

高速公路改扩建工程新旧路基差异沉降控制技术研究

邱兴华

河北交投致远工程咨询有限公司 河北 石家庄 050000

摘要:为解决高速公路改扩建工程中新旧路基差异沉降难题,本文深入分析差异沉降产生机理与影响因素,对比新旧路基工程特性差异,系统研究旧路基预处理、新路基填筑优化及衔接段强化等关键控制技术,构建综合监测与分级预警体系。研究表明,通过填料改良、工艺优化及结构增强等技术可有效缩减新旧路基变形差异,监测预警体系能实时防控沉降风险。该研究成果为高速公路改扩建工程差异沉降控制提供技术支撑,提升工程施工与运营稳定性。

关键词:高速公路;改扩建工程;新旧路基;差异沉降;控制技术

引言:随着交通需求激增,高速公路改扩建工程日益增多,新旧路基差异沉降问题成为制约工程质量的核心瓶颈,易引发路面裂缝、边坡失稳等病害,威胁行车安全。当前差异沉降控制技术针对性不足,难以适配复杂地质与施工条件。基于此,本文以新旧路基差异沉降控制为核心,开展机理分析、技术与预警体系构建工作,旨在明确沉降演化规律,提出科学有效的控制方案,为同类工程提供理论与实践参考。

1 高速公路改扩建工程新旧路基差异沉降机理分析

1.1 新旧路基差异沉降产生的核心原因

新旧路基沉降差异核心源于固结历史与材料特性差异。旧路基经长期运营荷载作用,地基固结基本完成,填料压实度高、压缩性低,沉降趋于稳定;新路基填筑后,地基需承受新荷载产生附加沉降,且施工中易因空间限制导致压实度不足,压缩性更高。新旧路基结合部清理不彻底、衔接强度不足,进一步加剧不协调变形。

1.2 不同地质条件下差异沉降演化规律

软土地基区差异沉降最为显著,因土体压缩性高、渗透性差,新路基沉降量大且稳定周期长,易形成“反盆形”沉降;膨胀土区受湿度波动影响,路基随季节产生胀缩往复变形,差异沉降呈周期性变化;红黏土区则因土体流变特性,在长期动载下易出现缓慢累积性差异沉降,需结合原位测试精准预判。

1.3 差异沉降对改扩建工程的危害与影响

差异沉降会使新旧路基结合处产生附加应力,导致路面出现纵向裂缝、错台等病害,降低行车舒适性与安全性。严重时破坏路基边坡稳定性,引发滑移坍塌;同时还会损坏路基排水系统,加剧地下水渗透侵蚀,进一步恶化路基性能,增加后期维修成本,影响工程使用寿命^[1]。

2 高速公路新旧路基工程特性对比

新旧路基填料物理力学特性差异:旧路基填料经长期运营荷载、自然环境侵蚀,物理力学性质发生显著变化,表现为颗粒级配趋于均匀化,黏聚力随含水率波动出现衰减,内摩擦角略有降低,整体抗变形能力弱化。新路基填料需经严格选型与预处理,颗粒级配合理,含水率可控,黏聚力、内摩擦角等力学指标满足设计要求,但初始压缩性高于稳定后的旧路基。旧路基填料易因长期渗透产生盐渍化或软化现象,进一步拉大与新路基填料的性能差异。(2) 新旧路基压实质量与承载性能对比:旧路基经长期行车荷载压实与自然固结,压实度普遍高于新路基,尤其是路基中下部压实质量稳定,承载能力趋于稳定。新路基受施工空间限制、分层压实工艺执行精度等影响,局部区域易出现压实度不足问题,初始承载力较低,需经后期荷载作用逐步固结提升。旧路基存在不同程度的老化与病害累积,导致其承载性能呈现不均匀性,而新路基承载性能整体均匀,但需通过合理养护实现性能稳定,二者承载性能的时空差异是引发差异沉降的重要诱因。

3 高速公路改扩建工程新旧路基差异沉降影响因素

3.1 填料特性影响

填料的物理力学指标是差异沉降产生的基础因素。旧路基填料经长期运营与环境作用,颗粒级配、含水率等特性发生不可逆变化,抗压缩与抗变形能力弱化;新路基填料的颗粒级配合理性、压实性及含水率控制精度,直接决定其初始压缩性与后期固结稳定性。新旧填料在压缩模量、黏聚力等核心指标上的固有差异,导致二者在相同荷载与环境条件下的变形速率和最终沉降量存在显著差距。

3.2 地质与水文环境影响

地质条件主导差异沉降的演化趋势,路基下伏土层的压缩性、承载力及分布均匀性,直接影响新旧路基的

沉降协调程度。水文环境通过改变填料含水率间接加剧差异沉降,地下水的升降会导致路基填料软化、强度降低,尤其在地下水位较高区域,易引发新路基附加沉降;雨季雨水渗透还会破坏新旧路基结合部的整体性,进一步扩大变形差异。

