

高速公路改扩建工程中新旧路基衔接缺陷控制技术研究

蔡宇镭

云南交投集团公路建设有限公司 云南 昆明 650100

摘要: 在高速公路改扩建工程中, 新旧路基衔接区域的缺陷防控是决定工程整体质量与长期运营安全的核心环节。由于新旧路基在填筑时序、材料特性、密实度标准等方面存在显著差异, 极易引发非均匀沉降、裂缝扩展、局部塌陷及边坡滑移等结构性缺陷。通过地基处理加固、优化拼接部位结构设计、严格施工工艺与质量控制、应用自修材料及数字化施工管理等关键技术, 可有效控制衔接缺陷, 保障路基整体稳定性, 提升道路通行安全与服务质量。

关键词: 高速公路; 改扩建工程; 新旧路基衔接; 缺陷控制技术

引言: 随着我国交通运输网络的持续完善与区域经济发展, 早期建成的高速公路面临交通流量饱和、通行能力不足等突出问题, 改扩建工程日益增多。在新旧路基衔接过程中, 受地质条件、材料特性、施工工艺等多因素影响, 易出现不均匀沉降、裂缝扩展等缺陷, 严重影响工程质量与行车安全。深入探究缺陷形成机理, 研发针对性综合防控技术, 构建全流程质量管控体系, 对解决工程实际难题、提升改扩建工程技术水平具有重要理论与现实意义。

1 高速公路改扩建工程中新旧路基衔接缺陷类型与成因分析

1.1 主要缺陷表现形式

1.1.1 不均匀沉降

新旧路基填筑时间跨度大, 旧路基经长期运营已基本完成固结沉降, 新路基仍处于沉降发展阶段; 且两者填料选型、压实标准可能存在差异, 新路基压实度不达标会进一步扩大沉降差, 导致路基表面高低错台, 影响行车平顺性。

1.1.2 裂缝扩展

新旧路基拼接界面为结构薄弱带, 界面处理不规范会降低整体承载能力。长期车载循环作用下易产生应力集中, 加之地下水渗透侵蚀导致土体强度衰减, 裂缝易不断扩展形成反射裂缝, 贯穿路基表面并降低整体性。

1.1.3 局部沉降

工程区域若分布软土、淤泥等不良地基, 前期处理措施不到位, 或拼接路段排水系统不完善, 雨水、地下水长期积聚将导致地基土体软化、承载力下降, 引发局部塌陷沉降, 严重破坏路基结构稳定性。

1.1.4 边坡失稳

高填方路段新旧路基拼接处土体自重较大, 若台阶开挖不规范、坡面防护措施不足, 或受降雨渗透影响导

致土体抗剪强度降低, 易出现边坡滑动、坍塌, 甚至引发挡土墙失稳倒塌, 危及路基整体安全。

1.2 缺陷成因深度解析

1.2.1 地质条件制约

工程区域若存在软土、膨胀土等特殊土体, 软土高含水量、低承载力、大压缩性的特征易引发不均匀沉降; 膨胀土遇水膨胀、失水收缩的反复变形会破坏路基结构, 二者均会加剧新旧路基沉降差异, 诱发衔接缺陷。

1.2.2 材料性能差异

新路基填料粒径、级配控制不严, 或含水量未达到最佳压实状态, 会导致填料压实度不足、强度偏低; 同时新旧路基填料性能差异较大、强度不匹配, 使衔接部位受力不均, 长期作用下引发裂缝、沉降等缺陷。

1.2.3 施工工艺缺陷

施工中, 新旧路基衔接台阶开挖坡度、高度不规范, 未形成有效受力咬合面; 压实作业不到位导致衔接部位密实度不足; 土工格栅等加筋材料铺设不平整、锚固不牢固, 未充分发挥加筋抗拉作用, 均会降低衔接部位整体性, 诱发缺陷。

1.2.4 水文环境影响

地下水动态变化导致路基土体含水量波动, 引发土体软化、强度降低; 若排水设施布置不合理、施工质量不佳, 无法及时排出雨水和地下水, 会加剧土体饱和软化, 诱发局部沉降、边坡失稳等衔接缺陷。

1.2.5 设计方案不足

部分工程拼接结构设计缺乏针对性, 如台阶尺寸未根据地质条件与填料特性优化、加筋材料选型与铺设范围不合理、排水系统未充分考虑区域水文特征等, 导致设计方案难以适应复杂工程实际, 无法有效防控衔接缺陷^[1]。

2 高速公路改扩建工程中新旧路基衔接缺陷控制关键技术

2.1 软土地基处理与加固技术优化

2.1.1 软土地基处理技术

针对软土地基高压缩性、低承载力的特性,采用CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)与塑料排水板结合超载预压的复合处理方案。CFG桩通过桩体与地基土的协同作用,提高地基承载力、减少沉降量;塑料排水板加速软土地基内孔隙水排出,缩短固结时间。配合超载预压工艺,可提前完成大部分工后沉降,有效控制新旧路基沉降差。施工中需严格控制CFG桩的桩长、桩径及混凝土强度,确保塑料排水板铺设间距与深度符合设计要求。

