关键工艺优化—场景方案适配—全过程质量管控”完整技术体系,针对性解决软土地基、红层软岩、城镇受限等场景的施工难题。实践证明,该体系可有效控制拼接病害,提升路基稳定性。后续结合更多工程实践,进一步优化沉降控制技术,完善地域化施工标准,为云南山区国省干线路基拼接工程提供更全面的技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 杨爱文.高速公路改扩建路基拼接施工关键技术分析[J].时代汽车,2025,(24):166-168.
- [2] 梁耀.高速公路拓宽工程路基拼接施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(21):109-111.
- [3] 霍洋.高速公路互通工程路基拼接施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(25):124-126.
- [4] 程希.高速公路改扩建路基拼接技术研究及应用[J].工程建设与设计,2025,(16):171-173.
- [5] 陶世刚.高速公路路基加宽拼接施工技术分析[J].交通科技与管理,2025,6(16):137-139.