

低等级公路改扩建工程路基路面窄幅拼宽关键设计技术研究

曹承品¹ 李石坚²

1.安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司 安徽 合肥 230088

2.公路交通节能环保技术交通运输行业研发中心 安徽 合肥 230088

【摘要】：针对低等级公路路基路面窄幅拼宽工程病害频发、传统设计方案照搬高等级公路标准适配性差的问题，梳理拼接段典型病害类型与演化机理，剖析地基土体参数、施工工艺、行车荷载三大因素对拼宽结构受力及变形的影响规律。结合窄幅施工工作面狭小、新旧结构刚度差异大的工程特点，提出路基防沉降拼接、路面接缝抗开裂、路面整体结构协同优化三类关键设计技术。工程监测结果表明，优化设计技术可改善拼接结构应力分布，抑制拼接裂缝与不均匀沉降发展，提升拼宽路段结构整体性与服役稳定性，适配低等级公路窄幅拼宽施工及运营工况。

【关键词】：低等级公路；改扩建工程；窄幅拼宽；路基路面；拼接病害；优化设计

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.024

1 引言

为完善县域公路路网体系，提升乡村道路通行保障能力，国内大量低等级公路陆续开展拼宽改扩建施工。相较于常规大幅拓宽工程，窄幅拼宽存在施工空间局促、旧路路基先天性能薄弱、新旧道路结构衔接难度大等现实问题，拼接部位极易产生各类结构性病害。当前国内针对低等级公路窄幅拼宽的专项设计理论较为匮乏，常规拓宽设计模式无法匹配狭小施工断面与旧路原有结构缺陷。基于工程现场病害调研结果，系统剖析病害演化机理与关键影响因子，研发适配窄幅工况的路基路面拼接设计工艺，能够补齐现有设计体系短板，为乡村公路改扩建工程提供专业化的技术支撑。

2 低等级公路窄幅拼宽工程病害成因及设计难题

2.1 新旧路基路面拼接典型病害类型统计

结合国内多地低等级公路窄幅单侧、双侧拼宽实体工程踏勘成果，拼接段路基路面病害可分为路面结构性病害、路基整体性病害两类，路面拼接处典型病害包含纵向反射裂缝、路面错台、拼接界面渗水坑槽，裂缝常沿新旧路面接缝纵向连续延展，坑槽集中分布于接缝轮迹带，雨水沿缝隙持续下渗会持续加重面层损坏。路基病害主要表现为新旧路基结合部不均匀沉降、路基侧向滑移、拼接面脱空，旧路基经长期车辆荷载与环境影响土体固结基本趋于稳定，新拓宽填筑路基固结过程尚未结束，二者固结特性差异不断造成竖向变形不协调。该类路基病害具备隐蔽性，难以通过路面直观察觉，变形会逐层向上传递至路面结构，进而催生各类路面表层破损问题。

2.2 窄幅拼宽特有病害演化模式与致损诱因

低等级公路窄幅拼宽施工断面宽度受限，新旧路基结合区

域存在天然的结构刚度差与压实度差异，病害呈现循序渐进的阶段性演化特征^[1]。施工完成初期结合部仅产生细微内部裂隙，无明显外观破损，行车荷载反复作用下裂隙逐步向路基深层与路面表层延伸，中期形成纵向连续裂缝，后期雨水沿裂缝持续下渗软化路基填料，最终引发路面错台、不均匀沉降及表层网裂等显性病害。路基填料固结程度不同、新旧结构层粘结界面整体性不足是核心内在致损诱因，道路行车荷载偏心作用、地表径流与地下水长期侵蚀、新旧路面结构层搭接厚度不匹配等外部因素，会持续加速结构结合面脱离与整体变形，进一步放大拼宽路段的结构损伤程度。

