

乡村公路改扩建工程路基稳定性优化设计

李润泽

交通运输局乡村公路管理站 河北 邯郸 056900

摘要：乡村公路改扩建是完善农村交通网络的核心工程，路基稳定性是保障道路安全通行的关键。本文以某乡村公路改扩建工程为依托，结合地质条件与原路基病害特征，系统分析新老路基沉降不均、边坡滑移、排水不畅、填料性能不足等核心问题。通过现场勘察、试验检测与数据对比，开展路基填料优化、新老路基拼接工艺改良、排水系统升级、边坡防护加固等优化设计，制定差异化处理方案。经工程实践验证，优化设计可有效降低不均匀沉降，提升路基整体强度与稳定性，为同类工程提供技术参考。

关键词：乡村公路；改扩建工程；路基稳定性；拼接设计；优化对策

引言：乡村振兴战略推动农村交通需求持续增长，老旧乡村公路因路基狭窄、承载力不足、病害频发，改扩建工程成为路网升级重点。与新建公路不同，改扩建面临新老路基拼接难度大、原有病害遗留、场地条件有限、地质复杂等难题，极易引发不均匀沉降、边坡开裂、路面塌陷等病害，影响通行安全与使用寿命。当前多数乡村公路改扩建沿用传统设计方案，针对性不足，稳定性管控薄弱。本文依托实际改扩建项目，结合现场试验数据，剖析路基失稳诱因，优化结构设计与施工工艺，旨在提升路基整体稳定性，降低工程病害率，助力乡村交通基础设施提质升级。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

本文研究依托乡镇乡村公路改扩建工程，该公路为区域村级主干道，原有道路建成于2012年，全长3.26km，原有路基宽度4.5m，路面宽度3.5m，为水泥混凝土路面。因长期重载车辆通行、雨水冲刷及路基自然老化，道路普遍出现路面断板、路基沉降、边坡坍塌、沟槽积水等病害，通行能力大幅下降。本次改扩建工程将路基拓宽至7.5m，路面拓宽至6.5m，设计公路等级为四级乡村公路，设计车速20km/h，主要服务周边村镇居民出行、农副产品及农机运输。项目沿线地形以丘陵平缓地带为主，地势起伏较小，全场高差控制在5.2m以内，施工场地紧邻农田、民居，施工空间受限，对路基施工精度、稳定性控制要求较高。

1.2 工程地质与水文条件

通过现场地质勘察与土工试验，项目沿线地层自上而下依次为素填土层、粉质黏土层、风化岩层。素填土层厚度0.8~1.5m，土质松散、均匀性差，承载力较低；粉质黏土层厚度2.0~3.6m，含水率偏高，塑性指数

18.6，压缩性中等，遇水易软化沉降；下部为中风化泥质砂岩，岩层整体性好、承载力高，为稳定持力层。项目区域属于亚热带季风气候，年均降雨量1180mm，降雨集中在6-9月，雨季短时强降雨易造成路基积水、边坡冲刷。沿线地下水以浅层地表水、孔隙水为主，埋深1.2~2.5m，对路基填料稳定性存在一定侵蚀影响，易引发路基软化、沉降变形^[1]。

1.3 原有路基病害现状

经现场全面排查统计，原有路基主要存在四类典型病害。一是不均匀沉降，全线累计沉降超标路段长度820m，最大沉降量达4.8cm，主要集中在低洼路段与填挖交接处；二是边坡失稳，道路两侧边坡局部坍塌、冲刷沟槽共36处，边坡坡度原有设计偏陡，无完善防护设施，雨水冲刷后土体流失严重；三是排水系统失效，原有路基边沟断面偏小、堵塞严重，无完善截排水设施，雨季积水无法快速排出，长期浸泡路基土体；四是路基填料性能不足，原有路基采用就地取材杂填土，级配差、压实度不均，局部路段压实度仅90%，低于规范标准，路基整体承载力不足。

2 路基稳定性影响因素及病害成因分析

2.1 新老路基拼接差异影响

乡村公路改扩建核心难点为新老路基拼接施工，原有路基经过十余年自然沉降、车辆荷载压实，土体固结基本完成，沉降趋于稳定；而新建拓宽路基土体松散，固结时间短，后期在自重与车辆荷载作用下会产生持续性压缩沉降。新老路基土体固结度、压实度、沉降速率存在显著差异，若拼接工艺不合理、衔接整体性不足，极易在拼接界面产生开裂、错台，引发纵向裂缝、路面断裂等病害，是改扩建路基失稳的核心诱因。同时原有路基边坡长期裸露风化，表层土体松散，直接拓宽填筑