3.3 施工与荷载条件影响

施工工艺的合理性直接决定差异沉降控制效果,新路基分层压实厚度、压实机械选型及压实遍数不足,会导致初始压实度偏低,后期沉降量大;新旧路基结合部清理、搭接工艺不当,会削弱衔接强度,引发局部变形集中。运营期荷载的大小、分布及作用频次,会加速新旧路基的固结差异,长期重载作用还会加剧旧路基老化变形,进一步拉大新旧路基的沉降差距^[2]。

4 高速公路改扩建工程新旧路基差异沉降控制关键技术

4.1 旧路基预处理控制差异沉降技术

旧路基预处理的核心目标是提升其承载性能与变形稳定性,缩小与新路基的工程特性差异,为后续衔接施工奠定基础。(1)旧路基病害检测与评估技术:采用综合检测手段完成旧路基状况排查,包括地质雷达检测技术,可快速识别路基内部空洞、松散夹层等隐蔽病害,明确病害分布范围与深度;结合轻型动力触探试验,判定路基填料压实质量与承载力分布情况;通过室内试验分析旧路基填料的含水率、颗粒级配、压缩模量等核心指标,形成全面的旧路基性能评估报告,为预处理方案制定提供数据支撑。(2)旧路基掺灰改良加固技术:针对旧路基填料强度不足、压缩性偏高的问题,采用掺灰改良工艺。根据旧路基填料性质确定生石灰或粉煤灰的掺量,通过现场拌和确保灰料与旧填料均匀混合,控制拌和后的含水率处于最佳压实含水率范围。改良后的填料可显著提升黏聚力与内摩擦角,降低压缩性,同时增强填料的水稳定性,减少后期环境因素引发的变形。(3)旧路基冲击碾压与强夯补强技术:对于压实度不足的旧路基路段,采用冲击碾压技术进行补强,选用合适吨位的冲击压路机,控制碾压速度与遍数,通过冲击能作用使旧路基填料进一步密实,提升路基整体刚度;针对路基深层松散区域,采用强夯补强技术,根据路基厚度与地质条件确定强夯能级、夯点间距及夯击遍数,确保强夯能量有效传递至深层土体,实现深层土体密实加固,避免后期出现不均匀沉降。(4)旧路基排水系统修复与优化技术:梳理旧路基原有排水系统,修复破损的边沟、盲沟等排水设施,清理排水通道内的淤积物,确保排水畅通。对于地下水位较高区域,增设渗沟或井点降水设施,降低地

下水位,减少地下水对旧路基填料的软化作用,提升路基的稳定性,避免因含水率变化引发的路基变形。实际工程中,旧路基预处理要结合前期检测评估结果制定差异化方案,优先处理病害集中路段,预处理后需通过压实度检测、承载力试验等手段验证加固效果,确保满足新旧路基变形协调的基础要求,为后续新路基填筑及衔接施工筑牢质量根基。

4.2 新路基填筑优化控制差异沉降技术

新路基填筑优化的关键在于通过填料选型、工艺优化及质量控制,降低初始压缩性,提升填筑质量,实现与旧路基的变形协调。(1)新路基填料选型与级配优化技术:优先选用级配良好、压缩性低、水稳定性强的填料,如碎石土、砾石土等。通过室内试验确定填料的最佳级配范围,控制填料中巨粒料含量与粒径,避免填料级配不良导致压实不均匀。对于不符合要求的填料,进行破碎、筛分等预处理,确保填料性能满足设计标准,从源头降低新路基的沉降潜力。(2)分层压实工艺参数优化技术:严格执行分层填筑、分层压实原则,根据填料性质与压实机械性能确定合理的分层厚度,一般控制在20-30cm范围内。选用重型压实机械,优化压实顺序与压实遍数,采用“先轻后重、先慢后快、先边后中”的压实方式,确保压实能量均匀传递至填料层。通过现场压实试验确定最佳压实参数,包括压实机械吨位、碾压速度、压实遍数等,保障每层填料压实度达标。(3)新路基含水率精准控制技术:填筑过程中实时监测填料含水率,采用洒水或晾晒等措施将含水率控制在最佳压实含水率 $\pm 2\%$ 范围内。对于干旱地区,在填料摊铺后及时洒水保湿,避免填料失水过快导致压实困难;对于雨季施工,做好防雨措施,及时覆盖已摊铺填料,防止雨水浸泡导致含水率过高,影响压实质量。(4)新路基超高段与边坡压实强化技术:针对新路基超高段,因自重较大易产生附加沉降,采用增加压实遍数、选用大吨位压实机械的方式强化压实,必要时在超高段底部增设土工合成材料加筋层,提升路基抗剪强度与整体性。对于路基边坡,采用边坡夯实机进行坡面压实,避免边坡松散导致水土流失,同时确保边坡压实度满足设计要求,提升边坡稳定性。