2.3 现有设计方案存在的核心缺陷

现有低等级公路窄幅拼宽通用设计大多直接套用高等级公路拓宽标准，难以适配老路原有路基压实度偏低、填料混杂、整体刚度偏弱的先天结构短板。现有设计未能结合窄幅拼宽幅宽小、新旧接触面狭长的特性优化搭接构造，新旧路基衔接仅采用常规台阶开挖形式，难以抵消差异沉降产生的结构附加内力；路面仍采用统一结构厚度与材料配比，忽略老路长期服役形成的内部损伤与结构疲劳，造成拼宽后路面应力分布紊乱。拼宽配套排水防护整体性不足，盲沟、边沟布设规格与窄幅断面适配性差，地表水易沿接缝下渗冲刷路基。加之设计未考虑低等级公路施工空间狭小的现实约束，部分路基加固及拼接构造难以实施，致使设计构想与现场实际施工条件存在明显脱节。

3 窄幅拼宽路基路面设计影响因素敏感性分析

3.1 地基土体参数对拼接结构的影响规律

地基土体各项物性与力学参数直接决定窄幅拼宽路基整体沉降变形形态以及新旧路基拼接界面的应力分布状态。地基

土体压缩模量发生变化时,路基整体竖向沉降量与新旧路基不均匀沉降差值会同步产生改变,软土地基压缩模量偏低会加剧拼宽区域局部沉降差,进而诱发路面面层出现横向开裂病害。土体黏聚力与内摩擦角两项抗剪指标改变,会影响路基基底土体侧向挤出程度,控制拼宽路基边坡侧向位移量,间接改变新旧路基结合面剪切应力集中程度。地基表层软弱土层厚度、下卧层岩土结构的差异,会打乱路基应力传递路径,让应力集中区域向拼接缝位置偏移,持续增大拼接界面层间剥离风险,最终影响路基路面整体拼接结构的稳定性与服役耐久性。

3.2 拼接施工工艺对路面整体性的影响规律

新旧路面界面结合状态受拼接施工工艺直接影响,决定着窄幅拼宽道路路面整体性与荷载传递效果,基层台阶搭接、界面铣刨处置、层间粘料撒布、同步压实及错峰压实等不同施工方式,可形成咬合效果各不相同的拼接界面。若界面铣刨清理不到位,残存浮浆与松散骨料会在层间形成软弱夹层,车辆反复荷载下新旧结构各自变形,大幅削弱路面协同受力能力;异步分层拼接易引发面层、基层接缝错位,纵向接缝长期承受行车剪切作用,极易发育纵向反射裂缝^[2]。一体化同步拼接能够实现各结构层接缝竖向对齐,增强新旧路面嵌挤咬合效果,有效改善结构抗剪与抗弯拉能力,从源头抑制窄幅拼宽路段高发的纵向裂缝、路面错台、层间脱空等典型病害。

3.3 行车荷载作用下拼宽结构受力响应特征

车辆行驶产生的往复动态行车荷载会沿路面面层、基层逐层向下传递至新旧拼接路基整体结构中,窄幅拼宽工况下新旧路基宽度差距显著,原生路基结构压实度、固结状态与新建拼宽路基存在固有差异,荷载传递路径会出现明显偏移。荷载作用于拼接缝周边区域时,路面结构层竖向压应力会集中于拼接界面位置,横向剪应力沿新旧结构结合面持续分布,易引发结构层间脱离与错动位移。路面弯沉变形呈现非对称分布规律,新建拼宽侧结构整体弯沉幅值大于老路原生结构,水平向附加应力会持续作用于拼接结合部,长期往复荷载循环下,结合面薄弱位置持续产生微观损伤,逐步诱发路面横向裂缝、拼接处沉陷等典型病害,直接降低窄幅拼宽路段整体结构服役稳定性。

4 路基路面窄幅拼宽针对性优化设计关键技术

4.1 路基结合部防沉降拼接设计技术

低等级公路窄幅拼宽工况下新旧路基刚度差异是结合部不均匀沉降与纵向开裂的核心诱因,该设计技术依托路基横向应力分布规律开展拼接断面一体化构造设计(见图1)。对旧路基边坡进行阶梯式开挖处理,破除原有松散边坡土体,同步清除坡面风化层与杂质土体,保障新旧路基土体咬合贴合效