2.1.2 膨胀土地基改良

膨胀土地基的胀缩变形是诱发路基衔接缺陷的重要因素,需通过石灰改良或换填非膨胀性材料进行处理。石灰改良通过离子交换、胶凝反应降低膨胀土胀缩性,提高土体强度与稳定性;胀缩性极强区域采用换填方案,挖除膨胀土后换填级配良好的碎石土、砂砾土等非膨胀性材料,从根本上消除膨胀变形隐患。改良或换填过程中,需严格控制材料配比、拌和均匀性及压实质量。

2.1.3 强夯法应用

高填方路段新旧路基衔接区域采用强夯法加固地基,通过重锤自由下落产生的强大冲击力,使土体颗粒重新排列、密实度显著提高,增强地基承载力并减少后期沉降。强夯施工前需进行试夯,确定最佳夯击能量、夯击次数及夯点间距等参数;施工中按试夯参数严格执行,同时加强对夯后地基的检测,确保加固效果满足设计要求。

2.2 拼接部位结构设计创新

2.2.1 台阶式优化拼接设计

采用台阶式拼接设计,将旧路基边坡开挖成0.5—1.0m高、1.0m宽的台阶,台阶底面设置3%—4%的横坡。该结构形式能增大新旧路基接触面积,形成有效受力咬合面,增强抗滑稳定性;横坡可快速排出雨水,避免雨水在拼接界面聚集侵蚀土体。施工中需严格控制台阶开挖的坡度、高度及宽度,确保开挖面平整,对开挖后的旧路基边坡及时压实。

2.2.2 土工合成材料增强技术

在台阶内侧及新旧路基衔接界面处铺设土工格栅,格栅需延伸至拼宽路基边坡一定长度并牢固锚固。土工格栅凭借优异的抗拉强度,能有效传递和分散路基应力,减少新旧路基沉降差,增强衔接部位整体性与抗裂性。铺设过程中需保证格栅平整、无褶皱,搭接长度符合设计要求,锚固系统牢固可靠。

2.2.3 轻质填料应用技术

拼宽路段采用泡沫轻质土等轻质填料填筑,利用其

密度小、强度高、压缩性低的特点,可显著减少新增路基荷载,降低对旧路基及地基的附加应力,有效控制新旧路基沉降差异。施工中需严格控制泡沫轻质土的配合比、浇筑厚度及养护时间,确保其强度与稳定性满足设计要求,同时做好与旧路基的衔接处理^[2]。

2.3 施工工艺与质量控制

2.3.1 分层填筑与压实

新旧路基衔接部位采用分层施工方式,严格控制每层填筑厚度(通常不超过20cm),选用符合设计要求的填料。压实作业优先采用冲击碾压或液压补夯等强化压实工艺;配合常规压路机碾压,确保衔接部位压实度达标(高速公路路基压实度 $\geq 96\%$)。施工中实时控制每层填料含水量,使其处于最佳含水量范围,同时加强压实质量检测,对不合格区域及时补压。

2.3.2 全流程防排水系统

构建完善的防水排水系统,在新旧路基衔接界面铺设渗水土工布,防止雨水下渗;路基内部设置横向排水盲沟,及时排出渗入路基的地下水。优化路基边坡排水设计,设置截水沟、急流槽等设施,避免雨水冲刷边坡及衔接部位。施工中保证排水设施的几何尺寸、材料质量符合设计要求,接口连接严密。

2.3.3 动态实时监测与反馈

采用三维激光扫描、GPS测量等先进技术,对新旧路基衔接部位的高差、沉降量等指标实时监测。布设沉降观测点,定期记录沉降数据并建立台账,通过数据分析掌握路基沉降发展规律,动态调整施工参数。若发现沉降异常,及时采取加固处理措施^[3]。

2.4 新材料与新技术融合应用

2.4.1 自修复材料

在新旧路基拼接缝及易产生裂缝的区域,铺设自愈合沥青等自修复材料。此类材料在产生微裂缝时,能借助自身特性(如温度变化引发的熔融特性、化学物质自愈反应等)自动修复,防止裂缝进一步扩展,提高路基抗裂性能和耐久性。施工中需严格控制自修复材料的铺设温度、厚度及压实工艺。

2.4.2 数字化施工管理

引入BIM(建筑信息模型)技术,构建新旧路基衔接工程的三维数字化模型,模拟地基处理、路基填筑、拼接施工等全过程。通过模拟分析优化工序衔接流程,提前发现并调整施工冲突问题,借助可视化优势对施工全流程的进度节点、质量标准、安全风险进行动态管控。

2.4.3 智能监测预警系统

在新旧路基衔接关键部位部署传感器网络(含应力

传感器、应变传感器、沉降传感器等), 构建智能监测系统。系统实时采集路基应力、应变、沉降及含水量等关键数据, 通过无线传输至监控中心, 监控中心实时分析与预警。指标超阈值时, 及时发出信号并通知相关人员处理, 实现衔接缺陷动态防控^[4]。