4.3 新旧路基衔接段差异沉降控制关键技术

新旧路基衔接段是差异沉降的高发区域,需通过结构优化、材料增强等技术措施,提升衔接部位的整体性与承载能力,控制变形差异。(1)衔接段台阶开挖优化技术:在旧路基边坡开挖台阶,台阶形式采用反向台阶,根据路基高度确定台阶数量与尺寸,一般台阶高度控制在

0.8-1.2m, 宽度不小于1.0m。开挖过程中确保台阶坡面平整、压实, 清除坡面松散土体, 避免台阶结合面出现软弱夹层。台阶开挖完成后及时填筑新填料, 缩短暴露时间, 防止雨水浸泡影响结合强度。(2) 衔接段土工合成材料加筋增强技术: 在新旧路基衔接部位铺设土工格栅或土工格室等土工合成材料, 选用高强度、低蠕变的土工材料, 确保材料抗拉强度与耐久性满足要求。土工材料铺设时应拉直、绷紧, 与路基填料紧密贴合, 搭接长度符合设计规范, 通过土工材料的抗拉作用约束新旧路基的相对变形, 传递应力, 提升衔接段的整体性, 减少变形差异。(3) 衔接段注浆加固技术: 对于地质条件较差的衔接段, 采用注浆加固技术提升土体强度。根据地层性质选用水泥浆或水泥-水玻璃双液浆, 确定合理的注浆压力、注浆量及注浆孔布置参数。通过注浆使浆液填充土体孔隙, 胶结松散土体, 提升衔接段路基填料的密实度与承载力, 减少后期沉降。注浆完成后需进行质量检测, 确保加固效果达标。(4) 衔接段结构层协同设计技术: 在新旧路基衔接段的路面结构层设计中, 采用渐变式加厚或增设过渡层的方式, 减少结构层刚度突变。过渡层选用高强度、高弹性模量的材料, 确保路面结构与路基变形协调, 避免因差异沉降导致路面出现裂缝、错台等病害。加强衔接段路面的排水设计, 防止雨水渗透至路基衔接部位, 破坏路基整体性^[3]。

5 高速公路改扩建工程差异沉降监测技术与预警体系

差异沉降监测与预警体系是保障改扩建工程施工安全及运营稳定的核心手段, 需实现监测精准化、数据处理智能化、预警响应及时化。(1) 监测指标与布设技术: 核心指标含路基竖向沉降量、沉降速率及差异沉降值, 辅以侧向位移、孔隙水压力等。布设遵循“重点突出、全面覆盖”原则, 在新旧路基衔接段、软土地基等高发区域加密监测点, 纵向间距10-30m(依地质调整), 横向布于路基中心、路肩及边坡; 需保障监测点与填料紧密结合, 避免数据失真。(2) 核心监测技术: 采用传统与新

型技术融合模式, 传统沉降板、测斜仪实现常态化采集; 新型光纤传感技术实现实时连续监测, 精准捕捉微小变形, 无人机遥感结合高清影像与三维建模, 完成大范围宏观排查与动态跟踪, 提升监测效率。(3) 数据处理与预测: 构建标准化流程, 通过降噪、滤波剔除异常数据, 保障可靠性。基于监测数据, 采用灰色预测、BP神经网络等算法构建模型, 结合地质与施工进度预判沉降趋势; 建立数据共享平台, 实现实时传输与多方共享。(4) 分级预警与应急: 依沉降量、沉降速率及安全要求划分三级预警, 明确触发条件与响应流程。一级启动巡查与加密监测, 二级放缓施工或局部停工, 三级启动应急预案实施临时加固、卸载; 建立快速传递机制, 确保响应及时、处置高效, 降低工程风险^[4]。

结束语: 本文围绕高速公路改扩建工程新旧路基差异沉降控制展开全面研究, 分析了沉降产生机理, 明确了关键影响因素, 提出了涵盖路基预处理、填筑优化及衔接强化的成套控制技术, 建立了精准监测与分级预警体系。研究虽取得阶段性成果, 但复杂地质条件下长期沉降演化规律仍需深入探索。未来可结合智能化监测技术, 进一步优化控制方案, 实现差异沉降的全生命周期精准管控, 助力高速公路改扩建工程高质量发展。

参考文献:

- [1] 郑硕. 公路改扩建新旧路基差异沉降监测及其影响因素研究[J]. 交通世界, 2025(18): 39-41.
- [2] 郑焘, 胡勇, 许益恺, 梁俊志, 胡枫. 改扩建高速公路新老路基差异沉降因素及变形控制技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(1): 013-016.
- [3] 张阳, 陈帅, 肖瑶, 韩炜炜, 韩佳恬, 葛晗诺. 高速公路改扩建新旧路基衔接处的施工质量控制探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(6): 99-101.
- [4] 洪亮. 高速公路改扩建填方路基差异沉降因素及控制技术研究[J]. 交通世界, 2023(24): 44-46.