果。拼接界面增设整体性加筋材料,依托加筋体的侧向约束作用弱化新旧路基竖向沉降差,阻断裂缝沿结合界面延伸扩散^[3]。匹配窄幅拼宽狭小施工空间,选用压缩性低、水稳定性优异的同质填筑材料,控制填筑体整体固结变形特性与旧路基保持一致。同步优化结合部横向排水构造,消除路表水下渗引发的土体软化问题,规避土体含水率升高带来的后期沉降增量,全方位控制路基结合部长期变形。

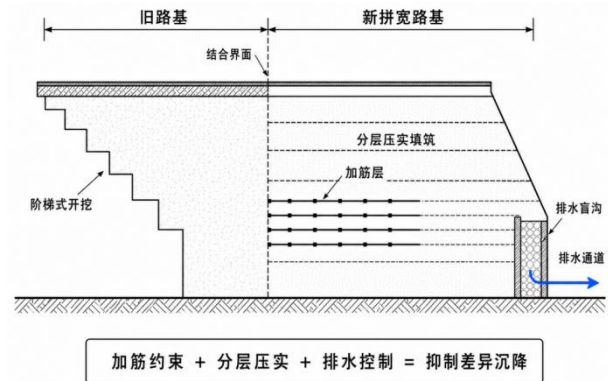


图1 新旧路基拼宽防沉降拼接构造示意图

4.2 路面接缝抗开裂协同匹配设计技术

该技术针对低等级公路窄幅拼宽工况下新旧路面材料性能差异、结构层变形不协调引发的接缝纵向开裂、渗水病害问题,开展全结构断面一体化适配设计。结合既有旧路面长期服役产生的结构残余变形与材料老化特性,差异化划分新旧路面各结构层界面衔接形式,优化接缝竖向分层搭接构造,消除层间错动带来的附加拉应力。对接缝上下面层、基层分别开展材料模量梯度适配设计,弱化新旧结构硬性衔接产生的应力集中效应,同步优化接缝内部防水粘结过渡夹层结构,阻断路面地表水沿接缝下渗侵蚀基层。结合车辆荷载反复碾压与温度胀缩双重作用机理,优化接缝横向预留形变空间,实现路面整体竖向沉降、横向伸缩变形的同步协同,从结构衔接、材料适配、防水防护多维度抑制接缝反射裂缝与贯通裂缝发育。

4.3 窄幅工况下路面整体结构优化设计

受限窄幅通行工况下新旧拼接路面整体结构协同优化设计,立足低等级公路原有路面老化、结构承载力偏弱以及拼宽幅宽不足的固有工程特点,兼顾半幅通行施工带来的车辆偏载、轮迹集中分布的特殊荷载作用模式开展结构适配优化。结合新旧路面材料模量差异、结构层厚度不匹配带来的竖向变形不协调问题,针对性调整路面各结构层组合形式,弱化拼接缝位置应力集中效应。优化路面面层、基层与底基层层级搭配方式,强化新旧路面结构层横向刚度过渡效果,消除窄幅路段横向受力不均引发的隐性结构损伤。同步适配窄幅施工空间受限的现场条件,优化整体结构施工适配性,匹配小型施工机具作业半径,保障结构层整体压实均匀性,依托一体化结构设计降

低后期拼接位置开裂、路面不均匀沉降及横向渗水等典型拼接病害，提升窄幅拼宽路段路面整体受力稳定性与长期服役性能。

5 优化设计技术工程实测与应用效果分析

5.1 优化设计技术现场实施与监测方案

针对低等级公路原有路基沉降不均、新旧路面受力差异显著的现场实际条件，依据拼宽优化设计参数组织分段现场施工，严格按照旧路边坡铣刨清理、拼接界面夯实处置、分层填筑碾压、路面分层摊铺成型的工序推进施工，契合窄幅拼宽断面空间局促、作业面狭窄的工程特征，选用小型压实设备对接接区域精细压实，避免大型机械作业扰动原有旧路结构^[4]。监测重点针对新旧路基滑移、路面层间脱空、横向不均匀沉降三类典型病害布设监测点位，监测断面沿路纵向均匀布置，在路基拼接接缝、路面横向接缝等薄弱位置加密测点，同步实施静态结构监测与行车动态响应监测，连续采集结构变形、层间应力、路面弯沉等核心数据，结合道路运营荷载与外界环境变化开展长期跟踪观测。