3 工程案例分

3.1 案例背景

选取某省级主干高速公路改扩建工程为研究对象, 该公路始建于2010年, 原线路为双向四车道, 设计时速100km/h, 路面类型为沥青混凝土路面。2022年该路段日均交通量达8.5万辆(小客车当量), 远超原设计通行能力(4.5万辆/日), 拥堵问题突出。改扩建工程将其扩建为双向八车道, 设计时速维持100km/h, 路线全长32.6km, 其中软土路段8.3km, 该段软土具有高含水量(35%~45%)、高孔隙比(1.2~1.5)低承载力(80~120kPa)的特性, 新旧路基衔接部位易产生非均匀沉降、裂缝等缺陷, 是工程重点管控段落。

3.2 防控技术方案实施

针对软土路段工程特点, 项目团队采用多维协同防控技术方案:

3.2.1 地基加固处理

采用CFG桩复合地基加固技术, 桩间距1.5m, 桩长12m, 桩身采用C25水泥粉煤灰碎石混凝土, 桩身完整性检测合格率 $\geq 98\%$; 铺设塑料排水板(间距1.0m, 深度8m), 配合超载预压(超载系数1.2)处理, 预压时间6个月。

3.2.2 拼接结构优化

采用台阶式拼接设计(台阶高度0.8m、宽度1.2m, 底面设4%横坡); 衔接界面全域铺设双向土工格栅(抗拉强度100kN/m), 搭接长度35cm, 延伸至拼宽路基边坡2.0m并采用锚杆锚固(深度60cm); 拼宽路基填料选用级配碎石(粒径5~31.5mm), 分层填筑后铺设20cm厚5%水泥稳定层。

3.2.3 防水排水系统

中央分隔带铺设复合防渗土工布(渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$); 路基内部每隔4m设置直径15cm横向排水盲沟, 与纵向排水管道连通; 路基边坡沿线设置50cm \times 50cm截水沟, 采用M7.5水泥砂浆砌筑并内壁抹光。

3.2.4 智能监测部署

衔接区域布设30个沉降观测点、20组应力应变传感器及15个含水量传感器, 实时采集施工及运营期间关键数据。

3.3 实施效果评估

技术方案全面实施后, 软土地基段新旧路基衔接工程质量得到有效保障, 各项指标均达到设计及规范要求:

3.3.1 结构稳定性提升

施工完成后持续18个月监测显示, 新旧路基工后沉降差控制在2.8cm以内, 未出现纵向裂缝、局部沉陷等典型缺陷, 路基整体沉降趋于稳定。

3.3.2 路面运营性能优良

通车3年后第三方检测表明, 路面平整度指数(IRI)为1.45m/km, 路面破损率 $\leq 0.5\%$, 均达高速公路路面优良等级标准(IRI $\leq 2.0\text{m/km}$, 破损率 $\leq 1\%$), 车辆通行平顺性良好, 用户满意度92%。

3.3.3 经济社会效益显著

工程返工率降至1.2%(同类工程平均5%~8%), 节约造价约1200万元; 道路通行能力提升100%, 年减少交通拥堵损失约800万元, 成效良好。

结束语: 高速公路改扩建工程新旧路基衔接缺陷防控是复杂的系统工程, 需综合考虑地质条件、材料特性、施工工艺等多方面因素。本文通过分析缺陷类型与成因机理, 构建了“地基加固—结构优化—施工管控—材料创新—智能监测”的多维防控技术体系, 明确了各关键技术的适用条件与实施要点, 并经软土地区工程案例验证了其科学性与有效性。研究表明, CFG桩复合地基处理、台阶式加筋拼接、分层强化压实及智能监测等协同技术, 可有效控制新旧路基沉降差, 提升衔接部位结构整体性与耐久性。工程环境的复杂性与多样性对衔接缺陷防控技术提出了更高要求, 未来需进一步开展以下研究: 一是极端气候条件(如强降雨、低温冻融)下衔接缺陷的演化规律与防控技术; 二是新型环保轻质材料、自修复材料的研发与工程应用; 三是BIM、AI等数字化技术与工程实践的深度融合, 构建全生命周期智能管控体系; 四是不同地质条件下防控技术的标准化与规范化, 为同类工程提供更具针对性的技术指导。通过持续技术创新与实践积累, 不断完善新旧路基衔接缺陷防控技术体系, 为高速公路改扩建工程高质量建设与长久稳定运营提供坚实支撑。

参考文献

- [1]方可.高速公路改扩建工程交通安全设施施工关键技术及交通组织策略[J].四川水泥,2025,(08):218-220.
- [2]赵建国.路基沉降控制技术在高速公路建设中的应用[J].工程技术研究,2025,10(14):59-61.
- [3]徐善运.高速公路改扩建工程路基路面拼接施工技术研究[J].科技资讯,2025,23(02):141-143.
- [4]赵浩然.高速公路改扩建工程中新旧路基路面结合处施工要点研究[J].交通世界,2024,(36):78-80.