易出现结合面粘结不紧密的问题，进一步降低路基整体稳定性。

2.2 路基填料性能不达标

原有乡村公路路基施工多采用就地取材方式，填料以杂土、风化土为主，未经过严格筛选与改良，填料级配不良、含泥量高、水稳定性差。试验检测数据显示，原有路基填料最大干密度 1.82g/cm^3 ，最佳含水率 16.8% ，饱和抗压强度仅 0.28MPa ，遇水软化后强度大幅衰减，难以承受长期车辆荷载与雨水侵蚀。同时原有路基填筑分层厚度不均，局部分层厚度超 30cm ，压实设备简陋，压实度不足，土体孔隙率大，雨水易渗入路基内部，导致土体软化、沉降变形，降低路基整体承载稳定性。

2.3 排水系统不完善

水是引发路基失稳的关键因素，该原有公路排水体系存在明显短板。一是路基边沟、排水沟断面尺寸偏小，且长期杂物淤积，排水能力不足，雨季路面雨水、坡面积水无法快速排出，持续浸泡路基基底与边坡；二是无完善的截水、防渗设施，山坡地表水、农田灌溉水持续渗入路基土体，提升土体含水率，降低土体抗剪强度；三是路基填料防渗性差，水分长期滞留于路基内部，反复干湿循环导致土体开裂、松散，最终引发路基沉降、边坡滑移等病害^[2]。

2.4 边坡防护与施工管控缺陷

原有路基边坡多为裸露土质边坡，未设置护坡、植草等防护措施，边坡坡度多为 $1:1.2$ ，坡度偏陡，土体抗冲刷、抗滑移能力极差。雨季强降雨冲刷作用下，边坡表层土体极易流失，形成冲刷沟槽，逐步引发边坡坍塌。同时早期乡村公路施工标准低，施工过程无精细化管控，基底清理不彻底、软弱土层未换填、压实工序不到位，遗留大量路基隐患。改扩建施工中若沿用传统粗放式施工模式，未针对性优化边坡坡度、加固土体，将持续影响路基长期稳定性。

3 路基稳定性优化设计方案

3.1 路基填料优化设计

结合项目地质条件与规范要求，摒弃原有就地取材的劣质填料，优化筛选级配良好、强度高、水稳定性好的土石混合料作为路基核心填料，同时对局部软弱路基土体进行改良处理。填料选用附近山体风化碎石土，通过试验确定最优配合比，严格控制填料含泥量 $\leq 5\%$ 、最大粒径 $\leq 10\text{cm}$ ，杜绝淤泥、腐殖土、膨胀土等不合格填料入场。对路基基底软弱素填土层，采用换填处理方案，换填厚度 80cm 级配碎石，分层压实，提升基底承载力。为验证优化填料性能，开展土工试验，新旧填料性

能对比数据如下表所示。

表1 原有填料与优化填料性能参数对比

填料类型	最大干密度 (g/cm^3)	最佳含水率(%)	饱和抗压 强度(MPa)	压实度 (%)	水稳性 系数
原有杂填土填料	1.82	16.8	0.28	90	0.52
优化土石混合料填料	2.06	13.5	0.56	96	0.89

由上表数据可知，优化后的土石混合料填料各项性能指标显著优于原有填料，压实度、水稳性、抗压强度大幅提升，可有效抵御雨水侵蚀与车辆荷载挤压，从源头提升路基稳定性。填筑施工严格控制分层厚度，每层填筑厚度不超过 20cm ，采用小型振动压路机碾压，确保压实度达标，路基顶面弯沉值控制在 0.3mm 以内，沉降总量控制在 5cm 以下。

3.2 新老路基拼接优化设计

为解决新老路基沉降不均、拼接开裂问题，优化新老路基拼接施工工艺，提升结合部整体性与稳定性。首先对原有路基边坡进行台阶开挖处理，摒弃原有直拼工艺，台阶宽度统一设置为 1.2m ，向内倾斜 3% ，台阶分层开挖、分层填筑，增大新老路基接触面积，强化土体咬合效果。其次在新老路基拼接界面分层铺设双向土工格栅，土工格栅抗拉强度 $\geq 80\text{kN/m}$ ，分别铺设于路基基底、填筑中层、路基顶层三个关键位置，有效约束土体变形，抵消新老路基沉降差，防止纵向裂缝产生。同时对原有路基松散表层土体全部清理打磨，喷洒水泥浆界面剂，增强新老土体粘结性能，彻底解决拼接界面脱空、开裂问题。

3.3 排水系统优化设计

针对原有排水系统堵塞、排水能力不足问题，构建“截、排、防、渗”一体化路基排水体系。优化路基边沟设计，将原有梯形边沟断面拓宽加深，标准断面尺寸调整为宽 60cm 、深 50cm ，采用C20混凝土现浇浇筑，杜绝淤积渗漏；在路基边坡顶部设置截水沟，拦截山坡地表水，防止雨水直冲冲刷路基边坡；在路基基底设置碎石盲沟，盲沟宽度 40cm 、厚度 30cm ，填充级配碎石并包裹土工布，快速排出路基内部积水，降低土体含水率。同时完善路基防渗设计，在路基顶层铺设土工防渗膜，阻断雨水下渗通道，从根本上解决水损害引发的路基失稳问题。