5.2 路基路面沉降与应力现场监测

针对低等级公路窄幅拼宽断面横向空间狭小、新旧路基衔接受力复杂、整体结构整体性偏弱的工程特点，开展全断面一体化现场监测。沉降监测布设测点覆盖新旧路基结合部、拼宽

路基坡脚、老路行车道下部关键断面，持续采集路基竖向沉降、横向差异沉降及路面整体沉降数据，还原车辆反复荷载与土体固结带来的真实变形状态^[5]。应力监测在新旧路基拼接面、基层底、面层衔接处布设传感元件，探究荷载传递过程中结构横向拉应力、竖向压应力变化特征，同步开展土体自重静态应力与行车动应力监测。监测工作贯穿路基分层填筑、路面分层铺筑及通车前后各个阶段连续采集数据，完整还原窄幅拼宽全周期路基路面变形与内力演化规律，契合公路改扩建实际受力变形发展趋势。

5.3 新旧设计方案应用效果对比分析

安徽省多项低等级公路改扩建工程实测数据证实，优化型窄幅拼宽设计在指标管控、延长道路使用寿命方面成效突出。潜山市黄泥镇文昌村通双车道项目原有四级公路路面宽仅5米，采用单侧或双侧窄幅拼宽拓宽至6米，拓宽段基层设置15厘米厚C20素混凝土、面层配置20厘米水泥混凝土，同步对旧路实施灌缝、铺贴防裂贴预处理，整体加铺沥青混凝土面层。山区金寨县X231仙长路改造项目原有线路坡陡弯急、安全隐患较大，改造后路基宽度7.5米、路面宽度6.5米，依托拼宽段路基防护与排水体系优化设计，有效抑制新旧路基差异沉降。长期运营监测结果显示，采用优化窄幅拼宽方案路段拼宽接缝处未出现明显差异沉降，路面结构整体服役状态良好，充分印证该优化设计技术在实体工程中具备良好适用性与运行可靠性，见表1。

表1 安徽省低等级公路窄幅拼宽改造项目关键指标汇总表

项目名称	建设标准	拼宽后路面宽度(m)	拼宽基层厚度/材料	拼宽面层厚度/材料	总投资/规模
潜山市黄泥镇文昌村通双车道项目	四级公路（原有）	6	15cm C20 素混凝土	拼宽：20cm 水泥砼；加铺：3cm AC-13C+4cm AC-16C	全长 1.275km，约 116.3 万元
金寨县 X231 仙长路改造项目	山区三级公路	6.5	20cm 水泥稳定碎石	沥青混凝土	全长 6.197km，约 928 万元

6 结语

低等级公路窄幅拼宽工程受断面空间、新旧结构刚度差异及行车荷载等多重因素影响，拼接段易出现不均匀沉降、纵向裂缝、界面渗水等共性病害，传统照搬高等级公路的设计方案难以适配现场施工与结构服役需求。针对性提出路基防沉降拼

接、路面接缝抗开裂协同匹配、窄幅路面整体结构优化三项关键设计技术，可有效消解新旧结构受力差异，阻断病害发育路径。依托安徽多地实体工程监测数据可知，优化设计方案可严控拼接段沉降差值，提升路面整体使用性能。该套设计技术适配狭小施工工作面，可为国内同类低等级公路窄幅拼宽改扩建项目提供可靠的设计参考与工程依据。

参考文献：

- [1] 赵博文.辽宁省国省干线低等级公路概况分析与改扩建设计研究[J].北方交通,2024,(3):64-66.
- [2] 建阳.改扩建公路路基路面设计分析[J].交通建设与管理,2025,(1):71-73.
- [3] 饶雄忠.高速公路改扩建工程路基路面拼接施工关键技术[J].交通世界,2025,(25):85-87.
- [4] 董晶晶,曾俊人.高速公路改扩建工程新旧路基路面拼接施工方案及质量检测[J].工程技术研究,2025,10(10):67-69.
- [5] 张泽涛.公路改扩建项目路基路面设计优化分析[J].四川建材,2024,50(7):175-176+179.