3.4 边坡防护优化设计

结合乡村公路低成本、易养护的需求，优化路基边坡坡度与防护形式。将原有 $1:1.2$ 陡坡调整为 $1:1.5$ ，放缓边坡坡度，降低边坡滑移风险。针对不同路段采用差异

化防护方案,一般土质边坡采用植草防护,适配乡村生态环境,成本低廉、养护简便;低洼积水路段、填挖交接危险路段采用浆砌片石护坡,片石厚度30cm,砂浆饱满勾缝,提升边坡抗冲刷能力^[3]。同时清理边坡杂草、松散土体,平整坡面,杜绝边坡局部积水、土体松动,全方位提升边坡整体稳定性,规避边坡坍塌、土体流失病害。

4 施工质量控制要点

4.1 基底处理质量控制

施工前彻底清理路基基底杂草、腐殖土、松散土体,对基底软弱土层全部换填处理,换填后分层碾压夯实,确保基底压实度 $\geq 95\%$ 。基底清理完成后及时开展承载力检测,承载力达标后方可进行后续填筑施工,避免基底软弱导致后期路基不均匀沉降。同时做好基底排水疏导,施工期间杜绝基底积水浸泡土体,保障基底土体干燥密实。

4.2 填筑施工质量控制

严格按照试验确定的最佳含水率、分层厚度开展填筑施工,填料摊铺均匀,无粗细骨料离析现象,碾压遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则,确保碾压均匀、压实到位。每一层填筑完成后,及时检测压实度、平整度、含水率,检测合格后方可进行下一层填筑,杜绝薄层贴补、压实不足等质量问题。针对新老路基拼接区域,增加碾压频次,采用小型压实设备补压,消除碾压死角,保障拼接部位密实度达标。

4.3 成品养护与监测控制

路基填筑完成后及时覆盖土工布或塑料薄膜进行保湿养护,养护期间根据天气情况每日洒水2~4次,保持路基表面湿润,养护周期不少于7d。养护期间在路基两端设置临时围挡和警示标志,严禁任何车辆通行、重物碾压及施工机械停靠,避免路基土体变形破损^[4]。同时建立路基沉降监测体系,在路基拼接段、低洼路段、填挖交接段及软土处理段布设沉降板或沉降观测桩,纵向间距按20~30m布置,每断面布设3个测点。施工期每3d采用精密水准仪监测一次沉降数据,通车后转为每月监测,持续跟踪不少于12个月,绘制沉降-时间曲线分析沉降趋势,及时发现并处置差异沉降超限等潜在隐患,保障路

基长期安全稳定运行。

5 优化效果分析

本次改扩建工程通过填料优化、拼接工艺改良、排水及边坡系统升级等稳定性优化设计,施工完成后对全线路基进行全面检测验收。检测结果显示,优化后路基整体压实度稳定在96%以上,较原有路基提升6个百分点;路基最大沉降量控制在2.2cm以内,远低于规范允许的5cm限值,不均匀沉降问题彻底解决;路基弯沉值、边坡稳定性、排水能力均满足四级乡村公路设计规范要求。通车6个月跟踪监测,全线无纵向裂缝、边坡坍塌、路基沉降等病害,道路通行平稳顺畅。相较于传统改扩建设计方案,优化设计大幅降低了路基病害发生率,减少后期养护成本,提升了道路使用寿命,工程经济效益与社会效益显著,适配乡村公路长期安全通行需求。

结束语

乡村公路改扩建路基稳定性受地质条件、拼接工艺、填料性能、排水防护等多重因素影响,传统粗放式设计易引发沉降、开裂、边坡失稳等病害。本文结合实际工程,精准剖析路基失稳核心成因,通过填料改良、新老路基拼接优化、排水体系升级、边坡防护提质的系统化优化方案,有效解决了改扩建路基不均匀沉降、整体性不足等难题。未来乡村公路改扩建工程,需结合现场工况开展精细化、差异化路基设计,持续优化施工工艺,从源头把控路基稳定性,为农村交通基础设施安全提质、长效运维提供坚实保障。

参考文献

- [1]朱晓平.农村公路改扩建工程土方路基拓宽技术与质量控制[J].工程技术研究,2025,10(16):156-158.
- [2]胥明诚.论农村公路路基施工技术[J].价值工程,2024,43(25):80-83.
- [3]廖洁,刘斯宏,徐思远,等.土工袋技术在乡村公路软基加固中的应用研究[J].公路,2024,69(6):52-61.
- [4]姜红敏.农村公路工程质量监督中压实度检测方法对路基稳定性的保障作用[J].工程技术研究,2025,7(20):216-218.